

Qualitätssicherung bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen

erstellt am

**Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik
(IAE)
Montanuniversität Leoben**

Vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Michael Schelch
Kirchplatz 2/13
A-8600 Bruck an der Mur

Betreuer:

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

Gutachter:

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

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Leoben, September 2007

Danksagung

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

Den Beschäftigten des Instituts für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, allen voran Herr o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber, spreche ich meinen besonderen Dank aus. Ich bedanke mich auch bei Herrn Dr. Wolfgang Staber, Herrn Dr. Michael Prochaska, Dr. Arne Ragoßnig und Herrn Dr. Harald Tesch für die Unterstützung und äußerst gute Zusammenarbeit während meiner Zeit am Institut. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes war vor allem die Mitarbeit des Labors des Instituts unter der Führung von Frau DI Claudia Zraunig bzw. Herrn Dr. Raber sehr wichtig und eine große Hilfe, wofür ich mich bei allen Labormitarbeitern ausdrücklich bedanke.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung bedanken.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

(DI Michael Schelch)

Kurzfassung

Kern einer nachhaltigen Wirtschaft ist die Steigerung der Effizienz, wobei einer Erhöhung der Materialeffizienz eine vorrangige Bedeutung zukommt, welche maßgebend für eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist. Diese Steigerung der Wirtschaftlichkeit sollte dabei allerdings nicht nur die Bereiche der Versorgung mit Gütern umfassen, sondern insbesondere auch das Gebiet der Abfallbehandlung beinhalten. Speziell der Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen wird sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen eine wesentliche Bedeutung beigemessen. Diese Verwertung ist allerdings an eine Reihe von Rahmenbedingungen, insbesondere in qualitativer Hinsicht, gebunden. Die vorliegende Arbeit stellt erstmalig ein Qualitätssicherungskonzept vor, dessen Kern die Eigen- und Fremdüberwachung mit den entsprechenden, auf den Ersatzbrennstoff abgestimmten, Probenahme- und Probenaufbereitungsschritten bilden.

Abstract

The main target of a sustainable economy is the increase of efficiency. The prior interest should be seen in increasing the material's efficiency which is decisive for the quality of a self-sustainable development of the economy. The increase of efficiency should not only be influenced by supply management, but rather include the big area of waste management. A special part will be the utilization of substitute fuel in industrial facilities, which will become more important either for ecological and economic reasons. The utilization is linked to a range of conditions, especially concerning qualitative regards. The present report suggests a reasonable concept for quality assurance, where the main targets are to monitor substitute fuel during sampling and its preparation.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Rahmenbedingungen.....	2
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zielsetzung und Aufbau der Forschungsarbeit	4
2	BEGRIFFE UND DEFINITIONEN	6
2.1	Abfälle	6
2.2	Behandlung.....	6
2.2.1	Beseitigung.....	7
2.2.2	Energetische oder thermische Verwertung	8
2.2.3	Stoffliche Verwertung	10
2.3	Einzelprobe	10
2.4	Stichprobe	11
2.5	Qualifizierte Stichprobe.....	11
2.6	Sammelprobe.....	11
2.7	Mischprobe	11
2.8	Laborprobe	11
2.9	Prüfmenge	11
2.10	Repräsentative Probe	12
2.11	Los, Losgröße	12
2.12	Beurteilungsmenge	12
2.13	Homogenität	12
2.14	Heterogenität	12
2.15	Probenahmeplan.....	13
3	RECHTLICHE ASPEKTE FÜR QUALITÄTSGESICHERTE ABFÄLLE.....	14
3.1	Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte.....	14
3.2	Altfahrzeugeverordnung.....	16
3.3	Deponieverordnung	18
3.4	Judikatur des EUGH zur Verwertung	20
3.4.1	Vertragsverletzungsverfahren EU-Kommission gegen Deutschland (Rs C-228/00)	21

3.4.2	Vertragsverletzungsverfahren EU-Kommission gegen Luxemburg (Rs C-458/00)	22
3.5	Judikatur des österreichischen Verwaltungsgerichtshof (VwGH) zum Thema Verwertung	23
3.6	Qualitätsbegriff im österreichischen Abfallrecht	24
3.6.1	AWG 2002	24
3.6.2	Kompostverordnung	25
3.6.3	Abfallverzeichnisverordnung	26
3.7	Vorteile der Verwertung aus rechtlicher Sicht	26
3.8	Schlussfolgerungen	27
4	GRUNDLAGEN DER PROBENAHEME UND PROBENAUFBEREITUNG VON ERSATZBRENNSTOFFEN	29
4.1	Anforderungen an die Probenahme und -aufbereitung	30
4.1.1	Der Probenahmeplan	30
4.1.2	Repräsentanz der Probenahme	31
4.1.3	Mindestmenge der Einzelprobe und Anzahl der zu nehmenden Proben	32
4.1.4	Probenaufbereitung	32
4.2	Regelwerke für die Probenahme	33
4.2.1	Normenvorschlag zur Probenahme aus stehendem Haufwerk	33
4.2.1.1	Allgemeines	33
4.2.1.2	Anwendungsbereich	33
4.2.1.3	Erstellung des Probenahmeplans	34
4.2.1.4	Bestimmung der Homogenität/Heterogenität	34
4.2.1.5	Festlegung der Probenanzahl	35
4.2.1.6	Ermittlung der Probenmindestmengen	35
4.2.2	LAGA Richtlinie PN 98	36
4.2.3	CEN/TC 292/WG1 Teile 1-5	37
4.2.3.1	Mindestmengen der Einzelproben	38
4.2.3.2	Mindestmenge der Sammelprobe	38
4.2.3.3	Anzahl der zu nehmenden Proben	40
4.3	Verfahren zur Probenverjüngung	41
4.3.1	Mischkreuzverfahren	41
4.3.2	Fraktioniertes Schaufeln	42
4.3.3	Würfelteilungsverfahren	43
4.4	Regelwerke zur Probenaufbereitung	46

5	GÜTEBESTIMMUNGEN FÜR ERSATZBRENNSTOFFE	49
5.1	Güte- und Prüfbestimmungen der deutschen Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Altholzrecycling e.V. (BGS).....	49
5.1.1	Beschreibung der Vorgehensweise.....	49
5.1.2	Geltungsbereich	49
5.1.3	Gütebe- und Prüfbestimmungen	50
5.1.4	Ausgangsbedingungen und Zielstellungen.....	51
5.1.5	Probenahme im Outputstrom einer Sekundärbrennstoff- Aufbereitungsanlage.....	52
5.1.6	Analytischer Untersuchungsumfang und Analysenvorschriften	53
5.1.7	Beprobungsumfang bei der Eigenüberwachung	53
5.1.8	Zulässige Schwermetallgehalte und Auswertemodus für die Fremdüberwachung im Anerkennungs- und Überwachungs-verfahren	54
5.1.9	Bewertung	55
5.2	Finnischer Standart.....	55
5.2.1	Klassifizierungsschema für Ersatzbrennstoffe.....	56
5.2.2	Bewertung	57
6	ENTWICKLUNG EINES QS-KONZEPTES FÜR ERSATZBRENNSTOFFE	58
6.1	Qualität im Allgemeinen Sprachgebrauch.....	58
6.2	Produkt- und Organisationsqualität.....	59
6.3	Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergie-träger (ÖG-SET) ..	60
6.4	Ableitung von relevanten Kriterien für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen.....	62
6.4.1	Ausschlussmerkmale.....	64
6.4.2	Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale	65
6.4.3	Sonstige Qualitätsmerkmale.....	65
6.4.4	Spezifikation- und Klassifizierungssystem.....	67
6.5	Laborvergleichsversuch	68
6.5.1	Auswahl der zu untersuchenden Ersatzbrennstoffe	69
6.5.2	Planung der Probenahme.....	71
6.5.3	Durchführung der Probenahme	77
6.5.4	Probenvorbereitung und -analyse	81
6.5.4.1	Störstoffauslese.....	81
6.5.4.2	Probenzerkleinerung	82
6.5.4.3	Analysemethoden.....	85
6.6	Ergebnisse des Laborvergleichsversuches.....	90
6.6.1	Ausreißertest	90
6.6.2	Beurteilung der Ringversuchsergebnisse.....	91

6.6.3	Einzelwerte und Ergebnisse	91
6.6.4	Abschätzung der nötigen Anzahl an Sammel-/ Mischproben.....	99
6.7	Einordnung der untersuchten Ersatzbrennstoffe in Qualitätsklassen nach CEN/TC 343 und Finnischem Standard.....	103
6.8	Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffe.....	108
6.8.1	Grundcharakterisierung und Erstprüfung	108
6.8.2	Probenahme- und Probenaufbereitungskonzept für die Eigen- und Fremdüberwachung.....	109
6.8.2.1	Konzept für Mischkunststofffraktion (MKF).....	109
6.8.2.2	Konzept für Flotatschlamm.....	111
6.8.3	Fremdüberwachung.....	113
6.8.4	Spezifizierungsschema.....	114
6.8.5	QS-Konzept und Integration in betriebliche Abläufe.....	115
7	ZUSAMMENFASSUNG	120
8	WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	124
9	VERZEICHNISSE	125
9.1	Abkürzungsverzeichnis	125
9.2	Abbildungsverzeichnis	129
9.3	Tabellenverzeichnis	131
9.4	Literaturverzeichnis.....	133

1 Einleitung

Kern einer nachhaltigen Wirtschaft ist die Steigerung der Effizienz, wobei einer Erhöhung der Materialeffizienz eine vorrangige Bedeutung zukommt, welche maßgebend für eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist. Diese Steigerung der Wirtschaftlichkeit sollte dabei allerdings nicht nur die Bereiche der Versorgung mit Gütern¹ umfassen, sondern insbesondere auch das Gebiet der Abfallbehandlung beinhalten. Daraus lässt sich ableiten, dass neben der Vermeidung auch die Verwertung und Beseitigung im Sinne einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in der Regel hohe Priorität verdient. Diese grundsätzliche Regel bedarf allerdings einer Überprüfung im Einzelfall, um die optimale Kombination zwischen Verwertung und umweltgerechter Beseitigung zu finden. Auch Verwertungsprozesse sind vielfach mit Umweltbelastungen verbunden. Das Ziel muss darin bestehen, Schadstoffe bzw. nicht zu verwertende Stoffe so gut wie möglich aus dem Materialzyklus in eine Senke auszuschleusen, um auf Dauer eine nachhaltige Bewirtschaftung der Stoffe² und Materialien³ zu erzielen und dadurch Umweltgefährdungen wie z. B. durch Schadstoffakkumulation in Produkten zu vermeiden [1].

Für eine erfolgreiche Umsetzung nachhaltiger Prinzipien ist in der Abfallwirtschaft daher in zunehmendem Maße der gesamte Stoffumsatz zu berücksichtigen. Dabei sind der Bewirtschaftung der Stoffe ökologische und ökonomische Gesichtspunkte zu Grunde zu legen.

Die Leitlinien einer nachhaltigen Abfallwirtschaftspolitik sind im Wesentlichen:

- die vorrangige Vermeidung von Abfällen,
- die Verwertung von nicht vermeidbaren Abfällen sowie
- die Entsorgung von nicht verwertbaren Abfällen.

Das Vorsorgeprinzip, das Verursacherprinzip und der Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen, sind neben dem Effizienzprinzip bei der Umsetzung der Ziele zu beachten.

¹ nach ÖNORM S 2096-1: Material, das aus einem oder mehreren Stoffen besteht und handelbar ist

² nach ÖNORM S 2096-1: Material, das aus identischen Einzelteilen besteht

³ nach ÖNORM S 2096-1: Übergeordneter Begriff für ein Gut oder einen Stoff

1.1 Rahmenbedingungen

Gemäß österreichischem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) [2] kommt dem Schutz von Mensch und Umwelt, der Schonung der natürlichen Ressourcen sowie dem Verbleib emissionsneutraler Rückstände unter gleichzeitiger Schonung von Deponieraum oberste Priorität zu. Umweltbelastungen sind durch geeignete Maßnahmen zur Vermeidung, Verwertung und sonstige Behandlung sowie Ablagerung von Abfällen auf ein Minimum zu reduzieren.

Die bis zum Jahre 2004 geübte Praxis der Ablagerung unbehandelter Abfälle stand im Widerspruch zu den Zielen und Grundsätzen (§ 1), die das AWG vorgibt. Demnach sollen entsprechend dem Vorsorgeprinzip nur solche Stoffe als Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung kein Gefährdungspotenzial für nachfolgende Generationen darstellt. Gemäß § 1 Abs. 2 Z 3 AWG 2002 sind nicht verwertbare Abfälle je nach ihrer Beschaffenheit durch biologische, thermische oder chemisch/physikalische Verfahren zu behandeln und feste Rückstände möglichst reaktionsarm und ordnungsgemäß abzulagern. Es ist daher bereits im AWG der Grundsatz der Vorbehandlung der Abfälle verankert.

Zur Realisierung dieser im AWG enthaltenen Ziele wurde die Deponieverordnung (DVO) [3] erlassen. Dabei wird durch das Multibarrierenprinzip insbesondere die Qualität der abzulagernden Abfälle und damit die so genannte „Innere Sicherheit“ der Deponie in den Vordergrund gerückt. Die aktive Emissionsvermeidung verbunden mit einer Ressourcenschonung stellt einen wesentlichen Aspekt dar.

Mit dem Erlass der Deponieverordnung konnte der Forderung nach einer Ablagerung von Stoffen, welche die Medien Luft, Wasser und Boden negativ beeinträchtigen, einen wesentlichen Schritt näher gekommen werden. Von einer (absoluten) Nachsorgefreiheit ist aber nach wie vor nicht auszugehen. Auch Deponien für die Ablagerung Vorbehandelter Abfälle bedürfen der Nachsorge, die sich aber in jedem Fall kalkulierbarer und weitaus weniger aufwendig gestaltet.

Die Bedeutung der Verwendung von Abfällen als Ersatzbrennstoffe ist im Zunehmen begriffen; dies wird durch eine Anzahl von Forschungs- bzw. Normungsvorhaben unterstrichen [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Ziel all dieser Aktivitäten ist es, definierte Rahmenbedingungen für den Einsatz von Abfall als Ersatz von Primärenergieträgern zu schaffen.

Darüber hinaus soll die Festlegung von Qualitätsanforderungen eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle energetische Nutzung von spezifischen Abfallströmen sicherstellen sowie die Akzeptanz der Mitverbrennung dieser durch eine entsprechende Qualitätssicherung heben. Schon in den 80-er Jahren wurde das Konzept von Brennstoff aus Müll (BRAM, RDF) in Europa und auch den USA verfolgt. Anders als in Europa, wo diese Bestrebungen u.a. aufgrund der Schadstoffverlagerung wieder fallen gelassen wurden,

führten die Bemühungen in den Vereinigten Staaten zu einer Standardisierung von Brennstoffqualitäten durch die American Society for Testing and Materials (ASTM) [10].

Der neuerliche Anreiz der Verwendung von definierten, qualitätsgesicherten Abfällen als Brennstoffersatz wird nicht zuletzt durch steigende Ölpreise und dem damit verbundenen wirtschaftlichen Druck auf energieintensive Unternehmen, dem Potenzial in Hinblick auf den Klimaschutz (Beitrag zur Erreichung der Ziele von Kioto) sowie der im Vergleich zur Mitte der 80-er Jahre veränderten Zusammensetzung der Restabfälle größer [11]. Deshalb besitzt die Fragestellung nach der zukünftigen Entsorgungspraxis hochkalorischer Abfälle sehr große Aktualität.

Die Mitverbrennung von heizwertreichen Abfallfraktionen in industriellen Produktionsanlagen stellt bei einer Berücksichtigung der folgend angeführten Grundsätze eine volkswirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Ergänzung zur Behandlung von Abfällen in Müllverbrennungs-Anlagen dar:

- Ressourcenschonung durch Ersatz von konventionellen Brennstoffen,
- optimale Nutzung des Energiegehaltes der eingesetzten Abfälle,
- definierte Qualität der Abfälle zur Aufrechterhaltung der verfahrenstechnischen Prozesse,
- Vermeidung der Verlagerung von Schadstoffen in das Produkt sowie
- Berücksichtigung der Emissionsbilanz der Anlagen unter dem Gesichtspunkt, dass durch den Einsatz der Abfälle keine Verschlechterung der Gesamtemissionssituation erfolgen darf.

Der sinnvollen Nutzung von in Abfällen enthaltener Energie muss in Zukunft eine höhere Bedeutung zukommen.

1.2 Problemstellung

Bislang lag das Hauptaugenmerk der Forschung und Entwicklung auf Seiten der Konzeption geeigneter Maschinen und Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffe aus unterschiedlichsten Abfallfraktionen. Gleichzeitig dazu wurde der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in verschiedenen industriellen Anlagen untersucht [12], [13].

Erst in jüngster Vergangenheit wird ein verstärktes Augenmerk auf die Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen gelegt. Diese beinhaltet einerseits die Definition von Parametern und andererseits die Ableitung von Anforderungen für deren Einsatz. Sehr oft werden diese jedoch nicht hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen beschrieben [14]. Sowohl für Hersteller von Ersatzbrennstoffen als auch für Verwerter wäre dies allerdings sehr entscheidend, da einerseits eine Produktion nach geforderten Eigenschaften erfolgen und andererseits die Sicherheit hinsichtlich einer gleich bleibenden Qualität dieser bedeutend erhöht werden könnte.

In vielen Regelwerken beschränkt sich die Qualitätssicherung in der Richtwertfestlegung für Schadstoffe in Abfällen, welche eingehalten werden müssen, damit diese in entsprechenden Anlagen einer thermischen Verwertung zugeführt werden können [15]. Als Beispiel dazu seien die Richtwerte der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) [16] bzw. die Richtwerte der Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) [17] und die Positivliste der österreichischen Zementindustrie [18] angeführt. Alle diese veröffentlichten Regelwerke beziehen sich einzig auf den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie. Für andere, wesentliche Industriezweige wie z.B. Wirbelschichtanlagen der Papierindustrie existieren zurzeit keine entsprechenden Vorgaben. Darüber hinaus stellt der gesamte Bereich der Probenahme und Probenaufbereitung von Abfällen bislang keinen Schwerpunkt von Konzepten der Qualitätskontrolle dar.

1.3 Zielsetzung und Aufbau der Forschungsarbeit

Wesentlich für die Bestimmung der Eigenschaften von Ersatzbrennstoffen sind die Probenahme und die Probenaufbereitung. Die Art und Weise wie diese Schritte zu erfolgen haben, wird zwar in unterschiedlichen Regelwerken allgemein definiert, in der Praxis sollte diese jedoch auf entsprechende Ersatzbrennstoffe oder Gruppen von Ersatzbrennstoffen, welcher einer thermischen Verwertung zugeführt werden, abgestimmt und in einer zusammenfassenden Regelung festgeschrieben sein.

Eines der vorrangigen Ziele dieser Arbeit liegt in der Festlegung eines umfassenden Qualitätssicherungskonzeptes für zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe, einem relativ homogenen und einem heterogenen. Anhand eines Laborvergleichsversuches sollen die grundlegenden Daten für die Ableitung der Anzahl der zu nehmenden Proben sowie die einzusetzende Probenahmemenge gewonnen werden. Darüber hinaus soll durch einen praktischen Versuch der Weg der Probe von der Probenahmestelle bis hin zum Analysegerät untersucht und definiert werden. An dieser Stelle soll klar festgehalten werden, dass die vorliegende Arbeit nicht das Ziel hat, zwischen „thermischer Verwertung und thermischer Beseitigung“ zu unterscheiden.

Neben der Festlegung von Schadstoffgrenzwerten aus Umweltschutzgründen ist es ebenso wichtig, die Spezifikation, die aus verfahrenstechnischer Sicht an die Ersatzbrennstoffe gestellt wird, festzulegen [15]. Darüber hinaus gilt eine Vielzahl anderer Anforderungen an Ersatzbrennstoffe im Hinblick auf eine steigende Nachfrage als relevant. Ein zentrales Element der vorliegenden Arbeit ist daher die Ableitung von Kriterien für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen. Diese soll in Zusammenarbeit mit Herstellern und Verwertern der entsprechenden Ersatzbrennstoffe vorgenommen werden. Dabei sind nicht nur Schadstoffgehalte, sondern auch physikalische Parameter wie Heizwert und Schüttgewicht aber auch ergänzende Parameter wie Förderbarkeit oder Lagerfähigkeit zu berücksichtigen. Die Angabe dieser zusätzlichen Parameter bzw. Informationen kann die Kommunikation zwischen Ersatzbrennstoffherstellern und -verwertern wesentlich erleichtern.

