



Dissertation

Thermische Behandlung heizwertreicher Abfälle in Wirbelschichtanlagen in Österreich

erstellt am

Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)
Montanuniversität Leoben

Vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Arne Michael Ragoßnig, MSc. (OU)

Matrikel-Nr.: 9235017

Kerpelystraße 81/10

A-8700 Leoben

Betreuer:

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber

Gutachter:

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber
Univ.-Prof. Dr. Alphonse Buekens

Leoben, Mai 2001

Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle all jenen, die direkt oder indirekt zum Gelingen dieser wissenschaftlichen Arbeit beigetragen habe, von ganzem Herzen danken.

Den Beschäftigten des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik allen voran Herr o. Univ.-Prof. Dr. Karl E. Lorber möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen. Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn DI Harald Tesch, Herrn DI Michael Schelch, Herrn DI Michael Kotschan und Herrn Dr. Michael Nelles, ohne ihre tatkräftige Mithilfe und Unterstützung wäre es nicht möglich gewesen, die Arbeitsgruppe „Thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen“ am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik aufzubauen sowie eine Vielzahl diesem Bereich zuzuordnende angewandte Forschungsprojekte in Kooperation mit österreichischen Industriebetrieben durchzuführen. Im Rahmen dieser Forschungsprojekte war vor allem die Mitarbeit des Labors des Instituts unter der Führung von Herrn Mag. Dr. Michael Hofer und Frau DI Claudia Zraunig wichtig und eine große Hilfe, dafür möchte ich allen Labormitarbeitern ausdrücklich danken.

Bei den Kooperationspartnern möchte ich mich für das dem Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik entgegengebrachte Vertrauen im Bereich der angewandten Forschung und der damit verbundenen Möglichkeit der Bearbeitung praxisrelevanter Fragestellungen durch junge Nachwuchswissenschaftler bedanken. Im Besonderen gilt dieser Dank der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. sowie der Babcock Borsig Power AE Energietechnik GmbH und dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft, die mit der Durchführung bzw. Finanzierung des Forschungsprojekts „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“ die Erstellung der vorliegenden Dissertation ermöglichten. Dem erstgenannten Unternehmen möchte ich darüber hinaus danken, die Möglichkeit, schon während meines Studiums umfangreiche Praxiserfahrungen zu sammeln, bekommen zu haben.

Einen wesentlichen Beitrag an der Bearbeitung des oben genannten Forschungsprojekts leisteten Frau DI Shaila Kumar, Herr DI Josef Felsberger, Herr DI Gerold Thek sowie Herr DI Norbert Wildbacher und Herr DI Josef Krenn. Ein besonderer Dank gebührt ihnen für ihren großen Einsatz, der Bereitschaft zuzupacken und ihren Eifer, der wesentlich zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen hat.

Im Besonderen möchte ich mich jedoch auch bei all meinen Freunden und Verwandten für die moralische Unterstützung sowie die Rücksicht mir gegenüber bedanken. Heraus greifen möchte ich an dieser Stelle meine Verlobte DI Michaela Angst sowie meine Eltern und Geschwister, die mir bei der Verfolgung und Umsetzung dieses Ziels immer unterstützend zur Seite standen.

Schlußendlich möchte ich mich noch ausdrücklich bei Herrn o. Univ.-Prof. Dr. Karl E. Lorber für die mir zugestandenen Freiräume sowie ihm und Herrn Univ.-Prof. Dr. Alphonse Buekens für die beratende Unterstützung, die sie mir in Ihrer Funktion als Betreuer bzw. Erst- und Zweitgutachter zuteil werden liesen, bedanken.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
DANKSAGUNG	I
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	3
2 RELEVANTE RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	4
2.1 Regelwerke, welche die thermische Behandlung indirekt betreffen	4
2.2 Regelwerke, welche die Abfall-(mit-)verbrennung direkt betreffen	6
2.3 Begriffsbestimmungen	9
2.4 Praktische Konsequenzen der rechtlichen Situation	12
3 BEDEUTUNG DER WIRBELSCHICHTTECHNOLOGIE IN DER ABFALL- WIRTSCHAFT	13
3.1 Historische Entwicklung	13
3.2 Verfahrensvarianten	14
3.2.1 Wirbelschichtverbrennung	14
3.2.2 Wirbelschichtvergasung	17
3.3 Stärken und Schwächen der Wirbelschichttechnologie im Vergleich zu anderen thermischen Behandlungsverfahren	18
3.3.1 Anforderungen an die Abfallcharakteristik	19
3.3.2 Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität und notwendiger Konfektionierungsaufwand der (Abfall-)Brennstoffe	20
3.3.3 Produkteinfluß sowie Problem der Verwertung und/oder Entsorgung der Rückstände	21
3.3.4 Üblicher Umfang der Rauchgasreinigung	22
3.3.5 Verfügbare Anlagenkapazitäten in Österreich	23
3.4 Relevante Kriterien für die Mitverbrennung in Wirbelschicht- feuerungsanlagen	26
3.4.1 (Betriebs-)Wirtschaftliche Konsequenzen der Mitverbrennung	27
3.4.2 Annahme und Lagerung von (Abfall-)Brennstoffen	28
3.4.3 Vorbehandlung/Konfektionierung von (Abfall-)Brennstoffen	29
3.4.4 Brennstoffförderung und –einbringung	33
3.4.5 Anlagenbetrieb	34

3.4.6	Rückstandsrelevanz	39
3.4.7	Rauchgasreinigung.....	40
3.5	Abfallwirtschaftlicher Stellenwert der Wirbelschichtverbrennung in Österreich.....	41
3.5.1	Bestehende Wirbelschichtfeuerungsanlagen sowie geplante Projekte in Österreich	41
3.5.2	Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtfeuerungsanlagen.....	43
4	ENTSORGUNGSSITUATION HEIZWERTREICHER ABFÄLLE NACH 2004 ...	47
4.1	Erhebung von Massenpotentialen.....	47
4.1.1	Ergebnis für Branchen.....	49
4.1.2	Ergebnis für Abfallarten	51
4.1.3	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.....	54
4.2	Charakterisierung von potentiellen (Abfall-)Brennstoffen	56
4.2.1	(Stoffliche) Beschreibung der Abfälle	57
4.2.2	Physikalische Charakterisierung	62
4.2.3	Chemische Charakterisierung	63
4.3	Handlungsbedarf in Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung	65
5	THERMISCHE BEHANDLUNG VON ABFÄLLEN IN WIRBELSCHICHT-PROZESSEN – GROßTECHNISCHE VERBRENNUNGSVERSUCHE	69
5.1	Beschreibung der Wirbelschichtanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H.....	69
5.1.1	Brennstoffaufbereitung und Brennstoffeinbringung	69
5.1.2	Kesselhaus	72
5.1.2.1	Turbo-Wirbelschichtkessel	73
5.1.2.2	Stationärer Wirbelschichtkessel	73
5.1.2.3	Dampferzeugung und Rauchgasreinigung	74
5.2	Allgemeines zu den Verbrennungsversuchen.....	74
5.2.1	Brennstoffrezepturen bei den Verbrennungsversuchen	75
5.2.2	Probenahme und Probenaufbereitung	77
5.2.2.1	Brennstoffe	78
5.2.2.2	Verbrennungsrückstände und Betriebsmittel.....	80
5.2.3	Massenerfassung	84
5.2.3.1	Art und Genauigkeit der Massenerfassung	84
5.2.3.2	Massenströme - Massenbilanz.....	84
5.3	Charakterisierung der Feststoffe.....	89

5.3.1	Charakterisierung der Standardbrennstoffe	89
5.3.2	Charakterisierung der Versuchsbrennstoffe	92
5.3.3	Charakterisierung der Verbrennungsrückstände.....	96
5.4	Abluftemissionssituation	102
5.5	Stoffbilanzen	105
5.5.1	Systemgrenzen.....	106
5.5.2	Konventionen für die Erstellung.....	107
5.5.3	Ergebnisse: allgemein – gutstrombezogene Frachten	107
5.5.4	Stoffbilanzierungen für Brennstoffcluster mit verdichteten Daten.....	110
5.5.4.1	Wasser-Bilanz	110
5.5.4.2	Kohlenstoff.....	111
5.5.4.3	Chlor	112
5.5.4.4	Blei.....	113
5.5.4.5	Zink.....	114
5.5.5	Kritische Betrachtung der Bilanzierungen sowie Unsicherheitsfaktoren	114
5.6	Korrelationen zwischen Input-, Outputgrößen sowie Betriebs- parametern der Verbrennungsversuche	117
6	SCHLUßFOLGERUNGEN ZU DEN VERBRENNUNGSVERSUCHEN.....	121
6.1	Abfallspezifische Aspekte	121
6.2	Anlagenspezifische Aspekte	124
6.3	Vorgeschlagene Zuordnung verschiedener Abfallarten zu unter- schiedlichen Behandlungsanlagen.....	127
7	WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	129
8	ZUSAMMENFASSUNG	130
9	VERZEICHNISSE	133
9.1	Literatur.....	133
9.2	Verwendete Begriffe/Abkürzungen	140
9.3	Chemische Zeichen und Formeln	142
9.4	Tabellen.....	143
9.5	Abbildungen.....	145
ANHANG	147

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Vor dem Hintergrund der Änderung von rechtlichen Rahmenbedingungen zur Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung, Wasserrechtsgesetz-Novelle und Altlastensanierungsgesetz-Novelle) sowie der Mitverbrennungsgesetzgebung und aufgrund der Äußerungen (politischer) Entscheidungsträger ist davon auszugehen, daß die Bedeutung der thermischen Behandlung von Abfällen auf nationaler aber auch internationaler Ebene stark zunehmen wird. Dabei wird insbesondere der energetischen Nutzung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen ein besonderer Stellenwert zukommen.

Dies nicht nur weil im Jahr 2004 höchstwahrscheinlich keine ausreichenden Kapazitäten zur thermischen Beseitigung vorhanden sein werden sondern auch aus ökonomischen und ökologischen Gründen. Die thermische Beseitigung in Anlagen der Entsorgungswirtschaft bringt im Gegensatz zur thermischen Behandlung in industriellen Feuerungsanlagen in vielen Fällen die Neuerrichtung konventioneller Müllverbrennungsanlagen mit sich und erfolgt in der Regel mit einem niedrigeren Wirkungsgrad. Zusätzlich sind die Behandlungskosten bei der thermischen Beseitigung in Anlagen der Entsorgungswirtschaft im Normalfall höher. Durch eine kontrollierte thermische Verwertung (definierte (qualitätsgesicherte) Abfallbrennstoffe bzw. entsprechende Anlagenausstattung) kann darüber hinaus mittels Substitution von Primärenergieträgern ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden (> 50 M.-% des Restabfalls sind Biomasse = erneuerbare Energieträger [1]). Diese ökologischen Aspekte werden nicht zuletzt auch durch das im Abfallwirtschaftsgesetz formulierte Verwertungsgebot sowie die im Rahmen der Klimakonferenz von Kyoto eingegangenen nationalen Verpflichtungen unterstrichen.

Als logische Konsequenz dieser Entwicklungen im Bereich der Abfallwirtschaft wurde am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) an der Montanuniversität Leoben im Jahr 1998 die Arbeitsgruppe „Thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen“ gegründet. In den letzten drei Jahren wurden durch diese Arbeitsgruppe eine Reihe von Forschungsprojekten durchgeführt [2; 3; 4; 5; 6; 7] sowie verschiedenste wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht [8; 9; 10; 11; 12; 13].

In der vorliegenden Dissertation soll auf die thermische Behandlung von Abfällen in Wirbelschichtfeuerungsanlagen in Österreich eingegangen werden.

Die Annahme, daß die Verwendung von Abfällen als Brennstoff zunimmt, wird zusätzlich durch eine Anzahl von Forschungs- bzw. Normungsvorhaben unterstrichen [6; 14; 15; 16; 17; 18; 19]. All diese Bestrebungen haben das gemeinsame Ziel vor Augen, definierte Rahmenbedingungen für die Verwendung von Abfallbrennstoffen zu schaffen. Darüber hinaus soll durch die Festlegung von Richtwerten für Schadstoffe sowie andere vor allem prozeßrelevante Parameter ein ökologisch und ökonomisch sinnvoller Einsatz von Abfallbrennstoffen sichergestellt sowie die Akzeptanz der Mitverbrennung von Abfällen durch eine entsprechende Qualitätssicherung gehoben werden. Auch in den 80er Jahren wurde das Konzept von Brennstoff aus Müll (BRAM, RDF) in Europa und auch den USA verfolgt.

Anders als in Europa, wo diese Bestrebungen wieder fallen gelassen wurden, führte dies in den Vereinigten Staaten zu einer Standardisierung von Brennstoffqualitäten durch die American Society for Testing and Materials (ASTM) [20].

Der neuerliche Anreiz der Verwendung von definierten und u.U. qualitätsgesicherten Abfallbrennstoffen wird nicht zuletzt auch durch die steigenden Ölpreise (ähnlich den Preisen während der Ölkrise in den 70er Jahren; vgl. Abbildung 1.1), dem Potential in Hinblick auf den Klimaschutz (\Rightarrow nationale Verpflichtungen gemäß Kyoto-Protokoll: mögliche Substitution von Primärenergieträgern und vermiedene Emission von Deponiegas), dem potentiellen Produktcharakter (Entfallen der Anwendung der Bestimmungen des Abfallrechts) [21] sowie der im Vergleich zur Mitte der 80er Jahre veränderten Zusammensetzung der Restabfälle [22] größer.

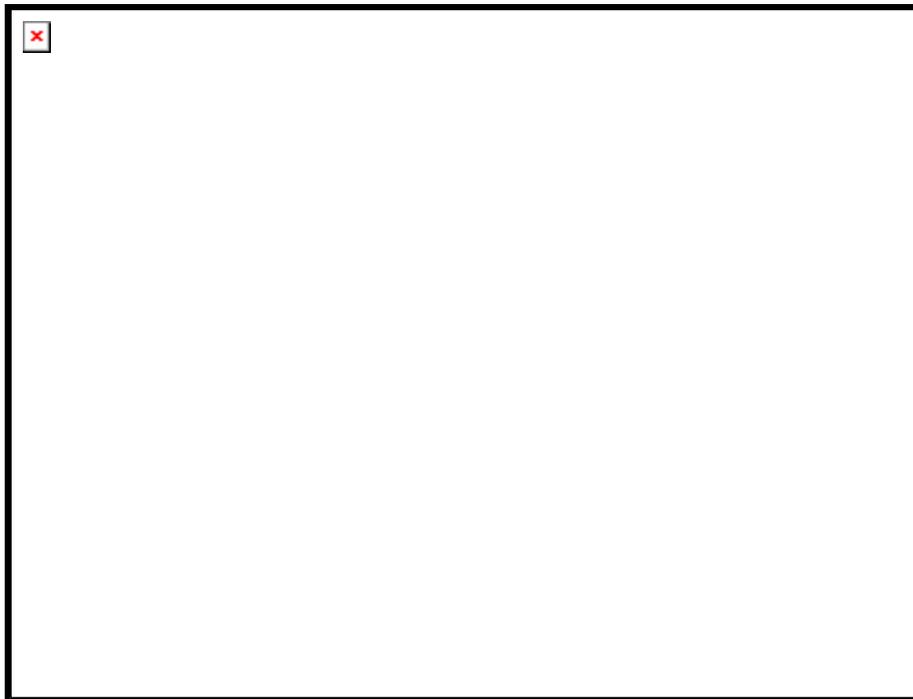


Abbildung 1.1: Entwicklung des Ölpreises in den letzten Jahren in US-\$/barrel [23]

Die Wirbelschichttechnologie hat in Österreich einen hohen Stellenwert zur Behandlung von Abfällen/Reststoffen vor allem in der Papier- und Zellstoff- sowie der Faserplattenindustrie inne [8]. Diese Situation sowie die weiter oben dargestellten Rahmenbedingungen führten zu der Formulierung des Forschungsprojekts „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“. Das Forschungsprojekt wurde von der Babcock Borsig Power AE Energietechnik GmbH sowie der Funder Industrie Ges.m.b.H. unter wissenschaftlicher Begleitung des IED durchgeführt und vom Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft gefördert. Die großtechnischen Verbrennungsversuche erfolgten an der Wirbelschichtfeuerungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. in St. Veit/Glan wobei zwei verschiedene Verbrennungs- sowie Rauchgasreinigungstechnologien zum Einsatz kamen.

Das Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) an der Montanuniversität Leoben wurde unter anderem mit der Versuchsplanung sowie der Feststoffprobenahme und – analytik sowie Stoffbilanzierungen beauftragt. Die Rauchgasanalytik erfolgte durch die

Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz (FTU). Ein Anlagenvergleich der verschiedenen Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnologien war durch das Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft an der TU Wien durchzuführen [24].

Die Auswertung der großtechnischen Verbrennungsversuche im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes sowie die im Rahmen der Tätigkeit der Arbeitsgruppe „Thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen“ am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik an der Montanuniversität Leoben gewonnen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit.

1.2 Zielsetzung

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Möglichkeiten und Grenzen sowie Vor- und Nachteile der Verwendung der Wirbelschichttechnologie für die thermische Behandlung von Abfällen aufzuzeigen und den daraus resultierenden derzeitigen sowie zu erwartenden zukünftigen Stellenwert der Wirbelschichtverbrennung im Rahmen einer integrierten Abfallwirtschaft in Österreich festzustellen bzw. zu prognostizieren.

In weiterer Folge wird die Entsorgung heizwertreicher Abfälle in Österreich nach 2004 diskutiert. Neben den rechtlichen Rahmenbedingungen werden Beschaffenheit und Massenpotentiale heizwertreicher Abfälle erörtert und in weiterer Folge ein entsprechender Handlungsbedarf zur erfolgreichen Umsetzung der Deponieverordnung definiert.

Ein zentrales Element dieser Dissertation stellt die Auswertung und Interpretation der im Rahmen des Forschungsprojektes „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“ durchgeführten großtechnischen Verbrennungsversuche dar. Ein wesentliches Ziel des oben genannten Projekts ist die Feststellung der Eignung der bestehenden Kesselanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. für die thermische Behandlung und energetische Nutzung weiterer interner und externer Produktionsabfälle. Insofern kann einerseits durch die Sicherstellung einer (kostengünstigen) Brennstoffgrundlage die Energieerzeugung für die Funder Industrie Ges.m.b.H. gewährleistet bzw. können andererseits Entsorgungskosten für interne Reststoffe eingespart werden. Durch eine Erweiterung des Spektrums der möglichen Brennstoffe kann auch die Abhängigkeit des Betriebs von einzelnen Brennstoffen verringert werden. Weiters wird dadurch der Verzicht auf Primärenergieträger möglich, was beim Einsatz von überwiegend biogenen Produktionsreststoffen auch zu einer Verbesserung der CO₂-Bilanz des Unternehmens sowie der Region führt.

Unmittelbares Ziel der Verbrennungsversuche ist die Ortung von etwaigen Problemen beim Einsatz von verschiedenartigen Brennstoffen sowie die Entwicklung von Ansätzen zu deren Beseitigung.

Abschließend soll eine qualitative Bewertung der (betriebs-)wirtschaftlichen Auswirkungen der energetischen Nutzung von Abfallbrennstoffen bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. erfolgen. Zusätzlich wird eine Zuordnung einzelner, unterschiedlich beschaffener (heterogener) Abfallbrennstoffe zu verschiedenen Kategorien von Feuerungsanlagen entsprechend der jeweiligen Anlagenausstattung getroffen.

2 Relevante rechtliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel soll einen kurzer Überblick über die gesetzlichen Bestimmungen zur thermischen Behandlung bzw. zur Mitverbrennung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen gegeben werden. Da diese Bestimmungen die zukünftige Bedeutung der Abfallbehandlung wesentlich beeinflussen, ist die Kenntnis des rechtlichen Hintergrundes für eine Bearbeitung des vorliegenden Themas unerlässlich.

Im Juni 1990 trat das Gesetz über die "Vermeidung und Behandlung von Abfällen", das sogenannte Abfallwirtschaftsgesetz (AWG), in Kraft. Dieses Bundesgesetz und die darauf basierenden Verordnungen haben sowohl direkte als auch indirekte Auswirkungen auf die Umsetzung der thermischen Behandlung von heizwertreichen Abfällen in Österreich.

In den gesetzlich verankerten Grundsätzen zur Abfallwirtschaft (§ 1 Abs. 2) wird ausdrücklich festgehalten, daß Abfälle in erster Linie zu vermeiden und bereits entstandene Abfälle stofflich oder thermisch zu verwerten sind, soweit dies ökologisch sinnvoll, wirtschaftlich machbar (keine unverhältnismäßigen Kosten; vorhandener Markt für entstehende Produkte bzw. Energie) und technisch möglich ist. Erst nach Ausschöpfen von Vermeidungs- und Verwertungspotentialen sind Abfälle nach entsprechender Behandlung zu entsorgen [25]. Damit hält das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz klar fest, daß der Verwertung von Abfällen gegenüber deren Entsorgung der Vorrang zu geben ist.

In einem ersten Schritt sollen die rechtlichen Bestimmungen erläutert werden, die - obwohl nicht direkt relevant für die thermische Behandlung - den abfallwirtschaftlichen Trend hin zu thermischen Behandlungsverfahren beeinflussen. Nachfolgend wird auf die unmittelbar für die thermische Behandlung relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen eingegangen.

Im Kapitel 2.3 werden die Begriffe „thermische Behandlung“, „thermische Beseitigung“, „thermische Verwertung“ sowie "Mitverbrennung", „Abfall“ und „Reststoff“ näher erläutert.

2.1 Regelwerke, welche die thermische Behandlung indirekt betreffen

Abgesehen vom Abfallwirtschaftsgesetz kommen noch weitere bundesgesetzliche Bestimmungen, welche die gegenwärtige und zukünftige Bedeutung der thermischen Behandlung beeinflussen, in der jeweils geltenden Fassung (i.d.g.F.) zum Tragen [26]:

- Deponieverordnung (DVO), BGBl. Nr. 164/1996
- Altlastensanierungsgesetz (AISAG) - Novelle, BGBl. Nr. 201/1996
- Wasserrechtsgesetz (WRG) - Novelle - Deponien, BGBl. Nr. 59/1959 (Bestimmungen wurden mit der AWG-Novelle Deponien mit 1. Januar 2001 in das AWG übernommen)

Durch diese Regelungen werden die Rahmenbedingungen für die Ablagerung von Abfällen festgelegt.

Die im April 1996 erlassene österreichische Deponieverordnung untersagt ab dem Jahr 2004 (bzw. bei Inanspruchnahme der Verordnungskompetenz der Landeshauptleute 2009) die Ablagerung von Abfällen, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) mehr als fünf Massenprozent bezogen auf die Trockensubstanz beträgt. Ausgenommen davon sind jedoch Abfälle aus mechanisch-biologischer Vorbehandlung, sofern der aus der Trockensubstanz bestimmte obere Heizwert weniger als 6.000 kJ/kg beträgt. Diese Regelungen sind in Hinblick auf die notwendige Vorbehandlung von Abfällen vor der Ablagerung wesentlich [27].

Durch die Novelle des Altlastensanierungsgesetzes (1996) wurde ein Instrument geschaffen, das durch ökonomische Anreize eine möglichst rasche Anpassung an den Stand der Technik forciert. Während zuvor ausschließlich die Art der Abfälle für die Abgabenhöhe maßgeblich war, ist nunmehr einerseits die Ausstattung der Deponie und andererseits die Qualität der Abfälle entscheidend. Es werden Altlastenbeiträge je nach dem Stand der Anpassung in gestaffelter Höhe vorgeschrieben. Dadurch wird ein marktwirtschaftlicher Lenkungseffekt hin zu Deponien, die dem Stand der Technik angepaßt sind bzw. zu Abfallbehandlungsverfahren, die die Menge des abzulagernden Abfalls stark vermindern (\Rightarrow thermische Behandlungsverfahren), erzielt (vgl. Abbildung 2.1) [28].

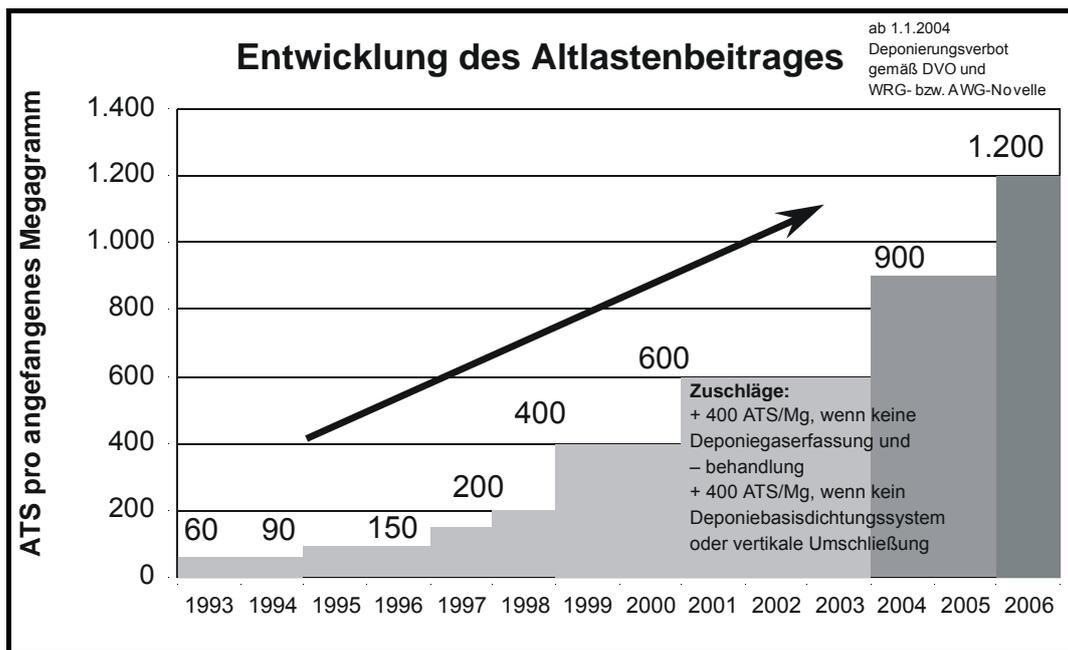


Abbildung 2.1: Entwicklung des Altlastenbeitrages [28]

Durch die WRG - Novelle - Deponien wurde festgelegt, daß die bestehenden Deponien in mehreren Schritten dem Stand der Technik angepaßt werden müssen.

Eine Deponierung von unbehandelten Restabfällen ist nur noch bis Ende des Jahres 2003 möglich [29]. Die vormals im § 31d Abs. 7 WRG geregelten Ausnahmen von dieser Vorbehandlungspflicht wurden mit der AWG-Novelle Deponien ins AWG übernommen und sind im § 45a Abs. 7 AWG festgelegt. Der Landeshauptmann kann demzufolge unter Bedachtnahme

auf die wasser- und abfallwirtschaftlichen Erfordernisse durch Verordnung die Anpassungsfrist bis 31. Dezember 2008 verlängern [30].

Die Ausschöpfung dieser Verordnungsermächtigung wird dazu führen, daß über den 1. 1. 2004 hinaus weiterhin heizwertreiche Abfälle in beträchtlichem Ausmaß auf Deponien abgelagert werden. Denn die gesetzliche Regelung schränkt das Verordnungsrecht nicht auf solche Abfälle ein, die im jeweiligen Bundesland (örtlicher Geltungsbereich der Verordnung) angefallen sind [31]. Die Ungewißheit über die Inanspruchnahme der Verordnungsrechts stellt aufgrund der daraus resultierenden Planungsunsicherheit gegenwärtig Investitionen in thermische Abfallbehandlungsanlagen vielfach in Frage.

Vorerst kann eine Verfüllung der bestehenden Deponien bei weiterem Preisverfall erwartet werden, da die durch die WRG - Novelle geforderten Anpassungen von Deponien sehr kostenintensiv sind und von vielen Deponiebetreibern nicht mehr durchgeführt werden. Dies führt dazu, daß diese Deponien nur mehr bis zum 1. 1. 2004 betrieben werden dürfen. Das Interesse der Deponiebetreiber ist die vollständige Verfüllung des restlichen Deponievolumens in der verbleibenden Zeit.

Wesentliches Ziel aller voran genannter gesetzlicher Bestimmungen ist es, die zu deponierenden Abfallmengen zu minimieren und damit den Verbrauch an Deponievolumen so gering wie möglich zu halten. Diese Bestimmungen bedingen zwingend obwohl nicht explizit festlegend eine steigende Bedeutung thermischer Verfahren in der Abfallbehandlung.

2.2 Regelwerke, welche die Abfall-(mit-)verbrennung direkt betreffen

Neben den die thermische Behandlung indirekt beeinflussenden Gesetzen gibt es eine Reihe von rechtlichen Rahmenbedingungen, die direkten Einfluß auf die Abfall-(mit-)verbrennung haben [26]. Besonders hervorgehoben werden sollen an dieser Stelle jedoch ausschließlich die genehmigungs- sowie emissionsschutzrechtlich relevanten Bestimmungen.

Folgende Gesetze gehören zu den für die Genehmigung einer thermischen Behandlungsanlage relevanten rechtlichen Regelungen:

- Abfallwirtschaftsgesetz (AWG), BGBl. Nr. 325/1990
- Gewerbeordnung (GewO), BGBl. Nr. 194/1994
- Mineralrohstoffgesetz (MinRoG; vormals Berggesetz (BergG)), BGBl. Nr. I 1999/38
- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP), BGBl. Nr. 697/1993

Für die Begrenzung von Emissionen für einzelne Branchen und Anlagen bestehen unterschiedlich strenge Rechtsgrundlagen. Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick:

- Luftreinhaltengesetz für Kesselanlagen (LRG - K), BGBl. Nr. 380/1988
- Branchenverordnungen nach § 82 GewO
- Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle, BGBl. II Nr. 22/1999

- Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen, BGBl. II Nr. 32/1999
- Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates über die Verbrennung von Abfällen, Richtlinie 2000/76/EG

Genehmigungsrechtliche Bestimmungen

In Österreich wird derzeit gemäß den geltenden gesetzlichen Grundlagen durch die Abfallart und Einsatzmenge bestimmt, nach welchen rechtlichen Grundlagen eine Anlage zur (Mit-)Verbrennung von Abfällen zu genehmigen ist.

Dabei kann lt. Himmel [32] von folgendem Raster ausgegangen werden (vgl. Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Übersicht über die Rechtsgrundlagen für die Bewilligung einer Betriebsanlage zur (Mit-)Verbrennung von Abfällen bzw. Alternativbrennstoffen (ABS) [32, aktualisiert und modifiziert]

Mitverbrennung von ...	Einsatzmenge	Rechtsgrundlage
... <i>nicht gefährlichen Abfällen</i> in einer <u>gewerblichen</u> Betriebsanlage	< 10.000 Mg/a	GewO
... <i>nicht gefährlichen Abfällen</i> in einer <u>bergrechtlich</u> genehmigten Betriebsanlage <ul style="list-style-type: none"> • ehemals (vor Erlass des MinRoG) • derzeit (nach Erlass des MinRoG) 	< 10.000 Mg/a	BergG GewO
... <i>nicht gefährlichen Abfällen</i> (generell)	> 10.000 Mg/a	AWG
... <i>nicht gefährlichen Abfällen</i> <ul style="list-style-type: none"> • vor UVP-G-Novelle 2000 • nach UVP-G-Novelle 2000 	> 20.000 Mg/a > 35.000 Mg/a	UVP-G
... <i>gefährlichen Abfällen</i> <ul style="list-style-type: none"> • vor UVP-G-Novelle 2000 • nach UVP-G-Novelle 2000 	ab dem 1. Megagramm ab dem 1. Megagramm > 1.000 Mg/a	AWG & UVP-G AWG AWG & UVP-G
... <i>gefährlichen oder nicht gefährlichen Abfällen</i> <u>betriebsintern!</u> (fällt aus dem Abfallregime heraus)	-	GewO
... <i>aus Abfällen hergestellten Alternativbrennstoffen</i> , die aufgrund ihrer Qualität als Produkt zu bewerten sind (z.B. Anerkennung der „Nichtabfalleigenschaft“ gem. § 4 AWG)	-	GewO

Vor allem aufgrund des Umstands, daß Anlagengenehmigungen nach dem AWG bzw. nach dem UVP-G im Vergleich zu einer Anlagengenehmigung nach der Gewerbeordnung derzeit wesentlich aufwendiger, langwieriger und öffentlichkeitswirksamer (erweiterter Kreis von Parteien) durchgeführt werden müssen, zeichnet sich in Österreich ein Trend ab, die Mitverbrennung von Abfällen auf der Ebene der Gewerbeordnung abzuhandeln. Dies kann erfolgen, in dem die Mengenschwelle von 10.000 Mg/a nicht überschritten wird oder die einzusetzenden Alternativbrennstoffe durch entsprechende Aufbereitung und Qualitätssicherung eventuell in den Produktstatus gehoben werden. Gerade die Frage der Produkteigenschaft von Alternativbrennstoffen (ABS) und damit das Entfallen abfallrechtlicher Bestimmungen ist von großer praktischer Relevanz und wird heute sehr stark diskutiert.

Sowohl national (Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger (ÖG-SET) [6]; Österreichisches Normungsinstitut FNA157AG13 „Brennstoff aus Abfall“ [19]) als auch international (CEN TF118 [18], Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe [15], Finnischer Standard für Ersatzbrennstoffe [17], ...) wird an der Erstellung von Normen und Standards für Alternativbrennstoffe gearbeitet bzw. wurden solche auch schon herausgegeben. Diese sollen einen kontrollierten Einsatz qualitätsgesicherter Alternativbrennstoffe, welcher sowohl ökologisch als auch ökonomisch zu befürworten ist, durch die Schaffung vertraglicher Grundlagen zwischen ABS-Hersteller (Abfallbesitzer) und dem Betreiber thermischer Behandlungsanlagen bzw. durch die Festlegung prozeßtechnischer sowie ökologisch notwendiger Standards für ABS erleichtern.

Emissionsschutzrechtliche Bestimmungen

Für verschiedene Anlagen und unterschiedliche Branchen existieren derzeit verschiedene Rechtsgrundlagen für die Begrenzung von Emissionen. Dies führt immer wieder zu kontroversen Diskussionen zwischen Betreibern von Mono- und Mitverbrennungsanlagen, wobei hier jedoch in vielen Fällen wirtschaftliche Interessen bzw. Überlegungen im Vordergrund stehen.

Die folgenden Tabellen 2.2 und 2.3 geben dazu einen Überblick.

Tabelle 2.2: Nationale und europäische Rechtsvorschriften zur Emissionsbegrenzung bei der Verbrennung von Abfällen und Altölen [32, aktualisiert]

Tatbestand	Rechtsvorschrift
Verbrennung von <i>Abfällen</i> in Müllverbrennungsanlagen (<u>Dampfkessel-Altanlagen</u>)	<ul style="list-style-type: none"> Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen (BGBl. Nr. 380/1988 i.d.g.F.)
Verbrennung von <i>Abfällen</i> in Müllverbrennungsanlagen (<u>Dampfkessel-Neuanlagen</u>)	<ul style="list-style-type: none"> Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen (BGBl. Nr. 19/1989 i.d.g.F.)
Anlagen zur Verbrennung von <i>Altöl</i> (sofern die Verbrennung <u>nicht in Dampfkesselanlagen</u> erfolgt)	<ul style="list-style-type: none"> Verordnung des BMwA vom 17. Juli 1987 über die Durchführung des Altölgesetzes 1986 (Altölverordnung) (BGBl. Nr. 383/1987) <p><i>(gilt noch aufgrund einer Übergangsregelung nach § 44 Abs. 2 und 5 AWG)</i></p>
EU-Vorgaben zur Verbrennung <i>nicht gefährlicher Abfälle</i>	<ul style="list-style-type: none"> EU-Richtlinie 89/369/EWG des Rates über die Verhütung der Luftverunreinigung durch neue Verbrennungsanlagen für Siedlungsmüll EU-Richtlinie 89/429/EWG des Rates über die Verringerung der Luftverunreinigung durch bestehende Verbrennungsanlagen für Siedlungsmüll
EU-Vorgaben zur Verbrennung <i>gefährlicher Abfälle</i> und nationale Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> EU-Richtlinie 94/67/EG des Rates vom 16. Dezember 1994 über die Verbrennung gefährlicher Abfälle Verordnung des BMUJF über die Verbrennung von gefährlichen Abfällen (BGBl. II Nr. 22/1999) Verordnung des BMwA über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen (BGBl. II Nr. 32/1999)
EU-Vorgaben zur Verbrennung von (gefährlichen und nicht gefährlichen) <i>Abfällen</i> - <u>die alle bisherigen RL über die Verbrennung von Abfällen ersetzt</u>	<ul style="list-style-type: none"> EU-Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Verbrennung von Abfällen

Tabelle 2.3: Beispiele für Rechtsvorschriften zur Begrenzung von Emissionen bei industriellen Feuerungsanlagen und Kraftwerken [32]

Art der Feuerungsanlage	Rechtsvorschrift
gewerblichen Anlagen zur Zementerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Verordnung des BMWA über die Begrenzung von Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen zur Zementerzeugung (BGBl. Nr. 63/1993)
bergrechtlichen Anlagen zur Zementerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> • Verordnung des BMWA über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen zur Zementerzeugung im Bergbau (BGBl. Nr. 85/1994)
Anlagen zur Erzeugung von Ziegel	<ul style="list-style-type: none"> • Verordnung des BMWA über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Brennöfen zur Ziegelerzeugung in gewerblichen Betriebsanlagen und Bergbauanlagen (BGBl. Nr. 720/1993)
Anlagen zur Erzeugung von Eisen und Stahl	<ul style="list-style-type: none"> • Verordnung des BMWA über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen zur Erzeugung von Eisen und Stahl (BGBl. II Nr. 160/1997)
Kraftwerke und sonst. Großfeuerungsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Feuerungsanlagen-Verordnung – FAV (BGBl. II Nr. 331/1997)

In der am 4. Dezember 2000 erlassenen EU-Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen sind sowohl Bestimmungen für die sicherzustellenden Betriebsbedingungen als auch Emissionsgrenzwerte festgehalten. Diese Regelungen gelten sowohl für die Verbrennung von gefährlichen als auch nicht gefährlichen Abfällen und sind unabhängig von der Branche und Art der Anlage einzuhalten (Anhang II enthält anlagenabhängige Sonderregelungen). Diese Richtlinie ist bis spätestens 28. Dezember 2002 ins nationale Recht überzuführen und wird insofern zu einer Vereinheitlichung der Bestimmungen für Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen beitragen.

Neben den hier angeführten Rechtsvorschriften sind für thermische Abfallbehandlungsanlagen insbesondere auch die Störfallverordnung, die mit der UVP-G Novelle 2000 umgesetzte IPPC-RL und Arbeitsschutzvorschriften von besonderer Bedeutung.

2.3 Begriffsbestimmungen

In diesem Abschnitt sollen die Begriffe „Abfall“ und „Reststoff“, „Mitverbrennung“ sowie „thermische Behandlung“ (⇒ „thermische Verwertung“ bzw. „thermische Beseitigung“) definiert werden.

Abfall – Reststoff

In den derzeit geltenden rechtlichen Regelungen auf europäischer sowie nationaler Ebene besteht ein Unterschied hinsichtlich der Definition des Begriffs „Abfall“. Während in der österreichischen Gesetzgebung innerbetrieblich behandelte Abfälle (⇒ „Reststoffe“) nicht in den Regelungsbereich des Abfallwirtschaftsgesetzes fallen, und daher auf die zur Anwendung kommenden Behandlungsmaßnahmen auch nicht die Bestimmungen des AWG und der auf dem AWG basierenden Verordnungen heranzuziehen sind, hat dies bei außerbetrieblich behandelten Abfällen (⇒ „Abfälle“ bzw. „Abfälle lt. AWG“) sehr wohl zu erfolgen.

Diese dem Gemeinschaftsrecht widersprechende Definition des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes ist Gegenstand eines derzeit am europäischen Gerichtshof anhängigen

Verfahrens [33]. Eine Einbeziehung innerbetrieblicher Abfälle in den Abfallbegriff des AWG hätte gravierende Konsequenzen für die österreichische Industrie zur Folge.

Mitverbrennung

Analog dem Begriff „Mitverbrennungsanlage“ gemäß der EU-RL über die Verbrennung von Abfällen ist unter Mitverbrennung

- die Verwendung von Abfall als Regel- oder Zusatzbrennstoff oder
- die thermische Behandlung von Abfall in Hinblick auf eine Beseitigung

in ortsfesten oder nicht ortsfesten Anlagen, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht, zu verstehen [34].

Thermische Behandlung (⇒ thermische Beseitigung – thermische Verwertung) [14]

Obwohl es verschiedentlich Anhaltspunkte einer Begriffsabgrenzung gibt, scheinen diese sowohl auf europäischer als auch nationaler Ebene zu wenig konkret. Eine klare Abgrenzung dieser Begriffe wäre unbedingt erforderlich, da dies die Genehmigungsvoraussetzungen von Anlagen sowie die Möglichkeiten des Abfalleinsatzes in diversen Anlagen und den grenzüberschreitenden Transport beeinflusst.

Auf europäischer Ebene sind Bestrebungen einer Konkretisierung der Abgrenzung der Behandlungswege „thermische Verwertung (R1)“ sowie „thermische Beseitigung (D10)“ ins Stocken geraten. Es wird hier versucht, durch entsprechende Arbeiten auf nationaler Ebene neue Impulse zu geben.

Nach dem Verständnis des Arbeitsausschuß „Thermische Behandlung von Abfällen“ des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbands (ÖWAV) sind unter dem Begriff „thermische Behandlung“ sowohl Beseitigungs- als auch Verwertungsmaßnahmen zu subsumieren.

Gemäß eines am 29. März 2001 beschlossenen, im Vorfeld sehr kontrovers diskutierten Positionspapiers dieses Ausschusses ist eine Abgrenzung zwischen der thermischen Verwertung und der thermischen Beseitigung aus technischer Sicht von einer Vielzahl sowohl abfallbezogener als auch anlagenbezogener Kriterien abhängig zu machen [14].

Im österreichischen Recht ist die thermische und stoffliche Abfallverwertung in § 2 AWG nicht näher definiert, in der Regierungsvorlage zum AWG 1990 findet man jedoch weiterführende Erklärungen [35]:

- Demnach umfaßt die Abfallverwertung die Verwertung von Sekundärrohstoffen, von biogenen Abfallstoffen und von Energieinhalten.
- Außerdem wird festgehalten, was unter „Behandeln“ zu verstehen ist:
 - das thermische oder stoffliche Verwerten
 - das Deponieren
 - die sonstige Behandlung (biologisch, chemisch-physikalisch, ...)

Interessante Begriffserklärungen enthält auch der § 2 XIII eines Durchführungserlasses des BMUJF:

„Unter dem Begriff „Verwertung“ wird die Behandlung von Abfällen verstanden, bei der die Gewinnung von Produkten oder Energie im Vordergrund steht. Diese Behandlung kann biologische, chemische, physikalische und thermische Verfahrensschritte umfassen. Der Begriff der Verwertung läßt sich in stoffliche und thermische Verfahren trennen. ...

Bei der „thermischen Verwertung“ steht die Energiegewinnung sowie Energienutzung definierter Stoffe oder Stoffgruppen im Vordergrund (unmittelbarer Einsatz der Abfälle als Ersatz konventioneller Brennstoffe, wobei die stoffliche Zerstörung oder Fixierung von Schadstoffen eine untergeordnete Rolle spielt). Demgegenüber ist eine thermische Behandlungsanlage (Abfallverbrennungsanlage) darauf ausgerichtet, die Endlagerungsfähigkeit von Abfällen sicherzustellen und eine Mengen- oder Massenreduktion sowie den Abbau der organischen Substanzen zu erreichen. Abfallverbrennungsanlagen sind in Richtung einer Schadstoffreduktion bzw. Immobilisation optimiert; lediglich der verbleibende Rest an Energie kann für die Nutzung herangezogen werden. Diese Energienutzung stellt einen günstigen Nebeneffekt dar.“ [36]

Im Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 wurde eine Bewertungsvariante dargestellt, um festzustellen, ob eine Verwertung im Sinne des AWG vorliegt oder nicht. Anhand einer Bewertungsmatrix werden die wichtigsten Fragen bearbeitet [37], und zwar:

- Handelt es sich um eine Zerstörung bzw. Immobilisierung von Schadstoffen?
- Wie groß ist die Schonung der Rohstoffressourcen?
- Wie groß ist die Schonung der Energieressourcen?
- Wie groß ist die Schonung des Deponieraumes?
- Ist das Verfahren ökologisch zweckmäßig?
- Ist das Verfahren ökonomisch zweckmäßig?

Im § 2 der Verpackungsverordnung (i.d.g.F.) wird die thermische Verwertung wie folgt definiert:

„Die thermische Verwertung ist die Verwendung von brennbarem Verpackungsabfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung mit oder ohne Abfall anderer Art, jedenfalls mit Rückgewinnung der Wärme.

Jedenfalls sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- die Einhaltung vorgegebener Emissionsstandards;
- die Einhaltung des Emissionsgrenzwertes für Dioxin/Furan-Verbindungen von 0,1 ng TE/Nm³;
- keine Verschlechterung der Emissionsverhältnisse der Anlage;
- die Ressourcenschonung durch Ersatz von konventionellen Brennstoffen;
- eine optimale Nutzung des Energieinhaltes aller Einsatzstoffe und
- eine definierte Qualität aller Einsatzstoffe.“ [38]

Gemäß diesen Bestimmungen ist auszuschließen, daß unvorbehandelter Restabfall infolge seiner Heterogenität einer thermischen Verwertung im Sinne dieser Verordnung zugeführt werden kann. In diesem Fall wird von einer thermischen Behandlung zu sprechen sein.

Aufgrund dieser derzeit noch nicht klar definierten Abgrenzung soll in der vorliegenden Dissertation ausschließlich von thermischer Behandlung die Rede sein. Da es sich bei der Anlage, in welcher die großtechnischen Verbrennungsversuche (vgl. Kapitel 5) durchgeführt wurden, um eine industrielle Feuerungsanlage (biomassebefeuertes Industriekraftwerk) handelt, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung liegt, ist bei dieser Anlage im Sinne der EU-RL über die Verbrennung von Abfällen von einer Mitverbrennungsanlage zu sprechen.

2.4 Praktische Konsequenzen der rechtlichen Situation

Das Maßnahmenpaket zur Ablagerung von Abfällen sowie die Mitverbrennungsgesetzgebung führen neben einer klaren Favorisierung thermischer Abfallbehandlungsverfahren zu einer Vereinheitlichung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die thermische Behandlung von Abfällen. Die Festlegung signifikant höherer Altlastenbeiträge ab dem Jahr 2004 sowie das Erkennen des Potentials der thermischen Behandlung für den Klimaschutz sind ebenfalls ein eindeutiges politisches Bekenntnis zur Verfolgung der thermischen Abfallbehandlung.

Zusätzlich zu diesen hauptsächlich ökologisch begründeten politischen Signalen wurde in verschiedenen Branchen auch das wirtschaftliche Potential der Verwendung von Abfallbrennstoffen erkannt.

Durch die gesetzlich zugelassene Möglichkeit der mechanisch-biologischen Abfallvorbehandlung (MBA) ist anzunehmen, daß in Österreich die Bedeutung der Erzeugung von hochqualitativen, spezifizierten Abfallbrennstoffen durch Optimierung der mechanischen Behandlungsstufe im Rahmen der MBA sowie in eigenen Anlagen zur Herstellung von Alternativbrennstoffen zunehmen wird. Auch das rege Interesse der Wirtschaft an der Erarbeitung von Spezifikationen für Abfallbrennstoffe sowie am Thema der Mitverbrennung allgemein lassen dies vermuten.

Bundespolitisch sind die Weichen in Richtung der thermischen Behandlung von Abfällen gegebenenfalls in Kombination mit der MBA gestellt und es werden auch klare Signale der Exekution dieser Regelungen gegeben. Die Inanspruchnahme der Verordnungskompetenz des Tiroler Landeshauptmanns stellt die vollständige Umsetzung der Deponieverordnung in Frage, sie wird jedoch auf Bundesebene als nicht rechtens angesehen und könnte jederzeit per Weisung durch den Bundesminister (BMLFUW) wieder aufgehoben werden.

Abschließend ist festzustellen, daß sowohl Signale aus der Wirtschaft als auch der Politik ein deutliches Steigen der Bedeutung der Mitverbrennung bzw. der thermischen Abfallbehandlung erwarten lassen.

3 Bedeutung der Wirbelschichttechnologie in der Abfallwirtschaft

Dieses Kapitel der vorliegenden Dissertation soll nach einem kurzen Abriß der historischen Entwicklung der Wirbelschichttechnologie aufzeigen, in welchen Fällen diese Technologie einen sinnvollen Beitrag zur Lösung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen leisten kann. Wesentlich dabei ist auch die Darstellung der Stärken und Schwächen dieses Verfahrens sowie die Erarbeitung relevanter Kriterien zur Beurteilung der betriebswirtschaftlichen Sinnhaftigkeit aber auch der ökologischen Verträglichkeit der thermischen Behandlung von Abfallbrennstoffen in einer konkreten Wirbelschichtanlage.

3.1 Historische Entwicklung

Die Entwicklung der Wirbelschichttechnik begann in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts. Sie fand in den Anfängen vor allem im Bereich chemischer Prozesse sowie bei der Verhütung sulfidischen Eisenerzes und später auch für die Vergasung von Kohlen (Winkler-Generator 1921) Anwendung. Erst ab ca. 1970 wurde diese Technik auch für Verbrennungsprozesse in Kraftwerken angewandt. Ab Mitte der 80er Jahre kam es zu einer relativ stürmischen Entwicklung, wobei vor allem der Übergang von der stationären zur zirkulierenden Wirbelschicht als wesentlich anzusehen ist [39; 40; 41].

Die Verwendung der Wirbelschichttechnik zur Verbrennung von Klärschlämmen und internen Reststoffen wird in Österreich schon seit ca. 20 Jahren praktiziert. Die thermische Behandlung von (aufbereiteten) Fraktionen von Restabfällen bzw. anderen heizwertreichen Abfällen in Wirbelschichtanlagen (WS-Anlagen) begann in Österreich im Wesentlichen erst 1998 mit der Inbetriebnahme der WS-Anlage der RVL-I GmbH in Lenzing. Vor allem in Japan aber auch in Schweden – anders als in Mitteleuropa – hat sich die Wirbelschichttechnik schon seit längerem zur Behandlung von Abfällen durchgesetzt. Dies veranschaulicht die große Anzahl an Wirbelschichtanlagen zur Abfallentsorgung in Japan (bereits 1996 > 70 Anlagen). Der Grund liegt in einer durch eine andere Sammelpraxis verursachte unterschiedliche Zusammensetzung des japanischen Hausmülls [42]. Auch in Berlin (BRD) werden drei WS-Anlagen zur Verbrennung bzw. thermischen Behandlung von kontaminiertem Holz und Böden sowie der Leichtfraktion aus Hausmüll betrieben [43].

Eine direkte Übertragung der Wirbelschichttechnologie auf mitteleuropäischen Abfall scheint – wie das Beispiel der WS-Anlage in Madrid zeigt [42] – nicht ohne weiteres möglich zu sein. Es ist anzunehmen, daß die Bedeutung der Wirbelschichttechnik in Österreich mit der zunehmenden Bedeutung der mechanischen Trennstufen in den Mechanisch-Biologischen Restabfallsplittingsanlagen als Konsequenz der Deponieverordnung stark steigen wird. Dieses Faktum kommt in Österreich aufgrund der geringen vorhandenen Kapazitäten an klassischen Müllverbrennungsanlagen umso stärker zum Tragen. Aufgrund der bestehenden Kapazitäten an Wirbelschichtfeuerungsanlagen sowie der Attraktivität von industriellen Abfallverbrennungsanlagen nach dem Prinzip der Wirbelschicht ist mit einer steigenden Bedeutung dieser Technik im Rahmen der Lösung von abfallwirtschaftlichen Fragestellungen zu rechnen (vgl. Kapitel 3.5.2).

3.2 Verfahrensvarianten

3.2.1 Wirbelschichtverbrennung

Die Wirbelschichttechnologie ist im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik, bei Trocknungsprozessen und bei der Kohlevergasung technisch erprobt. Aufgrund der großen Mengen sowohl an stückigen als auch pastösen, teilweise niederkalorischen Reststoffen hat sich die Verwendung von Wirbelschichtfeuerungen zur Energiegewinnung in der Papier-, Zellstoff- und auch der Faserplattenindustrie als zweckmäßig erwiesen und durchgesetzt. Diese Wirbelschichtkessel können sowohl mit konventionellen Brennstoffen (Kohle, Heizöl) als auch mit Reststoffen (Rinden, Holzabfälle, Klärschlamm, ...) beschickt werden.

Der Brennstoff wird, im Bedarfsfall aufbereitet, dem inerten Bettmaterial zugeführt und mit diesem gemeinsam fluidisiert. Damit geht eine gute Durchmischung (guter Stoff- und Wärmeübergang) einher, wodurch eine optimale Verbrennung gewährleistet ist.

In Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffs und der Betriebsweise ist die Wirbelschichttechnologie in der Lage, ohne Rauchgasentschwefelungsanlage oder Maßnahmen zur NO_x-Minderung die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte zu erreichen [44].

Die Vorteile von Wirbelschichtfeuerungsanlagen sind [45; 46]:

- außerordentlich hohe Flexibilität gegenüber wechselnden Brennstoffqualitäten (Heizwert: z. B: 6 - 29 MJ/kg (RVL), Wassergehalt, stoffliche Zusammensetzung)
- hoher Wärmeaustausch ⇒ schnelle Zündung, guter Ausbrand
- einfache Abscheidung von Schwefel aus dem Rauchgas durch Kalkstein- bzw. Dolomitzugabe zum Wirbelbett
- niedrige verfahrensspezifische NO_x – Werte (200 mg/Nm³) durch relativ niedrige Verbrennungstemperaturen (700 - 900 °C) infolge der guten Wärmeleitfähigkeit im Bett und einer stufenförmigen Verbrennung erreichbar
- niedriger Luftüberschuß ($\lambda = 1,1 - 1,3$), vergleichsweise geringe Rauchgasmenge
- hohe Wärmeleitfähigkeit im Wirbelbett; ermöglicht die Installation von Tauchheizflächen (⇒ kompakte Bauweise ⇒ niedrige Investitionskosten)
- einfache Regelung der Verbrennung durch Primär- und Sekundärluft sowie Rauchgasrückführung möglich (gleichmäßiges Temperaturniveau)
- intensive Durchmischung von Brennstoffen und Bettmaterial inhibiert das Entstehen einer reduzierenden Umgebung (Glutnester, CO-Strähnen, Schwelzustände)
- Bettasche fällt trocken an
- keine beweglichen Einbauten im Feuerraum
- Schwankungen bei der Beschickung werden durch die hohe Wärmekapazität des Wirbelbetts ausgeglichen

Als Nachteile wären zu erwähnen:

- Notwendigkeit eines relativ homogenen Brennstoffs (Korngröße bzw. Dichte)
⇒ Brennstoffaufbereitung notwendig
- Gefahr von Erosionen im Feuerraum und nachgeschalteten Anlagenteilen
- bei großen Querschnitten Probleme mit der Querverteilung des Brennstoffs
- Erfordernis hoher Lüfterleistung

Die in Österreich zum Einsatz kommenden Systeme der Wirbelschichtfeuerung lassen sich im Wesentlichen in stationäre und zirkulierende Systeme einteilen. Eine definierte Bettoberfläche und eine hohe Feststoffdichte kennzeichnen stationäre WS-Anlagen (SWS), wobei die Gasgeschwindigkeit zur Fluidisierung des Bettmaterials im Bereich von 1 bis 2 m/s liegt (vgl. Abbildung 3.1). Zur Wärmeauskoppelung werden Tauchheizflächen im Wirbelbett bzw. Verdampfer und Überhitzer in den nachgeschalteten Bereichen installiert.



Abbildung 3.1: Verfahrensprinzip der stationären Wirbelschicht

Zirkulierende WS-Anlagen (ZWS) können kompakter und somit kostengünstiger gebaut werden. Gasgeschwindigkeiten von bis zu 8 m/s führen dazu, daß die Teilchen vom Gasstrom aufwärts getragen werden und sich das Wirbelbett somit über den gesamten Feuerraum erstreckt (vgl. Abbildung 3.2). Hier existiert kein definiertes Wirbelbett. Mit zunehmender Höhe nimmt die Feststoffbeladung ab. Die Wärmeauskoppelung erfolgt hier über die Brennkammerwände, über eingebaute Schottheizflächen und über Heizflächen zur Kühlung der rezirkulierten Asche [47].

Bei einer ZWS-Anlage wird der Feststoff in einem der Wirbelschicht nachgeschalteten Zyklon abgeschieden und in den unteren Bereich der Wirbelschicht wieder zurückgeführt. Der große Vorteil der zirkulierenden Wirbelschicht liegt in der Temperaturkonstanz dieses Kreislaufes,

der durch die große Wärmekapazität der umlaufenden Feststoffmasse erzwungen wird. Die Kontaktzeit zwischen Feststoff und Gas ist entscheidend für die Verbrennung und den Entschwefelungsvorgang. Bei SWS-Anlagen ist diese durch die geringe Wirbelbetthöhe ($< 1,5$ m) auf 0,5 Sekunden begrenzt. Bei ZWS-Anlagen kann die gesamte Feuerraumhöhe genutzt werden, womit die Kontaktzeit auf bis zu 5 Sekunden ansteigt. Damit geht eine kompakte Bauweise bei höherer Querschnittsbelastung (bis zu 7 MW/m^2) und ein geringerer Additivbedarf zur Entschwefelung einher. Zum Vergleich ist die Querschnittsbelastung bei SWS-Anlagen nach oben mit $1,6 \text{ MW/m}^2$ begrenzt, und entspricht damit der Größenordnung einer Rostfeuerung [47]. Ein Nachteil der zirkulierenden Wirbelschicht besteht in der Forderung nach einem relativ engen Korngrößenspektrum.

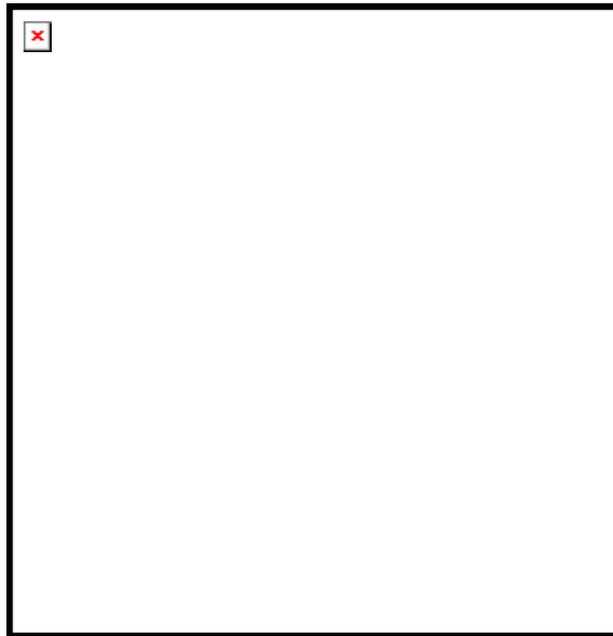


Abbildung 3.2: Verfahrensprinzip der zirkulierenden (oder schnellen) Wirbelschicht

Erosion und Korrosion der Tauchheizflächen, welche im Wirbelbett angeordnet sind, wie dies in SWS-Anlagen der Fall sein kann, sind ein Grund für deren Verdrängung durch zirkulierende Systeme. SWS-Anlagen ohne Tauchheizflächen eignen sich für den Einsatz von Brennstoffen mit geringem Heizwert und damit niedrigen adiabaten Verbrennungstemperaturen wie z.B. für die Monoverbrennung von Klärschlamm [47].

Neben dem Verfahren der extern zirkulierenden Wirbelschicht findet man auch das System der intern zirkulierenden Wirbelschicht, in weiterer Folge als Turbowirbelschicht (TWS) bezeichnet (vgl. Abbildung 3.3). Dieses von der Simmering – Graz - Pauker AG gemeinsam mit der Technischen Universität Wien entwickelte Verfahren [48] eignet sich besonders für höherkalorische und schwierig zu beherrschende Abfallbrennstoffe [43]. Die Verwendung dieses Prozesses der thermischen Abfallbehandlung konzentriert sich auf Mitteleuropa. Es wurden bisher drei Anlagen realisiert (Funder Industrie Ges.m.b.H. (A: 1990), Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen (RENI, CH: 1995) und SICET S.R.L (I: 1998)) [42].

Das Wirbelbett wird durch eine Trennwand in einen langsam und einen schnell fluidisierten Bereich geteilt. Die Brennstoffzufuhr erfolgt im Unterdruckbereich des langsamen Bettes und

der Brennstoff wird dort getrocknet und vorentgast. Über eine Verbindungsöffnung gelangt das Brennstoff-Sand-Gemisch in den schnell fluidisierten Bereich, wo die Hauptverbrennung stattfindet. Diesem ist ein Partikelabscheider nachgeschaltet, womit die Trennung von Rauchgas und Feststoff erfolgt. Der Feststoff fällt auf das langsame Bett zurück und wird sofort wieder in die Wirbelschicht eingemischt [43].

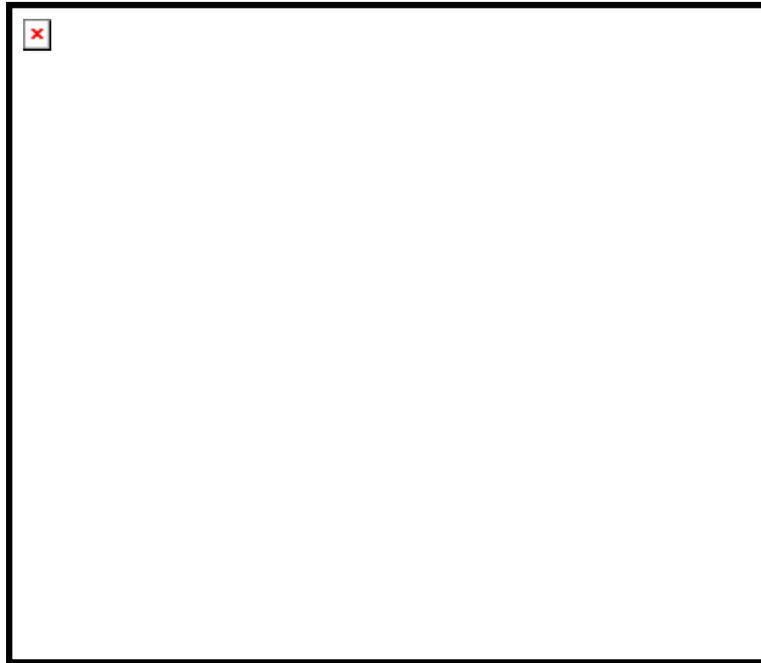


Abbildung 3.3: Verfahrensprinzip der Turbowirbelschicht [43]

Das in Österreich derzeit nicht zur Anwendung kommende Verfahren der rotierenden Wirbelschicht sei der Vollständigkeit halber erwähnt, es soll hier aber nicht näher darauf eingegangen werden.

3.2.2 Wirbelschichtvergasung

Vergasungssysteme haben einen unterschiedlichen Entwicklungsgrad. Alle Verfahren verlangen aber, daß der zu vergasende Abfall vergasungsgerecht zu konfektionieren ist [44]. Der kohlenstoffhaltige Brennstoff wird unter Zugabe eines Oxidationsmittels (Luft, Sauerstoff, Wasserdampf) in ein gasförmiges Produkt umgewandelt. Das entstehende Gas erfordert eine energetische Verwertung in einer Energieerzeugungsanlage bzw. eine stoffliche Verwertung als Synthesegas (z.B. zur Erzeugung von Methanol) [49]. In Abhängigkeit des Verfahrens werden Temperaturen zwischen 500 und 1.200 °C erreicht. Wird Luft oder Sauerstoff eingesetzt, so können die Oxidationsreaktionen die zur Deckung der endothermen Teilschritte notwendige Wärme liefern. Die Vergasung verläuft in diesem Fall autotherm, sodaß keine Energiezufuhr von außen erforderlich ist [47]. Der Betrieb dieser Anlagen erfolgt entweder unter Atmosphärendruck oder mit Drücken bis zu 25 bar [44].

Bei der Wirbelbettvergasung erfolgt die Umsetzung des vorzerkleinerten Abfalls (z.B. Hausmüll $k < 25$ mm [50]) im Temperaturbereich zwischen 900 und 1.000 °C. Dieser liegt somit unterhalb des Ascheerweichungspunktes. Annähernd 95 M.-% des mit dem

Brennstoff eingebrachten Kohlenstoffs werden in das Rohgas übergeführt [44; 50]. Der Vergasungsrückstand wird als sogenanntes Bodenprodukt ausgeschleust und kann verfeuert werden [44].

Das aus der Vergasung erhaltene gasförmige Produkt kann folgenden nachgeschalteten Verwendungszwecken zugeführt werden [42; 49; 51]:

- direkte Einspeisung der Brenngase zur Substitution von Regelbrennstoffen ohne vorhergehende Gasreinigung (z.B. Einspeisung in einen Zementdrehrohrofen)
- Einspeisung der Brenngase nach Entstaubung sowie der Entfernung von NH_3 und H_2S in den Dampferzeuger eines Kohlekraftwerkes
- Zufuhr zu einer Gasturbine oder einem Gasmotor nach einer spezifikationsgerechten Gasreinigung
- Einsatz des Gases in chemischen Synthesen (z.B. zur Methanolsynthese)

Als Beispiel für eine Vergasungsanlage sei die WS-Anlage in Güssing (Bgl., A) angeführt, welche derzeit von der Babcock Borsig Power - AE Energietechnik GmbH errichtet wird, und deren Inbetriebnahme im Mai 2001 erfolgt. Das Verfahren ist von der Turbo-Wirbelschicht-Technologie abgeleitet und besteht aus zwei Wirbelschichten. Eine stationäre Vergasungs- und eine schnelle Verbrennungswirbelschicht mit Zyklonabscheider. In der Verbrennungswirbelschicht wird ein Teil des Produktgases zum Zwecke der Aufwärmung des Wirbelbettmaterials verbrannt. In der Anlage werden ausschließlich Hackschnitzel und unbehandeltes Holz in getrockneter Form eingesetzt. Das Produktgas wird in einem Gewebefilter entstaubt und in einem Wäscher von Teer befreit. Anschließend wird das Produktgas ($H_u = 13 \text{ MJ/Nm}^3$) in einem Gasmotor (2 MW) verwertet und die Abwärme als Fernwärme (4,5 MW) genutzt [42].

Die Wirbelbettvergasung wurde in dieser Arbeit nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Es soll in den weiteren Betrachtungen nur mehr auf die Wirbelschichtverbrennung eingegangen werden.

3.3 Stärken und Schwächen der Wirbelschichttechnologie im Vergleich zu anderen thermischen Behandlungsverfahren

Um eine Bewertung bzw. vergleichende Beurteilung verschiedener Verfahren zur thermischen Abfallbehandlung – bezogen auf die Anlage und den Einsatzbereich - vornehmen zu können, wurden folgende Kriterien betrachtet:

- Anforderungen an die Abfallcharakteristik
- Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität
- Notwendiger Konfektionierungsaufwand der (Abfall-)Brennstoffe
- Produkteinfluß sowie Problem der Verwertung und/oder Entsorgung der Rückstände
- Üblicher Umfang der Rauchgasreinigung
- Verfügbare Anlagenkapazitäten in Österreich

Es wird in diesem Abschnitt lediglich die Verbrennungstechnologie bewertet, um die Wirbelschichttechnologie gegenüber den anderen möglichen Verfahren der thermischen Abfallbehandlung abzugrenzen.

Eine detailliertere Betrachtung der Kriterien, die in einem konkreten Fall die Eignung einer (bestehenden) Wirbelschichtfeuerungsanlage zur thermischen Behandlung von Abfallbrennstoffen bestimmen (wie z.B. die vorhandenen Einrichtungen für die Brennstoffaufbereitung und –einbringung), erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.4.

3.3.1 Anforderungen an die Abfallcharakteristik

Abhängig von der Abfallart sowie der Abfallherkunft (Produktionsprozeß \Leftrightarrow Restabfall) ist mit einer unterschiedlich definierten Zusammensetzung der Abfälle zu rechnen. Bei konventionellen Abfallverbrennungsanlagen und Kombinationsverfahren steht der Zweck der Abfallbeseitigung im Vordergrund. Diese Anlagen sind im Regelfall für die Behandlung eher undefinierter Abfallstoffe ausgelegt. Bei den Anlagen, die für eine Mitverbrennung grundsätzlich in Frage kommen, hängt die tatsächliche Eignung der Anlage jedoch vielfach von der (chemisch-physikalischen) Definierbarkeit der (Abfall-)Brennstoffe ab. Diese wird durch die Abfallherkunft sowie dem Umfang einer etwaig erfolgten Abfallvorbehandlung bestimmt.

Im Bereich der konventionellen thermischen Abfallbehandlung werden am Rost und in Drehrohröfen üblicherweise feste und pastöse Abfälle beseitigt. Als solche wären Restmüll, hausmüllähnlicher Gewerbemüll, Altreifen, medizinische Abfälle und entwässerte Schlämme zu nennen. Zudem werden Drehrohröfen sehr häufig zur Beseitigung von gefährlichen Abfällen verschiedenster Konsistenz (fest, flüssig, gasförmig) eingesetzt [52].

Wirbelschichtfeuerungsanlagen sind in Europa meist in Industriebetrieben zu finden, welche definierte Rückstände betriebsintern behandeln. In Japan findet man sie auch zur Verbrennung von Hausmüll (vgl. Kapitel 3.1). Aufgrund der hohen Flexibilität der Wirbelschichttechnik gegenüber Heizwert- und Wassergehaltsschwankungen ist grundsätzlich die thermische Behandlung verschiedenster Abfallstoffe möglich. So werden WS-Feuerungsanlagen in Österreich derzeit sowohl für die thermische Behandlung von gefährlichen Abfällen als auch ungefährlichen Abfällen wie aufbereitetem Restabfall oder Klärschlamm eingesetzt.

Geht man beim Einsatz von (Abfall-)Brennstoffen als Energieträger für Produktionsprozesse davon aus, daß der eingesetzte (Abfall-)Brennstoff eine u.U. nicht zu vernachlässigende Produktrelevanz besitzt, ergibt sich daraus die Forderung nach definierten (Abfall-)Brennstoffen welche zudem den Produktionsprozeß nicht negativ beeinflussen dürfen. Durch das Festlegen von bestimmten Brennstoffkriterien wird darüber hinaus einem möglichen Schadstoffeintrag in das Produkt vorgebeugt.

In Betriebsanlagen zum Zweck der Energieerzeugung und in Biomasseanlagen (Kleinere Feuerungsanlagen, die im Regelfall ausschließlich mit unbehandelten Holz(-abfällen) bzw. Hackschnitzeln betrieben werden.) finden sich verschiedene Apparate (Rost-, Wirbelschichtfeuerung u.a.) zur Verbrennung von Regelbrennstoffen und Abfallbrennstoffen (z.B. Rück-

stände aus der Altpapierverarbeitung, Rinde, Hackspäne etc.). Tabelle 3.1 enthält eine Aufstellung der von der jeweiligen Technologie abhängigen Anforderungen an (Abfall-) Brennstoffe. Es ist jedoch ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß in dieser Tabelle den verschiedenen Abfällen nicht die geeignetste Behandlungstechnologie zugeordnet wurde, sondern lediglich der Entwicklungsstand der jeweiligen Behandlungskonzepte dokumentiert ist.

Tabelle 3.1: Anlagenkonzepte zur Mitverbrennung von (Abfall-)Brennstoffen in konventionellen Industriekraftwerken [53, modifiziert]

Feuerungstechnik	Beispiele für (Abfall-)Brennstoffe	Anforderungen an den (Abfall-)Brennstoff	Entwicklungsgrad
Wanderrostfeuerung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rejekte aus der Papierindustrie ○ zerkleinerte, stückige, Reststoffe, Pellets ○ mechanisch entwässerte Schlämme (ca. 30 M.-% TS) ○ Biogas ○ Restöle 	<ul style="list-style-type: none"> ○ erdig, krümelige Konsistenz ○ grobkörnig, stückig ○ gasförmig ○ flüssig 	<ul style="list-style-type: none"> ○ mehrjährige Betriebserfahrungen mit Papierschlamm ○ Konzeptplanungen
Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rejekte aus der Papierindustrie ○ zerkleinerte, stückige, Reststoffe, Pellets ○ mechanisch entwässertes Schlamm (u.U. nur 10 M.-% TS) ○ getrocknete Schlämme ○ Biogas ○ Restöle ○ Altholz 	<ul style="list-style-type: none"> ○ verschiedene Konsistenzen einsetzbar (ggf. mechanische Vorbehandlung erforderlich) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Betriebserfahrungen mit Papierreststoffen und Holz ○ mehrjährige Betriebserfahrungen mit Klärschlämmen ○ Ausführungsplanungen
Kohlenstaubfeuerung	<ul style="list-style-type: none"> ○ getrocknete Schlämme ○ Biogas ○ Restöl ○ Kunststoff-Fluff 	<ul style="list-style-type: none"> ○ pneumatisch förderbar ○ staubförmig/kleinstückig ○ flüssig ○ gasförmig 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Konzeptplanungen, Pilotversuche und erste Betriebserfahrungen

Die Möglichkeit der Verwendung von (Abfall-)Brennstoffen und die eingesetzte Substitutionsmenge anstelle von Regelbrennstoffen richtet sich nach den rechtlichen, wirtschaftlichen und auch prozeßtechnischen Möglichkeiten bzw. den jeweils zu erwartenden Konsequenzen. Aus diesen Gründen kann auch bei diesen Anlagen die Forderung nach definierten (Abfall-) Brennstoffen als sehr hoch angesehen werden.

3.3.2 Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität und notwendiger Konfektionierungsaufwand der (Abfall-)Brennstoffe

Aufgrund gewisser in der Praxis auftretender Schwankungsbreiten des Heizwertes, Wassergehalts sowie Aschegehalts insbesondere bei Abfällen ist eine entsprechende Flexibilität der Behandlungsanlage hinsichtlich der Brennstoffqualität wünschenswert. Ein hoher Heizwert, niedriger Wasser-, Inertstoff- sowie Aschegehalt kann gegebenenfalls durch Konfektionierungsmaßnahmen im Vorfeld der thermischen Behandlung erreicht werden. Derartige

Maßnahmen sind jedoch sehr kostenintensiv und wirken sich auf die Wirtschaftlichkeit der Behandlung des entsprechenden Abfalls aus. Dies kann u.U. die (ökonomische) Sinnhaftigkeit der Mitverbrennung in Frage stellen.

Es darf allgemein festgehalten werden, daß sich eine Zerkleinerung von festen Abfällen positiv auf die Prozeßregelung und die thermische Behandlung auswirkt [40]. Die Abtrennung von Inertstoffen z.B. Metalle, Glas u.a. erleichtert ebenso die Prozeßregelung und hat positive Konsequenzen für nachgeschaltete Verwertungs- und Entsorgungswege der Verbrennungsrückstände.

Für konventionelle thermische Abfallbehandlungsanlagen und Kombinationsverfahren kann die Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität als sehr hoch angesehen werden, da diese für Restmüll ausgelegt sind, welcher regionalen und saisonalen Schwankungen unterliegt.

Bei der Rostfeuerung und dem Thermoselect-Verfahren ist von einer Sperrmüllzerkleinerung abgesehen, keine Abfallvorbehandlung notwendig. Für WS-Anlagen ist abhängig vom Verfahren eine mehr oder weniger umfangreiche Konfektionierung des Brennstoffes für einen ungestörten Anlagenbetrieb erforderlich. Auch beim Schwelbrennverfahren und beim Noell-Konversionsverfahren ist eine Zerkleinerung des Abfalls notwendig [40].

Der Einsatz von Alternativbrennstoffen in Produktionsprozessen setzt aufgrund der möglichen Produktrelevanz der Verbrennungsrückstände sowie aus prozeßtechnischen Gründen in vielen Fällen eine entsprechend konstante Beschaffenheit der eingesetzten (Abfall-)Brennstoffe voraus (Heizwert, Energiedichte, Wasser-, Inertstoff- und Aschegehalt). Diesen Forderungen kann wie schon im vorangegangenen Kapitel erwähnt durch eine entsprechende Konfektionierung, die sich jedoch auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses auswirkt, Rechnung getragen werden. Da der nötige Aufbereitungsaufwand bei entsprechend undefinierten Abfällen vielfach zu groß ist, beschränken sich die Möglichkeiten der Mitverbrennung in Produktionsprozessen in den meisten Fällen auf eher definierte Abfallfraktionen.

Für den Einsatz von Alternativbrennstoffen im Bereich der Energieerzeugung und bei Biomasseanlagen gelten die für die Mitverbrennung in Produktionsprozessen gemachten Aussagen.

3.3.3 Produkteinfluß sowie Problem der Verwertung und/oder Entsorgung der Rückstände

Bei der thermischen Behandlung ist die Aufkonzentrierung anorganischer Schadstoffe in den festen Verbrennungsrückständen eines der angestrebten Ziele, um eine Einhaltung der gaseitigen Emissionsgrenzwerte und den Schutz der Umwelt zu gewährleisten. Eine derartige Aufkonzentrierung hat bei einer thermisch/stofflichen Verwertung gegebenenfalls einen Einfluß auf das erzeugte Produkt bzw. bei einer ausschließlich energetischen Nutzung Einfluß auf die Zusammensetzung der Verbrennungsrückstände.

Bei der konventionellen Abfallverbrennung sowie den Kombinationsverfahren, wo der Hauptzweck der Anlage in der Beseitigung von Abfällen liegt, werden in Mitteleuropa die

Verbrennungsrückstände geordnet deponiert. Etwaige Einflüsse der Abfallcharakteristik auf die Qualität der Verbrennungsrückstände sind in diesem Fall sekundär und irrelevant.

Eine infolge des Produkteinflusses große Relevanz der Abfallzusammensetzung ist lediglich bei Produktionsprozessen gegeben, wo die Asche des (Abfall-)Brennstoffs letztendlich im Produkt verbleibt. In diesem Zusammenhang bieten die Wirbelschichtfeuerungsanlagen im Vergleich zur Zement-, Ziegel- sowie Fe- und Stahlindustrie den großen Vorteil, daß keinerlei Produkteinfluß besteht. Bei den Aschen aus Anlagen zur Energieerzeugung sowie Biomasseanlagen bestehen vielfach entsprechende Verwertungswege, die infolge der durch die Asche der (Abfall-)Brennstoffe veränderten Aschenqualität u.U. in Frage gestellt werden.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß die Verbrennungsrückstände bei der Verbrennung von (Abfall-)Brennstoffen in den meisten Fällen kostenpflichtig entsorgt werden müssen, da sich aufgrund der chemischen Zusammensetzung, des Eluatverhaltens etc. mögliche Verwertungswege von vornherein ausschließen lassen.

Um die Kosten zu minimieren, werden heute verstärkt Alternativen gesucht, die Verbrennungsrückstände einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Bei diesbezüglichen Arbeiten am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik zeichnet sich für Wirbelschichtaschen ab, daß einzelne chemische Elemente, welche mit dem (Abfall-)Brennstoff oder Betriebsmitteln in den Verbrennungsprozeß eingebracht werden, mögliche Verwertungswege z.B. in der Zement- und Ziegelindustrie einschränken [54].

Umgekehrt erlauben definierte Brennstoffqualitäten mit einer geeigneten und nahezu konstanten chemischen Zusammensetzungen das Beschreiten verschiedener Verwertungsalternativen [54].

Weitergehende Aussagen zu den Bereichen Produktrelevanz [8] und möglicher Entsorgungswege [54] für Verbrennungsrückstände sind den hier angeführten Literaturstellen zu entnehmen. Es soll in dieser Arbeit nicht näher darauf eingegangen werden.

3.3.4 Üblicher Umfang der Rauchgasreinigung

Konventionelle Abfallverbrennungsanlagen

Als Beispiel sollen hier die von den Entsorgungsbetrieben Simmering (EbS) betriebenen thermischen Beseitigungsanlagen genannt werden (zwei Drehrohröfen und drei WS-Anlagen). Zur Staubabscheidung ist jedem Ofen ein Elektrofilter nachgeschaltet. Die restlichen Stufen der Rauchgasreinigungsanlage sind in einer Linie ausgeführt. Diese besteht aus einer zweistufigen Wäsche, einem filtrierenden und einem elektrodynamischen Venturiwäscher sowie einem nachgeschalteten Aktivkohlefilter [55]. Zur Minderung der NO_x-Emissionen sind die Anlagen der EbS mit einem SNCR-System ausgestattet.

Entsprechend den gesetzlichen Regelwerken sind MVA in Bezug auf die Abgasreinigung so auszulegen, daß alle entstehenden Schadstoffe weitgehend abgeschieden oder zerstört werden.

Aufgrund der hohen Kosten nasser Rauchgasreinigungsverfahren zeichnen sich aber auch bei konventionellen Abfallverbrennungsanlagen Bestrebungen ab, vermehrt trockene und quasitrockene Verfahren einzusetzen.

Kombinationsverfahren

Da bei den Kombinationsverfahren der Anlagenzweck ebenso in der thermischen Beseitigung von Abfällen liegt, sind auch diese im Regelfall mit einer den konventionellen Abfallverbrennungsanlagen entsprechenden Rauchgasreinigung ausgestattet [44].

Produktionsanlagen

Die nachgeschaltete Rauchgasreinigung in Produktionsanlagen der Zement-, Ziegel, Fe- und Stahlindustrie beschränkt sich auf Entstaubungsverfahren unter Verwendung eines Gewebe- oder Elektrofilters [55; 56]. Es ist jedoch ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß Produktionsprozesse aufgrund ihrer Charakteristik u.U. entsprechende rauchgasreinigende Eigenschaften aufweisen (z.B. Zementprozeß).

Eine Beurteilung der ökologischen Sinnhaftigkeit des (Abfall-)Brennstoffeinsatzes kann nur unter Berücksichtigung der (Abfall-)Brennstoff- sowie der jeweiligen Prozeßcharakteristik (unter Einschluß der vorhandenen Rauchgasreinigungsanlagen) erfolgen.

Betriebsanlagen zum Zweck der Energieerzeugung und Biomasseanlagen

Kraftwerke verfügen über Einrichtungen zur Abscheidung von Staub (Gewebe- und Elektrofilter) sowie darüber hinaus u.U. auch über eine Wäscherstufe zur SO_x-Minimierung. Inwieweit diese Verfahren ausreichend sind, um einen ökologisch vertretbaren Einsatz von (Abfall-)Brennstoffen zu ermöglichen, kann nur im Einzelfall beurteilt werden.

Bei reinen Biomasseanlagen besteht die Rauchgasreinigung aufgrund der unbelasteten Brennstoffe (Hackschnitzel, unbehandeltes Holz) lediglich aus einer Entstaubung.

3.3.5 Verfügbare Anlagenkapazitäten in Österreich

Eine umfangreiche Recherche ergab, daß auch heute schon mehr als zwei Drittel der in Österreich insgesamt pro Jahr thermisch behandelten Abfälle und Reststoffe in Produktionsanlagen bzw. Anlagen zur Energieerzeugung energetisch genutzt werden (ca. 68,7 M.-%, ohne Biomasseanlagen zu berücksichtigen). An dieser Stelle soll nicht näher darauf eingegangen werden, Kapitel 4.3 enthält weitere diesbezügliche Ausführungen.

Tabelle 3.2 enthält eine qualitative Bewertung unterschiedlicher thermischer Abfallbehandlungstechnologien hinsichtlich der im vorliegenden Kapitel festgelegten Kriterien.

Es läßt sich somit abschließend feststellen, daß in Österreich Wirbelschichtfeuerungsanlagen vor allem aufgrund der hohen bestehenden Kapazitäten verbunden mit der großen Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität sowie der fehlenden Produktrelevanz der Verbrennungsrückstände trotz gewisser Anforderungen an die Abfallcharakteristik und dem damit verbundenen Konfektionierungsaufwand ein großes Potential für die thermische Behandlung und energetische Nutzung von (Abfall-)Brennstoffen bieten. Vor allem in Verbindung mit der steigenden Bedeutung der mechanischen Behandlungsstufe in mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen und dem damit verbundenen Ausschleusen einer aufbereiteten, heizwertreichen Abfallfraktion ist mit einer steigenden Bedeutung der Wirbelschichtverbrennungsanlagen für die Abfallwirtschaft zu rechnen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß bei klassischen Mitverbrennungsanlagen abhängig von den tatsächlich behandelten (Abfall-)Brennstoffen eine Adaptierung der Rauchgasreinigung notwendig sein kann. Unter Wahrung der ökologischen Anforderungen stellt die energetische Nutzung von Abfällen jedoch eine sehr sinnvolle Abfallbehandlungsvariante dar.

Tabelle 3.2: Verfahrenvergleich thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Hinblick auf entscheidungsrelevante Faktoren

Verfahrenvergleich thermischer Abfallbehandlungsanlagen							
entscheidungsrelevanter Faktor thermisches Abfallbehandlungsverfahren		Anforderungen an die Abfallcharakteristik	Flexibilität hinsichtlich der Brennstoffqualität	notwendiger Konfektionierungsaufwand der Brennstoffe	Produkteinfluß und Probleme bei der Verwertung und Entsorgung der Rückstände	üblicher Umfang der Rauchgasreinigung	verfügbare Anlagenkapazitäten in Österreich
konventionelle Abfallverbrennung	Rostfeuerung	△	▲	△	△	●	□
	Wirbelschichtfeuerung	□	●	□	△	●	□
	Drehrohrofen	△	●	△	△	●	□
Kombinationsverfahren	Schwelbrenn-Verfahren	□	●	□	△	●	△
	Thermoselect-Verfahren	□	●	□	△	●	△
	Wirbelbettvergasung	□	▲	□	△	●	△
	Noell-Konversionsverfahren	□	●	□	△	●	△
Produktionsanlagen	Zementindustrie	●	▲	●	▲	□	▲
	Ziegelindustrie	●	△	□ ¹⁾	●	□	▲
	Fe- und Stahlindustrie	●	△	●	●	□	▲
Betriebsanlagen zum Zweck der Energieerzeugung	biomassebefeuerte Ind. KW ³⁾	▲	▲	▲ ²⁾	▲	▲	▲
	konv. befeuerte Industrie-KW ³⁾	●	□	▲ ²⁾	▲	▲	▲
	ind. Abfallverbrennungsanlage	□	▲	▲ ²⁾	▲	●	□
Biomasseanlagen	Rostfeuerung	●	△	□ ¹⁾	□ ¹⁾	△	▲
	Wirbelschichtfeuerung	●	△	□ ¹⁾	□ ¹⁾	△	△
	Unterschubfeuerung	●	△	□ ¹⁾	□ ¹⁾	△	▲
●:sehr hoch ▲:.....hoch □: ... niedrig △:..... sehr niedrig bzw. nicht vorhanden							

1) da definierte Einsatzstoffe/Abfallbrennstoffe
 2) abhängig von den eingesetzten Abfallbrennstoffen
 3) Kraftwerk (KW)



3.4 Relevante Kriterien für die Mitverbrennung in Wirbelschichtfeuerungsanlagen

Bei der Frage der Bewertung der ökologischen Sinnhaftigkeit sowie der prinzipiellen Machbarkeit der Mitverbrennung von (Abfall-)Brennstoffen in bestehenden Wirbelschichtfeuerungsanlagen ist die Beschaffenheit der (Abfall-)Brennstoffe in Verbindung mit den charakteristischen prozeßtechnischen Merkmalen sowie der Anlagengesamtkonfiguration zu beurteilen. Als grundlegende Voraussetzungen für den Einsatz von Abfall als Brennstoff sind nach Lorber et al. [52] folgende Punkte zu nennen:

- keine Verschlechterung der Emissionssituation
- keine Verschlechterung der Produktqualität (wenn zutreffend, vgl. Kapitel 3.3.3)
- keine negativen Auswirkungen auf den Prozeß
- keine Beeinträchtigung des Arbeitsschutzes.

Die im Rahmen der Mitverbrennung auftretenden Probleme bzw. wirtschaftlich und ökologisch bestimmenden Faktoren sind vielschichtig. Nach Buekens [57] erstrecken sie sich beginnend von Problemen im Bereich der Aufbereitung (Shredderexplosionen), der Handhabung (verstärkter Verschleiß bei Aufbereitungs- und Fördereinrichtungen) und Lagerung bis hin zu vermehrtem Instandhaltungsaufwand (Korrosion, Verschmutzung, Verschlackung) und Ausbrands- bzw. damit verbundenen Emissionsproblemen. Der Erfolg der Umsetzung von Mitverbrennungsprojekten wird oft von der Überwindung technischer Probleme bestimmt, hängt aber letztendlich in vielen Fällen von politischen Entscheidungen ab.

Zusammenfassend können insbesondere nachfolgend angeführte Faktoren, welche in diesem Kapitel näher betrachtet werden, als relevant und bestimmend für die wirtschaftliche Umsetzbarkeit und die ökologische Sinnhaftigkeit der thermischen Behandlung in Wirbelschichtfeuerungsanlagen genannt werden.

- (Betriebs-)Wirtschaftliche Konsequenzen der Mitverbrennung
- Annahme und Lagerung von (Abfall-)Brennstoffen
- Vorbehandlung und Aufbereitung der (Abfall-)Brennstoffe
- Förderung und Einbringung der (Abfall-)Brennstoffe
- Anlagenbetrieb
- Rückstandsrelevanz bei der Einbringung von (Abfall-)Brennstoffen
- Rauchgasreinigung und Emissionsverhalten

Anders als im vorangegangenen Kapitel, wo die Abgrenzung der Wirbelschichttechnologie zu anderen in der Praxis verwendeten thermischen Abfallbehandlungsverfahren erfolgte, sollen die Betrachtungen im vorliegenden Kapitel einen Leitfaden bei der Beurteilung der Möglichkeit der thermischen Behandlung bestimmter Abfallbrennstoffe in (bestehenden) Wirbelschichtfeuerungsanlagen geben.

3.4.1 (Betriebs-)Wirtschaftliche Konsequenzen der Mitverbrennung

Die Mitverbrennung hat wirtschaftliche Auswirkungen für folgende Interessensgruppen [57]:

- Abfallerzeuger (profitiert von den üblicherweise geringeren Kosten für die Abfallbehandlung)
- Abfallsammler/-behandler/-entsorger (suchen den wirtschaftlich günstigsten Weg der Abfallbehandlung für die brennbaren Abfallströme)
- Betreiber von Mitverbrennungsanlagen (verringerte Kosten für Regelbrennstoffe, Zuzahlungen durch Abfallbrennstoffe)

Es soll an dieser Stelle nur auf die Gruppe der Anlagenbetreiber eingegangen werden.

Alle im Kapitel 3.4 behandelten Faktoren können Auswirkungen auf die (betriebs-)wirtschaftliche Umsetzung der Mitverbrennung in bestehenden Anlagen haben. Aus diesem Grund ist die Kenntnis der potentiellen Auswirkungen des Abfalleinsatzes als (Abfall-)Brennstoff eine zwingende Voraussetzung für eine (betriebs-)wirtschaftliche Beurteilung desselben. Es soll jedoch betont werden, daß es sich hierbei um allgemein für die Mitverbrennung in Wirbelschichtanlagen relevante Kriterien handelt, und eine Einzelfallbetrachtung einer umfangreichen Kenntnis der in Frage kommenden Anlage sowie der abfallwirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen bedarf.

Neben möglichen Erlösen durch Zuzahlungen sowie Einsparungen im Bereich der Bereitstellung von Regelbrennstoffen bedingt der Einsatz von (Abfall-)Brennstoffen unter Umständen auch Kosten durch Investitionen im Bereich der Brennstoffaufbereitung und -lagerung sowie der Brennstoffförderung und -einbringung, durch gesteigerten Instandhaltungsaufwand, sowie Investitions- und/oder Betriebskosten im Bereich der Rauchgasreinigung. Letztendlich ergeben sich u. U. auch wirtschaftliche Auswirkungen auf die Entsorgung/ Verwertung der Verbrennungsrückstände.

Die zu erlösende Zuzahlung ist hauptsächlich von den etwaigen Kosten für die Aufbereitung der Abfälle sowie den Kosten der sich anbietenden Behandlungsalternativen abhängig. Während Anlagenbetreiber z.B. in Norddeutschland und Frankreich für entsprechend aufbereitete und qualitätsgesicherte Abfallbrennstoffe bereits zahlen müssen, sind in Österreich Zuzahlungen sprich Erlöse für die Betreiber von Mitverbrennungsanlagen üblich. Die eingesparten Kosten für Regelbrennstoffe rechtfertigen in vielen Fällen nicht die durch notwendige Investitionen sowie erhöhten Betriebs- und Instandhaltungsaufwand verursachten Kosten [57]. Auch Härdtle [22] kommt zum Schluß, daß die Entsorgungswirtschaft beim derzeit üblichen Preisniveau für Primärbrennstoffe selbst für hochwertige Alternativbrennstoffe Zuzahlungen benötigt.

Die Betrachtung dieser relevanten Einflußfaktoren im Kapitel 3.4 soll eine Abschätzung für einen Einzelfall ermöglichen. Für den konkreten Fall der Funder Industrie Ges.m.b.H. wird eine qualitative Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der Mitverbrennung von Abfällen in Kapitel 6.2 gegeben.



3.4.2 Annahme und Lagerung von (Abfall-)Brennstoffen

Die angelieferten (Abfall-)Brennstoffe müssen zwischengelagert werden. Dazu ist es notwendig, daß neben der entsprechenden Lagerkapazität ausreichende Rangiermöglichkeiten für die anliefernden Fahrzeuge bestehen. Grundsätzlich muß die Kontamination des Bodens und des Grundwassers sowie eine Lärm- und Geruchsbelästigung vermieden werden [58].

Die Anforderungen an die Beschaffenheit des Brennstofflagers ergeben sich infolge des Aggregatzustands und der chemischen Eigenschaften der Abfälle [58]. Um die Sicherheit der Anlage und das Vermeiden eines Störfalles mit einer einhergehenden Beeinträchtigung der Mitwelt (Mensch, Umwelt) gewährleisten zu können, sind die entsprechenden Gesetze, Verordnungen, Normen etc. in Abhängigkeit des eingesetzten Abfalls zu berücksichtigen und deren Bestimmungen zur Anwendung zu bringen.

Feste Stoffe unterliegen unter Umständen Abbauprozessen, welche durch Niederschlag verstärkt werden. Um diesen vorzubeugen und Abwässer zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Lagerbereiche zu überdachen und mit einem festen Untergrund zu versehen, sowie eventuell anfallende Abwässer im Bereich des Lagerplatzes zu erfassen und einer Abwasserbehandlung zuzuführen. In bestimmten Fällen ergibt sich die Notwendigkeit einer Einhausung und Installation einer Hallenluftabsaugung. Damit kann Verwehung durch Wind, eine Geruchsbelästigung und ein negatives optisches Erscheinungsbild verhindert werden [58].

Bei der Brennstofflagerung laufen, abhängig vom (Abfall-) Brennstoff, in vielen Fällen zusätzlich zu biologischen Umsetzungen Niedertemperaturoxidation, Entgasungsvorgänge sowie Adsorption und Desorption von Feuchtigkeit an der Oberfläche ab. Die Niedertemperaturoxidation ist auch Ausgangsreaktion für Selbsterwärmung, was letztlich bis zur Selbstentzündung führen kann [59].

Die technischen Anforderungen für den Brandschutz sind in verschiedenen Vorschriften und Regelwerken enthalten und diesen zu entnehmen. Entstehende Brandnester in Sammelbunkern, sind meist mit einer erheblichen Qualmentwicklung verbunden und lassen den Brandherd nicht sichtbar werden. Als vorbeugende Maßnahme empfiehlt sich der Einbau eines Brandschutzsystems auf der Grundlage der Infrarottechnik [44].

Der Feinkornanteil in den zu behandelnden (Abfall-) Brennstoffen sollte gering gehalten werden, da dieser zu Problemen durch sich verdichtende Anhaftungen im Vorlagebehälter und zu Staubeentwicklung an den nicht gekapselten Stellen führt [60]. Auch ein zu hoher Füllstand im Vorlagebehälter führt unter Umständen zur Eigenverdichtung, womit der Brennstoffaustrag behindert wird und eine Beschädigung der Austragsorgane/ Förderaggregate erfolgen kann [60; 61]. Störungen beim Brennstoffaustrag treten vor allem auch dann auf, wenn große und langfasrige Teile (z.B. Folienfetzen, Tonbänder, Kabel u.a.) in Behältern gelagert werden. Diese Bestandteile verfestigen dann die Brennstoffschüttung im Silo ähnlich der Wirkung von Bewehrungsstahl in Beton [61]. Werden verschiedene Brennstoffqualitäten eingesetzt, so empfiehlt sich eine getrennte Lagerung.

Bei der Zwischenlagerung des bereits aufbereiteten (Abfall-)Brennstoffes sollte einer Entmischung vorgebeugt werden bzw. durch entsprechende Eintrags- und Austragsvorrichtungen eine bestmögliche Homogenisierung des (Abfall-)Brennstoffes sichergestellt werden (u.U. schichtweiser Eintrag in Längsrichtung und schichtweiser Austrag in Querrichtung).

Flüssige und pumpfähige pastöse Abfälle z.B. Klärschlamm sind in Silos, in Tanks, in Bunkern und dgl. zu lagern. Bei Klärschlämmen sollte zur Vermeidung von Geruchsentwicklung - hervorgerufen durch Fäulnisprozesse - eine Abdichtung gegenüber der Umgebung erfolgen. Flüssige und pastöse Stoffe sollten unter Berücksichtigung der Zusammensetzung nach Möglichkeit homogenisiert werden. Chemische Reaktionen (z.B. Ausflockung, exotherme Prozesse) beim Mischen verschiedener Flüssigkeiten und korrosive Bestandteile erfordern besonderes Augenmerk auf die verwendeten Werkstoffe, die nachgeschalteten Transport- und Dosiereinrichtungen und machen gegebenenfalls eine getrennte Lagerung und Zuführung notwendig.

Das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein entsprechender Einrichtungen bzw. eventuelle behördliche Auflagen im Bereich der Annahme und Lagerung von (Abfall-)Brennstoffen bestimmen in der Praxis vielfach die Möglichkeit einer wirtschaftlich sinnvollen Umsetzung der Mitverbrennung derartiger Brennstoffe. Diese Betrachtungen haben daher in jedem Fall Bestandteil einer betriebswirtschaftlichen Kalkulation zu sein.

3.4.3 Vorbehandlung/Konfektionierung von (Abfall-)Brennstoffen

Die Korngrößenverteilung und die Stückigkeit beeinflussen neben der notwendigen Zerkleinerungsleistung einer der thermischen Behandlung eventuell vorangestellte Konfektionierung, den Ausbrand, die Mischbarkeit, die Förderbarkeit und Dosierbarkeit der (Abfall-)Brennstoffe [8]. Die Schüttdichte und die Energiedichte beeinflussen das erforderliche Lagervolumen sowie die Regelung für die Brennstoffzufuhr [62]. Üblicherweise bewegen sich die Werte für die Korngrößenverteilung zwischen 10 und 50 mm. Die maximale Stückgröße bei der thermischen Behandlung in Wirbelschichtfeuerungsanlagen sollte 150 mm nicht überschreiten [8].

Viele der im vorangegangenen Kapitel genannten thermischen Abfallbehandlungsverfahren erfordern eine mehr oder weniger aufwendige Konfektionierung der (Abfall-)Brennstoffe. Gleichmäßige Qualität schafft günstige Bedingungen für Trocknung, Entgasung, Zündung und Ausbrand des Brennstoffes und stellt somit eine feuerungstechnische Verbesserung dar.

Bei sämtlichen Vorgängen der Brennstoffkonfektionierung einschließlich des Brennstoffumschlags sollte darauf geachtet werden, daß die Staub- und Geruchsbelastung für die Umgebung gering gehalten wird.

In der nachfolgenden Tabelle (vgl. Tabelle 3.3) wird eine Übersicht der möglichen Vorbehandlungsschritte für „Restabfall aus Haushalten“ und der damit erreichbaren Effekte gegeben. Da es sich beim Beispiel Restabfall um eine aufbereitungstechnisch verhältnismäßig schwierige Matrix handelt, sind die in Tabelle 3.3 kommentierten Effekte

einzelner Vorbehandlungsmaßnahmen auch auf andere (Abfall-)Brennstoffe, deren überwiegender Teil nicht aus dem Haushaltsbereich stammt, anwendbar und gültig.

Tabelle 3.3: Konfektionierungsmaßnahmen für Haushaltsabfälle [63, modifiziert]

Möglichkeiten der Vorbehandlung und deren Effekt						
Effekt	Vorbehandlungsmaßnahme					
	Klassieren	Sortieren	Zerkleinern	Homogenisieren	Trocknen	Pelletieren
Heizwert- erhöhung	<u>großer Einfluß</u> vor allem bei Absiebung der Feinfrak- tion und Sichtung der Vegetabilien (Schwer- fraktion)	<u>großer Einfluß</u> Ausschleusen von Inert- und Störstoffen	<u>geringer Einfluß</u> nur indirekt über Klassierung	<u>kein Einfluß</u> nur bei Ver- mischung hoch- und nieder- kalorischer Abfallbrenn- stoffe	<u>großer Einfluß</u> durch Feuchteent- zug; gesamt- prozeßtechnisch ohne Belang; bei Nutzung von Abwärme u.U. sinnvoll	<u>kein Einfluß</u>
Schadstoff- reduzierung	<u>geringer Einfluß</u> lediglich Aus- schleusen von Zn und Pb durch Ab- sieben der Feinfraktion	<u>mittlerer Einfluß</u> unerwünschte Stoffe können in Abhängig- keit des Ver- fahrens aus- sortiert werden	<u>kein Einfluß</u>	<u>kein Einfluß</u> Vergleich- mäßigung von Schadstoff- spitzen	<u>kein Einfluß</u> Möglichkeit des optimierten Aus- schleuens der Feinfraktion durch Klassierung	<u>kein Einfluß</u>
Brennstoff- optimierung	<u>mittlerer Einfluß</u> Vergleich- mäßigung des Brennstoff- bandes (Heiz- wert, Korn- größe), Aus- schleusung niedrig schmelzen- der Bestand- teile	<u>großer Einfluß</u> Möglichkeit der Separation verschiedener Bestandteile für andere Vorbehand- lungsmaß- nahmen	<u>großer Einfluß</u> Einstellen der erforderlichen Korngrößen- verteilung, verbessertes Ab- brandver- halten	<u>mittlerer Einfluß</u> Umwandlung heterogener Strukturen in homogenen Abfallbrenn- stoff gleich- bleibender Qualität	<u>mittlerer Einfluß</u> Verbesserung des Lagerverhaltens durch Verhinder- ung von Fäulnis- bildung; Er- leichterung bei weiteren mechanischen Aufbereitungs- prozessen (Klassierung)	<u>mittlerer Einfluß</u> Verbes- serung des Lagerver- haltens, der Transport- eigen- schaften und der Brennstoff- einbringung

Die Teilschritte Klassieren, Zerkleinern und Homogenisieren tragen wesentlich dazu bei, einen „homogenen“ Brennstoff konstanter Zusammensetzung zu erhalten. Diese Homogenisierung reduziert auch die Entmischung verschiedener Brennstoffe im Zwischenlager und ermöglicht eine problemlose Dosierung und einen kontrollierten Prozeßablauf [64]. Zerkleinerung gefolgt von einer Klassierung ermöglicht durch den Effekt der sortierenden Klassierung eine Beeinflussung der stofflichen Zusammensetzung und insofern auch eine Beeinflussung des Heizwerts sowie des Schadstoffgehalts der (Abfall-)Brennstoffe.

Durch Sortierung können unerwünschte Brennstoffbestandteile entfernt werden. Als Vorbehandlungsmaßnahme für die thermische Behandlung kommen automatische Vorrichtungen wie Scheibensortierer, Überbandmagneten und dergleichen zur Anwendung. Manuelle Sortierung wird eher in Fällen angewandt, wo das Ziel im Ausschleusen von Wertstoff-



fraktionen für ein stoffliches Recycling liegt. Der Bandüberlauf solcher Positivsortierungen ¹⁾ wird nachfolgend im Regelfall einer thermischen Behandlung zugeführt.

Bei der Herstellung von Alternativbrennstoffen (ABS) (Ausgangsbasis: Hausmüll, haushälterischer Gewerbemüll, Sperrmüll und Rückstände aus Sortieranlagen) und dessen anschließender thermischer Behandlung in einem Zementwerk (Substitutionsgrad: 25 % der benötigten Energie) wurde festgestellt, daß die Schadstoffströme betreffend As, Co, Ni und Se durch Negativsortierung um etwa 40 M.-% verringert werden konnten. Die Reduktion der Schadstoffgehalte in der thermischen Fraktion kann durch die optimierte Abtrennung von Metallen, Batterien, Elektrogeräten und PVC erfolgen. Die PVC-Abtrennung kann eine Reduktion der Elemente Cd, Pb, Sn und Zn mit sich bringen, da diese Elemente als Stabilisatoren verwendet werden. Im Hinblick auf gasförmige Emissionen stehen bei der thermischen Fraktion potentielle Anreicherungen bei den Elementen Cl, Hg, S und Se den möglichen Ab-reicherungen im gesamten Bereich der Schwermetalle gegenüber [64].

Ein Trocknen des vorzubehandelnden Abfallbrennstoffs erlaubt neben der Hebung des Heizwerts eine Herabsetzung der biologischen Aktivität und damit eine Verbesserung der Lagerfähigkeit (⇒ Trockenstabilatverfahren). Zusätzlich können durch ein Verringern der Klebrigkeit des Abfalls nachfolgende mechanische Aufbereitungsschritte (Absiebung, Zerkleinerung, ...) sowie die Brennstoffeinbringung erleichtert und optimiert werden.

Der Wassergehalt bestimmt den Heizwert und die Manipulationsmöglichkeit [8]. Das Abbrandverhalten und die produzierte spezifische Rauchgasmenge werden ebenfalls vom Wassergehalt des Brennstoffes beeinflusst [62]. So wird z. B. bei Schlämmen im Allgemeinen mit Wassergehalten zwischen 40 und 60 M.-% gearbeitet [8].

Pelletierung wirkt sich vor allem auf die Brennstoffförderung und –einbringung sowie auf das Verbrennungsverhalten aus. Durch diese Vorbehandlung kann die Staubbildung im Rahmen der Lagerung und des Brennstofftransports vermindert und die Brennstoffdosierung erleichtert werden. Zusätzlich kann ein Austragen leichter, flächiger Brennstoffbestandteile aus dem Wirbelbett und eine damit verbundene Beeinträchtigung der Funktion des Elektrofilters sowie ein schlechter Ausbrand vermieden werden. Diesem Problem wurde beim Turbowirbelschichtverfahren durch die Brennstoffeinbringung im Unterdruckbereich des Feuerraumes und dem insofern erzwungenen sofortigen Einmischen des Brennstoffs in das heiße Bettmaterial der Wirbelschicht bis zu einem gewissen Grad begegnet. Es hat sich aber bei den dieser Arbeit zugrundeliegenden großtechnischen Versuchen gezeigt, daß großflächige Brennstoffbestandteile trotzdem zu Beeinträchtigungen der nachgeschalteten Rauchgasreinigung führen können.

Da die Relevanz des Prozesses Zerkleinerung vor allem für den Einsatz von (Abfall-) Brennstoffen im Bereich von Produktionsprozessen sowie bei Betriebsanlagen zum Zweck

¹⁾ Bei Positivsortierungen werden dem über das Sortierband laufenden Abfallstrom die Wertstofffraktionen entzogen. Im Gegensatz dazu wird bei einer Negativsortierung auf eine Stör- und Schadstoffentfrachtung des Bandüberlaufs Wert gelegt.



der Energieproduktion sehr groß ist, soll auf diesen aufbereitungstechnischen Schritt näher eingegangen werden.

Verschiedene Bestandteile fester Abfälle weisen ein unterschiedliches Verhalten beim Einwirken mechanischer Kräfte, wie sie bei der Zerkleinerung vorkommen, auf. In Abhängigkeit der Stoffeigenschaft hat die Auswahl des Zerkleinerungsapparates zu erfolgen. Die Zerkleinerung kann mit Druck, Prall, Schneiden, Scheren oder Reiben erfolgen (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Zerkleinerungsrelevante Eigenschaften von Abfallfraktionen [65; 66, modifiziert]

Eignung verschiedener Beanspruchungsarten in Abhängigkeit zerkleinerungsrelevanter Eigenschaften						
Stoffeigenschaften	Stoffbeispiele	Beanspruchungsart				
		Druck	Prall	Schneiden	Scheren	Reiben
hart/schleißend	Metalle, Sand, Steine	●	□	□	□	□
mittelhart	Salz, Duroplaste	●	●	□	□	▲
weich	Vegetabilien, Thermoplaste, Textilien, Papier, Pappe, Holz	▲	▲	●	●	●
spröde	Glas, Keramik	●	●	□	□	▲
elastisch	Thermoplaste, Elastomere, Metalle	□	▲	●	▲	□
viskos/plastisch	Kunststoffe, Vegetabilien	□	□	●	●	k.A.
faserig	Papier, Pappe, Textilien, Kunststofffasern	□	□	●	▲	▲
verklebend	Kunststoffe, Vegetabilien	□	□	●	▲	k.A.

● gut anwendbar ▲ ... bedingt anwendbar □..... nicht anwendbar k.A. ...keine Angaben

Im Bereich der Zerkleinerung werden langsamlaufende Rotorscheren und -reißer, Kugel- und Schneidmühlen oder schnelllaufende Shredder und Hammermühlen eingesetzt. Einige dieser Apparate sind für eine Grobzerkleinerung der Gesamtfraktion (z.B. Haushaltsabfall) einsetzbar. Sollte eine weitergehende Zerkleinerung notwendig sein, so eignen sich für die zähelastische Fraktion ($25 < k < 80$ mm) Zerkleinerungsapparate nach dem Prinzip der Schneidmühlen. Vegetabilien und Hartstoffe reichern sich in der Fraktion $k < 25$ mm an und können mit Hammermühlen aufbereitet werden [65].

Bei der Zerkleinerung zerfasernder Stoffe kann es zum Entstehen von „Wollmäusen“ kommen. Diese weisen ein großes Volumen und eine niedrige Dichte auf. Sie lagern häufig andere Stoffe ein und tragen zum Entstehen neuer Verbundmaterialien bei. Dies kann in den nachfolgenden Arbeitsschritten (Zwischenlager, Brennstoffaustrag, Transport und Brennstoffdosierung) zu Betriebsproblemen führen [65].



Die Faktoren Anhaftungen, Wassergehalt sowie Zusammensetzung der zu zerkleinernden Abfallfraktionen (Textiliengehalt, Kunststoffbänder, etc.) führen gegebenenfalls zu Durchsatzproblemen bzw. schlechten Zerkleinerungsergebnissen sowie überproportionaler Abnutzung durch Verschmutzungen und ziehen damit Anlagenstillstände nach sich.

Die vor Ort vorhandenen Einrichtungen zur Brennstoffkonfektionierung sowie die Abfallbeschaffenheit bestimmen die Möglichkeit der Verwendung des entsprechenden (Abfall-)Brennstoffs. Sollte eine weitergehende Aufbereitung der einzusetzenden (Abfall-)Brennstoffe notwendig sein, sind aus der erforderlichen Investition entstehende Kosten oder bei einer Vorbehandlung durch Dritte die dabei entstehenden Kosten bzw. die entgangenen Erlöse durch verminderte Zuzahlungen bei einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung zu berücksichtigen.

3.4.4 Brennstoffförderung und –einbringung

Der reibungslose Ablauf der Brennstoffförderung und –einbringung erfordert in vielen Fällen eine dementsprechende Vorbehandlung (Aufbereitung) der einzusetzenden (Abfall-) Brennstoffe. Insbesondere bei der Mitverbrennung stellen die bestehenden Möglichkeiten zur Brennstoffförderung und –einbringung oftmals einen limitierenden Aspekt in Hinblick auf die Einsetzbarkeit von (Abfall-)Brennstoffen dar. Der Prozessschritt der Brennstoffförderung und –einbringung erfolgt durch verschiedene Aggregate in Abhängigkeit des Aggregatzustandes und anderer Faktoren welche nachfolgend betrachtet werden.

In Abhängigkeit vom Typus der Wirbelschicht erfolgt die Brennstoffzufuhr im Unter- oder Überdruckbereich. Bei Zufuhr im Überdruckbereich ist das Augenmerk auf das Schleusensystem zur Überwindung der Druckdifferenz zu richten. Pastöse Brennstoffe wie z.B. Klärschlamm können mit Dickstoffpumpen durch Lanzen direkt in oder über das Wirbelbett eingebracht werden. Die Zufuhr zerkleinerter Brennstoffe erfolgt mechanisch oder pneumatisch über das Bett [58].

Mechanische Einbringungsverfahren z.B. Förderschnecke, Wurfbeschicker oder Fallschacht sind für kleinere Bettquerschnitte geeignet, wo sich der Brennstoff rasch verteilen kann. Bei großen Brennkammerquerschnitten ist eine gleichmäßige Brennstoffverteilung zu gewährleisten. Dies kann mit einem pneumatischen Eintrag realisiert werden [44].

Die pneumatische Brennstoffzufuhr bringt hinsichtlich des Platzbedarfes einen zusätzlichen Vorteil. Mechanische Eintragungssysteme sind unmittelbar in der Nähe der Brennkammer zu errichten. Sie sind meist großvolumig und erfordern eine zusätzliche Kühlung. Eine mechanische Dosiervorrichtung für die pneumatische Förderung erlaubt die Installation derselben in einiger Entfernung zur Brennkammer. Die eigentliche Förderleitung für den pneumatischen Eintrag kann problemlos mit Bögen versehen sein und erlaubt somit eine große Flexibilität hinsichtlich einer schlanken Leitungsführung. Der Brennstoff gelangt aufgelockert in die Brennkammer und der Zündvorgang wird beschleunigt, da der benötigte Sauerstoff für die Verbrennung mitgeliefert wird [61]. Demgegenüber bringt die pneumatische Förderung die Probleme der Abnutzung sowie der Verstopfung der Rohre mit sich.

Erfolgt die Brennstoffzufuhr über eine pneumatische Förderung in den Feuerraum, so ist die Korngröße nach oben mit 100 mm zu beschränken, dies entspricht somit auch den Anforderungen für die Verbrennung in WS-Anlagen. Als ideale Größe für die pneumatische Förderung sollte die Korngröße aber kleiner sein, was einen höheren Aufbereitungsaufwand mit sich bringt. Es ist trotzdem empfehlenswert, den Feinanteil ($k < 3$ mm) zuvor abzusieben, da dieser Anhaftungen im Zwischenlager und Staubeentwicklung an den nicht gekapselten Stellen der Brennstoffzufuhr (z.B. Bandübergabestellen) hervorruft [60].

Bei SWS-Anlagen erfolgt die Zufuhr der Brennstoffe auf bzw. in das Wirbelbett. Die Feuerungswärmeleistung ist nach oben mit 40 MW beschränkt, da die Verteilung des Brennstoffes über einen größeren Querschnitt problematisch wird [58].

Bei extern zirkulierenden WS-Anlagen kann der Brennstoff in den rückgeführten Sand eingebracht werden. Dieser wird dann gemeinsam mit dem Bettmaterial durch den Feuerraum transportiert. Sand und unverbrannter Brennstoff werden in einem nachgeschalteten Zyklon oder Prallabscheider aus dem Rauchgas abgetrennt und rückgeführt [58].

Da die Wirbelschichtfeuerungsanlagen in der Papier-, Zellstoff- und Faserplattenindustrie ohnehin aufgrund entsprechender intern anfallender Reststoffe in den meisten Fällen mit den geeigneten Förder- und Einbringungseinrichtungen für stückige Festbrennstoffe sowie auch solche für pastöse Brennstoffe versehen sind, ist im Regelfall mit keinen Investitionskosten in diesem Bereich zu rechnen. Es ist jedoch in jedem Fall zu beachten, daß Kunststoffbänder, die etwaige vorgeschaltete Aufbereitungsschritte ohne weiteres passieren, insbesondere bei Schnecken zu großen Problemen (wie Anlagenstillstände, etc.) führen können. Es ist daher sicherzustellen, daß der zu behandelnde (Abfall-)Brennstoff keine negativen Auswirkungen auf die vorhandenen Einrichtungen für die Brennstoffeinbringung und -förderung mit sich bringt.

Das Erfordernis der Zufuhr einer der Dampf- und Stromabnahme entsprechenden Energiemenge kann abhängig vom Heizwert des einzusetzenden (Abfall-)Brennstoff limitierend wirken. So kann z. B. die Nutzleistung eines Dampferzeugers von 18,8 MW durch den Einsatz eines energiereichen Abfallstoffes mit einem Massenstrom von 0,65 kg/s erzeugt werden. Hingegen erfordert ein heizwertarmer Brennstoff einen Massenstrom von 2,5 kg/s [67]. Andererseits weisen hochkalorische (Abfall-)Brennstoffe im Regelfall eine sehr niedrige Schüttdichte auf. Die in diesen Fällen hohen notwendigen Förderleistungen stellen in der Praxis eine große Herausforderung dar.

3.4.5 Anlagenbetrieb

In diesem Bereich soll nun auf den Einfluß chemischer und physikalischer Brennstoffparameter auf den Anlagenbetrieb eingegangen werden. Durch eine Limitierung dieser Parameter bzw. eine dementsprechende Abfallvorbehandlung oder eine entsprechende Anlagenfahrweise (Temperatur, Additivierung, ...) ist ein ungestörter Anlagenbetrieb zur Vermeidung von Folgekosten sicherzustellen.

Regelungsverhalten

Wirbelschichtfeuerungsanlagen sind aus regeltechnischer Sicht aufgrund des hohen Inertstoffgehalts im Wirbelbett (Bettmaterial) allgemein als träge zu bezeichnen. Dies hat eine systembedingte Dämpfung von schwankenden Heizwerten und Schadstoffgehalten zur Folge. Diese systembedingte Dämpfung ist allerdings einzuschränken, wie sich aufgrund von Versuchen in einer WS-Anlage einer Papierfabrik zur Verbrennung von Reststoffen (Rinde, Klärschlamm u.a.) ergab [67].

Die Änderung der Brennstoffzusammensetzung führt zu einer entsprechenden Änderung des Gesamtheizwertes und hat bei gleicher Dampferzeugerleistung eine Änderung des Rauchgasvolumenstroms zur Folge. So erhält man beispielsweise bei einem Heizwert von 8,8 MJ/kg (Hausmüll) eine spezifische Rauchgasmenge von 5,2 kg/kg und bei einem Heizwert von 32 MJ/kg (wasserhaltiges Altöl) eine spezifische Rauchgasmenge von 16,8 kg/kg (Luftzahl: $\lambda = 1,4$).

Die thermische Querschnittsbelastung der Wirbelschicht steigt proportional mit der durch den Düsenboden zugeführten Verbrennungsluftmenge. Wird z.B. bei der Verbrennung von BRAM mit einem mittleren Wassergehalt von 3,5 M.-% der Luftmassenstrom von 6,2 auf 9,6 kg/s erhöht, so steigt die thermische Belastung von 450 auf 720 kW/m². Ein hoher Wassergehalt im Brennstoff bewirkt ein Sinken der Feuerraumtemperatur aufgrund der Wasserverdampfung. Gleichzeitig läßt die brennbare Substanz die Wirbelschichttemperatur und damit die Querschnittsbelastung steigen. Dies ist vor allem bei der Brennstoffzugabe von oben feststellbar, da der Anteil der Verbrennung in der Wirbelschicht gegenüber dem Feuerraum höher wird. Beispielsweise steigt die wahre Querschnittsbelastung von 500 auf 760 kW/m², wenn der Wassergehalt einer Brennstoffmischung (Klärschlamm, Rinde und BRAM) von 3 auf 35 M.-% erhöht wird. Gleichzeitig wird eine Erhöhung der Primärluftmenge von 4,2 auf 8,1 kg/s notwendig.

Durch die Vergrößerung des Rauchgasvolumenstroms ist mit Auswirkungen im Bereich der Erosion im Feuerraum sowie den nachgeschalteten Anlagenteilen und mit einer Beeinflussung der Funktion der Rauchgasreinigungsanlage zu rechnen. Zusätzlich wird damit die für die Nachverbrennung erforderliche Verweilzeit des Rauchgases verkürzt.

Ausführung des Düsenbodens [42]

Der Düsenboden bildet die untere Begrenzung der Wirbelschicht. Er dient dem Einbringen der Luft zur Fluidisierung des Bettmaterials und ist so zu gestalten, daß die Verbrennungsluft gleichmäßig verteilt wird. Die Düsen unterliegen einem Verschleiß, welcher durch die feststoffbeladenen Wirbel (ähnlich einem Sandstrahlgebläse) und die thermische Beanspruchung verursacht wird [42; 44]. In der Ausführung des Düsenbodens wird zwischen geschlossenem und offenem unterschieden.

Für die offene Bauweise spricht der Vorteil, daß diese unabhängig vom Inertstoffanteil des Brennstoffes betrieben werden kann, da das Ausschleusen dieser Bestandteile durch den permanenten Abzug des Bettmaterials und der nachfolgenden Abtrennung des Grobanteils



gewährleistet ist. Der Nachteil ist konstruktiver Art, da ein offener Düsenboden eine höhere Anlagenbauweise mit sich bringt. Dies ergibt sich aufgrund der Tatsache, daß der Neigungswinkel des Trichters für den Ascheabzug sehr steil auszuführen ist (Neigungswinkel: 60°). Übertragen auf die Gesamtbauhöhe entspricht dies bis zu 15 % der Gesamthöhe. Ein Umstand, der durch mehrere Trichter über die Querschnittsfläche (Nebeneffekt: gleichmäßiger Abzug des Bettmaterials und Verhinderung einer Trichterströmung) nur zum Teil kompensiert werden kann.

Bei der geschlossenen Bauweise des Düsenbodens kann ein hoher Anteil an Inertstoffen (z.B. mitgeführte Steine in der Rinde, nicht abgeschiedene NE-Metalle, Glas, u.a.) durch Ablagerung die Fluidisierung des Bettmaterials beeinträchtigen. Gleiches gilt für Brennstoffteile und Bettasche, welche unter Umständen schwerer als das Bettmaterial sind und keinem mechanischen Abrieb unterliegen.

Nicht auszuschließende Inertbestandteile im einzusetzenden (Abfall-)Brennstoff bedingen entweder eine entsprechend sorgfältige Abfallaufbereitung oder limitieren die Möglichkeit einer thermischen Behandlung zumindest bei Systemen mit geschlossenem Düsenboden.

Ausbrand

Die Forderung nach Mindestverweilzeit und Verbrennungstemperatur ist nicht nur emissionsrechtlich bedingt. Der vorgegebene Wert von 2 Sekunden bei 6 Vol.-% O₂ bzw. für flüssige Einsatzstoffe 3 Vol.-% O₂ ist auch aufgrund des Korrosionsschutzes gewählt. Einer Korrosion der Heizflächen, durch aggressive Rauchgasbestandteile (HCl u.a.), geht die Zerstörung der Hämatit/Magnetit-Schutzschicht durch die reduzierende Wirkung von CO voraus ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$). Dadurch können Chlor und Chlorwasserstoff, welche im Rauchgas enthalten sind, bei niedrigen O₂-Partialdruck das Material angreifen und schädigen [40]. Eine Mindestverweilzeit und damit der vollständige Ausbrand trägt somit wesentlich zur Anlagenverfügbarkeit bei [68].

Korrosion und Erosion [44]

Die Korrosion kann mit mechanischer Beanspruchung oder ohne zusätzliche mechanische Beanspruchung auftreten. Am häufigsten tritt die Chlorwasserstoffkorrosion auf. Bei der Verbrennung von Hausmüll in einer MVA beträgt der durchschnittliche HCl-Gehalt etwa 0,02 Vol.-% oder 350 mg/Nm³. Dieser Wert schwankt in Abhängigkeit des verbrannten Abfalls und beträgt unter Umständen bis zu 3.000 mg/Nm³. Zum Vergleich enthält das Rauchgas einer Steinkohlefeuerung im Durchschnitt 0,0025 Vol.-% HCl. Weitere Korrosionsformen sind die Hochtemperaturchlor-, die Sulfid- und Sulfatkorrosion. Die Sulfidkorrosion ist durch die meist vorhandenen hohen Wassergehalte im Rauchgas eher von untergeordneter Bedeutung.

Weil der Schadstoffgehalt im zugeführten Brennstoff nicht ausreichend reduziert werden kann, ist Korrosion nicht vollständig vermeidbar. Somit stehen ausschließlich sekundäre Schutzmaßnahmen für die Anlage zur Verfügung. Solche Schutzmaßnahmen sind z.B. das

Aufbringen von keramischen Schutzschichten auf den Heizflächen oder das Einbetten der Verdampferrohre in gesinterte Siliciumcarbid-Formsteine.

Als konstruktive und betriebliche Maßnahmen können folgende Punkte genannt werden:

- Optimierung der Feuerung durch vollkommenen ($\text{CO} = 0$) und vollständigen ($\text{C} = 0$) Ausbrand
- intensive Durchmischung der Rauchgase durch gezielte Sekundärluftzufuhr
- lange Rauchgaswege mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit
- sorgfältige Entfernung von Ascheansätzen und Anbackungen
- geringe Luftzahl ($\lambda < 1,3$) ist für den Säuretaupunkt vorteilhaft

Bei der Mitverbrennung kann durch die Beschränkung des Cl-Gehalts im (Abfall-)Brennstoff einer übermäßigen Chlorkorrosion vorgebeugt werden.

Bei Wirbelschichtfeuerung ist zudem das Problem der Erosion zu nennen. Die hohen Inertmassen und die Gasgeschwindigkeiten von bis zu 8 m/s sind hierfür maßgebliche Gründe.

Davon sind besonders folgende Bereiche betroffen:

- Luftdüsen im Bereich des Düsenbodens
- Schottheizflächen im Bereich der Brennkammer
- Feuerfestauskleidungen am Zykloneintritt, der Decke und des Zylinders

Die Zufuhr von Verbrennungsluft erfolgt nicht senkrecht nach oben in das Bett, sondern horizontal in Richtung der benachbarten Düsen. Innerhalb der Reichweite dieses Strahls sollten keine Einbauten vorhanden sein, da der Luftstrahl eine stark erosive Wirkung hat [69].

Erosionen im Bereich des Heißgaszyklons werden durch Einsatz eines hochfesten Betons zurückgedrängt. In diesem Zusammenhang ist auf eine saubere Ausführung zu achten, da Vorsprünge, nicht abgerundete Kanten oder unausgeglichene Fugen zu einer Wirbelbildung führen, welche wiederum verstärkte Erosion verursacht.

Bei der Turbowirbelschicht kann es beim Partikelabscheider zwischen dem schnell und dem langsam fluidisierten Bereich zu verstärkten Erosionserscheinungen kommen. Dieses Problem tritt insbesondere auf, wenn über den Brennstoff Metallteile eingebracht werden.

Vermehrte Ansatzbildungen (Verschlackungen und Verschmutzungen) haben eine Änderung des Strömungsverhaltens des Rauchgasstromes zur Folge. Dies kann durch die stark erhöhte Rauchgasgeschwindigkeit sowie die konzentrierte Partikelbeladung zu einer starken lokalen Erosion führen. Ansatzbildung ist aus diesem Grund hintanzuhalten.

Ascheschmelzpunkt und Anbackungen [44; 62]

Der Aschegehalt entspricht dem Glührückstand der im Brennstoff enthaltenen mineralischen Bestandteile und ist nicht identisch mit dem Mineralstoffgehalt. Das Wissen über die Zusammensetzung erlaubt Rückschlüsse bezüglich des Ascheschmelzverhaltens, der Verschlackung und der Ansatzbildung. Der Aussagefähigkeit sind jedoch Grenzen gesetzt,

da die Aschemenge und deren Zusammensetzung durch die Prozeßbedingungen während der Verbrennung im Betrieb wesentlich beeinflußt wird.

Ein hoher Aschegehalt bewirkt größere Transport- und Umschlagskapazitäten sowohl beim Input als auch beim Output. Dies ist aufgrund der durch die erforderliche Verwertung/Entsorgung der Verbrennungsrückstände entstehenden Kosten von hoher Relevanz und muß im Vorfeld der Beurteilung der Sinnhaftigkeit einer Mitverbrennung des entsprechenden (Abfall-)Brennstoffs - jedenfalls im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Kalkulation - berücksichtigt werden.

Die Ascheerweichungs- bzw. Schmelztemperaturen verschiedener Regelbrennstoffe z.B. Steinkohle betragen ca. $> 1.000\text{ °C}$ bzw. $> 1.300\text{ °C}$. Ähnliches ist für einige biogene Brennstoffe gültig. Hinsichtlich des Ascheschmelzverhaltens sind Gehalte von Kalzium und Magnesium positiv zu bewerten, da diese den Ascheschmelzpunkt erhöhen. Aus diesem Grund kann gegebenenfalls Dolomit als ascheschmelzpunkterhöhendes Additiv zugegeben werden. Dabei ist jedoch wiederum zu berücksichtigen, daß sich dadurch die Menge und die Zusammensetzung der zu entsorgenden/verwertenden Verbrennungsrückstände wesentlich verändert. Umgekehrt verhält es sich bei den Elementen Na und K, den Chloriden sowie den Alkalisilikaten. Diese führen zu einer deutlichen Absenkung des Ascheschmelzpunkts. Die maximale Feuerraumtemperatur sollte speziell beim Einsatz von Stroh und Heu nicht höher als 900 °C sein. Flugaschepartikel sind häufig mit schmelzpunktniedrigenden Elementen und Verbindungen angereichert. Wirbelschichtanlagen werden in diesem Temperaturbereich ($700 - 900\text{ °C}$) betrieben und sind in bezug auf Versinterung und Ascheschmelze als besonders störanfällig zu bezeichnen.

Anbackungen, hervorgerufen durch einen hohen Gehalt an Alkali- und Erdalkaliverbindungen im Brennstoff, haben einen geringeren Wärmeübergang, einen geringeren Anlagenwirkungsgrad und eine höhere Gasgeschwindigkeit, hervorgerufen durch die Verengung des Querschnittes, zur Folge. Man unterscheidet hierbei:

- Verschlackung: Diese tritt im Temperaturbereich $> 1.000\text{ °C}$ auf, und bildet sich durch Erweichen oder Schmelzen der mineralischen Bestandteile im Brennstoff. Diese festhaftenden Ansätze finden sich an den Brennkammerwänden, Rauchgasrücksaugöffnungen und Überhitzerheizflächen.
- Verschmutzung: Hierbei handelt es sich um Ablagerungen mit geringer Festigkeit an Heizflächen im Temperaturbereich $< 1.000\text{ °C}$, zum Teil verbunden mit einer Sinterung der Asche, Sulfatisierung der Erdalkalien und bei Na/K-haltigen Brennstoffen einer Kondensation der bei der Verbrennung flüchtig gewordenen Asche-komponenten.

Anbackungen sind schichtweise aufgebaut, wobei zu Beginn leicht flüchtige Bestandteile wie Alkalisilikat-, Al-Verbindungen und Alkalien an den Oberflächen sublimieren. Erst in weiterer Folge haften Partikel mit einem größeren Durchmesser direkt an der Oberfläche an und werden durch parallel ablaufende Sinter- und Schmelzvorgänge verhärtet. Damit einhergehend wirken Sulfate als Bindemittel, da diese einen niedrigen Schmelzpunkt besitzen.



Neben optimalen Prozeßbedingungen bei der Verbrennung (Steuerung des Verbrennungsablaufes, Überwachung und Regelung der Luftzufuhr) eignen sich einige sekundäre Reinigungsverfahren in verschiedenen Apparateteilen zur Beseitigung von rauchgasseitigen Ansätzen an Anlagenteilen während des Betriebes.

Blasreinigungsverfahren mit beweglichen oder stationären Bläsern nutzen die Wirkung gerichteter Medien (z.B. Luft, Wasser oder Dampf) um die Ansätze zu lösen. Rüttler erzeugen Schwingungen mit kleiner Amplitude und hoher Frequenz an Rohrelementen. Schallverfahren eignen sich im Speziellen zur Abreinigung loser anhaftender Verschmutzungen.

Im Zuge von Anlagenstillständen und Instandhaltungsarbeiten können zusätzliche Reinigungsverfahren durchgeführt werden. Als solche wären trockene und nasse mechanische sowie chemische Verfahren zu nennen.

3.4.6 Rückstandsrelevanz

Die Schadstoffbelastung der Verbrennungsrückstände (Grobasche, Flugasche etc.) wird durch den Anteil bestimmter chemischer Elemente sowie verschiedener Stoffe in den eingesetzten Brennstoffen bzw. den verwendeten Additiven (Ascheschmelzpunkterhöhung, trockene Rauchgasreinigung) beeinflusst. Unter Umständen ist dadurch bei einer stofflichen Verwertung die Qualität des hergestellten Industrieproduktes (z.B. Zement) in Frage gestellt.

Die verbleibenden Rückstände aus der Verbrennung in einer Wirbelschichtanlage sind, wenn möglich, stofflich zu verwerten bzw. bei Notwendigkeit zu entsorgen. Es bieten sich unter anderem folgende Verwertungsalternativen an [70]:

- Zement- oder Baubranche
- Straßen- und Landschaftsbau
- Düngemittelindustrie
- Dichtungsmaterial für Deponien/Deponiebau
- Versatz im Bergbau
- Deponierung

Verbrennungsrückstände aus unbehandelter Rinde, Hackgut, Sägespänen, Ganzpflanzen und Stroh, welche als Brennstoff bei reinen Biomassefeuerungen eingesetzt werden, dürfen als sogenannte „Pflanzenasche“ in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden. Speziell die hohen Ca und Mg Gehalte der Grob- und Zyklonflugaschen eignen sich zur Kalkung von Böden, um der Versauerung entgegenzuwirken. Aufgrund der hohen Schadstoffbelastung darf die Feinflugasche in der Land- und Forstwirtschaft nicht eingesetzt werden. Letztere ist zu deponieren oder einer industriellen Verwertung (Schwermetallrückgewinnung) zuzuführen [54].

Abhängig von der jeweils praktizierten Verwertung/Entsorgung der Verbrennungsrückstände kann durch die Mitverbrennung die Zusammensetzung der Filteraschen infolge des Chemismus der (Abfall-)Brennstoffe oder einer eventuell behördlich festgelegten oder prozeßtechnisch notwendigen Zugabe von Additiven dahingehend verändert werden, daß



eine Nachbehandlung der Asche (z.B. Al-Entfrachtung) bzw. die Erschließung neuer Verwertungs-/Entsorgungsvarianten erforderlich ist.

Eine wesentliche Auswirkung beim Einsatz von (Abfall-)Brennstoffen ergibt sich auch in Hinblick auf die Menge der Verbrennungsrückstände. Abhängig vom momentan eingesetzten Regelbrennstoff können sich die Aschemenge sowie die durch die Entsorgung verursachten Kosten durch ballastreiche (z.B. getrockneter Klärschlamm) oder balastarme (Abfall-)Brennstoffe (z.B. reine Kunststofffraktion) oder die Notwendigkeit der Verwendung von Additiven signifikant verändern (vgl. Kapitel 5.3.2).

Die daraus möglicherweise betriebswirtschaftlich resultierenden Konsequenzen sind bei der anfänglichen Beurteilung der Sinnhaftigkeit der Mitverbrennung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe unbedingt zu berücksichtigen.

3.4.7 Rauchgasreinigung

Grundsätzlich sind Wirbelschichtfeuerungsanlagen in der Praxis im Bereich der Rauchgasreinigung sehr unterschiedlich ausgestattet. Es sollen hier die drei Kategorien „klassische Mitverbrennungsanlagen“ sowie „industrielle Abfallverbrennungsanlagen“ und „thermische Beseitigungsanlagen (Anlagen aus der Entsorgungswirtschaft)“ unterschieden werden.

Neben einer Entstaubung sind die Anlagen der ersten Kategorie in den meisten Fällen auch mit einer (optionalen) trockenen Rauchgasreinigung in Form von Additivierung bzw. der Eindüsung von Kalkhydrat ausgestattet. Darüber hinaus verfügen diese Anlagen gegebenenfalls auch über Einrichtungen zur NO_x-Minderung.

Die anderen beiden Kategorien der industriellen Abfallverbrennungsanlagen sowie die Wirbelschichtanlagen aus der Entsorgungswirtschaft sind in Hinblick auf die Rauchgasreinigung und die Rückstandsbehandlung gemäß dem Stand der Technik von MVA ausgestattet und genehmigt.

Im Sinne des vorsorgenden Umweltschutzes ist in konkreten Beurteilungsfällen die Qualität des eingesetzten (Abfall-)Brennstoffs mit der Anlagenausstattung (Rauchgasreinigung, Rückstandsbehandlung, etc.) in Beziehung zu setzen.

Während die Mitverbrennung bei der ersten Anlagenkategorie auf definierte (Abfall-)Brennstoffe (Produktionsrückstände, entsprechende Aufbereitungstiefe) beschränkt werden sollte, ist bei den beiden anderen Kategorien aus ökologischer Sicht kein Unterschied zu konventionellen Abfallbeseitigungsanlagen zu machen. Eine Einschränkung des eingesetzten Abfallspektrums scheint daher nicht sinnvoll.

Bei klassischen Mitverbrennungsanlagen wäre durch eine Adaptierung der Rauchgasreinigung (Nachrüstung, Verwendung von (anderen) Additiven) eine Ausweitung des Abfallbrennstoffbandes möglich.

3.5 Abfallwirtschaftlicher Stellenwert der Wirbelschichtverbrennung in Österreich

3.5.1 Bestehende Wirbelschichtfeuerungsanlagen sowie geplante Projekte in Österreich

Momentan sind in Österreich 14 Wirbelschichtverbrennungsanlagen in Betrieb. Es sind dies die Anlagen der [8; 11; 76]:

- Entsorgungsbetriebe Simmering (EbS; 3 Anlagen), Wien
- Asamer-Becker-Recycling GmbH (ABRG), Arnoldstein
- Entsorgungs- und Energieverwertungs GmbH (EEVG), Steyrmühl
- Funder Industrie Ges.m.b.H. (2 Anlagen), St. Veit/Glan
- Hamburger AG, Pitten
- Lenzing AG, Lenzing
- Norske Skog Bruck GmbH, Bruck/Mur
- Patria Papier & Zellstoff AG, Frantschach
- Reststoffverwertung Lenzing Invest GmbH (RVL-I), Lenzing
- Sappi Gratkorn GmbH (2 Anlagen), Gratkorn

Mit Ausnahme der Wirbelschichtanlagen der EbS, der ABRG Arnoldstein sowie der RVL GmbH werden alle der hier genannten Anlagen direkt von Betrieben der Zellstoff-, Papier- und Faserplattenindustrie betrieben.

An dieser Stelle wird auf die Begriffe „Reststoff“ bzw. „Abfall (lt. AWG)“ sowie „thermische Behandlung“, „thermische Verwertung“ bzw. „thermische Beseitigung“ nicht näher eingegangen. Eine entsprechende Diskussion dieser Begriffe findet sich im Kapitel 2.3.

Die hier angeführten Anlagen können in Hinblick auf ihre abfallwirtschaftliche Relevanz in drei Kategorien eingeteilt werden. Es sind dies erstens Anlagen, die ausschließlich zur Entsorgung interner Reststoffe dienen. Dazu gehören die Wirbelschichtfeuerungen der Hamburger AG, der Lenzing AG, der Norske Skog Bruck GmbH und der Sappi Gratkorn GmbH. Die Betreiber dieser Anlagen streben entweder aufgrund der begrenzten Kapazität (Entsorgung interner Reststoffe) oder aufgrund rechtlicher Gegebenheiten und wegen Akzeptanzproblemen in der Öffentlichkeit derzeit nicht die thermische Verwertung von (Abfall-)Brennstoffen an. Die zweite Kategorie sind jene Anlagen, die sowohl interne Reststoffe als auch Abfälle lt. AWG thermisch verwerten. Dieser den klassischen Mitverbrennungsanlagen zuzurechnenden Gruppe sind die Anlagen der EEVG, der Patria Papier & Zellstoff AG und der Funder Industrie Ges.m.b.H. zuzuordnen. Neben einer Entstaubung sind die Anlagen beider Kategorien in den meisten Fällen auch mit einer (optionalen) trockenen Rauchgasreinigung in Form von Additivierung bzw. der Eindüsung von Kalkhydrat ausgestattet. Darüber hinaus verfügt die Anlage der EEVG über eine NO_x-Minderung durch Rauchgasrezirkulation bzw. die Anlagen der Funder Industrie Ges.m.b.H. zusätzlich noch über eine selektive nicht katalytische NO_x-Minderung (SNCR; NH₃-Wassereindüsung).

Als dritte Gruppe wären die Anlagen zu nennen, die über eine umfangreiche mehrstufige Rauchgasreinigungsanlage verfügen und Abfälle lt. AWG thermisch behandeln. Zu dieser Kategorie gehören die industrielle Abfallverbrennungsanlage der RVL-I GmbH sowie die Wirbelschichtanlagen der EbS und der ABRG Arnoldstein (Anlagen aus der Entsorgungswirtschaft). Die Anlage der RVL-I befindet sich seit Juni 1998 im abfallrechtlichen Versuchsbetrieb und besteht aus einer zirkulierenden Wirbelschichtanlage mit einer Rauchgasreinigung und einer Rückstandsbehandlung nach dem Stand der Technik für Müllverbrennungsanlagen [72]. Die Kapazität der Anlage ist lt. Versuchsbetriebsbescheid derzeit auf 150.000 Mg/a beschränkt. Im Gegensatz zu einer konventionellen Müllverbrennungsanlage wurde die Anlage der RVL-I direkt an einem Industriestandort errichtet. Es ist daher ganzjährig die Abnahme sowohl von Strom als auch Dampf gewährleistet. Dies bedingt einen im Vergleich zu Müllverbrennungsanlagen sehr hohen energetischen Wirkungsgrad von ca. 85 %. Bis Ende des Jahres 2000 wurden mit der Anlage bereits über 150.000 Mg Abfälle thermisch behandelt. Es wurden dabei vorwiegend Mischkunststoffe und in geringeren Mengen Altholz, Rückstände aus der Altpapierverarbeitung sowie Klärschlamm eingesetzt und energetisch genutzt [73]. Es ist davon auszugehen, daß in dieser Anlage in Zukunft auch verstärkt hochkalorische Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung thermisch behandelt werden.

In den Wirbelschichtanlagen der EbS wird derzeit zum überwiegenden Teil Klärschlamm verbrannt. Der bereits genehmigte Wirbelschichtofen 4 der EbS (WSO 4, voraussichtliche Kapazität 90.000 Mg/a) soll im Jahr 2003 fertiggestellt werden und die Möglichkeit eines sehr breiten Brennstoffbandes (Klärschlamm bis hin zu aufbereitetem Restmüll) bieten [31]. In den Ausführungen des nachfolgenden Kapitels wird die Realisierung und Inbetriebnahme dieser Anlage mit der oben angegebenen Kapazität vor 2004 vorausgesetzt (angenommener Hauptbrennstoff: aufbereiteter Restabfall).

In der Wirbelschichtanlage der ABRG in Arnoldstein werden vornehmlich gefährliche Abfälle und Gewerbeabfälle verbrannt. Auch diese Anlage verfügt über eine mehrstufige Rauchgasreinigung. Die Kapazität der Anlage beträgt abhängig vom Heizwert ca. 30.000 Mg/a.

Nach dem Vorbild der Anlage der RVL-I wurde der ENAGES Energie- und Abfallverwertungs- GesmbH in Niklasdorf der Bau einer Wirbelschichtfeuerungsanlage mit einer Kapazität von 100.000 Mg/a in 2. Instanz genehmigt. In den Ausführungen des nachfolgenden Kapitels wird von der Realisierung und Inbetriebnahme dieser Anlage (mit einer Kapazität von 60.000 Mg/a und ähnlichen Abfallbrennstoffen wie die der RVL-I) vor 2004 ausgegangen.

Ein weiteres Projekt einer Wirbelschichtfeuerungsanlage befindet sich bereits seit 1994 in Diskussion. Es handelt sich dabei um eine Anlage zur Abluftreinigung und Abfallverwertung bei der Glanzstoff Austria GmbH in St. Pölten. Diese Anlage soll ähnliche Abfälle wie die Anlagen der RVL-I und der ENAGES behandeln und energetisch nutzen. Im September 2000 fand die entscheidende mündliche Verhandlung im Rahmen des § 29 AWG-Verfahrens statt. Der Bescheid wird noch im Jahr 2001 erwartet. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung gemäß UVP-G ist nicht notwendig, da das Projekt vor Inkrafttreten des UVP-G eingereicht wurde. Eine Realisierung und Inbetriebnahme der Anlage mit einer Kapazität von 70.000 bis

150.000 Mg/a in den Jahren 2004 bis 2008 scheint möglich [74; 75]. Bei Zugrundelegen eines Brennstoffmix mit dem vom Betreiber gewünschten Heizwert ist von einem Durchsatz von etwa 100.000 Mg/a auszugehen.

3.5.2 Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtfeuerungsanlagen

Neben der Zellstoff- und Papierindustrie hat sich die Wirbelschichttechnologie auch in der Faserplattenindustrie sowie in der Entsorgungswirtschaft für die thermische Behandlung von Schlämmen und stückigen (u. U. aufbereiteten) Festbrennstoffen/Reststoffen durchgesetzt.

Mit dem Ziel Aussagen zu ermöglichen, inwieweit die österreichische Industrie durch die Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen einen Beitrag bei der Lösung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen leisten kann, wurden am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben in den Jahren 1999 und 2000 Recherchen zum Stand und der Bedeutung der Mitverbrennung von Abfällen in österreichischen Industrieanlagen durchgeführt. In einer auf Basis dieser Recherche in Fertigstellung befindlichen Neuauflage der Studie „Mitverbrennung heizwertreicher Abfallfraktionen in industriellen Feuerungsanlagen – Derzeitiger Stand in Österreich“ [8] wird vor allem versucht, eine Prognose zur thermischen Verwertung in industriellen Feuerungsanlagen in Hinblick auf das Jahr 2004 zu machen [76]. Um zukünftige Entwicklungen sowie die Bedeutung der Industrie am Sektor der thermischen Abfallbehandlung abzuschätzen, wurden auch kommunale Müllverbrennungsanlagen [31; 77] in die Auswertungen miteinbezogen. Dies soll eine Abschätzung des Stellenwerts unterschiedlicher Anlagenkategorien für verschiedene Abfallströme einerseits und andererseits der abfallwirtschaftlichen Relevanz dieser Anlagenkategorien insgesamt ermöglichen. Darüberhinaus soll die Studie die Ableitung von Handlungserfordernissen in Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung ermöglichen. Da von der Holzindustrie keine aktuellen Daten zur Verfügung standen, sind für die Auswertung Daten über das Jahr 1995 herangezogen worden [78].

Während eine Aussage in Hinblick auf die in Österreich im Jahr 2004 voraussichtlich thermisch behandelten Abfallmengen (ausschließlich externe Abfälle gemäß AWG) gegliedert nach Branchen und Abfallarten dem Kapitel 4.3 zu entnehmen ist, wird in diesem Abschnitt auf die thermische Behandlung von internen Reststoffen und Abfällen gemäß AWG in Wirbelschichtfeuerungsanlagen bzw. anderen Anlagen eingegangen.

In Österreich werden derzeit ca. 1,085 Mio. Mg Abfälle bzw. Reststoffe pro Jahr in Wirbelschichtfeuerungsanlagen thermisch behandelt [76]. Aus Abbildung 3.4 ist der mit 40,8 M.-% stark dominierende Anteil der Wirbelschichttechnologie an der gesamten thermisch behandelten Abfall- und Reststoffmenge in Österreich ersichtlich. Reine Biomassefeuerungen sind bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Es ist darauf hinzuweisen, daß Abfälle aus der Wasseraufbereitung als reine Trockensubstanz und andere Abfälle bzw. Reststoffe im Anfallzustand (feucht) in der Darstellung des Massentials bzw. der Behandlungskapazitäten Eingang gefunden haben.

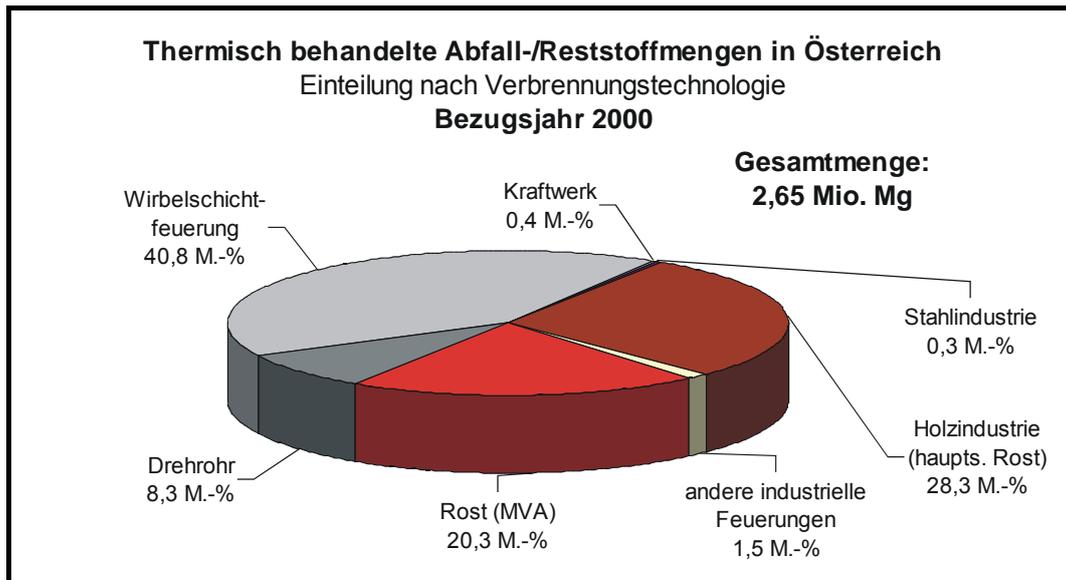


Abbildung 3.4: Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Österreich, verfahrensbezogen (Bezugsjahr: 2000) [76]

Wurden Wirbelschichtfeuerungsanlagen bis vor wenigen Jahren in Österreich ausschließlich für die thermische Behandlung von Klärschlämmen und Holzabfällen und vor allem in hohem Maße für die energetische Nutzung interner Reststoffe verwendet, so zeichnet sich nun ein Trend ab, daß auch Papier- und Kunststoffabfälle aus Produktions- oder Verwertungsprozessen bzw. heizwertreiche Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung über diesen Weg einer energetischen Nutzung zugeführt werden.