Die vorliegende Forschungsarbeit gliedert sich in jene wesentliche Teile, die nachstehend aufgelistet sind:

1. Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen und Ableitung von Schlussfolgerungen für ein Qualitätssicherungskonzept.
2. Festlegung von Kriterien für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen.
3. Darstellung und Analyse vorhandener Methoden der Probenahme und Probenaufbereitung sowie bestehender Qualitätssicherungskonzepte.
4. Durchführung eines Laborvergleichsversuches.
5. Darstellung vorhandener Klassifizierungssysteme und Zuordnung der untersuchten Ersatzbrennstoffe zu diesen.
6. Ableitung eines Qualitätssicherungskonzeptes für zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe auf Basis der Daten des Laborvergleichsversuches.
7. Diskussion der Ergebnisse und Darstellung des weiteren Forschungsbedarfs.

2 Begriffe und Definitionen

2.1 Abfälle

Im § 2 des AWG 2002 ist der Abfallbegriff definiert. Ihm kommt bei der Deskription der Abfallwirtschaftssituation eine zentrale Bedeutung zu.

Demnach sind Abfälle bewegliche Sachen, die in Anhang 1 (Q1 – Q16) dieses Bundesgesetzes angeführt sind und:

- deren sich der Besitzer entledigen will oder bereits hat (subjektiver Abfallbegriff) oder:
- deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung im öffentlichen Interesse erforderlich ist, auch dann, wenn sie mit dem Boden eine die Umwelt beeinträchtigende Verbindung eingegangen sind (objektiver Abfallbegriff) [2], [19].

Abfälle werden grundsätzlich in „gefährlich“ und „nicht gefährlich“ eingeteilt. Seit 01.01.2004 ist die Abfallverzeichnisverordnung (AVVO) in Kraft. Mit dieser Verordnung wird ein einheitliches Abfallverzeichnis für gefährliche und nicht gefährliche Abfälle normiert. Mit der AVVO wird auch das Europäische Abfallverzeichnis (EAV) übernommen und sie enthält folgende Punkte:

- Auflistung der Abfallarten in einem Abfallverzeichnis;
- Festlegung der gefährlichen Abfälle;
- Festlegung eines Abfallcodes für jede Abfallart;
- Angabe von Kriterien für die Zuordnung von Abfällen zu einem Abfallcode.

Die AVVO ersetzt die Festsetzungsverordnung (FestsetzungsVO) von 1997 bis auf die Ausstufung von Abfällen, in der u.a. deklariert ist, welche Abfälle als gefährlich gelten bzw. als Problemstoffe einzustufen sind. Problemstoffe sind gefährliche Abfälle, die üblicherweise in Haushalten anfallen, wobei jegliche Abfälle, die mit denen aus dem Haushalt in Art und Menge vergleichbar sind, dazuzählen [2], [20].

2.2 Behandlung

Rechtlich gesehen umfasst der Begriff „Abfallbehandlung“ alle im Anhang 2 des AWG 2002 genannten Verwertungs- und Beseitigungsverfahren, bei denen Abfälle so zu verwerten/beseitigen sind, dass die menschliche Gesundheit nicht gefährdet und die Umwelt nicht geschädigt werden kann. „Abfallbehandler“ ist demnach jede Person, die Abfälle verwertet oder beseitigt [2]. Seit Anfang 2004 ist es in vier Bundesländern – Steiermark, Niederösterreich, Oberösterreich und Salzburg – gesetzlich verboten, unbehandelten Abfall

abzulagern. In den anderen Bundesländern besteht noch die eingeschränkte Möglichkeit (Ausnahmegenehmigung) Abfälle bis zum Jahre 2008 direkt zu deponieren.

Die vorliegende Dissertationsarbeit fasst unter dem Begriff „Behandlung“ alle Verfahren (Entsorgungsverfahren) zur Aufbereitung, Verwertung und Beseitigung zusammen, deren vorrangige Ziele die Reduzierung des Abfallvolumens und/oder der Reaktionsfähigkeit der zu beseitigenden bzw. zu deponierenden Abfälle sind. Eine saubere Trennlinie zwischen den einzelnen Verfahren kann z. Z. wegen noch fehlender Definitionen nicht gezogen werden. Die Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung ist in einer Gesamtabwägung zu beurteilen, bei der die Kriterien: ökologische Zweckmäßigkeit, Schonung von Ressourcen, Eignung der Abfälle, Gefahrenminimierung, ökonomische Zweckmäßigkeit und Art der Behandlungsanlage zu berücksichtigen sind [2]. Sie unterscheiden sich v.a. durch die primären Ziele der entsprechenden Verfahren.

Mit der Änderungsrichtlinie 1991 zur Abfallrahmenrichtlinie 1975 [21] wurde erstmals eine konkrete Ausführung zu den Begriffen Verwertung und Beseitigung vorgenommen. Dies erfolgte durch die Einführung zweier Anhänge (IIA und IIB), in denen die Auflistung von Verfahren zur Verwertung und Verfahren zur Beseitigung enthalten ist. Laut AWG 2002 (BGBL I 2002/102 idF) bzw. RL 75/442/EWG sind Beseitigungsverfahren nach Anhang 2 Z 2 jene Verfahren die unter den Ziffern D1 bis D15 angeführt sind.

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 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 [22].

2.2.1 Beseitigung

Der Begriff Abfallbeseitigung im weiteren Sinne untergliedert sich in Österreich wie folgt:

- thermische Beseitigung
- Deponierung

Dazu dienen Müllverbrennungsanlagen und Deponien, die auch als „Senken“ bezeichnet werden.

- Thermische Beseitigung: „Thermische Behandlung unter Nutzung der Energieinhalte“ z.B.: Müllverbrennung mit dem vorrangigen Ziel der Volumen-/Massenreduktion von Abfällen, wobei die gewonnene Energie i.d.R. als Fernwärme oder zur Erzeugung von Prozessdampf genutzt wird;

- Deponierung: „Langfristige Ablagerung von Abfällen oberhalb oder unterhalb der Erdoberfläche“. Folgende Deponietypen werden in Österreich nach der z.Z. noch geltenden Deponieverordnung 1996 [3] unterschieden:
 - Bodenaushubdeponie;
 - Baurestmassendeponie;
 - Reststoffdeponie;
 - Massenabfalldeponie;

Die Beseitigung inkludiert aber auch sämtliche volumsreduzierende oder der eigentlichen Beseitigung direkt vorgeschaltete Verfahren. Neben der Deponierung und der Müllverbrennung zählen somit noch folgende Verfahren zur Abfallbeseitigung [23]:

- Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA): Kombination aus mechanischen und biologischen Vorbehandlungsprozessen mit den Zielen der Reduktion des Volumens und der Reaktionsfähigkeit sowie der Verbesserung des Setzungsverhaltens der behandelten Abfälle, wobei mechanische Verfahren den biologischen Stufen vor- und nachgeschaltet sind;
 - Mechanische Zerkleinerungs- und Trennverfahren zur Behandlung von Restmüll in eine Leichtfraktion (Papier, Kunststoff), eine Schwerfraktion und Metalle;
 - Biologische Stufen zur Behandlung von biogenen Abfällen; hier unterscheidet man zwischen aerober und anaerober Behandlung. Unter aeroben Verfahren versteht man die Kompostierung unter Lufteinfluss, wobei Kompost bzw. ein biologisch stabilisiertes Material zur Deponierung entsteht. Im Gegensatz dazu finden anaerobe Verfahren unter Luftausschluss statt und werden als Vergärung bezeichnet. Das Produkt hierbei ist Biogas [24], [25], [26].
- Chemisch-physikalische Verfahren führen zu einer Veränderung der Eigenschaft eines Stoffes und dienen meist der Behandlung von gefährlichen Abfällen. Darunter fallen Verfahren wie z.B. Destillation, Fällung, Neutralisation, Oxidation etc.

2.2.2 Energetische oder thermische Verwertung

Die „Energetische Verwertung“, definiert in der RL 2000/53/EG [27] über Altfahrzeuge, wird durch den Begriff „Thermische Verwertung“ in der Altfahrzeugeverordnung [28] sinngemäß bestimmt. Im AWG 2002 ist diesbezüglich keine Begriffsbestimmung vorhanden.

Energetische Verwertung nach RL 2000/53/EG über Altfahrzeuge Art. 2 Z 7 ist die Verwendung von brennbarem Abfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung mit oder ohne Abfall anderer Art, aber mit Rückgewinnung der Wärme.

Thermische Verwertung nach Altfahrzeuge-VO § 2 Z 8 ist der Einsatz der Abfälle in einer Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage, mit dem Hauptzweck der Verwendung als Brennstoff zur Energiegewinnung.

Thermische Verwertung im Sinne der Verpackungsverordnung:

„... ist die Verwendung von brennbarem Verpackungsabfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung mit oder ohne Abfall anderer Art, jedenfalls mit Rückgewinnung der Wärme...“ [29].

Allen Definitionen ist somit der Zweck der Energieerzeugung mit oder ohne Rückgewinnung von Wärme gemein.

Interessante Begriffserklärungen enthält auch der § 2 XIII eines Durchführungserlasses [30] 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. ...“

Weiters wird ausgeführt:

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. Immobilisierung optimiert; lediglich der verbleibende Rest an Energie kann für die Nutzung herangezogen werden. Diese Energienutzung stellt einen günstigen Nebeneffekt dar“.

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 [31], welche nachstehend genannt werden:

- 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?

2.2.3 Stoffliche Verwertung

Die „Stoffliche Verwertung“ ist im § 2 Abs. 5 Z 2 AWG 2002 wie nachfolgend dargestellt, definiert als:

„...die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt.“

Nach der Verpackungsverordnung [29] besteht die stoffliche Verwertung von Verpackungen

„...in der Nutzung ihrer stofflichen Eigenschaften für den ursprünglichen Zweck mit Ausnahme der Energiegewinnung. Eine Behandlung in Sortieranlagen ist keine Einbringung in eine Anlage zur stofflichen Verwertung...“.

Die stoffliche Verwertung zielt also auf die Nutzung der stofflichen Eigenschaften ab um damit eine Substitution von Rohstoffen zu ermöglichen.

2.3 Einzelprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 [32] handelt es sich bei einer Einzelprobe um eine einzelne Probe, die an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen wird, die die Mindestanforderungen einer qualifizierten Stichprobe einhält und die als Feldprobe für eine Untersuchung bereitgestellt wird.

Gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] ist dies die einzelne Materialmenge, die von einem Probenahmegerät in einem einzelnen Arbeitsgang entnommen, jedoch nicht als einzelne Einheit analysiert/untersucht, sondern mit weiteren Einzelproben zu einer Mischprobe zusammengestellt wird.

Die Einzelprobe in der vorliegenden Dissertationsarbeit ist im Regelfall eine Probe, die korngößenabhängige Mindestmengenerfordernisse einhält und Teil einer Sammel-/Mischprobe ist. Einer Einzelprobe sollte immer ein Ort zugeordnet werden können, der exakte Zeitpunkt ist nicht unbedingt festzuhalten, wohl aber der zeitliche Rahmen (Tag, Abfolge, ...).

2.4 Stichprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 [32] ist eine Stichprobe die Probe, die an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen wird. Sie stellt meist einen Teil einer Sammel- oder Mischprobe dar. Dieser Begriff wurde in dieser Arbeit nicht weiter verwendet.

2.5 Qualifizierte Stichprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 [32] handelt es sich bei einer qualifizierten Stichprobe um eine Probe, die aus mehreren Stichproben besteht und die einem bestimmten Probenahmeort (z.B. Schurf oder Bohrung) und einer bestimmten Abfallart zugeordnet werden kann. Die qualifizierte Stichprobe muss die Mindestmengenerfordernisse einer solchen einhalten.

2.6 Sammelprobe

Unter einer Sammelprobe versteht man gemäß ÖNORM S 2123-3 [32] eine Probe, die aus mehreren über Raum und/oder Zeit gesammelten gemischten qualifizierten Stichproben besteht

2.7 Mischprobe

Gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] ist eine Mischprobe eine solche, welche aus zwei oder mehreren einzelnen oder kontinuierlich entnommenen Proben oder Teilproben (zusammengesetzte Mischprobe), die in einem geeigneten, bekannten Verhältnis vermischt wurden, um aus der Mischung den Durchschnittswert eines gewünschten Bestandteils zu bestimmen. Einzelproben werden dabei in einem möglichst gleichen Verhältnis (z. B. gleiches Volumen bzw. gleiche Masse der Einzelproben) vermischt. In der Folge wird diese Probe als Sammel-/Mischprobe bezeichnet.

2.8 Laborprobe

Laut prEN 14899:2004 (dt) [33] ist eine Laborprobe die Probe(n) oder Teilprobe(n), die an ein Labor geschickt bzw. von diesem empfangen wird/werden.

Laut ÖNORM S 2123-3 [32] ist es jene Probe, welche erforderlichenfalls nach Aufbereitung, Homogenisierung, Verjüngung und Konservierung aus der Feldprobe erhalten und für die Laboruntersuchung verwendet wird.

2.9 Prüfmenge

Gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] wird damit die Masse oder das Volumen des Materials bezeichnet, die/das entweder der Labor- oder der Versuchsprobe entnommen wurde und zur Ermittlung der Zusammensetzung oder anderer interessierender Eigenschaften verwendet

wird. Die Prüfmenge kann der Laborprobe nur im Falle einer nicht erforderlichen Vorbehandlung direkt entnommen werden.

2.10 Repräsentative Probe

Unter einer repräsentativen Probe versteht man gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] die Probe, bei der das(die) interessierende(n) Bestandteil(e) mit einer Unsicherheit vorliegt(en), die für die Zwecke des Probenahmeverfahrens angemessen ist.

2.11 Los, Losgröße

Die prEN 14899:2004 (dt) [33] beschreibt als Los oder Losgröße die Materialmenge, von der bekannt ist oder angenommen wird, dass sie unter gleichförmigen Bedingungen erzeugt wird. Da zu den Bedingungen eines Prozesses auch die Inputmaterialien gehören und diese bei Siedlungsabfällen nicht als gleichförmig angesehen werden können, ist die Festlegung einer Losgröße per Konvention zu treffen. Das Los ist dabei die betrachtete Subpopulation einer Jahresproduktion, dessen Eigenschaften zu bestimmen sind und reicht von Stunden bis mehrere Tage.

2.12 Beurteilungsmenge

Mitunter wird das Los auch als Beurteilungsmenge festgelegt. Die beiden Begriffe sind aber nicht zwingend gleichbedeutend. In der Folge wird dafür die betrachtete Produktionsmenge, die durch eine Sammel-/ Mischprobe repräsentiert wird, verwendet. Dabei hat (theoretisch) jedes Teilchen die Möglichkeit in der Probe zu landen. Meist wird diese Beurteilungsmenge über Massen (z.B. 1.500 Mg) oder Produktionszeiträume (z.B. 1 Monat) festgelegt.

2.13 Homogenität

Gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] ist Homogenität jener Grad, in dem ein Bestandteil gleichförmig über eine Materialmenge verteilt ist. Ein Material kann hinsichtlich eines Bestandteiles homogen sein, während sie hinsichtlich eines anderen jedoch heterogen ist.

2.14 Heterogenität

Die prEN 14899:2004 (dt) [33] definiert Heterogenität als jenen Grad, in dem ein Bestandteil nicht gleichförmig über eine Materialmenge verteilt ist. Der Grad der Heterogenität ist der bestimmende Faktor bei der Probenahmeunsicherheit.

2.15 Probenahmeplan

Gemäß prEN 14899:2004 (dt) [33] beinhaltet der Probenahmeplan sämtliche für eine bestimmte Probenahmetätigkeit relevanten Informationen.

Die folgende Abbildung 2.1 zeigt die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Probenbezeichnungen in grafischer Form.

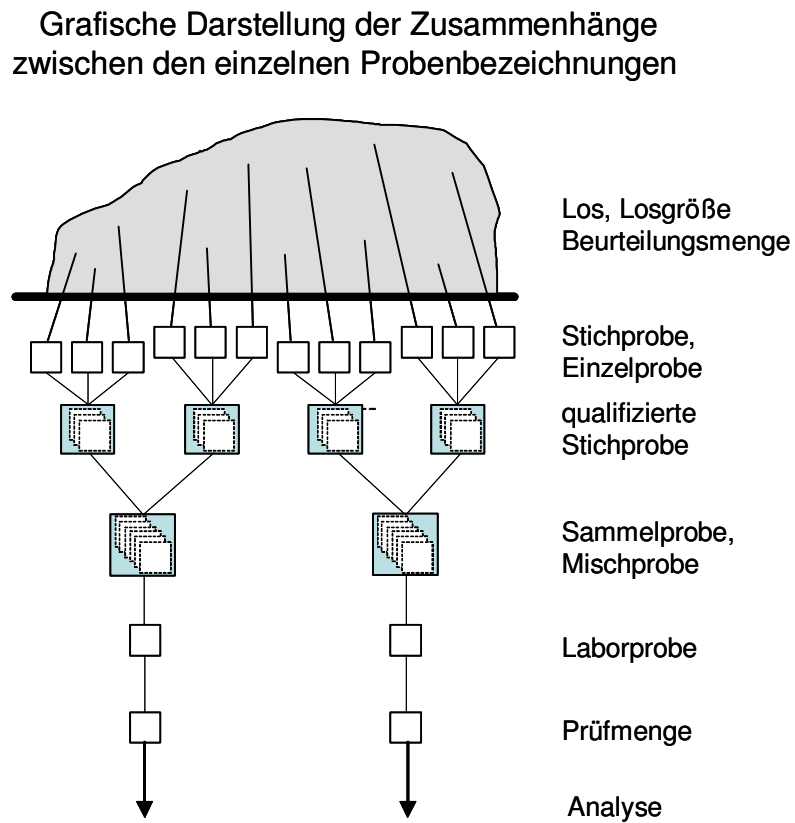


Abbildung 2.1: Grafische Darstellung der Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Probenbezeichnungen

3 Rechtliche Aspekte für qualitätsgesicherte Abfälle

Die rechtlichen Weiterentwicklungen auf nationaler und insbesondere auf europäischer Ebene führten in der Vergangenheit auch zu grundlegenden Änderungen innerhalb der österreichischen Abfallwirtschaft. Dies trug u.a. maßgeblich dazu bei, dass die Mitverbrennung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen, vor allem in der Zementindustrie und in kalorischen Kraftwerken, in den letzten Jahren durch die veränderten Rahmenbedingungen (Deponieverordnung, Liberalisierung des Strommarktes, Preisreduktion von Zement usw.) zunehmend an Bedeutung gewann. Dabei wird vor allem der energetischen und stofflichen Nutzung von Abfällen ein besonderer Stellenwert zuteil. Darüber hinausgehend hat sich der teilweise Ersatz von konventionellen Brennstoffen durch Biomasse sowie durch definierte ungefährliche Abfälle als Ersatzbrennstoffe als eine geeignete Maßnahme zur Sicherung von Standorten industrieller Feuerungsanlagen infolge der Reduzierung der Brennstoffkosten herausgestellt.

Für die Etablierung eines Güte- oder Qualitätssicherungskonzeptes auf Basis von Qualitätskriterien ist es von entscheidender Bedeutung in wie weit legislative Regelungen derartige Bemühungen unterstützen und fördern. In den folgenden Kapiteln wird auszugsweise auf die abfallrelevanten Gesetze und Verordnungen bzw. den entsprechenden Erkenntnissen des Europäischen- und des Österreichischen Verwaltungsgerichtshofes zum Thema der Verwertung von Abfällen eingegangen. Den Abschluss bilden die Darstellung des Qualitätsbegriffes im österreichischen Abfallrecht und eine zusammenfassende Diskussion.

3.1 Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte⁴

Mit Beginn der 90er Jahre ist das Problem des Elektro- und Elektronikschrotts vermehrt ins Blickfeld gerückt. Seitdem werden in vielen Ländern Überlegungen angestellt, um die Verwertung und umweltgerechte Entsorgung dieses Abfallstromes voranzubringen. Der Anteil an Elektro- und Elektronik-Schrott an den Abfallströmen der EU Mitgliedsstaaten ist derzeit noch vergleichbar gering, dieser spezielle Abfall stellt jedoch die am schnellsten wachsende Fraktion des gesamten Abfallaufkommens dar.