Abbildung 3.5 zeigt in einer Zeitreihe die Menge an internen Reststoffen, bzw. Abfällen gemäß dem Abfallbegriff des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG), die in österreichischen Wirbelschichtfeuerungsanlagen thermisch behandelt und energetisch genutzt werden. Es wurde bei dieser Darstellung in der Prognose für das Jahr 2004 die Realisierung der Wirbelschichtkessel der ENAGES (Niklasdorf, Stmk.) sowie der Entsorgungsbetriebe Simmering (Wien) und ebenfalls die Inbetriebnahme des Wirbelschichtkessels der Glanzstoff Austria GmbH (St. Pölten) zugrunde gelegt.

Der überproportionale Anstieg des Anteils von Abfällen lt. AWG in der Prognose für das Jahr 2004 liegt nicht zuletzt in der erwarteten Realisierung der geplanten Projekte begründet und veranschaulicht zusätzlich den steigenden Stellenwert der Wirbelschichttechnologie in der Abfallwirtschaft. Es ist jedoch in diesem Zusammenhang auf die unterschiedliche Definition des Begriffs „Abfall“ im EU-Gemeinschaftsrecht bzw. im österreichischen Abfallrecht hinzuweisen. Ein diesbezügliches Urteil beim europäischen Gerichtshof ist derzeit anhängig (vgl. Kapitel 2.3). Die Ausweitung des Abfallbegriffs auf interne Reststoffe wäre vor allem für Betriebe der Zellstoff-, Papier- und Faserplattenindustrie sowie der Holzindustrie mit erheblichen Problemen verbunden. Den beiden ersteren Industriezweigen wurde in der EU-Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen unter gewissen Voraussetzungen eine Ausnahme hinsichtlich der internen Reststoffe eingeräumt (Nichteinrechnung der Abfälle aus der Papier- und Zellstoffindustrie bei der Berechnung der Grenzwerte nach der Mischungsregel).

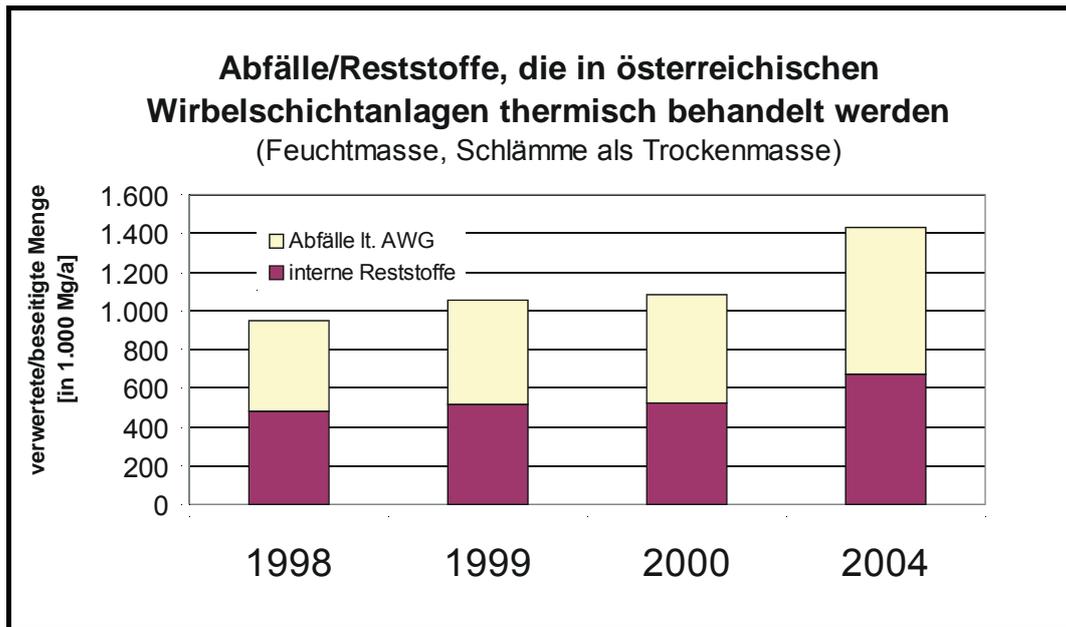


Abbildung 3.5: Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtanlagen in Österreich [76]

Aufgrund der steigenden Anzahl der Biomassefeuerungsanlagen wird es für Betriebe der Zellstoff-, Papier- und Faserplattenindustrie immer schwieriger, Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung zu akzeptablen Bedingungen am Markt zu akquirieren. Aus diesem Grund ist eine Veränderung des in diesen Branchen eingesetzten Reststoff-/Abfallspektrums hin zu Holzabfällen aus der Anwendung bzw. Produktionsabfällen definierter Zusammensetzung bzw. im Bereich der industriellen Abfallverbrennungsanlagen auch zu (aufbereiteten) Restabfällen zu erwarten. Dies zeigt sich auch in Abbildung 3.6. Es ist jedoch davon auszugehen, daß klassische Mitverbrennungsanlagen aus Gründen des Arbeitsschutzes sowie aufgrund fehlender Rauchgasreinigungseinrichtungen vom Einsatz undefinierter Rückstände aus der Restabfallbehandlung absehen werden. Anders hingegen stellt sich die Situation bei industriellen Abfallverbrennungsanlagen wie z.B. der Anlage der RVL-I in Lenzing dar. Derartige Anlagen mit einer modernen Ausstattung im Bereich der Rauchgasreinigungseinrichtungen und der Rückstandsbehandlung nach dem Stand der Technik von Müllverbrennungsanlagen sowie einer sehr umfangreichen vorgeschalteten mechanischen Aufbereitungsanlage zur Qualitätssicherung und Homogenisierung der (Abfall-)Brennstoffe sind prädestiniert für die thermische Verwertung hochkalorischer Siebreste. Es ist davon auszugehen, daß weitere Projekte industrieller Abfallverbrennungsanlagen in dieser Branche realisiert werden, da die Menge an heizwertreichen Abfällen sehr hoch und deren Entsorgung nach Inkrafttreten des Deponierungsverbots gemäß Deponieverordnung z. Z. noch ungeklärt ist. Infolge der steigenden Bedeutung der mechanisch und/oder biologischen (Rest-)Abfallbehandlung ist von einer ebenfalls steigenden Bedeutung der Wirbelschichttechnologie bei der Entsorgung von (aufbereiteten) Abfallfraktionen zu rechnen [10]. In Abbildung 3.6 ist dieser Trend ersichtlich.

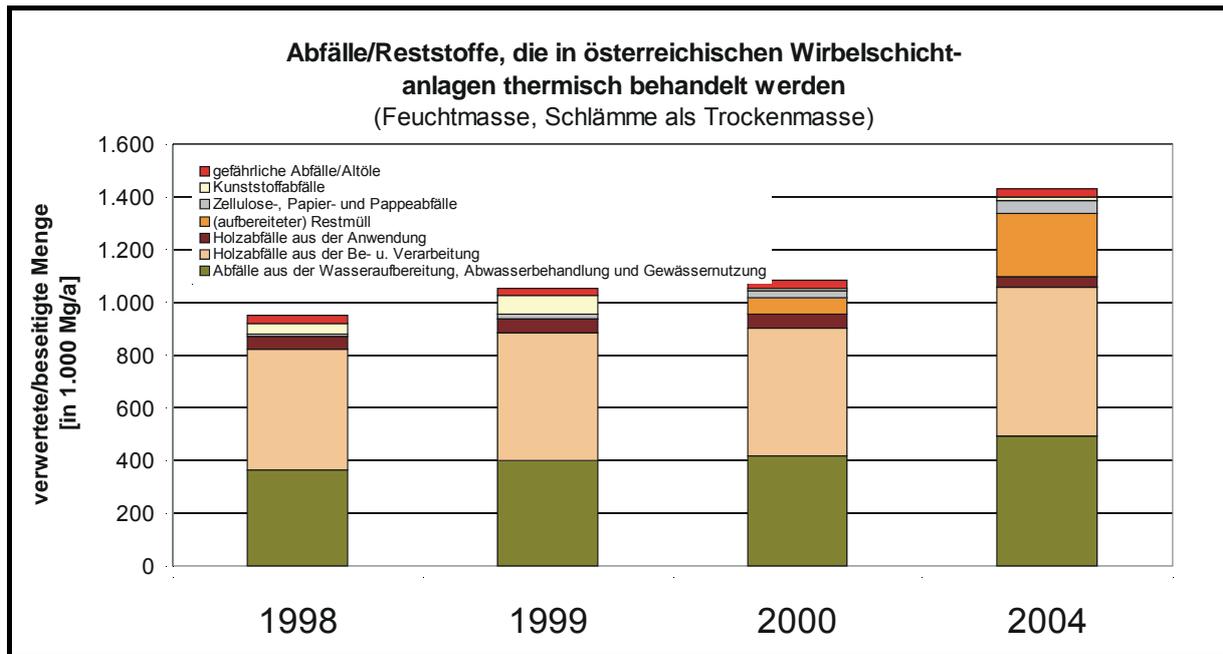


Abbildung 3.6: Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtanlagen in Österreich, abfallbezogen (Bezugsjahr: 2000) [76]

Eine wesentliche Veränderung in Hinblick auf die in Wirbelschichtfeuerungsanlagen als Brennstoff verwendeten Abfallstoffe zeichnet sich durch die beginnende und steigende Verwendung von (aufbereitetem) Restabfall ab. Bei Mischkunststoffen besteht einerseits die Frage, ob eine derartige Abfallfraktion vor dem Hintergrund der angedachten Beschränkung der Sammlung über die gelbe Tonne auf rein stofflich verwertbare Abfallstoffe und der Erfassung ohnehin thermisch zu verwertender Kunststoffabfälle über den Systemmüll (bei nachfolgender mechanisch-biologischer Behandlung \Rightarrow hochkalorische Siebreste) auch weiterhin bestehen wird [79]. Andererseits gibt es starke Bestrebungen der Zementindustrie, Kunststoffe verschiedenster Herkunft (pre- und post-consumer) als (Abfall-)Brennstoff einzusetzen. Ebenfalls eine zunehmende Bedeutung der Wirbelschichtfeuerungsanlagen ist im Bereich der Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung sowie bei Klärschlämmen zu verzeichnen.

4 Entsorgungssituation heizwertreicher Abfälle nach 2004

Im vorliegenden Kapitel dieser Arbeit werden Massenpotentiale sowie die Beschaffenheit heizwertreicher Abfallfraktionen erörtert. Letztendlich soll eine Abschätzung des Handlungsbedarfs in Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung mit 1. Januar 2004 getätigt werden.

4.1 Erhebung von Massenpotentialen

Nachfolgend werden die Ergebnisse einer umfangreichen Marktrecherche [70] diskutiert. Geographisch erstreckte sich die Umfrage auf Österreich. Ziel dieser Erhebung war, potentielle Abfallbrennstoffe zu identifizieren. Neben der Vorgehensweise wird auch das Ergebnis der Recherche auszugsweise dargestellt. Es soll jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den Mengenangaben ausschließlich um die gemäß dem Rücklauf angegebenen Mengen handelt. Es wurde keine Hochrechnung auf die in den jeweiligen Branchen oder für die jeweilige Abfallart insgesamt zu erwartenden Mengen durchgeführt.

Im Rahmen der oben genannten Recherche wurde eine umfangreiche Fragebogenerhebung mit dem Ziel durchgeführt, den Anfall von zur Mitverbrennung in WS - Anlagen geeigneten Abfällen bzw. Reststoffen in ausgesuchten Industriebranchen mengenmäßig zu erheben. Ausgehend von spezifischen industriellen und gewerblichen Abfallströmen, die aufgrund ihrer physikalischen Beschaffenheit (Heizwert, Stückigkeit) direkt oder mit entsprechender Vorbehandlung in Wirbelschichtfeuerungsanlagen eingesetzt werden könnten, wurden all jene industriellen und gewerblichen Sektoren in die Erhebung miteinbezogen, in denen diese ausgewählten Abfälle anfallen. Zusätzlich wurde die Recherche um einzelne mengenmäßig relevante Abfallarten erweitert. Es wurde auch darauf abgezielt, die Verfügbarkeit dieser Abfälle am Markt sowie deren physikalische Beschaffenheit zu ermitteln. Weiters wurde darauf Bedacht genommen, eine Korrelation zu den Schlüsselnummern des Abfallkatalogs (ÖNORM S 2100) zu bewahren.

Folgende Industriebranchen wurden in dieser Erhebung berücksichtigt:

- Papier-, Pappe- und Zellstofferzeugende Industrie
- Papier und Pappeverarbeitende Industrie
- Holzhaus- und Hallenbauindustrie
- Industrielle Bautischlereien
- Industrielle Erzeuger von Bürsten-, Besen- und Pinsel
- Industrielle Holzimprägnierwerke
- Skiindustrie
- Kunststoffhersteller
- Brauereien
- Chemische Industrie

Außer diesen Industriebranchen wurden auch Entsorgungsbetriebe, Sammler, Behandler bzw. Verwerter in die Recherche miteinbezogen. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde jedoch zwischen Abfallerzeugern sowie Sammlern/Behandlern/Verwertern von Abfällen unterschieden, da deren Auftreten am Markt aufgrund unterschiedlicher Interessen grundlegend verschieden ist.

Zum Beginn der Recherche wurde ein Fragebogen erstellt und den Firmen der ausgewählten Branchen zugesandt. In weiterer Folge wurde die einzuholende Information durch eine intensive telefonische Recherche bzw. persönliche Gespräche verdichtet. Die Gesamtrücklaufquote bei dieser Recherche betrug 42 %.

In der Tabelle 4.1 ist die Rücklaufquote aufgeschlüsselt nach Branchen dargestellt:

Tabelle 4.1: Rücklaufquote der Recherche über potentielle (Abfall-)Brennstoffe, aufgeschlüsselt nach Branchen

Branche	Anzahl kontaktierter Betriebe	Rücklaufquote [%]
Papier- und Zellstofferzeugende Industrie	13	100
Papier- und Pappeverarbeitende Industrie	118	62
Holzverarbeitende Industrie	109	19
Holzhaus- und Hallenbauindustrie		3,8
Industrielle Bautischlereien		11,3
Bürsten-, Besen- und Pinselwarenindustrie		25
Holzimprägnierindustrie		30
Skiindustrie		75
Chemische Industrie	52	62
Kunststofferzeugende Industrie		60
Kunststoffverarbeitende Industrie		64
Brauereien	9	70
Entsorger/Behandler/Verwerter	90	19
Gesamt	391	42

Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, daß in bestimmten Branchen größeres Interesse an der Abgabe von Abfällen besteht, da die Rücklaufquote als Indikator für die Erfordernis einer Änderung der derzeitigen Entsorgungspraxis zu werten ist. Eine Ausnahme diesbezüglich stellt die Papier- und Zellstofferzeugende Industrie dar, da diese ihre Reststoffe/Abfälle zum größten Teil branchenintern thermisch behandelt. Es wird in den folgenden Kapiteln nur auf jene Branchen eingegangen, deren Ergebnisse aus der Erhebung aufgrund der hohen Rücklaufquote ein repräsentatives Bild über die anfallenden Reststoffe, deren derzeitige Verwertung bzw. Entsorgung sowie über die zukünftige Entwicklung ihrer Verwertung/Entsorgung zulassen (vgl. Kapitel 4.1.1).

Da es auch Potentiale an heizwertreichen Fraktionen im Altholzbereich gibt, wird auf die Menge sowie die Verwertungs- und Entsorgungssituation dieser Fraktion näher eingegangen. Weiters wird auch die Entsorgungs- und Verwertungssituation von Klärschlamm und Siebresten aus der mechanisch - biologischen Abfallbehandlung betrachtet, da sich auch bei diesen Fraktionen in Zukunft die Frage einer zulässigen Verwertung bzw. Entsorgung stellt (vgl. Kapitel 4.1.2).

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Erhebung zusammengefaßt dargestellt, um einerseits einen Überblick über die Branchen zu bekommen, in denen die Potentiale an thermisch verwertbaren Reststoffen bzw. Abfällen vorhanden sind und andererseits um jene Abfallarten hervorzuheben, die in größeren Mengen anfallen und dadurch für eine thermische Behandlung in bestehenden Wirbelschichtfeuerungsanlagen, hinsichtlich Ihrer Verfügbarkeit in Frage kommen. Bei der Darstellung der relevanten Abfallarten wurden aus diesem Grund nur jene herangezogen, deren Anfall mit mindestens 500 Mg/a erhoben wurde. An dieser Stelle ist noch einmal darauf hinzuweisen, daß es sich bei den Mengenangaben lediglich um die Mengen aus den retournierten Fragebögen handelt. Es erfolgte keine Hochrechnung auf die gesamte Branche, da der Zweck der Recherche ausschließlich in der Feststellung des „Entsorgungsdrucks“ bei verschiedenen Abfallarten in den einzelnen Branchen bestand.

4.1.1 Ergebnis für Branchen

➤ Papier- und Zellstofferzeugende Industrie [79]

Bei der Papiererzeugung in Österreich entstehen jährlich etwa **1,29 Millionen Mg Reststoffe**, die sich hauptsächlich aus Holzabfällen aus der Be- und Verarbeitung (unbelastete Holzabfälle und Rinde), Schlämmen aus der mechanischen und biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung sowie aus Zellulose-, Papier- und Pappeabfällen (Sortierrückstände) zusammensetzen.

Von den rund 1,29 Millionen Mg an Reststoffen werden ca. 27 M.-% stofflich genutzt, wobei der größte Anteil in der Ziegel- und Zementindustrie eingesetzt wird. 64 M.-% der festen Reststoffe werden einer energetischen Nutzung zugeführt (branchenintern und branchenextern) und 8,5 M.-% werden deponiert. Der Rest, wie Altmetalle und gefährliche Abfälle, wird von Sammlern und Entsorgern abgeholt.

Bei den noch deponierten Reststoffen handelt es sich zu 27 M.-% um Reststoffe mineralischen Ursprungs. Der Rest der deponierten Materialien sind biogene Reststoffe, wie Sortierrückstände stofflich nicht verwertbarer Papierfraktionen, Holzreste und Abwasserschlämme, die einer thermischen Behandlung zugeführt werden könnten bzw. ab 2004 werden müssen. Die theoretisch noch energetisch nutzbare Menge beläuft sich auf ca. 79.000 Mg/a. Die Eignung dieser Fraktionen für eine thermische Verwertung müßte allerdings in Bezug auf Ihre Beschaffenheit (Heizwert, Stückigkeit, Feuchtigkeit) noch festgestellt werden.



➤ **Papier- und Pappeverarbeitende (PPV) Industrie**

Die **Gesamtmenge an Abfällen**, die laut Fragebogenerhebung anfällt, beträgt **29.888 Mg/a**. Dabei haben die Zellulose-, Papier- und Pappeabfälle den größten Anteil (97 M.-%). Der Rest setzt sich aus Holzabfällen und Kunststoffen zusammen.

Die Erhebung ergab, daß der Hauptanteil der Abfälle von Sammlern und Entsorgern abgeholt und größtenteils stofflich verwertet wird.

Es besteht für 24 M.-% der anfallenden Abfälle Interesse an Abgabe. Der größte Anteil dabei entfällt auf die Papier- und Pappeabfälle (z. B. silikonbeschichtete Papiere), die permanent bei der Produktion anfallen. Diese Abfälle liegen zum Teil vorzerkleinert und zum Teil flächig vor. Es ist hier allerdings zu prüfen, ob diese Abfälle in Hinblick auf ihre Beschaffenheit u.U. ohne eine weitere Vorbehandlung einer thermischen Verwertung zugeführt werden können.

➤ **Chemische Industrie**

In dieser Branche wurden die kunststofferzeugenden und -verarbeitenden Unternehmen berücksichtigt.

Die **rd. 8.500 Mg/a anfallenden Reststoffe bzw. Abfälle** in der **kunststofferzeugenden Industrie** bestehen zu ca. 47 M.-% aus Polyolefinabfällen und zu ca. 42 M.-% aus anaerob stabilisierten Schlämmen. Ein geringer Anteil verteilt sich auf ausgehärtete Kunststoffabfälle und -dispersionen. Laut Angaben der Erhebung werden die Polyolefinabfälle zum Teil stofflich verwertet und die anaerob stabilisierten Schlämme an Entsorger bzw. Sammler abgegeben.

Es besteht für Kunststoffdispersionen Interesse an Abgabe, diese fallen allerdings nicht permanent an. In der kunststofferzeugenden Industrie scheint es kein großes Potential an Abfällen für die thermische Behandlung zu geben. Es ist anzunehmen, daß die meisten Reststoffe der kunststofferzeugenden Unternehmen im Kreislauf geführt und somit wieder in den Prozeß eingebracht werden.

Für die **kunststoffverarbeitende Industrie** ergab sich aus der Erhebung eine **jährliche Menge von ca. 103.000 Mg**, die sich hauptsächlich aus nicht verunreinigter Holzwolle (47 M.-%) sowie Polyolefin- und Polystyrolabfällen zusammensetzt (24 M.-%). Der Rest besteht aus Holzabfällen und Kunststoffen. Aus den Angaben der Erhebung ergab sich, daß der Großteil der anfallenden Kunststoffreststoffe intern thermisch bzw. stofflich verwertet und eine geringere Menge an Sammler bzw. Entsorger abgegeben wird.

Für etwa 1,8 M.-% der Reststoffe, hauptsächlich Holzemballagen und Kunststoffe, besteht Interesse an Abgabe. Es sind hier die Beschaffenheit, Eigenschaften und die Verwendbarkeit für eine thermische Verwertung der Reststoffe noch zu prüfen, da keine genauen Angaben vorliegen.

➤ **Brauereien**

Von den **rd. 85.300 Mg** jährlich in der Brauereibranche anfallenden **Reststoffen** sind ca. 97 M.-% Malztreber, Malzkeime und Malzstaub. Der Rest besteht aus Papier, Holzemballagen, Kartonagen und Kunststoffolien.



Aufgrund mangelnder Angaben ist eine Beurteilung eines für die thermische Behandlung zur Verfügung stehenden Reststoff - Potentials in der Brauerei - Branche nicht möglich. Jedoch speziell bei den Abfällen Malztreber, Malzkeime und Malzstaub scheint aufgrund des Massenpotentials und des drohenden Deponierungsverbotes ab 2004 (bzw. 2009) eine thermische Behandlung bei Fehlen anderer Alternativen (z.B. Verfütterung) notwendig und sinnvoll. Erste Schritte einer Lösung der Entsorgung dieser Abfälle sind bereits im Gange [80].

4.1.2 Ergebnis für Abfallarten

Im Folgenden sind jene Reststoff-/Abfallarten dargestellt, die dem Ergebnis der Recherche zufolge, in größeren Mengen auftreten. Dabei werden auch Abfälle erwähnt, die bei den Entsorgern anfallen. Es handelt sich hierbei um solche, welche dezentral anfallen und von Entsorgern zentral erfaßt werden (z.B. Bau- und Abbruchholz). Zusätzlich wird auch Klärschlamm berücksichtigt.

➤ **Malztreber, -keime, -staub (SNr.: 11404)**

In den Brauereien fallen **ca. 83.100 Mg/a** Malztreber und Malzkeime an. Ein Interesse an Abgabe besteht für rund 24.000 Mg/a.

➤ **Rinde (SNr.: 17101)**

Das Resultat der Recherche ergab einen Rindenanfall von **321.000 Mg/a**, der ausschließlich nur in der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie anfällt. Für 43.000 Mg besteht derzeit Interesse an Abgabe.

➤ **Sägemehl und Sägespäne aus sauberem unbeschichteten Holz (SNr.: 17103)**

Für die in der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie anfallenden **50.000 Mg/a** an Sägemehl- und Sägespänereststoffen besteht laut Ergebnis der Recherche Interesse an Abgabe.

➤ **Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle (SNr.: 17201)**

Rund **11.570 Mg/a** Holzballagen fallen gemäß den Erhebungen bei den Entsorgern an.

➤ **Bau- und Abbruchholz (SNr.: 17202)**

Rund **21.300 Mg/a** an Bau und Abbruchholz werden an Entsorger bzw. Behandler abgegeben. Für ca. 3.300 Mg/a besteht Interesse an Abgabe.

➤ **Holzwolle, nicht verunreinigt (SNr.: 17203)**

In der chemischen Industrie fallen **ca. 4.900 Mg/a** nicht verunreinigte Holzwolle an. Hier ist nicht bekannt ob ein Interesse an Abgabe besteht.

➤ **Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (SNr.: 18407)**

Das Massenpotential der Rückstände aus der Altpapierverarbeitung wurde mit **88.400 Mg/a** erhoben. Davon fallen 18.000 Mg/a bei Entsorgern, 67.500 Mg/a in der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie und 2.900 Mg/a in der PPV Industrie an. Für 8.000 Mg/a in der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie anfallende Rückstände besteht auch heute schon Interesse an Abgabe. Es ist jedoch bekannt, daß die Menge an derzeit deponierten Abfällen dieser Abfallart bedeutend höher ist. Daher ist von einem höheren Massenpotential auszugehen.

➤ **Polyolefinabfälle (SNr.: 57128)**

Bei den Entsorgern treten **ca. 2.400 Mg** und in der Kunststoffherstellenden Industrie **ca. 4.000 Mg** Polyolefine pro Jahr auf. Bei den Entsorgern besteht für etwa 1.900 Mg/a Interesse an Abgabe.

➤ **Shredderrückstände (Leichtfraktion) (SNr.: 57801) [37]**

Im Bereich dieser Abfälle ist ebenfalls aufgrund der allgemein guten Wirtschaftslage sowie der sich ändernden Gesetze mit einem steigenden Massenpotential zu rechnen. Man unterscheidet einerseits die Shredder-NE-Metallfraktion und andererseits die Shredderleichtfraktion. Kritisch bei diesen Abfallfraktionen sind die Schadstoffgehalte, wobei hier vor allem das Chlor aus den Kabelummantelungen sowie das Kupfer zu erwähnen sind. Durch die katalytische Wirkung des Kupfers ist bei einer thermischen Behandlung eine verstärkte Dioxinbildung zu erwarten. In diesem Zusammenhang sind jedoch bereits Bestrebungen der Shredderbetriebe zu bemerken, die Aufbereitung in Hinblick auf eine Schadstoffentfrachtung zu optimieren [81].

Laut Bundesabfallwirtschaftsplan 1998 ist von einem **jährlichen Aufkommen** in der Größenordnung von **60.000 Mg** auszugehen.

➤ **Rückstände aus der mechanischen/biologischen Abfallbehandlung bzw. -aufbereitung (Siebreste; SNr.: 91102 und 91103) [82; 83; 84]**

Nach Ergebnis der Recherche fallen bei den Entsorgern **rd. 45.000 Mg/a** Rückstände aus der mechanischen oder biologischen Abfallbehandlung bzw. -aufbereitung an. Für 10.000 Mg/a besteht Interesse an Abgabe.

Vor dem Hintergrund eines Forcierens der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR, ⇒ Restmüllsplitting) bzw. der mechanischen Abfallaufbereitung ist von einem Ansteigen der Mengen auszugehen. Es muß dabei allein im Bereich der Haushaltsabfälle mit einer Menge von zumindest 400.000 Mg Siebresten pro Jahr gerechnet werden. Darüber hinaus werden MBR-Anlagen auch immer häufiger auf die Mitbehandlung von biologischen Prozessen nicht zugänglichen Abfallfraktionen wie Sperrmüll und Industrie- und Gewerbeabfällen im Rahmen der mechanischen Stufe hin konzipiert.

Abhängig von der Betriebsweise der MBR-Anlage (*mit oder ohne* Klärschlammzugabe) kann davon ausgegangen werden, daß 35 bzw. 50 M.-% des Anlageninputs als Siebreste (vor und nach der biologischen Behandlungsstufe abgetrennt) thermisch zu behandeln sind.

Es ist jedoch bei der thermischen Behandlung in industriellen Feuerungsanlagen besondere Vorsicht angebracht, da die Anlagen in der Regel in Hinblick auf die Rauchgasreinigungs- sowie Arbeitsschutzeinrichtungen (z.B. Keimbelastung) nicht für den Einsatz von Abfallbrennstoffen eingerichtet sind.

➤ **Baustellenabfälle (SNr.: 91206)**

Das Massenpotential der Baustellenabfälle beträgt **9.390 Mg/a**. Diese Abfallart fällt ausschließlich bei Entsorgern an.

➤ **Klärschlamm (SNr.: 94302) [37; 85]**

Die Masse der Abfälle aus der Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und der Gewässernutzung, die größtenteils als Schlämme anfallen, wird auf 2,3 Mio. Mg (30 M.-% Trockensubstanz) geschätzt.

Die Gesamtmasse der Abfallgruppe blieb seit 1995 annähernd unverändert. Aktuelle Daten sind nur für industrielle und kommunale Klärschlämme verfügbar, es wird daher im Folgenden nur mehr auf diese Abfälle Bezug genommen:

Laut Gewässerschutzbericht 1996 fielen 1995 in Österreich **390.500 Mg TS/a** Klärschlamm an, wovon 186.000 Mg TS/a aus dem kommunalen Bereich und 204.500 Mg TS/a aus der Industrie stammen und ein großer Teil dieser Schlämme noch deponiert wurde. In den nächsten Jahren ist aufgrund eines Ausbaus sowie einer Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlagen mit steigenden Klärschlammengen zu rechnen. Zusätzlich dürfen Klärschlämme ab dem Jahr 2004 (bzw. 2009) nicht mehr unbehandelt deponiert werden.

Der teilweise hohe Wassergehalt wirkt sich in Hinblick auf den energiebezogenen Schadstoffeintrag in den Prozeß negativ aus (vgl. Kapitel 5).

➤ **Schlamm aus der mechanischen bzw. biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung (SNr.: 94802 und 94803)**

Die angegebene Menge an Schlämmen aus mechanischer und biologischer Abwasserbehandlung betrug 194.700 Mg/a, Die Menge an Schlämmen aus der mechanischen Abwasserbehandlung beträgt 89.400 Mg/a und aus der biologischen Abwasserbehandlung 61.000 Mg/a. Dies ergibt eine Gesamtmenge an Schlämmen aus der Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung von **345.100 Mg/a**.

Über das Interesse einer Abgabe wurden keine Angaben gemacht, es ist jedoch klar, daß diese Schlämme nach dem 1.1.2004 (bzw. 2009) nicht mehr deponiert werden dürfen. Bereits jetzt werden für die Entsorgung dieser Schlämme z.T. hohe Altlastensanierungsbeiträge gezahlt, wodurch ein starkes Interesse, diese Schlämme thermisch zu behandeln, anzunehmen ist.

➤ Altholz [86]

Die in Österreich anfallenden Massen an Holzabfällen und Holzreststoffen sind gut bekannt. Die Verwertungsquote dieser Abfälle in Industriebetrieben ist sowohl in stofflicher als auch in energetischer Hinsicht heute als sehr hoch zu bezeichnen. Unzureichend bekannt sind Art und Massen jener Holzabfälle, die derzeit noch deponiert werden. Es handelt sich hierbei um Altholzmengen aus dem Haushaltsbereich und dem Baubereich, sowie Altschwellen und Altmaste, die für die Mitverbrennung zur Verfügung stehen könnten. Naturbelassenes Altholz aus Kabeltrommeln, Paletten, Kisten, Eisenbahnschwellen, Bau- und Abbruchholz u.ä. kann, obwohl das Material bereits eine Verwendung durchlaufen hat, über Sortiervorgänge zurückgewonnen und damit verwertbar gemacht werden.

Die jährlich in Österreich anfallenden Altholzmengen aus dem Haushaltsbereich und dem Baubereich, sowie Altmaste und Altschwellen beträgt **ca. 416.100 Mg**.

Es ist davon auszugehen, daß derzeit noch beträchtliche Anteile dieser auf kommunaler Ebene anfallenden Altholzmengen deponiert werden und für eine Mitverbrennung grundsätzlich zur Verfügung stehen sollten. Es gilt allerdings zu überprüfen, inwieweit sich dieses Altholz für eine thermische Behandlung in industriellen Feuerungsanlagen eignet bzw. die energetische Nutzung von Altholz bereits erfolgt.

4.1.3 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Abschließend wird versucht, in einer tabellarischen Aufstellung (vgl. Tabelle 4.2) das Potential an heizwertreichen Abfällen zusammenzufassen. Die Kommentare in der Spalte "Abgabeinteresse" bzw. "Verfügbarkeit" sind als Indikator für den "Entsorgungsdruck" (somit auch Kostendruck) für die jeweilige Abfallart anzusehen. In der letzten Spalte "Verfügbarkeit" soll eine Abschätzung über die Entwicklung des für die Mitverbrennung in Frage kommenden Massenpotentials der einzelnen Abfallarten aufgrund der Tendenzen in der (Abfall-)Wirtschaft gemacht werden. Es soll dabei zum Ausdruck gebracht werden, inwiefern sich aus Sicht des Verfassers die Bedeutung der thermischen Behandlung in industriellen Feuerungsanlagen für die jeweilige Abfallart entwickeln wird.

Wenn man das Massenpotential und die derzeitige Entsorgungspraxis von Abfällen mit den rechtlichen Vorgaben (DVO) vergleicht, so wird ersichtlich, daß in Zukunft vor allem Reststoffe bzw. Abfälle aus der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie, wie zum Beispiel Holzreste und Abwasserschlämme, sowie aus der Papier- und Pappeverarbeitenden Industrie zur Mitverbrennung zur Verfügung stehen werden. Darüber hinaus läßt sich festhalten, daß beschichtete Papiere (PPV-Industrie), Rückstände aus der Altpapierverarbeitung, Polyolefine, Altholz und getrockneter Klärschlamm - die Anlageneignung vorausgesetzt - als potentielle zukünftige (Abfall-)Brennstoffe identifiziert werden konnten.

Abhängig von der Aufbereitungstiefe sowie dem Umfang der Rauchgasreinigung der entsprechenden Behandlungsanlage könnte dieses Spektrum erweitert werden (z.B. hochkalorische Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR)).



Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Menge, Herkunft und der prognostizierten Verfügbarkeit verschiedener Abfallarten in Österreich

Abfallart	Menge [Mg/a]	Haupt-herkunft	Abgabe-interesse	Verfüg-barkeit
Schlamm aus der mech./ biol. Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	345.100	Papier- und Zell- stofferz. Industrie	k. A.	steigend
Rinde	321.000	Papier- und Zell- stofferz. Industrie	vorhanden	eher fallend
Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	88.400	Papier- und Zell- stofferz. Industrie	groß	stark steigend
Sägemehl und Sägespäne aus sauberem unbeschichtetem Holz	50.000	Papier- und Zell- stofferz. Industrie	sehr groß	eher fallend
Malztreber, -keime, -staub	83.133	Brauereien	groß	eher steigend
Bau- und Abbruchholz	21.300	Entsorger	groß	steigend
Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle	11.570	Entsorger	k.A.	gleichbleibend
Baustellenabfälle	9.390	Entsorger	groß	steigend
Holzwolle, nicht verunreinigt	4.900	Chemische Industrie	k.A.	gleichbleibend
Polyolefinabfälle	6.400	Kunststofferz. Industrie	groß	steigend
Altholz	416.100	Entsorger	-	steigend
Rückstände aus der mech./ biol. Ab- fallbehandlung bzw. -aufbereitung	45.000	Entsorger	groß	stark steigend
Shredderrückstände (Leichtfraktion)	60.000	Shredderbetriebe	groß	eher steigend
Klärschlamm	390.500	Reinhalteverbände	-	stark steigend

Im Rahmen der Integration mechanischer Behandlungsschritte in die MBR geht es bei den meisten Betreibern derzeit ausschließlich darum, durch das Ausschleusen heizwertreicher Fraktionen deponiefähiges Material zu erzeugen bzw. eine Kapazitätserweiterung zu erzielen. Nur ansatzweise ist merkbar, daß sich Anlagenbetreiber Gedanken über die Erzeugung qualitativ hochwertiger (Abfall-)Brennstoffe (Fe-, NE- und Inerstoffabscheidung) machen. Man macht sich bisher relativ wenig Gedanken darüber, wie die mechanische Gesamtkonfiguration der MBR-Anlagen ab dem Jahr 2004 aussehen soll. Bisher stehen die notwendigen Maßnahmen zur sicheren Einhaltung des H_0 -Grenzwertes im Vordergrund.

Bezüglich der Leichtfraktion (Siebreste) geht man in den meisten Fällen davon aus, daß diese ohne weitere Aufbereitung an einen Behandler, z.B. die RVL-I GmbH Lenzing, abgegeben werden kann. Inzwischen gibt es aber auch erste Ansätze, die Siebreste unter bestimmten Voraussetzungen in Zukunft auch in der Zementindustrie mitzuverbrennen [4]. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch klar, daß Zementwerke nur definierte Siebrest-qualitäten einsetzen würden. Dies würde entweder eine weitgehende Adaptierung bestehender MBR-Anlagen in Hinblick auf die Erzeugung einer qualitätsoptimierten thermischen Fraktion oder eine weitergehende Behandlung der Siebreste am Standort des Zementwerkes bzw. durch Dritte erfordern.

4.2 Charakterisierung von potentiellen (Abfall-)Brennstoffen

Hinsichtlich der Beschaffenheit von Abfallbrennstoffen ist grundsätzlich zwischen relativ homogenen Produktionsabfällen bzw. sortenreinen Abfällen und eher heterogenen Abfallströmen (z.B. Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung) zu unterscheiden.

In diesem Kapitel soll eine allgemeine Beschreibung sowie eine stoffliche, physikalische und chemische Charakterisierung einerseits der Abfallfraktionen, die im Rahmen der großtechnischen Verbrennungsversuche, die dieser Dissertation zugrunde liegen, eingesetzt wurden (\Rightarrow Beprobung, Analytik vgl. Kapitel 5) und andererseits eine Charakterisierung von Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vorgenommen werden. Es werden zum Vergleich entsprechende Werte für Primärbrennstoffe gegenübergestellt.

Allgemeine, stoffliche Charakterisierung

Im Rahmen einer allgemeinen Beschreibung der (Abfall-)Brennstoffe werden die stoffliche Zusammensetzung, die optische Erscheinung sowie der Geruch der entsprechenden Fraktionen dokumentiert, da diese Faktoren die Manipulierbarkeit und vor allem auch die Arbeitsschutzmaßnahmen sehr stark beeinflussen.

Physikalische Charakterisierung [8]

Die physikalischen Eigenschaften beeinflussen die Mischbarkeit, die Förderbarkeit und Dosierbarkeit der (Abfall-)Brennstofffraktionen. Ebenso haben sie Einfluß auf die Homogenität und Brennbarkeit des Abfalls.

Wirbelschichtanlagen können innerhalb einer großen Heizwertbandbreite betrieben werden. Allerdings ist ein Heizwert zwischen ca. 10 und 20 MJ/kg für die Wirbelschichttechnologie am besten geeignet. Der Wassergehalt bestimmt dabei den unteren Heizwert und auch die Manipulationsmöglichkeit.

Die Korngrößenverteilung und die Stückigkeit beeinflussen den Ausbrand, die Mischbarkeit mit anderen Brennstoffen, die Auslegung von Förderanlagen und die notwendige Zerkleinerungsleistung bei einer eventuell vorgeschalteten mechanischen Behandlungsanlage. Die üblichen Werte für die geforderte Korngröße bewegen sich zwischen 10 und 50 mm. Die maximalen Stückgrößen liegen zwischen 100 und 150 mm.

Chemische Charakterisierung [8]

Die Auswirkungen der durch die Abfallfraktionen eingeschleusten Schadstoffe betreffen die Emissionen in die Luft und das Produkt bzw. die Rückstände (\Rightarrow Verwertungsmöglichkeiten). Weiters sind Einflüsse auf den Verbrennungsprozeß zu berücksichtigen.

Da es bei Wirbelschichtverbrennungsanlagen zu unterschiedlichen Phänomenen kommen kann, ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung von Brennstoffen notwendig.

Folgende Probleme können bei der Wirbelschichtverbrennung auftreten:

- Die Aschen von Wirbelschichtverbrennungsanlagen zeichnen sich durch eine geringe Schwermetallbindefähigkeit aus.
- Es kann zur Bildung von lokalen Eutektika kommen. Diese werden durch einen hohen Anteil an Alkalien (Bildung von Alkalisilikatverbindungen) und Phosphor begünstigt.
- Es kann zur Versinterung des Bettmaterials kommen.
- Chlor und Schwefel verursachen Korrosion an der Verbrennungseinheit.
- Schwermetalle werden in die Luft emittiert und/oder verbleiben in den Rückständen.

Als Abfall-(AWG-)Brennstoffe wurden im Rahmen der Verbrennungsversuche *belastetes Altholz (2 x)*, *Eisenbahnschwellen*, *Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (3 x)*, *Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (GVK (Getränke - Verbund - Karton))* und *getrockneter industrieller Klärschlamm* eingesetzt.

4.2.1 (Stoffliche) Beschreibung der Abfälle

➤ **Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien verunreinigt (SNr.: 17213)**

Diese Abfallart wurde im Rahmen der Verbrennungsversuche zweimal verwendet (vgl. Kapitel 5). Es handelt sich dabei um einen sehr heterogenen, holzig riechenden Stoffstrom, der hauptsächlich aus belasteten und unbelasteten Altholz- und Plattenabfällen besteht. Obwohl in diesem Abfallstrom auch Kunststoffe und Papierabfälle enthalten sind, ist deren Menge gering. In Abbildung 4.1 ist die anhand von acht Sortierungen festgestellte mittlere Zusammensetzung dieses Abfallstroms, der auch allgemeinhin als „Altholz belastet“ bezeichnet wird, wiedergegeben. Abbildung 4.2 vermittelt einen optischen Eindruck dieser Abfallart.

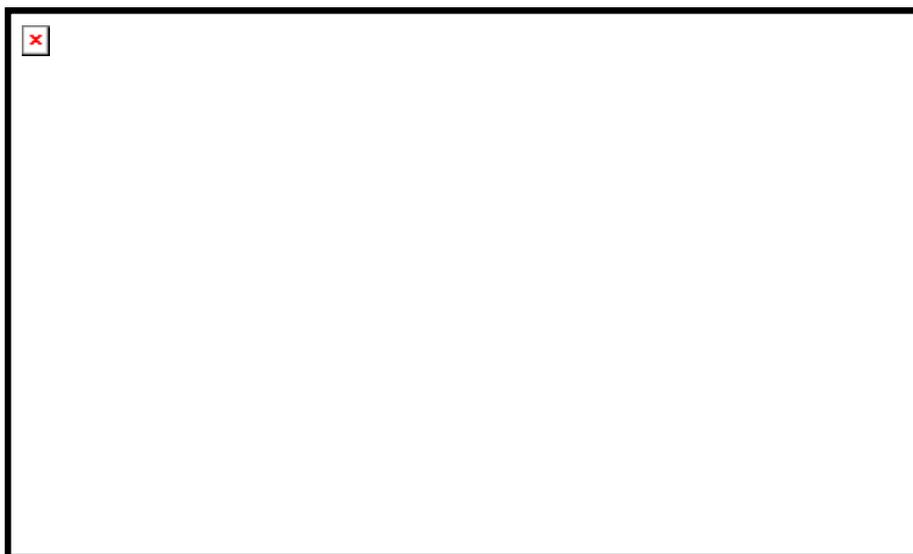


Abbildung 4.1: Stoffliche Zusammensetzung von Abfällen der SNr.: 17213

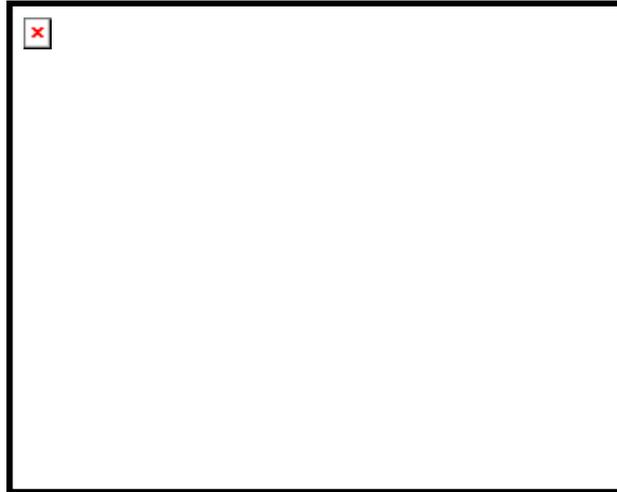


Abbildung 4.2: Holzemballagen, Holzabfälle und Holzwole, durch organische Chemikalien verunreinigt

➤ **Eisenbahnschwellen (SNr.: 17207)**

Diese mit Ausnahme der sehr unterschiedlichen Korngrößen optisch sehr homogen erscheinende Abfallart (vgl. Abbildung 4.3) besteht praktisch nur aus organisch behandeltem Holz (Geruch nach imprägniertem Holz) und wurde im Rahmen der Verbrennungsversuche einmal verwendet (vgl. Kapitel 5).



Abbildung 4.3: Eisenbahnschwellen

➤ **Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (SNr. 18407)**

Wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt, ist die momentane Entsorgungspraxis für diesen Abfallstrom die direkte Deponierung. Die Papierindustrie beginnt sich z.Z. nach geeigneten Alternativen (thermische Behandlung) umzusehen. Im Rahmen der großtechnischen Verbrennungsversuche bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. wurde diese Abfallart zweimal in unkonfektionierter Weise und einmal in aufbereiteter Form eingesetzt. Aufgrund von Resten biologisch abbaubarer Substanzen sowie der hohen Feuchtigkeit riechen diese Abfälle leicht stechend und säuerlich.



Stofflich setzt sich diese Abfallart aus Kunststoff, naßfestem Papier, Holz, Faserschlamm und Fremdstoffen zusammen. Bei den Fremdstoffen handelt es sich um haus- und sperrmüllähnliche Beimengungen wie z.B. Schuhe, Teppiche, Autoreifen, Kunststoffe (größere "Kunststoffetzen"), Blech- und Aludosen, Metallbänder, Beschläge und Holz, die bei der getrennten Sammlung des Altpapiers miterfaßt wurden (vgl. Abbildung 4.4). Es zeigte sich im Rahmen der Versuche sowie bei der Besichtigung von Papier- und Kartonfabriken, daß diese Abfälle von der Qualität her sehr unterschiedlich beschaffen sein können (abhängig von der Herkunft der Altpapiersammelware sowie des Produktionsprozesses).

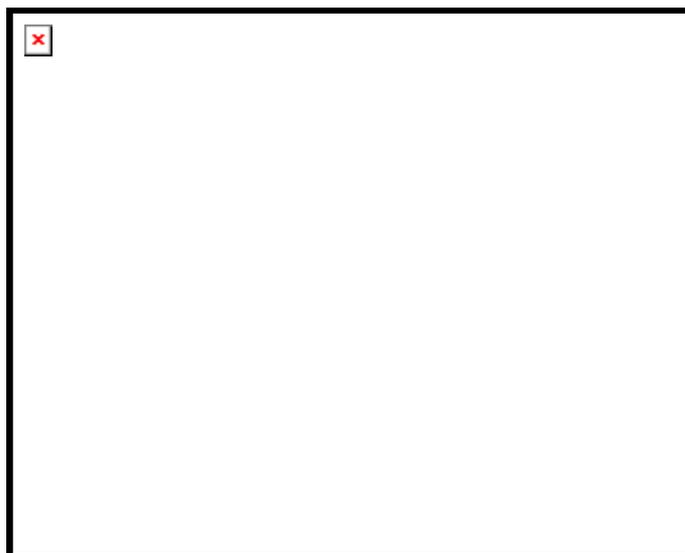


Abbildung 4.4: Rückstände aus der Altpapierverarbeitung

➤ **Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Getränkeverbundkarton (GVK))**

Diese Abfallart wurde im Rahmen der Verbrennungsversuche einmal verwendet (vgl. Kapitel 5). Gemäß eines Bescheids der Kärntner Landesregierung ist dieser Abfall der Schlüsselnummer 91207 („Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“) zuzuordnen. Es handelt sich im konkreten Fall jedoch um einen aus der Abfallsortierung kommenden Abfallstrom, der aus Abfällen verschiedener Schlüsselnummern zusammengesetzt ist (vgl. Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: Zusammensetzung von GVK, Bestandteile nach SNr. lt. ÖNORM S 2100

Bestandteil	Schlüsselnummer
Papier und Pappe, beschichtet	18702
Kunststoffemballagen und -behältnisse	57118
Kunststofffolien	57119
Polyolefinabfälle	57128
Polyethylenterephthalat (PET)	57130

In den weiteren Betrachtungen wird diese Fraktion als Abfall der Schlüsselnummer 91207 bezeichnet. Aufgrund von Fehlwürfen bei der getrennten Erfassung der Verpackungsabfälle sowie infolge von Speiseresten, ist es bei entsprechend hohen Temperaturen durchaus möglich, daß es zu Fäulnis und den damit verbundenen üblen Gerüchen kommt.



In Abbildung 4.5 ist die anhand von vier Sortierungen festgestellte mittlere Zusammensetzung dieses Abfallstroms wiedergegeben. Diese Abfallart besteht – wie auch in Abbildung 4.6 ersichtlich - überwiegend aus Kunststoffen.

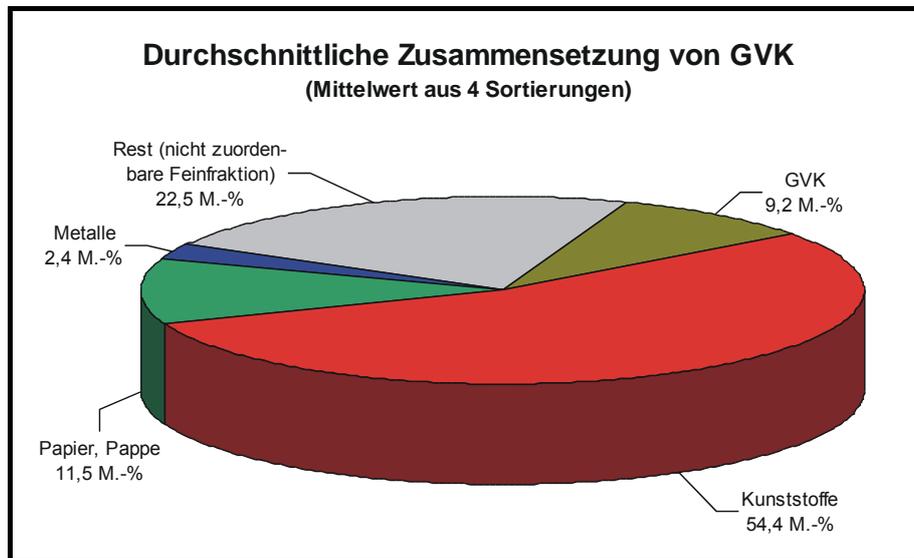


Abbildung 4.5: Stoffliche Zusammensetzung der Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Getränkeverbundkarton)

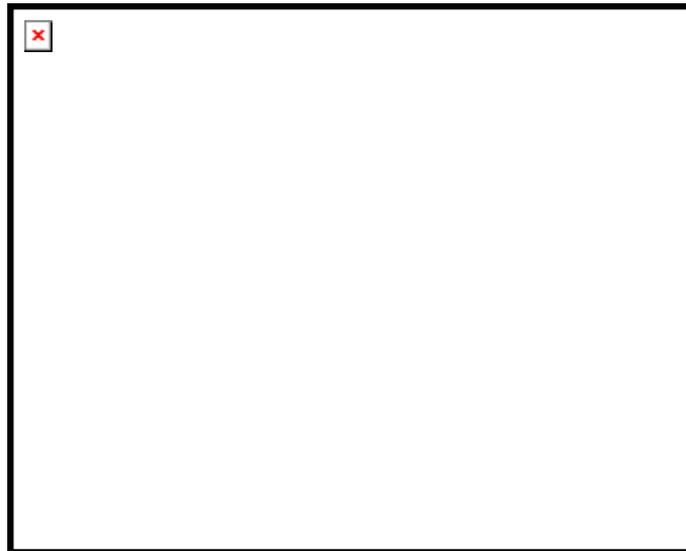


Abbildung 4.6: Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Getränkeverbundkarton (GVK))

➤ **Getrockneter industrieller Klärschlamm (SNr.: 94802; 94803)**

Dieser getrocknete Klärschlamm wurde als sehr homogenes Klärschlammgranulat (Korngröße ca. 2-3 mm) angeliefert, vgl. Abbildung 4.7. Aufgrund der bei der Trocknung vorherrschenden hohen Temperaturen und der damit einhergehenden Hygienisierung war dieser getrocknete Klärschlamm weitgehend geruchlos.

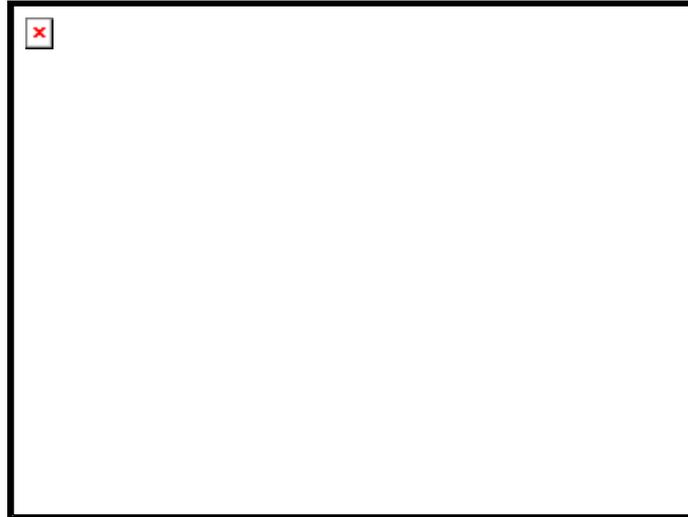


Abbildung 4.7: Getrockneter industrieller Klärschlamm

➤ **Rückstände aus der mechanischen/biologischen Abfallbehandlung bzw. –aufbereitung (Siebreste; SNr.: 91102 und 91103)**

Dieser heterogene Abfallstrom soll bewußt – obwohl nicht verwendet - zum Vergleich herangezogen werden. Es soll auch an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Behandlung von Siebresten arbeitsschutztechnisch grundlegend anders zu bewerten ist, als die Behandlung (homogener) Produktionsabfälle. Es muß davon ausgegangen werden, daß die Keim- und auch Geruchsbelastung bei diesen Abfällen sehr groß sein kann.

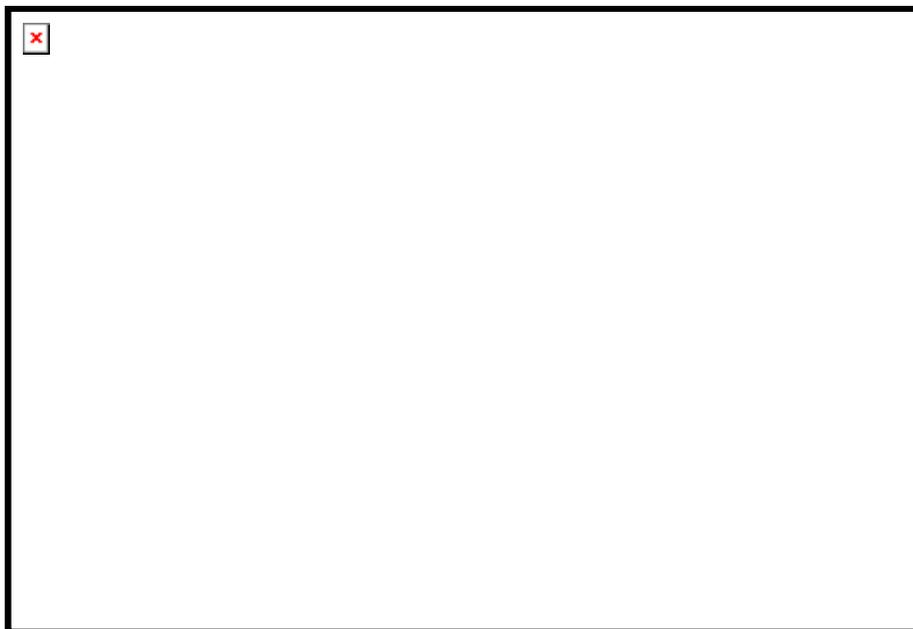


Abbildung 4.8: Zusammensetzung von Siebüberläufen aus einer MBRA [88]

Zur stofflichen Zusammensetzung der Siebreste aus der MBR liegen in Österreich bisher nur sehr wenige gesicherte Daten vor. Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik sind umfangreichere Sortierungen durchgeführt worden (vgl. Abbildung 4.8). Es kann davon ausgegangen werden, daß abhängig von den



mechanischen Aufbereitungsschritten (hier vor allem dem Siebschnitt) bis zu 90 M.-% und mehr der Siebreste heizwertreiche Abfallfraktionen wie z. B. Papier und Kunststoff (-verpackungen) sind. Der durchschnittliche Inertanteil der Siebfraktionen sowohl von mechanisch vorbehandeltem Gewerbeabfall als auch von Hausmüll liegt bei ca. 6 M.-% [87].

4.2.2 Physikalische Charakterisierung

Die physikalischen Eigenschaften Stückigkeit und Aggregatzustand, die hauptsächlich das Manipulieren und den Transport bzw. die Lagerung der (Abfall-)Brennstoffe beeinflussen, sind für die im Kapitel 4.2.1 stofflich beschriebenen Abfallarten in der folgenden Tabelle 4.4 zusammengestellt.

Zusätzlich sind die physikalischen Parameter Heizwert, Wassergehalt sowie Aschegehalt für den Anlagenbetrieb von besonderer Wichtigkeit, weil dadurch die in den Prozeß eingebrachte Menge an Energie, das Verbrennungsverhalten, Rauchgasvolumen sowie die auszubringende und im Allgemeinen im Rahmen der Entsorgung Kosten verursachende Menge an Verbrennungsrückständen beeinflusst wird.

Tabelle 4.4: Aggregatzustand und Stückigkeit bestimmter (Abfall-)Brennstoffe

Abfall	Aggregatzustand	Stückigkeit
Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien verunreinigt	fest	bis zu 10-15 cm große, flächige Holzstücke, geringer Feinanteil, Kunststoffleisten
Eisenbahnschwellen	fest	bis zu 10-15 cm große quaderförmige Holzstücke, Feinanteil
Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	fest	größere Kunststofffolien, hoher pulveriger Anteil
Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (GVK)	fest	flächige Kunststofffolien
getrockneter industrieller Klärschlamm	fest	homogenes Klärschlammgranulat geringer Korngröße (max. 5 mm)
Rückstände aus der mechanischen/biologischen Abfallbehandlung bzw. -aufbereitung	fest	sehr heterogene Korngrößen; teils flächig; verschmutzt

In der Tabelle 4.5 sind entsprechende Analysenwerte für die Abfallarten angeführt und mit den jeweiligen Vergleichswerten fossiler Brennstoffe (Heizöl, Steinkohle und Braunkohle) verglichen.

Als wesentlich läßt sich herausstreichen, daß der Aschegehalt der Rückstände aus der Altpapierverarbeitung aber vor allem des getrockneten Klärschlammes und der Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung sehr hoch liegt. Dies führt zu einer stark erhöhten Menge an Filterasche und damit zu einer Verschärfung des Problems der Ascheverwertung bzw. -entsorgung. Es ist darüber hinaus aus diesem Vergleich erkennbar, daß die Abfälle der SNr. 91207 („Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“) in Bezug auf den Heizwert mit dem Wert der Steinkohle und Braunkohle durchaus konkurrieren können, wobei die Werte der anderen (Abfall-)Brennstoffe jedoch z.T. wesentlich unter den Vergleichswerten der Kohlen liegen. Der Heizwert aber auch die Dichte der Materialien wiederum bestimmt die Masse der Abfälle, die eingesetzt werden muß, um dem Prozeß eine



bestimmte Energiemenge zuzuführen (= Energiedichte), bzw. die (aufbereitet und) gefördert werden muß.

Tabelle 4.5: Darstellung physikalischer Parameter von Abfällen verglichen mit jenen fossiler Brennstoffe

Abfälle - fossile Brennstoffe ¹⁾									
Parameter	SNr. 17213 ²⁾	Eisenbahn-schwellen	SNr. 91207 ³⁾	SNr. 18407 ⁴⁾	getr. ind. Klär-schlamm	MBR-Sieb-reste ⁵⁾	Heizöl schwer	Stein-kohle	Braun-kohle
WG (50°C) [M.-%]	23,9	30,4	6,8	41,9	0,7	10 bis 40	n.r.	n.r.	n.r.
WG (105°C) [M.-%]	25,8	⁶⁾	⁶⁾	42,2	1,9		0,2	10 - 75	10 - 75
GV (korr) [M.-%]	83,7	91,0	96,7	71,5	47,6	65 bis 85	n.r.	n.r.	n.r.
H _o [kJ/kg TS]	18.692	18.774	27.533	17.240	9.356	16.000 bis 21.000	n.r.	n.r.	n.r.
H _u [kJ/kg roh]	12.641	11.407	23.887	7.739	8.542	8.000 bis 16.000	44.000	28.000 – 35.000	14.000 - 17.000
Ascheanteil [M.-%]	16,3	9,0	3,3	28,5	52,4	15 bis 35	0,01 - 0,1	3 - 30	3 - 30

- 1) Die angegebenen Werte sind für die Primärbrennstoffe [90] und die Siebreste aus der Literatur [7] entnommen; die Werte für die Abfälle der SNr. 18407 sind Mittelwerte aus 17 Einzelwerten; die übrigen Werte sind Mittelwerte aus je 5 Analysenwerten
- 2) SNr. 17213 entspricht der Abfallart „Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien verunreinigt“
- 3) SNr. 91207 entspricht der Abfallart „Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“; die als Getränkeverbundkarton bezeichnete Abfallart ist lt. Bescheid der Kärntner Landesregierung dieser Schlüsselnummer zuzuordnen.
- 4) SNr. 18407 entspricht der Abfallart „Rückstände aus der Altpapierverarbeitung“
- 5) Die Werte für die Siebreste sind stark von der Art des aufbereiteten Abfalls (Hausmüll, Industrie- und Geweremüll, ...) sowie dem Siebschnitt abhängig.
- 6) Bei diesen Proben wurde keine Referenztrocknung bei 105°C durchgeführt.

4.2.3 Chemische Charakterisierung

Im Folgenden werden verschiedene Elementgehalte der Abfälle, die im Zuge der Verbrennungsversuche eingesetzt wurden, mit jenen der fossilen Energieträger Heizöl, Steinkohle und Braunkohle [89] sowie mit entsprechenden Elementgehalte von Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung verglichen [7].

Der Heizwert eines (Abfall-)Brennstoffs gilt als eines der entscheidenden Kriterien bei der thermischen Behandlung. Wird das Ziel einer energetischen Nutzung in einer industriellen Feuerungsanlage verfolgt, so sind nicht nur stoffliche und physikalische Parameter von Relevanz. Aus ökologischer Sicht ist vor allem unter der Voraussetzung einer bestimmten dem Prozeß zuzuführenden Energiemenge die damit verbundene Schadstofffracht zu beachten. Abbildung 4.9 stellt Wertepaare der Parameter unterer Heizwert und dem aus emissionsrelevanter Sicht bedeutenden Element Chlor dar. Wie erwartet bilden die Werte eher homogener Abfallfraktionen relativ enge Cluster während sich die Lage der Wertepaare verschiedener Abfallfraktionen sehr stark voneinander unterscheiden. Es besteht keine allgemeine Korrelation des Chlorgehalts mit dem Heizwert wie dies im Rahmen der Ausschubarbeit des Arbeitsausschusses „Thermische Behandlung“ des ÖWAV vielfach diskutiert wurde [14]. Auch bei den Schwermetallen ergibt sich ein ähnliches Bild. Diese Daten unterstreichen die Aussage von Rechberger, daß es keine Korrelation zwischen den Schwermetallkonzentrationen und dem Heizwert in Abfällen gibt [92].





Abbildung 4.9: Korrelation unterer Heizwert [H_u in kJ/kg FS] und Cl-Gehalt [mg/kg FS] [3; 5; 7; 88]

In der tabellarischen Gegenüberstellung in Tabelle 4.6 sind die Elementgehalte auf den Energieinhalt des jeweiligen Brennstoffs bezogen (Einheit: mg/MJ). Dieser normierte Vergleich ist in Hinblick auf eine Aussage zur Sinnhaftigkeit der Substitution von Primärenergieträgern von entscheidender Bedeutung. Bei der Umrechnung der Werte von [mg/kg TS] auf [mg/MJ FS] wurde der entsprechende Heizwert bzw. Wassergehalt der einzelnen (Abfall-) Brennstofffraktionen herangezogen. Für die Primärbrennstoffe Stein- und Braunkohle wurde der Mittelwert der in der Literatur [89] angegebenen Bandbreite des Heizwerts sowie des Wassergehalts verwendet. Überschreitungen gegenüber den Vergleichswerten der Primärenergieträger sind **fett** gekennzeichnet.

Tabelle 4.6: Vergleich von Schadstoffgehalten von Abfällen [3; 7] mit jenen fossiler Brennstoffe [89; 90; 91] - auf den Energieinhalt bezogen

Abfälle ¹⁾ - fossile Brennstoffe										
Parameter [mg/MJ]	SNr. 17213 ²⁾	Eisenbahnschwellen	SNr: 18407 ³⁾	SNr. 91207 ⁴⁾	getr. ind. Klärschlamm	Siebreste aus Gewerbemüll ⁵⁾	Siebreste aus Hausmüll ⁶⁾	Heizöl schwer	Steinkohle	Braunkohle
Cl	201	8,09	449	41,2	60,7	91,2	50,9	< 0,23 - 25	1,8 - 51,1	37,1 - 48,2
F	1,24	0,03	9,20	7,72	29,1	0,23	0,58	0,23 - 0,45	0,91 - 6,8	0,8 ⁷⁾
S	42,7	61,0	63,3	28,08	392	26,0	8,83	226,8 - 567,0	182,5	556,5
As	< 0,04	0,51	0,43	0,18	0,25	0,01	0,01	<0,0002 - 0,0023	0,164 - 0,913	0,011 - 0,33
Cd	0,04	0,02	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0005 - 0,0091	0,0018 - 0,183	0,0037 - 0,089
Co	0,07	0,11	0,35	0,07	0,35	0,01	0,04	< 0,02 ⁸⁾	0,33-0,5 ⁸⁾	0,02 ⁹⁾
Cr (ges.)	0,73	5,88	6,48	1,41	3,03	1,72	2,45	0,045 - 0,091	0,091 - 1,5	0,033 - 0,30
Hg	< 0,02	< 0,02	0,03	<0,02	<0,05	< 0,003	< 0,003	< 0,0002 ⁸⁾	0,01 - 0,02 ⁸⁾	0,03 ⁹⁾
Ni	0,96	2,50	2,01	0,59	2,07	0,03	0,50	0,11 - 0,98	0,37 - 1,5	0,022 - 0,070



Abfälle ¹⁾ - fossile Brennstoffe										
Parameter [mg/MJ]	SNr. 17213 ²⁾	Eisenbahnschwellen	SNr. 18407 ³⁾	SNr. 91207 ⁴⁾	getr. ind. Klärschlamm	Siebreste aus Gewerbemüll ⁵⁾	Siebreste aus Hausmüll ⁶⁾	Heizöl schwer	Steinkohle	Braunkohle
Pb	0,83	1,45	2,61	0,78	3,58	1,38	0,42	0,023 - 0,77	0,20 - 4,9	0,03 - 0,22
Zn	16,4	6,92	27,2	2,23	30,6	1,89	2,44	0,11 - 1,9	0,29 - 4,0	0,037 - 2,6

- 1) Es wurden – wenn nicht anders ausgewiesen – jeweils 5 Mischproben analysiert, die aus einer der Heterogenität des jeweiligen Abfalls entsprechend großen Beurteilungsmenge entnommen wurden.
- 2) SNr. 17213 entspricht der Abfallart „Holzballagen, Holzabfälle und Holzwole, durch organische Chemikalien verunreinigt“
- 3) SNr. 18407 entspricht der Abfallart „Rückstände aus der Altpapierverarbeitung“. In diesem Fall handelt es sich um Mittelwerte aus 15 Einzelwerten (2 verschiedene Betriebe).
- 4) SNr. 91207 entspricht der Abfallart „Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“; die als Getränkeverbundkarton bezeichnete Abfallart ist lt. Bescheid der Kärntner Landesregierung dieser Schlüsselnummer zuzuordnen.
- 5) [7] Siebreste IGM (Industrie und Gewerbemüll) > 60 mm
- 6) [7] Siebreste Restmüll > 80 mm
- 7) Daten aus [90]
- 8) Daten aus [14]
- 9) Daten aus [91]

Es ist aus dieser Aufstellung ersichtlich, daß neben dem Chlor- und Fluorgehalt auch der Zink-, Chrom- und Nickelgehalt in den Rückständen aus der Altpapierverarbeitung zum Teil deutlich außerhalb der Bandbreiten der jeweiligen Analysen der Primärbrennstoffe liegt, wobei hier in Hinblick auf die Überschreitung von Emissionsgrenzwerten vor allem der Cl-Gehalt wesentlich ist. Die Analysen der Eisenbahnschwellen zeigen geringfügig erhöhte Chrom-, Nickel- und Zinkgehalte. Auch beim getrockneten Klärschlamm sind gegenüber den Primärbrennstoffen deutlich erhöhte Schadstoffgehalte der Elemente Cl, F, Cr, Ni und Zn zu verzeichnen. Die Analysen der Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (GVK) liegen mit Ausnahme einer geringfügigen Überschreitung bei dem Element Fluor innerhalb der Analysenbandbreite der fossilen Brennstoffe. Es fällt auf, daß die hier angeführten Analysen der Siebreste aus Haus- und Gewerbemüll mit Ausnahme leicht erhöhter Chrom- und Chlorgehalte im Wesentlichen in der Bandbreite der Analysen der Primärenergieträger liegen.

Den Ergebnissen aus Tabelle 4.6 zufolge wäre eine Substitution der jeweiligen fossilen Energieträger durch eine der Abfallfraktionen grundsätzlich als sinnvoll anzusehen. Bei den Abfallfraktionen: Rückstände aus der Altpapierverarbeitung bzw. getrockneter Klärschlamm sowie Siebreste aus Haus- oder Gewerbemüll ist jedoch aufgrund der im Vergleich zu den Primärbrennstoffen erhöhten Schadstoffgehalte bzw. im Fall der Siebreste insbesondere aufgrund der weitgehend inhomogenen Zusammensetzung auf eine entsprechende Rauchgasreinigung Wert zu legen.

4.3 Handlungsbedarf in Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung

Rechtsunsicherheiten und langfristige Realisierungszeiträume für Abfallbehandlungsanlagen stellen für die gesetzeskonforme Abfallbehandlung in Österreich Hürden dar. Vor allem vor dem Hintergrund rechtlicher Entwicklungen (Maßnahmenpaket zur Ablagerung von Abfällen, Entwicklungen im EU-Gemeinschaftsrecht) verbunden mit der vorherrschenden Situation in



der österreichischen Abfallwirtschaft sowie den großen Realisierungszeiträumen für (thermische) Abfallbehandlungsanlagen besitzt die Fragestellung nach der zukünftigen Entsorgungspraxis hochkalorischer Abfälle sehr große Aktualität.

Abgeleitet von den zu erwartenden Abfallmengen sowie den existierenden und vor der Realisierung stehenden (thermischen) Behandlungskapazitäten soll in diesem Kapitel der sich abzeichnende Handlungsbedarf für eine erfolgreiche Umsetzung der Deponieverordnung aufgezeigt werden.

Nach Grech et al. [31] muß davon ausgegangen werden, daß in Österreich im Jahr 2004 zusätzliches Behandlungspotential für brennbare Abfälle in der Größenordnung von ca. 2,8 Mio. Mg/a notwendig sein wird. Dieses Massenpotential setzt sich aus folgenden Abfallarten zusammen [31]:

• Hausmüll	800.000 Mg/a
• Klärschlamm	800.000 Mg/a
• Baustellenabfälle	500.000 Mg/a
• Holzabfälle	140.000 Mg/a
• Altstoffe aus Gewerbe und Industrie	135.000 Mg/a
• Gefährliche Abfälle	40.000 Mg/a
• Sonstige	350.000 Mg/a

Wenn man von der Realisierung der derzeit in Planung befindlichen Anlagen zur mechanischen bzw. mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung sowie der Umsetzung der geplanten Erweiterungen bestehender Anlagen in der Größenordnung von ca. 950.000 Mg/a ausgeht [93], so reduziert sich unter Berücksichtigung des lt. Deponieverordnung deponierbaren Anteils der mechanisch-biologisch behandelten Abfälle das verbleibende Massenpotential an thermisch zu behandelnden Abfällen auf ca. 2,5 Mio. Mg/a, da der Großteil der geplanten Kapazitäten lediglich eine mechanische Aufbereitung der Abfälle vorsieht.

Bei einem Beibehalten des Gebots Tiermehl einer thermischen Behandlung zu unterziehen, ist diese Menge um das entsprechende Massenpotential zu erhöhen (ca. 80.000 Mg/a).

Diese oben genannten Abfälle könnten einerseits in industriellen Feuerungsanlagen energetisch genutzt werden oder müßten einer thermischen Behandlung in Abfallverbrennungsanlagen unterzogen werden. Wesentlich ist dabei, die Abstimmung der Anlagen-ausstattung mit der Abfallqualität. Bei der vorliegenden Betrachtung wird von der Behandlung der aufgelisteten Abfälle innerhalb von Österreich ausgegangen.

Im Rahmen der in Kapitel 3.5.2 angesprochenen Recherche wurden auch die Abfallmengen erhoben, deren Behandlung im Jahr 2004 in den verschiedensten thermischen Behandlungsanlagen geplant ist. Im Bereich der thermischen Beseitigungsanlagen sowie der industriellen Abfallverbrennungsanlagen wurde bei der Auswertung der Daten von einer Realisierung der in untenstehender Tabelle (vgl. Tabelle 4.7) angeführten Projekte mit der angegebenen Kapazität ausgegangen.



**Tabelle 4.7: Geplante thermische Abfallbehandlungsanlagen in Österreich
[31, modifiziert]**

geplante Verbrennungsanlagen	Betreiber	Feuerungstechnologie	Projektstand	gepl. max. Kapazität [Mg/a]
MVA Zistersdorf	A.S.A. Abfall Service AG	Rost	positiver UVP-Bescheid in 1.u.2. Instanz	130.000
MVA Zwentendorf/ Dürnrohr	Abfallverwertung Niederösterreich PlanungsgesmbH	Rost	UVP-Verfahren	300.000
MVA Wels, Linie 2	Welser Abfallverwertung BetriebsgesmbH	Rost	UVP-Verfahren	180.000
MVA Arnoldstein	Kärntner Restmüllverwertungs- GmbH	Rost	Einreichung der UVE Anfang 2001	80.000
Niklasdorf	ENAGES	Wirbelschicht	positiver AWG- Bescheid in 1. u. 2. Instanz	60.000
EbS, WSO4	Entsorgungsbetriebe Simmering	Wirbelschicht	voraussichtl. Baubeg.: 5/2001, voraussichtl. Inbetriebn.: 6/2003	90.000
Glanzstoff St. Pölten	Glanzstoff Austria GmbH	Wirbelschicht	laufendes AWG- Verfahren, Bescheid wird noch 2001 erwartet, keine UVP vorgesehen	100.000 (70.000- 150.000)

Für das Jahr 2004 ergibt sich somit die in Abbildung 4.10 dargestellte Situation in Hinblick auf die geplanten Behandlungskapazitäten der einzelnen Branchen für externe Abfälle.

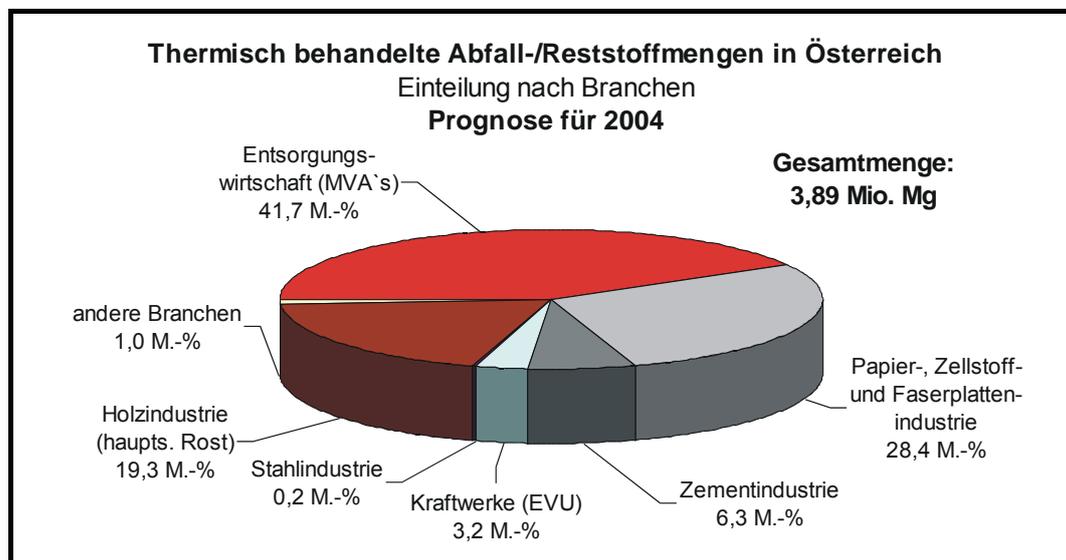


Abbildung 4.10: Thermische Behandlung von Abfällen in Österreich, branchenbezogen (Prognose für das Jahr 2004) [76]

Wenn man Abbildung 4.10 mit der derzeit vorherrschenden Situation vergleicht, so ist die Steigerung an Behandlungskapazitäten vor allem auf den zukünftig höheren Beitrag der klassischen Müllverbrennungsanlagen zurückzuführen. Trotz hoher erwarteter Steigerungen der absolut behandelten Abfallmenge bis zum Jahr 2004 bezogen auf das Jahr 2000 in der



Papier-, Zellstoff- und Faserplattenindustrie (27 %) sowie der Zementindustrie (71 %) und bei Kraftwerken (EVU) (1.150 %) würden bei Realisierung der anstehenden Projekte im Bereich der klassischen Müllverbrennungsanlagen (Kapazitätszuwachs um 95 % bezogen auf das Jahr 2000) die größten zusätzliche Behandlungskapazitäten geschaffen. Absolut gesehen wäre mit einer Steigerung der thermischen Behandlungskapazitäten in der Größenordnung von ca. 1,25 Mio. Mg/a zu rechnen.

In Abbildung 4.11 sind die gemäß den Angaben der Anlagenbetreiber aggregierten Mengen einzelner Abfallarten in einer Zeitreihe dargestellt. Schlämme wurden dabei als reine Trockensubstanz (100 M.-% TS) berücksichtigt. Wie diese Abbildung zeigt, ist der Hauptteil der zusätzlichen Behandlungskapazitäten für (aufbereiteten) Haus-, Gewerbe- und Sperrmüll vorgesehen.

Es werden vor allem für die Abfallarten Klärschlamm und Baustellenabfälle weitere thermische Behandlungskapazitäten zu schaffen sein oder diese Abfallarten werden einer anderen Behandlungsart unterzogen werden müssen.

Soll eine vollständige thermische Behandlung der aufgelisteten Abfälle in Österreich gewährleistet werden, so sind zusätzlich zu den derzeit bestehenden sowie geplanten **weitere 1-1,5 Mio. Mg an Behandlungskapazitäten zu schaffen.**

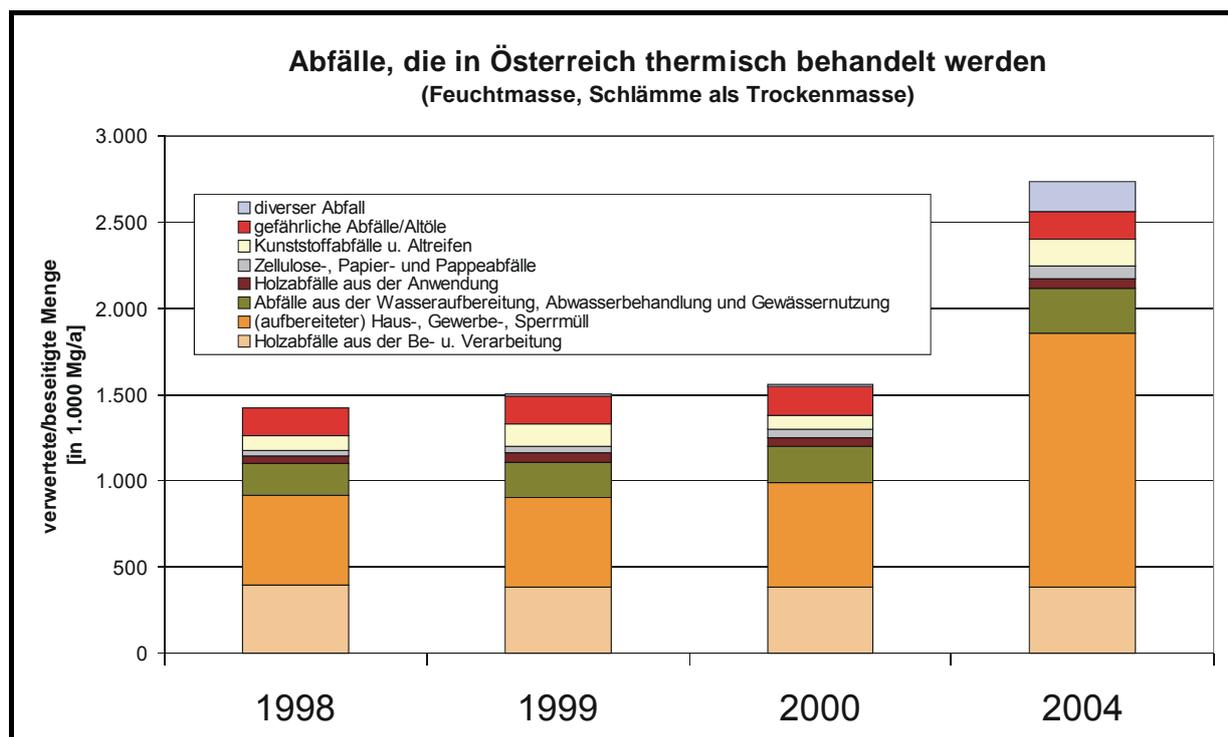


Abbildung 4.11: Thermische Behandlung von Abfällen in Österreich, abfallbezogen
[76]

5 Thermische Behandlung von Abfällen in Wirbelschichtprozessen – großtechnische Verbrennungsversuche

5.1 Beschreibung der Wirbelschichtanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H.

5.1.1 Brennstoffaufbereitung und Brennstoffeinbringung

Die Brennstoffaufbereitung dient der Brennstoffaufgabe, der Sortierung und der Zerkleinerung der eingesetzten Brennstoffe, deren thermische Behandlung eine Aufbereitung und Konfektionierung voraussetzt, sowie der Ausscheidung ungeeigneter Materialien (Eisenteile etc.). Die Brennstoffaufbereitung soll Brennstoffe mit einer definierten physikalischen Beschaffenheit liefern, um die ordnungsgemäße Funktionsweise der Brennstoffeinbringung und der Feuerung sicherzustellen sowie einen optimalen Wirkungsgrad zu gewährleisten [94].

Zur Materialaufgabe besitzt die Anlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. drei voneinander baulich getrennte Aufgabestellen, wobei jede dieser Aufgabestellen einer Materialgruppe zugeordnet ist.

Alle nicht unter das AWG fallenden Brennstoffe werden über einen Annahmeförderer, auch Tiefbunker genannt (mit einer ungefähren Speicherkapazität von 250 m³), der Sortierung zugeführt. Eine zweite Aufgabestelle für AWG - Brennstoffe ist parallel dazu vorgesehen. Durch die stufenlose Geschwindigkeitsregelung des Annahmeförderers ist es möglich, auf die Beschaffenheit (Schüttgewichte) der aufgegebenen Brennstoffe Rücksicht zu nehmen.

Über ein Sammelband wird der Brennstoff dem Scheibensichter zugeführt. Um Schäden am Scheibensichter und Hackzerspaner zu vermeiden, ist am Ende des Sammelbandes ein Überbandmagnet zur Eisenabscheidung positioniert. Die Eisenteile werden in einem bereitgestellten Container gesammelt.

Der über den Scheibensichter geförderte Brennstoff wird Korngrößenmäßig getrennt, wobei der Unterlauf bereits die für die Verbrennung geeignete Körnung hat und über das Sammelband direkt dem Brennstoffsilo zugeführt wird. Für die Zwischenlagerung dienen die in der Brennstoffaufbereitung und im Kesselhaus Werk 1 befindlichen Brennstoffsilos (Rindensilo, Staubsilo, Öltank, Konzentrattank, Klärschlamm-silo). Das Grobgut wird über ein Beschleunigerband auf ein mit einer Schwingungserkennungsplatte ausgerüstetes Reversierband gefördert. Durch die Schwingungserkennungsplatte werden Steine und auch große Brennstoffteile vor dem Hackzerspaner ausgeschleust und gesammelt. Dort werden größere Brennstoffteile händisch aussortiert und über den Dosiertisch auf das Förderband wieder in den Prozeß eingebracht.

Der restliche Brennstoff gelangt auf das Förderband, welches mit einem Metallerkennungsgerät ausgestattet ist. Werden metallische Materialien im Zuförderweg erkannt, so stoppt das Metallerkennungsgerät alle zufördernden Apparate und in der Warte wird ein optischer Alarm ausgelöst. Das Bedienungspersonal muß vor Ort händisch den Metallteil vom Förderband



entfernen. Erst nach der Fehlerquittierung gelangt der Brennstoff in den Hackzerspaner und danach über das Sammelband, das Gurtbecherwerk und das Förderband in den AWG - Brennstoffsilo, wo er zwischengelagert wird. Da z.B. der eingesetzte Brennstoff Rinde ab einer Schütthöhe von mehr als vier Metern zur Selbstentzündung neigen kann, ist eine Brandschutzeinrichtung in Form einer Temperaturüberwachung gekoppelt mit einer manuellen Berieselungsanlage vorgesehen.

Über ein Schubstangenaustragsystem wird der Brennstoff den Bändern und den nachfolgenden Fördereinrichtungen zugeführt. Über die Schnecke kann der Brennstoff entweder den Dosiereinrichtungen des SWS - Kessels oder der Dosierung für den TWS - Kessel zugeführt werden. Für den Fall der Dosierung zum TWS - Kessel erfolgt die Förderung über Verteilerschnecken, mit denen die beiden Rindensilos und der Kohlesilo beschickt werden. Die Zuförderung für den SWS - Kessel erfolgt vom Förderband über zwei Verteilerschnecken in einen der beiden Rindensilos.

In der folgenden Abbildung 5.1 wird der Weg des Brennstoffs vereinfacht dargestellt.

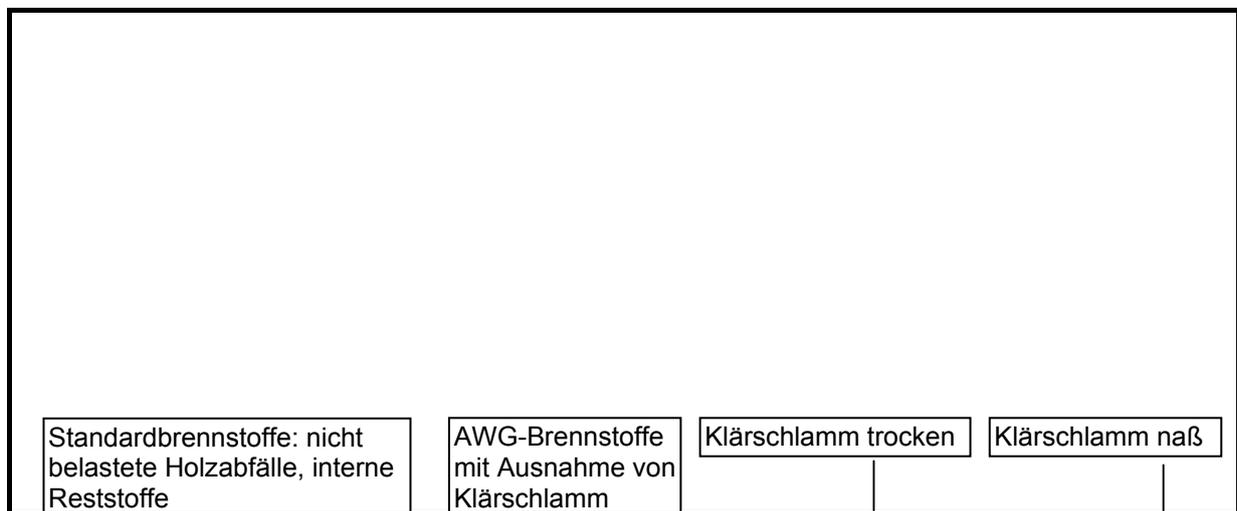


Abbildung 5.1: Vereinfachtes Blockschaubild der Brennstoffaufbereitung der Funder

Die Abbildung A.1 im Anhang zeigt die Brennstoffaufbereitung der Firma Funder Industrie Ges. ...
Tab. 5.1: Brennstoffaufbereitung, die in den Jahren 1999 und 2000 thermisch behandelt und energetisch genutzt wurden [95, 96]

Bezeichnung	Menge	
	1999	2000 [Mg]
Spanplatten	1.176,43	1.583,10
Holzfaser- und Spanplattenabfälle	1.020,65	1.240,05
Holzfaserabfälle	6.117,07	8.148,12
Papier	582,42	979,69
Stifte, Rinde	4.494,90	5.398,65
Schleifstaub	6.029,50	6.423,60
Fasern, Matten	2.694,86	6.911,60
EDA - Konzentrat	6.955,57	8.481,54
Sonstiges (Putzlappen, Öl)	37,89	39,57
Gesamt	29.109,31	39.205,92



Tabelle 5.1 gibt die in den Jahren 1999 sowie 2000 thermisch behandelten internen Reststoffe sowie Tabelle 5.2 die in denselben Jahren thermisch behandelten externen (Abfall-) Brennstoffe wieder.

Tabelle 5.2: Extern zugelieferte Brennmaterialien, die in den Jahren 1999 und 2000 thermisch behandelt und energetisch genutzt wurden [95; 96]

Bezeichnung	Menge 1999 [Mg]	Menge 2000 [Mg]
Rinde	10.472,88	6.529,05
Sägeabfälle	5.147,84	6.084,07
Altholz, unbelastet	14.689,23	10.705,46
Heizöl <small>schwer</small>	916,85	647,82
Heizöl <small>leicht</small>	72,39	50,97
Kohle	25,00	0,00
Produktionsabfälle, Span- und Faserplatten	1.648,16	- ¹⁾
Altholz, belastet	1.317,73	379,59
Kundenrücknahmen	48,31	249,23
Kunststoffe (Polyethylen)	445,45	629,18
Tetrapack (therm. Recycling)	5.953,95	5.736,60
sonstiges Papier	583,10	475,08
Steinkohleteer imprägnierte Hölzer	3.723,95	2.669,92
Rejekt	336,76	264,70
Klärschlamm aus der kommunalen Kläranlage St. Veit/Glan	2.512,00	2.584,00
Gesamt	47.947,60	37.005,67

1) Diese Abfallart ist in den anderen Abfällen enthalten und wurde für das Jahr 2000 nicht gesondert erfasst

Die Brennstoffeinbringung ist ein sehr wichtiger Aspekt, da die Reststoffe/Abfälle in verschiedenen Aggregatzuständen vorliegen und die Eignung der Verbrennungstechnologie für die thermische Behandlung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe sehr stark von der jeweiligen Realisierung der Brennstoffeinbringung abhängt.

Die Brennstoffe Rinde/Stifte, Holzabfälle (nicht verunreinigt), Faser-/Spanplatten (unbeschichtet) und die AWG-Brennstoffe werden über ein gemeinsames Förderband aus der Brennstoffaufbereitung zu den Wirbelschichtkesseln transportiert. Daher werden diese Brennstoffe in weiterer Folge als "Brennstoffe aus der Brennstoffaufbereitung" (BAB oder BA-Brennstoff) bezeichnet. Die Wirbelschichtbeschickung mit dem Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung erfolgt in zwei Linien, die dem Aufbau nach nahezu identisch ausgeführt sind. Die einzelnen Brennstoffe gelangen über Schubböden bzw. (Dosier-)Schnecken aus den Rindensilos bzw. dem Kohlesilo zu den Wurfbeschickern und werden von diesen über die Tiefe der Wirbelschicht verteilt.

Der Schleifstaub wird aus dem Staubsilo von einem Gebläse pneumatisch zum Wirbelschichtmodul gefördert und dort über Lanzen in das Wirbelschichtmodul eingedüst.

Das anfallende Konzentrat aus der Eindampfanlage (EDA-Konzentrat) gelangt in den beheizten Konzentrattank. Das Konzentrat wird dem Brennstoff im Brennstoffsilo beigemischt bzw. teilweise auch über Lanzen in den TWS - Kessel eingebracht.



Der entwässerte Klärschlamm aus der Kläranlage des RHV St. Veit/Glan wird über einen Aufgabebunker mit einer Förderschnecke direkt den Wurfbeschickern des Turbo - WS - Kessels zugeführt.

Das Heizöl_{schwer} wird aus dem Lagertank, unter Verwendung der vorhandenen Ölvorwärmstationen und der vorhandenen Ölpumpen den Ölbrennern sowie den Öllanzen zugeführt. Die erforderlichen Zünder werden aus einer Flüssiggasflasche gespeist.

Das aus der Färberei (Lackiererei) stammende Starkgas (lösemittelhaltige Abluft) gelangt über die Starkgasleitung direkt in den Turbowirbelschichtkessel.

5.1.2 Kesselhaus

Im Kesselhaus befinden sich ein Turbo-Wirbelschichtkessel (TWSK) und eine Stationäre Wirbelschichtfeuerung mit nachgeschaltetem Dampfkessel (SWSK). Der SWSK soll den Grundlastbereich abdecken und wird daher nahezu konstant, entsprechend der typisierten Leistung von 20 MW, betrieben, der TWSK dient zur Leistungsregelung, d.h. die Befeuungsleistung dieses Kessels wird dem Energiebedarf der Gesamtanlage entsprechend angepaßt. Das hat auch zur Folge, daß der Elektrofilter, der zur Reinigung der Rauchgase des TWSK dient, entlastet und ein wesentlicher Anteil der Rauchgase über den Gewebefilter, der einen besseren Reinigungseffekt aufweist, geführt wird [86].

Weiters befinden sich im Kesselhaus zwei Notölkessel für den Fall, daß einer oder beide Wirbelschichtkessel außer Betrieb genommen werden müssen. Es handelt sich dabei um Zweiflammrohr-Rauchrohr-Kessel, die mit Heizöl_{leicht} oder Heizöl_{mittel} befeuert werden. Der Notölkessel 1 hat eine Feuerungsleistung von 17,9 MW und eine Dampfleistung von 27,5 t/h bei 16 bar, der Notölkessel 2 hat eine Feuerungsleistung von 16,3 MW und eine Dampfleistung von 25,0 t/h bei 16 bar [97].

Abbildung 5.2 zeigt ein grobes Schema der Anlagen im Kesselhaus.

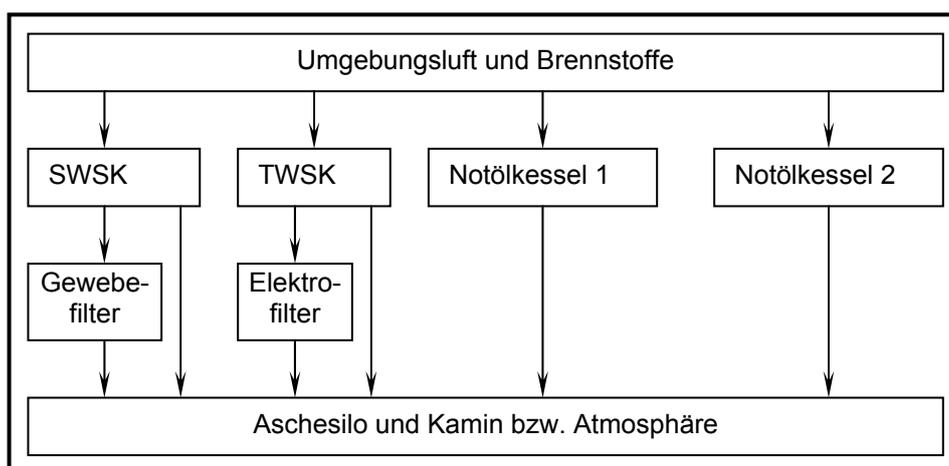


Abbildung 5.2: Vereinfachtes Blockschaftbild der Anlagen im Kesselhaus der Funder Industrie Ges.m.b.H.

5.1.2.1 Turbo-Wirbelschichtkessel

Die Turbo-Wirbelschicht, eine Kombination von Wirbelschicht und Nachbrennkammer, weist als Sonderform der zirkulierenden Wirbelschicht keinen außen liegenden Zyklon zur Abtrennung des Feststoffanteils vom Rauchgas auf. Die Feststoffrezirkulation erfolgt durch interne Leitvorrichtungen innerhalb des Verbrennungsreaktors [97]. Der Wirbelschichtofen besteht aus zwei Modulen (Turbo 1, Turbo 2), von denen je nach Kessellast eines oder beide betrieben werden. Jedes Modul ist in zwei Zonen unterteilt, wovon eine nur schwach mit Verbrennungsluft beaufschlagt ist und als Brennstoff-Aufgabezone dient, während die zweite Zone eine stark belüftete Verbrennungszone darstellt (vgl. Abbildung 3.3). Durch die starke Luftzufuhr wird Bettmaterial aus der Verbrennungszone ausgetragen, über ein darüber angeordnetes Abscheidesystem vom Gasstrom abgetrennt und fällt auf die schwach fluidisierte Brennstoffaufgabezone. Die herabfallenden Feststoffteilchen bewirken eine zuverlässige Einmischung des zugeführten Brennstoffs in die Wirbelschicht und fließen wieder in die Verbrennungszone (Bettmaterialzirkulation). Der durch Wurfbeschicker und Lanzen zugeführte Brennstoff macht die Bewegung des Bettmaterials mit und wird auf seinem Weg getrocknet, ent- und vergast und in der turbulenten Verbrennungszone vollständig verbrannt. Die in der Aufgabezone freigesetzten Vergasungsprodukte steigen auf und treffen darüber mit den vom Bettmaterial befreiten Rauchgasen zusammen. Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit der sauerstoffhaltigen Rauchgase ergeben sich eine gute Durchmischung und heftige Turbulenz und somit ideale Reaktionsbedingungen [86].

5.1.2.2 Stationärer Wirbelschichtkessel

Die vergleichsweise unempfindlich gegenüber der Korngröße des Einsatzgutes reagierende und für ein breites Kornspektrum einsetzbare stationäre Wirbelschicht [86] arbeitet mit niedrigeren Fluidisierungsgeschwindigkeiten als die Turbo-Wirbelschicht. Bei einer Anströmgeschwindigkeit der Primärluft von unter 2,5 m/s bildet sich eine Wirbelschicht von ca. einem Meter Höhe aus. Es wird dabei kein Bettmaterial über das Rauchgas ausgetragen. Die Schichtgrenze zwischen Wirbelbett und darüber befindlichem Freiraum ist klar definierbar. Feste Brennstoffe werden über den Wurfbeschicker aufgegeben, flüssige und gasförmige Brennstoffe werden über Düsen direkt in das expandierte Wirbelbett eingeblasen. Die Einsatzstoffe werden dort getrocknet, entgast und verbrannt.

Der vollständige Ausbrand erfolgt in der Nachbrennkammer. Zur Temperaturregelung wird ein Teil des Rauchgases nach dem Austritt aus dem Dampferzeuger über die Nachbrennzone in den Wirbelschichtkessel zurückgeführt.

Technische Angaben zum Turbo-Wirbelschichtkessel (TWSK) und zur Stationären Wirbelschichtfeuerung mit nachgeschaltetem Dampfkessel (SWSK) sind der Tabelle 5.3 zu entnehmen.

Tabelle 5.3: Technische Daten der Wirbelschichtkessel der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. [98]

Betriebsparameter	TWSK	SWSK
Heizwert Brennstoff (im Regelfall)	10-12 MJ/kg	10-12 MJ/kg
Feuerungsleistung	29 MW	20 MW
Wirkungsgrad der Feuerung	88 %	87 %
Dampfleistung	25 t/h	33 t/h
Frischdampfdruck	80 bar	64 bar
Frischdampf Temperatur	500 °C	450 °C
Speisewassertemperatur	140 °C	130 °C
Rauchgastemperatur	160 °C	200 °C
Hersteller	Simmering Graz Pauker	Austrian Energy & Environment, Wien

5.1.2.3 Dampferzeugung und Rauchgasreinigung

Die Dampfkesselanlagen beider Wirbelschichtanlagen funktionieren nach dem Prinzip des Naturumlaufkessels. Der aus den Überhitzern abgezogene Dampf wird in das Dampfnetz eingespeist. Die Rauchgase werden auf ihrem Weg durch den Überhitzer, den Verdampfer, den Economiser und den Rauchgasluftvorwärmer abgekühlt. Beim TWSK werden die Rauchgase anschließend in einem Elektrofilter, beim SWSK in einem Gewebefilter entstaubt und über einen gemeinsamen Kamin in die Atmosphäre entlassen.

Zur selektiven nichtkatalytischen NO_x-Minderung (SNCR) wird über Verdüsungslanzen eine NH₃-Wasser-Lösung über die Kesselquerschnitte verteilt. Nach der Verdampfung des Wassers werden die Stickstoffoxide in Stickstoff und Wasserdampf umgesetzt. Gemeinsam mit dem Brennstoff in SWSK und TWSK eingebrachter Dolomit trägt zur Minimierung der SO₂-Emissionen bei. Es kommt durch die Trockenadditivierung mit Dolomit ebenfalls zu einer Abscheidung von Halogeniden aus dem Rauchgas. Gegebenenfalls wird Sorbalit zur Abscheidung der Dioxine (PCDD/PCDF) eingesetzt.

5.2 Allgemeines zu den Verbrennungsversuchen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“ wurden, um eine fundierte Beurteilung der Verwendung von Abfällen als (Abfall-)Brennstoff zu ermöglichen, sowohl sogenannte „Nullversuche“ als auch „Einsatzversuche“ mit Charakterisierung aller Brennstoffe und Betriebsmittel sowie der Verbrennungsrückstände durchgeführt.

Neben der Identifizierung neuer (Abfall-)Brennstoffe (vgl. Kapitel 4.1) bestand die Aufgabe insbesondere in der Beprobung und Analytik aller Feststoffströme, um damit eine Stoffbilanzierung der WS-Feuerungsanlage zu ermöglichen. Letztendlich war festzustellen, ob die Wirbelschichtfeuerungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. für die energetische Nutzung der im Rahmen der Versuche eingesetzten (Abfall-)Brennstoffe geeignet ist.

Die Identifizierung neuer potentieller (Abfall-)Brennstoffe war insofern bedeutsam, da dadurch die Abhängigkeit des Betriebs von diversen Regelbrennstoffen sowie bereits eingesetzten (Abfall-)Brennstoffen verringert werden kann.

Das Projektschema (vgl. Abbildung 5.3) gibt einen Überblick über die wesentlichen Inhalte des o.a. Forschungsprojektes.





Abbildung 5.3: Projektschema: „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“

Im Rahmen der Verbrennungsversuche wurde so vorgegangen, daß mit der Beschickung des Brennstoffsilos mit der vorgegebenen Brennstoffrezeptur bereits 48 Stunden vor Anfang der Meßperiode begonnen wurde. Damit konnte ein vorheriger stationärer Betrieb der Anlage für zumindest 24-36 Stunden sichergestellt werden. Am jeweiligen Versuchstag erfolgte eine achtstündige Meß- und Probenahmekampagne, wobei auch auf die Dokumentation der Masseströme größter Wert gelegt wurde. Auch nach Beendigung der Meßkampagne wurde die Beschickung mit der gleichbleibenden Brennstoffrezeptur fortgesetzt. Ab dem dritten Verbrennungsversuch (3/1) wurde am darauffolgenden Tag bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen Sorbalit additiviert (Einmalige Gabe von ca. 150 kg zwei Stunden vor und ca. 15 kg stündlich während der Meßkampagne.). Die Messung der Rauchgase wurde während einer weiteren achtstündigen Periode wiederholt. Im Rahmen dieser zweiten Meßkampagne, die Aussagen über die Auswirkung der Sorbalit-Additivierung liefern sollte, erfolgte ebenfalls eine Beprobung der Filteraschen. Während der Meßzeiten wurde der Abreinigungszyklus des Gewebefilters von der Drucksteuerung auf ein fixes Intervall umgestellt.

5.2.1 Brennstoffrezepturen bei den Verbrennungsversuchen

Der wesentliche Unterschied in der Brennstoffrezeptur der Verbrennungsversuche bestand in der Zumischung unterschiedlicher (Abfall-)Brennstoffe zum BA-Brennstoff.

Bei den Nullversuchen wurden die Brennstoffe verwendet, die bereits bisher bei der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. energetisch genutzt wurden. Derartige Standardbrennstoffe sind die internen Reststoffe Schleifstaub, Abluft aus der Lackieranlage (Starkgas) und Konzentrat aus der Eindampfanlage (EDA) sowie der Klärschlamm aus der Kläranlage des Reinhalteverbands St. Veit/Glan. Diese Reststoffe/Abfälle wurden auch bei den Verbrennungsversuchen mit den Versuchsbrennstoffen verbrannt, da es sich dabei (mit Ausnahme des Klärschlammes) um kontinuierlich intern anfallende und damit auch permanent zu entsorgende interne Produktionsreststoffe aus der Faserplattenproduktion handelt.



Neben den Nullversuchen wurde auch ein analytisch wesentlich umfangreicher dokumentierter Referenzversuch durchgeführt. In diesem Fall wurde ein Jahresdurchschnittsbrennstoff verwendet.

Bei den Einsatzversuchen wurden zusätzlich zu den Standardbrennstoffen externe Abfälle (\Rightarrow AWG-Brennstoffe) zugefeuert. Die bei den einzelnen Einsatzversuchen neben den Standardbrennstoffen verwendeten Brennstoffe sind in Tabelle 5.4 dargestellt. Als wesentliche weitere Information ist auch der jeweilige Anteil (M.-%) der Abfallbrennstoffe am Gesamtbrennstoffstrom angegeben.

Es soll an dieser Stelle nochmals festgehalten werden, daß die Kesselanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. zur Strom- und Dampfversorgung der Faserplattenproduktion dient. Wesentlich ist insofern ein prozeßgerechter Betrieb der Wirbelschichtfeuerungsanlage, dies mußte auch bei der Abwicklung der Versuche berücksichtigt werden. Probenahmestellen mußten erst definiert und u.U. neu errichtet werden (vgl. Kapitel 5.2.2).

Tabelle 5.4: Eingesetzte (Abfall-)Brennstoffe bei den Verbrennungsversuchen, Bezeichnung und Schlüsselnummer lt. ÖNORM S 2100

Versuch	Versuchsbrennstoff	SNr.	Anteil [M.-%]
1/0	Holzballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	17201	Nullversuch
1/1	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien verunreinigt	17213	77
2/0	Holzballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	17201	Nullversuch
2/1	Eisenbahnschwellen	17207	22
3/1	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	18407	33
4/1	Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung	91207	43
5/1	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	18407	10
6/1	getrockneter Klärschlamm - MM Frohnleiten	94802; 94803	10
7/0	Referenzversuch (Jahresdurchschnittsbrennstoff)		
8/1	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolle, durch organische Chemikalien verunreinigt	17213	47
9/1	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (konfektioniert)	18407	17

Die einzelnen AWG-Brennstoffe wurden im Kapitel 4.2 in stofflicher, physikalischer und chemischer Hinsicht charakterisiert.

Die Brennstoffrezepturen und die Gesamtbrennstoffmengen der Nullversuche bzw. des Referenzversuchs sind in Tabelle A.1 dargestellt. Die Beschickung der Anlage erfolgte bei den Nullversuchen 1/0 bzw. 2/0 im Wesentlichen gleich, nur der Anteil der unbeschichteten Faser- und Spanplatten wurden beim zweiten Versuch zulasten der unbelasteten Holzabfälle erhöht. Beim Referenzversuch 7/0 wurde ein fiktiver Jahresdurchschnittsbrennstoff verwendet. Die Brennstoffrezepturen und Brennstoffgesamtmengen aller Versuche sind in Tabelle A.2 und Tabelle A.3 dargestellt.

Die Nullversuche dienen dazu, Vergleichswerte für den Istzustand ohne zusätzliche AWG-Brennstoffe zu liefern. Auch bei den Einsatzversuchen bildeten in den meisten Fällen interne Reststoffe den Hauptanteil der Brennstoffrezeptur (vgl. Tabelle A.2 und A.3). Da die Zusammensetzung dieser Reststoffe produktionsabhängig ist und stark variiert, sind unmittelbare Vergleiche zwischen den Nullversuchen und den Einsatzversuchen nicht möglich.



Trotzdem soll hier der am umfangreichsten analytisch begleitete Versuch, und zwar der Referenzversuch 7/0, als Vergleichsbasis für die Einsatzversuche herangezogen werden.

Für die Auswertung wurden, wenn mehrere Versuche mit (Abfall-)Brennstoffen gleicher stofflicher Zusammensetzung durchgeführt wurden, diese zusammengefaßt und gemeinsam ausgewertet. Dabei ergaben sich die in Tabelle 5.5 angeführten Cluster.

Für jeden dieser Cluster wurden über die TWS- und SWS-Anlage Bilanzen für die Elemente Kohlenstoff, Chlor, Blei und Zink erstellt (vgl. Kapitel 5.5). Die Anzahl der Gutströme wurde durch Addition auf die für den Anlagenbetreiber relevanten Inputströme Standardbrennstoff, AWG-Brennstoff, Primärbrennstoff und Betriebsmittel sowie die Outputströme Rauchgas, Bettmaterial (< 4 mm) und Filterasche reduziert. Die Ergebnisse der Stoffbilanzen werden in Kapitel 5.5 diskutiert. Die weiteren Darstellungen von physikalischen und chemischen Eigenschaften der Versuchs-brennstoffe sowie der Verbrennungsrückstände beziehen sich jeweils auf die hier definierten Cluster.

Tabelle 5.5: Clustering der Verbrennungsversuche gemäß den eingesetzten (Abfall-)Brennstoffen

Cluster	Brennstoff	Versuche
A	Jahresdurchschnittsbrennstoff \cong Referenz-BA-Brennstoff	7/0
B	unbelastete Holzabfälle der SNr. 17201	1/0, 2/0
C	belastete Holzabfälle der SNr. 17207 bzw. 17213	1/1, 2/1, 8/1
D	Abfälle aus der Zellstoff- und Papierindustrie der SNr. 18407	3/1, 5/1, 9/1
E	Kunststoffabfälle der SNr. 91207	4/1
F	Abfälle aus der Wasseraufbereitung der SNr.-Gruppe 94	6/1

5.2.2 Probenahme und Probenaufbereitung

Beprobt wurden insgesamt zwölf Feststoffgutströme sowie das Rauchgas. Bei den Brennstoffen handelt es sich dabei um Klärschlamm, EDA-Konzentrat, Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung (BA-Brennstoff bzw. BAB), Schleifstaub und Heizöl_{schwer}. Als Betriebsmittel wurden Dolomit, Wirbelschichtsand und gegebenenfalls Sorbalit eingesetzt. Diese wurden ebenfalls beprobt. Bei den bisher genannten Gutströmen handelt es sich um Input-Ströme.

Bei den Output-Strömen wurden die Flugaschen, die im Elektrofilter und im Gewebefilter abgeschieden werden, und das ausgeschleuste Bettmaterial von TWSK und SWSK beprobt.

Sowohl die Input- als auch die Outputfeststoffgutströme wurden durch das Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) beprobt und analysiert. Die Emissionsmessungen am Kamin wurden durch die Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH (FTU) durchgeführt.

In Abbildung A.2 ist ein Fließschema des Kesselhauses mit den Meß- und Probenahmestellen dargestellt.

In den folgenden Betrachtungen wird der jeweilige zufällige Fehler anhand der Standardabweichung angegeben, der systematische Fehler, der in der Regel kleiner als der zufällige Fehler und auch verfahrensabhängig ist, wird hier nicht berücksichtigt.



5.2.2.1 Brennstoffe

Im Rahmen der großtechnischen Verbrennungsversuche wurde insbesondere auf die Brennstoffbeprobung besonderes Augenmerk gelegt. Dabei wurde sowohl durch die Masse der einzelnen Stichproben als auch durch deren Anzahl sowie der Anzahl an analysierten Misch- oder Einzelproben auf die Heterogenität der einzelnen Güterströme Rücksicht genommen. Aus Kostengründen mußte jedoch die Anzahl der zu analysierenden Proben auf ein minimal erforderliches Maß eingeschränkt werden. Abbildung 5.4 gibt das Beprobungsschema für die Brennstoffe wieder.

Die einzelnen Brennstoffproben wurden ca. eine Woche lang bei 50°C (bis zur Gewichtskonstanz) getrocknet, um eine Bestimmung der leicht flüchtigen Substanzen, wie PCP (Pentachlorphenol) und PCB (Polychlorierte Biphenyle) zu ermöglichen. Zusätzlich wurde je eine Mischprobe der fünf Abfall-/Reststoffproben bzw. der fünf BA-Brennstoffproben (ab dem Versuch 6/1 alle) sowie eine Probe der übrigen Brennstoffe bei 105°C getrocknet, da der Wassergehalt von Abfallproben angelehnt an die DIN 38414/2 bei 105° C zu bestimmen ist. Aus dem Ergebnis der Trocknung wurde der Wassergehalt bestimmt.

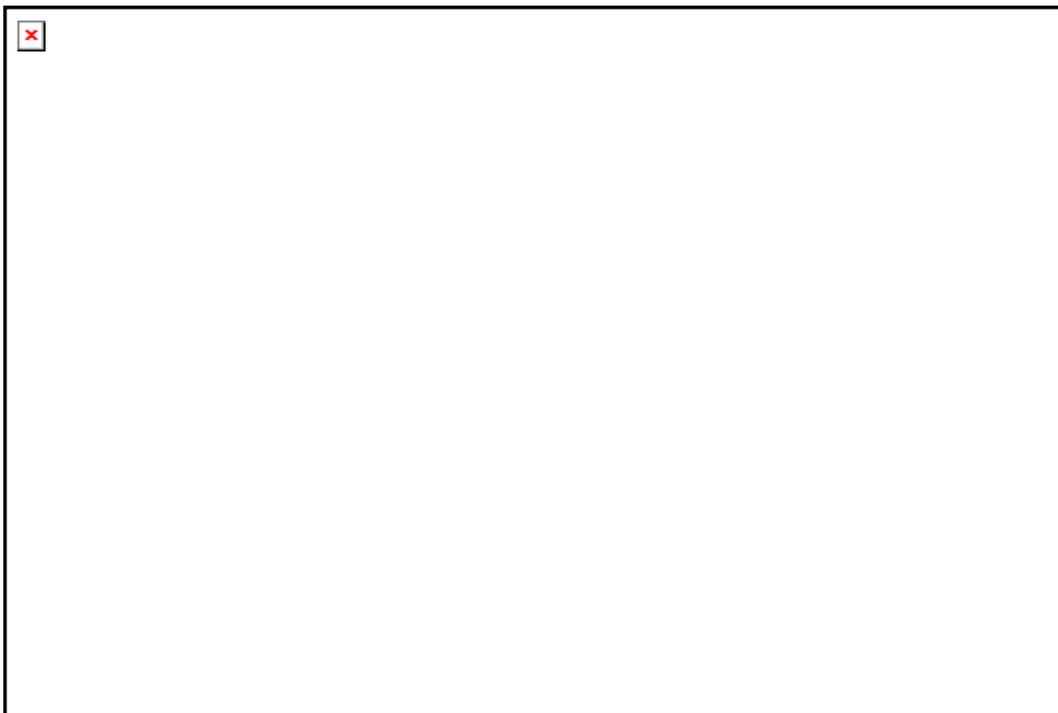


Abbildung 5.4: Beprobungsschema - Brennstoffe

Nach erfolgter Trocknung wurden die Proben auf Störstoffe wie Glas-, Metall- oder Keramiktteile untersucht, diese wurden gegebenenfalls ausgeschleust und deren Massenanteil zur späteren Korrektur der Meßwerte dokumentiert.

Als nächster Schritt wurden die getrockneten Brennstoff- und Reststoffproben (Ausnahme: Konzentrat bzw. Schleifstaub) in der Schneidemühle auf < 4 mm zerkleinert. Danach wurden diese vorzerkleinerten Proben mit der Zentrifugalmühle auf eine Korngröße < 1 mm nachzerkleinert.

Die analysenfeinen Proben wurden anschließend ca. acht Stunden nachgetrocknet, um die Feuchte, die evtl. während des Zerkleinerungsprozesses eingeschleppt wurde, entweichen zu lassen.

AWG-Brennstoff bzw. Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung

Da die eingesetzten Abfälle/Reststoffe bzw. der Brennstoffstrom aus der Brennstoffaufbereitung einerseits weitgehend undefiniert in ihrer Zusammensetzung sind und andererseits von Verbrennungsversuch zu Verbrennungsversuch in ihrer Zusammensetzung variierten, wurden von diesen Gutströmen jeweils fünf Parallelproben (Mischproben) auf die festgelegten Parameter analysiert. Weil die jeweiligen AWG-Brennstoffe einem Standardbrennstoff beigemischt wurden und der Gesamtstrom dann als Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung (BA - Brennstoff) in den Prozeß Kesselhaus eingeschleust wurde, wurden einerseits zur Erstellung der Stoffbilanzen und andererseits zur Ermittlung von Schadstoffquellen beide Ströme gesondert beprobt (vgl. Abbildung 5.4). Jeweils fünf parallele Mischproben (à fünf Liter) wurden im Fall der AWG-Brennstoffe nach dem Zerkleinern von mehreren Einzelproben (Absolutmenge abhängig von der Heterogenität der jeweiligen Abfallfraktion zwischen 50 Liter und 2 m³) mit dem Doppelwellenzerkleinerer des IED und nachfolgender Teilung nach dem Mischkreuzverfahren genommen (ÖNORM S 2023; vgl. Abbildungen B.1 und B.2). Bei dem Brennstoffstrom aus der Brennstoffaufbereitung (BA - Brennstoff) wurden während des Versuchsbetriebs stündlich zusätzlich zu den rückzustellenden Einzelproben für Funder (laut Versuchsbetriebsbescheid gefordert) ca. 30 - 40 kg Probe genommen. Diese Beurteilungsmenge wurde mit dem Doppelwellenzerkleinerer zerkleinert und nach Ablauf des Versuchstages zu fünf parallelen Mischproben (à fünf Liter) eingengt. **Die stündlich entnommene Probenmenge entspricht ca. 0,2 – 0,4 % des gesamten Brennstoffstromes (ca. 10 - 15 Mg/h).**

Um Fehler bei der Beprobung klein zu halten, wurde bei der Beprobung des BA-Brennstoffs das gesamte Förderband (Grob- und Feinteile) auf einer bestimmten Länge abgeräumt. Zusätzlich wurde bei der Probenteilung nach dem Mischkreuzverfahren besonderes Augenmerk auf die Gewinnung einer repräsentativen Probe gelegt.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnten für den Gutstrom Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung und die jeweilig eingesetzten AWG-Brennstoffe eine **mittlere Verfahrensstandardabweichung von 44 % bzw. 37 %** erreicht werden. Dies entspricht der gemittelten Standardabweichung für die Bestimmungen der Elemente Cl, F, S, As, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Cu sowie Sn und schließt sowohl die zufälligen Fehler infolge der Probenahme, der Probenaufbereitung als auch der Analytik ein.

Andere interne Reststoffe

Der Klärschlamm wurde für die Analysen im umweltanalytischen Labor des IED ebenfalls – vorerst einfach – beprobt (Einzelprobe). Aufgrund des geringen Trockensubstanzgehaltes wurden dem Schlambunker ca. 8 - 10 kg an Probe entnommen. Bei Versuch 7/0 wurden



fünf parallele Einzelproben und bei den nachfolgenden Versuchen drei parallele Einzelproben genommen.

Die Probenahme des Schleifstaubes erfolgte bei schwankenden Produktionszuständen stündlich, da die Zuschaltung einzelner Maschinen (z.B. Rillenmaschine) eine Änderung der Struktur und u.U. der Zusammensetzung des Schleifstaubes zur Folge hat. Es wurde aus diesen Einzelproben eine Mischproben zu je einem Liter erstellt. Bei gleichbleibender Produktion während des Versuchsbetriebs wurden nur zwei Einzelproben (eine Probe am Vormittag und eine am Nachmittag) entnommen. Diese wurden vermischt, homogenisiert und zu einer Mischprobe für die Analyse im Labor des IED vereinigt. Bei Versuch 7/0 wurden fünf parallele Mischproben und bei den nachfolgenden Versuchen drei parallele Mischproben aus einer aus halbstündlichen Einzelproben bestehenden Beurteilungsmenge genommen.

Die Probenahme des Konzentrats aus der Eindampfanlage (EDA) erfolgte aufgrund der als konstant anzunehmenden Zusammensetzung vorerst nur einmal während des Versuchstages (ca. einem Liter). Bei Versuch 7/0 wurden fünf parallele Einzelproben und bei den nachfolgenden Versuchen drei parallele Einzelproben genommen.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnten für die Güterströme Klärschlamm, EDA-Konzentrat bzw. Schleifstaub bei der Bestimmung von fünf bzw. drei Parallelproben beim Referenzversuch und den nachfolgenden Versuchen **eine mittlere Verfahrensstandardabweichung von 41 %** erreicht werden. Auch in diesem Fall ist darunter die gemittelte Standardabweichung für die weiter oben genannten 13 untersuchten Elemente zu verstehen. Diese Standardabweichung schließt die zufälligen Fehler infolge der Probenahme, der Probenaufbereitung sowie der Analytik ein.

Die Probenahme von Heizöl schwer erfolgte nur im Falle eines Einsatzes dieses Brennstoffes. Es wurde weiters auf die Analysen bzw. Spezifikationen des Herstellers zurückgegriffen.

5.2.2.2 Verbrennungsrückstände und Betriebsmittel

Analog zu den Brennstoffen wurde auch auf die Beprobung der Güterströme der Verbrennungsrückstände sowie der Betriebsmittel besonders geachtet. Dabei wurde sowohl durch die Masse der einzelnen Stichproben als auch deren Anzahl sowie der Anzahl an analysierten Misch- oder Einzelproben auf die Heterogenität der einzelnen Güterströme Rücksicht genommen. Aus Kostengründen war jedoch auch in diesem Fall die Anzahl der zu analysierenden Proben auf ein minimal erforderliches Maß einzuschränken. Abbildung 5.5 gibt das Beprobungsschema für die Verbrennungsrückstände und Betriebsmittel wieder.

Beim ersten Versuchsblock wurde bei den Ascheproben generell ein Trockensubstanzgehalt von über 99,9 M.-% festgestellt. Der Grund dafür liegt in der hohen Temperatur der Asche bei der Probenahme. Die Filteraschen werden auf jeden Fall über einer Temperatur von 100°C abgeschieden, an den Probenahmestellen weisen die Aschen noch Temperaturen von etwa 80 °C auf. Das Bettmaterial des SWSK hat bei der Beprobung eine höhere Temperatur als das Bettmaterial des TWSK, da beim SWSK der Austausch von Bettmaterial



wesentlich schneller erfolgt [99] und daher weniger Zeit zur Abkühlung zur Verfügung steht. Die Temperatur des beprobten Bettmaterials liegt bei beiden Kesseln jedenfalls weit über 100 °C. Aufgrund dessen wurde bei den weiteren Versuchen auf eine Bestimmung der Trockensubstanz bei den Aschen verzichtet.

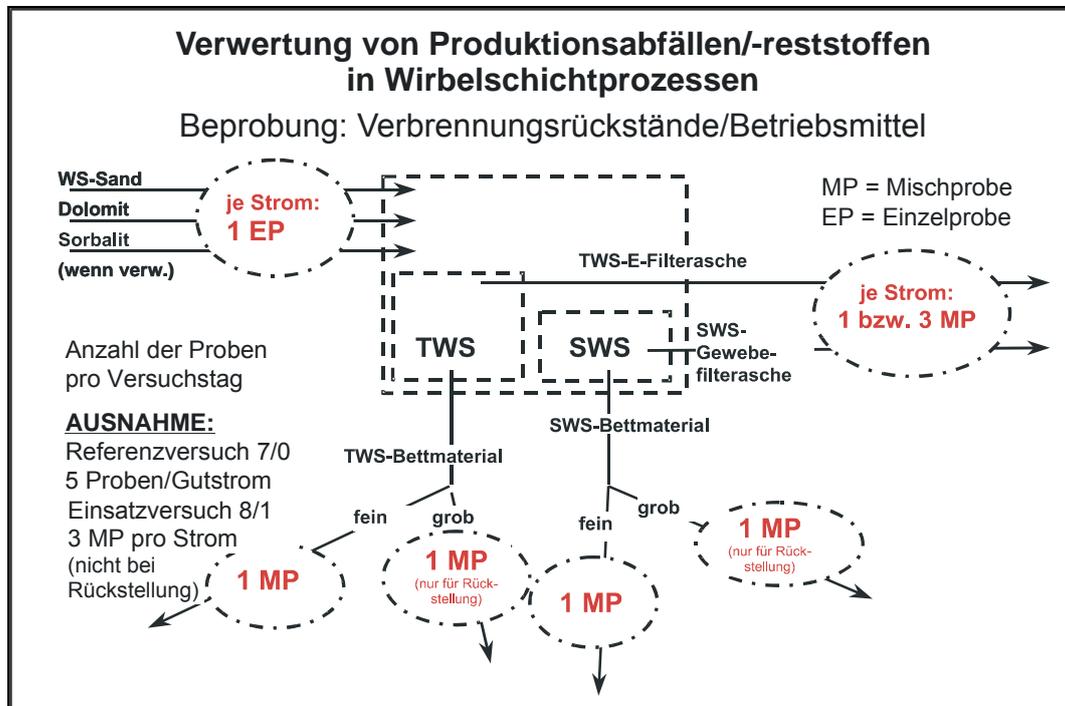


Abbildung 5.5: Beprobungsschema - Verbrennungsrückstände/Betriebsmittel

Auch bei den Betriebsmitteln lag der Trockengehalt nahe an 100 M.-%, weswegen auch hier auf eine weitere Trockensubstanzbestimmung verzichtet wurde.

Durch Vermeiden der Feuchtigkeitsaufnahme aus der Umgebungsluft (durch Abdecken und vollständiges Auffüllen der Probengefäße) kann diese Vorgangsweise als zulässig angesehen werden.

Das beprobte Bettmaterial wurde in Anlehnung an den realen Prozeß bei 4 mm abgesiebt, wobei die Grobfraction verworfen wurde. Die Fraktion < 4 mm wurde weiter für die Analyse vorbereitet.

Die Feinfraktion des Bettmaterials, die Filterstäube und die Betriebsmittel mußten, um die nötige Analysenfeinheit zu erreichen, mit einer Kugelmühle gemahlen werden. Trotz eines homogenen Erscheinungsbildes der Filteraschen wurde beim 1. Versuchsblock durch eine Korngrößenanalyse festgestellt, daß ein Mahlschritt auch aus Homogenisierungsgründen notwendig war. Die Ermittlung der Eluatwerte erfolgte aus der Urprobe.

Filteraschen

Die anfallende Asche aus dem Gewebefilter wird mittels Förderschnecken ausgetragen und fällt anschließend in einen sogenannten Sender, von wo die Asche pneumatisch in den Aschesilo gefördert wird. Im Fallrohr von den Austragsschnecken zum Sender ist eine

Probenahmestelle in Form eines zur Hälfte offenen Zylinders angebracht, der in den Aschestrom eingeführt werden kann. Auf diese Weise erfolgte bei den ersten beiden Versuchsblöcken eine stündliche Probenahme, wobei aus einer aus je ca. 0,5 l Einzelproben bestehenden Beurteilungsmenge eine Mischprobe entnommen und analysiert wurde.

Aufgrund des Verdachts, daß diese Art der Probenahme keine Repräsentanz sicherstellen konnte, wurde die Art der Probenahme ab dem 3. Versuchsblock umgestellt.

Dazu wurde eine neue Probenahmestelle in Form eines Rohres mit Schieber installiert. Das Rohr mündete in ein 200 l-Faß. Die Einmündung des Rohres und das Faß selbst mußten gut abgedichtet werden, da im System Unterdruck herrscht. An dieser Probenahmestelle konnte die Asche aus zwei der vier Kammern des Gewebefilters beprobt werden.

Durch das Volumen des Fasses von 200 l war es möglich, den Probenahmeschieber ca. 30 min offen zu lassen (je nach Ascheanfall). Von der dabei entstehenden Ascheprobe kann angenommen werden, daß sie der tatsächlich anfallenden Asche weitgehend entspricht. Dieser Vorgang wurde wiederum stündlich wiederholt. Die Herstellung der Mischproben erfolgte wie schon bei den ersten beiden Versuchsblöcken.

Ab dem 5. Versuchsblock wurden bei der Beprobung der Gewebefilterasche auf die beschriebene Weise jeweils drei parallele Mischproben hergestellt und einzeln analysiert. Es wurden dabei keine signifikanten Abweichungen festgestellt, wodurch diese Art der Beprobung als repräsentativ gelten kann. Ab diesem Versuchsblock waren allerdings zusätzlich Einbauten (Bleche) im Faß angebracht, die zum Mischen der Probe durch Rollen des Fasses am Boden beitragen sollten. Bei den Versuchsblöcken 3 und 4 erfolgte das Mischen der Probe durch händisches Umrühren der Asche im Faß.

Zusätzlich wurde ab dem 6. Versuchsblock die Probenahme insofern optimiert, daß durch den Einbau eines Fasses direkt in das Fallrohr der gesamte Aschestrom aus dem Gewebefilter (alle vier Kammern) beprobt werden konnte. Beim Referenzversuch wurden fünf parallele Mischproben analysiert.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnten für den Gutstrom Gewebefilterasche für die 13 weiter oben genannten Elemente eine **mittlere Verfahrensstandardabweichung von 16 %** erreicht werden, die zufällige Fehler der Probenahme, -aufbereitung und Analytik berücksichtigt.

Die im Elektrofilter abgeschiedene Asche wird, wird mittels Förderschnecken ausgetragen. Am Ende der letzten Förderschnecke befindet sich an der Unterseite ein Schieber, an dem ein Schlauch montiert ist. Der am Ende des Schlauches aufgehängte Eimer wurde durch Öffnen des Schiebers mit Asche befüllt. Davon wurde wieder aus einer aus ca. 0,5 l umfassenden stündlichen Beurteilungsmenge eine Mischprobe entnommen.

Analog zur Gewebefilterasche wurde auch bei der Elektrofilterasche ab dem 5. Versuchsblock eine dreifache Parallelbeprobung bzw. beim Referenzversuch eine fünffache Parallelbeprobung durchgeführt. Auch hier wurden keine signifikanten Abweichungen zwischen diesen untersuchten Mischproben festgestellt. Ebenso wurde ab dem 5. Versuchsblock die Probenahme insofern optimiert, daß wie zuvor beim Gewebefilter ein Faß anstelle des



Eimers zur Sammlung der Probe verwendet wurde, wodurch größere Beurteilungsmengen für die Beprobung möglich waren. Eine Erfassung des gesamten Aschestroms war in diesem Fall jedoch aufgrund des großen Massestroms ($> 500 \text{ kg/h}$) nicht möglich.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnten für den Gutstrom Elektrofilterasche eine auf die bereits beschriebene Art ermittelte **mittlere Verfahrensstandardabweichung von 13 %** erreicht werden. Diese Standardabweichung schließt die zufälligen Fehler infolge Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik ein.

Bettmaterial

Nach dem Austrag des Bettmaterials aus der stationären Wirbelschichtfeuerung erfolgt eine Siebung bei 4 mm, das Grobgut wird ausgeschleust und die Feinfraktion wird in den Sandsilo rückgeführt. Ein Teil der Feinfraktion wird azyklisch in den Aschesilo ausgeschleust, daher muß für eine vollständige Stoffbilanzierung dieser Teilstrom beprobt werden.

Die Beprobung erfolgte zwischen dem Bettmaterialaustrag und dem Sieb. Eine definierte Probemenge wurde in eine Aluminiumschale gefüllt und anschließend abgedeckt. Diese Beprobung erfolgte stündlich, wodurch sich über die Versuchsdauer eine Beurteilungsmenge ergibt, die aus acht Einzelproben besteht. Nach guter Durchmischung erfolgte die Abfüllung von einer Mischprobe in eine Weißblechdose mit einem Volumen von einem Liter. Beim Referenzversuch 7/0 wurden fünf parallele Mischproben sowie beim Einsatzversuch 8/1 und 9/1 drei parallele Mischproben genommen.

Austrag und Siebung des Bettmaterials beim TWSK erfolgen analog zum SWSK. Die Beprobung erfolgte am unteren Ende des Bettmaterialaustrags durch Öffnen eines Schiebers. Das Bettmaterial fiel dabei in eine Aluminiumschale, von der anschließend eine definierte Menge entnommen und der Mischprobe zugegeben wurde. Die Beurteilungsmenge bestand wiederum aus acht Einzelproben, die Abfüllung der daraus entnommenen Mischproben erfolgte ebenfalls in Weißblechdosen mit dem Volumen von einem Liter. Beim Referenzversuch 7/0 wurden fünf parallele Mischproben sowie beim Einsatzversuch 8/1 und 9/1 drei parallele Mischproben genommen.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnten für die Gutströme Bettmaterial TWSK bzw. Bettmaterial SWSK für die Versuche 7/0 bis 9/1 jeweils eine **mittlere Verfahrensstandardabweichungen von 24 %** erreicht werden. Auch in diesem Fall ist darunter die an anderer Stelle bereits beschriebene mittlere Standardabweichung für 13 untersuchte Elemente zu verstehen. Dieser Wert berücksichtigt die zufälligen Fehler infolge der Probenahme, der Probenaufbereitung sowie der Analytik.

Betriebsmittel

Da bei den Betriebsmitteln davon ausgegangen werden kann, daß es sich um relativ homogene Güter handelt, wurde auf eine Mehrfachbeprobung und -analyse weitgehend



verzichtet. Beim Referenzversuch 7/0 wurden fünf und bei den nachfolgenden Versuchen 8/1 und 9/1 je drei Einzelproben genommen. Die analysierten Proben waren Einzelproben.

Sorbalit kam nur einmal bei einem bilanzierten Versuch (Verbrennungsversuch 2/1) zum Einsatz und wurde bei diesem Versuch auch beprobt. Die Dosierung erfolgte mittels eines Gebläses in den Rauchgaskanal des SWSK. Die Beschickung wurde manuell durchgeführt. Die Probe konnte einfach mit einer Weißblechdose aus dem Sorbalitfaß entnommen werden.

Die Beprobung von Dolomit und Wirbelschichtsand erfolgte bei der Beschickungseinrichtung zum Turbo 2 (Modul 2 der TWSK). Da die Beschickung von SWSK und TWSK mit den gleichen Betriebsmitteln erfolgt, wurden lediglich die Inputströme des TWSK beprobt. Aus den jeweiligen Vorratssilos werden Dolomit und Sand auf ein gemeinsames Förderband dosiert und dem Turbo 2 zugeführt. Nach Rücksprache über Funk mit dem Anlagenpersonal in der Warte wurde jeweils ein Betriebsmittel abgeschaltet, wodurch die Beprobung des anderen direkt vom Förderband möglich war. Pro Versuchstag wurden einmal je ca. 0,5 l Probe genommen. Beim Referenzversuch 7/0 wurden fünf parallele Einzelproben beim Einsatzversuch 8/1 sowie 9/1 drei parallele Einzelproben genommen.

Mit dem angewandten Probenahmekonzept, der Probenaufbereitung und der anschließenden Analytik konnte für die Gutströme Dolomit bzw. Wirbelschichtsand beim Referenzversuch (je fünf Einzelproben) sowie den nachfolgenden Einsatzversuchen 8/1 und 9/1 eine über 13 Elemente gemittelte und die Probenahme, -aufbereitung sowie die Analytik berücksichtigende **mittlere Verfahrensstandardabweichung von 53 %** erreicht werden.

5.2.3 Massenerfassung

Um Stoffbilanzen erstellen zu können, mußten auch die Massenströme der verschiedenen In- und Outputströme ermittelt werden. Mit den Konzentrationsangaben der einzelnen Elemente aus den Laboranalysen und den Massenströmen können in weiterer Folge Elementfrachten berechnet und die Elemente über die Wirbelschichtfeuerungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. bilanziert werden.

5.2.3.1 Art und Genauigkeit der Massenerfassung

Die Tabelle A.4 im Anhang gibt neben der Art der Massenerfassung auch die Zuverlässigkeit der jeweiligen Massenerfassung (Auswirkung auf den effektiven Massestrom) und die entsprechende Auswirkung auf das Ergebnis der Bilanzen qualitativ wieder. Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, daß es durchaus Gutströme gibt, deren Massenerfassung relativ ungenau ist, deren Auswirkung auf das Ergebnis der Stoffbilanzen jedoch aufgrund geringer Konzentrationen oder eines geringen Massestroms von untergeordneter Bedeutung ist (z. B. Verbrennungsluft bzw. Bettmaterial fein).

5.2.3.2 Massenströme - Massenbilanz

Abbildung 5.6 zeigt für beide Wirbelschichtkessel exemplarisch die In- und Outputströme und stellt explizit die Bettmaterialströme (Ausschleusung in die Grobgutcontainer, Rückführung in



die Kessel, Förderung in die Sand- bzw. Aschesilos) dar. Für alle Feststoffströme sind die Mittelwerte der bei den Versuchen 5/1 bis 9/1 ermittelten Massen in kg/h eingetragen. Die strichliert eingezeichnete Linie ist die Systemgrenze für die Bilanzierungen. Die Aufgliederung der Brennstoffe für die in die Bilanz einbezogenen Einzelströme ist der Tabelle 5.6 zu entnehmen.

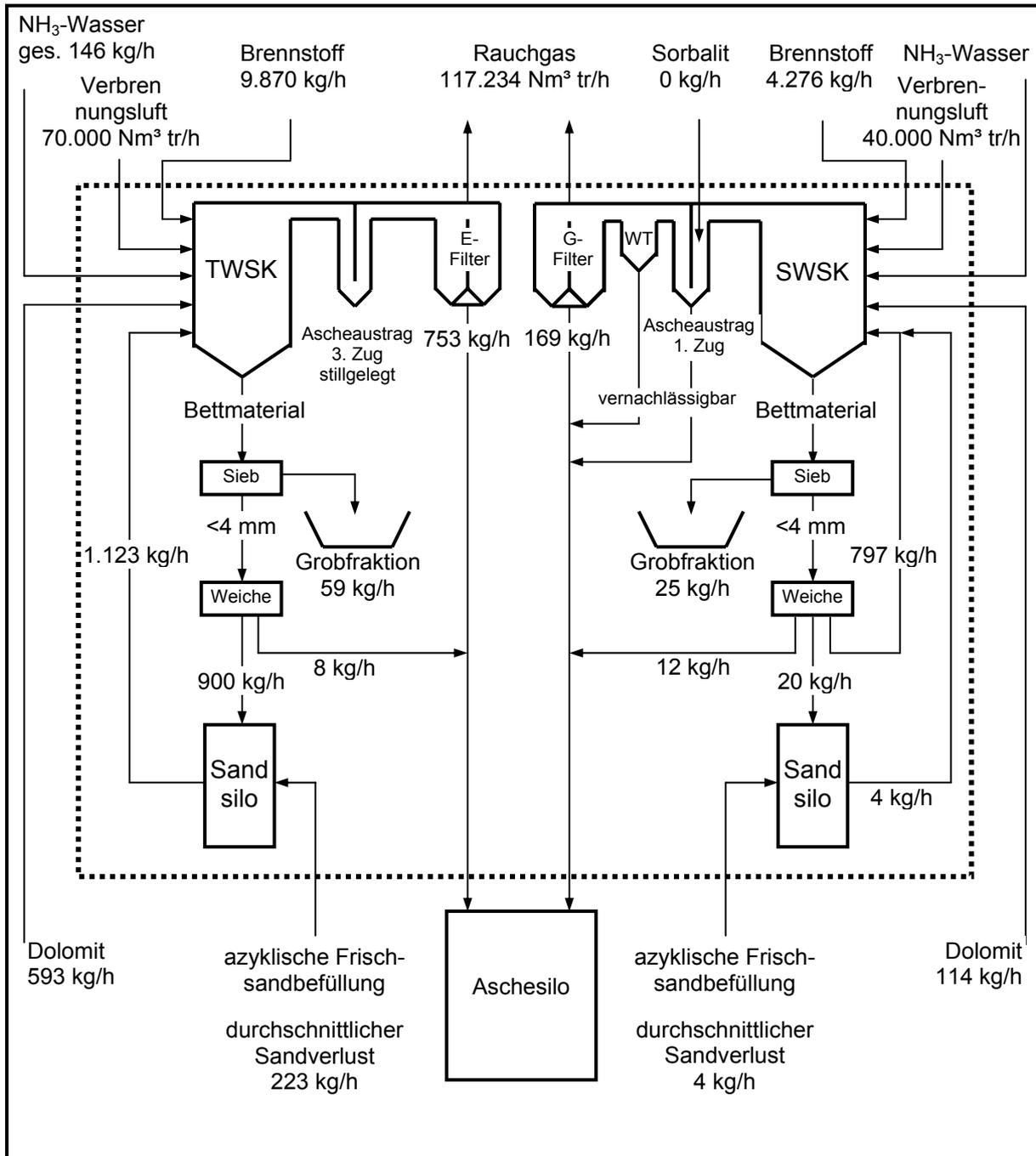


Abbildung 5.6: Feststoffmassenströme der Wirbelschichtprozesse

Bei den in der Abbildung 5.6 angegebenen Gesamt-Brennstoffmengen handelt es sich um Feucht-Massenströme (Angabe in kg_{feucht}/h). Das im unteren Bereich vom TWSK und SWSK abgezogene Bettmaterial (BM) wird bei einer Maschenweite von 4 mm abgesiebt und die Grobfraktionen in Container ausgeschleust (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Das Bettmaterial (< 4 mm)



wird zum größten Teil in die Wirbelschichtöfen rückgeführt und nur ein geringer Anteil in den Aschesilo ausgeschleust. Die Ausschleusung von Bettmaterial (< 4 mm) erfolgte in sehr unregelmäßigen Zeitabständen bzw. in den tatsächlichen Versuchszeiträumen der Versuche 5/1 bis 9/1 überhaupt nicht, daher wurde für die Bilanzen die Konvention getroffen, den jeweiligen Monatsmittelwert der Bettmaterialausschleusung zu berücksichtigen.

Der Bedarf an zusätzlichem Bettmaterial wird durch Sand aus den Sandsilos gedeckt. Die im Fließbild (vgl. Abbildung 5.6) als „durchschnittlicher Sandverlust“ bezeichneten Mengen sind jene Massen, die als Sandinput für die Bilanz in Betracht gezogen worden sind.

Beim Wärmetauscher (WT) und beim Ascheaustrag 1. Zug der SWS-Anlage fallen Aschen in vernachlässigbar kleinen Mengen an. Diese Gutströme wurden daher weder getrennt beprobt noch sind sie in die Bilanz eingeflossen.

In die Bilanzierungen gehen die Grobfractionen aufgrund des untergeordneten Massestromes nicht ein. Beim Versuch 9/1 erfolgte eine stoffliche Sortierung der Grobfractionen in Hinblick auf die Fractionen verschiedener Metalle (Fe, Messing, Kupfer und Aluminium, sowie Stein, Keramik, Glas und eine nicht weiter sortierbare Feinfraction, die in der unscharfen großtechnischen Siebung begründet ist (< 4 mm) (vgl. Abbildung 5.7).

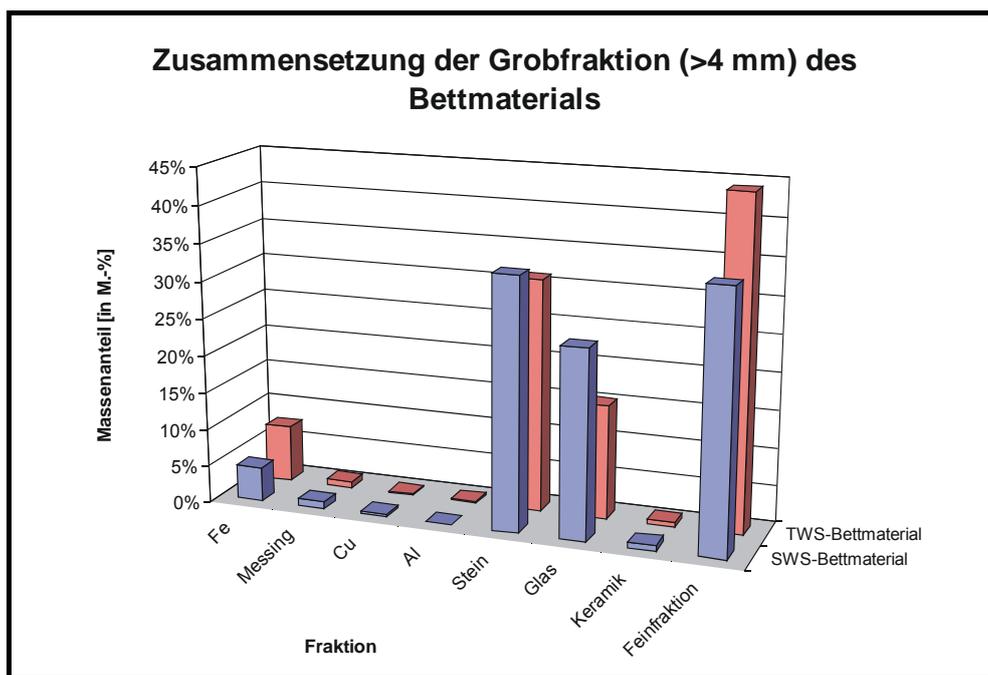


Abbildung 5.7: Zusammensetzung der Fraction Bettmaterial grob (> 4 mm)

Als Ergebnis der Sortieranalyse ergibt sich, daß bei einem Gesamtmassenstrom von ca. 84 kg/h Bettmaterial grob im Mittel ca. 5,7 kg/h an Fe-Metallen (vorwiegend Nägel, Beschläge und Drähte) sowie untergeordnete Mengen von Messing, Kupfer, Aluminium und Keramik (ca. 1,5 kg/h) jedoch vergleichsweise große Mengen an Steinen (26,7 kg/h), Glas (15,3 kg/h) und nicht zuordenbarer Feinfraction (ca. 34,6 kg/h) über diesen Gutstrom aus dem Prozeß ausgeschleust werden. Vor allem im Bereich der Fe-Metalle wäre über Legierungsbestandteile die Ausschleusung von geringen Masseströmen der bilanzierten Elemente möglich. Da Störstoffe (Metalle, Glas, Keramik, ...) vor der Probenaufbereitung der

Brennstoffproben mit nachfolgender rechnerischer Korrektur der Analysenwerte ausgedeutet wurden (max. 1,32 M.-% des BA-Brennstoffs) und somit die Masseströme der entsprechenden Legierungselemente auch inputseitig nicht erfasst wurden, ist durch die Nichtberücksichtigung des Gutstromes Bettmaterial grob aus diesem Grund keine Verfälschung der Bilanzen zu erwarten.

Die einzelnen Massenströme der bei den Verbrennungsversuchen in den Wirbelschichtverbrennungsprozeß eingehenden Brennstoffe und Betriebsmittel sind in Tabelle 5.6, die Massenströme der anfallenden Filteraschen und Grobfraktionen des Bettmaterials sowie des ausgeschleusten Bettmaterials (< 4 mm) sind in der Tabelle 5.7 dargestellt.

Klärschlamm wurde bei den Versuchen 3/1 und 8/1 nicht eingesetzt, Heizöl_{schwer} wurde lediglich bei den Versuchen 1/0 und 2/0 zur Stützfeuerung und bei den Versuchen 8/1 und 9/1 kurzzeitig zur Aufrechterhaltung der Temperatur im TWSK während Verstopfungen bei der Brennstoffzufuhr eingesetzt. Für den SWSK wurde im zweiten Jahr des Projektes eine eigene Schleifstaubförderung errichtet und ab dem Versuchsblock 8/1 wurde Schleifstaub auch in diesen eingebracht. Sorbalit kam bei den vollständig bilanzierten Versuchen nur einmal, beim Versuch 2/1, zum Einsatz. Dolomit wurde im SWSK beim 1. Versuchsblock nicht zugegeben. Für die Versuche 5/1 bis 6/1 war keine Zufuhr von Sand in den SWSK erforderlich.

Tabelle 5.6: Input-Massenströme bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in kg_{feucht}/h (Brennstoffe) bzw. kg_{TS}/h (Betriebsmittel)

Gutstrom		1/0	1/1	2/0	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/0	8/1	9/1
TWSK	BA-Brennstoff	8.510	8.010	7.640	6.640	8.300	5.400	7.706	7.202	7.090	6.699	7.202
	EDA-Konzentrat	990	1.186	1.061	1.067	890	900	1.394	1.399	1.361	1.300	1.479
	Klärschlamm	504	750	600	600	n.v.	360	400	512	381	n.v.	804
	Schleifstaub	721	417	647	733	868	900	607	899	920	862	951
	Heizöl	300	n.v.	98	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	16	54
	Starkgas	17	17	17	17	17	22	22	22	22	22	22
	Dolomit	465	465	465	465	465	465	450	553	430	756	776
	Sand	130	130	130	130	130	130	100	138	252	214	412
SWSK	BA-Brennstoff	6.080	4.539	3.898	2.835	3.935	2.274	4.669	4.335	4.479	3.870	3.651
	Schleifstaub	n.v.	201	174								
	Sorbalit	n.v.	n.v.	n.v.	15	n.v.						
	Dolomit	n.v.	n.v.	115	115	88	70	117	149	70	93	140
	Sand	40	40	40	40	40	40	22	0	0	0	0
Summe		17.757	15.554	14.711	12.657	14.733	10.561	15.487	15.209	15.005	14.033	15.665

Die Ströme des Bettmaterials (< 4 mm) konnten für die ersten Versuche (1/0 bis 3/1) durch fehlende Aufzeichnungen nicht exakt ermittelt werden, die eingetragenen Werte sind Schätzungen von Mitarbeitern der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H.. Ab dem Versuch 4/1 konnten über Zähllisten die Bettmaterialsendungen in den Aschesilo eruiert werden. Wie schon erwähnt, werden für die Bilanz Monatsmittelwerte herangezogen. Beim TWSK wurden bei den Versuchen bzw. in den Versuchsmonaten 5/1, 6/1 und 8/1 und beim SWSK in den Monaten, in denen die Versuche 8/1 und 9/1 stattfanden, kein Bettmaterial (< 4 mm) ausgeschleust.