Um diesem Abfallproblem entgegenzuwirken hat die Europäische Union die Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (EAG-Richtlinie) [34] verabschiedet. Sie wurde von Österreich durch die Elektro-Altgeräteverordnung [35] in nationales Recht umgesetzt. Priorität hat die Reparatur ganzer Elektro- und Elektronik-Altgeräte und die

⁴ Elektro- und Elektronikaltgeräte: Sind Geräte, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder benötigen, und Geräte zur Erzeugung, Übertragung und Messung solcher Ströme und Felder, die unter die in Anhang 1 der Altgeräteverordnung aufgeführten Gerätekategorien fallen und für den Betrieb mit Wechselstrom von höchstens 1000 Volt oder Gleichstrom von höchstens 1500 Volt ausgelegt sind.

nachfolgende Wiederverwendung⁵. Wenn dies nicht möglich ist, sind die in der Richtlinie festgelegten Ziele im Hinblick auf die Wiederverwendung von Bauteilen und die stoffliche Verwertung der verwendeten Materialien zu erreichen.

Die Richtlinie unterscheidet zwischen einer Gesamt-Verwertungsquote (siehe Tabelle 3.1) innerhalb derer auch die vor allem für Kunststoffe wichtige thermische Verwertung zulässig ist, und einer in der Regel nur geringfügig darunter liegenden Quote für die stoffliche Verwertung inklusive einer Wiederverwendung von Bauteilen (exklusive der Wiederverwendung ganzer Geräte). Die Höhe der Quoten ist in der Altgeräteverordnung geregelt und in Tabelle 3.2 beispielhaft für Großgeräte dargestellt.

Tabelle 3.1 Abgrenzung zwischen Recycling- und Verwertungsquote

Wiederverwendung	Verwertung		Beseitigung
Wiederverwendung von Bauteilen	Stoffliche Verwertung von Bauteilen, Werkstoffen und Stoffen (Recycling)	Thermische Verwertung	Deponie
Recyclingquote			
Verwertungsquote			

Tabelle 3.2 Verwertungsziele am Beispiel von Großgeräten [35]

Sammel- und Behandlungskategorien	Gerätekatgorien gemäß Anhang 1	Verwertungsziele des durchschnittlichen Gewichts je Gerät		Mindestmengen der Rücknahmepflicht [kg]
		Verwertungsquote [%]	Quote der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen [%]	
Großgeräte	Haushaltsgroßgeräte (exkl. Kühl-, Gefrier- und Klimageräte)	80	75	4000
	Beleuchtungskörper - groß (exkl. Gasentladungslampen)	70	50	
	Elektrische und elektronische Werkzeuge - groß	70	50	
	Spiel-, Sport- und Freizeitgeräte - groß	70	50	
	Automatische Ausgabegeräte ohne Kühlvorrichtung	80	75	-
	Medizinische Geräte - groß	-	-	-
	Überwachungs- und Kontrollinstrumente - groß	70	50	-

Für die thermische Verwertung der Kunststoffe in einer industriellen Anlage müssen die Abfälle qualitätsgesichert sein.

⁵ Wiederverwendung: Sind Maßnahmen, bei denen die Elektro- und Elektronik-Altgeräte zu dem gleichen Zweck eingesetzt werden, für den sie entworfen wurden, einschließlich der weiteren Nutzung von Geräten oder ihren Bauteilen, die zu Sammelstellen, Vertreibern, Recyclingbetrieben oder Herstellern gebracht werden.

3.2 Altfahrzeugeverordnung

In Österreich wurde die Richtlinie des Rates RL 2000/53/EG [36] über Altfahrzeuge in Form der Altfahrzeuge-VO (RL 2000/53/EG) [28] in nationales Recht umgesetzt. Das Ziel der Verordnung ist es, Maßnahmen festzulegen, die die Vermeidung von Abfällen aus Fahrzeugen, die Wiederverwendung und Verwertung von Altfahrzeugen und ihren Bauteilen intensivieren sollen. Die zu beseitigende Abfallmenge ist im Sinne einer nachhaltigen Stoffbewirtschaftung und einer Verbesserung der Umweltsituation zu verringern. Dies soll durch alle in den Lebenskreislauf von Fahrzeugen einbezogenen Wirtschaftsbeteiligten, insbesondere durch die Verpflichtung der unmittelbar mit der Behandlung von Altfahrzeugen Beteiligten, erreicht werden.

Der Geltungsbereich für die Altfahrzeuge-VO mit den jeweiligen Ausnahmen ist unter § 3 Altfahrzeuge-VO erläutert:

1. *Diese Verordnung gilt für Fahrzeuge und Altfahrzeuge einschließlich ihrer Bauteile und Werkstoffe. Dies gilt unabhängig davon, wie das Fahrzeug während seiner Nutzung gewartet oder repariert worden ist und ob es mit vom Hersteller gelieferten Bauteilen oder mit anderen Bauteilen bestückt ist, deren Einbau als Ersatz- oder Austauschteile zulässig ist.*
2. *Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung wie insbesondere Wohnmobile, beschussgeschützte Fahrzeuge, Krankenwagen und Leichenwagen gemäß § 2 Abs. 1 Z 28a bis 28d KFG 1967 [37] sind von § 7 und § 11 Abs. 1 ausgenommen.*
3. *Für dreirädrige Kraftfahrzeuge gilt nur § 5 Abs. 1 Z 1, 4 und 5 dieser Verordnung.*

Die Altfahrzeuge-VO schreibt eine Verwertungsquote vor, welche im Jahr 2006 (bzw. 2015) mindestens 85 Gew.-% (bzw. 95 Gew.-%) betragen muss. Von den 85 Gew.-% respektive 95 Gew.-% müssen mindestens 80 Gew.-% (bzw. 85 Gew.-%) wieder verwendet und/oder stofflich verwertet werden. Die verbleibenden 15 Gew.-% (bzw. 5 Gew.-%) können beseitigt werden. In der nachfolgenden Tabelle 3.3 sind die Verwertungsquoten für das Jahr 2006 und 2015 dargestellt.

Tabelle 3.3 Vorgeschriebene Verwertungsquoten [28]

Zeitpunkt [Jahr]	Verwertungsquote ⁶ [Gew.-%]		Beseitigung [Gew.-%]
	stofflich	thermisch	
2006	mind. 80	5	max. 15
2015	mind. 85	10	max. 5

⁶ Die Verwertungsquote bezieht sich immer auf das durchschnittliche Fahrzeuggewicht aller Altfahrzeuge pro Kalenderjahr und wird in Gew.-% angegeben.

Grundsätzlich wird die stoffliche Verwertungsquote von 80 Gew.-% für das Jahr 2006 (bzw. 85 Gew.-% für das Jahr 2015) aus der Summe der Massen von Bauteilen zur Wiederverwendung und der Fraktionen zur stofflichen Verwertung durch das durchschnittliche Fahrzeuggewicht aller Altfahrzeuge gebildet. Wenn ebenfalls die Massen der Fraktionen zur thermischen Verwertung berücksichtigt werden, so ergibt sich daraus die gesamte Verwertungsquote von 85 Gew.-% (2006) bzw. 95 Gew.-% (2015). Die Restfraktion kann entweder deponiert oder einer thermischen Beseitigung zugeführt werden (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4 Zusammensetzung der Verwertungsquoten nach der Altfahrzeuge-VO [28]

Bauteile zur Wiederverwendung	Fraktionen zur stofflichen Verwertung	Fraktionen zur thermischen Verwertung	Restfraktion
Stoffliche Verwertungsquote = 80 (85) %			
Verwertungsquote = 85 (95) %			
Masse des Altfahrzeuges = 100 %			

Änderungen in Bezug auf die Verwertungsquoten für das Jahr 2015 können sich bis zum 31. Dezember 2005 nach einer Überprüfung des Europäischen Parlaments und des Rates auf der Grundlage eines Berichtes der Kommission ergeben. Dieser Bericht soll insbesondere die Entwicklung der Materialzusammensetzung und andere relevante fahrzeugbezogene Umweltaspekte enthalten.

Die folgende Abbildung 3.1 zeigt den Weg des Altfahrzeuges bei der Aufbereitung mit den dabei entstehenden Fraktionen [38]. Nach der Zerkleinerung mittels eines Shredders erfolgt über einen Magnetscheider eine Fe-Abtrennung. Darauf folgend wird über einen Windsichter die verbleibende Fraktion in einen nicht flugfähigen (Shredderschwerfraktion) und einen flugfähigen Rückstand (Shredderleichtfraktion bzw. Shredderleichtmüll) getrennt. Nach der eventuellen Abtrennung des Fe-Schrotts durch einen zweiten Magnetabscheider und der Abtrennung der Buntmetalle durch einen Wirbelstromscheider wird der Rückstand der Shredderschwerfraktion weiter aufbereitet, da der Metallgehalt und damit die Wertschöpfung noch entsprechend hoch ist. Der aus dieser Aufbereitung verbleibende Rückstand wird zusammen mit der gesamten Shredderleichtfraktion als Shredderrückstand oder Shreddermüll bezeichnet.

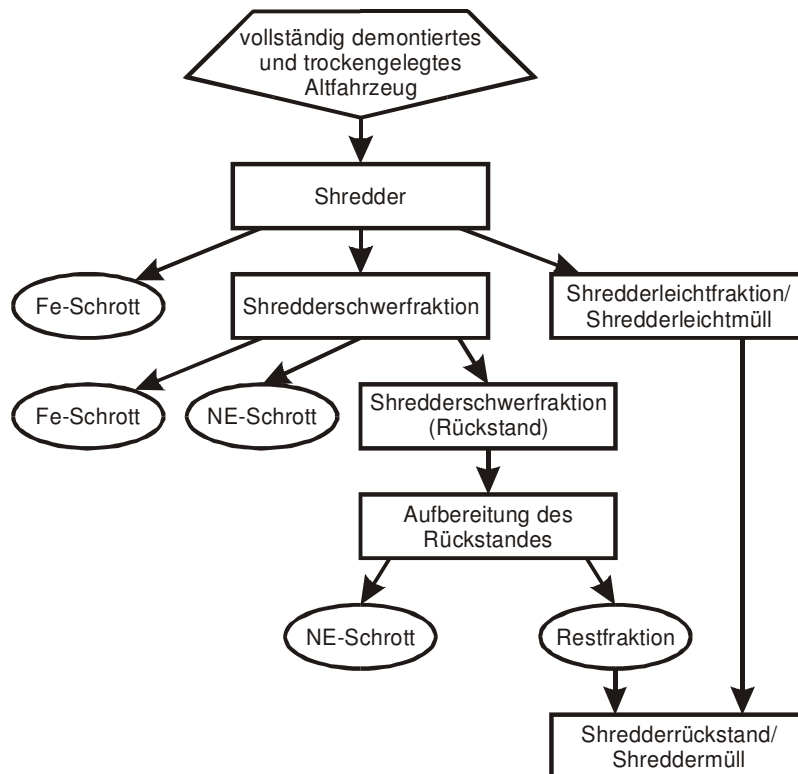


Abbildung 3.1: Fraktionen beim Shreddern von Altfahrzeugen [38]

Um die vorgeschriebenen Verwertungsquoten erreichen zu können, muss die Aufbereitung und Verwertung des Shredderrückstandes gelöst werden. Zurzeit beträgt die anfallende Menge rund 20 Gew.-% des durchschnittlichen Übergewichts. Durch einen vermehrten Einsatz an Kunststoffen im Kfz wird sich diese bis ins Jahr 2015 wahrscheinlich auf über 24 Gew.-% erhöhen [38]. Wenn der bei der Aufbereitung anfallende Shredderrückstand/Shreddermüll einer thermischen Verwertung in einem industriellen Prozess zugeführt werden soll, muss dieser entsprechend qualitätsgesichert sein. Gleiches gilt für die stoffliche Verwertung der unterschiedlichen Fraktionen.

3.3 Deponieverordnung

Im europäischen Raum besteht ein komplexes Netzwerk übernationaler, staatlicher und landesweiter Instrumente zur Lenkung der Abfallwirtschaft. Mit der EU-Richtlinie des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien (1999/31/EG) [39] wurde erstmals eine europaweite Bestimmung über Deponien erlassen. Im Jahr 2002 wurde die Entscheidung des Rates zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien festgesetzt (2003/33/EG).

In Deutschland ist diesbezüglich die wichtigste Regelungen die Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV 2001) [40].

In Österreich, Deutschland und in der EU reglementieren die rechtlich erforderlichen Rahmenbedingungen die Qualität der abzulagernden Abfälle. In Österreich wurde 1990 das Abfallwirtschaftsgesetz [41] und auf Basis dieses Gesetzes eine Reihe von Verordnungen erlassen. Eine wesentliche Verordnung im Bereich der Abfallbehandlung und Abfallentsorgung ist die Deponieverordnung. Im Gegensatz bisher angewendeter Verfahren der direkten Deponierung unbehandelter Abfälle ist durch Inkrafttreten dieser seit 1.1.2004 verordnet, nur mehr reaktionsarme Abfälle zu deponieren. Zum einen soll gewährleistet werden, dass die heizwertreichen Materialien künftig nicht mehr deponiert sondern energetisch verwertet werden. Zum anderen sollen die mikrobiell verfügbaren Anteile im Restabfall weitgehend reduziert werden, um damit eine ausreichende biologische Stabilität des Deponiematerials zu gewährleisten.

Gemäß der österreichischen Deponieverordnung ist eine Ablagerung von Abfällen erlaubt, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) weniger als 5 M.-% beträgt [3]. Um die Anforderungen der Deponieverordnung zu erfüllen, können Verfahren wie die mechanisch-biologische und thermische Abfallbehandlung eingesetzt werden. Für Abfälle nach einer mechanisch-biologischen Behandlung (MBA) besteht eine Ausnahmeregelung hinsichtlich des Gehaltes an organischer Substanz. MBA-Fractionen dürfen auch bei TOC-Gehalten über 5 M.-% abgelagert werden, wenn der aus der Trockensubstanz bestimmte Brennwert (obere Heizwert) weniger als 6.000 kJ/kg TS beträgt und die Grenzwerte für die Gesamtschadstoffgehalte bzw. Eluatwerte eingehalten werden. Liegt der aus der Sammelprobe erhaltene Brennwert für die Abfallcharge bei höchstens 6.000 kJ/kg TS, so gilt das Brennwertkriterium als erfüllt. Überschreitet der erhaltene Brennwert den Wert von 6.000 kJ/kg TS, so ist eine Mehrfachuntersuchung der Abfallcharge erforderlich. Hierfür sind aus derselben Abfallcharge maximal fünf weitere Feldproben nach den Vorgaben der ÖNORM S 2123 Teil 1 zu ziehen. Es ist ein Beurteilungswert als arithmetischer Mittelwert aus den Ergebnissen aus allen Sammelproben zu ermitteln, wobei maximal das Ergebnis einer Sammelprobe auf Basis eines anerkannten Ausreißertests eliminiert werden darf. Überschreitet der Beurteilungswert den Wert von 6.600 kJ/kg TS nicht und liegt kein Ergebnis aus einer Sammelprobe nach allfälliger Ausreißerelimination über 7.200 kJ/kg TS vor, so gilt das Brennwertkriterium als erfüllt [42].

Die geforderte Verringerung des oberen Heizwertes auf $H_o < 6.000$ kJ/kg TS kann durch Endrotteverfahren nur realisiert werden, wenn die Strategie des mechanisch-biologischen Restabfallsplittings konsequent umgesetzt wird. Zum einen müssen biologisch nicht abbaubare Materialien abgetrennt und die biologisch abbaubaren Anteile einer mindestens 12 bis 16-wöchigen aeroben und/oder anaeroben biologischen Behandlung bei optimalen Milieubedingungen unterzogen werden. Die folgende Abbildung 3.2 zeigt eine vereinfachte Darstellung eines MBA-Konzeptes. Die für 2007 vorgesehene Neuherausgabe der Deponieverordnung 2007 (Umsetzung der EU-Deponieverordnung [39] in nationales Recht) liegt z.Z. nur als Entwurf vor und wird in dieser Dissertationsarbeit noch nicht berücksichtigt.

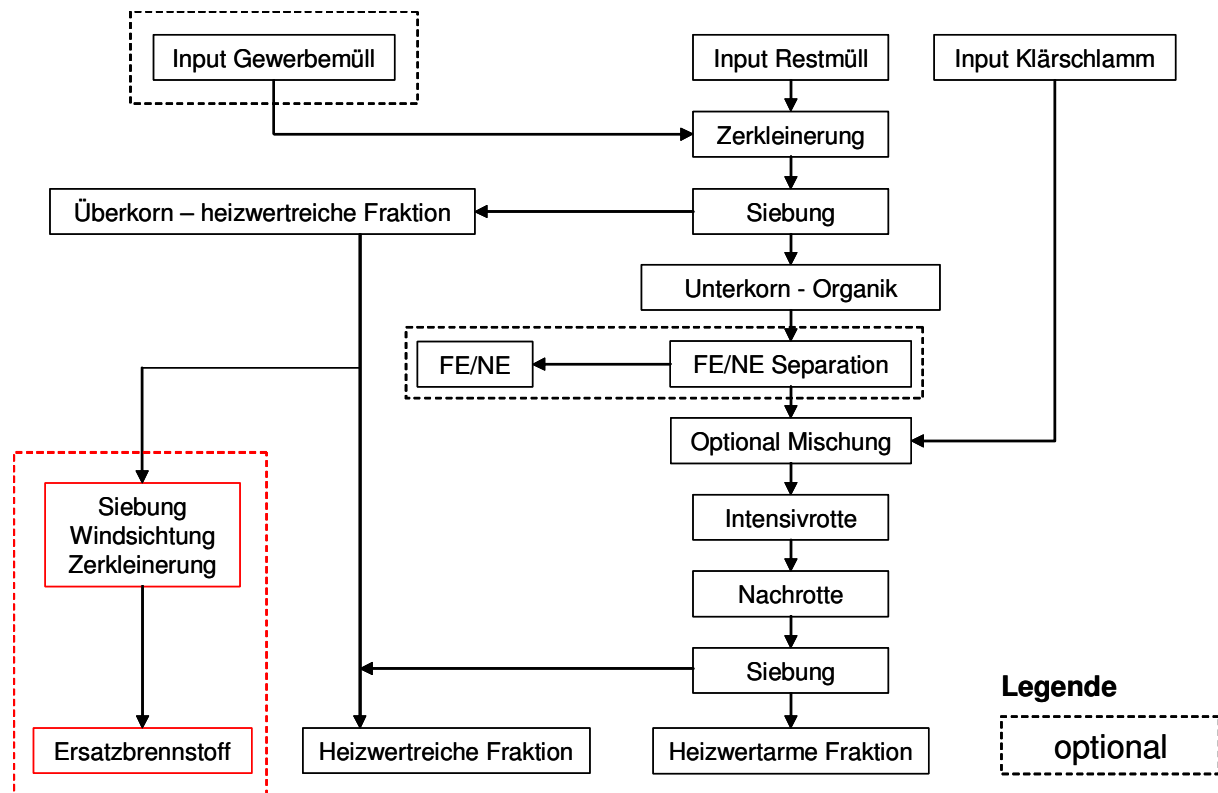


Abbildung 3.2: Vereinfachte Darstellung grundlegender MBA-Konzepte [26]

Die so biologisch vorbehandelten Reststoffe müssen i.d.R. einer abschließenden mechanischen Aufbereitung unterzogen werden, um den geforderten Wert für den H_0 (<6.600 kJ/kg) zu erreichen. Der biologisch stabilisierte, heizwertarme Anteil ist abschließend in einer Massenabfalldeponie abzulagern, heizwertreiche Siebreste sind unter Nutzung der Energieinhalte thermisch zu behandeln [43]. Werden Abfälle mechanisch-biologisch behandelt ergibt sich aus der Forderung der Verwertung der heizwertreichen Fraktion die Notwendigkeit von Qualitätskriterien.

3.4 Judikatur des EUGH zur Verwertung

Wie bereits unter Kapitel 2.2 beschrieben, ist die Unterscheidung zwischen thermischer Verwertung und thermischer Beseitigung im AWG 2002 nicht vorgenommen worden. Die Frage der Abgrenzung zwischen thermischer Verwertung – thermischer Beseitigung ist jedoch von Wichtigkeit, da diesbezüglich eine Privilegierung der Verwertung gegenüber der Beseitigung besteht (vgl. Kapitel 3.6). Es ist in diesem Zusammenhang fraglich, ob es den einzelnen Mitgliedsstaaten freigestellt werden soll, die thermische Verwertung national zu regeln. Die EU-Kommission vertritt hiezu den Standpunkt, dass dies nicht zulässig ist [44]. Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Erkenntnisse aus den Vertragsverletzungsverfahren gegen EU Mitgliedsstaaten im Zusammenhang mit der thermischen Verwertung von Abfällen angeführt.

3.4.1 Vertragsverletzungsverfahren EU-Kommission gegen Deutschland (Rs C-228/00)

Die vorliegende Klage wegen Vertragsverletzung ist mittelbar auf verschiedene beabsichtigte Abfalltransporte von Deutschland nach Belgien zurückzuführen [45]. Diese Verbringungen waren den zuständigen deutschen Behörden als zur Verwertung bestimmte Abfallverbringungen notifiziert worden; die deutschen Behörden hielten die geplanten Maßnahmen jedoch für Beseitigungsvorgänge. Es geht bei diesem Verfahren im Wesentlichen um die Unterscheidung zwischen Abfallbeseitigung und Abfallverwertung und insbesondere darum, ob die Verbrennung von Abfällen in einem industriellen Prozess und die damit verbundene Substitution von Primärenergieträgern als Beseitigungs- oder als Verwertungsverfahren einzustufen ist.

Von den Verbringungen waren zwei Gruppen von Abfällen betroffen. Zum einen handelte es sich um Abfälle, die bereits in Deutschland zu Ersatzbrennstoff verarbeitet worden waren. Abfälle wie Lack- und Farbschlämme, Latexschlämme, Ölschlämme, Bleicherde, Aluminiumschlamm wurden mit Sägemehl vermischt; dieses Gemisch sollte in Zementöfen verbrannt werden und somit bis zu einem Drittel der sonst eingesetzten Primärenergie substituieren. Der Heizwert der Abfälle betrug in einigen Fällen mehr als 11.000 kJ/kg.

Zum anderen handelte es sich um Abfälle, die in einer Anlage in Belgien zu einem Ersatzbrennstoff namens Resofuel verarbeitet werden sollten (Aktivkohle- und Graphitabfälle, Lösungsmittel enthaltende Destillationsrückstände, Sägemehl und -späne, Holzfasern und Schlämme aus der Papierherstellung, usw.). Dieser Ersatzbrennstoff sollte insbesondere in Zementöfen verbrannt werden und dort Primärenergie vollständig ersetzen.

Deutschland macht in erster Linie geltend, die Mitgliedstaaten seien in Fällen wie dem vorliegenden berechtigt, eigene Unterscheidungskriterien zwischen Beseitigungs- und Verwertungsmaßnahmen aufzustellen. Zahlreiche andere Mitgliedstaaten hätten konkretisierende Unterscheidungsmerkmale entwickelt, die u. a. durch vorgeschriebene Mindestheizwerte zum Ausdruck kämen (z.B. 5.000 kJ/kg in Frankreich bzw. 21.000 kJ/kg in Großbritannien).

Für die Kommission hingegen liegt der entscheidende Faktor für die Einordnung einer Maßnahme in R 1 des Anhangs II B der Abfallrichtlinie [21] darin, dass die Abfälle als Brennstoff verwendet werden. Diese Verwendung liege nur vor, wenn erstens die Verbrennung der Abfälle thermische Energie erzeuge und zweitens die somit gewonnene Energie auch tatsächlich verwendet werde, so dass die verbrannten Abfälle andere Energiequellen ersetzen. Zusätzlich dazu sind Mitgliedsstaaten nicht berechtigt, nationale Kriterien zu entwickeln, welche einer näheren Ausführung des Tatbestandes der Verwertung bzw. Beseitigung dienen.

Da die Bundesrepublik Deutschland unberechtigte Einwände gegen bestimmte Verbringungen von Abfällen in andere Mitgliedsstaaten zur Hauptverwendung als Brennstoff erhoben hat, wurde der Klage der EU-Kommission stattgegeben.

3.4.2 Vertragsverletzungsverfahren EU-Kommission gegen Luxemburg (Rs C-458/00)

Die Kommission machte im Rahmen der erhobenen Klage [46] geltend, dass Einwände des Großherzogtums Luxemburg gegen die Verbringung bestimmter Abfälle in andere Mitgliedstaaten zur hauptsächlichen Verwendung als Brennstoff nicht berechtigt seien. Die zuständige luxemburgische Behörde qualifizierte den Vorgang entgegen der Notifizierung als Beseitigung. Bei diesem Verfahren geht es also im Wesentlichen um die Unterscheidung zwischen Abfallbeseitigung und Abfallverwertung und insbesondere darum, ob die Verbrennung kommunaler Abfälle in einer Verbrennungsanlage, in der die gewonnene Wärme ganz oder größtenteils zur Energieerzeugung verwendet wird, als Beseitigungs- oder als Verwertungsvorgang einzuordnen ist.

Anfang 1998 übermittelte ein Luxemburger Unternehmen der zuständigen Behörde zwei Notifizierungen zwecks Genehmigung der Verbringung von Hausmüll und ähnlichen Abfällen. Die zuständige luxemburgische Behörde beschloss jedoch, dass der Vorgang anders, nämlich als Verbringung von zur Beseitigung bestimmten Abfällen, zu bewerten sei, wobei die Verbringung nur möglich wäre, wenn nachgewiesen würde, dass die Abfälle aus technischen Gründen oder wegen unzureichender Kapazität nicht in einer Beseitigungsanlage in Luxemburg behandelt werden können. Dies begründete die Behörde damit, dass die Abfallverbrennung in einer Anlage, die in erster Linie der thermischen Aufbereitung zur Mineralisierung der Abfälle diene, in Luxemburg als Beseitigungsverfahren unter D10 der Anhangs II A der Abfallrichtlinie betrachtet werde, und zwar unabhängig davon, ob die erzeugte Wärme verwertet werde oder nicht.

Ein Verbrennungsverfahren ist nur dann in die Beschreibung unter Nummer R1 einzuordnen, wenn sein Zweck hauptsächlich in der Verwendung der Abfälle als Brennstoff oder hauptsächlich in der Verwendung der Abfälle als anderes Mittel der Energieerzeugung besteht. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so handelt es sich um eine Verbrennung an Land im Sinne von Nummer D10 des Anhangs II A der Abfallrichtlinie. Der Hauptzweck einer Abfallverwertungsmaßnahme ist im Gegensatz darauf gerichtet, dass die Abfälle eine sinnvolle Aufgabe erfüllen können, indem sie andere Materialien ersetzen, die für diese Aufgabe hätten verwendet werden müssen, wodurch natürliche Rohstoffquellen erhalten werden können. Bei Abfällen, die in einer für die Verbrennung erstellten Anlage verbrannt werden, ist diese Frage mit einem klaren Nein zu beantworten. Wären nämlich keine Abfälle vorhanden, würde keine Verbrennung vorgenommen. Unter diesen Umständen kann die Maßnahme nicht einfach deshalb als Verwertung angesehen werden, weil, sofern Abfälle vorhanden sind und verbrannt werden, die Verbrennungswärme ganz oder teilweise als Mittel der Energieerzeugung verwendet wird. Diese Tatsache allein macht die Verwendung

der Abfälle als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung nicht zum Hauptzweck der Verbrennung. Eine Energierückgewinnung entspricht dem Ziel der Verordnung natürliche Ressourcen zu erhalten. Wenn die Rückgewinnung der Wärme allerdings nur ein Nebeneffekt einer Maßnahme ist, so kann es sich nicht um eine Verwertungsmaßnahme handeln. Die Klage der EU-Kommission wurde abgewiesen.

3.5 Judikatur des österreichischen Verwaltungsgerichtshof (VwGH) zum Thema Verwertung

Mit dem Erkenntnis 2001/07/0043 [47] vom 25.07.2002 hat der VwGH die Abfalleigenschaft eines aus unterschiedlichen Kunststoffabfällen hergestellten Regelbrennstoffes aufgehoben.

Ausgangspunkt des Verfahrens war ein Feststellungsbescheid gemäß §4 Abs. 1 Z.1 AWG 1990 [41] über die Nichtabfalleigenschaft des Regelbrennstoffs. Das BMLFUW hob diesen mit der Begründung auf, dass die Abfalleigenschaft zum einen aufgrund der erfolgten Entledigung (subjektiver Abfallbegriff), zum anderen deshalb vorliege, da es sich nicht um ein Verwertungsverfahren, sondern nur um eine sonstige chemisch-physikalische Behandlung handle.

Für die Herstellung des Regelbrennstoffes werden ausschließlich produktionsspezifische Abfälle als Inputstoffe verwendet. Diese werden getrennt gelagert und separat in einem mehrstufigen Prozess verarbeitet. Die Eigenschaften des erzeugten Produktes sind hinsichtlich der Manipulations- bzw. lagerrelevanten Materialeigenschaften, der chemisch-physikalischen Eigenschaften und der verbrennungstechnischen Eigenschaften mit klassischen Brennstoffen wie Stein- und Braunkohle vergleichbar. Der Regelbrennstoff wird am Markt nachgefragt und kann in Anlagen unterschiedlicher Technologie (z.B. Wirbelschicht- und Kohlestaubfeuerung) zum Einsatz kommen. Qualitative Maßnahmen werden beim Wareneingang, bei der analytischen Kontrolle während der Produktion sowie bei der analytischen Ausgangskontrolle durchgeführt.

Der VwGH hat dazu in dem zitierten Erkenntnis folgendes ausgeführt:

- Da der Produzent des Regelbrennstoffes Inputmaterialien für die Herstellung dieses einkauft, eigens Produktionsmechanismen im Betrieb aufgebaut hat, für den erzeugten Regelbrennstoff ein Markt existiert, kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Entledigungsabsicht besteht. Der subjektive Abfallbegriff liegt daher nicht vor.
- Da der hergestellte Ersatzbrennstoff in seinen Eigenschaften einem Primärrohstoff vergleichbar ist, kann eine neue Sache im Sinne des §2 Abs. 2 Z 1 AWG 1990 nicht ausgeschlossen werden.
- Von dem hergestellten Regelbrennstoff gehen keine Gefahren für die Schutzgüter des § 1 Abs. 3 AWG 1990 aus.

- Eine Verwertung im Sinne des § 2 Abs. 3 AWG 1990 liegt nicht erst dann vor, wenn der aus Abfällen hergestellte Stoff seiner endgültigen Bestimmung zugeführt wurde. Vielmehr kann eine Verwertung oder Verwendung auch bereits in der Herstellung des Produktes liegen. Damit können auch Zwischenprodukte als die Abfalleigenschaft beendende Ergebnisse des Verwertungsprozess in Frage kommen.

3.6 Qualitätsbegriff im österreichischen Abfallrecht

Im österreichischen Abfallrecht wurden Möglichkeiten eröffnet, welche die Bestrebungen zur Einführung von Regelwerken im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen fördern. Im Wesentlichen geschieht dies einerseits im AWG 2002 [2] und andererseits in der Abfallverzeichnisverordnung [49].

3.6.1 AWG 2002

Unter § 5 des AWG 2002 wird beschrieben, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, dass für Abfälle das Abfallende eintritt. Darin heißt es:

„...§ 5. (1) Soweit eine Verordnung gemäß Abs. 2 nicht anderes bestimmt, gelten Altstoffe so lange als Abfälle, bis sie oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar als Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten verwendet werden.

(2) Der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wird ermächtigt, in Übereinstimmung mit den Zielen und Grundsätzen der Abfallwirtschaft, unter Wahrung der öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3) und unter Bedachtnahme auf die Vorgaben des Bundes-Abfallwirtschaftsplans mit Verordnung abweichend zu Abs. 1 festzulegen, unter welchen Voraussetzungen, zu welchem Zeitpunkt und für welchen Verwendungszweck bei bestimmten Abfällen die Abfalleigenschaft endet.

Eine derartige Verordnung ist nur zu erlassen, wenn:

- 1. die Sache üblicherweise für diesen bestimmten Verwendungszweck eingesetzt wird,*
- 2. ein Markt dafür existiert,*
- 3. Qualitätskriterien, welche die abfallspezifischen Schadstoffe berücksichtigen, insbesondere in Form von technischen oder rechtlichen Normen oder anerkannten Qualitätsrichtlinien, vorliegen und*
- 4. keine höhere Umweltbelastung und kein höheres Umweltrisiko von dieser Sache ausgeht als bei einem vergleichbaren Primärrohstoff oder einem vergleichbaren Produkt aus Primärrohstoff.“...*

„...*(3) Eine Verordnung gemäß Abs. 2 hat entsprechend den Erfordernissen des Umweltschutzes insbesondere folgende Punkte zu enthalten:*

- 5. die Festlegung von Qualitätskriterien entsprechend einem Produkt oder einem Rohstoff oder die Einhaltung von Anforderungen für einen Herstellungsprozess;*
- 6. die Begrenzung abfallspezifischer Schadstoffe;*
- 7. die Art des Nachweises und der Nachweisführung in Abhängigkeit der Qualitätskriterien...“*

Entscheidend in diesem Zusammenhang wird sein, an Hand welcher Parameter der Vergleich der Umweltbelastungen zwischen Ersatzbrennstoff und Primärrohstoff erfolgen wird. Eine Vielzahl von Elementen, wie z.B. Antimon, ist in Primärrohstoffen wie Kohle nicht oder nur in Spuren enthalten bzw. wurde bisher nur vereinzelt untersucht. Antimon (Sb) steht in jüngster Zeit allerdings sehr oft im Mittelpunkt der Diskussion da dieses Element bei der Erzeugung von PET-Flaschen als Katalysator eingesetzt wird und damit in Abfall gelangt. Wird er unter anderem zur Beurteilung herangezogen, ist eine Entscheidung zu Gunsten des Abfallendes für bestimmte kunststoffhaltige Ersatzbrennstoffe eher unwahrscheinlich. Die Auswahl der abfallspezifischen Parameter wird daher Einiges an Gesprächen und Arbeiten erfordern um eine fundierte Entscheidung treffen zu können.

3.6.2 Kompostverordnung

Die erste erlassene Verordnung zur Festschreibung des Abfallendes ist die „Kompostverordnung“, BGBl II 292/2001 [48]. Sie regelt die Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen, die Art und Herkunft der Ausgangsmaterialien, die Kennzeichnung und das In-Verkehr-Bringen sowie das Ende der Abfalleigenschaft von Komposten aus Abfällen.

In der Verordnung sind wesentliche Elemente eines QS-Konzeptes festgeschrieben. Durch die Eingangskontrolle hat der Komposthersteller und der Aufbereiter zu kontrollieren, ob die übernommenen und eigenen Materialien für die Herstellung von Komposten zulässig sind. Hierzu sind insbesondere Art, Herkunft und Qualität verordnungsgemäß zu überprüfen. Unzulässige Ausgangsmaterialien sind von der Kompostierung auszuscheiden.

Während der Herstellung des Kompostes ist besonderes Augenmerk auf die Produktqualität zu legen. So müssen enthaltene und abtrennbare Anteile an Stör- oder Schadstoffen in den Ausgangsmaterialien abgetrennt werden, um die Vorgaben zu erfüllen und eine möglichst hohe Kompostqualität zu erreichen. Können die Anforderungen auch durch Stör- und Schadstoffabtrennung nicht erreicht werden, so sind diese Chargen von der Kompostierung und von der Aufbereitung auszuscheiden und einer ordnungsgemäßen Abfallbehandlung zuzuführen.

Zur Sicherstellung der Kompostqualität hat der Komposthersteller die Kompostcharge vor dem In-Verkehr-Bringen so zu durchmischen, dass die gesamte Kompostcharge möglichst homogen ist und in allen Teilen der Deklaration entspricht. Der Komposthersteller hat in regelmäßigen Abständen eine externe Güteüberwachung unter Anwendung festgelegter Untersuchungsmethoden durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt durchführen zu lassen. Die Kompostverordnung beinhaltet somit Elemente welche auch in einem zu entwickelnden Konzept für Ersatzbrennstoffe beinhaltet sein müssen.

3.6.3 Abfallverzeichnisverordnung

Mit der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis [49] wurde die Entscheidung des Rates 2000/532/EG über ein EG-Abfallverzeichnis [50] umgesetzt. Damit sollte eine Übernahme der Abfallbezeichnungen und Codes des EG-Abfallverzeichnisses vorgenommen werden. Unter dem Code 19 12 10 sind darin „brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfall)“ mit dem Zusatz „nur qualitätsgesicherte brennbare Abfälle“ angeführt. Anlage 1 der Verordnung führt dazu aus, dass eine Zuordnung einer heizwertreichen Fraktion nach entsprechender Qualitätssicherung zulässig ist, sofern der brennbare Abfall Qualitätskriterien vergleichbar mit einem Produkt oder Rohstoff einhält. Die RL 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen [51] sieht vor, dass Mitverbrennungsanlagen die Grenzwerte für Alleinverbrennungsanlagen einhalten müssen, wenn diese unaufbereitete gemischte Siedlungsabfälle verbrennen. Heizwertreiche Fraktionen aus Siedlungsabfällen, die die vorhin beschriebenen Qualitätskriterien nicht erfüllen, sind der Abfallart 20 03 01 50 „Fraktionen aus Siedlungsabfällen nach einfacher Aufbereitung“ zuzuordnen. Es wurde hier also eine entsprechende Unterscheidung zwischen den beiden Abfallarten getroffen um eine Verwertung von qualitätsgesicherten heizwertreichen Fraktionen aus Siedlungsabfällen in Mitverbrennungsanlagen zu ermöglichen. Die entsprechenden Anlagen müssen nicht umgerüstet werden, um bei einem Einsatz solcher Fraktionen die wesentlich strengeren Grenzwerte von Alleinverbrennungsanlagen einzuhalten. Des Weiteren werden hier erstmals konkret Qualitätskriterien gefordert, ohne jedoch näher auf diese einzugehen. Im Zusammenhang mit dem vorhin beschriebenen „Abfallende“ kann hier angeführt werden, dass diese Qualitätskriterien für heizwertreiche Fraktionen als Grundlage für eine Abfallende Verordnung herangezogen werden könnten.

3.7 Vorteile der Verwertung aus rechtlicher Sicht

Im abfallbezogenen Gemeinschaftsrecht findet sich an vielen Stellen eine Privilegierung der Verwertung. Als Beispiele dazu seien angeführt:

- Nach der Abfallverbringungsverordnung (93/259/EWG 1993) [52], welche die Abfälle in drei Listen (grüne, gelbe und rote Liste) unterteilt, ist die Verbringung von Abfällen der grünen Liste zur Verwertung nicht notifizierungspflichtig. Der Europäische

Gerichtshof hat im Urteil Dusseldorp (C-203/96, Slg. 1998, I-4075) [53] u. a. festgestellt, dass die Grundsätze der Entsorgungsautarkie und der Nähe auf die zur Verwertung bestimmten Abfälle nicht anwendbar sind, so dass ein freier Verkehr derartiger Abfälle zwischen den Mitgliedstaaten zum Zweck ihrer Verwertung möglich sein muss, sofern der Transport nicht zu einer Gefährdung der Umwelt führt.

- In der Richtlinie über Abfälle (75/442/EWG 1975 [21]) können Anlagen oder Unternehmen welche Abfälle verwerten nach Artikel 11 unter bestimmten Voraussetzungen von der Genehmigungspflicht nach Artikel 9 bzw. 10 befreit werden. Eine der Voraussetzungen dabei ist, dass die Art oder Menge der Abfälle und die Verfahren zur Verwertung keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit verursachen oder zu einer Schädigung der Umwelt führen können.
- Im Bundesgesetzblatt I 2004/131 (Gewerbeordnung) [54] werden in der Anlage 3 IPPC-Betriebsanlagen mit entsprechenden Schwellenwerten angeführt. Anlagen zur Verwertung von nicht gefährlichen Abfällen werden aus diesem Regelungsbereich ausgenommen.

Sowohl der europäische (in der Richtlinie 75/442/EWG) als auch der nationale (in § 1 AWG 2002) Gesetzgeber messen der Verwertung von Abfällen eine besondere Bedeutung zu. Wie bereits angeführt, muss für eine derartige Verwertung in technischen Anlagen allerdings seitens der Verwerter eine entsprechende Qualität der Abfälle gefordert werden, damit diese nicht den kontinuierlichen Anlagenbetrieb bzw. die Produktqualität negativ beeinflussen und so Primärrohstoffe substituiert werden können.