Tabelle 5.7: Output-Massenströme bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in kg_{TS}/h

Gutstrom		1/0	1/1	2/0	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/0	8/1	9/1
TWSK	Elektro-FA ¹⁾	519	622	496	413	1.024	394	612	789	654	589	1.121
	BM (<4 mm)	59	59	59	59	59	14	0	0	24	0	18
	BM GROB	-	-	-	-	-	-	49	61	78	49	58
SWSK	Gewebe-FA ¹⁾	112	136	107	69	214	105	215	260	95	92	183
	BM (<4 mm)	59	59	59	59	59	14	9	46	3	0	0
	BM GROB	-	-	-	-	-	-	28	31	28	18	19
Summe		749	876	721	600	1.356	527	913	1.187	882	748	1.399

¹⁾ FA.....Filterasche

Die gravimetrische Erfassung der Bettmaterial Grobfraktionen (BM GROB) erfolgte erst ab dem Versuch 5/1.

Das in der Abbildung 5.8 dargestellte Sankey-Diagramm zeigt die Massenbilanz über die TWS- und SWS-Anlage. Die Gutströme sind in M.-% bezogen auf den Gesamtinputstrom angegeben. Es handelt sich dabei um Mittelwerte der bei allen durchgeführten Verbrennungsversuchen ermittelten Massen.

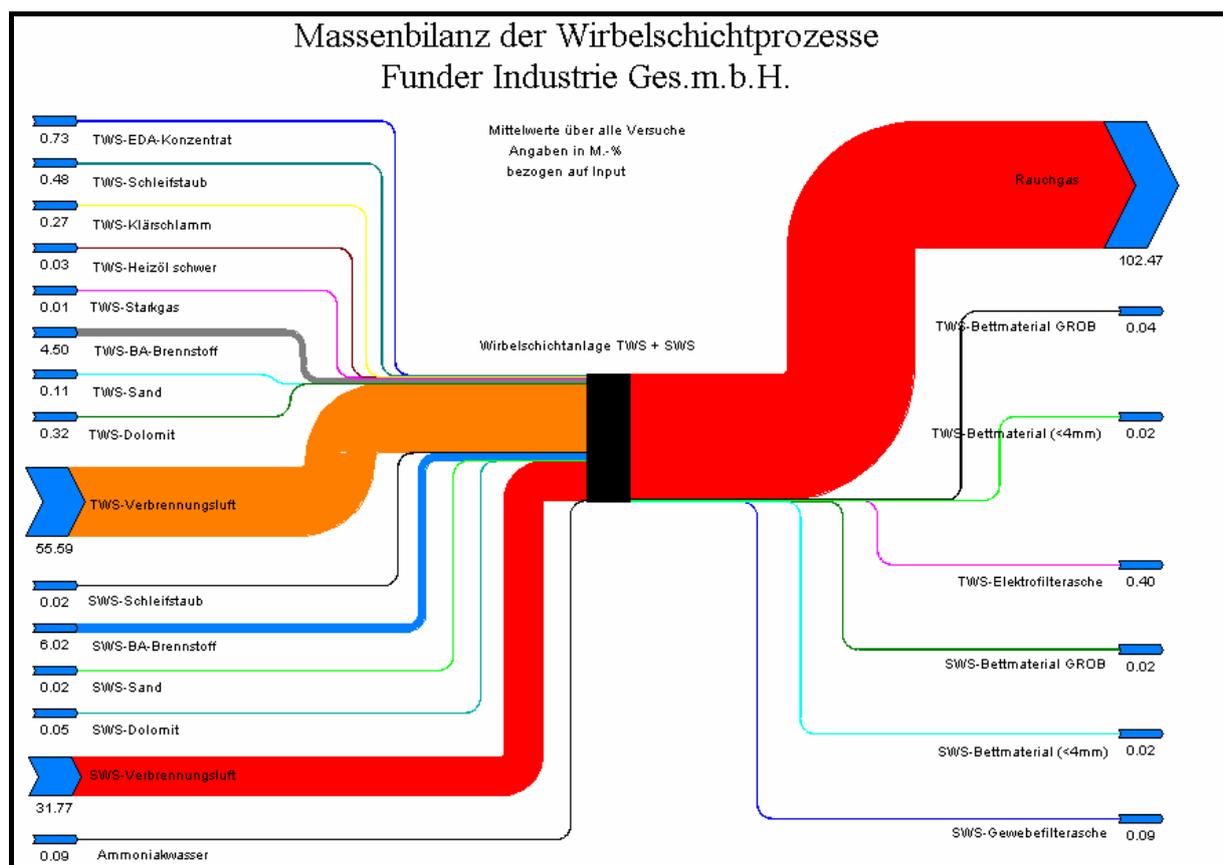


Abbildung 5.8: Massenbilanz der Wirbelschichtprozesse

Die als Primär- und Sekundärluft in TWSK und SWSK eingebrachte Verbrennungsluft bildet mit 87,4 M.-% den Hauptteil des Inputstroms. Da für die einzelnen Versuche keine oder nur mit Unsicherheiten behaftete Aufzeichnungen der tatsächlichen Verbrennungsluftmengen



vorliegen, wurden für die Massenbilanz, die aus den technischen Daten der Kessel entnommenen Maximalluftmengen von 70.000 Nm³/h beim TWSK und 40.000 Nm³/h beim SWSK eingesetzt. Die Umrechnung von Volumen- auf Massenstrom erfolgte mit der konstant angenommenen Dichte von 1,29 kg/Nm³.

Das von SWS- und TWS-Anlage über ein Saugzuggebläse in einen gemeinsamen Kamin eingebrachte und von der Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz Ges.m.b.H. beprobte und mengenmäßig erfaßte Rauchgas stellt den größten Outputstrom der Bilanz dar. Ein Rückrechnen der Verbrennungsluftmenge aus dem Rauchgasvolumen ist aufgrund von auftretenden Falschlufzutritten nicht möglich

Defizite der Massenerfassung und daraus resultierende Auswirkungen auf die Stoffbilanzen werden in Kapitel 5.5.5 diskutiert.

5.3 Charakterisierung der Feststoffe

Bei der Festlegung des Analysenprogramms wurde neben den bereits gültigen einschlägigen Rechtsvorschriften auch auf die zukünftigen umweltrechtlichen Entwicklungen sowie auf prozeßtechnische und verwertungsrelevante Parameter Rücksicht genommen. Die Auswahl der zu analysierenden Parameter erfolgte demnach insbesondere aufgrund von gesetzlichen Vorgaben [27] und ÖNORMEN [100; 101]. Das im Rahmen des Forschungsprojekts „Thermische Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“ durchgeführte Analysenprogramm ist in Tabelle A.5 dargestellt.

In diesem Abschnitt soll eine Beschreibung der festen Input- und Outputströme bei den Verbrennungsversuchen erfolgen. Es werden hierzu die Standardbrennstoffe, die Versuchsbrennstoffe und die Verbrennungsrückstände unterschieden. In Kapitel 5.3.1. erfolgt eine Darstellung der Standardbrennstoffe. Dies sind die bei nahezu allen Versuchen verwendeten Inputstoffe Klärschlamm, Schleifstaub, Konzentrat aus der Eindampfanlage sowie der beim Referenzversuch 7/0 verwendete Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung (Jahresdurchschnittsbrennstoff \approx Referenz-BA-Brennstoff). Während in Kapitel 4.2 u.a. die bei den Verbrennungsversuchen verwendeten (Abfall-) Brennstoffe beschrieben wurden, wird im Kapitel 5.3.2 der gemäß der Brennstoffrezeptur jeweils tatsächlich der Feuerungsanlage zugeführte Brennstoff (Gutstrom „Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung“), entsprechend den zugegebenen AWG-Brennstoffen in sogenannte Cluster zusammengefaßt (vgl. Kapitel 5.2.1), charakterisiert. In Kapitel 5.3.3 erfolgt letztendlich eine Beurteilung der Verbrennungsrückstände.

5.3.1 Charakterisierung der Standardbrennstoffe

Die bei allen Verbrennungsversuchen eingesetzten Brennstoffe Klärschlamm, Konzentrat aus der Eindampfanlage sowie Schleifstaub werden in diesem Abschnitt gemeinsam unter der Verwendung der bei allen Verbrennungsversuchen gewonnenen Analysedaten beschrieben.



Da der Referenzversuch mit einem „Jahresdurchschnittsbrennstoff“ erfolgte, werden für den Gutstrom Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung die beim Referenzversuch gewonnenen Daten als Vergleichsbasis (Cluster A) herangezogen.

Allgemeine Beschreibung

Die einzelnen Fraktionen der beim Referenzversuch verwendeten Brennstoffrezeptur sowie die jeweiligen Anteile bezogen auf den Gesamtbrennstoffstrom in den TWSK bzw. den SWSK können der Tabelle A.1 entnommen werden. Wie auch bei den meisten Einsatzversuchen waren dies neben dem stückigen BA-Brennstoff auch der staubförmige Schleifstaub, das zähflüssige Konzentrat aus der Eindampfanlage sowie der pastöse Klärschlamm.

Physikalische Charakterisierung

In der folgenden Tabelle 5.8 sind die physikalischen Eigenschaften des BA-Brennstoffs des Referenzversuchs (Cluster A) sowie die der anderen Standardbrennstoffe im Überblick dargestellt.

Tabelle 5.8: Physikalische Eigenschaften der Standardbrennstoffe im Vergleich mit fossilen Brennstoffen [84]

Standardbrennstoffe - fossile Brennstoffe							
Parameter	Schleifstaub ¹⁾	EDA-Konzentrat ¹⁾	Klärschlamm ²⁾	Cluster A ³⁾	Heizöl schwer	Steinkohle	Braunkohle
WG (50°C) [M.-%]	3,7	36,3	86,9	35,6	n.r.	n.r.	n.r.
WG (105°C) [M.-%]	5,6	52,5	87,0	36,4	0,20	10 - 75	10 - 75
GV (korr) [M.-%]	97,8	k.A.	67,9	93,1	n.r.	n.r.	n.r.
H _o [kJ/kg TS]	19.828	17.679	15.456	20.231	n.r.	n.r.	n.r.
H _u [kJ/kg roh]	17.619	7.014	-300	11.271	44.000	28.000 – 35.000	14.000 - 17.000
Ascheanteil [M.-%]	2,2	k.A.	32,1	6,9	0,01 - 0,1	3 - 30	3 - 30

1) Mittelwerte aus allen Versuchen (19 Misch- bzw. Einzelproben)

2) Mittelwerte aus allen Versuchen (15 Misch- bzw. Einzelproben)

3) Es handelt sich beim Brennstoff dieses Versuchs um einen „Jahresdurchschnittsbrennstoff“, der auch GVK-Material sowie andere (Abfall-)Brennstoffe enthält, daher sind die Komponenten teilweise auch flüchtig.

Stellt man hier einen Vergleich mit dem Heizwert, Wassergehalt und Ascheanteil fossiler Brennstoffe an, sieht man, daß der Heizwert des Schleifstaubes im oberen Bereich der für die Braunkohle angegebenen Bandbreite, der Aschegehalt jedoch leicht unter den angegebenen Werten für Kohlen liegt. Der Ascheanteil des Klärschlammes (in diesem Fall handelt es sich um einen mechanisch entwässerten kommunalen Klärschlamm) ist etwas höher als der von Stein- bzw. Braunkohle (3 - 30 M.-%) aber niedriger als der des getrockneten industriellen Klärschlammes (vgl. Kapitel 4.2.2). Aufgrund des hohen Wassergehalts des Klärschlammes weist dieser einen negativen unteren Heizwert auf.

Chemische Charakterisierung

Im Folgenden werden analog zum Kapitel 4.2.3 energiegehaltsbezogene Elementgehalte des im Zuge des Referenzversuchs verwendeten BA-Brennstoffs (Cluster A) sowie der anderen Standardbrennstoffe mit jenen von fossilen Energieträger verglichen (vgl. Tabelle 5.9). Bei der Umrechnung der Werte von [mg/kg TS] auf [mg/MJ FS] wurden die Heizwerte bzw. Wassergehalte für die entsprechenden Brennstoffe herangezogen.

Da der Klärschlamm aufgrund des hohen Wassergehaltes einen negativen unteren Heizwert (H_{u}) aufweist, entzieht er dem System Wärme. Es ist hier daher nicht sinnvoll, einzelne Schadstoffgehalte des Klärschlammes auf seinen Energieinhalt zu beziehen. Bedacht werden muß, daß der Klärschlamm dem Prozeß nur Schadstoffe aber keine Energie zuführt. Aus diesem Grund ist die ökologische Sinnhaftigkeit des Einsatzes von ungetrockneten und schlecht entwässerten Klärschlamm in Frage zu stellen.

Die Analysendaten des Referenzversuchs wurden durch arithmetische Mittelwertbildung der Analysenwerte aus jeweils fünf Mischproben ermittelt. Die Daten für die Standardbrennstoffe Schleifstaub sowie EDA-Konzentrat sind Mittelwerte von 19 Einzel- bzw. Mischproben (vgl. Kapitel 5.2.2.1).

Aus Tabelle 5.9 ist ersichtlich, daß die Elementgehalte von Fluor durchgängig über den jeweiligen Vergleichswerten für Primärbrennstoffe liegen. Zusätzlich überschreiten beim Gutstrom EDA-Konzentrat die Analysenwerte für Chrom und Zink die entsprechenden Schadstoffgehalte der fossilen Brennstoffe. Beim Jahresdurchschnittsbrennstoff liegt der der Chlorgehalt über dem von fossilen Brennstoffen. Es muß jedoch festgehalten werden, daß es sich hier lediglich um geringfügige Überschreitungen der entsprechenden zum Vergleich herangezogenen Bandbreiten handelt.

Tabelle 5.9: Vergleich von Elementgehalten der Standardbrennstoffe mit jenen fossiler Brennstoffe [89; 90; 91] - auf den Energieinhalt bezogen

Parameter [mg/MJ]	Cluster A ¹⁾	Schleif- staub ²⁾	EDA- Konzentrat ²⁾	fossile Brennstoffe		
				Heizöl _{schwer}	Steinkohle	Braunkohle
Cl	67,8	13,3	30,3	< 0,23 - 25	1,8 - 51,1	37,1 - 48,2
F	9,2	11,9	15,1	0,23 - 0,45	0,91 - 6,8	0,8 ³⁾
S	59,9	28,7	50,9	226,8 - 567,0	182,5	556,5
As	0,05	0,03	0,11	< 0,0002 - 0,0023	0,164 - 0,913	0,011 - 0,33
Cd	0,02	0,01	0,02	0,0005 - 0,0091	0,0018 - 0,183	0,0037 - 0,089
Co	0,02	0,02	0,03	< 0,02 ⁴⁾	0,33 - 0,5 ⁴⁾	0,02 ⁵⁾
Cr (ges.)	0,73	1,50	1,76	0,045 - 0,091	0,091 - 1,5	0,033 - 0,30
Hg	0,02	0,03	0,05	< 0,0002 ⁴⁾	0,01 - 0,02 ⁴⁾	0,03 ⁵⁾
Ni	0,69	0,55	0,98	0,11 - 0,98	0,37 - 1,5	0,022 - 0,070
Pb	1,56	0,99	0,62	0,023 - 0,77	0,20 - 4,9	0,03 - 0,22
Zn	8,73	1,93	7,09	0,11 - 1,9	0,29 - 4,0	0,037 - 2,6

1) Es handelt sich bei diesem Versuch um einen „Jahresdurchschnittsbrennstoff“, der auch GVK-Material sowie andere (Abfall-)Brennstoffe enthält, daher sind die Komponenten teilweise auch flüchtig.

2) Mittelwerte aus allen Versuchen (19 Misch- bzw. Einzelproben)

3) Daten aus [90]

4) Daten aus [14]

5) Daten aus [91]



5.3.2 Charakterisierung der Versuchsbrennstoffe

In diesem Kapitel soll eine Beschreibung des sich bei jedem Verbrennungsversuch ändernden Gutstroms Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung gemäß der in Kapitel 5.2.1 getroffenen Einteilung in Cluster erfolgen.

Die Brennstoffe der bei den Einsatzversuchen verwendeten Brennstoffrezeptur sowie die jeweiligen Anteile bezogen auf den Gesamtbrennstoffstrom in den TWSK bzw. den SWSK können den Tabellen A.2 und A.3 entnommen werden.

Allgemeine Beschreibung

Die allgemeinen Eigenschaften der einzelnen BA-Brennstoffe entsprechen im Wesentlichen den jeweiligen Eigenschaften des beim Referenzversuch verwendeten BA-Brennstoffs, da sich dieser Brennstoffstrom bei allen Versuchen zum Großteil aus Holz- und Rindenabfällen sowie internen Reststoffen zusammensetzte (vgl. Tabelle A.1 bis A.3). Es soll an dieser Stelle lediglich in kurzen Worten eine allgemeine Beschreibung der jeweiligen zu Cluster zusammengefaßten BA-Brennstoffe erfolgen. Die Photodokumentation im Anhang vermittelt einen optischen Eindruck des jeweils verwendeten BA-Brennstoffs.

➤ **Cluster B: Unbelastete Holzabfälle der SNr. 17201 (Nullversuche 1/0 und 2/0):**

In diesem Cluster wurden die Nullversuche, bei denen überwiegend unbelastete Holzabfälle als Versuchsbrennstoff dienten, zusammengefaßt.

➤ **Cluster C: Belastete Holzabfälle der SNr. 17207 bzw. 17213 (Einsatzversuche 1/1, 2/1 und 8/1):**

Beim ersten Einsatzversuch stellte die Fraktion Altholz, belastet einen sehr hohen Prozentsatz des Gesamtbrennstoffs dar. Es handelte sich im Wesentlichen um einen stückigen Brennstoff auf Holzbasis mit Verunreinigungen von Papier- und Kunststoffetzen.

Der Versuchsbrennstoff beim zweiten Einsatzversuch bestand ausschließlich aus Holzbestandteilen (imprägnierte Eisenbahnschwellen, Spanplatten, Holzabfälle, ...) (vgl. Abbildung B.3).

Beim Einsatzversuch 8/1 bestand der Gesamtbrennstoff wieder zu einem sehr großen Anteil aus der Fraktion Altholz, belastet. Es handelte sich wiederum um einen stückigen Brennstoff auf Holzbasis ohne Verunreinigungen.

Es wurden in diesem Cluster alle Verbrennungsversuche mit belasteten Holzabfällen als AWG-Brennstoff zusammengefaßt.

➤ **Cluster D: Abfälle aus der Zellstoff- und Papierindustrie der SNr. 18407 (Einsatzversuche 3/1, 5/1 und 9/1):**

Infolge des großen Anteils des AWG-Brennstoffs Rückstände aus der Altpapierverarbeitung am Gutstrom BA-Brennstoff handelte es sich beim 3. Einsatzversuch um einen sehr heterogenen Versuchsbrennstoff mit großen Anteilen an Kunststoffen, naßfestem Papier und (feinen) Fasern bzw. einem relativ hohen Anteil an Fremdstoffen (vgl. Abbildung B.4).



Trotz des gleichen AWG-Brennstoffs wie beim Verbrennungsversuch 3/1 fallen beim 5. Einsatzversuch die wesentlich geringeren Kunststoffanteile auf (vgl. Abbildung B.5). Dies ist nicht zuletzt durch die deutlich geringere Zudosierung des Abfallbrennstoffs zu den internen Reststoffen zu begründen (vgl. Tabellen A.2 bzw. A.3).

Der geringe Anteil an Kunststoffen sowie die nahezu gleichmäßige Korngröße der eingesetzten Rückstände aus der Altpapierverarbeitung, tragen zu einem homogenen Erscheinungsbild der BA-Brennstoffmischung des 9. Versuches bei (vgl. Abbildung B.6). Die festgestellte Homogenität sowie das Fehlen flächiger Kunststoffbestandteile ist auf die Konfektionierung des Abfallbrennstoffs zurückzuführen.

Dieses Cluster besteht aus all jenen Einsatzversuchen, bei denen die Abfallart Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (hoher Kunststoffanteil, naßfestes Papier, hoher Faseranteil) als AWG-Brennstoff verwendet wurde.

➤ **Cluster E: Kunststoffabfälle der SNr. 91207 (Einsatzversuch 4/1):**

Durch den AWG-Brennstoff Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung enthält dieser BA-Brennstoff einen sehr großen Anteil von flächigen Kunststoffen in einer Matrix von Rinden und Holzabfällen (vgl. Abbildung B.7).

➤ **Cluster F: Abfälle aus der Wasseraufbereitung der SNr.-Gruppe 94 (Einsatzversuch 6/1):**

Aufgrund der geringen Korngröße sowie des sehr untergeordneten Anteils des AWG-Brennstoffs getrockneter industrieller Klärschlamm, unterscheidet sich dieser BA-Brennstoff optisch nicht vom Jahresdurchschnittsbrennstoff. Der GVK-Anteil ist klar ersichtlich wohingegen der getrocknete Klärschlamm optisch nicht erkennbar ist (vgl. Abbildung B.8).

Physikalische Charakterisierung

Einige physikalische Eigenschaften der im Rahmen der Einsatzversuche verwendeten (AWG-)Brennstoffe sind in Tabelle 5.10 zusammengestellt.

Tabelle 5.10: Zusammenstellung einiger physikalischer Eigenschaften der BA-Brennstoffe der einzelnen Cluster

BA-Brennstoff	Aggregatzustand	Stückigkeit
Cluster B	fest	bis zu 10-15 cm große, teils quader- und flächenförmige Holzstücke
Cluster C	fest	bis zu 10-15 cm große, u.U. noch größere längliche Holzstücke, tw. Feinanteil
Cluster D	fest	bis zu 10 cm große Holzstücke, faseriger Feinanteil, flächige Kunststoffteile, bei Einsatzversuch 9/1 infolge der Konfektionierung homogeneres Erscheinungsbild
Cluster E	fest	größere Kunststofffolien in Holzmatrix
Cluster F	fest	homogenes Klärschlammgranulat geringerer Korngröße (max. 5 mm) in Holzmatrix

In Tabelle 5.11 sind die physikalischen Parameter Wassergehalt, Glühverlust, oberer und unterer Heizwert sowie der Ascheanteil der Brennstoffe aller Einsatzversuche im Überblick dargestellt.

Tabelle 5.11: Zusammenfassung allgemeiner Parameter der BA-Brennstoffe der einzelnen Cluster

BA-Brennstoffe					
Parameter	Cluster B ¹⁾	Cluster C ²⁾	Cluster D ³⁾	Cluster E ⁴⁾	Cluster F ⁴⁾
WG (50°C) [M.-%]	40,3	29,9	37,7	33,0	35,5
WG (105°C) [M.-%]	51,1	32,8	38,7	k. A.	36,8
GV (korr) [M.-%]	94,7	92,4	89,0	96,5	89,3
H_o [kJ/kg TS]	18.880	18.363	18.382	20.228	20.221
H_u [kJ/kg roh]	8.351	11.097	9.584	11.845	11.280
Ascheanteil [M.-%]	5,3	7,6	11,0	3,5	10,7

1) Mittelwert aus 6 Mischproben

2) Mittelwert aus 13 Mischproben

3) Mittelwert aus 15 Mischproben

4) Mittelwert aus 10 Mischproben

Vergleicht man hier die Heizwerte der Brennstoffmischungen (BA - Brennstoff) mit jenen der AWG- Versuchsbrennstoffe (Kap. 4.2.2), so fällt auf, daß durch die Mischung der Materialien mit den Standardbrennstoffen der Heizwert deutlich erniedrigt wird. Dies ist eine Konsequenz des Brennstoffmixes entsprechend der Brennstoffrezeptur (vgl. Tabelle A.1 bis A.3). Der Heizwert der Cluster B und D liegt aufgrund des höheren Wassergehalts vergleichsweise noch niedriger. Wesentlich ist der infolge der unterschiedlichen Materialien sich jeweils ergebende Aschegehalt. In Abbildung 5.9 ist der entsprechende resultierende Filteraschenanfall für die Cluster B, C, D, E und F im Vergleich zum Referenzversuch 7/0 (Cluster A) dargestellt. Tabelle 5.12 gibt die Abweichung im Vergleich zum Jahresdurchschnittsbrennstoff (Cluster A) in Prozenten wieder. Wesentlich und vor allem kostenrelevant sind die sehr nach oben ausschlagenden Aschemengen bei den Clustern D (AWG-Brennstoff: Rückstände aus der Altpapierverarbeitung) und F (AWG-Brennstoff: getrockneter industrieller Klärschlamm).

Tabelle 5.12: Relative Abweichung der Filteraschemengen einzelner Cluster im Vergleich zu Cluster A, Angaben in M.-%

Cluster	Brennstoff	Relative Abweichung vom Cluster A
A	Jahresdurchschnittsbrennstoff \cong Standard-BA-Brennstoff	0
B	unbelastete Holzabfälle der SNr. 17201	-18
C	belastete Holzabfälle der SNr. 17207 bzw. 17213	-15
D	Abfälle aus der Zellstoff- und Papierindustrie der SNr. 18407	50
E	Kunststoffabfälle der SNr. 91207	-33
F	Abfälle aus der Wasseraufbereitung der SNr.-Gruppe 94	40

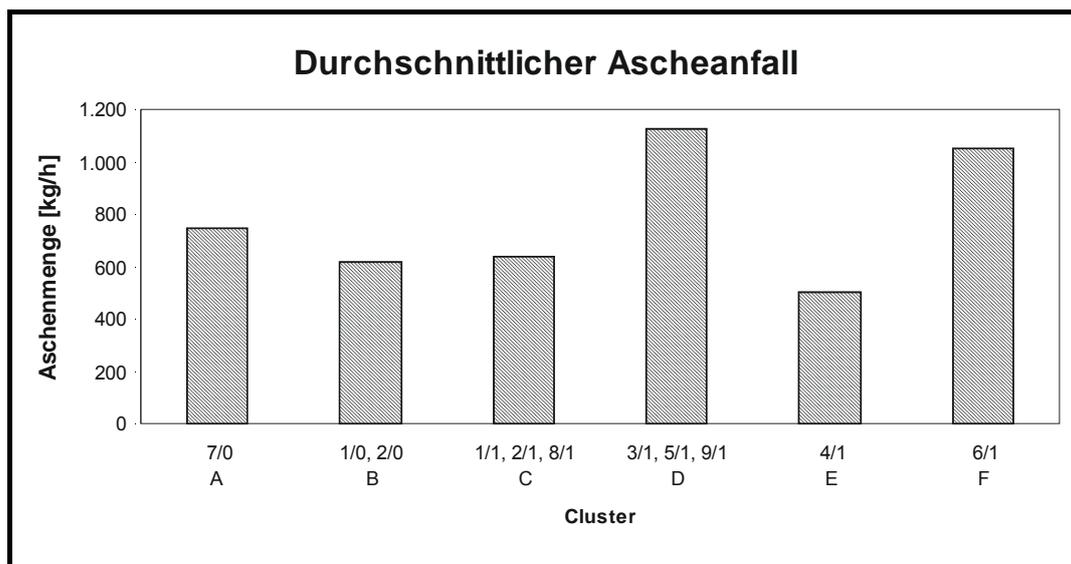


Abbildung 5.9: Durchschnittlicher Filteraschenanfall bei der Verwendung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe

Chemische Charakterisierung

Im Folgenden werden die Schadstoffgehalte der Brennstoffmischungen der zu den Clustern zusammengefaßten Einsatzversuche mit Schadstoffgehalten fossiler Brennstoffe verglichen (vgl. Tabelle 5.13).

Tabelle 5.13: Vergleich der Schadstoffgehalte der BA-Brennstoffgemische der Cluster mit jenen fossiler Brennstoffe [89; 90; 91] - auf den Energieinhalt bezogen

BA - Brennstoffe - fossile Brennstoffe								
Parameter [mg/MJ]	Cluster B ¹⁾	Cluster C ²⁾	Cluster D ³⁾	Cluster E ⁴⁾	Cluster F ⁴⁾	Heizöl schwer	Steinkohle	Braunkohle
Cl	31,7	38,0	164	33,7	157	< 0,23 - 25	1,8 - 51,1	37,1 - 48,2
F	18,8	13,4	9,86	4,34	7,87	0,23 - 0,45	0,91 - 6,8	0,8 ⁵⁾
S	57,0	63,4	52,8	33,4	58,7	226,8 - 567,0	182,5	556,5
As	0,07	0,13	0,10	0,07	0,06	< 0,0002 - 0,0023	0,164 - 0,913	0,011 - 0,33
Cd	0,03	0,03	0,17	0,01	0,04	0,0005 - 0,0091	0,0018 - 0,183	0,0037 - 0,089
Co	0,10	0,09	0,16	0,25	0,08	< 0,02 ⁶⁾	0,33-0,5 ⁶⁾	0,02 ⁷⁾
Cr (ges.)	2,21	1,18	2,10	2,20	1,20	0,045 - 0,091	0,091 - 1,5	0,033 - 0,30
Hg	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	< 0,0002 ⁶⁾	0,01 - 0,02 ⁶⁾	0,03 ⁷⁾
Ni	2,99	2,19	0,99	0,71	0,89	0,11 - 0,98	0,37 - 1,5	0,022 - 0,070
Pb	8,63	4,41	3,51	2,26	3,99	0,023 - 0,77	0,20 - 4,9	0,03 - 0,22
Zn	11,7	20,8	14,5	7,72	14,9	0,11 - 1,9	0,29 - 4,0	0,037 - 2,6

- 1) Mittelwert aus 6 Mischproben
- 2) Mittelwert aus 13 Mischproben
- 3) Mittelwert aus 15 Mischproben
- 4) Mittelwert aus 10 Mischproben
- 5) Daten aus [90]
- 6) Daten aus [14]
- 7) Daten aus [91]



Es fällt hierbei auf, daß die Zinkgehalte in jedem Fall und die Fluorgehalte beinahe immer über den Bandbreiten der fossilen Vergleichsbrennstoffe liegen. Weiters gibt es geringe Überschreitungen bei Nickel, Blei und Chrom. Wesentlich höher als bei den Primärbrennstoffen sind die Chlorgehalte bei Cluster D (AWG-Brennstoff: Rückstände aus der Alpapierverarbeitung) und F (AWG-Brennstoff: getrockneter industrieller Klärschlamm). Für alle Brennstoffmischungen der in Clustern zusammengefaßten Einsatzversuche liegt der Schwefelgehalt deutlich unter dem für fossile Brennstoffe.

5.3.3 Charakterisierung der Verbrennungsrückstände

In diesem Kapitel sollen die im Rahmen der Verbrennungsversuche anfallenden Rückstände charakterisiert werden. Da die Asche vor Ort als Mischasche anfällt, werden mit Ausnahme der physikalischen Daten die Analysedaten der Elektro- und der Gewebefilterasche entsprechend dem Anfall massenmäßig gewichtet und mit den jeweiligen Grenzwerten bzw. Literaturwerten verglichen. Die Analysedaten werden darüber hinaus - gemäß der getroffenen Cluster-Bildung der Verbrennungsversuche - zusammengefaßt. Aufgrund des unregelmäßigen sowie massenmäßig sehr geringen Anfalls werden bei dieser Betrachtung die Bettmaterialien nicht berücksichtigt sondern gesondert betrachtet.

Da es sich bei den "Aschen, Schlacken und Stäuben aus der thermischen Abfallbehandlung und aus Feuerungsanlagen" lt. Festsetzungsverordnung [102] um gefährliche Abfälle handelt, werden sowohl die für die Deponierung relevanten Parameter als auch die für eine Ausstufung heranzuziehenden Parameter als Vergleichsbasis herangezogen. Es ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, daß eine Ausstufung der Verbrennungsrückstände aus dem Prozeß „Kesselhaus“ der Funder Industrie Ges.m.b.H. bereits erfolgreich durchgeführt wurde. Wichtig anzumerken ist an dieser Stelle, daß die Deponierung der Verbrennungsrückstände nicht vorrangiges Ziel ist, sondern daß auch Optionen einer sinnvollen Verwertung untersucht wurden [vgl. 54].

Allgemeine Beschreibung

Die allgemeine Beschreibung der bei der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. anfallenden Verbrennungsrückstände erfolgt anhand von Parametern, die für die Abfallbeschreibung gemäß der Anlage 4 der Deponieverordnung [27] relevant sind (vgl. Tabelle 5.14).

Tabelle 5.14: Beschreibung der Verbrennungsrückstände

Beschreibung	Filterasche	Bettmaterial (< 4 mm)	Bettmaterial GROB
Eigenschaft / Beschaffenheit bei 20 °C			
fest	X	X	X
homogen	X		
inhomogen		X	X
stückig			X
körnig		X	X
staubend	X		
pulvrig	X		
Farbe			



Beschreibung	Filterasche	Bettmaterial (< 4 mm)	Bettmaterial GROB
graubraun		X	
grau	X		
grau/weiß			X
Geruch			
ohne	X	X	X
Reaktivität			
reaktionsträge	X	X	X
alkalisch	X	X	X
Lösungsverhalten gegenüber Wasser			
wenig löslich	X	X	X

Physikalische Beschreibung

Aufgrund der mengenmäßigen Relevanz beschränkt sich diese Beschreibung im Wesentlichen auf die Filteraschen. Diese sind im Allgemeinen sehr stark hygroskopisch und neigen daher zur Agglomeration. Die Umgebungsbedingungen und die Behandlung der Proben können dementsprechend sowohl die Ergebnisse der Schüttdichtebestimmung als auch die Siebkennlinie einer Korngrößenuntersuchung beeinflussen [103]. Das rasche luftdichte Verpacken der bei hohen Temperaturen genommenen Proben (Filteraschen > 80 °C und Bettmaterial > 100 °C) sollte dem entgegenwirken.

Für die Filteraschen wurde die Schüttdichte sowohl im Labor mit einem Meßgefäß als auch vor Ort bei jeder Probenahme ermittelt. Bei der Bestimmung vor Ort wurde direkt im Probenahmegefäß, das sich nur geringfügig über dem jeweiligen Aschensender befand, die Schütthöhe der Asche gemessen. Diese Vorgehensweise berücksichtigt die Fallhöhe der Filterasche in den Aschensender und die daraus resultierende Kompaktion der Asche im Sender. Die so ermittelten Schüttdichten liegen erwartungsgemäß etwas höher als die mit dem Meßgefäß ermittelten Werte. In der Tabelle 5.15 sind die nach beiden Varianten ermittelten Schüttdichten der Filteraschen und die mit einem Meßgefäß ermittelten Werte für die Bettmaterialien dargestellt. Es handelt sich bei allen Werten um Mittelwerte aus vier Versuchen.

Tabelle 5.15: Schüttdichten der Aschen

Asche	Schüttdichte in kg/m ³	
Elektrofilterasche	913 ¹⁾	926 ²⁾
Gewebefilterasche	702 ¹⁾	762 ²⁾
TWS Bettmaterial (< 4 mm)	1.446 ¹⁾	
SWS Bettmaterial (< 4 mm)	1.376 ¹⁾	

¹⁾ Schüttdichte im Labor ermittelt.

²⁾ Schüttdichte vor Ort mit Probenahmegefäß ermittelt.

Die Filteraschen der Versuche 1/0 und 7/0 wurden nach zwölf Wochen Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern trocken gesiebt. Die Korngrößenverteilung ist in Abbildung 5.10 ersichtlich.



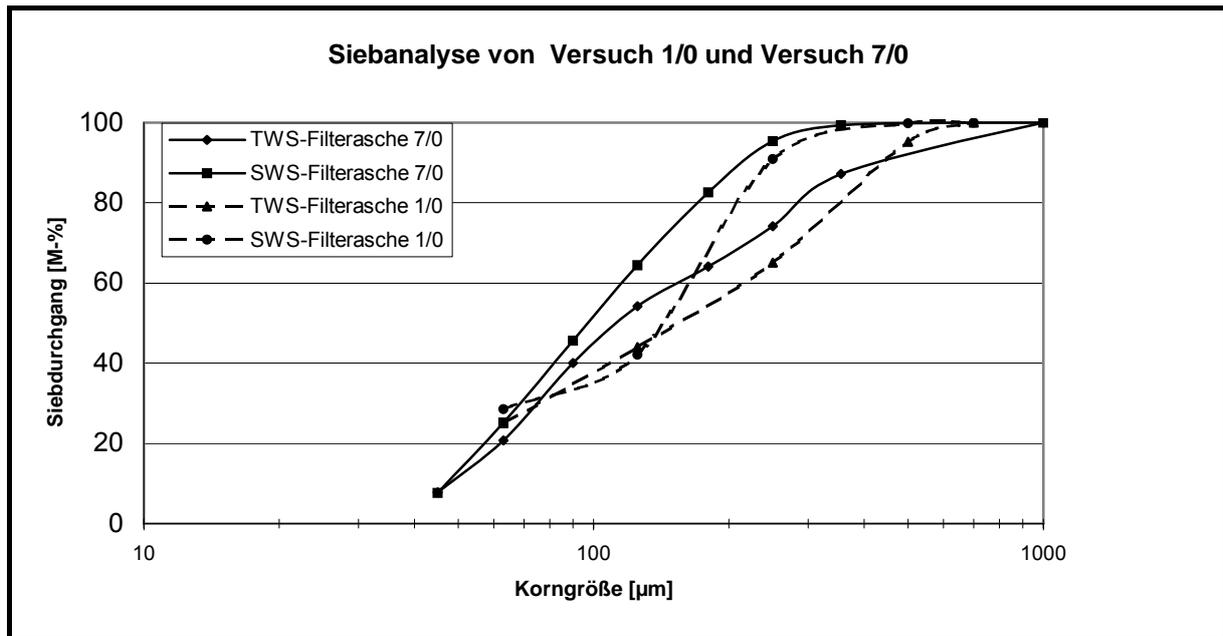


Abbildung 5.10: Korngrößenverteilung der Filteraschen

Der 50 %-ige Durchgangswert (D 50-Wert) der Filteraschen liegt im Bereich von 95 bis 175 µm. Der Durchgang beim kleinsten für den Versuch 7/0 verwendeten Sieb mit der Maschenweite 45 µm beträgt für Gewebe- und Elektrofilterasche 8 M.-%. Für die exakte Bestimmung der Kornspektren unter diesem Bereich müsste auf Schlämmanalysen mit Schlämnhilfsmitteln, die eine Lösung des Feinkornanteiles verhindern, oder auf Beugungsspektrometer zurückgegriffen werden [104].

Chemische Beschreibung

Die Mineralphasen des Brennstoffs, die Temperatur während des Brennprozesses und die zur primären Entschwefelung in den Feuerraum eingebrachten Additive beeinflussen maßgeblich die oxidische Zusammensetzung der Verbrennungsrückstände [105]. Bei den in Wirbelschichtanlagen vorherrschenden Temperaturen im Bereich von 850 °C findet keine Sinterung der Oxide statt. Diese Tatsache zeigt Auswirkungen auf das Korngefüge und die Mineralbildung [106]. Gemeinsam mit den Brennstoffen in die Funder-Wirbelschichtanlagen eingebrachter Dolomit trägt neben der Rauchgasentschwefelung auch zur Anhebung der Aschenschmelztemperatur bei [86]. In der Tabelle 5.16 sind die Mittelwerte der Oxidgehalte über alle Versuche (1/0-9/1) jeweils für TWS- und SWS-Filterasche und Bettmaterial dargestellt. Aufgrund ihres Chemismus sind die Filteraschen als alumo-silikatisch zu klassifizieren ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2$ und $\text{CaO} > 15$ M.-%) [107]. Die Bettaschen weisen eine Anreicherung des Oxids SiO_2 und eine Verarmung an Al_2O_3 , CaO , MgO , und SO_3 auf. Sie können als silikatisch-aluminatisch eingestuft werden ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 2$ und $\text{CaO} < 15$ M.-% und $\text{SO}_3 < 3$ M.-%) Die hohen SiO_2 -Gehalte in den Bettmaterialien deuten auf einen hohen Anteil an Fremdmaterial (Quarzsand) hin.

Tabelle 5.16: Oxidische Zusammensetzung der Verbrennungsrückstände, Angaben in M.-%

Parameter	Filterasche		Bettmaterial (< 4 mm)	
	TWS	SWS	TWS	SWS
SiO ₂	25,9	26,7	58,1	72,0
Al ₂ O ₃	6,7	12,5	4,8	3,4
Fe ₂ O ₃	1,5	2,5	3,4	1,4
CaO	28,5	26,0	12,7	9,8
MgO	15,3	10,5	7,1	3,7
K ₂ O	1,4	1,3	2,0	1,8
Na ₂ O	1,7	1,4	2,0	1,4
Mn ₂ O ₃	0,2	0,3	0,2	0,2
TiO ₂	1,7	3,8	1,0	1,7
SO ₃	1,4	1,8	0,2	0,2

Bei einem Vergleich mit Literaturdaten von Stein- und Braunkohleaschen fallen die infolge der Dolomitadditivierung erhöhten Werte für MgO und CaO auf.

In weiterer Folge werden die Ergebnisse der Gesamtgehaltsanalysen der Verbrennungsrückstände zusammengefaßt für die in Kapitel 5.2.1 definierten Cluster betrachtet. Die Analysenwerte der Filteraschen beziehen sich auf die im Aschesilo anfallende Mischasche (mengenmäßig gewichtet, vgl. Tabelle 5.17). Für die im Eluat bestimmten Schadstoffgehalte erfolgt eine qualitative Bewertung in Hinblick auf die in der Deponieverordnung festgelegten Grenzwerte. An dieser Stelle sollen die Analysedaten lediglich qualitativ kommentiert werden (vgl. Tabelle 5.18).

Die jeweiligen Bettmaterialien werden (wie bereits erwähnt) gesondert betrachtet, sind jedoch aufgrund der geringen ausgeschleusten Menge in der Praxis von untergeordneter Bedeutung. Zusätzlich wird auf eine Clusterzuordnung der entsprechenden Werte verzichtet, da beim Bettmaterial mehr als 98 M.-% des Gutstroms im Kreis geführt wird und daher etwaige Anreicherungen an Elementgehalten nicht bestimmten Brennstoffen direkt zugeordnet werden können. Aus diesem Grund werden bei den Bettmaterialien Mittelwerte aus allen Versuchen zur chemischen Beschreibung herangezogen (vgl. Tabelle 5.19).

Um eine Beurteilung der Deponierbarkeit durchführen zu können, werden bei den Tabellen 5.17 und 5.19 die Grenzwerte lt. Deponieverordnung für Reststoff- und Massenabfalldeponie als Vergleichsbasis herangezogen. Weiters werden die Grenzwerte bezüglich der Ausstufung nach Festsetzungsverordnung [102] betrachtet. Bei den Gesamtgehalten wird der Vergleich außer bei den Parametern TOC und Σ KW (hier Deponieverordnung – Reststoffdeponie als Vergleichsbasis) mit den Grenzwerten der Massenabfalldeponie hergestellt, da diese Vergleichswerte jeweils die niedrigeren Werte sind. Der Grenzwert für PCDD/F wird der Festsetzungsverordnung entnommen, da die Deponieverordnung hier keinen Grenzwert vorschreibt.

Bezüglich der Schadstoffgesamtgehalte in den Filteraschen liegen alle Werte der Mischaschen unter den zum Vergleich herangezogenen Grenzwerten. Im Vergleich der den Clustern zugeordneten Aschen der Einsatzversuche mit der Asche des Referenzversuchs



(Cluster A) wird der Kobaltwert in allen Fällen wesentlich überschritten. Der Arsenwert wird beim Cluster F (AWG-Brennstoff: Abfälle aus der Wasseraufbereitung), der Cadmiumgehalt bei Cluster C und D ebenso signifikant überschritten. Die Werte für Chrom, Blei und Zink werden bei den Clustern C, D und F um mehr als 50 % überschritten. Lediglich bei Cluster D tritt bei einer Mischprobe einmalig ein meßbarer Hg-Gehalt von 0,78 mg/kg TS auf. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist im Fall der Cluster B und C, der Wert für den Summenparameter der Kohlenwasserstoffe bei den Clustern D und E um mehr als 50 % erhöht. Signifikante Steigerungen bei allen Clustern im Vergleich zum Referenzversuch treten beim Gehalt an PCDD/F auf (vgl. Tabelle 5.17). Die hier angeführten signifikanten Überschreitungen sind als solche in der Tabelle 5.17 **fett** gekennzeichnet.

Es soll an dieser Stelle jedoch noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß dabei aber alle der zum Vergleich herangezogenen Grenzwerte eingehalten werden.

Tabelle 5.17: Schadstoffgesamtgehalte in der Mischasche für die einzelnen Cluster, Angaben in mg/kg TS, PCDD/F in ng TE/kg TS

Parameter	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D	Cluster E	Cluster F	Mittelwert	Grenzwert
As	6,37	5,31	9,02	6,55	2,45	14,3	7,34	500
Cd	6,87	6,35	13,5	10,7	9,39	7,96	9,12	30
Co	1,76	5,70	10,7	7,09	29,8	12,8	11,3	500
Cr _{ges}	83,7	108,4	141,1	167,4	119,1	153,8	128,9	5.000
Hg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	20
Ni	82,8	45,3	59,0	58,7	45,8	115,9	67,9	2.000
Pb	477,8	658,0	1.710,0	778,5	670,2	990,8	880,9	3.000
Zn	1.646,0	1.482,3	4.643,3	2.572,0	1.361,6	2.858,5	2.427,3	5.000
TOC	17.541	40.080	33.389	19.722	12.051	18.901,8	23.614	30.000
Σ KW	24,0	25,6	24,1	41,4	51,7	23,7	31,8	5.000
PCDD/F	2,4	16,2	53,3	37,9	42,8	25,5	29,7	10.000

Tabelle 5.18 zeigt eine qualitative Bewertung der *Eluatgehalte der Mischaschen*, die beim Einsatz der entsprechend der in Kapitel 5.2.1 definierten Cluster entstehen, in Hinblick auf die Einhaltung der Eluatgrenzwerte gemäß der Deponieverordnung – Reststoffdeponie.

Darüber hinaus gibt es bei Eluatanalysen von Einzelproben vereinzelt Überschreitungen der Parameter Arsen, Chrom_{gesamt} sowie Nitrit und Phosphat, die jedoch infolge der Gewichtung der Meßwerte bei Ermittlung der Eluatwerte der Mischasche unter den Grenzwert sinken.

Tabelle 5.18: Überschreitungen einstufigsrelevanter Parameter der Reststoffdeponiegrenzwerte durch die Mischasche

Schadstoffgehalte im Eluat	Überschreitungen des jeweiligen Clusters					
	A	B	C	D	E	F
Blei		X	X	X		
Barium	X		X	X	X	X
Chrom (VI)	X		X			
pH-Wert	X	X	X	X	X	
elektrische Leitfähigkeit	X	X	X	X		
Abdampfrückstand	X	X	X	X		X

Auch der Cluster A (Standardbrennstoff) sowie der Cluster B (Nullversuche mit unbelasteten Holzabfällen), weisen - wenn auch teilweise nur geringfügige – Überschreitungen verschiedener Grenzwerte auf. Am besten schneiden in punkto Deponierbarkeit der Einsatzbrennstoff getrockneter industrieller Klärschlamm (Cluster F) sowie die Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Cluster E) ab, jedoch ergibt sich für diese Mischaschen durch den hohen Bariumgehalt sowie den Abdampfrückstand bzw. den pH-Wert ebenfalls eine Überschreitung der Eluatgrenzwert der Reststoffdeponie.

Die mittleren Gesamtgehalte der Bettmaterialien (vgl. Tabelle 5.19) liegen generell unter den Grenzwerten für Reststoff- und Massenabfalldeponie sowie für die Ausstufung nach Festsetzungsverordnung, die wie weiter oben beschrieben zum Vergleich herangezogen wurden.

Tabelle 5.19: Schadstoffgesamtgehalte in den Bettmaterialien, Mittelwert aus den einzelnen Verbrennungsversuchen, Angaben in mg/kg TS

Parameter	Bettmaterial		Grenzwert
	TWS	SWS	
As	11,2	9,88	500
Cd	0,71	0,67	30
Co	8,98	8,20	500
Cr _{ges}	217,5	131,5	5.000
Hg	< 0,5	<0,5	20
Ni	133,1	68,2	2.000
Pb	465,3	301,0	3.000
Zn	1.728,1	2.540,2	5.000
TOC	7.639,3	1.723,6	30.000
Σ KW	15,6	18,0	5.000

Auffällig bei einem Vergleich der Bettmaterialien ist der wesentlich höhere Gehalt an organischem Kohlenstoff im Bettmaterial des Turbo-Wirbelschichtkessels.

Für das Bettmaterial haben keine Eluatuntersuchungen stattgefunden

Die Grobfraktion des Bettmaterials (> 4 mm) hält für alle Werte der Auslaugversuche mit Ausnahme des Abdampfrückstands die Grenzwerte für die Bodenaushubdeponie ein. Aufgrund des Abdampfrückstands im Eluat müsste eine etwaige Ablagerung auf einer Baurestmassendeponie erfolgen.

In Tabelle 5.20 sind die Mittelwerte der Schadstoffgesamtgehalte für Elektro- und Gewebefilteraschen sowie für das Bettmaterial von TWSK und SWSK einander gegenübergestellt.

Die Elemente Arsen, Kobalt, Chrom, Nickel und Zink liegen in allen Verbrennungsrückständen in derselben Größenordnung vor.

Bei Cadmium ist ein sehr deutlicher Unterschied zwischen Filteraschen und Bettmaterial zu erkennen, wobei die Gehalte im Bettmaterial wesentlich geringer sind. Die Bleigehalte sind in den Filteraschen tendenziell höher als im Bettmaterial. Auch die Parameter TOC und Σ KW sind im Bettmaterial wesentlich geringer, wobei die hohen mittleren TOC-Gehalte in den Filteraschen vor allem auf die hohen TOC-Gehalte beim 2. Versuchsblock zurückzuführen sind.



Tabelle 5.20: Vergleich der Mittelwerte der Schadstoffgesamtgehalte in den Filteraschen und dem Bettmaterial, Angaben in mg/kg TS

Parameter	Elektrofilterasche	Gewebefilterasche	Bettmaterial TWSK	Bettmaterial SWSK
As	6,49	12,4	11,2	9,88
Cd	8,68	16,1	0,71	0,67
Co	8,95	16,4	8,98	8,20
Cr _{ges}	125,7	180,5	217,5	131,5
Hg	<0,5	<0,5	< 0,5	<0,5
Ni	59,9	75,3	133,1	68,2
Pb	891,7	1.529,9	465,3	301,0
Zn	2.509,6	4.192,4	1.728,1	2.540,2
TOC	27.902	16.307	7.639,3	1.723,6
Σ KW	30,1	35,6	15,6	18,0

Eine getrennte Erfassung der Filteraschen und des Bettmaterials in unterschiedlichen Silos käme aus verwertungstechnischen Überlegungen aufgrund der Unterschiede in der Schadstoffbelastung in Frage. Da der Massestrom der Bettmaterialien jedoch relativ gering ist (lt. Bestimmung in den Versuchen 4/1 bis 9/1 < 3 M.-% der gesamten Verbrennungsrückstände), wird die Qualität der Mischasche durch die Bettmaterialien nicht merkbar beeinflusst. Eine durch getrennte Erfassung etwaig mögliche Verwertung des Bettmaterials und damit verbundene geringere Entsorgungskosten würden die Investitionskosten für die Umgestaltung der Ascheerfassung wirtschaftlich nicht rechtfertigen.

5.4 Abluftemissionssituation

In diesem Kapitel soll in kurzen Worten auf die gasförmigen Emissionen im Rahmen der Verbrennungsversuche eingegangen werden.

Die bescheidmäßigen Emissionsgrenzwerte für den abfallrechtlichen Versuchsbetrieb der Kesselanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. sind in Tabelle 5.21 dargestellt.

Tabelle 5.21: Emissionsgrenzwerte für den abfallrechtlichen Versuchsbetrieb der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. im Vergleich mit den Grenzwerten für Müllverbrennungsanlagen lt. LRG-K, Angaben in mg/Nm³, PCDD/F in ng TE/Nm³ [97; 108]

Parameter	Grenzwert lt. Bescheid [97]	Grenzwert für MVA lt. LRG-K [108]
Staub	40	25
Chloride (als HCl)	20	15
Fluoride (als HF)	0,7	0,7
Schwefeloxide (als SO ₂)	100	100
Kohlenmonoxid	100	100
Stickstoffoxide (als NO ₂)	300	100
Σ Blei, Zink, Chrom	3,0	4,0
Σ Arsen, Kobalt, Nickel	0,7	1,0
Cadmium	0,05	0,1
Quecksilber	0,1	0,1
gesamter organischer Kohlenstoff (C _{org.})	20	20
Dioxine/Furane	0,1	0,1



Die bescheidmäßigen Grenzwerte sind auf Normbedingungen (0 °C, 1.013 mbar, trocken) und einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-% bezogen [97]. Im Vergleich dazu sind die Grenzwerte für Müllverbrennungsanlagen lt. LRV-K (Großanlagen mit einem durchschnittlichen Massestrom an Brennstoff von mehr als 750 kg/h) dargestellt.

Die vorgeschriebenen Grenzwerte orientieren sich an den für Müllverbrennungsanlagen gültigen Grenzwerten mit Ausnahme der Grenzwerte für Staub, HCl und NO_x, die für die Dauer des Versuchsbetriebs etwas höher zugelassen sind, da während des Versuchsbetriebs eine höhere Emission nicht ausgeschlossen werden kann. Die Summengrenzwerte von Blei, Zink und Chrom bzw. für Arsen, Kobalt und Nickel bzw. der Grenzwert für Cadmium sind im Bescheid geringer als die für Müllverbrennungsanlagen geltenden Grenzwerte festgelegt [97].

Die Emissionssituation bei den einzelnen Verbrennungsversuchen im Vergleich zum Referenzversuch und den Grenzwerten ist in Tabelle 5.22 dargestellt. Grenzwertüberschreitungen sind **fett** gedruckt, eine Erhöhung gegenüber den Werten des Referenzversuchs ist *kursiv* dargestellt.

Tabelle 5.22: Emissionen bei den einzelnen Verbrennungsversuchen im Vergleich zu den bescheidgemäßen Grenzwerten, Angaben in mg/Nm³_{tr}, PCDD/F in ng TE/Nm³ [97; 109]

Parameter	Staub	HCl	HF	SO ₂	CO	NO _x	Σ Pb, Zn, Cr	Σ As, Co, Ni	Cd	Hg	C _{org}	PCDD/F
Grenzwert	40	20	0,7	100	100	300	3,0	0,7	0,05	0,1	20	0,1
Cluster A												
7/0	14	4,66	< 0,06	4	53	262	0,0598	0,0012	0,0003	0,0079	10	0,068
Cluster B												
1/0	4,5	1,13	< 0,02	15	100	293	0,0324	0,0011	0,0001	0,0006	4,4	0,062
2/0	23,5	1,24	< 0,02	9	83	312	<i>0,1215</i>	<i>0,0036</i>	0,0003	0,0046	3	<i>0,1</i>
Cluster C												
1/1	6,5	1,47	< 0,02	10	57	304	<i>0,0961</i>	<i>0,0014</i>	<i>0,0004</i>	< 0,0002	-	0,432
2/1	15,5	0,82	< 0,02	15	43	296	<i>0,3334</i>	<i>0,0036</i>	<i>0,0009</i>	0,0017	3,8	0,05
8/1	2,4	2,11	< 0,035	< 5	48,6	295,8	0,0339	0,0009	< 0,0001	0,0037	3,2	0,03
Cluster D												
3/1	10,1	9,19	0,05	5	44	293	<i>0,0611</i>	0,001	0,0002	0,0042	2,2	0,780
5/1	7	<i>11,65</i>	0,036	8	51,5	332	<i>0,089</i>	0,0006	<i>0,0006</i>	0,0033	6,9	0,132
9/1	6	7,02	< 0,03	26	53	282	0,0371	<i>0,0017</i>	0,0001	0,0039	6,6	0,226
Cluster E												
4/1	80,6	3,74	< 0,08	< 6	69	300	<i>0,7862</i>	<i>0,0058</i>	<i>0,003</i>	0,0072	2,5	0,294
Cluster F												
6/1	5,5	<i>5,84</i>	0,03	< 6	48	312	<i>0,0615</i>	0,0007	0,0001	0,0059	14,6	0,226

Die Überschreitung des Grenzwertes für Staub beim Versuch 4/1 liegt vermutlich am Versuchsbrennstoff Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (GVK). Es ist bekannt, daß ein hoher Anteil an flächigen Kunststoffen zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Elektrofilters (TWSK) und damit zu erhöhten Staubemissionen führt.

Die Stickstoffoxide bewegen sich nahe dem Grenzwert von $300 \text{ mg/Nm}^3_{\text{tr}}$. Es handelt sich bei diesem Parameter (NO_x) um eine Regelgröße, die durch Steuerung der SNCR auf einem entsprechenden Niveau gehalten wird. Eine wesentliche Unterschreitung des Grenzwertes ist jedoch mit der SNCR nicht möglich, da es dabei zu einem sehr hohen Anstieg des NH_3 -Schlupfs käme.

Abgesehen von HCl beim Cluster D und SO_2 bei Cluster B, C und D konnte nur beim Parameter PCDD/F eine wesentliche Veränderung der Emissionssituation bei den Einsatzversuchen der Cluster D, E und F gegenüber dem Referenzversuch festgestellt werden.

Problematisch stellt sich die Situation bei PCDD/F dar. Bei den Versuchen 1/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1 und 9/1 gab es zum Teil signifikante Überschreitungen des Grenzwertes von $0,1 \text{ ng TE/Nm}^3$.

Bei den Schwermetallen hingegen werden die Grenzwerte durchgehend deutlich unterschritten. Am höchsten liegt der Wert für die Summe aus Blei, Zink und Chrom beim Versuch 4/1, trotzdem liegt er noch um ca. 74 % unter dem Grenzwert. Beim Versuch 5/1 liegt der gemessene Wert für die Summe aus Arsen, Kobalt und Nickel sogar mehr als um den Faktor 1.000 unterhalb des Grenzwertes.

Hinsichtlich der Abluftemissionssituation ergeben sich die in den folgenden Absätzen diskutierten Möglichkeiten zur Verbesserung der Rauchgasqualität.

Durch den Betrieb des SWSK als Grundlastkessel und des TWSK zur Leistungsregelung kommt es zu einer Reduktion der mittleren Kessellast des TWSK und damit auch zu einer Belastungsverringerung für den Elektrofilter. Dadurch fällt eine größere Belastung dem Gewebefilter zu, durch den eine effizientere Staubabscheidung möglich ist [86; 110].

Insgesamt läßt sich feststellen, daß durch die Verwendung des stationären Wirbelschichtkessels mit nachgeschaltetem Gewebefilter eine wesentliche Verbesserung hinsichtlich der Staubemission im Vergleich zur ausschließlichen Staubabscheidung durch den Elektrofilter zu erwarten ist.

Die Forderungen für ein gutes Funktionieren des SNCR-Verfahrens zur NO_x -Minderung läßt sich meist nicht realisieren (Unterschreitung der optimalen Temperatur wegen der Gefahr der Überschreitung des Ascheschmelzpunktes), was dazu führt, daß die NO -Reduktionsraten oft relativ niedrig liegen. Eine Alternative zum Einsatz des Ammoniaks stellt eine wäßrige Harnstofflösung dar. Die Handhabung der Harnstofflösung gestaltet sich dabei wesentlich unproblematischer als die des Ammoniaks.

Es ist jedoch ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß es sich beim Parameter NO_x um eine Regelgröße handelt, die durch Steuerung der SNCR auf einem entsprechenden Niveau gehalten werden kann. Eine wesentliche Unterschreitung des Grenzwertes ist jedoch mit



dem SNCR-Verfahren nicht möglich, da es wie bereits erwähnt dabei zu einem sehr hohen Anstieg des NH_3 -Schlupfs kommt.

Um dem Problem überhöhter *PCDD/F*-Emissionswerte zu begegnen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Diesbezügliche Maßnahmen wurden der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. bereits teilweise von der zuständigen Behörde vorgeschrieben. Die *Feuerraumtemperatur* muß bei allen Betriebszuständen *auf mindestens 850 °C* angehoben werden, wobei *Teillastbetriebe zu vermeiden* sind. Wird diese Temperatur unterschritten, muß eine *Umstellung auf* (hinsichtlich der Dioxinbildung) *unbedenkliche Brennstoffe* wie Schleifstaub oder Heizöl erfolgen. Schleifstaub ersetzt teilweise auch AWG-Brennstoffe, wenn mit diesen die geforderten Grenzwerte nicht eingehalten werden können. Vor dem Gewebefilter muß *Sorbalit zur Trockensorption* eingesetzt werden. Durch die Trockensorption mit Sorbalit (Kalkhydrat/Koks-Gemisch) werden neben PCDD/F auch HCl, HF und SO_2 sowie Schwermetalle [111] abgeschieden.

Tabelle 5.23 zeigt die Veränderung der Dioxin- und Furanemissionen durch den Einsatz von Sorbalit. Für die Versuchsblöcke 3 bis 9 sind die PCDD- und PCDF-Konzentrationen in der Gewebefilterasche für den jeweils ersten Versuchstag (ohne Sorbalit) und den zweiten Versuchstag (mit Sorbalit) sowie die resultierende relative Abnahme der Dioxine und Furane im Reingas des SWSK durch die Sorbalitzugabe dargestellt.

Die PCDD/F-Gehalte im Reingas können durch den Sorbaliteinsatz um 48 bis 96 % reduziert werden. Die PCDD/F-Konzentration in der Gewebefilterasche steigt bei allen Versuchen mit Ausnahme des Versuchsblocks 3 um den Faktor 1,1 bis 3,1.

Tabelle 5.23: Auswirkungen der Zugabe von Sorbalit auf Dioxin- und Furanemissionen, Angaben in ng TE/kg TS bzw. in %

Versuchsblock	PCDD/F in der Gewebefilterasche			PCDD/F-Abnahme im Reingas des SWSK durch Zugabe von Sorbalit Δ_{relativ}
	1. Tag	2. Tag ¹⁾	Δ_{relativ}	
3	120,0	112,0	-6,7 %	-68,5 %
4	85,1	132,0	+ 55,1 %	-48,2 %
5	5,82	17,8	+ 205,8 %	-93,9 %
6	22,2	23,4	+ 5,4 %	-85,6 %
7	8,69	25,3	+ 191,1 %	-88,2 %
8	33,3	45,1	+ 35,4 %	-92,8 %
9	22,9	47,1	+ 105,7 %	-95,6 %

5.5 Stoffbilanzen

Die ÖNORM S 2108 „Zuordnung von Abfällen zur thermischen Behandlung und Verwertung“ [101] verlangt zumindest für die Elemente Schwefel, Chlor, Fluor, Cadmium und Quecksilber eine Stoffbilanz. Im Falle einer möglichen Oxidation von Chrom zu Chrom (VI) ist auch für Chrom eine solche zu erstellen. Darüber hinaus wurden im vorliegenden Projekt auch die Elemente Arsen, Kobalt, Nickel, Blei, Zink, Kupfer und Zinn sowie Kohlenstoff und Wasserstoff bzw. der Stoff Wasser in allen Gutströmen analysiert, um eine umfassende Stoffbilanz zu ermöglichen. Auf der Grundlage der Emissionsmessungen, der Brenn-



stoffanalysen sowie der Analysen der ausgeschleusten Verbrennungsrückstände wurden Auswertungen in Hinblick auf gutstrombezogene Frachten getätigt und für ausgewählte Fälle Stoffbilanzen ausgearbeitet. Derartige Bilanzen waren auch als Auflage für den abfallrechtlichen Versuchsbetrieb von der Behörde gefordert. Darüber hinaus wurde auch für Wasser eine Stoffbilanz erstellt. Die über die Verbrennungsluft eingebrachten Stofffrachten wurden ausschliesslich bei den Bilanzen für Wasser und Kohlenstoff berücksichtigt.

Für derartige Stoffbilanzen mußten neben den Stoffkonzentrationen in den einzelnen Gutströmen auch die Massenströme der verschiedenen In- und Outputströme ermittelt werden. Die dazu angewandte Probenahme, die Analytik sowie die Massenstromermittlung wurde bereits in den Kapiteln 5.2 und 5.3 genauer erläutert.

5.5.1 Systemgrenzen

An dieser Stelle sollen die den Stoffbilanzen zugrundeliegenden zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen definiert werden.

Die Versuche wurden für eine Dauer von acht Stunden mit entsprechender Vorlaufzeit (vgl. Kapitel 5.2) durchgeführt. Bei den Bilanzbetrachtungen wurden stündliche Frachten der einzelnen Elemente in die und aus der Anlage gegenübergestellt. Örtlich wurden die Systemgrenzen wie in Abbildung 5.11 gezeigt, festgelegt. In derselben Abbildung sind auch die zu beprobenden In- und Outputströme angeführt. Für die ebenfalls dargestellten Gutströme Starkgas und Verbrennungsluft erfolgte keine Beprobung bzw. Analyse. Der Gutstrom Starkgas wurde aufgrund seiner untergeordneten Bedeutung bei den Bilanzen generell vernachlässigt, die Verbrennungsluft wurde, wie bereits erwähnt, bei den Bilanzen für Wasser und Kohlenstoff berücksichtigt.

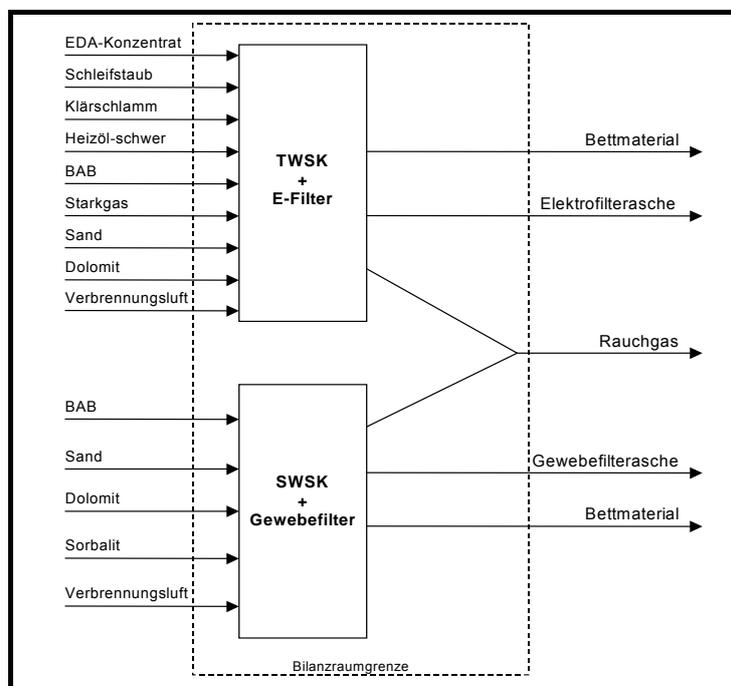


Abbildung 5.11: Bilanzraum für die Stoffbilanzen

5.5.2 Konventionen für die Erstellung

Mit Hilfe der Elementkonzentrationen wurden durch Multiplikation mit den jeweiligen Massenströmen Elementfrachten ermittelt. Mit Analysewerten unter der Nachweisgrenze wurde dabei so vorgegangen, daß konventionsgemäß jeweils die halbe Nachweisgrenze als Berechnungswert in die Bilanzierung einging.

Verbrennungsversuche mit gleichartigen AWG-Brennstoffen wurden für die Bilanzen zu Clustern zusammengefaßt (vgl. Kapitel 5.2.1). Zusätzlich erfolgte eine Reduzierung der Gutströme auf die wesentlichen Inputströme Betriebsmittel, Primärbrennstoff, Standardbrennstoff und AWG-Brennstoff sowie die Outputströme Rauchgas, Filteraschen und Bettaschen. Die Bilanzen wurden für die Elemente Chlor, Blei, Zink und Kohlenstoff bzw. den Stoff Wasser als Sankey-Diagramm dargestellt. Gutströme, wo der Massestrom während der Versuche Null war, sind in den aus den Frachten erstellten Sankey-Diagrammen nicht enthalten.

5.5.3 Ergebnisse: allgemein – gutstrombezogene Frachten

In Abbildung 5.12 ist das Verhältnis zwischen Input und Output der Elemente bei den einzelnen Verbrennungsversuchen dargestellt.

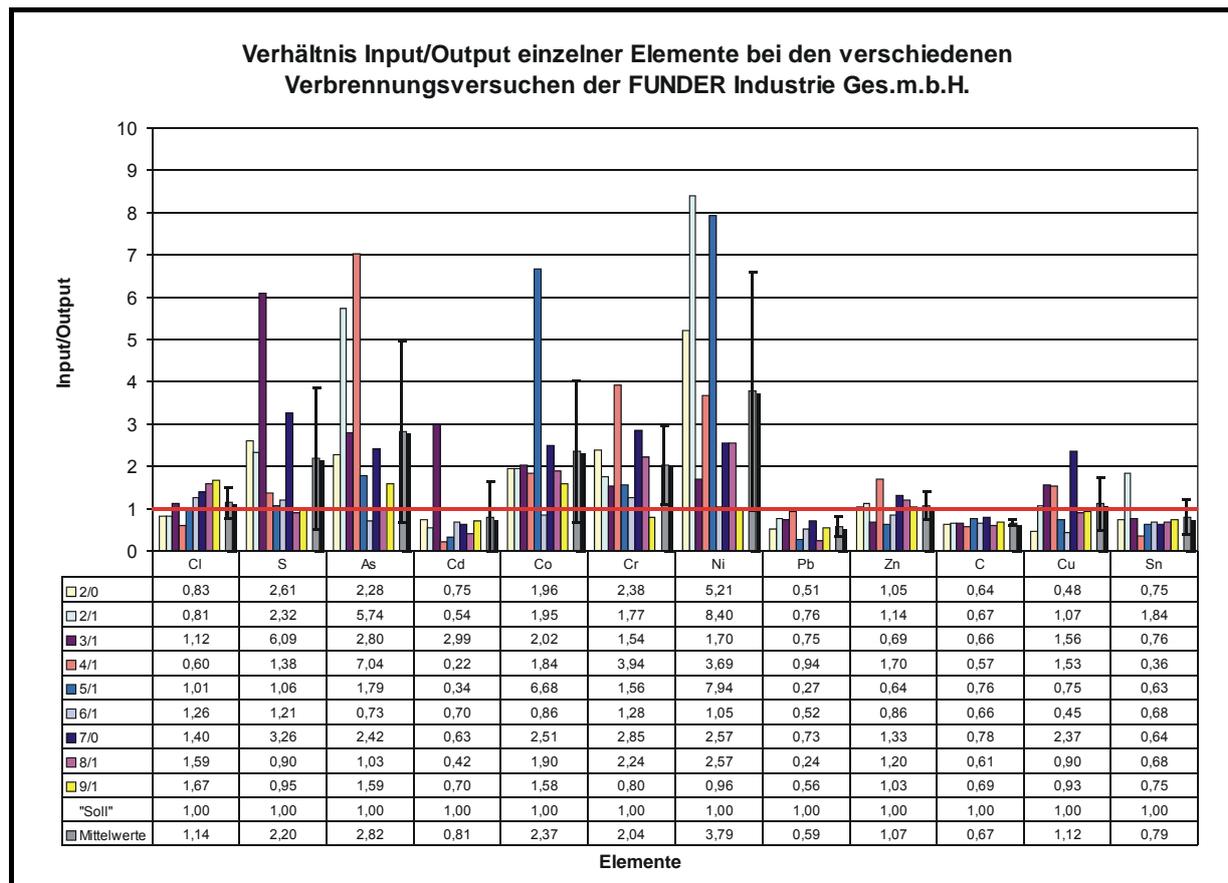


Abbildung 5.12: Input/Output-Verhältnis der Frachten einzelner Elemente bei den Verbrennungsversuchen

Bei den Elementen Quecksilber und Fluor wurde auf diese Darstellung verzichtet. Der Großteil der Quecksilberanalysenwerte lag unter der Nachweisgrenze und eine fundierte



Bilanzierung dieses Elements ist daher nicht möglich. Fluor stellt in den Outputströmen - analytisch gesehen - ein Problem dar, da es überwiegend in Form von Kalziumfluorid (CaF_2) und in Konzentrationen, die der RFA-Analytik nicht mehr zugänglich sind, vorliegt. Es war nicht möglich, in dieser Bindungsform vorliegendes Fluor mit der angewandten Analytik quantitativ nachzuweisen. Aus diesem Grund gibt für dieses Element sehr große Abweichungen zwischen den Input- und den Outputfrachten. Aus emissionsrechtlicher Sicht stellt Fluor jedoch kein Problem dar, die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte wurden in jedem Fall eingehalten (vgl. Kapitel 5.4).

Nachfolgend wird in kurzen Worten elementbezogen auf die Darstellung in Abbildung 5.12 sowie auf vergleichsweise starke Abweichungen zwischen Input- und Outputfrachten eingegangen.

Die Elemente Chlor, Zink und Kupfer ließen sich relativ ausgeglichen bilanzieren. Bei Blei, Zinn, Cadmium und Kohlenstoff wurde tendenziell im Output eine größere Elementfracht als im Input nachgewiesen. Beim Versuch 3/1 wurde im Input weniger Cadmium festgestellt als im Output. Das geringe Verhältnis von 0,22 beim Versuch 4/1 liegt vor allem im geringen Cd-Gehalt im BA-Brennstoff begründet, aber auch in den anderen Inputströmen dieses Versuches ist der Cd-Gehalt relativ niedrig. Beim Versuch 3/1 (AWG-Brennstoff: Rückstände aus der Altpapierverarbeitung) wurde im Output weniger Cadmium als im Input festgestellt. Das Verhältnis Input/Output beträgt bei diesem Versuch 2,99. Die allgemein zu hohe Outputfracht des Elements Kohlenstoff dürfte insbesondere aufgrund des hohen Anteils der Outputfracht im Gutstrom Rauchgas auf Fehler im Bereich der Volumsstromerfassung des Rauchgases zurückzuführen sein.

Im Output wurde bei allen Versuchen mit Ausnahme der Verbrennungsversuche 8/1 und 9/1 weniger Schwefel nachgewiesen als im Input. Das Verhältnis Input zu Output liegt zwischen 0,9 und 6,09. Deutliche Unterschiede zwischen den Versuchen sind bei den Schwefelfrachten v.a. beim BA-Brennstoff, im Rauchgas und in den Filteraschen festzustellen. Im BA-Brennstoff bewegt sich der Schwefelgehalt nahe an der Nachweisgrenze, kleine absolute Änderungen der Konzentrationen führen dadurch zu großen relativen Änderungen in den Frachten. Beim Einsatz von Heizöl_{schwer} erfolgt ein wesentlicher Input des Schwefels über diesen Gutstrom.