3.8 Schlussfolgerungen

Aus der Darstellung im letzten Kapitel wird ersichtlich, dass eine „thermische Verwertung“ gegenüber der „thermischen Beseitigung“ erhebliche Vorteile aus legistischer Sicht mit sich bringt. Eine klare begriffliche Abgrenzung kann allerdings nicht ohne weiteres vorgenommen werden.

Wie der Europäische Gerichtshof im Urteil ASA Abfall [55] festgestellt hat, liegt das entscheidende Merkmal für eine Abfallverwertungsmaßnahme darin, dass ihr Hauptzweck darauf gerichtet ist, dass die Abfälle eine sinnvolle Aufgabe erfüllen können, indem sie andere Materialien ersetzen, die für diese Aufgabe hätten verwendet werden müssen, wodurch natürliche Ressourcen erhalten bleiben.

Das Erkenntnis aus dem Vertragsverletzungsverfahren EU-Kommission gegen Deutschland [45] beinhaltet wesentliche Vorgaben für ein Qualitätssicherungssystem. Wie bereits dargelegt, reichen die Regelungen für den Parameter Heizwerte von 5.000 kJ/kg in Frankreich bis 21.000 kJ/kg in Großbritannien. Die Anwendung so weit auseinander liegender Grenzwerte in verschiedenen Mitgliedstaaten (und möglicherweise in verschiedenen Regionen ein und desselben Mitgliedstaats) widerspräche zweifellos dem Ziel

der Abfallrichtlinie, die u. a. auf eine gemeinsame Terminologie für eine effizientere Abfallbewirtschaftung in der Gemeinschaft ausgerichtet ist, und dem der Abfallverbrennungsverordnung [52], die darauf aufbaut, dass die verschiedenen Mitgliedstaaten dieselben Verfahren für Abfälle anwenden, die spezifischen Vorgängen zugeführt werden sollen. Wenn es den Mitgliedstaaten freistünde, ihre eigenen divergierenden Kriterien zur Geltung zu bringen und dabei zu bestimmen, welche Maßnahmen als Verwertungsverfahren einzustufen sind, würde die Bedeutung des Artikels 7 Absatz 4 der Abfallverordnung, in dem die Fälle, in denen die Mitgliedstaaten Einwände gegen die Abfallverbringung zur Verwertung erheben können, abschließend aufgeführt sind, stark eingeschränkt. Als Folge daraus dürfen die Mitgliedstaaten der Verwertungsbeschreibung „Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung“ in R 1 des Anhangs II B der Abfallrichtlinie nicht weitere Kriterien definieren und hinzufügen [56].

Im Gegensatz dazu werden in den unterschiedlichsten Richtlinien klar definierte Qualitätskriterien gefordert. Die Festlegung dieser obliegt einerseits den Betreibern von Verwertungsanlagen bzw. werden diese wie im Falle der Kompostverordnung [48] durch den Gesetzgeber festgelegt. Wie bereits aus den erheblichen Unterschieden der Richtwerte für den Parameter Heizwert ersichtlich wird, besteht für eine reibungsfreie Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien die Notwendigkeit eines einheitlichen Systems.

Die Bedeutung der thermischen Verwertung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen wird auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Im Sinne einer nachhaltigen Abfallwirtschaft und des Umweltschutzes können und sollen sowohl der Energieinhalt als auch Inhaltsstoffe von Abfällen bestmöglich genutzt werden. Die Aufbereitung von brennbaren Abfällen zu definierten qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen und deren Einsatz in industriellen Feuerungsanlagen stellt infolge der optimalen Nutzung des Energieinhaltes eine ökologisch sinnvolle Lösung in einer gesamtheitlich zu betrachtenden Abfallwirtschaft dar.

Mit dem Einsatz von Abfällen in diesen Feuerungsanlagen sind jedoch bestimmte Anforderungen verbunden, die bei der Verwertung von Abfällen beachtet werden müssen. Damit die vorhandenen Potentiale in industriellen Anlagen genutzt werden können, müssen die Ersatzbrennstoffe definierte Qualitätskriterien erfüllen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für einen sicheren und ungestörten Anlagenbetrieb bei einem Einsatz von Ersatzbrennstoffen jedenfalls eine entsprechende Qualität dieser sowohl aus legistischer als auch aus technischer Sicht gefordert ist.

4 Grundlagen der Probenahme und Probenaufbereitung von Ersatzbrennstoffen

Die Probenahme stellt den integralen Bestandteil der physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchung dar und bestimmt maßgeblich die Qualität der Ergebnisse. Eine detailliert festgelegte, alle Prüfgüter umfassende Vorgehensweise ist bei der Abfallprobenahme nicht möglich. Ziel ist es, einen pragmatischen, abfallbezogenen Ansatz unter Einbeziehung aller Vorinformationen zu finden [57]. Eine sehr oft gestellte Anforderung – bei Ersatzbrennstoffen die gleiche Qualität der Ergebnisse zu erreichen wie dies z.B. bei herkömmlichen Energieträgern wie Kohlen der Fall ist – ist somit sehr oft nicht erreichbar.

Die Bestimmung von Inhaltsstoffen in Ersatzbrennstoffen setzt sich in der Praxis aus mehreren Einzelschritten zusammen. Neben der Probenahme und der Probenaufbereitung umfasst diese auch die chemische Analytik und die Datenauswertung, welche nach Sanoni [58] bis zu 50 % des Stoffwertes an Analyseunsicherheit betragen kann. Zurzeit steht noch kein praxistaugliches Verfahren zur Verfügung, welches ein methodisches, rechtsfähiges Vorgehen zur Stoffbewertung durch Probenahme, Probenaufbereitung, Analyse und Datenauswertung speziell für heterogene und grobstückige Ersatzbrennstoffe festlegt [59]. Als ersten Ansatz dazu kann eine Arbeit am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik der Montanuniversität Leoben angeführt werden [60]. Hier wird eine Probenahmestrategie zur Qualitätssicherung von heizwertreichen Abfallfraktionen, vorwiegend aus gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen, beschrieben.

Voraussetzung für die Beurteilung der Qualitätseigenschaften von Ersatzbrennstoffen ist ein zuverlässiges Probenahmesystem. Bisher wurde die repräsentative Probenahme heterogener Abfälle und Abfallgemische zur Beurteilung der physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaft noch nicht ausreichend untersucht. Gegenwärtige Praxis bei der Beprobung von Abfällen sind Probenahmeverfahren, die sich auf Methoden und Erfahrungen aus der Beprobung körniger Schüttgüter wie Kohle stützen. Die Anwendbarkeit der bekannten Probenahmemodelle für körnige Schüttgüter hängt wesentlich von der Annahme ab, dass die Korndurchmesser nicht allzu sehr streuen und die Korngrößenverteilung bestimmbar ist. Beides trifft für heterogene Abfälle und Abfallgemische geringer Schüttdichte wie Ersatzbrennstoffe nicht zu. Eine einfache Übertragung der Methodik und Vorgehensweise auf heterogene Abfälle und Abfallgemische, welche sich durch eine andersartige Stoffbeschaffenheit, die sich in Stoffvielfalt, Teilchengröße, Teilchengrößenverteilung, Teilchenform, Dichte, Oberfläche, Verhältnissen usw. ausdrückt, ist somit nicht möglich.

Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Anforderungen an eine Probenahme und die anschließende Probenaufbereitung dargestellt.

4.1 Anforderungen an die Probenahme und -aufbereitung

Das Ziel der Probenahme besteht in der Gewinnung von Teilmengen, die zur Ermittlung charakteristischer Merkmale von Abfällen oder abgelagerten Materialien geeignet sind. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, inwieweit diese Teilmengen als repräsentativ für die Gesamtmenge hinsichtlich der zu beurteilenden Eigenschaften (Merkmale) gelten können.

Materialien unterschiedlicher Herkunft sind grundsätzlich getrennt zu erfassen, getrennt zu beproben und zu analysieren. Eine Nichtbeachtung dieser Grundsätze kann dazu führen, dass keine gesicherten Aussagen über den tatsächlichen Stoffbestand bzw. Schadstoffgehalt möglich sind [57].

Damit eine Bestimmung der Schadstoffgehalte in den gewonnenen Proben erfolgen kann, müssen diese systematisch verjüngt und aufbereitet werden, da z.B. für die Bestimmung von Schwermetallgehalten Analyseproben von nur wenigen Gramm erforderlich sind. Bei dieser Probenvorbereitung ist darauf zu achten, dass weder Anteile des Analyten verloren gehen noch Kontaminationen, welche die Analyse beeinflussen könnten, in die Probe eingebracht werden.

4.1.1 Der Probenahmeplan

Bei der Laboranalytik werden zunehmend ausgereifte Qualitätssicherungs- und Kontrollkonzepte angewandt (z.B. Zertifizierung nach EN ISO 9001:2000 [61] oder Akkreditierung nach EN ISO/IEC 17025:2000 [62]). Dies ist bei der Abfallprobenahme nur bedingt möglich, weil die Heterogenität der Ersatzbrennstoffe nicht an einem quasi-homogenen zertifizierten Ersatzbrennstoff geeicht werden kann, wie das bei der Laboranalytik mit zertifiziertem Referenzmaterial möglich ist. Hier geht die Strategie der Fehlerreduktion dahin, die Fehlermöglichkeiten durch fundierte Planung der Probenahme, fachgerechte Durchführung und Probenvorbereitung zu verringern. Die Maßnahmen zur Fehlerreduktion sollten aber ein vernünftiges Verhältnis von Nutzen und Aufwand aufweisen. Eines der wichtigsten Mittel der Qualitätssicherung ist die Dokumentation der ausgeführten Arbeiten von der Planung bis zur Auswertung wobei der Probenahmeplan eine zentrale Stellung einnimmt. Der Probenahmeplan stellt somit das Kernstück der Qualitätssicherung dar. Er muss deshalb schriftlich festgehalten werden [63].

Die prEN 14899 [33] legt fest, dass vor Beginn der Probenahme ein Probenahmeplan zu erstellen ist, welcher sämtliche für den Vorgang der Entnahme oder Zusammenstellung einer Probe relevanten Informationen enthält. Das Vorgehen wird auf Grund des Untersuchungsbedarfs festgehalten. Ziel ist, die Durchführung der Probenahme im Voraus festzulegen und dadurch die theoretischen Anforderungen an die Probenahme möglichst gut mit der praktischen Durchführung in Übereinstimmung zu bringen.

Im Vorfeld der Probenahme erfolgen Recherchen und Strategiefestlegungen, welche Fragen nach:

- Ziel und Anlass der Untersuchung,
- Herkunft des Abfalls,
- erwartetes Schadstoff- / Stoffspektrum (z.B. Deklarations-, Identifikationsanalyse, wertgebende Eigenschaften),
- örtliche und zeitliche Schwankungen in der Verteilung des Stoffbestandes (falls durch Voruntersuchung bekannt),
- zu bestimmende Parameter,
- erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen

beinhalten [57].

Nachfolgend wird kurz auf die wesentlichen Anforderungen an die Probenahme und die Probenaufbereitung eingegangen und ausgewählte Verfahren bzw. Regelwerke beschrieben.

4.1.2 Repräsentanz der Probenahme

Bei der Probenahme gilt allgemein die Forderung, dass die entnommene Probe die zu untersuchenden Eigenschaften des Abfalls wieder spiegelt und damit als "repräsentativ" zu gelten hat. Eine repräsentative Probe ist daher eine Probe, deren Eigenschaften den Durchschnittseigenschaften des zu beprobenden Abfalls entsprechen [57]. Jeder Stoffwert gibt in erster Linie Auskunft über die ihm zugrunde liegende Probe. Die Eigenschaft dieser kann jedoch durchaus unterschiedlich zu der des Gesamtmischgutes sein [64]. Feste Abfälle liegen sehr oft als wenig homogene Mischungen unterschiedlicher Zusammensetzung vor. Zusätzlich dazu variieren Verteilung, Form und Größe der Bestandteile zum Teil beträchtlich. Auch produktionsspezifische Abfallchargen, die aus einem stofflich einheitlichen Material mit nur geringen Fremddanteilen bestehen, können oftmals einen homogenen Gesamteindruck vermitteln. In beiden Fällen liegen jedoch die Inhaltsstoffe in der Regel inhomogen verteilt vor. Probenahmestrategie und -verfahren müssen somit an die Varianz in der Abfallzusammensetzung angepasst werden [57].

4.1.3 Mindestmenge der Einzelprobe und Anzahl der zu nehmenden Proben

Damit durch eine Analyse einer Probe, welche aus einer größeren Menge gewonnen wurde, Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit gezogen werden können, muss die Beantwortung von 3 wesentlichen Fragen möglich sein:

- 1) Wie groß muss die Einzelprobe sein?
- 2) Wie viele Proben müssen gezogen werden, um eine vorgegebene Aussagesicherheit zu gewährleisten oder wie groß ist die Aussagesicherheit des Analyseergebnisses bei einer vorgegebenen Anzahl an Proben?
- 3) Wo müssen die Proben gezogen werden?

Während die statistischen Grundlagen eindeutige Zielvorgaben dazu geben, erfordert die Praxis häufig Anpassungen, die von den Forderungen der Statistik abweichen müssen [65]. Die Bestimmung der Mindestmenge und Anzahl der zu nehmenden Proben ist abhängig von der Grundmenge, der Konsistenz und der Teilchen- und Stückgrößenverteilung.

4.1.4 Probenaufbereitung

Die gewonnenen Ersatzbrennstoffproben werden in der Regel mittels eines mehrstufigen Verfahrens aufbereitet, da die entnommene Probenmenge im Regelfall immer größer ist als die für eine Laborprobe benötigte. Die Proben werden meist bereits vor Ort mittels der unter Kapitel 4.3 angeführten Methoden verjüngt, wobei immer eine vorherige Zerkleinerung erfolgen muss. Das Ziel der weiteren Probenaufbereitung im Labor ist es, die Laborprobe von grober Körnung und einigen Litern Volumen zu einer Analyseprobe mit einer Korngröße < 1 mm und einigen wenigen Gramm aufzubereiten, aus welcher in weiterer Folge die zu bestimmenden Parameter analysiert werden können.

Die LAGA-Richtlinie [57] führt an, dass durch den Vorbereitungsschritt der Probenverjüngung die Gefahr der Veränderung des Prüfgutes besteht. In diesen Fällen, bei denen Verluste leichtflüchtiger Bestandteile eintreten können, ist es erforderlich, Parallelproben in Form von Einzelproben, die nicht dem Verjüngungsschritt unterliegen, zu entnehmen und direkt in entsprechend präparierte Gefäße zu überführen. In den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen ist dieser Umstand nicht zu berücksichtigen, da keine derartigen Substanzen untersucht werden. Sehr wohl aber ist der Umstand zu berücksichtigen, dass einerseits bei der Trocknung und andererseits bei der Zerkleinerung der Ersatzbrennstoffproben enthaltene Anteile an flüchtigen Substanzen wie Quecksilber durch zu hohe Temperaturen entweichen können (vergleiche dazu Kapitel 6.5.4.2 Probenzerkleinerung).

4.2 Regelwerke für die Probenahme

Zur Thematik der Probenahme aus Brennstoffen und heizwertreichen Fraktionen existieren mehrere unterschiedliche Regelwerke (ÖNORM S 2123-1 [66], CEN/TC 292/WG1 Teile 1-5 [67]). Um in industriellen Feuerungsanlagen, wie z.B. Kraft- oder Zementwerke Ersatzbrennstoffe einsetzen zu können, müssen diese umfassenden rechtlichen und technischen Anforderungen genügen. Dies ist nur durch eine angepasste Aufbereitungstechnologie und Maßnahmen zur Qualitätssicherung möglich, die eine gleich bleibende Qualität der Ersatzbrennstoffe gewährleistet.

4.2.1 Normenvorschlag zur Probenahme aus stehendem Haufwerk

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ÖNORM S 2123 „Probenahmepläne für Abfälle, Teil 1: Beprobung von Haufen“.

4.2.1.1 Allgemeines

Für die Erfüllung der Forderung nach einer repräsentativen Probenahme bei heterogenen Abfällen sind folgende Lösungsansätze möglich:

- (a) statistisch-mathematisch abgesicherte Probenahme,
- (b) Kenntnis der Art, Menge und räumlicher Verteilung der Abfälle innerhalb des zu beprobenden Haufens.

Für eine statistisch-mathematisch abgesicherte Probenahme sind Voruntersuchungen erforderlich um Angaben über den Probenahmefehler in Abhängigkeit von der Anzahl der entnommenen Proben, der Probemenge und der Heterogenität zu erhalten.

Der zweite Lösungsansatz sieht die genaue Kenntnis der Abfallzusammensetzung in Art, Menge und räumlicher Verteilung innerhalb des zu beprobenden Abfalls voraus. Dadurch ist gewährleistet, dass sämtliche Teilbereiche proportional erfasst und zu einer Durchschnittsprobe vereinigt werden können.

4.2.1.2 Anwendungsbereich

Die ÖNORM S 2123 [32] legt die Vorgehensweise für die Übereinstimmungsuntersuchung dar. Für die grundlegende Charakterisierung sind die vom CEN TC 292 [67] entwickelten Regelwerke (Rahmenwerk und die unverbindlichen Technischen Spezifikationen 1-5) sinngemäß anzuwenden.

Die ÖNORM-Serie "Probenahmepläne für Abfälle" befasst sich mit der Erstellung von Probenahmeplänen und deren Umsetzung in Abhängigkeit von der Lagerart des Abfalls (z.B. Haufen, Behälter, Transportfahrzeuge) bzw. dem physikalischen Zustand (z.B. fest, flüssig,

pastös) des Abfalls. Der Teil 1 dieser Serie ist bei der Probenahme von Abfallhaufen anzuwenden.

4.2.1.3 Erstellung des Probenahmeplans

Vor der Durchführung der Probenahme ist der Probenahmeplan zu erstellen. Dieser hat folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Bestimmung der Homogenität/Heterogenität,
- Massenbestimmung,
- Ermittlung des Volumens,
- Ermittlung der (Schütt-)Dichte,
- Festlegung der Probenanzahl,
- Festlegung der Mindestmengen der Proben,
- gesetzliche Vorgaben.

In den wesentlichen Grundzügen gleichen sich die Vorgaben der ÖNORM S 2123 [66] und die der LAGA Richtlinie PN 98 [57] (vgl. Kapitel 4.2.2).

4.2.1.4 Bestimmung der Homogenität/Heterogenität

Bei Abfällen kann folgende Unterscheidungen getroffen werden:

- **Homogen** sind jene Abfälle, bei denen aufgrund der vorhandenen Information (Produktionsprozess, Herkunft, Beschaffenheit des Abfalls, Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen und dgl.) und einer Sichtkontrolle davon ausgegangen werden kann, dass sie durchgehend eine einheitliche Zusammensetzung aufweisen. Homogene Abfälle fallen praktisch nur bei gleich bleibenden Produktionsprozessen an.
- **Heterogen** sind alle Abfälle, bei denen aufgrund vorhandener Information oder aufgrund der durchgeführten Sichtkontrolle, Zweifel an der einheitlichen Zusammensetzung bestehen.

Die Unterscheidung in homogene bzw. weniger heterogene und heterogene Abfälle wird als Basis für die Auswahl der zu untersuchenden Ersatzbrennstoffe im Laborvergleichsversuch herangezogen (vgl. Kapitel 6.5.1).

4.2.1.5 Festlegung der Probenanzahl

Die Festlegung der erforderlichen Probenanzahl wird derart vorgenommen, dass aus einer Grafik die Mindestanzahl der zu entnehmenden qualifizierten Stichproben in Abhängigkeit von der Gesamtmenge des zu beprobenden Abfalls ermittelt wird (siehe Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Anzahl qualifizierter Stichproben in Abhängigkeit der Gesamtmenge des zu beprobenden Abfalls [66]

Gesamtmenge des zu beprobenden Abfalls	Qualifizierte Stichproben
Bis 3 Mg	1
> 3 Mg bis 10 Mg	2 bis 3
> 10 bis 100 Mg	4 bis 6
> 100 Mg bis 1500 Mg	7 bis 10
> 1500 Mg bis 5000 Mg	11 bis 13
>5000 Mg: pro 1500 Mg	eine weitere

Die qualifizierten Stichproben können zu Sammelproben vereinigt werden. Ein Aliquot der qualifizierten Stichproben ist jedoch bis zum Abschluss der Untersuchungen getrennt aufzubewahren, um dieses im Bedarfsfall getrennt analysieren zu können.