Bei Arsen wurde mit Ausnahme des 6. Einsatzversuchs im Output weniger wiedergefunden, als laut den Auswertungen durch den Input in die Anlage eingeschleust wurde. Der Gesamtinput ist beim Verbrennungsversuch 2/1 (AWG-Brennstoff: Eisenbahnschwellen) sehr hoch. Die Ursache dafür liegt ausschließlich am BA-Brennstoff, wo die As-Konzentration beim Versuch 2/1 rund dreimal höher als im Durchschnitt der restlichen Versuche liegt. Der Output des Versuches 2/1 hebt sich allerdings nicht von den anderen Versuchen ab. Daher rührt das extreme Verhältnis Input/Output von 5,74. Das extremste Input/Output-Verhältnis hat aber Versuch 4/1, was auf einen massiven Rückgang der As-Konzentration des Outputs gegenüber den anderen Versuchen in allen Fraktionen, am stärksten aber in der Elektrofilterasche, zurückzuführen ist.

Die Input- und Output-Frachten von Kobalt weisen über alle Versuche relativ gleichmäßige Werte auf, wobei die Input-Frachten mit Ausnahme des 6. Versuchs größer sind als die im Output nachgewiesenen Frachten. Das Input/Output-Verhältnis liegt zwischen 0,86 und 6,68.



Bei der Bilanzierung von Chrom und Nickel muß mit systematischen Fehlern gerechnet werden, da es bei der Probenahme des BA-Brennstoffs mit dem Doppelwellenzerkleinerer sowie der nachfolgenden Probenaufbereitung der Brennstoffströme zu einer Verschleppung dieser Elemente aus dem Edelstahl der Zerkleinerungswerkzeuge (Chrom-Nickelstahl) in die Probe kommen kann. Auch die Tatsache, daß tendenziell ein höherer Inputstrom festgestellt wurde, weist darauf hin.

Auf das Problem der Fluoranalytik sowie die Probleme bei der entsprechenden Bilanzierung wurde ebenso wie auf die geringe Aussagekraft der Quecksilberbilanzen infolge von Meßwerten unter der Nachweisgrenze bereits hingewiesen.

Um die Relevanz unterschiedlicher Gutströme für die Einschleusung bzw. Ausschleusung einzelner Stoffe in die bzw. aus der Feuerungsanlage beurteilen zu können, wurden alle Versuche gemeinsam ausgewertet um eine Aussage über gutstrombezogene Inputs bzw. Outputs zu erhalten. Es handelt sich bei den Darstellungen in Abbildung 5.13 und 5.14 um Mittelwerte aus allen Versuchen.

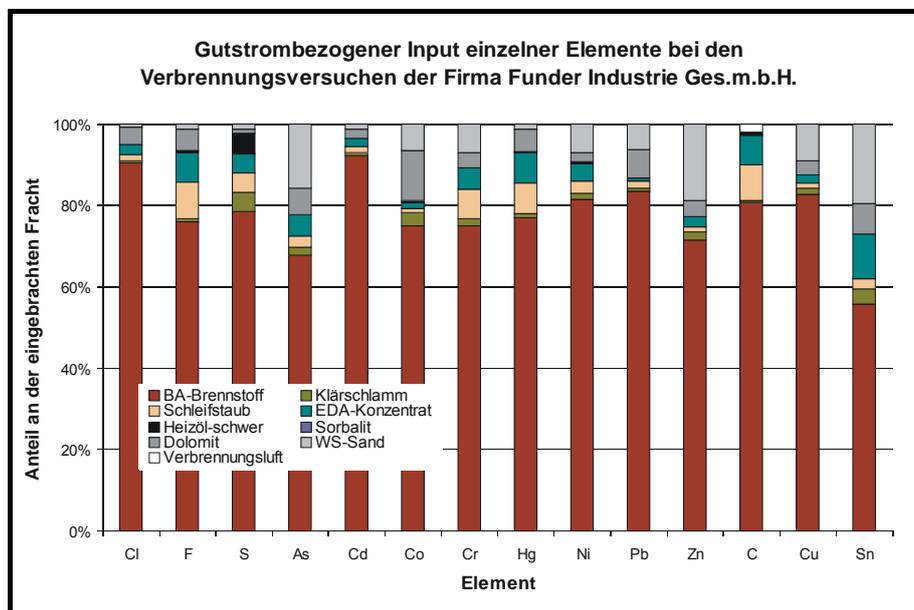


Abbildung 5.13: Gutstrombezogener Input der einzelnen Elemente

Erwartungsgemäß wird infolge des großen Massenstroms der größte Frachtanteil der Elemente (ca. 60 bis > 80 M.-%) in der Regel durch den Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung in die beiden Wirbelschichtanlagen eingetragen (vgl. Abbildung 5.13). Aufgrund des größeren Massenstromes in den TWSK ist dort der Eintrag größer, wodurch auch der Anteil am Austrag der Elemente beim Elektrofilter größer ist als beim Gewebefilter (vgl. Abbildung 5.14). Schwefel wird zu ca. 5 M.-% durch Klärschlamm in den Prozeß eingebracht. Bei der Verwendung von Heizöl_{schwer} werden abhängig von der verwendeten Menge u.U. deutlich mehr als 10 M.-% über diesen Gutstrom in den Prozeß eingebracht. Bei den Schwermetallen Arsen, Kobalt, Zink und Zinn werden ca. 20 - 25 M.-% der Elementfracht über die Betriebsmittel in den Prozeß eingebracht. Der Schleifstaub trägt zu ca. 5 – 7 M.-% der Elementfrachten von Fluor, Chrom und Quecksilber bei. Auch der interne Reststoff EDA-Konzentrat trägt bei einigen Elementen einen nicht zu vernachlässigenden Anteil der Stofffracht bei (vgl. Abbildung 5.13).



Der Austrag durch das Bettmaterial spielt infolge der geringen Massenströme generell eine untergeordnete Rolle. Über das Rauchgas wird naturgemäß der größte Anteil des Kohlenstoffs aus dem Prozeß ausgetragen. Auch ein Großteil des Quecksilbers wird über diesen Gutstrom aus dem Prozeß ausgeschleust. Darüber hinaus werden nur noch die Elemente Chlor und Schwefel in einer Größenordnung von 5 - 10 M.-% über das Rauchgas ausgebracht (vgl. Abbildung 5.14).

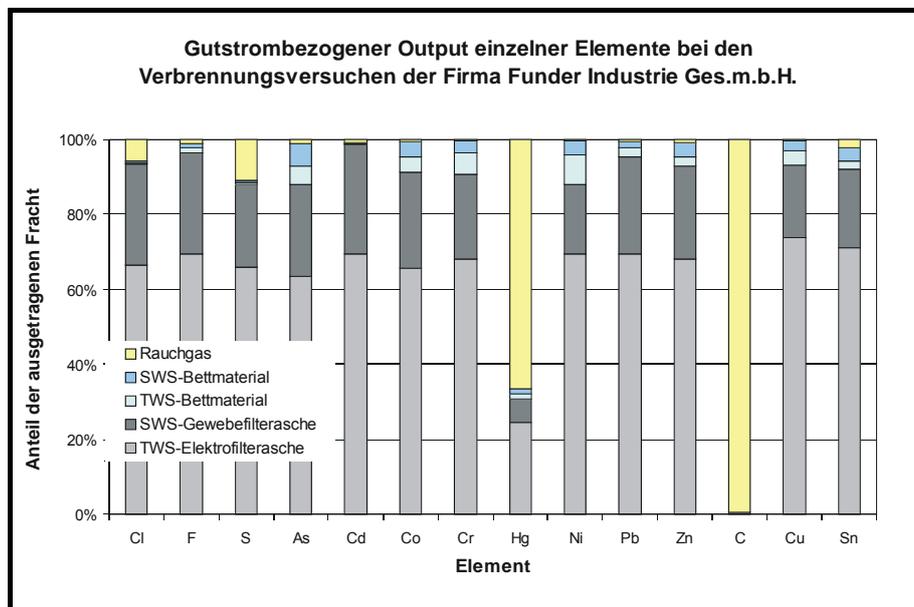


Abbildung 5.14: Gutstrombezogener Output der einzelnen Elemente

5.5.4 Stoffbilanzierungen für Brennstoffcluster mit verdichteten Daten

Die einzelnen Versuche wurden, basierend auf den eingesetzten (Abfall-)Brennstoff, wie in Kapitel 5.2.1 erläutert, zu Clustern zusammengefaßt. Für jeden Cluster wurden über die Feuerungsanlage Bilanzen für Wasser sowie die Elemente Kohlenstoff, Chlor, Blei und Zink erstellt. Die Anzahl der Ströme wurde durch Addition auf die für das Unternehmen relevanten Inputströme Standardbrennstoff, AWG-Brennstoff, Primärbrennstoff und Betriebsmittel und die Outputströme auf Rauchgas, Bettmaterial (< 4 mm) und Filterasche reduziert. Für die Kohlenstoff-Bilanz sowie die Wasserbilanz mußten zusätzlich noch der durch die Verbrennungsluft in Form von CO₂ in den Prozeß eingebrachte Kohlenstoff bzw. die ebenfalls über die Verbrennungsluft bzw. das Ammoniakwasser (SNCR) eingebrachte Feuchte berücksichtigt werden.

Die Abbildungen 5.15 in Kapitel 5.5.4.1 bzw. 5.16 in Kapitel 5.5.4.3 zeigen stellvertretend für die im Anhang angeführten Sankey-Diagramme die Bilanzen für Wasser (Cluster A: Referenzversuch) bzw. das Element Chlor (Cluster B: Nullversuche). Die angegebenen anteiligen Massenströme beziehen sich jeweils auf die Gesamtinputfracht.

5.5.4.1 Wasser-Bilanz

Für alle Cluster wurden Bilanzen für Wasser erstellt. Dafür werden die durch die Brennstoffe, die Verbrennungsluft und das NH₃-Wasser (NO_x-Minderung) eingebrachten sowie die durch



das Rauchgas ausgetragenen Wasser-Frachten betrachtet. Betriebsmittel und Outputfestströme haben einen Wassergehalt von nahezu 0 M.-% und gehen daher nicht in die Bilanzen ein.

Das Verhältnis von Input zu Output liegt für Wasser zwischen 0,78 und 1,08. Die Cluster A und D zeigen mit einem Input/Output-Verhältnis von 0,98 bzw. 0,99 sehr ausgeglichene Wasser-Bilanzen (vgl. Tabelle 5.24).

Tabelle 5.24: Wasser: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)

Cluster	A	B	C	D	E	F
Input						
Brennstoff	93,42	94,20	90,72	91,23	83,24	94,32
Verbrennungsluft	5,55	4,87	7,97	7,59	15,33	4,64
NH ₃ -Wasser	1,04	0,93	1,32	1,18	1,43	1,04
Summe Input	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Output						
Rauchgas	101,80	92,49	113,28	101,00	128,80	114,89
Summe Output	127,70	92,49	113,28	101,00	128,80	114,89
Input/Output	0,98	1,08	0,88	0,99	0,78	0,87

Die Abbildung 5.15 zeigt exemplarisch die Wasser-Bilanz für den Cluster A.

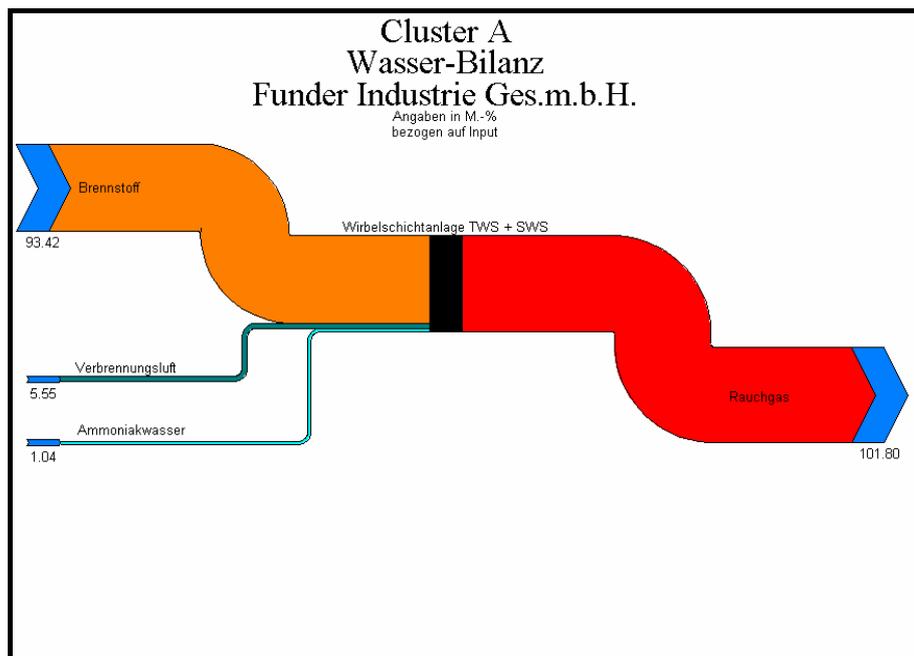


Abbildung 5.15: Stoffbilanz für Wasser, Cluster A (Gesamtinputfracht: 10,6 t/h)

5.5.4.2 Kohlenstoff

Die Input/Output-Verhältnisse für Kohlenstoff liegen im Bereich von 0,57 bis 0,78. Bei allen Clustern wurde mit dem Rauchgas um 27 bis 77 M.-% mehr durch den Kamin in die Atmosphäre geleitet als in den gesamten Inputströmen nachgewiesen wurde. Diese Abweichung dürfte in erster Linie auf Unsicherheiten in Hinblick auf die Bestimmung der Massen- und Volumsströme zurückzuführen sein (vgl. Tabelle 5.25).

Tabelle 5.25: Kohlenstoff: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)

Cluster		A	B	C	D	E	F
Input	Standardbrennstoff	64,94	93,49	30,99	62,98	45,83	56,20
	AWG-Brennstoff	33,32	0,63	67,01	34,73	51,71	41,64
	Primärbrennstoff	0,00	4,11	0,11	0,37	0,00	0,00
	Betriebsmittel	0,01	0,03	0,04	0,08	0,07	0,12
	Verbrennungsluft	1,73	1,75	1,86	1,83	2,39	2,04
	Summe Input	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Output	Rauchgas	127,08	132,67	144,41	141,31	176,22	151,34
	Bettmaterial	0,61	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00
	Filterasche	0,01	0,85	0,81	1,14	0,57	0,95
	Summe Output	127,70	133,56	145,24	142,47	176,79	152,28
Input/Output		0,78	0,75	0,69	0,70	0,57	0,66

5.5.4.3 Chlor

Bis auf den Cluster E (AWG-Brennstoff: Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung) weisen alle Cluster im Output verglichen mit dem Input niedrigere Chlor-Frachten auf. Beim Cluster E wird speziell mit der Filterasche mehr Chlor ausgeschleust als im Input nachgewiesen wurde (vgl. Tabelle 5.26).

Tabelle 5.26: Chlor: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)

Cluster		A	B	C	D	E	F
Input	Standardbrennstoff	37,53	89,13	12,49	16,45	18,46	31,97
	AWG-Brennstoff	60,66	1,15	80,01	78,46	70,59	66,55
	Primärbrennstoff	0,00	0,51	0,01	0,01	0,00	0,00
	Betriebsmittel	1,81	9,20	7,50	5,08	10,95	1,48
	Summe Input	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Output	Rauchgas	5,11	3,06	3,30	5,33	11,79	3,69
	Bettmaterial	0,12	3,03	1,24	0,48	0,61	0,16
	Filterasche	66,24	77,84	82,65	71,20	156,66	75,57
	Summe Output	71,47	83,94	87,20	55,06	169,06	79,42
Input/Output		1,40	1,19	1,15	1,30	0,59	1,26

Der überwiegende Teil an Chlor wird dem Verbrennungsprozeß durch die AWG-Brennstoffe zugeführt. Eine Ausnahme stellt hier der Cluster B mit den unbelasteten Holzabfällen dar (vgl. Tabelle 5.26 bzw. Abbildung 5.15). Es hat sich im Laufe der Verbrennungsversuche klar gezeigt, daß Chlor infolge seiner Emissionsrelevanz (HCl und PCDD/F) ein kritisches Element ist und entweder die Inputfracht zu begrenzen oder entsprechende Additive zuzudosieren sind.

Abbildung 5.16 zeigt exemplarisch das Sankey-Diagramm für das Element Chlor für das Cluster B (Nullversuche).

Mit Ausnahme der Cluster A und E konnte Chlor in Anbetracht des großtechnischen Prozesses sehr ausgeglichen bilanziert werden.

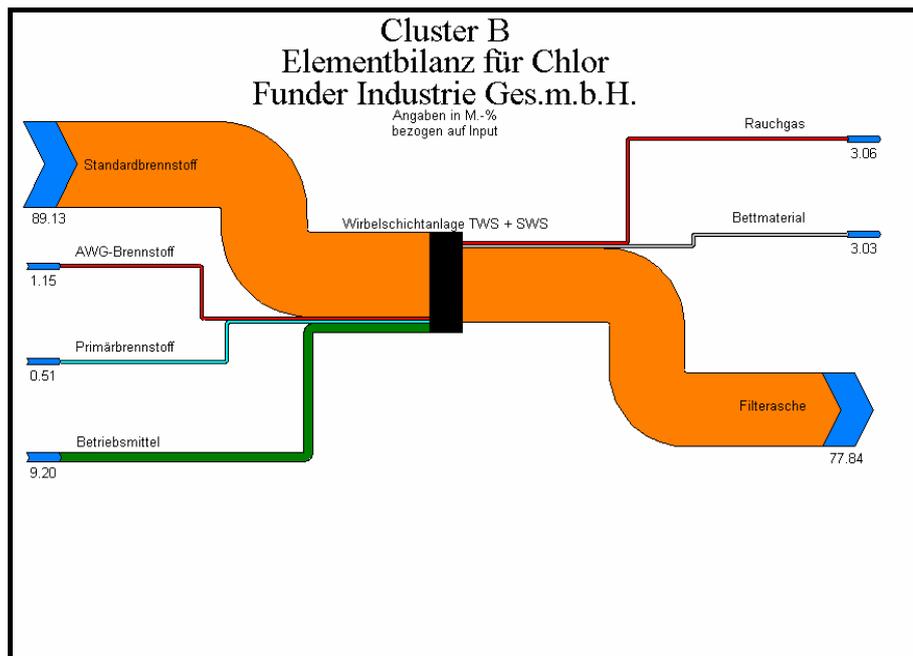


Abbildung 5.16: Elementbilanz für Chlor, Cluster B (Gesamtinputfracht: 4,2 kg/h)

5.5.4.4 Blei

Die Cluster A, C, D, E und F weisen im Output größere Frachten an Blei auf. Ihr Verhältnis Input/Output liegt zwischen 0,52 und 0,92. Während bei allen anderen Clustern in der Filterasche bedeutend mehr Blei nachgewiesen als überhaupt in den Prozeß eingebracht wird, sind in der Filterasche des Clusters B mit einem Input/Output-Verhältnis von 2,13 nur 46,86 M.-% des eingeschleusten Bleis aufzufinden.

Tabelle 5.27: Blei: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)

Cluster		A	B	C	D	E	F
Input	Standardbrennstoff	63,64	88,54	17,55	39,37	29,24	43,82
	AWG-Brennstoff	25,05	0,53	68,65	46,76	35,12	50,45
	Primärbrennstoff	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
	Betriebsmittel	11,32	10,90	13,80	13,87	35,64	5,73
	Summe Input	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Output	Rauchgas	0,69	0,21	0,79	0,36	4,67	0,35
	Bettmaterial	1,42	6,32	7,87	3,83	3,86	2,97
	Filterasche	135,63	40,33	156,15	186,17	99,71	190,79
	Summe Output	137,75	46,86	164,82	190,35	108,23	194,10
Input/Output	0,73	2,13	0,61	0,53	0,92	0,52	

Tabelle 5.27 zeigt, daß eine beachtliche Blei-Fracht, nämlich 5,7 bis 35,6 M.-%, mit den Betriebsmitteln Dolomit und Sand in die Wirbelschichtprozesse eingebracht wird. Die Blei-Fracht der AWG-Brennstoffe ist beim Cluster A gering. Es wurde in diesem Fall ein Jahresdurchschnittsbrennstoff verfeuert, der anteilmäßig die (Abfall-)Brennstoffe Bahnschwellen (3,1 M.-%), Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (7,8 M.-%) und belastetes Altholz (12,5 M.-%) enthielt. Da der Hauptanteil des Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung in diesem Fall aus unbelasteten Holzabfällen bestand, war der Pb-Eintrag über die AWG-

Brennstoffe vergleichsweise gering. Die Blei-Fracht im AWG-Brennstoff wurde in diesem Fall durch den Klärschlamm eingebracht. Während für den Cluster C (AWG-Brennstoff: belastete Holzabfälle) der Blei-Input durch den AWG-Brennstoff mehr als dreimal so hoch wie der durch die Standardbrennstoffe war, halten sich bei den Clustern D (AWG-Brennstoff: Rückstände aus der Altpapierverarbeitung), E (AWG-Brennstoff: Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung) und F (AWG-Brennstoff: Abfälle aus der Wasseraufbereitung) AWG- und Standardbrennstoffe bezüglich Blei-Input ziemlich die Waage.

5.5.4.5 Zink

Bei den Clustern A, B, und E wurde im Output weniger Zink nachgewiesen als im Input (Input/Output-Verhältnis = 1,31-1,60). Die Bilanz für den Cluster C ist mit einem Input/Output-Verhältnis von 0,97 sehr ausgeglichen.

Tabelle 5.28: Zink: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)

Cluster		A	B	C	D	E	F
Input	Standardbrennstoff	50,56	69,22	16,33	30,49	30,16	37,16
	AWG-Brennstoff	30,65	3,77	67,95	41,66	32,10	40,50
	Primärbrennstoff	0,00	0,78	0,01	0,05	0,00	0,00
	Betriebsmittel	18,79	26,23	15,71	27,79	37,74	22,34
	Summe Input	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Output	Rauchgas	0,30	0,36	0,44	1,11	5,94	0,23
	Bettmaterial	2,47	15,88	6,84	4,99	3,12	5,39
	Filterasche	72,43	59,52	95,42	119,96	53,45	110,49
	Summe Output	75,19	76,06	102,70	126,05	62,52	116,11
Input/Output		1,33	1,31	0,97	0,79	1,60	0,86

Bei den Clustern D und F weist die Filterasche eine um ca. 20 und 10,5 M.-% höhere Zink-Fracht als die Inputströme auf, somit beträgt das Verhältnis von Input/Output 0,79 bzw. 0,86. Die Betrachtung der Inputströme zeigt für alle Cluster hohe Zink-Frachten der Betriebsmittel (15,7-37,7 M.-% der Gesamtinputfracht) (vgl. Tabelle 5.28).

5.5.5 Kritische Betrachtung der Bilanzierungen sowie Unsicherheitsfaktoren

Die Differenz zwischen Input und Output bzw. die Abweichung des aus den jeweiligen Frachten gebildeten Quotienten vom Sollwert "1" kann verschiedene Ursachen haben. Eine mögliche Fehlerquelle dafür ist die u.U. nicht repräsentative Probenahme der Feststoffe. Auch die Ermittlung der Massenströme sowie die Nichtberücksichtigung von Gutströmen kann zur Ungenauigkeit der Bilanzergebnisse beitragen. Nachfolgend sollen diese Aspekte diskutiert werden.

Der Gesamtfehler bzw. die Abweichungen der Inputfrachten von den Outputfrachten setzt sich aus der Summe der Einzelfehler zusammen.

Probenahme und Analytik

Eine repräsentative Probenahme war vor allem beim BA-Brennstoff schwierig, da dieser ein sehr heterogenes Material darstellte. Um die Analysen besser abzusichern, wurde ab dem 2. Versuchsblock im massenmäßig wichtigsten Gutstrom BA-Brennstoff eine Fünffachbestimmung durchgeführt. Dadurch war es möglich, Ausreißer zu erkennen, wie das z.B. bei Cadmium beim Versuch 3/1 der Fall war, bzw. diesen Strom durch eine Mittelwertbildung der fünf Analysenwerte statistisch abzusichern. Wie die statistischen Auswertungen der Analysenergebnisse zeigten, dürfte der zufällige Fehler, der bei der Mehrfach-Probenahme auftrat, eher gering sein (vgl. Kapitel 5.2.2).

Es muß davon ausgegangen werden, daß es bei der Beprobung mit dem Doppelwellenzerkleinerer (DWZ) bzw. der Aufbereitung der Brennstoffproben im Labor infolge der Legierungsstähle der Zerkleinerungswerkzeuge (DWZ: 5 M.-% Chrom [112]; Laborsieb: 18 M.-% Chrom bzw. 2,5 M.-% Nickel [113]) zu einer Kontamination der Proben durch Abrieb gekommen ist, wodurch sich ein systematischer Fehler ergab.

Auch die Filteraschen fielen nicht so homogen an, wie man erwarten würde. Durch Erhöhung der Beurteilungsmenge sowie Einbauten in den Probenahmefässern verbunden mit einem Mischvorgang vor der eigentlichen Beprobung sowie einem weiteren Homogenisierungsvorgang durch die Aufmahlung der Proben im Labor konnte diese Fehlerquelle best möglich beseitigt werden.

Aus den erwähnten Gründen wurde das Beprobungskonzept, wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben, ständig optimiert. Auch durch Mehrfachanalysen unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Machbarkeit und durch kritisches Hinterfragen der Einzelanalysenwerte wurde versucht, mögliche Fehlerquellen in diesem Bereich zu minimieren.

Ein wesentliches analytisches Problem stellten die teilweise im Bereich der Bestimmungsgrenze bzw. sogar unter der Nachweisgrenze liegenden Analytgehalte dar. Aus diesem Grund konnte für das Element Quecksilber keine fundierte Bilanzierung vorgenommen werden. Auch bei Arsen und Nickel lagen die Meßwerte im unteren ppm-Bereich nahe der Bestimmungsgrenze. Kleine absolute Analysenfehler führen in diesen Fällen zu großen relativen Abweichungen bei den Bilanzierungen.

Das Problem der Fluoranalytik (Bildung von CaF_2) in den Aschen wurde bereits an anderer Stelle erwähnt.

Defizite bei der Massenerfassung

Die wesentlichen Schwierigkeiten im Bereich der Erfassung der Masseströme wurden bereits in Kapitel 5.2.3 diskutiert. Es soll an dieser Stelle nur zusammenfassend auf die Defizite sowie mögliche Unschärfen für die Bilanzierungen eingegangen werden.

Wie Tabelle 5.6 bzw. Abbildung 5.8 zu entnehmen ist, handelt es sich bei dem Gutstrom Brennstoff aus der Brennstoffaufbereitung um den massenmäßig wichtigsten Inputstrom. Darüber hinaus enthält dieser auch die sogenannten AWG-Brennstoffe, die Hauptbestandteil der vorliegenden Untersuchungen waren. Um die Unsicherheiten im Bereich der Analysen-



ergebnisse abzufangen bzw. zu minimieren, wurde mehrfach beprobt. Die Unsicherheiten im Massestrom können nur durch eine möglichst genaue gravimetrische Erfassung der BA-Brennstoffmenge klein gehalten werden. Aus diesem Grund wurde vor dem Versuch 8/1 im Bereich der Brennstoffzufuhr zum SWSK - wie beim TWSK schon davor vorhanden - ebenfalls eine Bandwaage installiert. Zuvor wurde der Massestrom über die Kesselleistung, den Kesselwirkungsgrad und den Heizwert des Brennstoffs berechnet.

Die überwiegende Elementfracht aus dem Prozeß (Output-Fracht) erfolgt über die Filterascheströme. Vergleichbar dem weiter oben beschriebenen Fall wirkt sich dementsprechend ein Fehler bei der Bestimmung des Massestroms bzw. der Analysenwerte sehr stark auf das Ergebnis der Bilanzen aus. Die Unsicherheit der Analytik wurde analog dem Brennstoffinput durch Mehrfachbeprobung verringert. Bei der Ermittlung des Massestroms wurde ab dem Versuch 5/1 von der vorher angewandten rechnerischen Ermittlung der Masseströme abgegangen und es erfolgte eine gravimetrische Bestimmung der Aschemengen (unter Berücksichtigung der durch die Probenahme ausgeschleusten Aschemengen).

Auch der tatsächlich für die Bilanzierung heranzuziehende Massestrom des Bettmaterials war zunächst unklar. Dieser Punkt wird unter dem Aspekt „Trägheit der Anlage“ weiter unten diskutiert. Um den möglichen Einfluß der Grobfraktion des Bettmaterials auf die Massen- bzw. Stoffbilanzen quantifizieren zu können wurde ab dem Versuch 5/1 der entsprechende Massestrom erfaßt. Die infolge der Legierungselemente relevante Fraktion der Fe-Metalle betrug im Durchschnitt ca. 0,5 M.-% des gesamten Outputstromes. Da wie bereits erwähnt entsprechende Elementfrachten von Störstoffen (Metallen, Glas, Keramik, ...) auch im Input nicht erfaßt wurden, ist insofern von keiner Verfälschung der Stoffbilanzen durch die Ausschleusung dieser Fraktion des Gutstromes auszugehen. Möglicherweise erfolgte jedoch eine nicht quantifizierbare Ausschleusung von Elementmasseströmen durch ausgeschleuste Anbackungen.

Trägheit der Anlage

Da die Zugabe von neuen Wirbelschichtsand bzw. Bettmaterial azyklisch erfolgte und die überwiegende Menge des den Wirbelschichten zugeführten Bettmaterials rückgeführtes Material war, jedoch nur dieses beprobt und analysiert und die entsprechenden Ergebnisse für die Berechnung der Bilanzen herangezogen wurde, ist davon auszugehen, daß aufgrund der unterschiedlichen Elementgehalte (vgl. Tabelle 5.29) diese so bestimmten Elementmassenströme nicht den wahren entsprechen. Eine darin begründete Verfälschung der Bilanzen dürfte allerdings eher gering sein, da der Gutstrom Bettmaterial < 4 mm massenmäßig sehr untergeordnet ist.

Nach Angaben von Lorber [111] beträgt die Masse des Bettmaterials einer Wirbelschichtanlage mit ähnlicher Dampfleistung und ähnlichem Durchsatz wie den Anlagen der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. ca. 30 Mg. Nach Informationen von Mitarbeitern der Funder Industrie Ges.m.b.H. beträgt die Bettmaterialmasse beim TWSK und SWSK zwischen 20 und 25 Mg.

Die Menge des ausgeschleusten Bettmaterials betrug bei den Verbrennungsversuchen nach Schätzungen 59 kg/h, beim Versuch 4/1 laut Ermittlung über die Anzahl der Sendungen in



den Aschesilo gar nur 14 kg/h. Beim Versuch 4/1 sowie den nachfolgenden Versuchen wurden jeweils Monatsmittelwerte für die Bilanzierung herangezogen. Es stellte sich dabei heraus, daß die ausgeschleusten Mengen in den meisten Fällen Null, jedenfalls aber sehr niedrig waren.

Tabelle 5.29: Schadstoffgesamtgehalte des Wirbelschichtsand/Bettmaterials, Angaben in mg/kg TS

Parameter	Wirbelschichtsand	
	rückgeführt	neu angeliefert
Cl	453	172
F	91,4	32,3
S	299	47,4
As	11,1	3,17
Cd	0,44	0,12
Co	4,7	1,06
Cr _(ges.)	129	74,4
Hg	<0,5	0,97
Ni	62,2	190
Pb	140	25,9
Zn	1.967	53,2

In jedem Fall kann infolge der großen Menge an Bettmaterial und dem geringen durchschnittlichen Sandverlust (vgl. Kapitel 5.2.3.2) davon ausgegangen werden, daß der vollständige Austausch von Bettmaterial mehrere Tage benötigt. Das heißt, daß Anreicherungen bestimmter Schwermetalle im Bettmaterial durch die Verwendung eines bestimmten Brennstoffes durch die unmittelbare Beprobung des Bettmaterials nicht im entsprechendem Maße nachgewiesen werden können. Tabelle 5.29 zeigt klar den Unterschied der Schadstoffbelastung von rückgeführten bzw. neu angelieferten Bettmaterial. Aus diesem Grund wurde empfohlen, im Rahmen eines Dotierungsversuches die Verweildauer des Bettmaterials im Feuerraum zu überprüfen.

5.6 Korrelationen zwischen Input-, Outputgrößen sowie Betriebsparametern der Verbrennungsversuche

In diesem Kapitel soll anhand von Korrelationen zwischen den in die Anlage eingebrachten Elementfrachten und den Emissionswerten sowie anderen Betriebsdaten versucht werden, Aussagen aus den Verbrennungsversuchen abzuleiten. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß es aufgrund der geringen Anzahl an großtechnischen Verbrennungsversuchen (11 Versuche) nicht möglich ist, eine statistische Absicherung dieser Aussagen vorzunehmen.

Betrachtet man die folgende Matrix der Korrelationskoeffizienten zwischen den in den Zeilen- bzw. den Spaltenköpfen genannten Parametern, so läßt sich z. B. ein logischer Zusammenhang zwischen der Fracht an eingebrachtem Kohlenstoff sowie der Masse an Brennstoff bzw. der Brennstoffwärmeleistung (jeweils $R = 0,83$) sowie der Dampfleistung ($R = 0,78$) erkennen.

Tabelle 5.30: Matrix von Korrelationskoeffizienten ausgewählter Parameter

Matrix der Absolutwerte der Korrelationskoeffizienten		C _{Input}	C _{Input}	SM _{Input}	HCl	HF	SO ₂	CO	CO ₂	C _{org}	Staub	PCDD/F	SM _{gesamt}	M _{Brennstoff}	P _{Brennstoff}	M _{Asche}	Summe Dampf	
		g/h	g/h	g/h	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	Vol.-%	mg/Nm ³	mg/Nm ³	ng TE/Nm ³	mg/Nm ³	kg feucht/h	MJ/h	kg/h	t _p /h	
C _{Input}	g/h	1,00																
C _{Input}	g/h	0,30	1,00															
SM _{Input}	g/h	0,20	0,13	1,00														
HCl	mg/Nm ³	0,03	0,67	0,02	1,00													
HF	mg/Nm ³	0,44	0,21	0,06	0,74	1,00												
SO ₂	mg/Nm ³	0,24	0,39	0,25	0,06	0,55	1,00											
CO	mg/Nm ³	0,06	0,39	0,22	0,44	0,37	0,17	1,00										
CO ₂	Vol.-%	0,17	0,26	0,55	0,13	0,50	0,67	0,19	1,00									
C _{org}	mg/Nm ³	0,46	0,58	0,22	0,31	0,14	0,15	0,25	0,40	1,00								
Staub	mg/Nm ³	0,86	0,36	0,54	0,13	0,34	0,27	0,22	0,41	0,29	1,00							
PCDD/F	ng TE/Nm ³	0,35	0,20	0,50	0,41	0,57	0,12	0,28	0,08	0,25	0,08	1,00						
SM _{gesamt}	mg/Nm ³	0,89	0,39	0,46	0,17	0,26	0,20	0,08	0,34	0,31	0,95	0,04	1,00					
M _{Brennstoff}	kg feucht/h	0,83	0,29	0,30	0,10	0,30	0,32	0,36	0,11	0,26	0,76	0,04	0,83	1,00				
P _{Brennstoff}	MJ/h	0,83	0,48	0,08	0,13	0,17	0,03	0,22	0,06	0,73	0,60	0,30	0,63	0,53	1,00			
M _{Asche}	kg/h	0,25	0,87	0,50	0,67	0,36	0,26	0,41	0,34	0,34	0,43	0,56	0,50	0,34	0,31	1,00		
Summe Dampf	t _p /h	0,78	0,51	0,11	0,12	0,41	0,35	0,01	0,31	0,41	0,72	0,16	0,70	0,74	0,70	0,37	1,00	

Weniger klar ist der Zusammenhang eines tendenziell steigenden Staub-Emissionswertes in Verbindung mit einer fallenden Input-Fracht an Kohlenstoff (R = -0,86). Dies scheint jedoch insofern möglich, da leichte flächige aber sehr kohlenstoffreiche Brennstoffbestandteile z.B. beim Verbrennungsversuch 4/1 (AWG-Brennstoff: Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung) infolge einer Beeinträchtigung der Funktion des Elektrofilters zu einer stark erhöhten Staub-Emission geführt haben. Infolge des starken Zusammenhangs zwischen der Staub- und der Schwermetallemission führte dies zusätzlich zu einer vergleichsweise starken Erhöhung der Schwermetallemission (vgl. Abbildung 5.17).

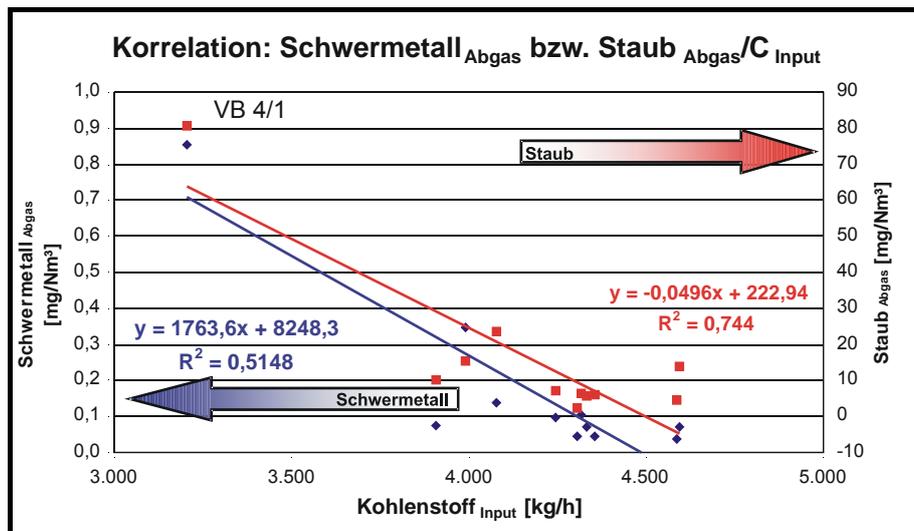


Abbildung 5.17: Korrelation: Staub- bzw. Schwermetallemission und Kohlenstoffinput

Im Gegensatz zu dem starken Zusammenhang zwischen der Staubemission und der Emission an Schwermetallen (R = 0,95), der in der überwiegend partikelgebundenen Prävalenz der Schwermetalle begründet liegt, ist kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Inputfracht an Schwermetallen sowie der Schwermetallemission herstellbar (R = 0,46).

Diese Erkenntnis weist auf die Bedeutung einer effizienten Staubabscheidung zur Vermeidung von Schwermetallemissionen in die Atmosphäre hin. Durch die Verwendung des Stationären Wirbelschichtkessels mit nachgeschaltetem Gewebefilter als Grundlastkessel sowie dem geplanten Ersatz des Elektrofilters durch einen Gewebefilter wird der Bedeutung der Staubabscheidung Rechnung getragen.



Nachfolgend soll aufgrund der emissionsschutzrechtlichen Relevanz noch auf Korrelationen der Emissionswerte von PCDD/F sowie HCl mit dem Chlor-Input eingegangen werden.

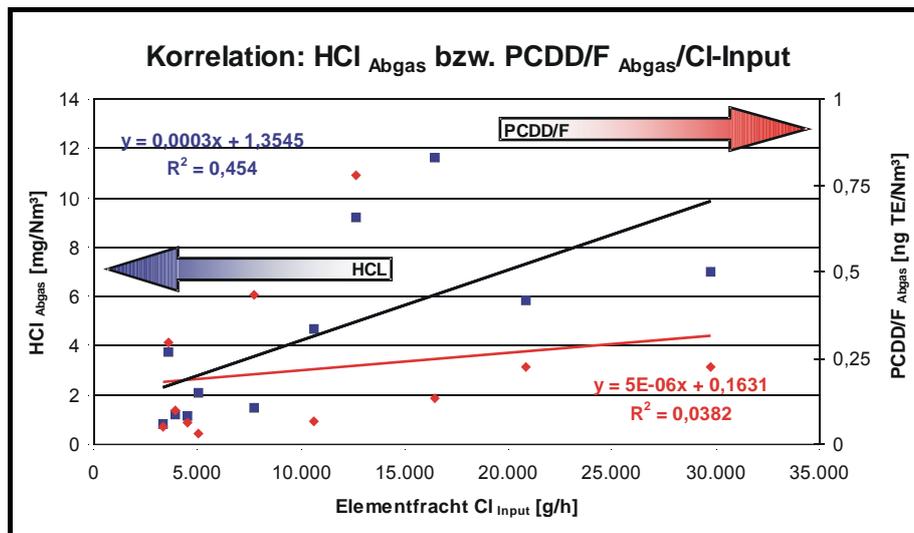


Abbildung 5.18: Korrelation: HCl- bzw. PCDD/F-Emission und Chlor-Inputfracht

Aufgrund der Korrelationskoeffizienten läßt sich bei den Emissionswerten für HCl ($R = 0,67$) nicht jedoch bei denen der Dioxine und Furane ($R = 0,20$) eine Abhängigkeit von der in die Feuerungsanlage eingebrachten Chlorfracht aufzeigen. Während die Wertepaare HCl und Chlor-Inputfracht stark streuen, sind die PCDD/F-Emissionen bei den meisten Versuchen im Bereich oder unter dem Grenzwert von $0,1 \text{ ng TE/Nm}^3$ (vgl. Kapitel 5.4). Bei den Versuchen der Cluster D, E und F ergab sich z.T. eine mehrfache (bis zu siebenfache) Überschreitung des Grenzwertes (vgl. Abbildung 5.18).

Es soll an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den hier für die Korrelationen herangezogenen Wertepaaren um die im Rahmen der Verbrennungsversuche ohne Sorbalitadditivierung erhaltenen Daten handelt.

Wie dem Kapitel 5.4 zu entnehmen ist, konnten für weitere Versuche die PCDD/F-Emissionswerte durch die Zudosierung von Sorbalit in den Rauchgaskanal des Stationären Wirbelschichtkessels deutlich gesenkt werden. Abbildung 5.19 zeigt die Auswirkung der Sorbalitadditivierung im Ausmaß von 15-20 kg/h am SWSK auf die PCDD/F-Emissionskonzentrationen des Rauchgases aus dem SWS. Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, wurde zwei Stunden vor dem Meßzeitraum eine einmalige Gabe an Sorbalit von 150 kg verabreicht. Für die Darstellung in Abbildung 5.19 wurden jeweils Versuche mit den gleichen Brennstoffen - jedoch einmal mit und ein zweites Mal ohne Sorbalitadditivierung - verwendet. Um auch zur Bedeutung der Verbrennungstemperatur Aussagen zu ermöglichen, wurden die jeweiligen PCDD/F-Werte mit der vorherrschenden Verbrennungstemperatur korreliert. Für diese Betrachtungen wurden die Meßwerte nicht auf den Bezugs- O_2 -Gehalt von 11 Vol-% bezogen. In zwei Fällen konnte trotz der Additivierung der Grenzwert von $0,1 \text{ ng TE/Nm}^3$ nicht erreicht werden (vgl. Abbildung 5.19).

Auffallend ist hier die erwartete signifikante Verminderung der PCDD/F-Konzentrationen durch den Einsatz von Sorbalit. Darüberhinaus scheint die PCDD/F-Konzentration bei Zu-



gabe von Sorbalit nicht oder nur sehr gering von der Verbrennungstemperatur abzuhängen, wohingegen ohne Sorbalitdotierung tendenziell bei höheren Feuerraumtemperaturen auch höhere PCDD/F-Konzentrationen gefunden wurden.

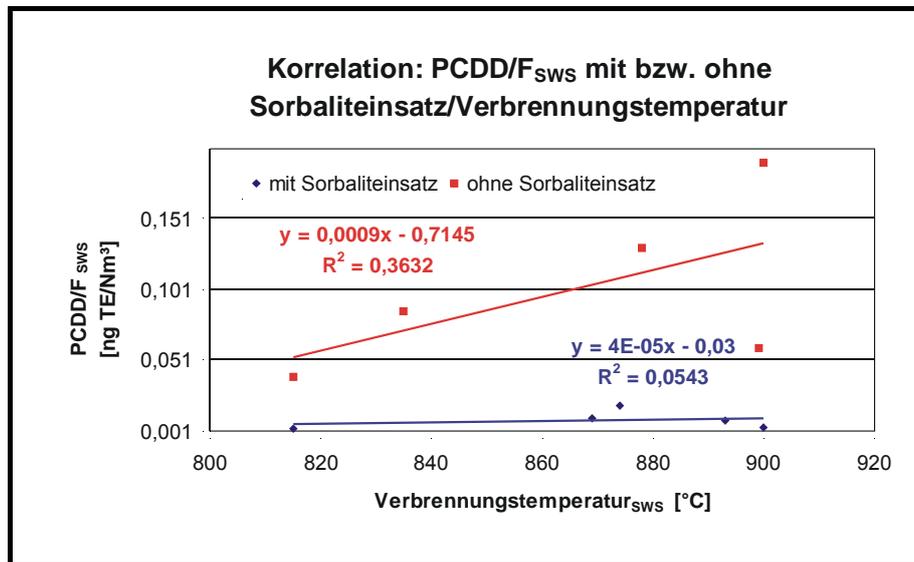


Abbildung 5.19: Korrelation: Verbrennungstemperatur und PCDD/F-Konzentrationen (mit und ohne Sorbalitadditivierung) am SWSK

Bei Korrelationen, die in der Korrelationsmatrix nicht dargestellt sind, wurde auch festgestellt, daß ein steigender Einsatz von Additiven – in diesem Fall Dolomit - tendenziell auch höhere Aschemengen verursacht ($R = 0,46$). Bei der Verwendung von ballastreichen Brennstoffen ist jedoch der Einfluß der aus dem Brennstoff stammenden Asche auf die Menge an Verbrennungsrückständen als wesentlich höher anzusetzen.

6 Schlußfolgerungen zu den Verbrennungsversuchen

Aus Sicht des Abfallerzeugers bzw. des Entsorgungsunternehmens wird jener Entsorgungsweg gewählt, welcher den rechtlichen Anforderungen entspricht und darüber hinaus die kostengünstigste Alternative darstellt. Geht man von den sich schnell ändernden Voraussetzungen (rechtliche Situation, Marktsituation) in der Entsorgungs- und Elektrizitätswirtschaft aus, so sind Aussagen über die Sinnhaftigkeit von Investitionen zur Schaffung oder Ausweitung von thermischen Behandlungskapazitäten derzeit nur eingeschränkt möglich. Aus heutiger Sicht scheint jedoch klar, daß durch die Umsetzung der Deponieverordnung thermische Behandlungsverfahren (bzw. Beseitigungsanlagen sowie Verwertungsanlagen) an Bedeutung gewinnen werden. Nach den Ergebnissen von Kapitel 4.3 reicht auch die Realisierung der gesamten, derzeit bis zum Jahr 2004 geplanten Erweiterungen der Behandlungskapazität (d. h. neue Anlagen und Erweiterungen bestehender Kapazitäten sowohl im Bereich der Mono- als auch der Mitverbrennung) nicht aus, um eine gesetzeskonforme Abfallbehandlung nach dem Jahr 2004 sicherzustellen. Vor diesem Hintergrund muß es das Ziel sein, den für die thermische Behandlung aufgrund verschiedenartiger Verfahren bzw. unterschiedlich umfangreicher Anlagenausstattung mehr oder weniger geeigneten Behandlungsanlagen auf Basis ökologischer aber auch ökonomischer Kriterien entsprechende Abfälle zuzuordnen (stoffstrombezogene Abfallbewirtschaftung).

In einem ersten Schritt soll hier eine qualitative Beurteilung der im Rahmen der Verbrennungsversuche eingesetzten AWG-Brennstoffe in Hinblick auf die bei den Verbrennungsversuchen beobachteten Auswirkungen sowie interne und externe Faktoren erfolgen. In einem weiteren Schritt sollen dann die betriebswirtschaftlichen Konsequenzen infolge der thermischen Behandlung von Abfällen für die Funder Industrie Ges.m.b.H. erarbeitet werden. Schlußendlich erfolgt aus Sicht des Verfassers eine Zuordnung der verschiedenen Abfallarten zu den im Kapitel 3.3 unterschiedenen Abfallbehandlungsverfahren vor dem Hintergrund ökologischer sowie ökonomischer Faktoren.

6.1 Abfallspezifische Aspekte

Bei einem Vergleich der Ergebnisse des Referenzversuchs (Cluster A) mit den Einsatzversuchen läßt sich erkennen, daß die Verwendung von AWG-Brennstoffen in den zum Einsatz gekommenen Masseanteilen in den meisten Fällen zu keiner signifikanten Veränderung der Emissionssituation führt. Im Bereich der Abluftemissionen kann durch Änderung der Brennstoffeinbringung (Granulierung des AWG-Brennstoffs „Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“) der erhöhte Staubemissionswert sowie durch die Verwendung entsprechender Additive der erhöhte Wert an HCl bzw. PCDD/F abgefangen werden. Bei den Verbrennungsrückständen liegen die Schadstoffgesamtgehalte der Aschen der Einsatzversuche teilweise etwas höher wie die des Referenzversuchs. Diese Erhöhungen der Schadstoffgesamtgehalte führten jedoch in keinem Fall zu einstufrungsrelevanten Veränderungen. Bei den Eluatgehalten lassen sich keine signifikanten Unterschiede bei den Verbrennungsrückständen der Einsatzversuche gegenüber dem Referenzversuch erkennen.

Vor dem Hintergrund der Substitution von Primärenergieträgern ist der Einsatz von Produktionsabfällen/-reststoffen bei im Vergleich zu Primärenergieträgern geringeren energieinhaltbezogenen Schadstoffkonzentrationen als generell sinnvoll anzusehen. Demgegenüber ist vom Einsatz von AWG-Brennstoffen mit geringem (oder sogar negativem) Energiebeitrag und vergleichsweise hohem Schadstoffgehalt (\Rightarrow kommunaler Klärschlamm aus dem RHV St. Veit/Glan) abzusehen. Unter Betonung des Arguments geringerer Gesamtschadstofffrachten sollte es auch möglich sein, die Akzeptanz der thermischen Behandlung definierter AWG-Brennstoffe in der Öffentlichkeit zu erhöhen.

Bei entsprechend hohen Schadstoffgehalten der AWG-Brennstoffe ist gegebenenfalls durch eine Änderung der Verfahrensweise bzw. eine Konfektionierung des Abfallbrennstoffs verbunden mit einer Erweiterung der Rauchgasreinigungseinrichtung eine umweltgerechte Behandlung sicherzustellen. Die thermische Behandlung und energetische Nutzung von unbelasteten (Cluster B) und belasteten Holzabfällen (Cluster C) führt in der hier zur Diskussion stehenden Anlage emissionsseitig (Rauchgas und Verbrennungsrückstände) zu keinen signifikanten Veränderungen und scheint insofern machbar und sinnvoll. Infolge der erhöhten Emissionen bei der thermischen Behandlung der Rückstände aus der Altpapierverarbeitung (Cluster D) bzw. der Notwendigkeit der Konfektionierung und des Einsatzes von Additiven ist aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten der Einsatz dieser Abfallart in der thermischen Behandlungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. gegenwärtig nicht zu befürworten. Wie sich im Rahmen der Verbrennungsversuche herausstellte, ist es trotz der vorgenommenen Änderungen der Betriebsführung sowie der Konfektionierung des Abfallbrennstoffs ohne entsprechende Adaptierungen im Bereich der Rauchgasreinigung nicht möglich, diese Abfallart in der vorliegenden Anlage umweltgerecht zu behandeln. Die Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Cluster E) beeinträchtigt in unkonfektionierter Form die Funktion des nachfolgenden Elektrofilters. Der geplante Ersatz des bestehenden Elektrofilters durch einen Gewebefilter mindert bzw. beseitigt dieses Problem. Eine Konfektionierung (Brikettierung) dieser Kunststoffabfälle erwies sich als schwierig. Inwiefern eine weitergehende Aufbereitung dieser Abfallbrennstoffe und eine nachfolgende energetische Nutzung ökologisch und ökonomisch umsetzbar ist, wäre noch zu klären. Die energetische Nutzung von Abfällen aus der Wasseraufbereitung (Cluster F) scheint vor dem Hintergrund der eingebrachten Schadstofffrachten lediglich bei getrockneten Schlämmen sinnvoll. Aus verfahrenstechnischen Überlegungen (Kühlung des Wirbelbetts) sowie aufgrund des massestromvergrößernden Effekts (Heizwerterniedrigung der Brennstoffmischung) kann der Einsatz ungetrockneten Klärschlammes betriebswirtschaftlich sinnvoll sein.

Zur Visualisierung der Auswirkungen bzw. der Konsequenzen der thermischen Behandlung verschiedener Abfallströme ist in Abbildung 6.1 ein Stärken-Schwächen-Profil dargestellt. Es werden hier die Abfälle der Cluster B bis F sowie reine Biomasse bzw. Rinde in Hinblick auf interne und externe Faktoren qualitativ bewertet.

Aus dieser Darstellung geht hervor, daß Abfälle infolge der rechtlichen Vorgaben in Zukunft voraussichtlich leichter und zu besseren Konditionen (Zuzahlungen) am Markt akquirierbar sein werden. Die Akzeptanz der thermischen Behandlung wird von der Qualitätssicherung



der Abfälle abhängen aber im Vergleich zur Verbrennung von reiner Biomasse immer noch geringer sein.

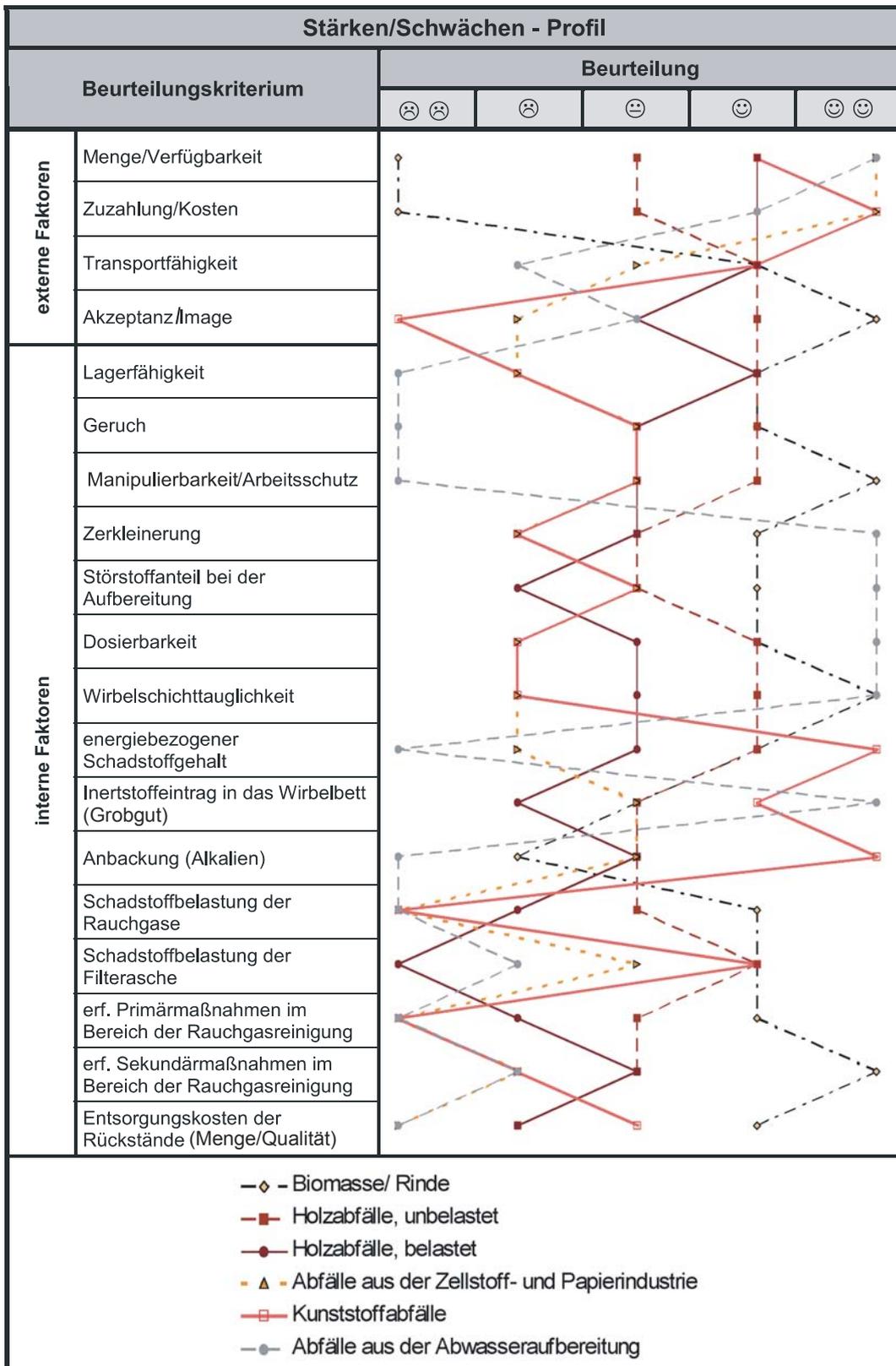


Abbildung 6.1: Stärken/Schwächen – Profil hinsichtlich der Mitverbrennung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe



Die Schwierigkeiten im Bereich der Aufbereitung sowie Dosierung von Abfallbrennstoffen sind infolge möglicher Inertstoffgehalte deutlich größer, zusätzlich schränkt dies sowie auch das Vorhandensein von leichten flächigen Brennstoffbestandteilen (z.B. Kunststoffabfälle) die Wirbelschichttauglichkeit ein. Im Bereich der Rauchgasreinigung sowie der Ascheentsorgung ist infolge der relativ inhomogenen Zusammensetzung der Abfallbrennstoffe ebenfalls mit erhöhten Kosten bzw. größeren Problemen zu rechnen.

6.2 Anlagenspezifische Aspekte

In diesem Abschnitt sollen konkret die für die Feuerungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. sich ergebenden Vor- und Nachteile wirtschaftlicher Art bzw. die bei der Entscheidungsfindung, ob eine Abfallart thermisch behandelt werden sollte oder nicht, wesentlichen Kriterien qualitativ diskutiert werden. Es wird dabei auf die in Kapitel 3.4 im Detail besprochenen Faktoren sowie auf die konkrete Situation der Funder Industrie Ges.m.b.H. eingegangen.

Die (betriebs-)wirtschaftlichen Konsequenzen der Mitverbrennung von (Abfall-)Brennstoffen und damit der wirtschaftliche Erfolg des Prozesses „Kesselhaus“ wird nicht zuletzt durch die Zuzahlung für die Annahme von (Abfall-)Brennstoffen und den anfallenden Kosten für die Entsorgung/Verwertung der Verbrennungsrückstände bestimmt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß einerseits die internen Reststoffe thermisch behandelt werden sowie andererseits Energie in Form von Prozeßdampf und elektrischer Energie für den internen Verbrauch bereitgestellt und in Form von Fernwärme und Strom nach außen abgegeben wird. Auch die dabei lukrierten Erlöse bzw. vermiedenen Kosten (Kosten für die Entsorgung der internen Reststoffe) sind bei einer wirtschaftlichen Beurteilung zu berücksichtigen.

Die Höhe der Zuzahlungen ist abhängig von der Art des Abfalls, und wird durch etwaig notwendige Konfektionierungsmaßnahmen im Vorfeld sowie den möglichen Alternativen beeinflusst. Aufgrund der derzeitigen rechtlichen Lage (DVO, ALSAG u.a.) ist mit einem deutlichen Anstieg der Bedeutung von thermischen Abfallbehandlungsmaßnahmen (nicht zuletzt aufgrund ihres massevermindernden Effekts) zu rechnen. Zusätzlich ist aufgrund der geringen bestehenden Kapazität im Bereich der klassischen Müllverbrennungsanlagen eine zunehmende Bedeutung der thermischen Behandlung in industriellen Feuerungsanlagen absehbar.

Das Wegfallen der Brennstoffe Rinde und Holz durch deren anderweitige Verwertung bzw. Entsorgung könnte freie Verbrennungskapazität und damit ein höheres Potential für die Übernahme externer Abfälle und die damit verbundenen Erlöse mit sich bringen. Diese Kapazität könnte durch den Einsatz von heizwertreichen Fraktionen aus dem Kunststoffbereich, der Zellstoff- und Papierindustrie sowie von belastetem Altholz kompensiert werden.

Den zu erwartenden Erlösen durch die Annahme von (Abfall-)Brennstoffen steht ein Mehraufwand an Konfektionierungsmaßnahmen entgegen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß es bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. zu keiner Investition im Bereich der Brennstoffaufbereitung kommt. Dieser Prozeßschritt obliegt dem Abfallerzeuger bzw. hat durch Dritte zu erfolgen.



Die Annahme und Lagerung für die Abfallbrennstoffe hat bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. aufgrund rechtlicher Auflagen (getrennte überdachte Lagerung, eigener Brennstoffsilo) zu zusätzlichen Kosten geführt. Es ist festzuhalten, daß aufgrund des Arbeitsschutzes und der öffentlichen Akzeptanz der Einsatz von aufbereiteten Restmüllfraktionen (Siebreste aus der mechanisch und/oder biologischen Behandlung) bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. nicht angestrebt wird. Die eingesetzten Abfallbrennstoffe entsprechen weitgehend biogenen Produktionsabfällen und erfordern mit Ausnahme des nassen Klärschlammes aus der Kläranlage des RHV St. Veit/Glan (hier wurde die Lagerung schon gelöst) keine wesentlichen Maßnahmen im Bereich des Arbeitsschutzes.

Eine etwaig im Vorfeld notwendige weitergehende Vorbehandlung und Aufbereitung der (Abfall-)Brennstoffe würde durch ein Unternehmen der Entsorgungswirtschaft erfolgen. Aufgrund dieses Aspektes sind keine Mehrkosten für die Funder Industrie Ges.m.b.H. zu erwarten. Es ist jedoch mit einer damit einhergehenden Minderung der Zuzahlung zu rechnen. Es wird angenommen, daß die vorhandene Shredderanlage bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. bei den in Frage kommenden AWG-Brennstoffen zur Konfektionierung der Brennstoffmischung und damit zur Sicherstellung der Wirbelschichttauglichkeit in Hinblick auf Stückigkeit sowie Inertstoffgehalt herangezogen werden kann, und daß es zu keiner Erweiterung der bestehenden Brennstoffaufbereitung kommen wird.

Im Bereich der Förderung und Einbringung der Abfallbrennstoffe ist mit Ausnahme der bereits errichteten Beschickungsvorrichtung des zusätzlichen Silos für die AWG-Brennstoffe aufgrund der bestehenden Einrichtungen nicht mit zusätzlichen Erfordernissen und Kosten zu rechnen.

Aufgrund der auch beim Anlagenbetrieb mit Regelbrennstoffen auftretenden Korrosion- und Erosionserscheinungen ist durch eine vorbeugende Instandhaltung ein zuverlässiger Anlagenbetrieb und eine größtmögliche Verfügbarkeit sicherzustellen. Auch die Problematik der Anbackungen rührt vor allem von den internen Reststoffen, nicht aber den zur Diskussion stehenden externen Abfällen her. Beim Parameter Chlor ist jedoch unbedingt auf eine Begrenzung der eingebrachten Fracht Wert zu legen, um einerseits einen Anstieg der Hochtemperaturchlorkorrosion sowie etwaigen Emissionsproblemen bei Dioxinen/Furanen vorzubeugen. Zu hohe Chlorfrachten in die Anlage bzw. rechtliche Auflagen sowie die technische Notwendigkeit zur Verwendung von Sorbalit als Additiv haben wirtschaftliche Konsequenzen für den Anlagenbetrieb. Die Menge an zu verwendendem Additiv sowie der Aschegehalt der einzusetzenden Abfälle/Reststoffe haben zusätzlich unmittelbare Konsequenz für die Kosten der Ascheverwertung und -entsorgung.

Die Rückstandsrelevanz der Einbringung von (Abfall-)Brennstoffen ist bei den verwendeten AWG-Brennstoffen eher quantitativer denn qualitativer Natur. Der erhöhte Aschegehalt der Rückstände aus der Altpapierverarbeitung sowie des getrockneten Klärschlammes führt zu einer Vergrößerung der Aschemenge. Wie in Kapitel 5.3.3 gezeigt, ist aber keine einstufigsrelevante Veränderung der chemischen Belastung der Verbrennungsrückstände nachweisbar.

Aufgrund der Ergebnisse der Verbrennungsversuche im Rahmen des Versuchsbetriebs ist mit Kosten im Bereich der Rauchgasreinigung zu rechnen. Kurzfristig ist bei der Verwendung der Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung Sorbalit zu additivieren. Auch bei der thermischen Behandlung der Rückstände aus der Altpapierverarbeitung scheint aufgrund der Emissionswerte die Verwendung von Sorbalit als Additiv sinnvoll und erforderlich. Mittelfristig ist der Austausch des bestehenden Elektrofilters gegen einen Gewebefilter vorgesehen und notwendig.

Tabelle 6.1 faßt die in weiterer Folge noch zusätzlich auftretenden wirtschaftlichen Konsequenzen der Mitverbrennung bei der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. zusammen.

Tabelle 6.1: Zusammenfassung der qualitativen betriebswirtschaftlichen Konsequenzen der Mitverbrennung in der Kesselanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H.

wirtschaftlichen Konsequenz für die Funder Industrie Ges.m.b.H.		
Bereich	Einfluß	Begründung
(betriebs-)wirtschaftliche Konsequenzen der Mitverbrennung	ja	Diese richten sich nach der Höhe der Zuzahlung für die Übernahme externer Abfälle und Kosten für die notwendigen Maßnahmen im Bereich der Rauchgasreinigung, der Entsorgung und Verwertung der Verbrennungsrückstände, Einsparung durch Behandlung der internen Reststoffe sowie Erlöse aus der Einspeisung von Fernwärme und Strom in das öffentliche Netz. Bei keiner wesentlichen negativen Beeinflussung des Emissionsverhaltens ist jedenfalls von positiven wirtschaftlichen Auswirkungen auszugehen.
(Brennstoff-)Annahme und Lagerung	nein	Für die in Frage kommenden (Abfall-)Brennstoffe ist eine weitere Zusatzinvestition in diesem Bereich nicht notwendig.
Vorbehandlung und Aufbereitung der (Abfall-)Brennstoffe	nein	Diese erfolgt durch Dritte, fordert vor Ort jedoch keine zusätzlichen Investitionen, wirkt sich aber mindernd auf die Zuzahlung bei der Übernahme von externen Abfällen aus.
Förderung und –einbringung der (Abfall-)Brennstoffe	nein	Für die in Frage kommenden (Abfall-)Brennstoffe ist eine Ausweitung der bestehenden Einrichtungen nicht notwendig.
Anlagenbetrieb (Korrosion, Erosion)	nein	Bei den zur Diskussion stehenden (Abfall-)Brennstoffen ist nicht mit vermehrten Kosten in diesem Bereich zu rechnen.
Rückstandsrelevanz der Einbringung von (Abfall-)Brennstoffen	ja	Daraus resultierende Kosten richten sich nach der Menge und eventuellen Schadstoffbelastung der Verbrennungsrückstände. Hier scheint gemäß den Verbrennungsversuchen vor allem der Aschegehalt der AWG-Brennstoffe kostenrelevant und von wesentlichem Interesse.
Rauchgasreinigung	ja	u.U. zusätzliche Kosten durch Sorbalitadditivierung bzw. mittelfristig durch den Ersatz des Elektrofilters durch einen Gewebefilter
Öffentlichkeitsarbeit	ja	Diese ist in größerem Umfang erforderlich.

Um die öffentliche Akzeptanz positiv zu beeinflussen, sind wissenschaftliche Begleituntersuchungen, wie sie im Rahmen des der gegenständlichen Dissertation zugrundeliegenden, durch den Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft geförderten Forschungsprojekts bei der Funder Industrie Ges.m.b.H. erfolgten, unerlässlich. Die Präsenz von externen wissenschaftlichen Personal vor Ort und der regelmäßige Kontakt mit den Mitarbeitern gewährleistet einen Informationsfluß nach außen und schafft größtmögliche Transparenz und vergrößert damit auch die Akzeptanz. Von grundlegender Wichtigkeit ist auch die externe Kommunikation der wesentlichen Erkenntnisse der wissenschaftlichen



Untersuchungen sowie der zur Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen getroffenen Maßnahmen im Rahmen einer verstärkten Öffentlichkeitsarbeit.

6.3 Vorgeschlagene Zuordnung verschiedener Abfallarten zu unterschiedlichen Behandlungsanlagen

An dieser Stelle sollen die verschiedenen, im Rahmen der Verbrennungsversuche eingesetzten, sowie im Kapitel 4.2 charakterisierten (Abfall-)Brennstoffe den aus der Sicht des Verfassers geeignetsten thermischen Abfallbehandlungsanlagen vor dem Hintergrund einer stoffstrombezogenen Abfallbewirtschaftung zugeordnet werden. Entsprechend dem Stärken-Schwächenprofil (vgl. Abbildung 6.1) sowie den in Kapitel 6.2 getroffenen Aussagen lassen sich folgende Feststellungen treffen:

Unbelastete Holzabfälle und andere Biomassebrennstoffe werden aufgrund ihrer stofflichen Beschaffenheit (weitgehend homogen) und der Akzeptanz seitens der Bevölkerung hauptsächlich jedoch aufgrund ihres positiven Marktwerts in Zukunft zum größten Teil in reinen Biomasseanlagen thermisch behandelt werden. Da die Rauchgasreinigung derartiger Anlagen in den meisten Fällen nur mit einer Staubabscheidung ausgerüstet ist, gilt es jedoch als wenig wahrscheinlich, daß andere Abfälle dort zum Einsatz kommen.

Belastete Holzabfälle sowie Abfälle aus der Zellstoff- und Papierindustrie erfordern aufgrund ihrer inhomogenen Beschaffenheit verstärkte Vorkehrungen sowie umfangreichere Anlagen-ausstattung beim Einsatz in einer thermischen Behandlungsanlage. Als Vorteil darf die zu erwartende Zuzahlung für die Übernahme derartiger Abfälle genannt werden. Dies macht die Mitverbrennung dieser (Abfall-)Brennstoffe sehr attraktiv. Es erscheint sowohl die Mitverbrennung in industriellen Abfallverbrennungsanlagen als auch in biomassebefeueten Industriekraftwerken möglich. Während die thermische Behandlung in letzterer Anlagenkategorie kostengünstiger ist, erfordern diese Anlagen jedoch aufgrund der weniger umfangreichen Rauchgasreinigung eine gewisse Vorbehandlung/Qualitätssicherung der (Abfall-)Brennstoffe. Entscheidend für die Mitverbrennung in der einen oder anderen Anlagenkategorie werden die Faktoren: Genehmigung, Transportwege, vorhandene Anlagenkapazitäten und letztendlich die tatsächlich notwendigen Behandlungskosten (Zuzahlung) sein. Die thermische Behandlung in Produktionsanlagen erscheint aufgrund des erforderlichen großen Konfektionierungsaufwands eher nicht bedeutsam, die in konventionellen Abfallverbrennungsanlagen sowie Kombinationsverfahren infolge der hohen Behandlungskosten als eher unwahrscheinlich.

Kunststoffabfälle zeichnen sich in den meisten Fällen durch einen hohen Heizwert aus, welcher mit einem geringen Massestrom jedoch aufgrund der geringen Dichte sehr hohen Volumensstrom einhergeht. Es zeichnete sich in der Vergangenheit bereits der Trend ab, heizwertreiche Kunststoffabfälle in Produktionsanlagen energetisch zu nutzen. Mit der zunehmenden Bedeutung der mechanischen Behandlungsstufe in der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung ist auch mit einer verstärkten Nutzung des Energieinhalts von kunststoffreichen Abfallfraktionen in Mitverbrennungsanlagen zu rechnen. Abhängig von der Abfallherkunft, der Aufbereitungstiefe bzw. Umfang der Qualitätssicherung kommen in



diesem Zusammenhang reine Produktionsanlagen, konventionelle und biomassebefeuerte Industriekraftwerke sowie industrielle Abfallverbrennungsanlagen für die thermische Behandlung dieser Abfälle in Frage. Bei Abfällen der SNr. 91207 „Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“, wie sie im Kapitel 4.2 beschrieben wurden, ist der vorwiegende Einsatz in Produktionsanlagen sowie industriellen Abfallverbrennungsanlagen zu erwarten. Bei Siebresten aus Haus- bzw. Gewerbeabfällen wird aufgrund des heutigen Standes der Aufbereitungstechnik im Rahmen der MBA in den meisten Fällen von der Notwendigkeit der thermischen Behandlung in industriellen Abfallverbrennungsanlagen bzw. Beseitigungsanlagen der Entsorgungswirtschaft auszugehen sein.

Abfälle aus der Abwasseraufbereitung liegen in den meisten Fällen pastös vor. Somit wird in den Verbrennungsprozeß ein hoher Anteil an Wasser eingebracht. Die Notwendigkeit derartige Abfälle thermisch zu behandeln, darf als sehr hoch angesehen werden und läßt eine dementsprechende Zuzahlung für die Übernahme erwarten. Dem stehen eine aufwendige Lagerwirtschaft (Bunker, Vorrichtungen gegen Geruchsbelästigung, etc.) und der Schadstoffeintrag in den Verbrennungsprozeß gegenüber. Aufgrund der Anlageneignung ist davon auszugehen, daß je nach Schadstoffbelastung der Abfälle sowie Anlagenausstattung, Wirbelschichtfeuerungsanlagen der Entsorgungswirtschaft, industrielle Abfallverbrennungsanlagen oder auch konventionelle oder biomassebefeuerte Industriekraftwerke zur thermischen Behandlung dieser Abfälle verwendet werden können. Aus verfahrenstechnischen sowie auch ökonomischen Überlegungen wird es zur Zumischung nasser Klärschlämme zu heizwertreichen Abfällen kommen, um einen Brennstoffmix mit dem gewünschten Heizwert zu erhalten sowie den behandelten Abfallmassenstrom zu vergrößern. Aus ökologischer Sicht ist dies infolge des erhöhten Schadstoffeintrags ohne zusätzlichen Energieeintrag nur bei industriellen Abfallverbrennungsanlagen sowie Behandlungsanlagen der Entsorgungswirtschaft mit einer entsprechenden Ausstattung im Bereich der Rauchgasreinigung zu befürworten.

Allgemein muß festgestellt werden, daß bei der Mitverbrennung in Abhängigkeit des Substitutionsgrades der Regel- und Primärbrennstoffe durch Abfälle und Reststoffe infolge möglicher Umweltauswirkungen verstärkt auf die Anlagenfahrweise zu achten ist.

7 Weiterer Forschungsbedarf

Vor dem Hintergrund der Substitution von Primärenergieträgern ist der Einsatz von (Abfall-) Brennstoffen bei im Vergleich zu Primärenergieträgern geringeren bis gleichen energieinhaltsbezogenen Schadstoffkonzentrationen als sinnvoll anzusehen. Die Rolle der Wissenschaft kann darin bestehen, diese Entwicklung dahingehend zu begleiten, daß neben der technischen und betriebswirtschaftlichen Machbarkeit insbesondere die ökologische Sinnhaftigkeit der geplanten Projekte zur industriellen Abfallmitverbrennung beurteilt und sichergestellt wird. Dies erweist sich derzeit in vielen Fällen als schwierig, da zu wenig belastbares Datenmaterial über die Schadstoffgehalte der zu behandelnden Abfälle existiert. Insbesondere gilt dies für die Siebreste aus der MBA.