Die angegebene Anzahl an qualifizierten Stichproben gilt für homogene Abfälle. Bei heterogenen Abfällen ist die Anzahl der qualifizierten Stichproben entsprechend zu erhöhen, wobei in der Regel eine Verdopplung ausreichend ist. Eine detaillierte Angabe der erforderlichen Probenanzahl wird nicht vorgenommen [66].

4.2.1.6 Ermittlung der Probenmindestmengen

An jedem Probenahmeort ist eine qualifizierte Stichprobe aus mindestens 6 bis 10 Stichproben zu entnehmen. Die Mindestprobenmenge ist – in Abhängigkeit der Korngröße – wie folgt festzulegen:

$$\text{Probenmenge [kg]} = 0,06 * \text{Größtkorn [mm]} \quad (1)$$

*jedoch mindestens 2 kg für die qualifizierte Stichprobe.

Die Vorgaben der Probenmenge in der ÖNORM S 2123 [66] entsprechen denen der alten LAGA-Richtlinie PN 2/78 K. Die neu überarbeitete Richtlinie PN 98 [57], welche im Folgenden beschrieben wird, definiert die Menge der Probe nicht mehr über die Masse, sondern über das Volumen, dessen Bestimmung als praxisnäher angesehen wird.

4.2.2 LAGA Richtlinie PN 98

Die in Deutschland gültige – und sehr häufig zitierte LAGA Richtlinie PN 98 [57] – dient der Vereinheitlichung der Probenahme von festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien im Rahmen der Prüfung zur stofflichen oder energetischen Verwertung bzw. zur Beseitigung.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit der Fragestellung und der Zielvorgabe das Aufteilen/Abtrennen von Teilchargen bzw. Zusammenfassen von Prüfmengen sowie die Entnahme der Einzelproben bzw. die Vereinigung zu Misch- und Sammelproben mit angepasster Technik festzulegen ist. Im Vorfeld der Probenahme erfolgen Recherchen und Strategiefestlegungen, die unter anderem Fragen nach:

- Ziel und Anlass der Untersuchung,
- Herkunft des Abfalls,
- erwartetes Schadstoff-/Stoffspektrum beinhalten.

Im Probenahmeplan wird neben anderen Anforderungen die Anzahl und Verteilung der Einzelproben über die zu beurteilende Gesamtmenge festgelegt. Das Material ist im Hinblick auf die angestrebte Verwertung/Beseitigung proportional zu den vorliegenden Korngrößen-/Komponentenverteilungen/Stückgrößenbereichen zu beproben. Bei der Vorort Beprobung ist grundsätzlich jede Charge einer Prüfung auf Homogenität/Heterogenität zu unterziehen. Zur Prüfung dieser können z.B. folgende Abfalleigenschaften durch organoleptisch-sensorische Ansprache bzw. Tests herangezogen werden:

- Änderung in der Farbgebung,
- Änderung in der Korn-/Stückformverteilung oder
- Änderung der Korn-/Stückgrößenverteilung.

Die Mindestanzahl der Einzel-, Misch- und Sammelproben richtet sich nach der zu beprobenden Menge (Volumen, Masse) des Prüfgutes, dem Durchmischungsgrad und der geforderten Zuverlässigkeit der Aussage. Die Mindestanzahl der Einzel-, Misch-, Sammel- und Laborproben ist im Wesentlichen vom Volumen der Grundmenge abhängig. Einen Auszug daraus zeigt die folgende Tabelle 4.2.

Tabelle 4.2: Mindestanzahl der Einzel-/Misch-/Sammel- und Laborproben in Abhängigkeit vom Prüfvolumen (Auszug) [57]

Volumen der Grundmenge	Anzahl der Einzelproben	Anzahl der Mischproben	Anzahl der Sammelproben	Anzahl der Laborproben
bis 30 m ³	8	2	keine	2
bis 60 m ³	12	3	keine	3
bis 100 m ³	16	4	keine	4

Eine Mischprobe besteht grundsätzlich aus 4 Einzelproben. Das Arbeiten mit Sammelproben trägt der Tatsache Rechnung, dass z.B. bei produktionsspezifischen Abfällen oder Recyclingprozessen, mit gleich bleibenden Qualitäten gerechnet werden kann. Das Mindestvolumen jeder Einzelprobe hängt von der Größe der Komponenten ab und wird gemäß Tabelle 4.3 festgelegt. Sie gilt für eine Größtkorn/Stückigkeit bis maximal 120 mm. Bisher wurde das Gewicht der Einzelprobe in Abhängigkeit von der Korngröße des Abfalls festgelegt (vgl. LAGA PN 2/78 K). Die Einführung des Volumenbezuges hinsichtlich der Mindestgröße von Einzelproben trägt einer praxisnäheren Umsetzung Rechnung.

Tabelle 4.3: Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe in Abhängigkeit von der Korngröße/Stückigkeit [57]

Maximale Korngröße / Stückigkeit [mm]	Mindestvolumen der Einzelprobe [l]	Mindestvolumen der Laborprobe [l]
≤ 2	0,5	1
> 2 bis ≤ 20	1	2
> 20 bis ≤ 50	2	4
> 50 bis ≤ 120	5	10
> 120	Abfallstück = Einzelprobe	Abfallstück = Laborprobe

In der LAGA-Richtlinie wird ausgeführt, dass eine repräsentative Probenahme bei heterogenen, festen Abfällen in der Regel nur mit einem sehr hohen Aufwand möglich ist. Aus diesem Grund sollte besser von einer „charakterisierenden Abfallprobenahme“ gesprochen werden.

4.2.3 CEN/TC 292/WG1 Teile 1-5

Grundlage für die statistischen Berechnungen zur Erstellung eines Probenahmeplans für den nachfolgenden beschriebenen Ringversuch bildet das Regelwerk "Characterisation of Waste-Sampling Techniques for Waste" CEN/TC 292/WG1 Teile 1-5, [68], [69], [70], [71], [72], [73] welches mittlerweile als prEN 14899:2004 erschienen ist. Dieses Modell wird an dieser Stelle näher erläutert und kurz diskutiert.

Ausgehend von einer zu definierenden maximalen Messunsicherheit, dem 95% Perzentil der Korngröße, der Schüttdichte, dem Anteil der Partikel mit der zu untersuchenden Charakteristik sowie der Heterogenität des Abfalls (ausgedrückt durch die unterschiedlichen Varianzen der zu untersuchenden Parameter) erfolgt die Berechnung der Probenahmemenge und der Anzahl der zu nehmenden Proben.

4.2.3.1 Mindestmengen der Einzelproben

Da das Größtkorn in den meisten Fällen mehr als 3 mm beträgt, wird folgende Formel angewandt:

$$M_{inc} = 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot \rho \cdot D_{95}^3 \quad (2)$$

M_{inc}	Mindestmenge der Einzelprobe in kg
D_{95}	Größtkorn (definiert als 95 %-Perzentil) in mm
ρ	Schüttdichte des Materials in kg/m^3

Diese Formel geht davon aus, dass die Mindestmenge der Einzelprobe die dreifache Korngröße D_{95} bzw. etwa das 27-fache Gewicht des Größtkorns haben soll. Die Formel ist somit nur eine entsprechende Umrechnung über das Volumen der Kugel.

Die Schüttdichte ist teilweise schwer ermittelbar oder aber zum Zeitpunkt der Probenahmeplanung nicht ausreichend bekannt. Sollen nur die notwendigen Probenvolumina nicht aber die erforderliche Mindestmenge berechnet werden, so ist diese für die Berechnung der Probenmengen nicht von Bedeutung. Demzufolge wird für die weitere Berechnung das Probenvolumen verwendet.

Die maximale Korngröße der zu untersuchenden Ersatzbrennstoffe ist für die Berechnung der Probenahmemengen (sowohl Einzel- als auch Sammelprobe) von entscheidender Bedeutung, da diese direkt proportional der dritten Potenz der Korngröße ist.

4.2.3.2 Mindestmenge der Sammelprobe

Für die Ermittlung der Mindestmenge der Sammelprobe wird folgende Formel angewandt:

$$M_{sam} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D_{95}^3 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{1-p}{CV^2 \cdot p} \quad (3)$$

M_{sam}	Mindestmenge der Sammelprobe in g
D_{95}	Größtkorn (definiert als 95 %-Perzentil) in cm
ρ	Schüttdichte des Materials in kg/m^3
g	Korrekturfaktor für die Korngrößenverteilung; da die Korngrößenverteilung des Materials nicht bekannt ist, wird hier üblicherweise von einem Richtwert ausgegangen;

- p Anteil der Partikel, welche die zu untersuchende Charakteristik aufweisen. Da dieser Wert nicht bekannt ist, wird hier üblicherweise von einem Richtwert ausgegangen;
- CV angestrebter Variationskoeffizient von p in der Probe (entspricht dem durch die Probenahme verursachten statistischen Fehler) ausgedrückt als Bruch von 1. Sehr oft wird ein Fehler von 10% erlaubt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Komponenten der Formel beschrieben und die für die weiteren Untersuchungen getroffenen Annahmen dargestellt.

- *Größtkorn (definiert als 95 %-Perzentil) (D_{95})*

Für die weitere Berechnung wird anstelle des 95 %-Perzentils die Maschenweite des verwendeten Siebes herangezogen. Wenn die Partikel mit der interessierenden Charakteristik (z.B. Kupferkabel) größer sind als das 95 %-Perzentil würde dies zu einer Unterschätzung der Probenmenge und damit zu einem Fehler führen. Bei Vorliegen entsprechender Informationen zur maximalen Korngröße der Teilchen mit der zu untersuchenden Charakteristik können diese in die oben genannte Formel eingesetzt werden.

- *Korrekturfaktor für die Korngrößenverteilung (g)*

Zerkleinerte Ersatzbrennstoffe sind üblicherweise aus Partikeln unterschiedlicher Korngrößen zusammengesetzt. Dieser Korngrößenverteilung wird durch den Korrekturfaktor g Rechnung getragen. Ein Faktor von 0,25 geht davon aus, dass das Größtkorn (definiert als 95 %-Perzentil) mindestens viermal so groß wie das Kleinstkorn ist (definiert als 5 %-Perzentil). Die Korngrößenverteilung kann bei Ersatzbrennstoffen sehr stark schwanken. Daher wird für die Probenahmeplanung ein Korrekturfaktor von 1 angenommen. Diese Annahme stellt somit den worst case dar. Wenn die Verteilung nach einer Untersuchung der Ersatzbrennstoffe besser bekannt ist, kann die Probenahmemenge direkt vor Ort reduziert werden.

- *Anteil der Partikel, die die zu untersuchende Charakteristik aufweisen (p)*

In Formel (3) stellt p den kritischsten Parameter dar. Je weniger Teilchen den zu bestimmenden Analyten enthalten, desto größer wird die Mindestmenge der Sammelprobe. Hier liegt auch die Hauptproblematik, da die Anzahl an Teilchen für viele Parameter nicht oder nur näherungsweise bestimmbar ist.

Eine der Möglichkeiten für die näherungsweise Bestimmung der Teilchenanzahl ist die Berechnung dieser aus bereits durchgeführten Untersuchungen. Dazu werden die Mittelwerte der Konzentration des zu untersuchenden Parameters im Ersatzbrennstoff herangezogen. Eine derartige Berechnung geht davon aus, dass der Analyt in dem jeweiligen Teilchen auf nur einem Niveau von z.B. 100 % vorliegt. Bei Schwermetallen

werden bei einer derartigen Berechnung die erforderlichen Probenmengen z.T. inakzeptabel hoch, insbesondere bei einer geringen mittleren Konzentration. Zusätzlich dazu ist der erlaubte Wert für CV (Variationskoeffizient von p in der Probe) entscheidend. In diesem Fall ist eine solche Abschätzung für p nur sinnvoll, wenn keine zusätzlichen Informationen, wie z.B. eine Abschätzung von p aufgrund der Auswertung von Literaturdaten, vorhanden sind. Die Anwendung eines errechneten Wertes für p kann für einen worst-case-Ansatz erfolgen. Dies unter der Voraussetzung, dass die Konzentrationsschwankungen nicht zu groß sind.

Für die Parameter Wassergehalt und Glühverlust beispielsweise führt eine derartige Berechnung zu Ergebnisse, welche die Praxis nicht wieder spiegeln. Die errechnete Probenmenge ist deutlich zu hoch. Im Gegensatz dazu führt diese bei dem Parameter Chlor zu sinnvollen Ergebnis, wobei jedoch davon ausgegangen werden kann, dass auch in diesem Fall die jeweiligen Teilchen nicht zu 100 % Chlor enthalten. Ein wesentlicher Eintrag des Elementes Chlor in die Ersatzbrennstoffe erfolgt über den Kunststoff PVC. Der Massenanteil von Chlor in PVC beträgt dabei etwa 56 %. Dieser Umstand wird bei den nachfolgenden Berechnungen in dieser Arbeit berücksichtigt.

4.2.3.3 Anzahl der zu nehmenden Proben

Für die Ermittlung der Anzahl der zu nehmenden Sammel-/Mischproben wird folgende Formel angewandt:

$$n = \left(\frac{u_p}{d} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_w^2}{m} + \sigma_b^2 + \sigma_a^2 \right) \quad (4)$$

n	Anzahl der zu nehmenden Sammelproben
u_p	Perzentil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit p ; p ist dabei gegeben durch: $p = 0,5 + C/200$ bei zweiseitiger Teststatistik
C	gewünschte statistische Sicherheit in %
d	gewünschte Genauigkeit in Konzentrationseinheiten (entspricht bei Normalverteilung der Standardabweichung)
σ_w	Standardabweichung innerhalb einer Sammelprobe in Konzentrationseinheiten
σ_b	Standardabweichung zwischen den Sammelproben in Konzentrationseinheiten
σ_a	Standardabweichung der Analyse in Konzentrationseinheiten
m	Anzahl der Einzelproben pro Sammelprobe

Die Formel (4) geht davon aus, dass die Messwerte normalverteilt sind. Von dieser Annahme kann jedoch bei zumindest einem Teil der Schwermetalle nicht ausgegangen werden, da die resultierenden relativen Standardabweichungen z.T. größer als 100 % betragen. Somit müssten negative Werte möglich sein. Die Formel ist zudem extrem anfällig in Hinblick auf die Wahl der Batch-Größe, da theoretisch bei Veränderung dieser eine neue Grundcharakterisierung zur Ermittlung der Standardabweichungen nötig ist.

4.3 Verfahren zur Probenverjüngung

Bei der Beprobung von großen Mengen an Material ist es erforderlich, viele Einzelproben zu einer Mischprobe zusammenzufassen, um eine Durchschnittsprobe zu erhalten, die der Grundgesamtheit entspricht. Da die Masse (bzw. das Volumen) einer derartig erhaltenen Mischprobe zu groß ist (ca. 1-2 m³), muss sie vor der Mitnahme ins Labor homogenisiert, zerkleinert und eingeengt werden.

Nachfolgend werden die wesentlichen Methoden und Verfahren zur Probenverjüngung angeführt und beschrieben.

4.3.1 Mischkreuzverfahren

Die meistverbreiteste Methode der Probenverjüngung ist die so genannte Viertelmethode. Vor der endgültigen Probenahme muss das zerkleinerte Probenmaterial gemischt, homogenisiert und soweit eingeengt werden, bis die endgültige Menge der Laborprobe (abhängig von der Korngröße und Heterogenität) erreicht ist. Diese Probeneinengung erfolgt mittels Mischkreuzverfahren.

Dabei wird die vorzerkleinerte Mischprobe kegelförmig auf einen sauberen Untergrund (Folie) aufgebracht und in vier gleich große Teile geteilt. Zwei gegenüberliegende Viertel werden zur Weiterverarbeitung herangezogen, die zwei restlichen Viertel werden verworfen. Die zwei ausgewählten Viertel werden homogenisiert, kegelförmig aufgeschüttet und wieder in vier gleich große Teile geteilt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis letztendlich eine Probenmenge von ca. 5 kg bzw. rund 7 l (z.B. Flotat mit rund 20 mm Korngröße) übrig bleibt, die in ihrer Zusammensetzung der Grundgesamtheit entsprechen soll. Die folgende Abbildung 4.1 zeigt die Vorgehensweise in grafischer Form.

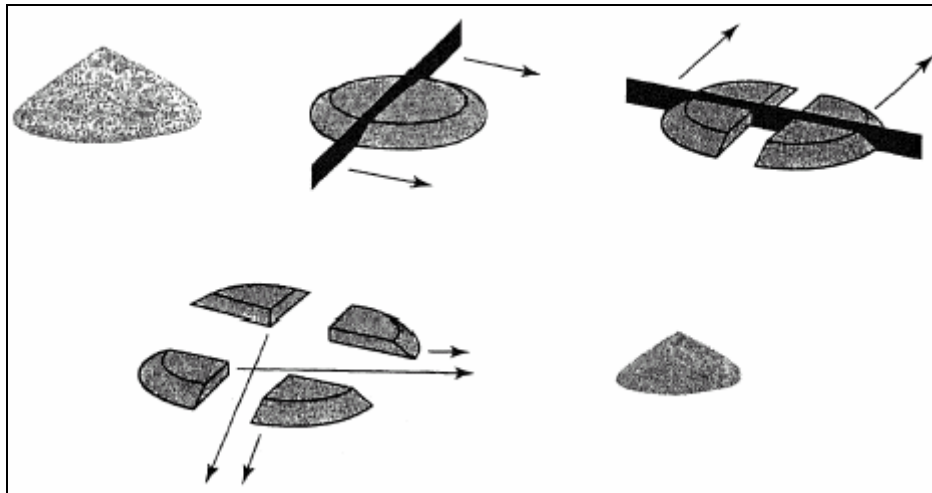


Abbildung 4.1: Viertelteilung – Vorgehensweise bei einem Verjüngungsschritt [74]

Die Viertelteilung ist das Standardverfahren in der Abfallwirtschaft für Materialien die, aufgrund dem zur Brückenbildung neigenden Material, nicht in einem Riffelteiler oder Rotationsteiler verjüngt werden können (vergleiche Abbildung 4.1). Das erreichte Teilungsverhältnis liegt bei 1:2. Dem entsprechend muss die Methode für größere Verjüngungsschritte (1:10, 1:15) 3-4 mal angewendet werden.

Das Mischkreuzverfahren kommt für die Probenverjüngung zur Anwendung. Obwohl das Verfahren vielfach Anwendung findet, sind noch keine systematischen Untersuchungen hinsichtlich des möglichen Fehlers bei der Probenverjüngung mittels Mischkreuzverfahren durchgeführt worden [75].

4.3.2 Fraktioniertes Schaufeln

Das fraktionierte Schaufeln wird auch als fraktionsweises Schaufeln oder Teilungsschaufeln bezeichnet. Die ÖNORM EN 932-2:1999 [76] beschreibt das Einengen einer Probe durch diese Methode.

Es handelt sich dabei um ein Verfahren, in dem die Misch-/Sammelprobe in eine Anzahl von Teilproben etwa gleicher Menge (Masse, Volumen) aufgeteilt wird, von denen eine (oder mehrere) als Laborprobe zurückgehalten wird. Dazu ist die ungefähre Menge der Misch-/Sammelprobe zu bestimmen und ebenso die Anzahl n der Teilproben, in die sie aufzuteilen ist. Beim fraktionierten Schaufeln werden von der zu verjüngenden Menge (Sammelprobe, Batch) mit einer geeigneten Schaufel Teilmengen entnommen und reihum zu neuen Haufen 1,2,3, usw. aufgeschüttet, bis die gesamte Materialmenge aufgebraucht ist (siehe dazu Abbildung 4.2). Eine geeignete Schaufel hat erhöhte Ränder und die Breite ist min. 2,5 x der maximalen Teilchengröße, das Schaufelvolumen sollte somit die minimale Inkrementgröße nicht unterschreiten aber auch nicht zu sehr überschreiten. Die Haufen

F2-F4 können als verworfenes Material auch gemeinsam aufgehäuft werden. Verjüngungen von 1:2, 1:3, 1:4 sind erreichbar, darüber hinaus sollten 2 Schritte gewählt werden.