Die Schaffung einer ausreichenden Datenbasis wird nicht zuletzt auch für die Festlegung von Qualitätsklassen für (Abfall-)Brennstoffe und damit letztendlich für eine Zuordnung der verschiedenen Abfallbrennstoffe zu unterschiedlich ausgestatteten Behandlungsanlagen notwendig sein. Die Schaffung solcher Qualitätsstandards sowie die Festlegung der Vorgehensweise bei der Qualitätssicherung (Eigen-, Fremdüberwachung) sollte durch die Transparenzsteigerung wesentlich zur Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz der Mitverbrennung beitragen und wird aus diesem Grund als notwendig erachtet. Auf diese Art könnte mittels des stoffstromspezifischen Ansatzes sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht durch die Integration verschiedenster thermischer Abfallbehandlungsverfahren eine Optimierung der Abfallbewirtschaftung erfolgen.

Im Rahmen der Umsetzung mechanisch-biologischer Abfallbehandlungskonzepte wird vor allem der Optimierung der mechanischen Behandlungsstufen ein besonderer Stellenwert zukommen. Während derzeit das Augenmerk auf der Einhaltung des Grenzwertes für den oberen Heizwert der zu deponierenden Abfallfraktion liegt, sollte in Zukunft durch eine Verbesserung der mechanischen Behandlungsstufe verstärkt an einer Qualitätserhöhung der heizwertreichen Siebreste gearbeitet werden.

Beim Einsatz leichter, flächiger Kunststoffabfälle (Folien) in klassischen Mitverbrennungsanlagen nach dem Wirbelschichtprinzip wird – wie sich im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen zeigte – die Konfektionierung (Pelletierung) im Sinne einer Verbesserung des Verbrennungsverhaltens bzw. der Staubemissionswerte notwendig sein.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die im Rahmen der Entsorgung der Verbrennungsrückstände auftretenden Kosten wesentlich. Hier ist eine Beurteilung der Auswirkungen der Mitverbrennung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe auf die Rückstandsqualität sowie die infolge der technischen Machbarkeit bzw. der Akzeptanz möglichen Verwertungs- bzw. Entsorgungsalternativen der Verbrennungsrückstände unbedingt erforderlich. Dies ist vor allem bei jenen (potentiellen) thermischen Behandlungsanlagen wichtig, wo vor dem Einsatz die Frage der Aschentsorgung/-verwertung bereits geklärt war und die entsprechenden Alternativen durch den Abfalleinsatz in Frage gestellt werden (Kraftwerke).

8 Zusammenfassung

Aufgrund der aktuellen Änderung der Rechtslage am Abfallwirtschaftssektor durch das Maßnahmenpaket zur Ablagerung von Abfällen kann allgemein festgestellt werden, daß die Bedeutung der thermischen Behandlung von Abfällen und Reststoffen zunehmen wird. Dies war auch Anlaß für die vorliegenden Untersuchungen sowie die im Rahmen des vom Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft (FFF) geförderten und der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. sowie der Babcock Borsig Power AE Energietechnik GmbH finanzierten Forschungsprojektes "Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen" durchgeführten großtechnischen Verbrennungsversuche.

Bei einer Beurteilung des Stellenwertes der Wirbelschichttechnologie zur Lösung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen zeigte sich, daß vor allem die hohen in Österreich bestehenden Kapazitäten sowie die große Flexibilität dieser Technologie in Hinblick auf die Brennstoffqualität sowie die fehlende Produktrelevanz der Verbrennungsrückstände trotz gewisser Anforderungen an die Abfallcharakteristik und dem damit verbundenen Konfektionierungsaufwand ein großes Potential für die thermische Behandlung und energetische Nutzung von (Abfall-)Brennstoffen bieten. Vor allem in Verbindung mit der steigenden Bedeutung der mechanischen Behandlungsstufe in mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen und dem damit verbundenen Ausschleusen einer aufbereiteten, heizwertreichen Abfallfraktion ist mit einer steigenden Bedeutung von Wirbelschichtverbrennungsanlagen für die Abfallwirtschaft zu rechnen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß bei klassischen Mitverbrennungsanlagen, abhängig von den tatsächlich behandelten (Abfall-)Brennstoffen, eine Adaptierung der Rauchgasreinigung notwendig sein kann.

Es muß davon ausgegangen werden, daß in Österreich im Jahr 2004 zusätzliches Behandlungspotential für brennbare Abfälle in der Größenordnung von ca. 2,8 Mio. Mg/a notwendig sein wird. Soll eine thermische Behandlung (insbesondere unter Berücksichtigung mechanisch-biologischer Behandlungsverfahren) dieser Abfälle in Österreich gewährleistet werden, so sind zusätzlich zu den derzeit bestehenden sowie geplanten Anlagen weitere 1-1,5 Mio. Mg an Behandlungskapazitäten zu schaffen.

Wenn man das Massenpotential und die derzeitige Entsorgungspraxis von Abfällen mit den rechtlichen Vorgaben (DVO) vergleicht, so wird ersichtlich, daß in Zukunft vor allem Reststoffe bzw. Abfälle aus der Papier- und Zellstofferzeugenden Industrie, wie zum Beispiel Holzreste und Abwasserschlämme, sowie aus der Papier- und Pappeverarbeitenden Industrie zur Mitverbrennung zur Verfügung stehen werden. Darüber hinaus läßt sich festhalten, daß beschichtete Papiere (PPV-Industrie), Rückstände aus der Altpapierverarbeitung, Polyolefine, Altholz und getrockneter Klärschlamm die Anlageneignung vorausgesetzt als potentielle zukünftige (Abfall-)Brennstoffe identifiziert werden können. Abhängig von der Aufbereitungstiefe sowie dem Umfang der Rauchgasreinigung der entsprechenden Behandlungsanlage könnte dieses Spektrum erweitert werden (z.B. hochkalorische Siebreste aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR)).

Die physikalische und chemische Charakterisierung verschiedener potentieller (Abfall-)Brennstoffe und deren Vergleich mit fossilen Brennstoffen zeigte, daß die energieinhalts-



bezogenen Elementgehalte für Chrom, Nickel und Zink sowie dem emissions- und prozeßrelevantem Element Chlor bei den (Abfall-)Brennstoffen vergleichsweise hoch sind.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse des Referenzversuchs mit den Einsatzversuchen, die im Rahmen des dieser Dissertation zugrunde liegenden Forschungsprojekts in der Wirbelschichtfeuerungsanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H. durchgeführt wurden, läßt sich erkennen, daß die Verwendung von Abfallbrennstoffen in den zum Einsatz gekommenen Brennstoffrezepturen in den meisten Fällen zu keiner signifikanten Veränderung der Emissionssituation führt. Im Bereich der Abluftemissionen kann durch Änderung der Brennstoffeinbringung bzw. Brennstoffkonfektionierung ein erhöhter Staubemissionswert bzw. durch die Verwendung entsprechender Additive ein erhöhter Wert an HCl bzw. PCDD/F abgefangen werden. Bei den Verbrennungsrückständen liegen die Schadstoffgesamtgehalte der Aschen der Einsatzversuche teilweise etwas höher wie die des Referenzversuchs. Diese Veränderungen der Schadstoffgesamtgehalte führen jedoch in keinem Fall zu einstufigsrelevanten Veränderungen. Bei den Eluatgehalten lassen sich keine signifikanten Unterschiede bei den Verbrennungsrückständen der Einsatzversuche gegenüber dem Referenzversuch erkennen.

Betriebswirtschaftliche Konsequenzen der Mitverbrennung sind abhängig von der Zuzahlung für den jeweils thermisch behandelten (Abfall-)Brennstoff, der Notwendigkeit der Verwendung von Additiven bzw. den (erhöhten) Mengen an Verbrennungsrückständen sowie dem Aufbereitungsaufwand (z. B. auch indirekt, wenn infolge der erforderlichen Konfektionierung der Abfallbrennstoffe durch Dritte die Zuzahlung gemindert wird).

Als Ergebnis einer Zuordnung von (Abfall-)Brennstoffen zu verschiedenen potentiellen thermischen Behandlungsanlagen ist davon auszugehen, daß unbelastete Holzabfälle und andere Biomassebrennstoffe zum größten Teil in reinen Biomasseanlagen thermisch behandelt werden. Belastete Holzabfälle sowie Abfälle aus der Zellstoff- und Papierindustrie erfordern beim Einsatz in einer thermischen Behandlungsanlage aufgrund ihrer inhomogenen Beschaffenheit eine umfangreichere Anlagenausstattung. Es erscheint in diesem Fall sowohl die Mitverbrennung in industriellen Abfallverbrennungsanlagen als auch in biomassebefeuelten Industriekraftwerken möglich. Mit der zunehmenden Verbesserung der mechanischen Behandlungsstufe in der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung ist auch mit einer verstärkten Nutzung des Energieinhalts von kunststoffreichen Abfallfraktionen in Mitverbrennungsanlagen zu rechnen. Abhängig von der Abfallherkunft, der Aufbereitungstiefe bzw. dem Umfang der Qualitätssicherung kommen in diesem Zusammenhang reine Produktionsanlagen, konventionelle und biomassebefeuelte Industriekraftwerke sowie industrielle Abfallverbrennungsanlagen für die thermische Behandlung dieser Abfälle in Frage. Bei Abfällen der SNr. 91207 „Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung“, wie sie im Kapitel 4.2 beschrieben wurden, ist der vorwiegende Einsatz in Produktionsanlagen sowie industriellen Abfallverbrennungsanlagen zu erwarten. Bei Siebresten aus Haus- bzw. Gewerbeabfällen wird aufgrund des heutigen Standes der Aufbereitungstechnik im Rahmen der MBA in den meisten Fällen von der Notwendigkeit der thermischen Behandlung in industriellen Abfallverbrennungsanlagen bzw. Beseitigungsanlagen der Entsorgungswirtschaft auszugehen sein. Bei Abfällen aus der Abwasseraufbereitung ist aufgrund der



Anlageneignung davon auszugehen, daß je nach Schadstoffbelastung der Abfälle sowie nach Anlagenausstattung, Wirbelschichtfeuerungsanlagen der Entsorgungswirtschaft, industrielle Abfallverbrennungsanlagen oder auch konventionelle oder biomassebefeuerte Industriekraftwerke zur thermischen Behandlung dieser Abfälle verwendet werden können. Aus verfahrenstechnischen sowie auch ökonomischen Überlegungen wird es zur Zumischung nasser Klärschlämme zu heizwertreichen Abfällen kommen, um einen Brennstoffmix mit dem gewünschten Heizwert zu erhalten sowie den behandelten Abfallmassenstrom zu vergrößern. Aus ökologischer Sicht ist dies infolge des erhöhten Schadstoffeintrags ohne zusätzlichen Energieeintrag nur bei industriellen Abfallverbrennungsanlagen sowie Behandlungsanlagen der Entsorgungswirtschaft mit einer entsprechenden Ausstattung im Bereich der Rauchgasreinigung zu befürworten.

Abschließend ist die Bedeutung praktischer Untersuchungen im Bereich der Mitverbrennung zur Umsetzung einer stoffstrombezogener Abfallbewirtschaftung sowie der Integration industrieller Feuerungsanlagen in die Lösung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen herauszustreichen.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur

- [1] WIEMER, K.: Ziele und technische Lösungsansätze der Abfallwirtschaft im neuen Jahrtausend, In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung IV biologisch – mechanisch – thermisch, Baeza Verlag, Witzenhausen, 2000.
- [2] RAGOßNIG, A. ET AL.: Restabfallsplitting bzw. Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV) im AWZ Halbenrain, IED-Schau: Schriftenreihe Abfall-Umwelt des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik, Leoben, 1999.
- [3] RAGOßNIG, A. ET AL.: „Thermische Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“, Forschungsprojekt des IED im Auftrag der Funder Industrie Ges.m.b.H. (St. Veit/Glan) sowie der Babcock Borsig Power AE Energietechnik GmbH (Wien), Laufzeit 09/1999 – 08/2001.
- [4] TESCH, H. ET AL.: „Einsatz von heizwertreichen Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung bei der Klinkererzeugung“, Forschungsprojekt des IED im Auftrag von Baufeld Austria GmbH (Wien), Laufzeit 7/1999 bis 6/2001 (unveröffentlicht).
- [5] SCHELCH, M. ET AL.: „Aufbereitung von Substitutbrennstoffen“, Forschungsprojekt des IED im Auftrag der Heissenberger & Pretzler Ges.m.b.H. (Frohnleithen), Laufzeit 03/2000 – 03/2001 (unveröffentlicht).
- [6] SCHELCH, M. ET AL.: „Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen“, Forschungsantrag des IED an den Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft, Leoben, 2001.
- [7] TESCH, H. ET AL.: „Optimierung der bestehenden Abfallaufbereitungsanlage in Hinblick auf die Erzeugung thermisch verwertbarer sowie biologisch behandelbarer Abfallfraktionen“, Forschungsprojekt des IED im Auftrag der Abfall- Entsorgungs- und VerwertungsGmbH (AEVG) (Graz), Laufzeit 07/2000-02/2001 (unveröffentlicht).
- [8] RAGOßNIG, A. ET AL.: Mitverbrennung heizwertreicher Abfallfraktionen in industriellen Feuerungsanlagen, IED-Schau – Schriftenreihe Abfall-Umwelt des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik, Leoben, 1999.
- [9] RAGOßNIG, A. ET AL.: Thermische Verwertung von Abfällen/Reststoffen in Wirbelschichtprozessen – Praxisbeispiele, In: Hengerer, Hofer, Lorber, Nelles, Ragoßnig (Hrsg.): Abfallvermeidung und –verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [10] RAGOßNIG, A. ET AL.: Hochkalorische Fraktionen der mechanisch-biologischen Siedlungsabfallbehandlung - Erfahrungen aus verschiedenen Großprojekten in Österreich, In: Handbuch zum Seminar des VDI-Bildungswerkes „Ersatzbrennstoffe für Industrieanlagen“, Würzburg, 12. bis 13. Oktober 2000.
- [11] RAGOßNIG, A. ET AL.: Thermische Verwertung von Abfällen in Wirbelschichtfeuerungsanlagen der österreichischen Industrie, In: Tagungsband zur VDI-GET-Fachtagung “Wirbelschichtfeuerung und Vergasung: Erfahrungen und Perspektiven”, Cottbus, 28./29 März 2000.

- [12] NELLES, M. ET AL.: Stand und Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung in Österreich, Beitrag im Rahmen der 5. Fachtagung „Abfallverbrennung“ – Zukunft in Deutschland und Europa, Kassel, 9. bis 11. Oktober 2000.
- [13] NELLES, M. ET AL.: Thermische Verwertung von hochkalorischen Abfallfraktionen in Österreich, In: Tagungsband der 3. Niedersächsischen Abfalltage „Mit der MBA-Technik ins nächste Jahrtausend“, Oldenburg, 8. bis 9. März 2000.
- [14] ÖSTERREICHISCHER WASSER UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV), ARBEITS-AUSSCHUSS „THERMISCHE BEHANDLUNG“ (HRSG.): Positionspapier „Abgrenzungskriterien Thermische Verwertung – Beseitigung“ Endfassung vom 27. März 2001.
- [15] BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT SEKUNDÄRBRENNSTOFFE E.V., Köln.
- [16] OCHSENREITER, C.; KUYUMCU, H. Z.: Konzept für Sekundärbrennstoffwirtschaft – Von der Entsorgungsmentalität zur Versorgungsmaxime, In: Entsorgungspraxis 11/2000.
- [17] FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS (HRSG.): Solid recovered fuel, Quality control system, Helsinki, 2000.
- [18] CEN/BT/TF118 „SOLID RECOVERED FUELS“, Brüssel, 2000.
- [19] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM FNA157AG13 „BRENNSTOFF AUS ABFALL“, Wien, 2000.
- [20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (HRSG.): E856-83(1998) Standard Definitions of Terms and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Refuse Derived Fuel, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 1998.
- [21] LAHL, U.: Heiße Ware, In: Müllmagazin 4/2000.
- [22] HÄRDTLE, G.: Herstellung, Lagerung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen, Dissertation, TU-Berlin, Berlin, 2000.
- [23] HOMEPAGE: <http://futures.tradingcharts.com/chart/BC/M>.
- [24] MORF, L. S.; SCHACHERMAYER, E.: Vergleich der Stoffbilanzen zweier Wirbelschichtanlagen unterschiedlicher Technologien, Endbericht des 1. Jahres im Forschungsprojekt „Thermische Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“, Wien Zürich, 2000.
- [25] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Bundesgesetz über die Vermeidung und Behandlung von Abfällen (Abfallwirtschaftsgesetz-AWG), BGBl. Nr. 325/1990, In: Kodex Abfallrecht, 10. Auflage, Verlag-ORAC, Wien, 2001.
- [26] GRECH, H.: Mitverbrennung von heizwertreichen Abfallfraktionen in industriellen Feuerungsanlagen; Rechtliche Rahmenbedingungen; Studienarbeit am IED, Montanuniversität Leoben, Leoben, 1999.
- [27] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT: Deponieverordnung (DVO), Verordnung über die Ablagerung von Abfällen, BGBl 1996/164; In: Kodex Abfallrecht, 10. Auflage, Verlag-ORAC, Wien, 2001.
- [28] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Bundesgesetz über die Finanzierung und Durchführung von Altlastensanierung (AISAG), BGBl. Nr. I 2000/142, In: Kodex Abfallrecht, 10. Auflage, Verlag-ORAC, Wien, 2001.
- [29] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): WRG-Novelle, BGBl. Nr. 1996/796, In: Kodex Umweltrecht, 15. Auflage, Verlag-ORAC, Wien, 2001.
- [30] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): AWG-Novelle-Deponien, BGBl. Nr. I 2000/99, In: Kodex Abfallrecht, 10. Auflage, Verlag-ORAC, Wien, 2001.

- [31] GRECH, H. ET AL.: Thermische Behandlung von Abfällen mit Blickpunkt auf das Jahr 2004, In: Hengerer, Hofer, Lorber, Nelles, Ragoßnig (Hrsg.): Abfallvermeidung und –verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [32] HIMMEL, W.; RUPP, G.: Thermische Verwertung von Abfällen in steirischen Industriebetrieben, In: Hengerer, Hofer, Lorber, Nelles, Ragoßnig (Hrsg.): Abfallvermeidung und –verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [33] BERGER, W.: Der österreichische Abfallbegriff – (k)ein Sanierungsfall, In: HotSpots – Newsletter für Umweltwirtschaft, Wien, Dezember 2000.
- [34] EUROPÄISCHES PARLAMENT, EUROPÄISCHER RAT (HRSG.): EU-Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Verbrennung von Abfällen, Brüssel, 2000.
- [35] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Regierungsvorlage zum AWG, Stenographisches Protokoll Nr. 1274, Wien, 1990.
- [36] KIND/LIST/SCHMELZ: Das österreichische Abfallrecht - Erster Teil, AWG, Österreichische Staatsdruckerei, Wien, 1998.
- [37] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (HRSG.): Bundesabfallwirtschaftsplan 1998, Wien, 1998.
- [38] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten und die Einrichtung von Sammel- und Verwertungssystemen (Verpackungsverordnung), BGBl. Nr. 648/1996, Wien, 1996.
- [39] HEIL, J.: Konventionelle und neue thermische Verfahren im Vergleich, In: Bilitewski; Faulstich; Urban (Hrsg.): Thermische Restabfallbehandlung, Erich Schmidt Verlag, 1996.
- [40] KAIMER, M.; SCHADE, D. (HRSG.): Bewerten von thermischen Abfallbehandlungsanlagen, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999.
- [41] FEILER: Die Wirbelschicht, Schriftenreihe des Firmenarchivs der BASF 9, Ludwigshafen, 1972.
- [42] VOIGTLÄNDER, K.: Babcock Borsig Power AE Energietechnik GmbH, mündliche Mitteilung, 10. Februar 2001.
- [43] THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (HRSG.): Thermische Abfallbehandlung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1994.
- [44] EFFENBERGER, H.: Dampferzeugung, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2000.
- [45] NOTTER, W.; HUBER, H.-D.: Die thermische Behandlung von Siedlungsabfällen mit Wirbelschichtverfahren, In: Entsorgungspraxis 9/1998.
- [46] KEMPIN, H.T.: Verfahrensüberblick und –auswahl aus der Sicht des Betreibers; Wirbelschichtfeuerung – eine Alternative zur Rostfeuerung?, In: Bilitewski; Faulstich; Urban (Hrsg.): Thermische Restabfallbehandlung, Erich Schmidt Verlag, 1996.
- [47] SPLIETHOFF, H.: Verbrennung und Vergasung in Wirbelschichtanlagen – Stand, Entwicklung und Forschungsbedarf, In: Tagungsband zur VDI-GET-Fachtagung “Wirbelschichtfeuerung und Vergasung: Erfahrungen und Perspektiven”, Cottbus, 28./29. März 2000.

- [48] SGP VA ENERGIE UMWELT (AT) (HRSG.): Fluidized bed process and apparatus for carrying out the process, Patentschrift US-Patent-Nr. US4917028, 1990.
- [49] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (HRSG.): Verfahrens- und Kostenvergleich für die thermische Behandlung von Abfall, Wien, 1997.
- [50] SCHIEFER, H.-P. ET AL.: Verwertung von aufbereitetem Hausmüll durch Co-Vergasung mit Braunkohle in der Wirbelschicht, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Restmüllentsorgung '98 – Vorbehandlung, Kostensenkung, Mitverbrennung, Veitshöchheim, 1998.
- [51] GREIL, C.; HIRSCHFELDER, H.: Brenngas aus Reststoffen, In: Entsorgungspraxis 4/1999.
- [52] LORBER, K. E. ET AL.: Energetische Verwertung von Abfall in Verbrennungsanlagen (Energy Recovery from Waste in Incineration Facilities), Proceedings of the International Environmental Conference, Koszalin, Poland, May 28 – 30, 1999.
- [53] ESSER-SCHMITTMANN, W.; GREIF, H.-G.: Energieerzeugung durch Mitverbrennung industrieller Reststoffe und Schlämme in Braunkohle-Feuerungen, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Restmüllentsorgung '98 – Vorbehandlung, Kostensenkung, Mitverbrennung, Veitshöchheim, 1998.
- [54] WILDBACHER, N.: Energetische Verwertung von Abfällen/Reststoffen in Wirbelschichtanlagen – Anlagenspezifische Verwertungs- und Entsorgungskonzepte, Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2001.
- [55] FEHRINGER, R. ET AL.: Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA), Wien, 1997.
- [56] KOSSINA, I; ZEHETNER, G.: Restmüllmitverbrennung in Anlagen zur Zementherstellung, Bericht BE-097 des Umweltbundesamtes, Wien, 1997.
- [57] BUEKENS, A.; DELMOTTE, Y.: Co-combustion as a route in waste elimination, In: Hengerer, Hofer, Lorber, Nelles, Ragoßnig (Hrsg.): Abfallvermeidung und -verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [58] KOSSINA-HAMMER, I.: Grundlagen für eine Technische Anleitung zur thermischen Behandlung von Abfällen, Report 95-112 des Umweltbundesamtes, Wien, 1995.
- [59] POSTRZEDNIK, S.: Massen- und Energieverluste bei der Verwitterung von festen Brennstoffen, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Entwicklungslinien der Energie- und Kraftwerkstechnik, Siegen, 1996.
- [60] MEYRAHN, H. ET AL.: Altholz-Mitverbrennung im Braunkohlen-Wirbelschichtkraftwerk, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Wege des Abfalls, Veitshöchheim, 2000.
- [61] ANDERL, H.; KAUFMANN, K.: Verwertung von Abfallstoffen in der Wirbelschicht am Beispiel der 110 MW Reststoffverwertungsanlage RVL/Lenzing, In: Tagungsband zur VDI-GET-Fachtagung "Wirbelschichtfeuerung und Vergasung: Erfahrungen und Perspektiven", Cottbus, 28./29 März 2000.
- [62] OBERNBERGER, I.: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen, Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Abteilung für Grundlagen am Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz, 1998.

- [63] SCHETTER, G.; NITSCHKE, R.: Die Wirbelschichtfeuerung - Ein Baustein zur kostengünstigen thermischen Restabfallbehandlung in kleineren bis mittleren Entsorgungsgebieten, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Wege des Abfalls, Veitshöchheim, 2000.
- [64] BRAUNGART, M.; GALLENKEMPER, B.: Bewertung des Einsatzes von Sekundär-brennstoffen, In: Entsorgungspraxis 1-2/2000.
- [65] WILCZEK, M. ET AL.: Vom Abfall zum feinteiligen Brennstoff, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Wege des Abfalls, Veitshöchheim, 2000.
- [66] VAUCK, W. R. A.; MÜLLER, H. A.: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1994.
- [67] HEINRICH, F.: Beitrag zur wärmetechnischen Berechnung von Wirbelschicht-dampferzeugern für die Verbrennung von Abfallstoffen, Fortschritt – Berichte VDI Reihe 3 Nr. 130, Düsseldorf, 1986.
- [68] HEMMERICH, H. D. ET AL.: Rechnergestützte Betriebsoptimierung eines kohlenstaub-gefeuerten Dampferzeugers, Vortrag im Rahmen der VDI Tagung – Verbrennung und Feuerungen – 18. Deutsch - Niederländischer Flammentag, Delft, 1997.
- [69] KEPPLINGER, W.: Verfahrenstechnik I, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes an der Montanuniversität Leoben, Leoben, 2000.
- [70] RAGOBNIG, A. ET AL.: Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbel-schichtprozessen – Endbericht zum 1. Jahr des o.a. Forschungsprojektes, Leoben, 2000.
- [71] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (HRSG.): Thermische Restmüllbehandlung in Österreich – Weißbuch Zahlen, Daten, Fakten, Wien, 1998.
- [72] RVL RESTSTOFFVERWERTUNG LENZING GMBH (HRSG.): Projektinformation, Lenzing, 1994.
- [73] WIEDEMANN, R.: Betriebserfahrungen an der modernen industriellen Abfallverwertungsanlage RVL-I in Lenzing, In: Hengerer, Hofer, Lorber, Nelles, Ragoßnig (Hrsg.): Abfallvermeidung und –verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [74] LUKSCHANDERL, L.: Ultimativer „Geruchsfresser“, In: Umweltschutz 10/2000.
- [75] GLANZSTOFF AUSTRIA GMBH. (HRSG.): Projekt Abluftreinigung und Abfallverwertung, Projektinformation, St. Pölten, 1995.
- [76] RAGOBNIG ET AL.: Mitverbrennung heizwertreicher Abfallfraktionen in industriellen Feuerungsanlagen – Prognose in Hinblick auf 2004, IED-Schau - Schriftenreihe Abfall – Umwelt des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik, Leoben, 2001 (in Vorbereitung).
- [77] GRECH, H.: Mitverbrennung von Abfällen und Reststoffen in industriellen Feuerungsanlagen, Bericht des Umweltbundesamtes (BE 117), Wien, 2000.
- [78] KRENN, A.: Die Verpackungsverordnung im Spannungsfeld zwischen ARA-System und den Gemeinden, Vortrag an der Montanuniversität Leoben, Leoben, 2000.
- [79] ZETTL C.: Austropapier, persönliches Gespräch, Wien, 24.02.2000.
- [80] BRAU-UNION ÖSTERREICH AG (HRSG.): Energie- und Reststoffmanagement von Bier-treibern im Brauereiverbund, Patent-Nr. 404253, 1999.
- [81] TESCH, H; ET AL.: „Brennstoffaufbereitung“, Forschungsprojekt des IED im Auftrag der Metran Rohstoffaufbereitungsgesellschaft m.b.H. (Kematen), (in Vorbereitung).

- [82] NELLES, M. ET AL.: Mechanisch - biologische Restabfallbehandlung zur Umsetzung der Deponieverordnung, IED-Schau - Schriftenreihe Abfall – Umwelt des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik, Leoben, 1999.
- [83] NELLES, M. ET AL.: Thermische Verwertung von hochkalorischen Reststoffen (Siebresten) aus der mechanisch-(biologischen) Restabfallbehandlung in Österreich, Studie des IED im Auftrag der Abfall-Verwertung-Entsorgung-GmbH (AVE), Leoben, 1999 (unveröffentlicht).
- [84] NELLES, M. ET AL.: Möglichkeiten und Grenzen des Restmüllsplittings am Beispiel der Abfallbehandlungsanlage Kufstein, Endbericht des IED zum Pilotprojekt im Auftrag der thöni Industriebetriebe G.m.b.H., Leoben, 1999.
- [85] DOMENIG, M.: Nicht gefährliche Abfälle in Österreich, Materialien zum Bundesabfallwirtschaftsplan 1998, Klagenfurt, 1998.
- [86] FUNDER INDUSTRIE GES.M.B.H: Ansuchen zur wesentlichen Änderung der bestehenden Betriebsanlage und Genehmigung eines Versuchbetriebes, Zusammenstellung der Einreichunterlagen durch Willitsch und Erlach - Zivilingenieurgesellschaft, Kärnten, 1997.
- [87] ZOPF, C.: Bilanzierung und Charakterisierung von Abfällen am Beispiel der Splittinganlage Redlham, Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2000.
- [88] INSTITUT FÜR ENTSORGUNGS- UND DEPONIETECHNIK (HRSG.): Untersuchungen zur stofflichen Zusammensetzung von Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfall-behandlung, Leoben, 1998 - 2000.
- [89] SPRUNG, S.: Technologische Probleme beim Brennen des Zementklinkers, Ursachen und Lösung, Schriftenreihe der Zementindustrie (43), Beton – Verlag, Düsseldorf, 1982.
- [90] SCHIFFER, H.-P. ET AL.: Vergleich der Mitvergasung und Mitverbrennung kommunaler Klärschlämme in Braunkohlebefeuerten Anlagen, Vortrag im Rahmen der DGMK-Fachbereichstagung „Energetische und stoffliche Nutzung von Abfällen und nachwachsenden Rohstoffen“, Velen/Westfalen, 22.-24. April 1996.
- [91] SCHEIDL-UMWELTANALYTIK (HRSG.): Untersuchungen zur Schadstoffbelastung von Braunkohlen, Wien, 2000.
- [92] RECHBERGER, H.: A new approach to differentiate between recovery and disposal of combustible wastes, Vortrag im Rahmen der International Management Industry Conference „Waste to Energy“, Brüssel, 14.-15. Dezember 2000.
- [93] INSTITUT FÜR ENTSORGUNGS- UND DEPONIETECHNIK (HRSG.): eigene Recherchen zum Stand der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung in Österreich, Leoben, 2000.
- [94] KUMAR, S.: Energetische Verwertung von Reststoffen in einer Wirbelschichtanlage – Charakterisierung der Brennstoffe, Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2000.
- [95] FUNDER INDUSTRIE GES.M.B.H.: Input/Output - Analysen „Kesselhaus“ von 1999; Kärnten, 2000.
- [96] UNTERWEGER, K.-H.: Funder Industrie GmbH, mündliche Mitteilung, St. Veit/Glan, Februar 2001.

- [97] LANDESREGIERUNG KÄRNTEN (HRSG.): Bescheid über den Antrag der Funder Industrie Ges.m.b.H. über die "abfallwirtschaftsrechtliche Bewilligung zur Durchführung eines Versuchsbetriebes im Rahmen der Änderung der Betriebsanlage "Kesselhaus Werk 1" und der Brennstoffaufbereitung" vom 16.2.1998.
- [98] THEK, G.: Energetische Verwertung von Reststoffen – Verbrennungsversuche mit einer Wirbelschichtanlage, Diplomarbeit, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2000.
- [99] FELSBERGER, J.: Funder Industrie Ges.m.b.H., mündliche Mitteilung, St. Veit/Glan, 2000.
- [100] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM S 2110 Analytische Beurteilung von Abfällen, Wien, 1994.
- [101] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM S 2108 Zuordnung von Abfällen zur thermischen Behandlung und Verwertung, Wien, 1998.
- [102] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Festsetzungsverordnung, BGBl. Nr. 1997/1025, Wien, 1997.
- [103] BIRNBAUM, L. ET AL.: Untersuchung der physikalisch/chemischen Eigenschaften von Filterstäuben aus Müllverbrennungsanlagen; Technik und Umwelt, Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe, 1996.
- [104] HEIDRICH, F.: Untersuchungen zur immissionsneutralen Integration von Rückständen aus der Hausmüllverbrennung im Steinkohlengebirge; Dissertation, TU Berlin, Berlin, 1992.
- [105] ZYSK, K.-H.: Charakterisierung von Aschen aus Kraftwerken mit zirkulierender Wirbelschicht und ihre Verwertungsmöglichkeiten; Dissertation, TU Clausthal, 1990
- [106] JAHN, P.; WEIS, P.: Grundlagenuntersuchungen zur Verwertung von zirkulierenden Wirbelschichtaschen; VGB Kraftwerkstechnik 69 (9), 1989.
- [107] STOLECKE, J.: Characteristics of industrial waste and its practical utilization in industry of building materials; TIZ International 117 (6), 1993.
- [108] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen (LRG-K), BGBl 1993/185, aus: Kodex Umweltrecht, 10. Auflage, Wien, 2001.
- [109] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT TECHNISCHER UMWELTSCHUTZ (HRSG.): Meßberichte zum Forschungsprojekt „Verwertung von Produktionsrestoffen/-abfällen in Wirbelschichtanlagen“, Wien, 1999-2001.
- [110] FRITZ, W.; KERN H.: Reinigung von Abgasen, 2. Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1990.
- [111] LORBER, K. E.: Entsorgungstechnik II, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben, Leoben, WS 1995/96.
- [112] RETSCH VERDER GMBH (HRSG.): Firmeninformation/Betriebsanleitung, Wien, 1996.
- [113] ERDWICH ZERKLEINERUNGSSYSTEME GMBH (HRSG.): Firmeninformation/Betriebsanleitung, Kaufering, 1998.

9.2 Verwendete Begriffe/Abkürzungen

.A.S.A.	Abfall Service Austria
°C	Grad Celsius
a	Jahr
A	Österreich
AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
abh.	abhängig
ABS	Alternativbrennstoff
Abs.	Absatz
AG	Arbeitsgruppe
AltSAG	Altlastensanierungsgesetz
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATS	Schilling
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
AWG-Brennstoff	Brennstoff aus Abfall gemäß dem Abfallbegriff des Abfallwirtschaftsgesetzes
BAB, BA-Brennstoff	Brennstoffe aus der Brennstoffaufbereitung
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
besch.	beschichtet
BGBI.	Bundesgesetzblatt
Bgl.	Burgenland
BM	Bettmaterial
BMUJF	Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
BMwA	Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten
BRAM	Brennstoff aus Müll
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
CEN	Europäisches Normungsinstitut
d.h.	das heißt
dgl.	dergleichen
DIN	Deutsche Industrienorm
DVO	Deponieverordnung
DWZ	Doppelwellenzerkleinerer
EDA	Eindampfanlage
EG	Europäische Gemeinschaft
EMAS	EG-Verordnung für das Umweltmanagement (Environmental Management and Audit Scheme)
EP	Einzelprobe
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
f	feucht
FA	Filterasche
FAV	Feuerungsanlagenverordnung
FFF	Forschungsförderungsfond für die gewerbliche Wirtschaft
FNA	Fachnormenausschuß
FS	Feuchtsubstanz
FTU	Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH
g	gasförmig, Gramm
GC	Gaschromatograph
Ges.m.b.H., GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GewO	Gewerbeordnung
ggf.	gegebenenfalls
GVK	Getränke Verbund Karton
h	Stunde
HMW	Halbstundenmittelwert
i.d.g.F.	In der gültigen Fassung
i.G.f.	im Genehmigungsverfahren festzulegen, wenn dieser Parameter für die abzulagernden Abfälle relevant ist
IED	Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik
IGM	Industrie und Gewerbemüll

IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISO	Internationale Standardisierungs Organisation
K	Kelvin
k	Korngröße
k. A.; k. Analyse	keine Analyse bzw. keine Angaben
k. F.	kein Fluß
kg	Kilogramm
kg/h	Kilogramm pro Stunde
kJ	Kilojoule
kWh	Kilowattstunde
lf.	leicht freisetzbar
LRG-K	Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen
LRV-K	Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen
lt.	laut
m	Meter
M.-%	Masseprozent
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
mbar	Millibar
MBR, MBRA, MBA	<u>M</u> echanisch- <u>b</u> iologische <u>R</u> estabfall- bzw. <u>A</u> bfallbehandlung
MBRVV	Mechanisch-Biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung
Me	Metall
Mg	Megagramm (Tonne)
mg	Milligramm
mind.	mindestens
MinRoG	Mineralrohstoffgesetz
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
MP	Mischprobe
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Megawatt
MW _{th}	Megawatt thermisch
n.v.	nicht verwendet
NE - Metalle	Nichteisen - Metalle
NE-Metallindustrie	Nichteisen - Metallindustrie
ng	Nanogramm
Nm ³	Normkubikmeter (bei 0 °C, 1.013 mbar)
Nr.	Nummer
NWG	Nachweisgrenze
o.a.	oben angeführt
ÖG-SET	Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger
ÖN	ÖNORM
ppm	parts per million
PPV	Papier- und Pappverarbeitende Industrie
rd.	rund
RDF	Refuse Derived Fuel
REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse, -spektroskopie
RHV	Reinhalteverband
RL	Richtlinie
RVL	Reststoffverwertung Lenzing
RVL-I Lenzing	RVL Reststoffverwertung Lenzing Invest GMBH
s	Sekunde
SNCR	selektive nichtkatalytische Reduktion (selective non-catalytic reduction)
SNr.	Schlüsselnummer
SWSK, SWS	Stationäre Wirbelschicht mit nachgeschaltetem Dampfkessel
TE	Toxizitätsäquivalente
TF	Task Force
tr	trocken
TS	Trockensubstanz
tw.	teilweise
TWSK, TWS	Turbo-Wirbelschichtkessel
u.a.	unter anderem
u.ä.	und Ähnliches
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
u.U.	unter Umständen

UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP-G	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
v.a.	vor allem
verw.	verwendet
vgl.	vergleiche
vH	von Hundert
Vol.-%	Volumsprozent
WS	Wirbelschicht
WT	Wärmetauscher
XRD	Röntgendiffraktion
Z	Ziffer
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit
λ	Luftzahl, stöchiometrisches Verhältnis der Verbrennungsluftmenge

9.3 Chemische Zeichen und Formeln

Ag	Silber
Al	Aluminium
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid
As	Arsen
B	Bor
Ba	Barium
Be	Beryllium
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calcit, Kalziumkarbonat
CaCO ₃ · MgCO ₃	Dolomit
CaF ₂	Kalziumfluorid
CaO	Calciumoxid
CaSO ₄	Calciumsulfat
Cd	Cadmium
CH ₄	Methan
Cl	Chlor
CN ⁻	Cyanid
CO	Kohlenmonoxid
Co	Kobalt
CO ₂	Kohlendioxid
C _{org.}	Gesamt-organischer Kohlenstoff
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
EOX	Extrahierbare organische Halogenverbindungen
F	Fluor
Fe	Eisen
Fe ₂ O ₃	Eisenoxid
GV	Glühverlust
H	Wasserstoff
HCl	Chlorwasserstoff
HF	Fluorwasserstoff
Hg	Quecksilber
HNCO	Cyansäure
H _o	oberer Heizwert, Brennwert (Verbrennungswert)
H _u	unterer Heizwert
K	Kalium
KOH	Kaliumhydroxid
KW	Kohlenwasserstoffe
Leitf.	Leitfähigkeit
Mg	Magnesium



MgO	Magnesiumoxid
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
N	Stickstoff
Na	Natrium
Na ₂ SiO ₃	Natriumsilikat
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH ₄ OH	Ammoniakwasser (Ammoniumhydroxid)
Ni	Nickel
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO _x	Stickstoffoxide
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Dioxine/Furane
PCP	Pentachlorphenol
PCT	polychlorierte Terphenyle
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PO ₄ ³⁻	Phosphat
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
S	Schwefel
Sb	Antimon
Se	Selen
Si	Silicium
SiO ₂	Quarz
Sn	Zinn
SO ₂	Schwefeldioxid
SO _x	Schwefeloxide
Tl	Thallium
TBS	Tetrapropylenbenzosulfonat
TOC	Total Organic Carbon
V	Vanadium
WG	Wassergehalt
Zn	Zink

9.4 Tabellen

		Seite
Tabelle 2.1:	Übersicht über die Rechtsgrundlagen für die Bewilligung einer Betriebsanlage zur (Mit-)Verbrennung von Abfällen bzw. Alternativbrennstoffen (ABS)	7
Tabelle 2.2:	Nationale und europäische Rechtsvorschriften zur Emissionsbegrenzung bei der Verbrennung von Abfällen und Altölen	8
Tabelle 2.3:	Beispiele für Rechtsvorschriften zur Begrenzung von Emissionen bei industriellen Feuerungsanlagen und Kraftwerken	9
Tabelle 3.1:	Anlagenkonzepte zur Mitverbrennung von Abfallbrennstoffen in konventionellen Industriekraftwerken	20



Tabelle 3.2:	Verfahrensvergleich thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Hinblick auf entscheidungsrelevanten Faktoren	25
Tabelle 3.3:	Konfektionierungsmaßnahmen für Haushaltsabfälle	30
Tabelle 3.4:	Zerkleinerungsrelevante Eigenschaften von Abfallfraktionen	32
Tabelle 4.1:	Rücklaufquote der Recherche über potentielle (Abfall-)Brennstoffe aufgeschlüsselt nach Branchen	48
Tabelle 4.2:	Zusammenstellung der Menge, Herkunft und der prognostizierten Verfügbarkeit verschiedener Abfallarten in Österreich	55
Tabelle 4.3:	Zusammensetzung von GVK, Bestandteile nach SNr. lt. ÖNORM S 2100	59
Tabelle 4.4:	Aggregatzustand und Stückigkeit bestimmter (Abfall-)Brennstoffe	62
Tabelle 4.5:	Darstellung physikalischer Parameter von Abfällen verglichen mit jenen fossiler Brennstoffe	63
Tabelle 4.6:	Vergleich von Schadstoffgehalten von Abfällen mit jenen fossiler Brennstoffe - auf den Energieinhalt bezogen	64
Tabelle 4.7:	Geplante thermische Abfallbehandlungsanlagen in Österreich	67
Tabelle 5.1:	Intern anfallende Produktionsreststoffe, die in den Jahren 1999 und 2000 thermisch behandelt und energetisch genutzt wurden	70
Tabelle 5.2:	Extern zugelieferte Brennmaterialien, die in den Jahren 1999 und 2000 thermisch behandelt und energetisch genutzt wurden	71
Tabelle 5.3:	Technische Daten der Wirbelschichtkessel der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H.	74
Tabelle 5.4:	Eingesetzte (Abfall-)Brennstoffe bei den Verbrennungsversuchen, Bezeichnung und Schlüsselnummer lt. ÖNORM S 2100	76
Tabelle 5.5:	Clusterung der Verbrennungsversuche gemäß den eingesetzten (Abfall-) Brennstoffen	77
Tabelle 5.6:	Input-Massenströme bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in $\text{kg}_{\text{feucht}}/\text{h}$ (Brennstoffe) bzw. $\text{kg}_{\text{TS}}/\text{h}$ (Betriebsmittel)	87
Tabelle 5.7:	Output-Massenströme bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in $\text{kg}_{\text{TS}}/\text{h}$	88
Tabelle 5.8:	Physikalische Eigenschaften der Standardbrennstoffe im Vergleich mit fossilen Brennstoffen	90
Tabelle 5.9:	Vergleich von Elementgehalten der Standardbrennstoffe mit jenen fossiler Brennstoffe- auf den Energieinhalt bezogen	91
Tabelle 5.10:	Zusammenstellung einiger physikalischer Eigenschaften der BA-Brennstoffe der einzelnen Cluster	93
Tabelle 5.11:	Zusammenfassung allgemeiner Parameter der BA-Brennstoffe der einzelnen Cluster	94
Tabelle 5.12:	Relative Abweichung der Filteraschemengen einzelner Cluster im Vergleich zu Cluster A, Angaben in M.-%	94
Tabelle 5.13:	Vergleich der Schadstoffgehalte der BA-Brennstoffgemische der Cluster mit jenen fossiler Brennstoffe - auf den Energieinhalt bezogen	95
Tabelle 5.14:	Beschreibung der Verbrennungsrückstände	97
Tabelle 5.15:	Schüttdichten der Aschen	97
Tabelle 5.16:	Oxidische Zusammensetzung der Verbrennungsrückstände, Angaben in M.-%	99
Tabelle 5.17:	Schadstoffgesamtgehalte in der Mischasche für die einzelnen Cluster, Angaben in $\text{mg}/\text{kg TS}$, PCDD/F in $\text{ng TE}/\text{kg TS}$	100

Tabelle 5.18:	Überschreitungen einstufigsrelevanter Parameter der Reststoffdeponiegrenzwerte durch die Mischasche	100
Tabelle 5.19:	Schadstoffgesamtgehalte in den Bettmaterialien, Mittelwert aus den einzelnen Verbrennungsversuchen, Angaben in mg/kg TS	101
Tabelle 5.20:	Vergleich der Mittelwerte der Schadstoffgesamtgehalte in den Filteraschen und dem Bettmaterial, Angaben in mg/kg TS	102
Tabelle 5.21:	Emissionsgrenzwerte für den abfallrechtlichen Versuchsbetrieb der Firma Funder Industrie Ges.m.b.H. im Vergleich mit den Grenzwerten für Müllverbrennungsanlagen lt. LRG-K, Angaben in mg/Nm ³ , PCDD/F in ng TE/Nm ³	102
Tabelle 5.22:	Emissionen bei den einzelnen Verbrennungsversuchen im Vergleich zu den bescheidgemäßen Grenzwerten, Angaben in mg/Nm ³ , PCDD/F in ng TE/Nm ³	103
Tabelle 5.23:	Auswirkungen der Zugabe von Sorbalit auf Dioxin- und Furanemissionen, Angaben in ng TE/kg TS bzw. in %	105
Tabelle 5.24:	Wasser: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)	111
Tabelle 5.25:	Kohlenstoff: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)	112
Tabelle 5.26:	Chlor: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)	112
Tabelle 5.27:	Blei: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)	113
Tabelle 5.28:	Zink: Input und Output der einzelnen Cluster (Angaben in M.-%)	114
Tabelle 5.29:	Schadstoffgesamtgehalte des Wirbelschichtsand/Bettmaterials, Angaben in mg/kg TS	117
Tabelle 5.30:	Matrix von Korrelationskoeffizienten ausgewählter Parameter	118
Tabelle 6.1:	Zusammenfassung der qualitativen betriebswirtschaftlichen Konsequenzen der Mitverbrennung in der Kesselanlage der Funder Industrie Ges.m.b.H.	124

9.5 Abbildungen

	Seite	
Abbildung 1.1:	Entwicklung des Ölpreises in den letzten Jahren in US\$/barrel	2
Abbildung 2.1:	Entwicklung des Altlastenbeitrages	5
Abbildung 3.1:	Verfahrensprinzip der stationären Wirbelschicht	15
Abbildung 3.2:	Verfahrensprinzip der zirkulierenden (oder schnellen) Wirbelschicht	16
Abbildung 3.3:	Verfahrensprinzip der Turbowirbelschicht	17
Abbildung 3.4:	Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Österreich, verfahrensbezogen (Bezugsjahr: 2000)	44
Abbildung 3.5:	Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtanlagen in Österreich	45
Abbildung 3.6:	Thermische Behandlung von Abfällen und Reststoffen in Wirbelschichtanlagen in Österreich, abfallbezogen (Bezugsjahr: 2000)	46
Abbildung 4.1:	Stoffliche Zusammensetzung von Abfällen der SNr.: 17213	57
Abbildung 4.2:	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwolke, durch organische Chemikalien verunreinigt	58
Abbildung 4.3:	Eisenbahnschwellen	58
Abbildung 4.4:	Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	59

Abbildung 4.5:	Stoffliche Zusammensetzung der Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Getränkeverbundkarton)	60
Abbildung 4.6:	Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung (Getränkeverbundkarton (GVK))	60
Abbildung 4.7:	Getrockneter industrieller Klärschlamm	61
Abbildung 4.8:	Zusammensetzung von Siebüberläufen aus einer MBRA	61
Abbildung 4.9:	Korrelation unterer Heizwert [H_u in kJ/kg FS] und Cl-Gehalt [mg/kg FS]	64
Abbildung 4.10:	Thermische Behandlung von Abfällen in Österreich, branchenbezogen (Prognose für das Jahr 2004)	67
Abbildung 4.11:	Thermische Behandlung von Abfällen in Österreich, abfallbezogen	68
Abbildung 5.1:	Vereinfachtes Blockschaltbild der Brennstoffaufbereitung der Funder Industrie Ges.m.b.H.	70
Abbildung 5.2:	Vereinfachtes Blockschaltbild der Anlagen im Kesselhaus der Funder Industrie Ges.m.b.H.	72
Abbildung 5.3:	Projektschema: „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“	75
Abbildung 5.4:	Beprobungsschema – Brennstoffe	78
Abbildung 5.5:	Beprobungsschema - Verbrennungsrückstände/Betriebsmittel	81
Abbildung 5.6:	Feststoffmassenströme der Wirbelschichtprozesse	85
Abbildung 5.7:	Zusammensetzung der Fraktion Bettmaterial grob (> 4 mm)	86
Abbildung 5.8:	Massenbilanz der Wirbelschichtprozesse	88
Abbildung 5.9:	Durchschnittlicher Filteraschenanfall bei der Verwendung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe	95
Abbildung 5.10:	Korngrößenverteilung der Filteraschen	98
Abbildung 5.11:	Bilanzraum für die Stoffbilanzen	106
Abbildung 5.12:	Input/Output-Verhältnis der Frachten einzelner Elemente bei den Verbrennungsversuchen	107
Abbildung 5.13:	Gutstrombezogener Input der einzelnen Elemente	109
Abbildung 5.14:	Gutstrombezogener Output der einzelnen Elemente	110
Abbildung 5.15:	Stoffbilanz für Wasser, Cluster A (Gesamtinputfracht 10,6 t/h)	111
Abbildung 5.16:	Elementbilanz für Chlor, Cluster B (Gesamtinputfracht 4,2 kg/h)	113
Abbildung 5.17:	Korrelation: Staub- bzw. Schwermetallemission und Kohlenstoffinput	118
Abbildung 5.18:	Korrelation: HCl- bzw. PCDD/F-Emission und Chlor-Inputfracht	119
Abbildung 5.19:	Korrelation: Verbrennungstemperatur und PCDD/F-Konzentrationen (mit und ohne Sorbalitadditivierung) am SWSK	120
Abbildung 6.1:	Stärken/Schwächen – Profil hinsichtlich der Mitverbrennung verschiedener (Abfall-)Brennstoffe	123

Anhang

Anhang A: Allgemeine Informationen zum Forschungsprojekt „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“

Tabelle A.1: Brennstoffrezepturen und Brennstoffgesamtmengen der Null- (Referenz-)versuche, Angaben in M.-%

Brennstoff	SNr.	TWSK			SWSK		
		1/0	2/0	7/0	1/0	2/0	7/0
Abluft Lackieranlage	-	0,2	0,2	0,2	-	-	-
Schleifstaub	17104	6,5	6,4	9,4	-	-	-
Konzentrat	94801	9,0	10,5	13,9	-	-	-
Rinde/Stifte	17101/ 17103	30,2	29,2	29,4	39,2	38,5	40,6
Holzabfälle, nicht verunreinigt	17201	37,7	29,2	12,5	49,0	38,5	17,2
Faser-/Spanplatten, unbeschichtet	17100/ 17115	9,1	17,5	5,6	11,8	23,0	7,7
Klärschlamm	94302	4,6	6,0	3,9	-	-	-
Holzabfälle, belastet	17213	-	-	12,5	-	-	17,2
Bahnschwellen	17207	-	-	2,8	-	-	3,8
Leichtfraktion aus der Verpackungssammlung	vgl. Tabelle 4.3	-	-	7,8	-	-	10,8
Faserstoff (6/1) / Isosport + Papier (7/0)	-	-	-	2,0	-	-	2,7
Heizöl	-	2,7	1,0	-	-	-	-
Gesamtmenge [kg/h]		11.042	10.064	9.774	6.080	3.898	4.479
zugeführte Wärmemenge [MJ/h]		92.736	88.517	112.469	45.674	33.988	55.031
Feuchtigkeit [kg/h]		5.380	4.037	3.595	3.189	1.570	1.593

Tabelle A.2: Brennstoffrezepturen und Brennstoffgesamtmengen des TWSK bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in M.-%

Brennstoff	SNr.	TWSK							
		1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	8/1	9/1
"Standardbrennstoffe"									
Abluft Lackieranlage	-	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Schleifstaub	17104	4,0	8,1	8,6	11,9	6,0	9,0	9,7	9,0
Konzentrat	94801	11,4	11,8	8,8	11,9	13,8	13,9	14,6	14,1
"Bisher eingesetzte Brennstoffe"									
Rinde/Stifte	17101/17103	-	-	8,1	-	18,1	16,3	17,5	15,4
Holzabfälle, nicht verunreinigt	17201	-	-	-	24,7	30,7	13,8	-	26,2
Faser-/Spanplatten, unbeschichtet	17100/17115	-	8,6	6,2	7,4	13,7	6,2	13,3	5,8
Klärschlamm	94302	7,2	6,6	-	4,7	3,9	5,1	-	7,6
"AWG-Brennstoffe"									
Holzabfälle, belastet	17213	59,3	43,2	34,6	8,2	-	14,4	-	-
Leichtfr. aus der Verpackungssammlung	vgl. Tabelle 4.3	-	-	-	-	4,8	13,0	-	-
Versuchsbrennstoff	vgl. Tabelle 5.4	17,8	21,5	33,4	30,9	8,8	8,1	44,5	15,3
Gesamtmenge [kg/h]		10.380	9.057	10.075	7.582	10.129	10.034	8.899	10.512
zugef. Wärmemenge [MJ/h]		96.703	94.661	88.985	85.029	95.018	104.496	94.519	103.969
Feuchtigkeit [kg/h]		3.895	2.818	3.582	2.369	4.126	3.812	2.853	4.143

Tabelle A.3: Brennstoffrezepturen und Brennstoffgesamtmengen des SWSK bei den Verbrennungsversuchen, Angaben in M.-%

Brennstoff	SNr.	SWSK							
		1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	8/1	9/1
"Standardbrennstoffe"									
Abluft Lackieranlage	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schleifstaub	17104	-	-	-	-	-	-	4,9	4,5
Konzentrat	94801	-	-	-	-	-	-	-	-
"Bisher eingesetzte Brennstoffe"									
Rinde/Stifte	17101/17103	-	-	9,9	-	23,8	22,7	22,1	21,5
Holzabfälle, nicht verunreinigt	17201	-	-	-	34,7	40,4	19,3	-	36,4
Faser-/Spanplatten, unbeschichtet, Faserstoff	17100/17115	-	11,7	7,5	10,3	18,0	19,8	16,7	8,1
"AWG-Brennstoffe"									
Holzabfälle, belastet	17213	77,0	58,8	42,1	11,6	-	-	-	-
Leichtfr. aus der Verpackungssammlung	vgl. Tabelle 4.3	-	-	-	-	6,3	18,1	-	-
Versuchsbrennstoff	vgl. Tabelle 5.4	23,0	29,4	40,5	43,3	11,5	20,1	56,2	21,3
Gesamtmenge [kg/h]		4.539	2.835	3.935	2.275	4.669	4.335	4.071	3.825
zugef. Wärmemenge [MJ/h]		47.482	32.251	32.546	26.443	45.278	47.492	44.046	43.571
Feuchtigkeit [kg/h]		1.472	803	1.508	751	1.814	1.539	1.236	1.388



Tabelle A.4: Art bzw. Zuverlässigkeit der Erfassung der Massenströme sowie qualitative Auswirkungen auf die Bilanzierungen

Bezeichnung Gutstrom		Art der Massenerfassung	mögliche Abweichung	Auswirkung auf die Bilanzen	
Input	TWSK	Konzentrat	Anlagenaufzeichnung in l/h ⇒ Umrechnung über Dichte	+/- 20 %	gering
		Schleifstaub	Anlagenaufzeichnung der Schneckendrehzahl ⇒ Korrelation	+/- 10 %	gering
		Klärschlamm	Anlagenaufzeichnung in kg/h und Messung im Bunker	+/- 20 %	gering
		Heizöl	Anlagenaufzeichnung in kg/h	+/- 5 %	gering
		BA-Brennstoff	Wiegebandmessung in kg/h	+/- 5 %	groß
		Starkgas	als konstant angenommen, aus Ökobilanz	+/- 15 %	keine
		Sand	Anlagenaufzeichnung des Siloniveaus, Schüttdichte	+/- 5 %	gering
		Dolomit	Anlagenaufzeichnung des Siloniveaus, Schüttdichte	+/- 5 %	mittel
	Verbrennungsluft	Anlagenaufzeichnung in Nm ³ /h	groß	keine	
	SWSK	BA-Brennstoff	indirekt aus der Kesselleistung, Wirkungsgrad, H _u ; bzw. ab Versuch 8/1 mit Wiegeband	+/- 10 % bzw. 5 %	groß
		Sand	Anlagenaufzeichnung der Senderanzahl, Schüttdichte	+/- 5 %	gering
		Dolomit	Anlagenaufzeichnung der Senderanzahl, Schüttdichte	+/- 5 %	mittel
		Verbrennungsluft	Anlagenaufzeichnung in Nm ³ /h	groß	keine
Output	TWSK	Bettmaterial grob	nicht berücksichtigt, gravimetrische Erfassung ab Versuch 5/1	+/- 5 %	gering
		Bettmaterial fein	Angabe Funder bzw. Anlagenaufzeichnung der Senderanzahl, Schüttdichte	+/- 5 %	gering
		Elektrofilterasche	Anlagenaufzeichnung der Senderanzahl, Schüttdichte, Aschebilanz	+/- 5 %	groß
	SWSK	Bettmaterial grob	nicht berücksichtigt; gravimetrische Erfassung ab Versuch 5/1	+/- 5 %	gering
		Bettmaterial fein	Angabe Funder	+/- 5 %	gering
		Gewebefilterasche	Anlagenaufzeichnung der Senderanzahl, Schüttdichte, Aschebilanz	+/- 5 %	mittel
	Rauchgas	Messungen FTU in Nm ³ /h	groß	gering	

Tabelle A.5: Analysenprogramm im Forschungsprojekt „Verwertung von Produktionsabfällen/-reststoffen in Wirbelschichtprozessen“

Analyseparameter	Abfall	Brennstoff	EDA-Konzentrat	WS-Aschen Gesamtgehalt	Aschen 2.-Kesselzug Gesamtgehalt ¹⁾	Betriebsmittel	Filteraschen Gesamtgehalt	Filteraschen Eluat
Allgemeine Parameter:								
H _g , H _o	x	x	x					
H	x	x	x					
N	x	x	x					
C	x	x	x					
WG	x	x	x					
GV	x	x						
Stoffbilanzen								
Cl	x	x	x	x	x	x	x	
F	x	x	x	x	x	x	x	
S _{ges.}	x	x	x	x	x	x	x	
As	x	x	x	x	x	x	x	x
Cd	x	x	x	x	x	x	x	x
Co	x	x	x	x	x	x	x	x
Cr _{ges.}	x	x	x	x	x	x	x	x
Cu	x	x	x	x	x	x	x	x
Hg	x	x	x	x	x	x	x	x
Ni	x	x	x	x	x	x	x	x
Pb	x	x	x	x	x	x	x	x
Sn	x	x	x	x	x	x	x	x
Zn	x	x	x	x	x	x	x	x
zusätzliche Parameter (Metalle):								
Ag								x
Al								x
B	x	x (vereinzelt)	x (vereinzelt)	x	x			
Ba	x	x (vereinzelt)	x (vereinzelt)	x	x		x	x
Be	x	x (vereinzelt)	x (vereinzelt)					
Cr, VI								x
Fe								x
Mn	x	x	x	x	x	x	x	
Mo	x	x (vereinzelt)	x (vereinzelt)				x	
Sb	x	x	x	x	x	x	x	
Se	x	x (vereinzelt)	x (vereinzelt)				x	
Tl	x	x	x	x	x	x	x	
V	x	x	x	x	x	x	x	
organische Parameter:								
Σ (PCB/PCT)	x	x	x (vereinzelt)					
PCP	x	x	x					
TOC				x	x		x	x
KW				x	x		x	x
PAK				x	x		x	
PCDD/F							x (nach Abklärung)	
Parameter (Schadstoffgehalte) im Eluat								
pH								x
Leitfähigkeit								x
Abdampfdruckstand								x
Ammonium								x
Cyanide, lf.								x
Fluorid								x
Nitrat								x
Nitrit								x
Phosphat								x
EOX								x
TBS								x
Prozeß- und verwertungsbedingte Parameter								
Ca				x	x	x		
K				x	x	x		
Mg	x	x	x	x	x	x	x	
Na	x	x	x	x	x	x		
Si							x	
Dolomitanteil				x	x	x	x	
Al ₂ O ₃				x	x	x	x	
CaCl ₂							x	
CaO				x	x	x	x	
CaCO ₃				x	x	x	x	
Fe ₂ O ₃				x	x	x	x	
MgO				x	x	x	x	
MgCO ₃				x	x	x	x	
SiO ₂				x	x	x	x	

1) Aufgrund der mengenmäßigen Irrelevanz wurde dieser Gutstrom nicht beprobt bzw. analysiert.



Tabelle A.6: Verwendete Analysenverfahren

Parameter	Norm/Jahr	Probenvorbereitung	Analysenmethode
Summe KW fest (FTIR)	ISO/TR 11046 (part A) DIN 38 409-H18	Extraktion mit Trichlortrifluoethan und Reinigung über Aluminiumoxid	FTIR
Summe KW flüssig (FTIR)	DIN 38409-18/1981	Extraktion mit Trichlortrifluoethan und Reinigung über Aluminiumoxid	FTIR
AOX flüssig	DIN EN 1485 9/1996	Adsorption an Aktivkohle	Coulomat
AOX fest	DIN 38414-17 11/1989	Adsorption an Aktivkohle	Coulomat
EOX flüssig	DIN 38409-8 /1984	Extraktion mit Hexan	Coulomat
TOC flüssig (Direktmethode)	EN 1484 8/1997	Vorbehandlung mit HCl	Verbrennung im Sauerstoff- strom und IR-Detektion
TOC fest (Direktmethode)	Entwurf EN 13137 3/1998	Vorbehandlung mit HCl	Verbrennung im Sauerstoff- strom und IR-Detektion
Schwefel, S	DIN 51724 ÖNORM C 1140 ÖNORM EN 41	keine	Verbrennung im Sauerstoff- strom und IR-Detektion
Ammonium (flüssig)	DIN 38406-5 10/1983	keine	UV/VIS-Photometer
Chlor im Verbrennungs- rohr	DIN 51727/1976 Önorm G 1075/1992 ISO 352/1981	Verbrennung im Sauerstoffstrom und Absorption in Perhydrol/Natrium- hydroxid-Lsg.	Ionenchromatografie
Fluor im Verbrennungs- rohr	DIN 51723/1988	Verbrennung im Sauerstoffstrom und Absorption in Perhydrol/Natrium- hydroxid-Lsg.	Ionenchromatografie
Cr VI	DIN 38405-24 5/1987		UV/VIS-Photometer
Trocken- rückstand	DIN 38414-2 11 ÖNORM M 6270		
Wassergehalt	DIN 38414-2 11 ÖNORM M 6270		
Glühverlust	DIN 38414-3 11/1985 ÖNORM M 6295 10/1993		
pH-Wert	flüssig: DIN 38404-5 1/1984 fest: DIN EN 12176 6/1998		
Abdampf- rückstand	DIN 38409-1 1/1987		
elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888/1993		
abfiltrierbare Stoffe	DIN 38409-2 3/1987		
absetzbare Stoffe	DIN 38409-9 7/1980		
Aluminium, Al	DIN 38406-25	Mikrowelle	AAS
Antimon, Sb	DIN 38 405-18	Mikrowelle	AAS
Arsen, As	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Barium, Ba	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Beryllium, Be	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Blei, Pb	ÖNORM M 6617 DIN 38406-6	Mikrowelle	AAS
Calcium, Ca	Entwurf ÖNORM EN ISO 7980	Mikrowelle	AAS
Cadmium, Cd	ÖNORM M 6617	Mikrowelle	AAS
Chrom, Cr	DIN 38406-10	Mikrowelle	AAS
Cobalt, Co	ÖNORM M 6617	Mikrowelle	AAS
Kalium, K	DIN 38406-13	Mikrowelle	AAS
Kupfer, Cu	ÖNORM M 6617 DIN 38406-22	Mikrowelle	AAS
Eisen, Fe	Entwurf ÖNORM EN ISO 7980	Mikrowelle	AAS
Magnesium, Mg	ÖNORM M 6617	Mikrowelle	AAS
Mangan, Mn	DIN 38406-10	Mikrowelle	AAS
Molybdän, Mo	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Natrium, Na	DIN 38406-13	Mikrowelle	AAS
Nickel, Ni	DIN 38406-11	Mikrowelle	AAS
Quecksilber, Hg	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Selen, Se	interne Methode	Mikrowelle	AAS



Parameter	Norm/Jahr	Probenvorbereitung	Analysenmethode
Silber, Ag	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Tellur, Te	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Thallium, Tl	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Vanadium, V	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Zinn, Sn	interne Methode	Mikrowelle	AAS
Zink, Zn	DIN 38406-8	Mikrowelle	AAS
Brennwert Ho	DIN 51900 11/1989	keine	Kalorimeter
Barium, Ba (Eluat)	interne Methode		Ionenchromatografie
AT ₄	DIN EN 1899-2 5/1998	keine	Respirometer
BSB ₅	DIN EN 1899-2 5/1998	keine	Respirometer
Chlorid (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Fluorid (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Jodid (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Nitrat (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Nitrit (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Sulfat (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Sulfit (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Phosphat (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
CN If (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Sulfid (Eluat)	ISO 10304	Filtration < 0,45 µm	Ionenchromatografie
Summe 6 PAK (fest)	DIN 38414-21	Soxhlet-Extraktion und Reinigung über Silicagel	HPLC
Summe 6 PAK (flüssig)	DIN 38414-21	Soxhlet-Extraktion und Reinigung über Silicagel	HPLC
Summe 15 PAK (fest)	DIN 38414-21	Soxhlet-Extraktion und Reinigung über Silicagel	HPLC
Summe 15 PAK (flüssig)	DIN 38414-21	Soxhlet-Extraktion und Reinigung über Silicagel	HPLC
Chlor in brennbaren Proben	ISO 10304	Kalorimeternaufschluß	Ionenchromatografie
Fluor in brennbaren Proben	ISO 10304	Kalorimeternaufschluß	Ionenchromatografie
Schwefel in brennbaren Proben	ISO 10304	Kalorimeternaufschluß	Ionenchromatografie
CSB	DIN 38409-41 12/1980	keine	naßchemisch
PCB mit GC	DIN 51 527-1	Soxhlet-Extraktion mit Reinigung	GC
PCP	Interne Methode	Soxhlet-Extraktion mit Reinigung	GC

Abbildung A.1: Schema der Brennstoffaufbereitung der Funder Industrie Ges.m.b.H.