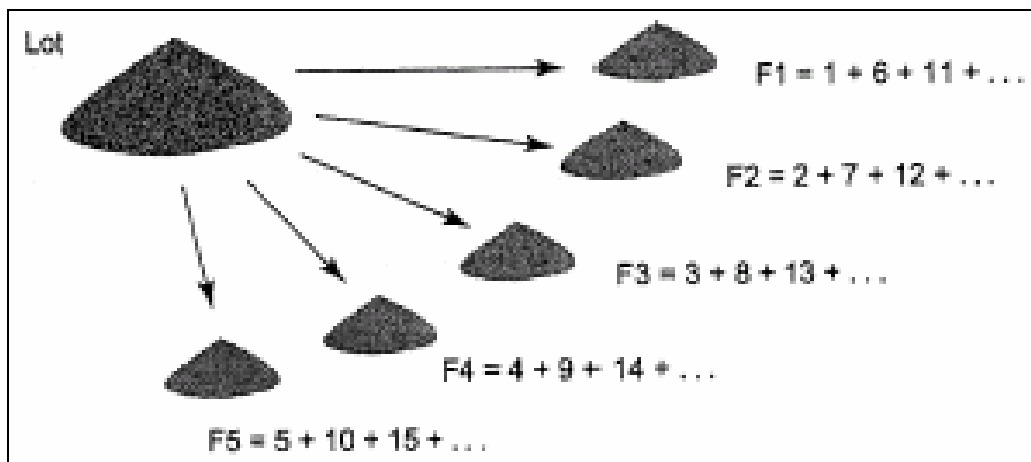


Abbildung 4.2: Fraktioniertes Schaufeln - Vorgehensweise bei einem Verjüngungsschritt

Von Gerlach et al [74] ist für Bodenproben und synthetische Bodenproben der Nachweis erbracht worden, dass fraktioniertes Schaufeln gegenüber der Viertelteilung zu geringeren Fehlern bei der Probenverjüngung führt.

Im Rahmen des Projektes „Heizwertreiche Abfallfraktionen aus der mechanischen Abfallbehandlung (MA) und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA)“ wurden erstmals vergleichende Untersuchungen für heizwertreiche Fraktionen durchgeführt. Für alle betrachteten Parameter zeigt sich für das fraktionierte Schaufeln eine geringere absolute und relative Standardabweichung im Vergleich zur Viertelteilungsmethode [75].

4.3.3 Würfelteilungsverfahren

Am Lehrstuhl für Aufbereitung von Roh- und Reststoffen der Technischen Universität Berlin wird derzeit an der Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Probenverjüngung für die mathematisch-statistisch gesicherte Beprobung von heterogenen Abfällen und Abfallgemischen geringer Schüttdichte gearbeitet [77].

Dieses Verfahren berücksichtigt die speziellen stofflichen Eigenschaften und die Struktur heterogener Stoffgemische geringer Schüttdichte. Die stofflichen Eigenschaften und die Struktur lassen sich beschreiben durch die komplexe Zusammensetzung aus mehreren Stoffkomponenten mit erheblichen Unterschieden in den Schüttdichten, die leichte Verformbarkeit der Stoffbestandteile und die nicht definierbaren Kornformen der meisten Bestandteile, das breite Spektrum der Bestandteilgrößen und deren Verteilung sowie einen geringen Durchmischungsgrad und geringe Rieselfähigkeit der Stoffbestandteile.

Das Würfelteilungsverfahren trägt diesen stoffspezifischen Gegebenheiten Rechnung durch:

- die Entnahme eines großen Volumens der Einzelproben,
- die Verdichtung zu einem definierten Formkörper,
- ein mehrstufiges Teilungs- und Auswahlverfahren.

Die beschriebenen Eigenschaften und die Struktur heterogener Stoffgemische machen es erforderlich, möglichst große Einzelproben zu entnehmen. Das Verfahren zur Probenahme muss daher geeignet sein, große Probemengen unter ökonomisch vertretbaren Bedingungen zu einer Analysenprobe zu überführen, die oft nur wenige Gramm umfasst. Dies soll durch ein Verfahren erreicht werden, das durch hohe Verdichtung des Materials das Volumen erheblich reduziert.

Aufgrund der Eigenschaft der Verformbarkeit der Bestandteile wird das Stoffgemisch zu einem definierten geometrischen Körper – z.B. zu einem Würfel oder Zylinder – geformt. Durch Verdichten des Materials soll das stark schwankende Schüttgewicht der Stoffkomponenten in eine konstante Materialmasse bei vorgegebenem Volumen überführt werden. Der Vorgang des Verdichtens zu einem definierten Formkörper verhindert Entmischungsvorgänge bei der Probenteilung, die bei bisher eingesetzten Verfahren aufgrund unterschiedlicher Stoffdichten oder der Geometrie und Oberfläche der Bestandteile meist unvermeidbar sind. Dies wirkt sich reduzierend auf den systematischen Fehler des Probenteilungsverfahrens aus.

Ein weiterer Vorteil des Verdichtens besteht darin, dass der gesamte Prozess der Probenteilung und der Probenaufbereitung unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen ablaufen kann. Die einzelnen Bestandteile werden zu einer formstabilen Probeneinheit zusammengehalten und durch Schneiden oder Sägen in weitere wohl definierte Probeneinheiten bis zur Analysenprobe geteilt.

In Abbildung 4.3 sind die wesentlichen Schritte des Probenteilungsverfahrens schematisch dargestellt. Ein heterogenes Stoffgemisch geringer Schüttdichte wird zu einem Ausgangsprobewürfel mit dem Volumen V verdichtet und in einem oder mehreren Teilungsschritten zu Probenwürfeln zerlegt. Die Teilung erfolgt durch Zersägen des Ausgangsprobewürfels und der zufälligen Auswahl von Probewürfeln, die in den nächsten Teilungsschritt überführt werden.

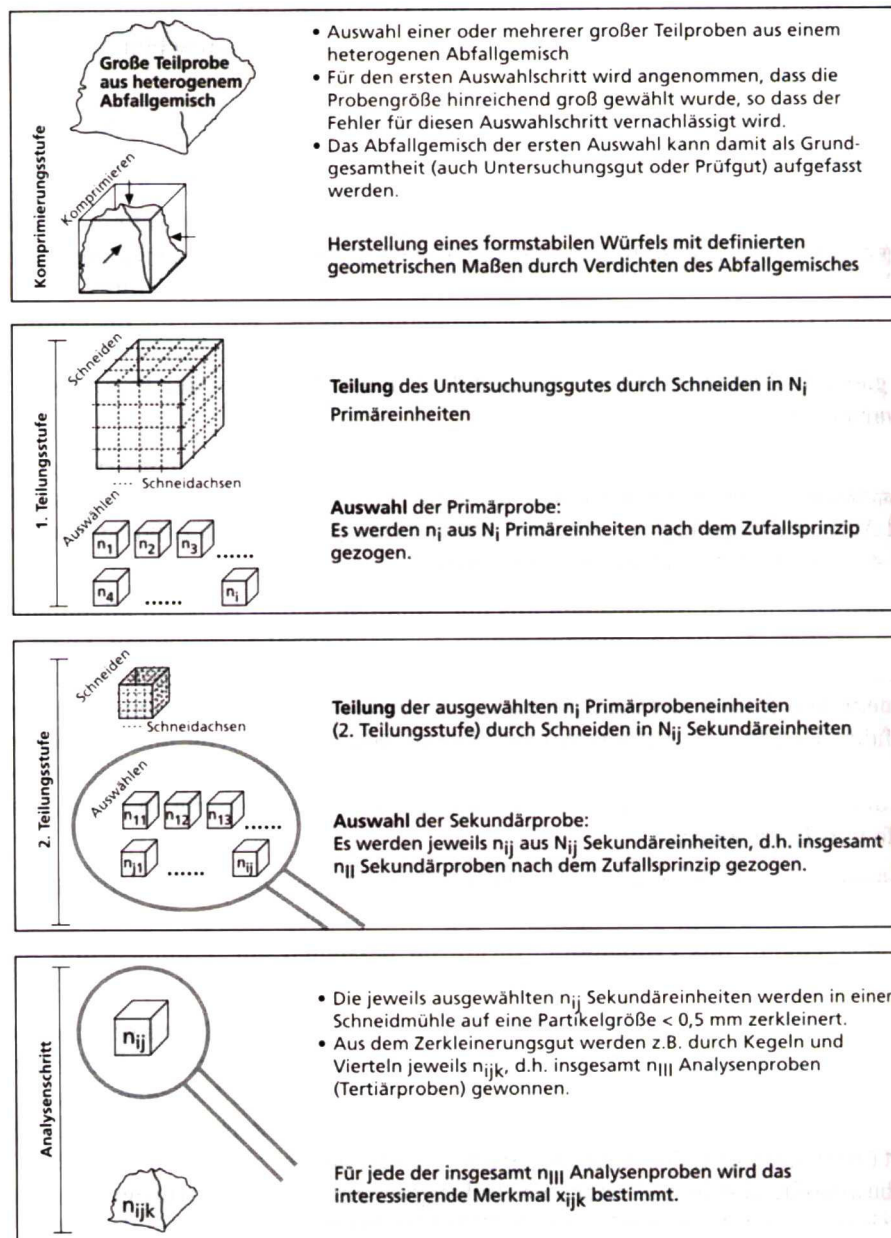


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung des Probenteilungsverfahrens [77]

Das Verfahren reduziert subjektive Einflüsse durch den Probenehmer und verhindert unerwünschte Entmischungsprozesse während des gesamten Prozesses der Probenteilung bis zur Entnahme der Analysenprobe.

Die bislang durchgeführten Versuche (Stoffgemische aus Papier, Kunststofffolien und Weißblechdosen) lassen erwarten, dass mit dem neuen Verfahren richtigere und reproduzierbarere Ergebnisse erzielt werden können als mit der bisher in Anwendung befindlichen Viertelmethode. Anzuführen ist, dass die Ergebnisse aus den bisherigen Untersuchungen lediglich den Parameter Brennwert umfassten. Aus einer Vielzahl an Auswertungen von Analysen am IAE geht jedoch hervor, dass dieser Parameter allerdings vergleichsweise geringen Schwankungen unterliegt. Inwieweit die bisherigen Ergebnisse auf

andere Parameter wie z.B. den Gehalt an Chlor in Ersatzbrennstoffen anwendbar sind, wird sich herausstellen. Die Auswertung der Untersuchungen auf räumliche Korrelationen, bedingt durch das Verfahren, insbesondere durch den Pressvorgang, sind noch nicht abgeschlossen.

Ein weiterer nicht unwesentlicher Faktor sind die Kosten der Probenteilung. Der Vorgang des Herstellens eines formstabilen Würfels und der Teilung durch Schneiden bedarf eigener Geräte. Ebenfalls zu beachten ist, dass das Verfahren zur Probenteilung auf alle Ersatzbrennstoffe anwendbar sein muss, um eine einheitliche Vorgehensweise hinsichtlich der Art der Probenteilung zu schaffen.

4.4 Regelwerke zur Probenaufbereitung

Die Probenaufbereitung stellt das Bindeglied zwischen den Analysevorschriften für die Bestimmung der einzelnen Parameter und der Probenahme dar. Die Probenahme an sich liefert die Proben mit einer unveränderten Korngrößenverteilung des zu untersuchenden Materials, sofern nicht bereits im Rahmen der Probenahme z.B. Schneidwerkzeuge eingesetzt wurden, um nur Teile der Einzelkörner zu gewinnen.

Die Analysenvorschriften fordern aber in der Regel eine maximale Korngröße der Laborprobe im Bereich von 200 µm bis 4 mm. Für die Aufbereitung von Proben aus mechanisch oder mechanisch-biologisch behandeltem Abfall ist die Probenaufbereitung in Österreich noch nicht umfassend geregelt. Lediglich die für die Umsetzung der Deponieverordnung durchzuführende Heizwertbestimmung ist bereits umfassend in der ÖNORM S 2118-1 geregelt [78].

Es ist üblich, dass die Aufbereitung von Proben unabhängig von nachfolgenden Analyseverfahren beschrieben wird. Dies ist z.B. in der, die Beprobung fester Brennstoffe regelnden, DIN 51701 Serie [79] der Fall, wo einzelne Analysevorschriften eine nach DIN 51701 Teil 3 Probenahme und Probenvorbereitung behandelte Probe als Ausgangspunkt für die jeweilige Analyse fordern. Aufgrund der unterschiedlichen Stoffeigenschaften von Ersatzbrennstoffen und den in DIN 51701 vor allem beschriebenen Kohlen, ist dieses Konzept aber nicht für die hier besprochenen Fraktionen anwendbar. Die Regelwerke anderer Länder und bestehende Qualitätssicherungskonzepte für Ersatzbrennstoffe geben jedoch nützliche Anhaltspunkte für eine zu schaffende Aufbereitungsvorschrift.

Bei der Probenaufbereitung kommen die beiden Grundoperationen Zerkleinern und Teilen zur Anwendung. Zur Kontrolle wird des Weiteren eine Siebung eingesetzt. Aus den oben beschriebenen Einzelproben (Inkrementen) wird eine zerkleinerte, verjüngte, also an Volumen und Masse geringere Misch- oder Sammelprobe gewonnen, um die Anzahl der durchzuführenden Analysen so gering als nötig zu halten.

Detailliert wird die Probenaufbereitung in der bereits erwähnten ÖNORM S 2118 Teil 1 [78] „für die Bestimmung des oberen Heizwertes (H_o) von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen und vergleichbaren Materialien“ vorgeschlagen. So findet nach der Probenahme vor Ort eine Vereinigung der qualifizierten Stichproben zu einer Sammelprobe statt, aus der mittels Riffelteiler oder Mischkreuzverfahren die Laborprobe gewonnen wird (rund 40 kg, feucht). Anschließend dazu erfolgen die Schritte: Trocknung, das Aussortieren und Wiegen von Inertstoffen (wie Metallen, Steinen, Keramik, Glas) und die darauf folgenden Siebungs- und Zerkleinerungsschritte. In 2 Stufen, mit einem dazwischen liegenden Verjüngungsschritt, wird dabei eine Zerkleinerung von 100 % der Probe kleiner 4 mm und von min. 98 % der Probe < 0,25 mm gefordert. Als Zerkleinerungsaggregate werden dazu eine Schneidmühle (1. Stufe) und eine Ultrazentrifugalmühle (2. Stufe) als zweckmäßig erachtet. Nach einer Homogenisierung und nochmaliger Verjüngung erhält man die Analysenprobe. Die S 2118-1 [78] beschreibt damit den gesamten Aufbereitungsweg von der Probe hin zur Analysenprobe.

Das Regelwerk der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. [6] beinhaltet ebenfalls detaillierte Vorgaben hinsichtlich der Probenaufbereitung. Diese geht dabei von einer durch Homogenisieren und Vierteln oder mittels automatischer Probenteilung (z.B. Lochblech) gewonnenen 10 l Mischprobe (= Laborprobe) aus. Zunächst wird die Laborprobe auf rund 30 mm zerkleinert. Anschließend werden, sofern vorhanden, Stoffe, die den weiteren Zerkleinerungsprozess stören (wie Glas, Steine, FE-Metalle) aussortiert und dokumentiert (Masse, Qualität, Foto). In mehreren Teilungs- und Zerkleinerungsschritten ist die Probe auf < 1 mm zu zerkleinern, um mindestens 200 ml einer möglichst homogenen Probemenge zu gewinnen. Dabei ist das Probematerial gegebenenfalls mit Stickstoff oder Trockeneis zu verspröden, um auch zähe Bestandteile vollständig zerkleinern zu können.

Eine weitere Richtlinie zur Probenaufbereitung ist die der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA PN 98 [57]) Darin wird unter anderem die Probenverjüngung der Mischprobe (gebildet aus den Einzelproben) hin zur Laborprobe beschrieben. Demnach hat die Laborprobe – je nach maximaler Korngröße – ein Volumen von 4 bzw. 10 l ($20 < \text{Korngröße in mm} \leq 50$ bzw. $50 < \text{Korngröße in mm} \leq 120$). Als geeignete Verfahren zur Probenverjüngung werden das fraktionierte Schaufeln, Aufkegeln und Vierteln, die Verwendung eines Riffelteilers oder Rotationsteilers sowie der Probenstecher für feinkörniges Gut, genannt.

Zunächst fällt die teilweise große Freiheit auf, welche die Normen dem Anwender in der Probenaufbereitung im Vergleich zum strengen Reglementierungsgrad der vor- und nachfolgenden Schritte lassen. Bei den detaillierten Werken (Bundesgütegemeinschaft [6], ÖNORM S 2118 [78]) herrscht aber grundsätzliche Übereinstimmung in der Vorgehensweise, auch wenn Siebschnitte anders angesetzt werden und die direkte Vergleichbarkeit von Ergebnissen damit schwierig bleibt.

Eine detaillierte Untersuchung des Einflusses der Probenteilung und Probenaufbereitung auf die Repräsentanz findet sich im Endbericht des Projektes Heizwertreiche Abfallfraktionen aus der mechanischen Abfallbehandlung (MA) und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) [75].

5 Gütebestimmungen für Ersatzbrennstoffe

Sollen Ersatzbrennstoffe in Anlagen zur thermischen Verwertung eingesetzt werden, so ist dies nur im Rahmen behördlicher Genehmigungen durchführbar. Für die Bewertung entsprechender Auswirkungen des Einsatzes werden unter anderem Analysedaten der Ersatzbrennstoffe gefordert. Die Entscheidungen, die auf Basis dieser gewonnenen Daten getroffen werden, haben damit direkte wirtschaftliche Auswirkungen sowohl auf den Hersteller als auch auf den Verwerter von Ersatzbrennstoffen. Eine der wesentlichen Voraussetzungen ist es daher, entsprechende Qualitätssicherungskonzepte bereitzustellen, die es ermöglichen, Entscheidungen auf Grundlage fundierter Daten treffen zu können. Ein derartiges Konzept sollte dabei allerdings nicht erst am Ende des Herstellungsprozesses der Ersatzbrennstoffe ansetzen. Vielmehr sind bereits die Sammlung der Abfälle, die Lagerung dieser bei den Ersatzbrennstoffherstellern und die Bereitstellung (Lieferung) der hergestellten Ersatzbrennstoffe in das QS-Konzept mit einzubeziehen. Im Folgenden werden die derzeit bestehenden Systeme angeführt und analysiert.

5.1 Güte- und Prüfbestimmungen der deutschen Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Altholzrecycling e.V. (BGS)

5.1.1 Beschreibung der Vorgehensweise

Die deutsche Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. [6] hat sich zur Aufgabe gemacht, die Güte von Sekundärbrennstoffen zu sichern und hierfür ein Gütezeichen zu schaffen. In den vorliegenden Güte- und Prüfbestimmungen sind die zulässigen Schwermetallgehalte und Prüfmethode festgelegt. Diese Güte- und Prüfbestimmungen haben nicht den Zweck, abfallrechtliche oder genehmigungsrechtliche Anforderungen zu regeln oder zu ersetzen; sie sind als Vereinbarung zwischen den Markteteiligen über die im Rahmen dieser Bestimmungen definierten Sekundärbrennstoffe zu verstehen.

Damit soll sichergestellt werden, dass die Produzenten von Sekundärbrennstoffen nur geeignete und unbedenkliche Ausgangsstoffe verwenden und die Qualität des erzeugten Sekundärbrennstoffs durch Einsatz der erforderlichen Verfahrenstechnik gewährleistet wird. Dadurch kann die Eingangskontrolle der Sekundärbrennstoffe beim Verwerter vereinfacht werden.

5.1.2 Geltungsbereich

Die Güte- und Prüfbestimmungen gelten für Sekundärbrennstoffe, die einerseits aus heizwertreichen Abfällen und andererseits aus heizwertreichen Fraktionen nicht getrennt erfasster Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten hergestellt werden.

Diese Güte- und Prüfbestimmungen gelten nicht für Sekundärbrennstoffe aus flüssigen Abfällen und auch nicht für Sekundärbrennstoffe aus besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Brennstoffe, die aus Altholz-/Gebrauchtholzmonochargen oder aus Stoffgemischen mit überwiegenden Altholz-/Gebrauchtholzanteilen bestehen, sind nicht Gegenstand der Gütesicherung Sekundärbrennstoffe.