Abbildung A.2: Grundfließschema Kesselhaus mit Meß- und Probenahmestellen



Anhang B: Fotodokumentation**Abbildung B.1: Brennstoffbeprobung mit Doppelwellenzerkleinerer (DWZ)****Abbildung B.2: Probenteilung mit Mischkreuzverfahren**



Abbildung B.3: BA-Brennstoff: Cluster C



Abbildung B.4: BA-Brennstoff: Cluster D (3/1)



Abbildung B.5: BA-Brennstoff: Cluster D (5/1)



Abbildung B.6: BA-Brennstoff: Cluster D (9/1)



Abbildung B.7: BA-Brennstoff: Cluster E



Abbildung B.8: BA-Brennstoff: Cluster F

Anhang C: Stoffbilanzen für die in Cluster zusammengefaßten Verbrennungsversuche

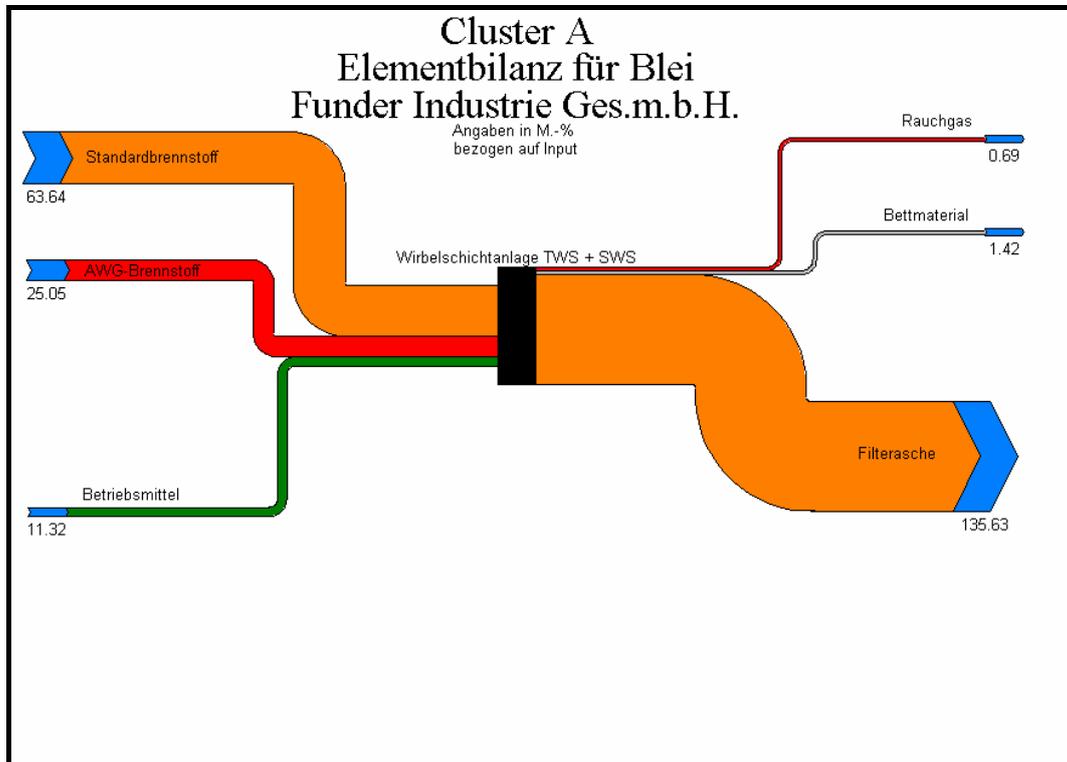


Abbildung C.1: Stoffbilanz für Blei: Cluster A (Gesamtinputstrom: 0,26 kg/h)

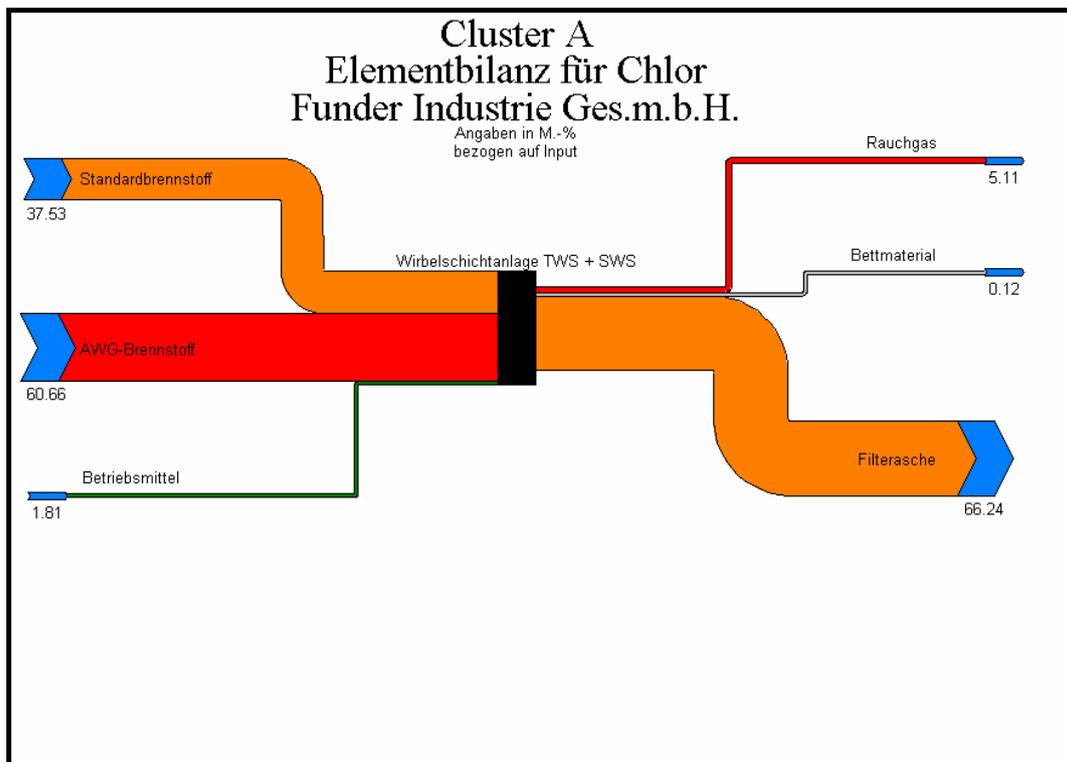


Abbildung C.2: Stoffbilanz für Chlor: Cluster A (Gesamtinputstrom: 10,62 kg/h)



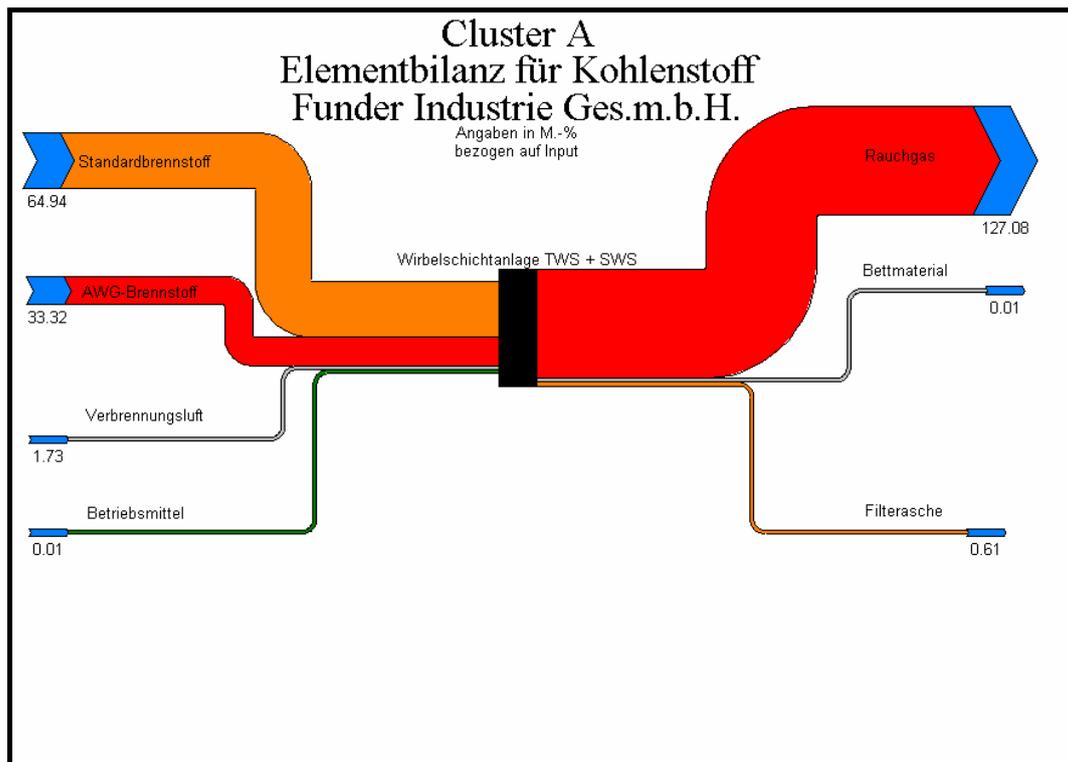


Abbildung C.3: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster A (Gesamtinputstrom: 4,6 t/h)

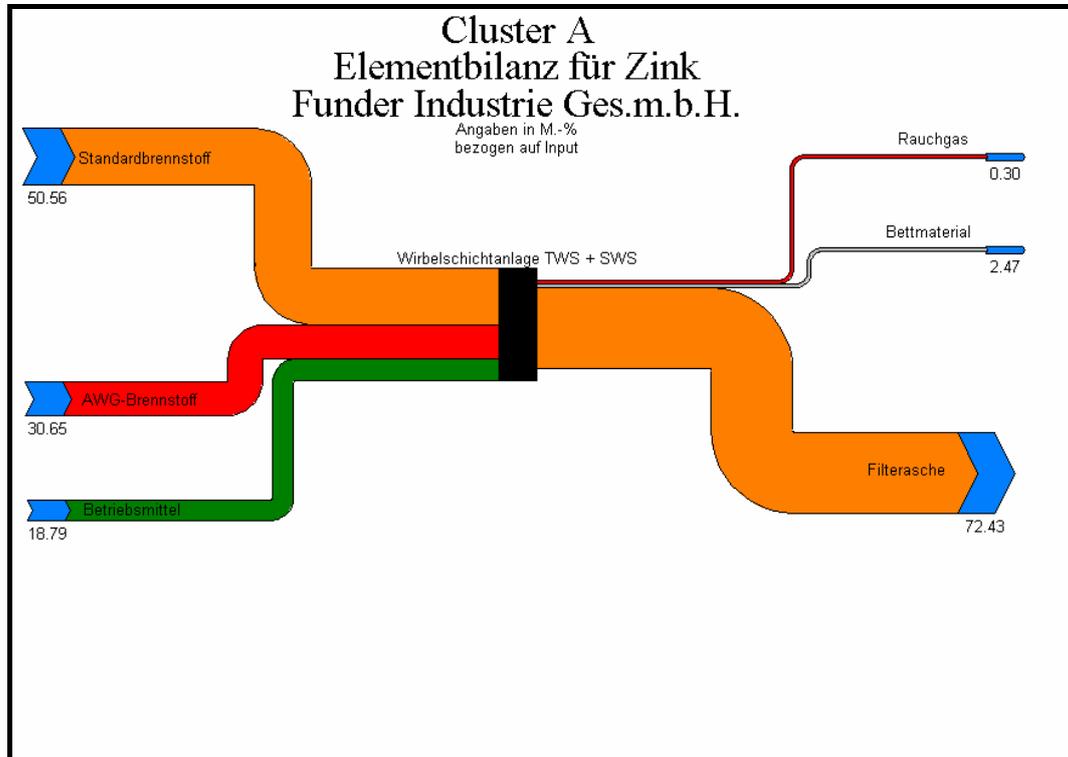


Abbildung C.4: Stoffbilanz für Zink: Cluster A (Gesamtinputstrom: 1,70 kg/h)



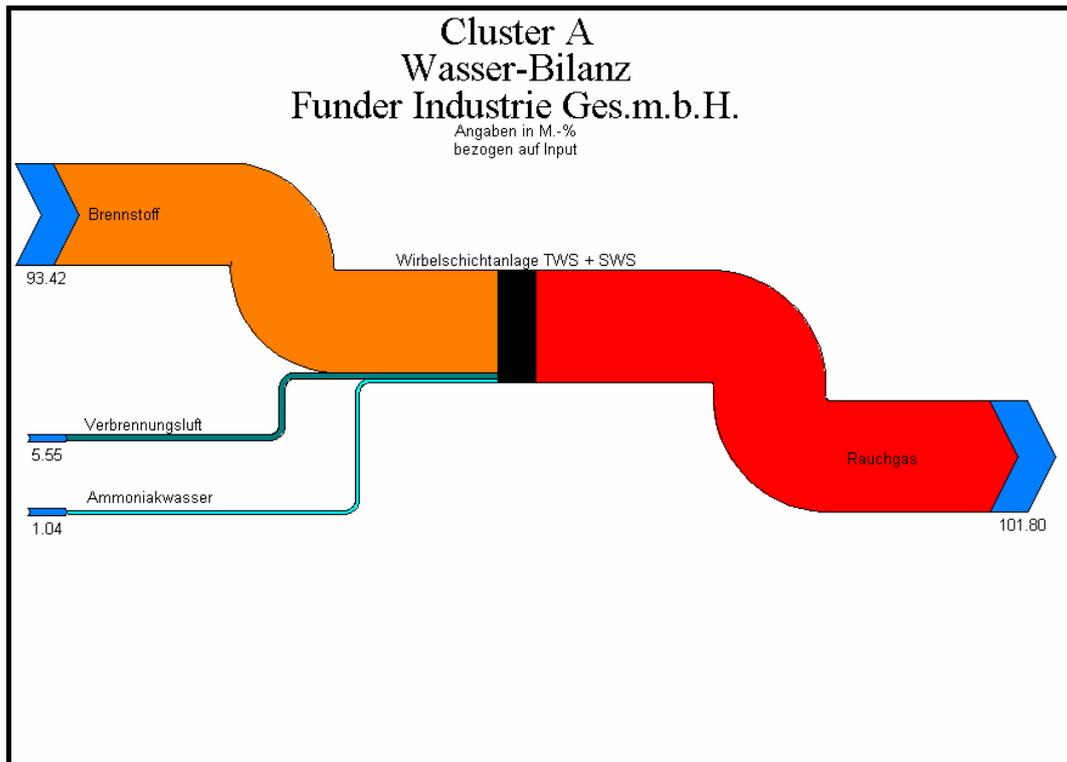


Abbildung C.5: Stoffbilanz für Wasser: Cluster A (Gesamtinputstrom: 10,6 t/h)

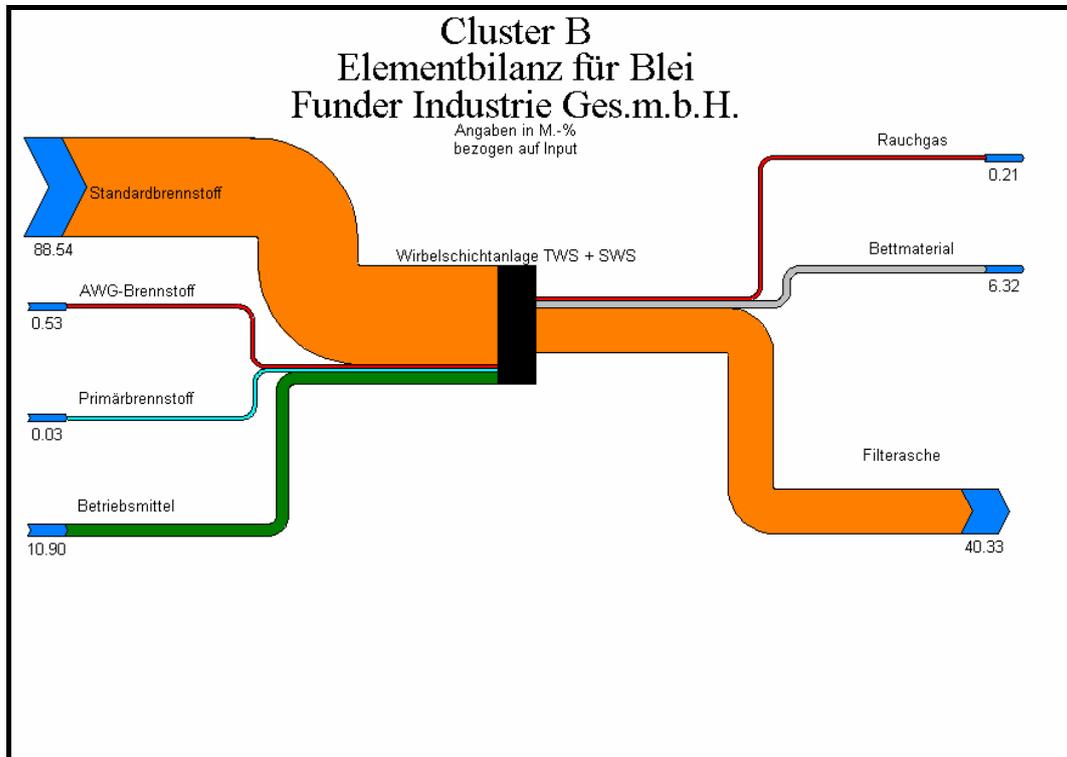


Abbildung C.6: Stoffbilanz für Blei: Cluster B (Gesamtinputstrom: 1,08 kg/h)

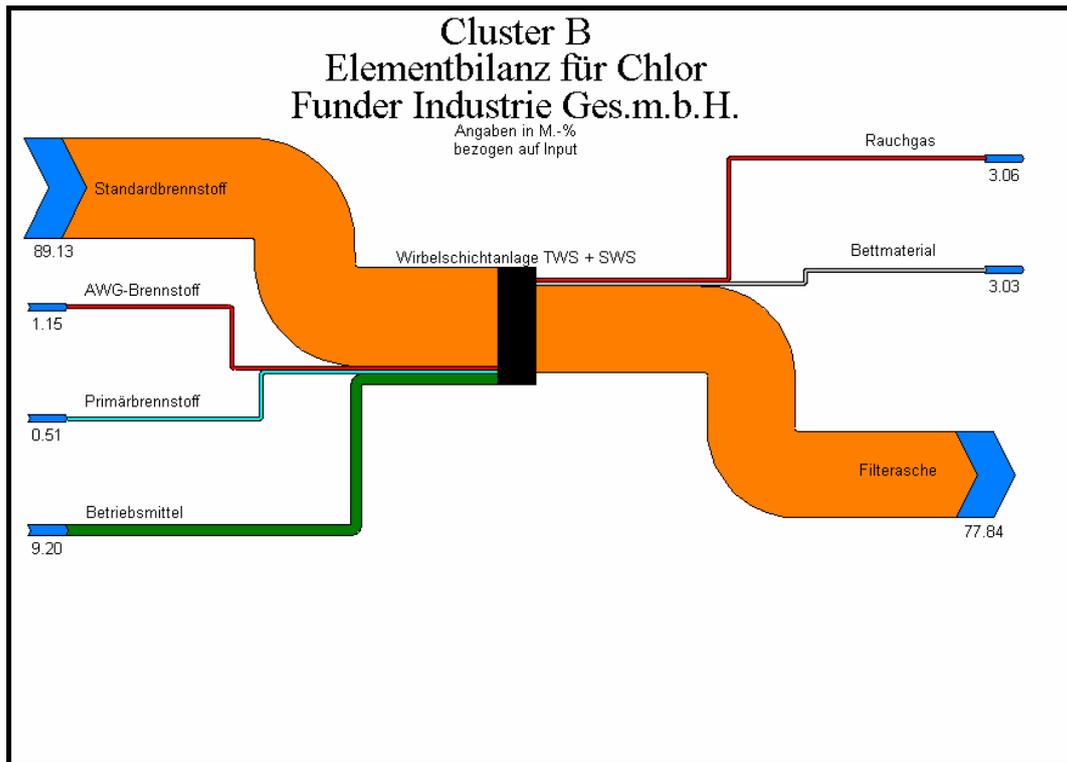


Abbildung C.7: Stoffbilanz für Chlor: Cluster B (Gesamtinputstrom: 4,24 kg/h)

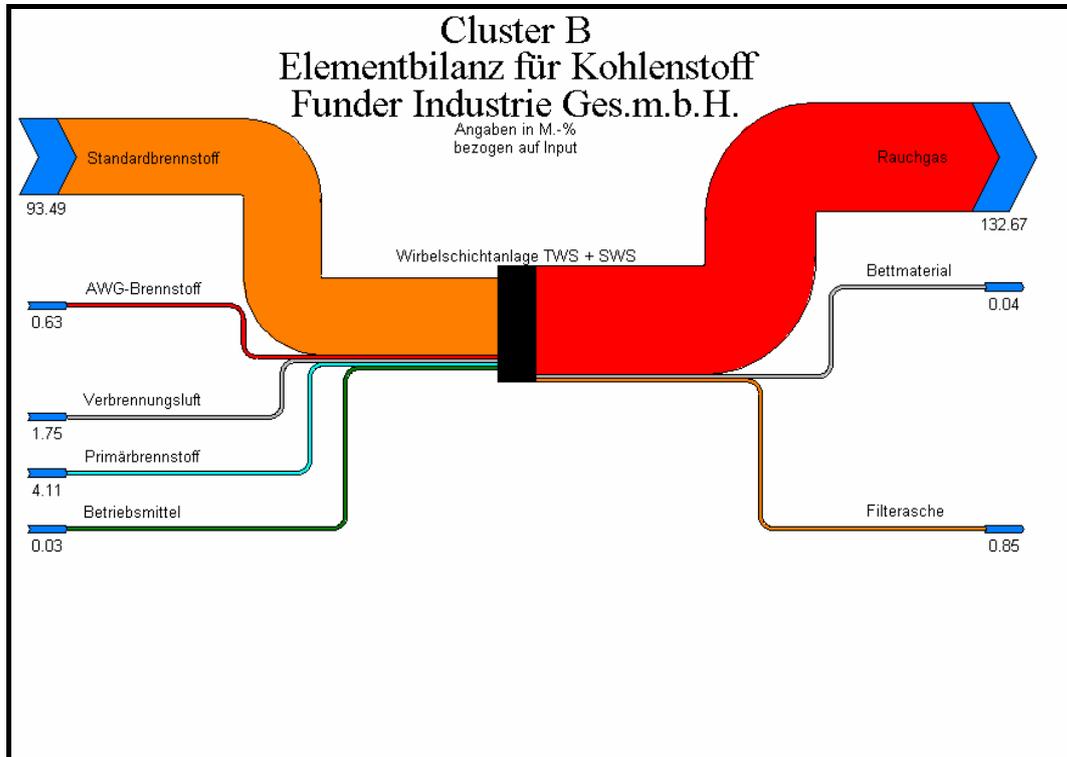


Abbildung C.8: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster B (Gesamtinputstrom: 4,3 t/h)

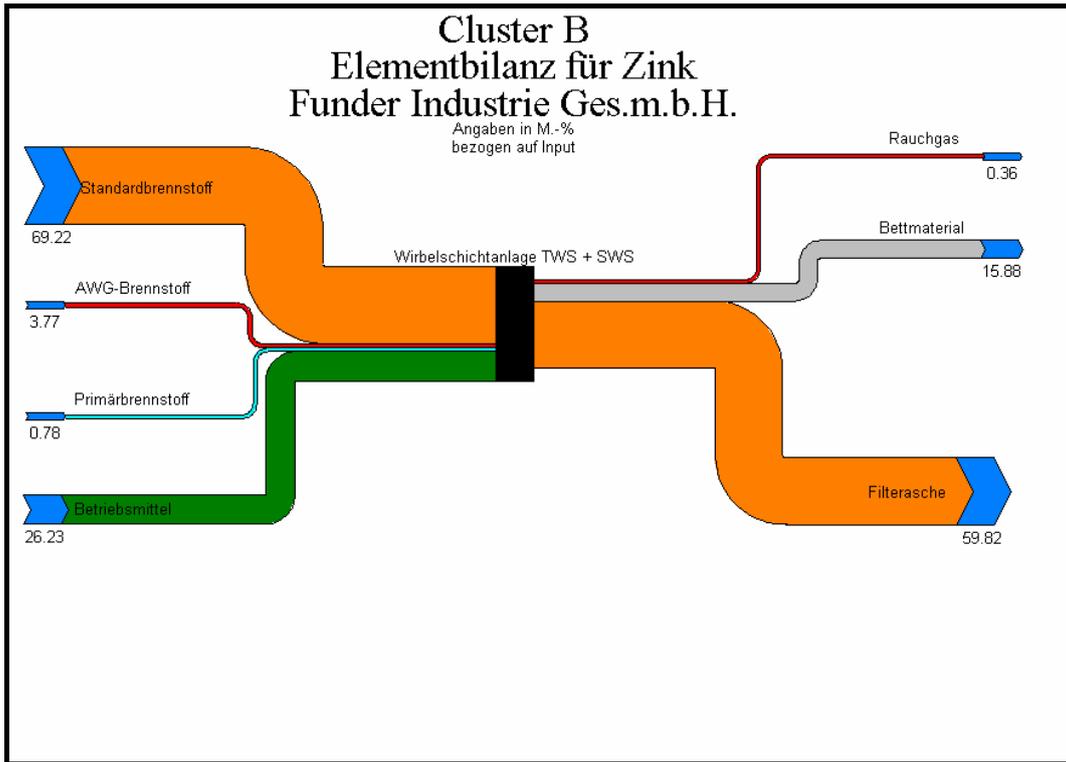


Abbildung C.9: Stoffbilanz für Zink: Cluster B (Gesamtinputstrom: 1,83 kg/h)

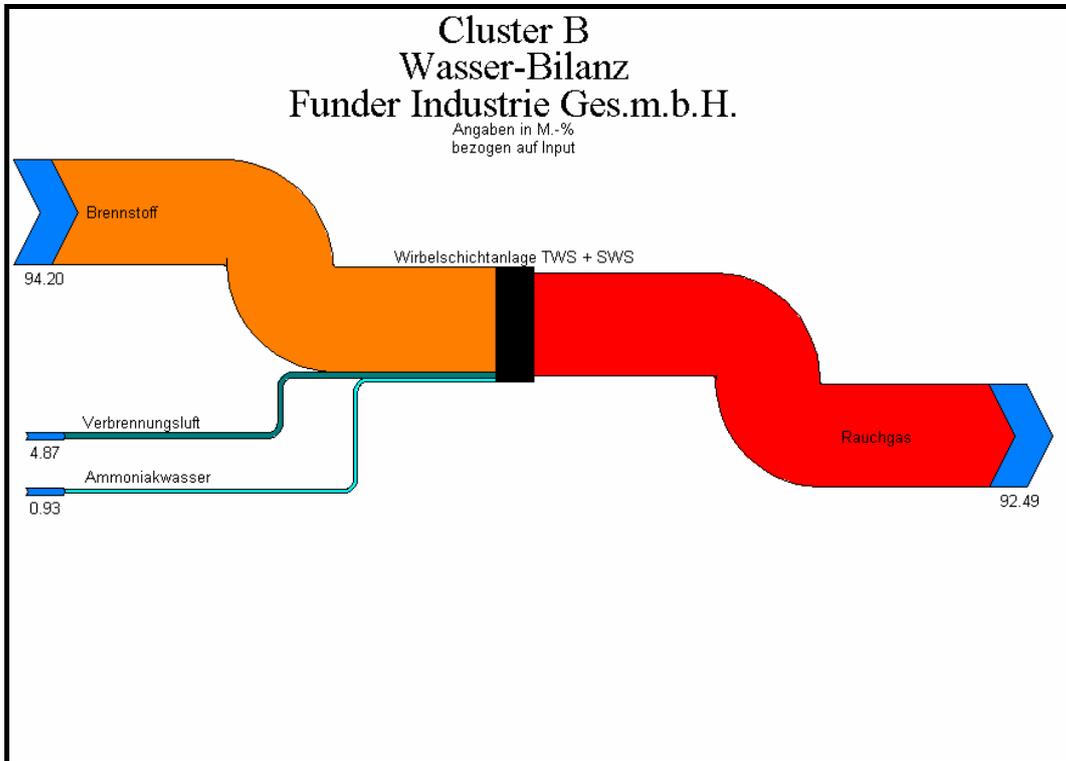


Abbildung C.10: Stoffbilanz für Wasser: Cluster B (Gesamtinputstrom: 11,7 t/h)

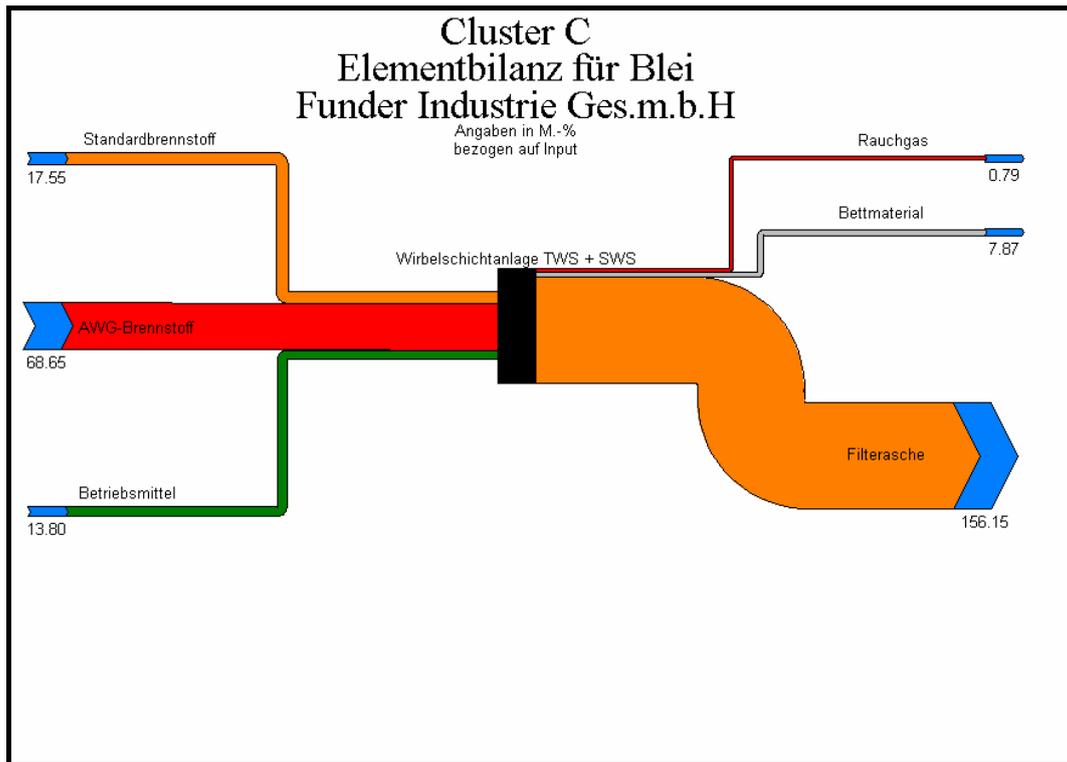


Abbildung C.11: Stoffbilanz für Blei: Cluster C (Gesamtinputstrom: 0,63 kg/h)

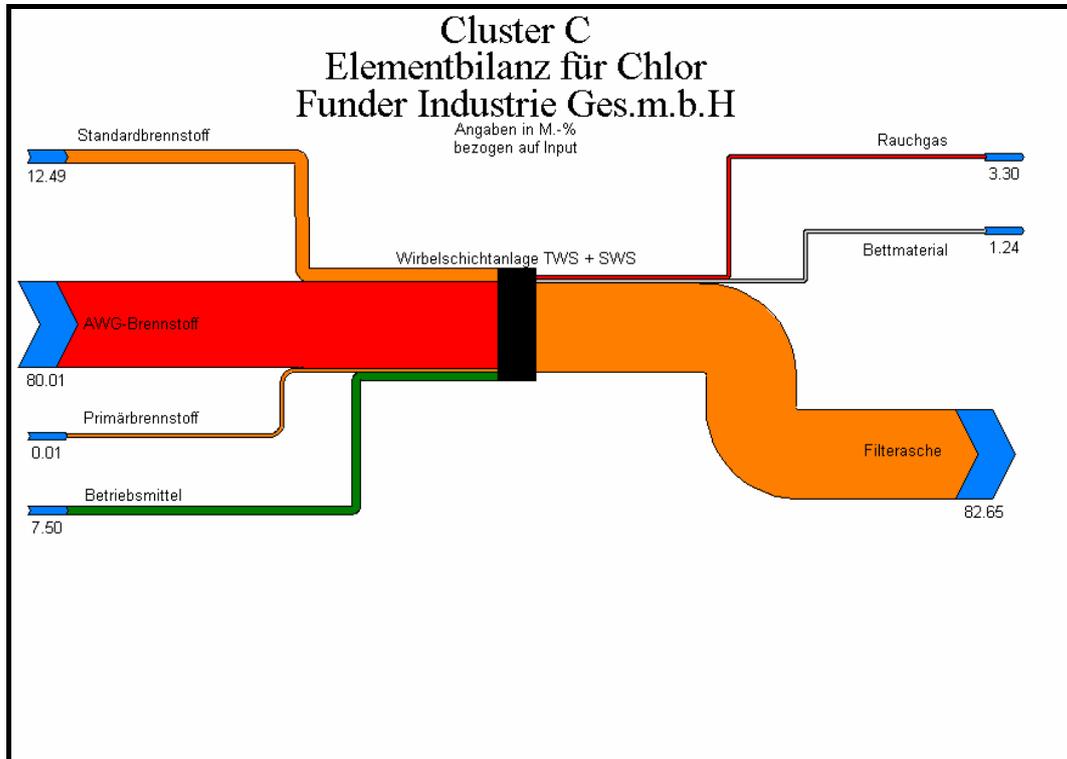


Abbildung C.12: Stoffbilanz für Chlor: Cluster C (Gesamtinputstrom: 5,37 kg/h)



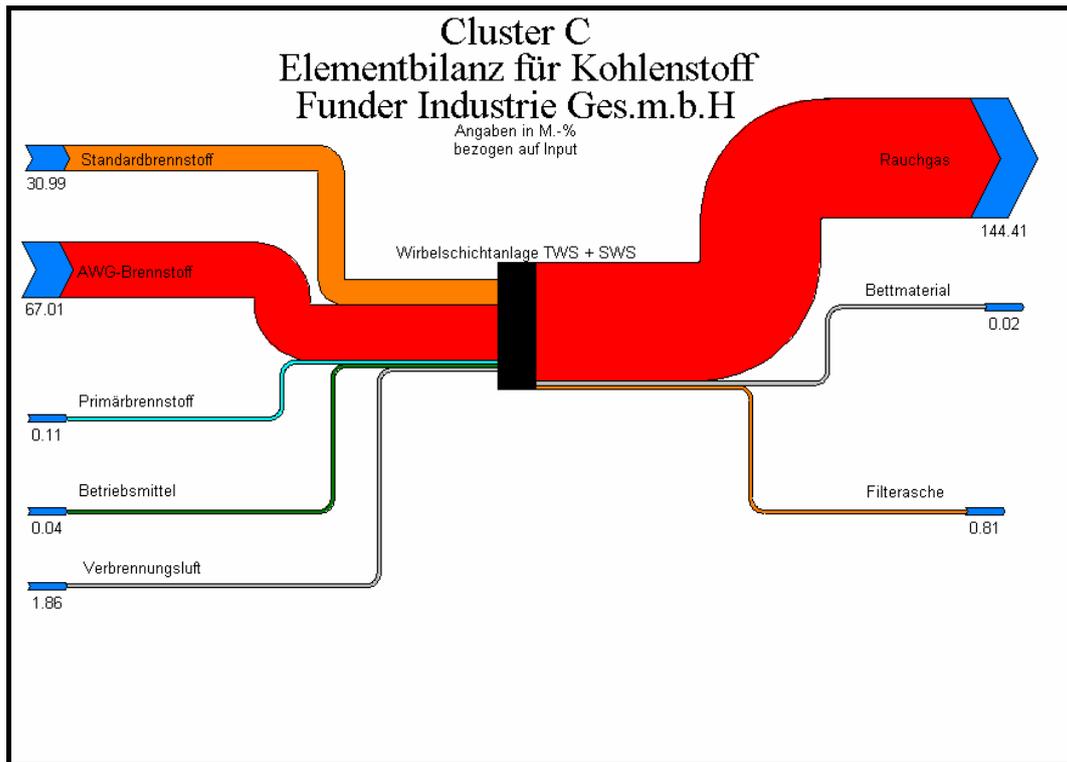


Abbildung C.13: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster C (Gesamtinputstrom: 4,4 t/h)

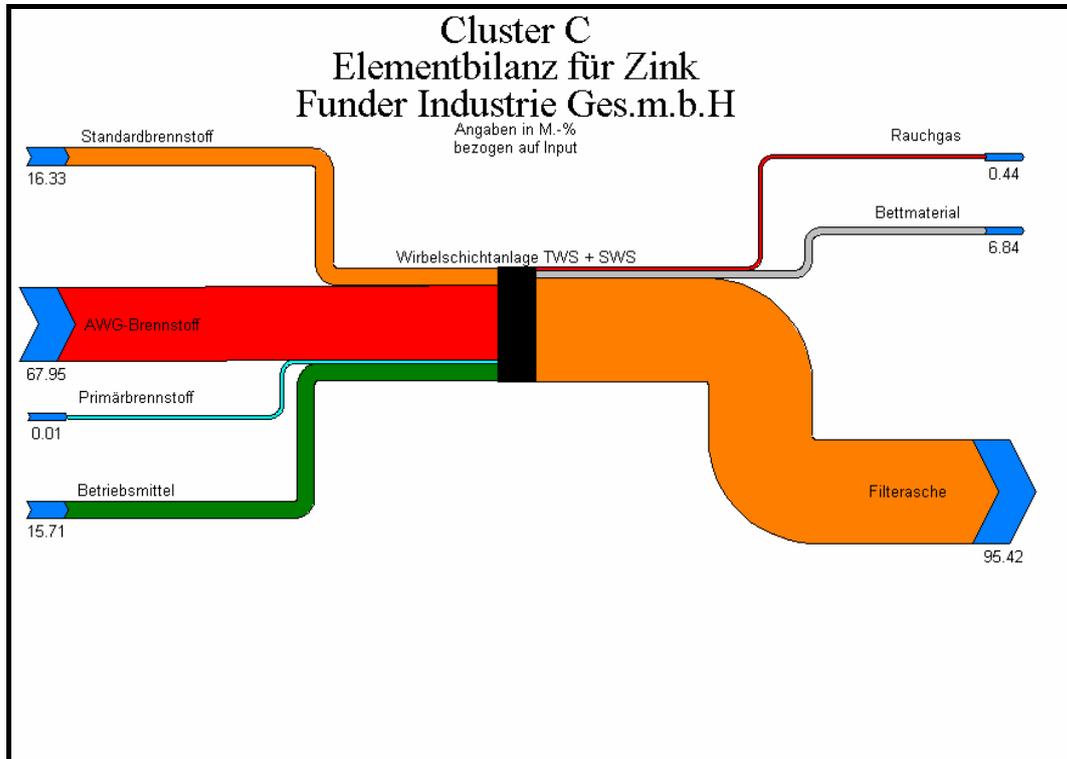


Abbildung C.14: Stoffbilanz für Zink: Cluster C (Gesamtinputstrom: 2,94 kg/h)

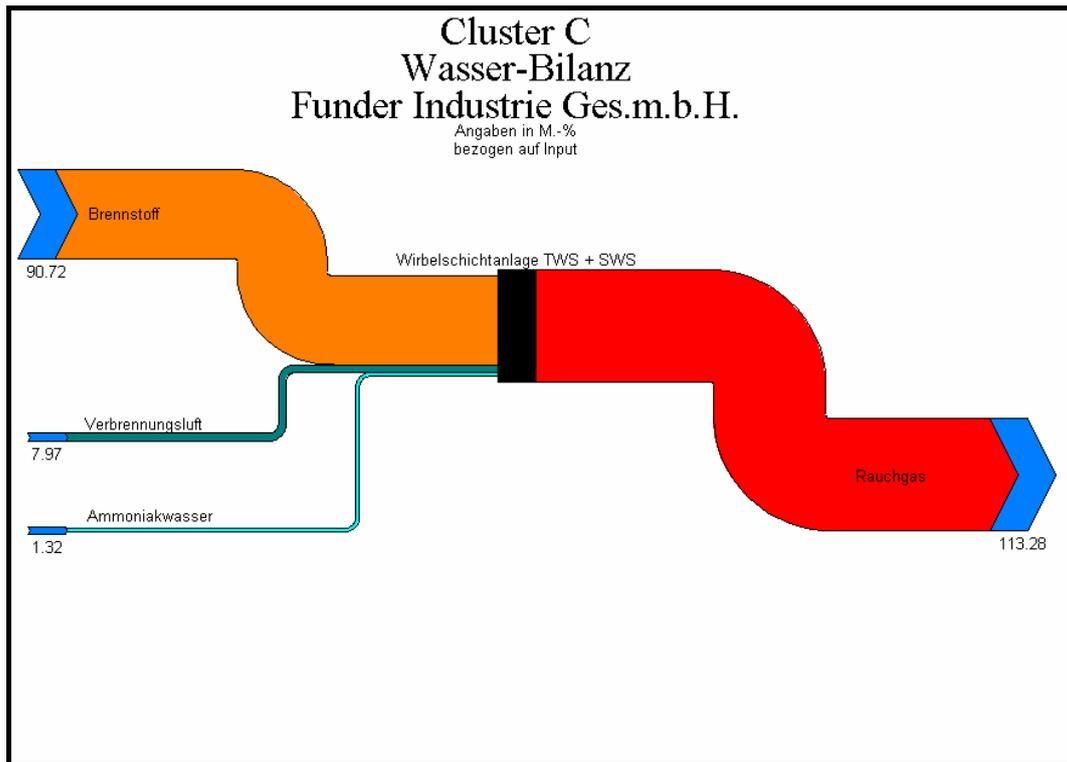


Abbildung C.15: Stoffbilanz für Wasser: Cluster C (Gesamtinputstrom: 9,5 t/h)

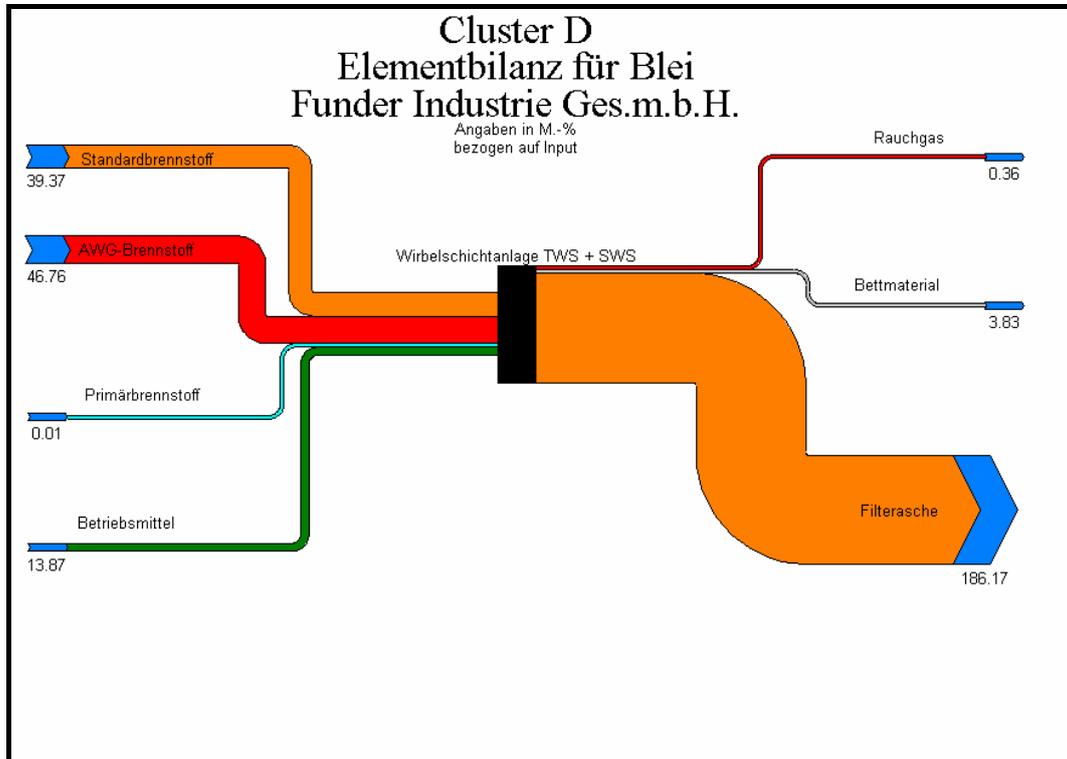


Abbildung C.16: Stoffbilanz für Blei: Cluster D (Gesamtinputstrom: 0,44 kg/h)



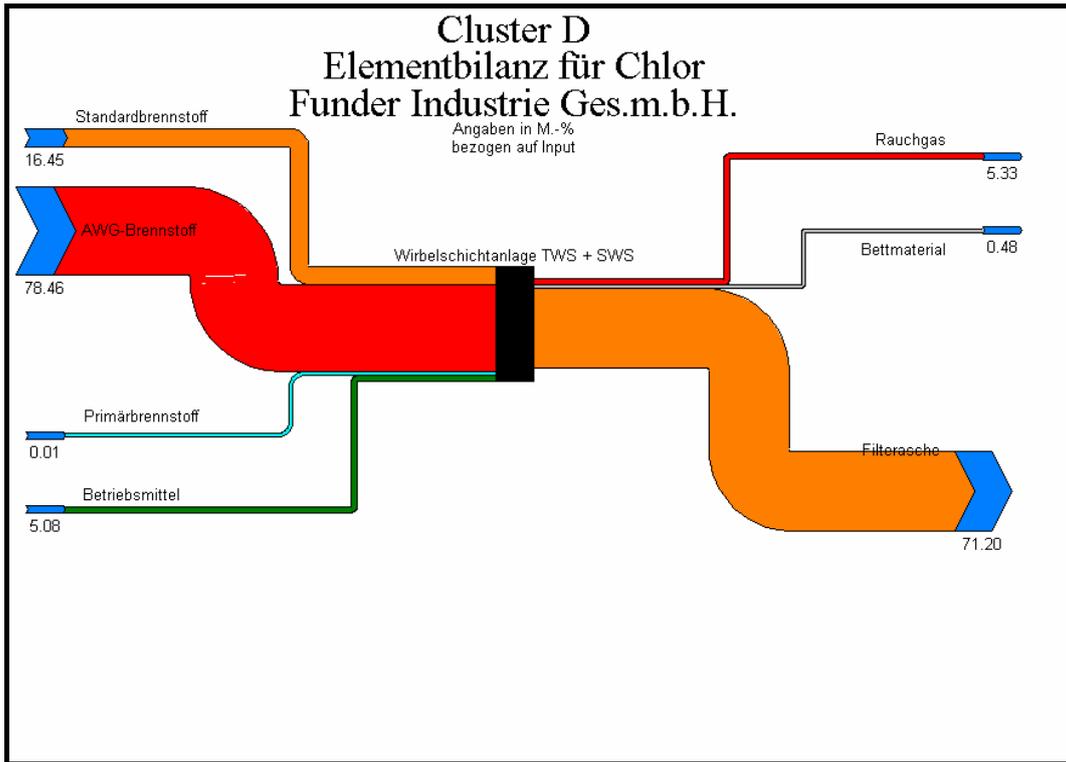


Abbildung C.17: Stoffbilanz für Chlor: Cluster D (Gesamtinputstrom: 19,61 kg/h)

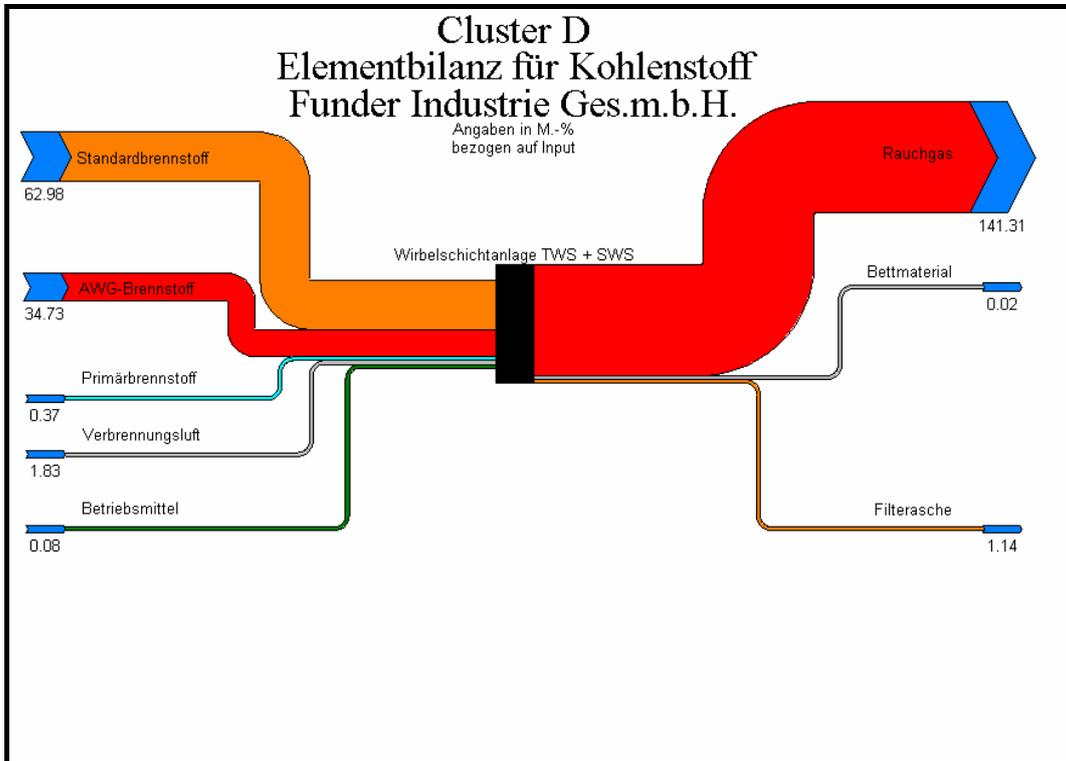


Abbildung C.18: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster D (Gesamtinputstrom: 4,2 t/h)

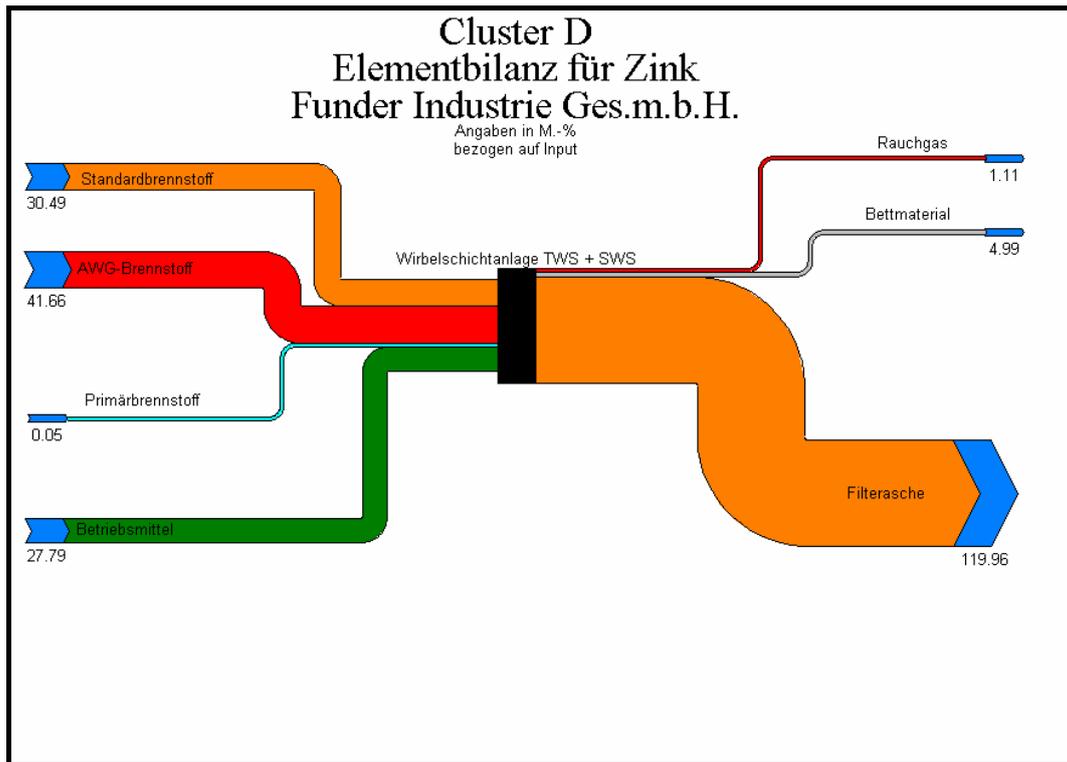


Abbildung C.19: Stoffbilanz für Zink: Cluster D (Gesamtinputstrom: 2,39 kg/h)

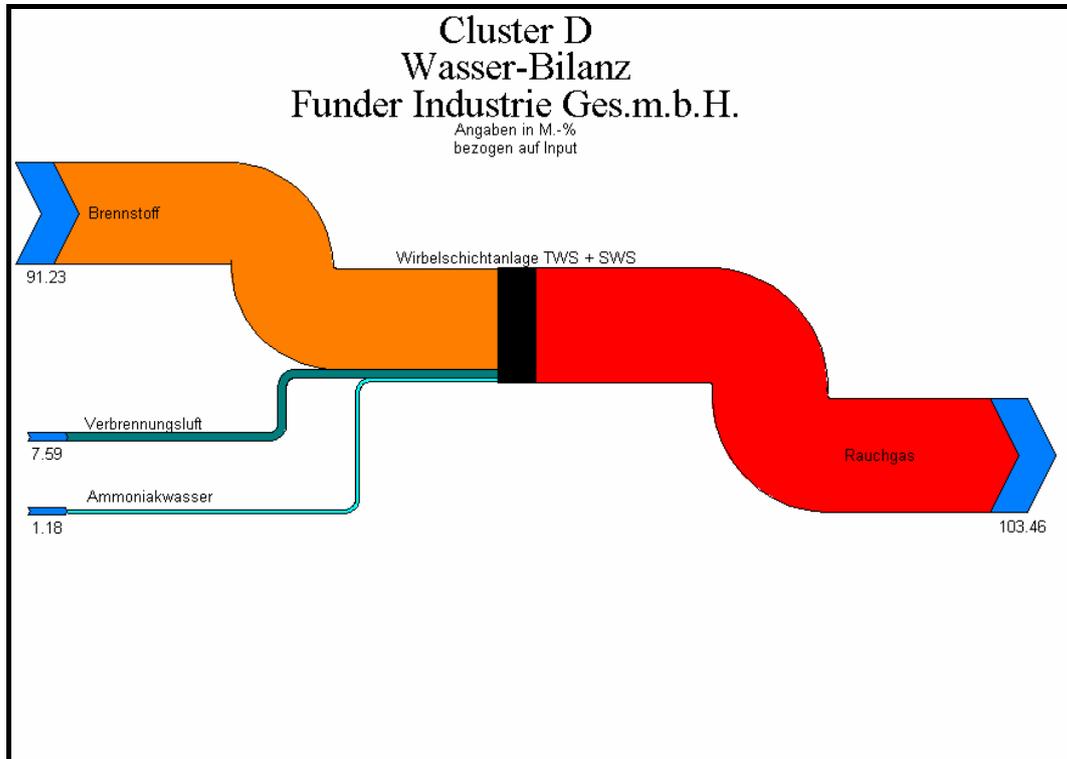


Abbildung C.20: Stoffbilanz für Wasser: Cluster D (Gesamtinputstrom: 10,6 t/h)

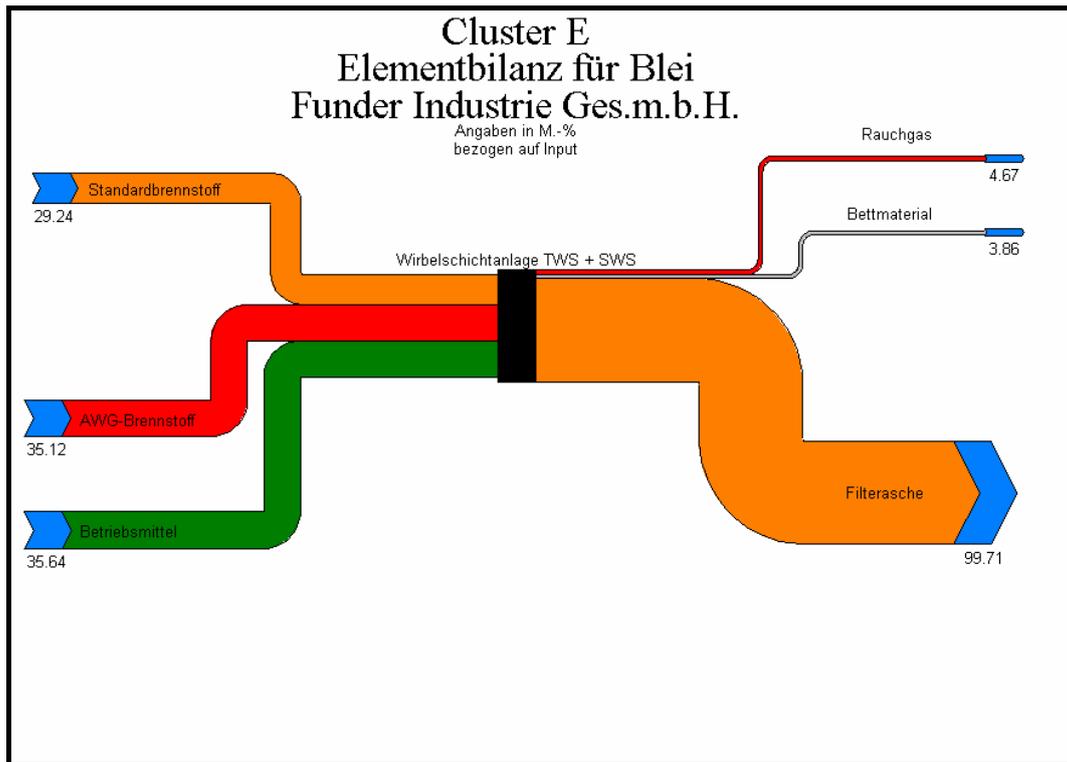


Abbildung C.21: Stoffbilanz für Blei: Cluster E (Gesamtinputstrom: 0,34 kg/h)

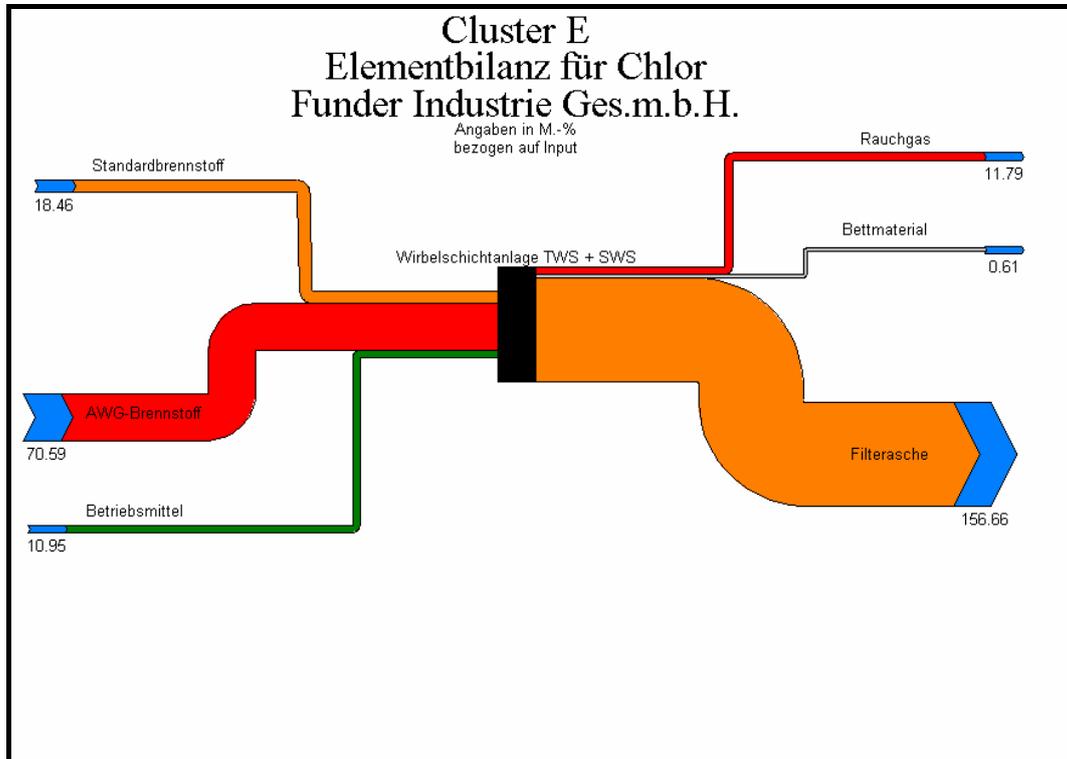


Abbildung C.22: Stoffbilanz für Chlor: Cluster E (Gesamtinputstrom: 3,63 kg/h)



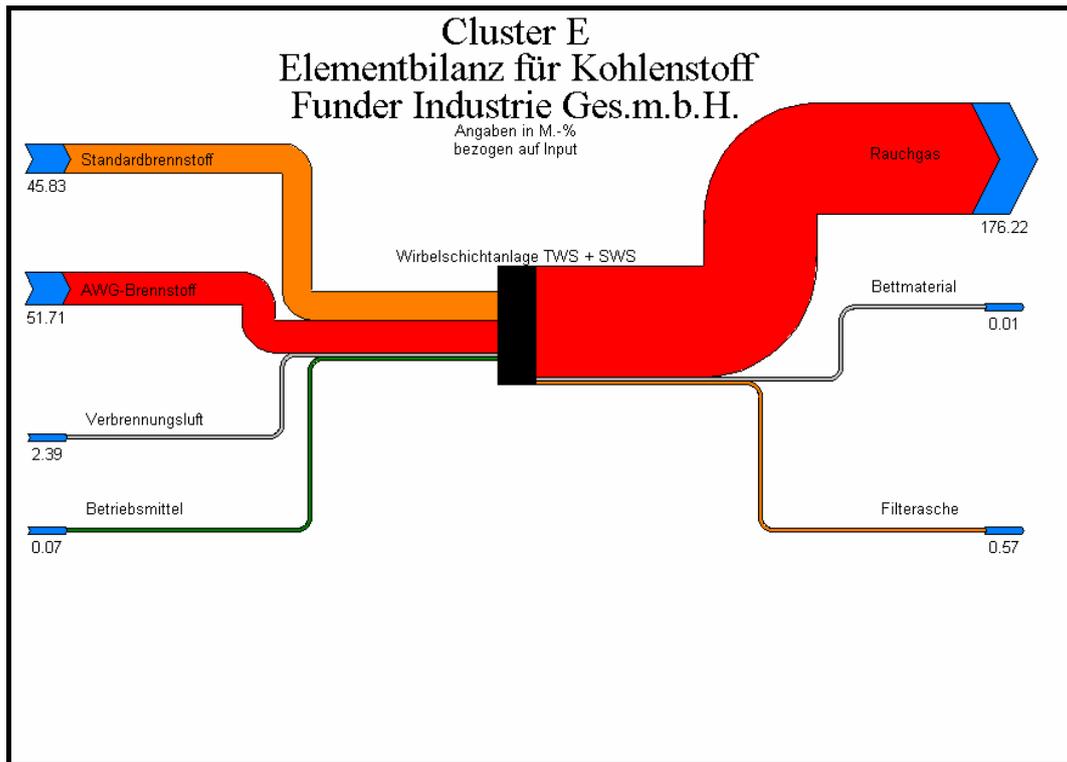


Abbildung C.23: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster E (Gesamtinputstrom: 3,3 t/h)

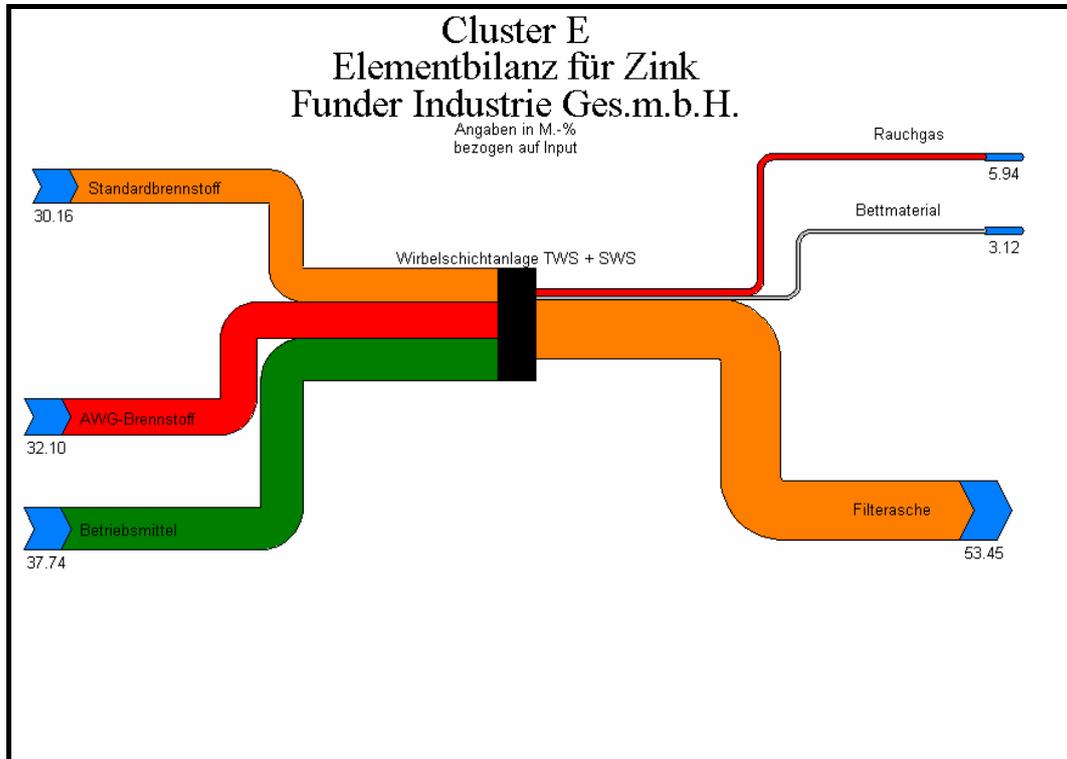


Abbildung C.24: Stoffbilanz für Zink: Cluster E (Gesamtinputstrom: 1,27 kg/h)

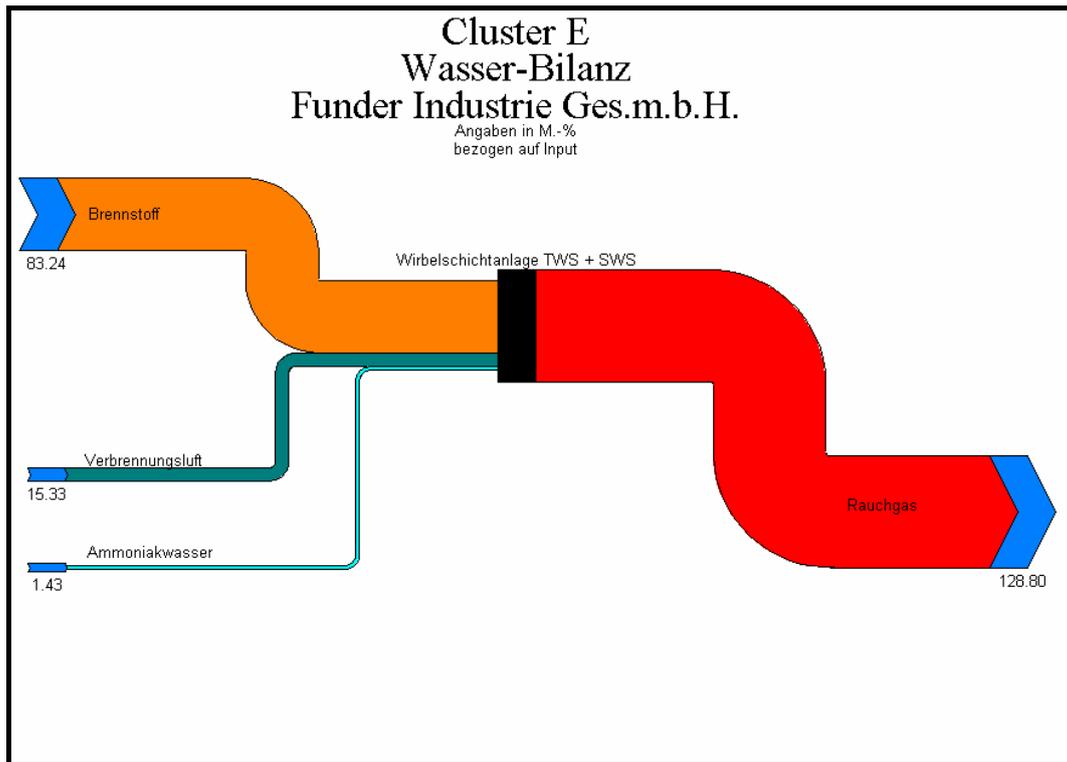


Abbildung C.25: Stoffbilanz für Wasser: Cluster E (Gesamtinputstrom: 7,7 t/h)

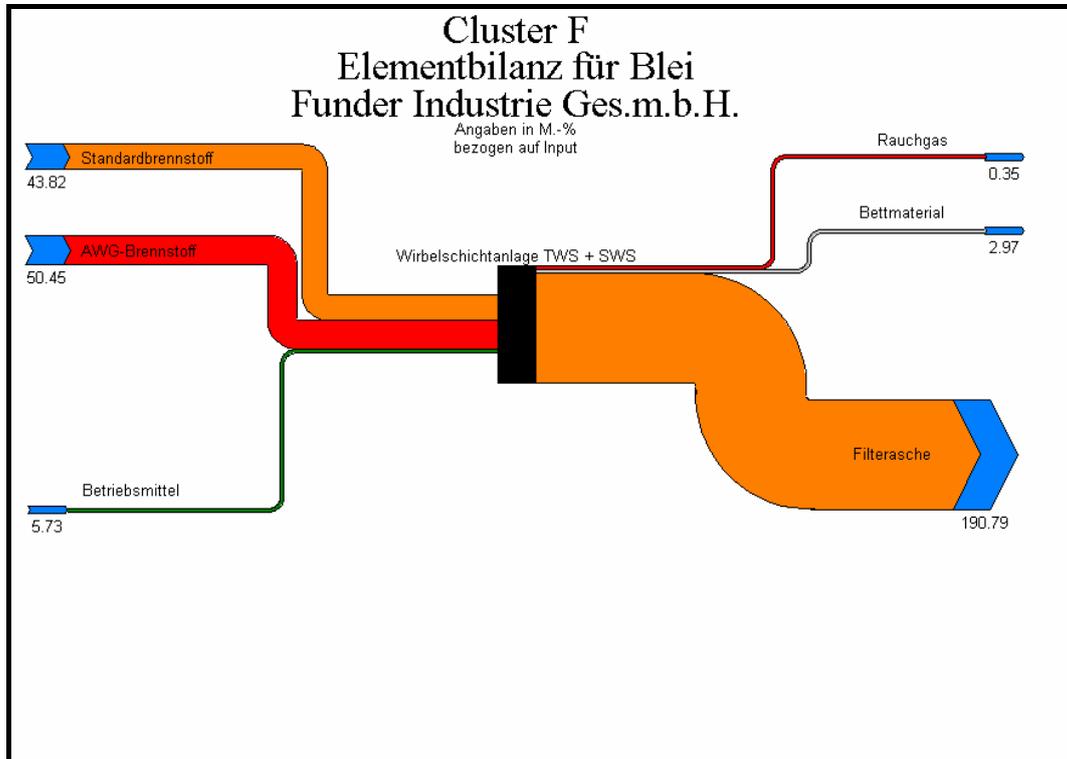


Abbildung C.26: Stoffbilanz für Blei: Cluster F (Gesamtinputstrom: 0,54 kg/h)



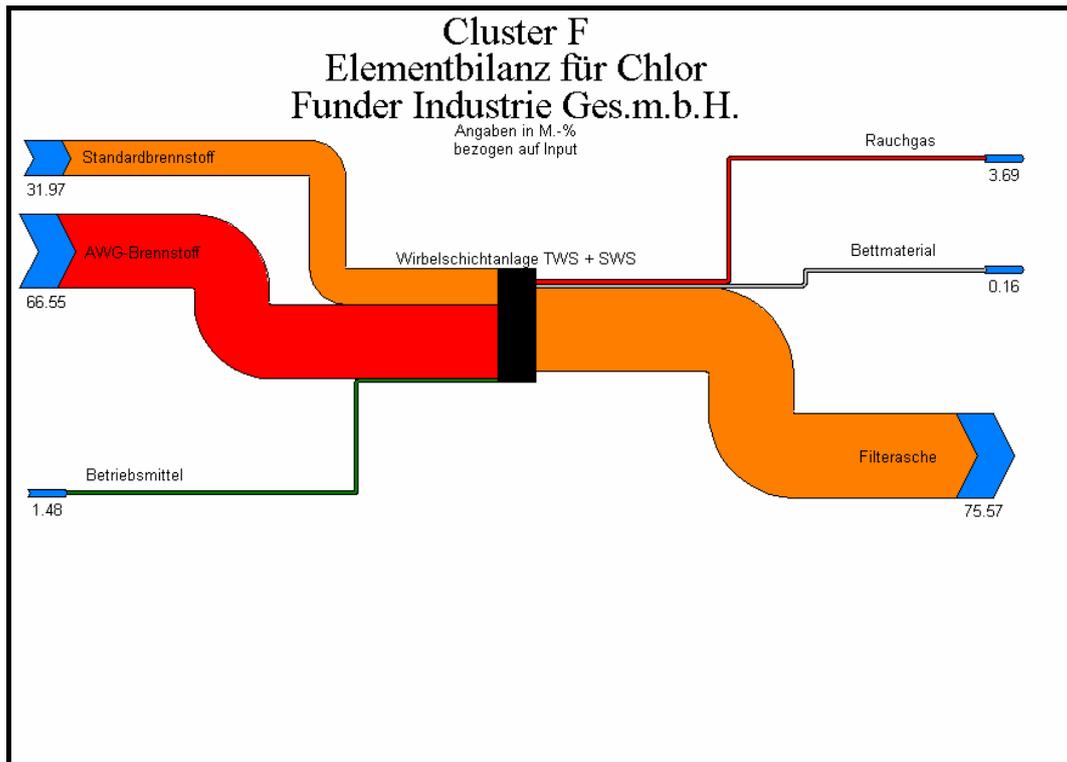


Abbildung C.27: Stoffbilanz für Chlor: Cluster F (Gesamtinputstrom: 20,82 kg/h)

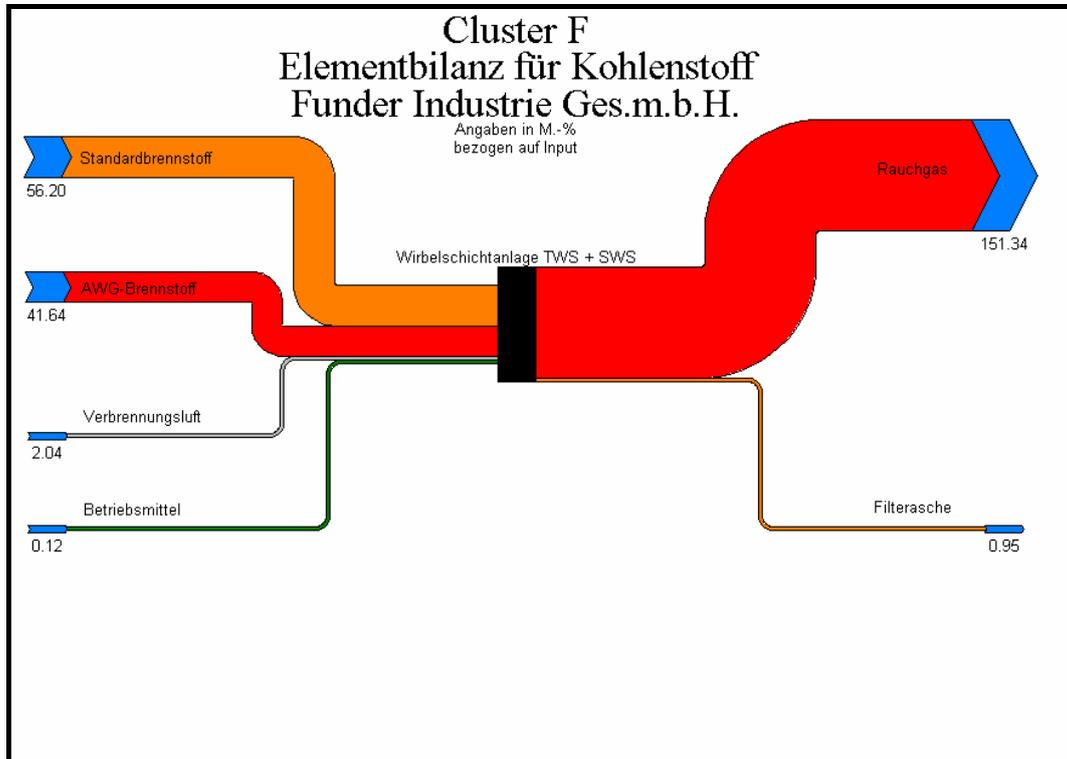


Abbildung C.28: Stoffbilanz für Kohlenstoff: Cluster F (Gesamtinputstrom: 4,4 t/h)

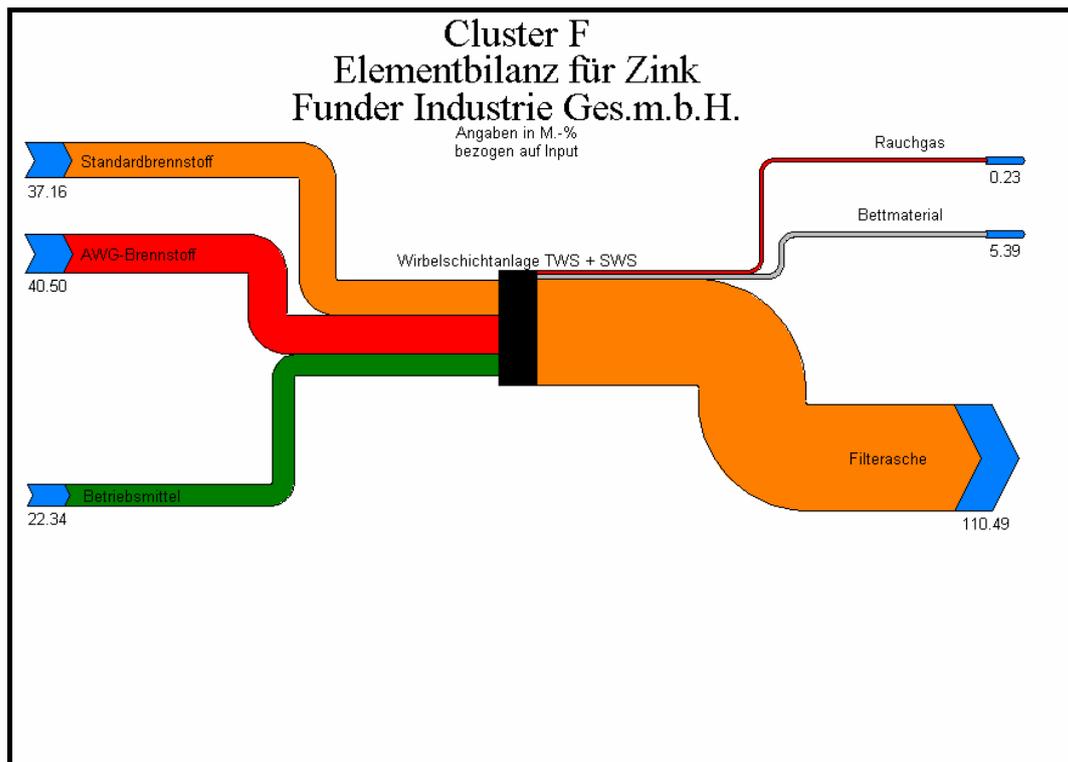


Abbildung C.29: Stoffbilanz für Zink: Cluster F (Gesamtinputstrom: 2,71 kg/h)

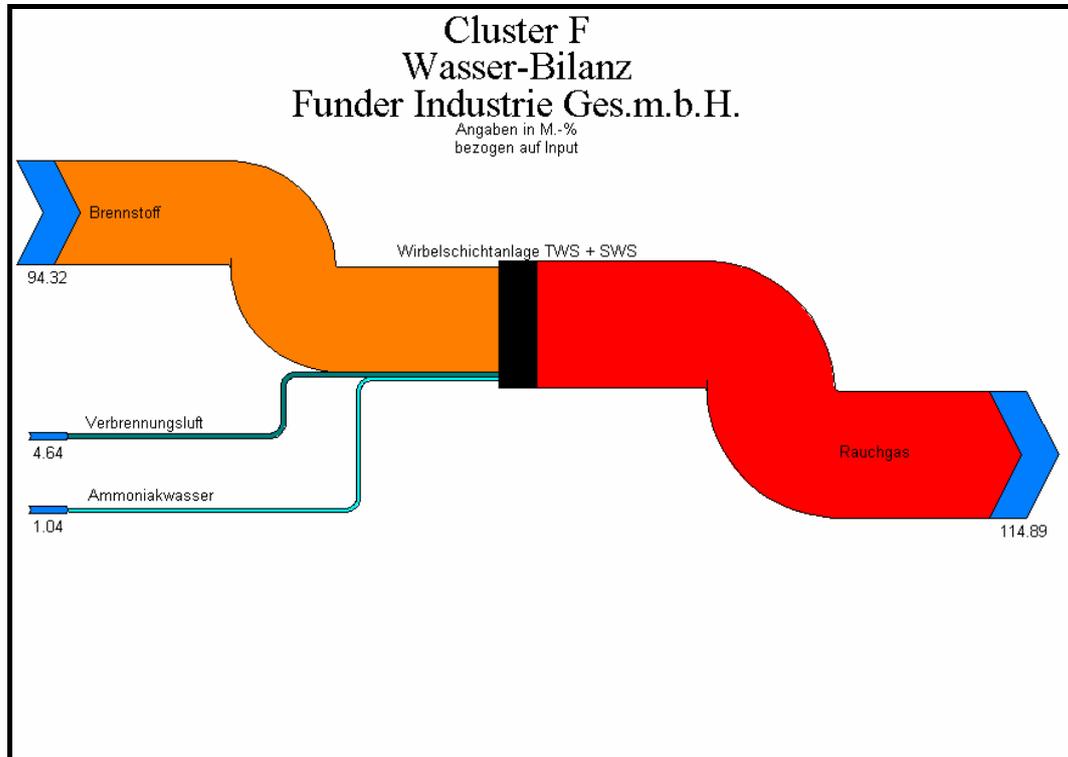


Abbildung C.30: Stoffbilanz für Wasser: Cluster F (Gesamtinputstrom: 10,50 t/h)