5.1.3 Gütebe- und Prüfbestimmungen

Die jeweiligen Gütekriterien können bei Materialien für unterschiedliche Einsatzbereiche verschieden sein. Zunächst sind in diesen Güte- und Prüfbestimmungen Gütekriterien für die Einsatzbereiche Zementindustrie und Kraftwerke festgelegt. Gütegesicherte Sekundärbrennstoffe müssen der Anlage 1 Abfallartenliste entsprechen und die in Anlage 2 (Besondere Güte- und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe mit RAL-Gütezeichen) beschriebenen Gütekriterien erfüllen.

Die Prüfbestimmungen innerhalb dieses Regelwerkes unterteilen sich in:

- Erstprüfung,
- Eigenüberwachung,
- Fremdüberwachung,
- Wiederholungsprüfung.

Den Prüfungen im Rahmen des Anerkennungsverfahrens (Erstprüfung) hat sich jeder Betrieb zu unterziehen, der die Verleihung des Gütezeichens Sekundärbrennstoffe bei der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. beantragt. Zur Durchführung dieser Prüfungen benennt der Güteausschuss neutrale Prüfinstitute.

Jeder Gütezeichenbenutzer hat für die Einhaltung der Güte- und Prüfbestimmungen kontinuierliche Eigenüberwachungen durchzuführen. Die Eigenüberwachung besteht in der Überprüfung des Inputs (Eingangsmaterial in eine Anlage zur Sekundärbrennstoffaufbereitung) in Anlagen zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen und in der Überprüfung der erzeugten Sekundärbrennstoffe (Output).

Im Rahmen der Eigenüberwachung müssen eine Mengenbilanz erstellt und ein Betriebstagebuch in Anlehnung an § 5 Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfbV) geführt werden. Für den Input in Anlagen zur Herstellung von Sekundärbrennstoffen sind für den angelieferten Abfall u.a. zu dokumentieren:

- Abfallschlüssel nach dem Europäischen Abfallkatalog (EAK-Schlüssel),
- zugehörige Abfallmengen,
- spezifische Herkunftsinformationen,
- Chemisch-physikalische Kenngrößen.

Für die Durchführung der Fremdüberwachung beauftragt der Gütezeichenbenutzer eines der vom Güteausschuss benannten geeigneten neutralen Prüfinstitute auf der Grundlage eines Mustervertrages. Die Fremdüberwachung ist ohne vorherige Anmeldung während der betrieblichen Arbeitszeit im Betrieb des Gütezeichenbenutzers entsprechend den Vorgaben durchzuführen.

Die Fremdüberwachung besteht in der Überprüfung des gütegesicherten Ersatzbrennstoffs und der bei der Prüfung im Anerkennungsverfahren vorgefundenen betrieblichen und personellen Ausstattung des Betriebes des Gütezeichenbenutzers.

Der Rhythmus der Fremdüberwachung ist abhängig von der Menge der erzeugten Ersatzbrennstoffe. Werden im Rahmen der Fremdüberwachung vom Prüfer Mängel in der Gütesicherung festgestellt, so kann vom Güteausschuss der Gütegemeinschaft festgelegt werden, innerhalb einer Frist von vier Wochen eine Wiederholungsprüfung durchzuführen. Wird die Wiederholungsprüfung nicht bestanden, so gilt die Fremdüberwachung als insgesamt nicht bestanden. Das weitere Vorgehen regelt sich nach den Durchführungsbestimmungen für die Verleihung und Führung des Gütezeichens der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V.

5.1.4 Ausgangsbedingungen und Zielstellungen

Ziel ist es, durch Definition und Auswahl der Abfälle zur Sekundärbrennstoffherstellung eine erste Sicherung der definierten Qualitätsparameter für Sekundärbrennstoffe zu erreichen und bei Qualitätsabweichungen die Rückverfolgung und Ursachenforschung zu erleichtern.

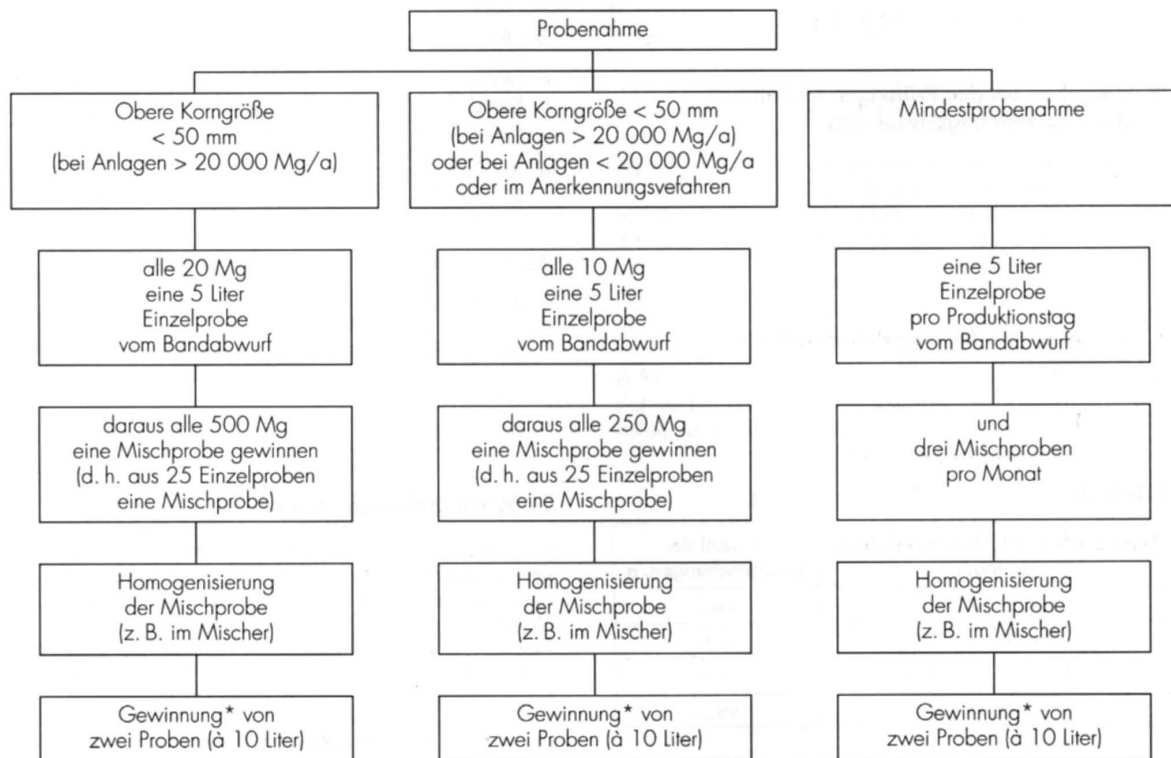
Nach bisherigen praktischen Erfahrungen und vorliegenden Genehmigungen sind die Abfälle für die Sekundärbrennstoffherstellung aus zwei Herkunftsbereichen zu definieren:

1. aus der Getrennterfassung (Monofractionen),
2. aus der Gemischterfassung (Teilfraktionen aus gemischten Siedlungsabfällen).

Während für 1 die angelieferten Stoffe auch ohne weitere Vorbehandlung grundsätzlich als Input für die Sekundärbrennstoffherstellung anzusehen sind, werden die Stoffe für 2 durch vorherige mechanische Aufbereitung in für die Sekundärbrennstoffherstellung geeignete und nicht geeignete Fraktionen getrennt. Damit gelangen aus dem angelieferten Zustand – gemischte Siedlungsabfälle – nur die Abfälle in die Sekundärbrennstoffproduktion, die den Kriterien der Sekundärbrennstoffherstellung und Güteforderungen entsprechen. Bei diesen abgetrennten Teilfraktionen handelt es sich um Stoffe, wie z.B. Papier, Pappe, Holz, Textilien, Kunststoffe, die in diesem Fall aber als Gemisch vorliegen.

5.1.5 Probenahme im Outputstrom einer Sekundärbrennstoff-Aufbereitungsanlage

Die Probenahme erfolgt mengenproportional vom Bandabwurf. Es werden zunächst Einzelproben gezogen, die dann zu Mischproben vereinigt werden. Die Entnahmemenge der Einzelprobe ist in Abhängigkeit der Korngröße in Anlehnung an PN 98 [57] in Abbildung 5.1 festgelegt.



* Gewinnung durch Viertelung der Mischprobe oder proportionale Entnahme vom Band (bei ausreichender Homogenität der Probe z. B. Pellets oder engem Kornband können die zwei Proben [à 10 Liter] direkt aus der Mischprobe entnommen werden)

Abbildung 5.1: Darstellung des Schemas der Probenahme [6]

In Aufbereitungsanlagen mit einer erzeugten Menge an Ersatzbrennstoff von < 20.000 Mg/a werden alle 10 Mg Einzelproben gezogen. Aus 25 dieser Proben wird eine Mischprobe hergestellt (im Folgenden wird sie als "250 Mg Mischprobe" bezeichnet, da sie eine beprobte Sekundärbrennstoffmenge von 250 Mg repräsentiert; bei den weiteren Probenbezeichnungen gilt dies entsprechend).

5.1.6 Analytischer Untersuchungsumfang und Analysenvorschriften

Die in Tabelle 5.1 dargelegten physikalischen und chemischen Parameter stellen den Umfang der Vollanalyse im Rahmen der Güte- und Prüfbestimmungen dar.

Tabelle 5.1: Analysenumfang der Vollanalyse

Parameter	Einheit
Feuchte	Gew.-% OS ⁷
oberer Heizwert (H _O)	MJ/kg TS ⁸
unterer Heizwert (H _U)	MJ/kg OS
Aschegehalt	Gew.-% TS
Chlorgehalt	Gew.-% TS
Cadmium Quecksilber Thallium	mg/kg TS
Arsen Kobalt Nickel Selen Tellur	mg/kg TS
Antimon Blei Chrom Kupfer Mangan Vanadium Zinn Beryllium	mg/kg TS

Die Probenaufbereitung, die Aufschlussverfahren, die Analysenverfahren sowie weitere bei der Analytik zu beachtende Randbedingungen richten sich nach den Probeaufbereitungs- und Analysenvorschriften in der jeweils gültigen Fassung.

5.1.7 Beprobungsumfang bei der Eigenüberwachung

Entsprechend Tabelle 5.2 wird alle 10 Mg bzw. alle 20 Mg eine Probe vom Band gezogen. Aus diesen Einzelproben wird eine Mischprobe erstellt, die 250 oder 500 Mg ("250 oder 500 Mg Probe"), in Abhängigkeit von der in der Anlage erzeugten Menge an Sekundärbrennstoff und der Korngröße, repräsentiert.

⁷ OS: Originalsubstanz

⁸ TS: Trockensubstanz

Jeweils drei "250 oder 500 Mg Proben" werden zu einer „750 Mg oder 1500 Mg Probe“ zusammengefasst. Diese wird einer Vollanalyse unterzogen. Zusätzlich wird die erstellte "250 bzw. 500 Mg Probe" zur laufenden Prozesskontrolle auf folgende Parameter nach Tabelle 5.2 analysiert.

Tabelle 5.2: Umfang der Kurzanalyse

Parameter	Einheit
Feuchte	Gew.-% OS
Heizwert (H_o)	MJ/kg TS
Heizwert (H_U)	MJ/kg OS
Aschegehalt	Gew.-% TS
Chlorgehalt	Gew.-% TS
mindestens 2 für den jeweiligen Verwertungsweg relevante Schwermetalle	mg/kg TS
Sonstige Problemparameter in Abhängigkeit vom Verwertungsweg	mg/kg TS

5.1.8 Zulässige Schwermetallgehalte und Auswertemodus für die Fremdüberwachung im Anerkennungs- und Überwachungsverfahren

Die Prüfungen im Anerkennungs- und Überwachungsverfahren erfolgen zweistufig.

1. Stufe:

Die drei Proben, die der Fremdüberwacher gezogen hat, und 7 Proben aus der Menge der Rückstellproben aus der Eigenüberwachung werden gemäß Tabelle 5.1 analysiert. Für die Schwermetallgehalte gilt:

- a) Die Medianwerte über die Analysenergebnisse der 10 Proben dürfen die
- b) angegebenen zulässigen Medianwerte nicht überschreiten, und
- c) die "80^o% Perzentil"-Werte dürfen von 8 der 10 Proben nicht überschritten werden (Anwendung der "4 von 5-Regelung").

2. Stufe:

Wenn innerhalb der 1. Stufe der Median bzw. die "4 von 5-Regelung" nicht eingehalten wird, werden weitere 10 Rückstellproben aus der Eigenüberwachung ausgewählt und auf den oder die nicht eingehaltenen Parameter untersucht.

Die Auswertung erfolgt analog zur 1. Stufe:

- c) Die Medianwerte über die Analyseergebnisse der 20 Proben (jeweils 10 Proben aus 1. und 2. Stufe) dürfen die angegebenen zulässigen Medianwerte nicht überschreiten, und
- d) die 80 % Perzentil-Werte dürfen von 16 der 20 Proben nicht überschritten werden.

Als weitere Parameter sind zu dokumentieren:

- der Heizwert,
- die Feuchte,
- der Aschegehalt und
- der Chlorgehalt.

5.1.9 Bewertung

Die Vorgaben der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. geben hinsichtlich der Eigen und Fremdüberwachung ein äußerst schlüssiges Konzept vor. Hinsichtlich der Probenahme wäre eine Unterscheidung in Abhängigkeit von der Heterogenität der Ersatzbrennstoffe von Vorteil. Die Problematik der unterschiedlichen Anforderungen seitens der Anlagenbetreiber im Zusammenhang mit Parametern wie Störstoffgehalt, Korngröße oder verschiedenen Elementkonzentrationen konnte nicht gelöst werden, die Anforderungen werden durch das RAL-Gütezeichen weit übererfüllt.

Ersatzbrennstoffe mit einer Korngröße > 50 mm, welche insbesondere in Wirbelschichtanlagen sehr oft zum Einsatz kommen, sind ebenfalls nicht Teil des Regelwerkes. Insgesamt gesehen bildet die vorliegende Regelung gute Ansatzpunkte für die Ableitung eines entsprechenden Qualitätssicherungskonzeptes.

5.2 Finnischer Standart

Eines der ersten Konzepte für die Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen stellt der so genannte „Finnische Standart“ [80] aus dem Jahre 2000 dar. Dieser definiert den Ablauf und die Anforderungen unter welchen die Qualität von Ersatzbrennstoffen für die thermische Verwertung zum Zwecke der Erzeugung von Energie kontrolliert werden kann. Er regelt dabei den gesamten Ablauf von der Sammlung und den Transport entsprechender Ausgangsmaterialien über die Herstellung der Ersatzbrennstoffe bis hin zur Lieferung und Verwertung dieser an bzw. in den entsprechenden Verwertungsanlagen. Einen wichtigen Bestandteil bildet die Aufzeichnung entsprechender Daten für den Nachweis der Einhaltung entsprechender Vorgaben und Vereinbarungen.

5.2.1 Klassifizierungsschema für Ersatzbrennstoffe

Neben den üblichen Begriffsdefinitionen beinhaltet dieses Regelwerk die Einteilung von Ersatzbrennstoffen in insgesamt drei Klassen. Tabelle 5.3 zeigt die Qualitätsklassifizierung nach der finnischen Norm.

Tabelle 5.3: Klassifizierungsschema des Finnischen Standards [80]

Nummer	Kenngröße	Einheit (bezogen auf TS)	Qualitätsklassen		
			I	II	III
1	Chlorgehalt	M-%	< 0,15	< 0,50	< 1,50
2	Schwefelgehalt	M-%	< 0,20	< 0,30	< 0,50
3	Stickstoffgehalt	M-%	< 1,00	< 1,50	< 2,50
4	Kalium- und Natriumgehalt ⁽⁹⁾	M-%	< 0,20	< 0,40	< 0,50
5	Aluminiumgehalt	M-%	⁽¹⁰⁾	⁽¹¹⁾	⁽¹²⁾
6	Quecksilbergehalt	mg/kg	< 0,10	< 0,20	< 0,50
7	Cadmiumgehalt	mg/kg	< 1,00	< 4,00	< 5,00

Zusätzlich enthält diese Norm ein Datenblatt, welches die Kommunikation zwischen Hersteller und Verwerter des Ersatzbrennstoffes vereinfachen soll. Darin sind folgende Punkte enthalten:

- Die Qualitätskriterien gemäß Tabelle 5.3 inklusive der Angabe der Güteklasse, der genauen Schadstoffgehalte und der Analyseverfahren, mit deren Hilfe diese Gehalte ermittelt wurden.
- Des Weiteren werden im zweiten Abschnitt andere für den Verbrennungsprozess relevante Eigenschaften, wie Wassergehalt, (oberer) Heizwert, Aschegehalt und -schmelzpunkt, Korngröße angeführt.
- Alle umweltrelevanten Schwermetalle (Einzelwerte) sind im dritten Abschnitt aufgelistet.

Im Anhang der Norm befinden sich zusätzlich Informationen über die Probennahme und die genormten Analyseverfahren. Die folgende Tabelle 5.4 zeigt die Anzahl an zu gewinnenden Einzelproben bei der Probenahme aus Haufen oder Ladungen von Ersatzbrennstoffen.

⁹ Gesamtgehalt an Kalium und Natrium.

¹⁰ Metallisches Aluminium ist nicht erlaubt, wird jedoch in einem Gehalt, welcher unter der Genauigkeit für die Angabe in den Aufzeichnungen liegt, akzeptiert.

¹¹ Metallische Aluminium wird bei der Abfalltrennung und bei der Herstellung des Ersatzbrennstoffs minimiert.

¹² Der Gehalt an metallischem Aluminium wird im Einzelnen vereinbart.

Tabelle 5.4: Mindestanzahl an Einzelproben bei der Probenahme aus Haufen oder Ladungen [80]

Batch Größe [m ³]	Anzahl an Einzelproben
< 50	2
50 bis 120	4
> 120	6

Die zu gewinnende Menge an Einzelprobe richtet sich dabei nach der Korngröße der zu beprobenden Ersatzbrennstoffe. Diese beträgt:

- Mindestens 5 Liter für eine Korngröße < 60 mm,
- Mindestens 10 Liter für eine Korngröße > 60 mm.

5.2.2 Bewertung

Mit dem Finnischen Standard wurde erstmals versucht, ein Qualitätssicherungskonzept zu implementieren, welches nicht nur die Herstellung der Ersatzbrennstoffe umfasst, sondern bereits bei der Sammlung der Abfälle den Anfang nimmt. Besonderes Augenmerk wird auf eine lückenlose Aufzeichnung relevanter Daten und Fakten gelegt.

Wie der Finnische Standard zeigt, ist es für einen gesicherten Anlagenbetrieb von entscheidender Bedeutung auch Parameter wie den Gehalt an Aluminium, Schwefel, Kalium oder Natrium in ein Qualitätssicherungskonzept aufzunehmen, welche z.B. in einem anderem etablierten Regelwerk [6] nicht enthalten sind.

6 Entwicklung eines QS-Konzeptes für Ersatzbrennstoffe

Um den Anforderungen für eine Verwertung von Abfällen in industriellen Feuerungsanlagen gerecht zu werden, bedarf der Einsatz von Abfällen in industriellen Prozessen klare Definition bzw. Spezifikation für Ersatzbrennstoffe. Bei der Herstellung dieser ist der Sicherung spezifizierter Qualitäten großes Augenmerk zu schenken. Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass neben der chemischen und stofflichen Beschaffenheit der Abfälle, die im Wesentlichen durch den Produktionsprozess bedingt ist, vor allem die durch eine entsprechende mechanische Vorbehandlung zu beeinflussenden physikalischen Parameter wie Stückigkeit/Korngröße und Inertstoffgehalt für die verfahrenstechnische Machbarkeit der thermischen Verwertung des Abfalls in einem industriellen Prozess entscheidend sind. So haben Erfahrungen bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen in kalorischen Kraftwerken gezeigt, dass für deren Einsatz eine Vielzahl von technischen Vorkehrungen zu treffen sind und dass für einen störungsfreien Betrieb Restriktionen bzw. Vorgaben an einen Ersatzbrennstoff in den Bereichen Aufbereitung/Lagerung/Einbringung (z.B. Selbsterhitzungsgefahr und Neigung zur Brückenbildung), Kessel/Verbrennung (z.B. Abbrandkinetik und Zündverhalten), Emissionen (z.B. leicht flüchtige Elemente oder Abwasseremissionen) und Reststoffe (z.B. Verwertbarkeit oder Selbstverfestigung) erforderlich sind [81].

6.1 Qualität im Allgemeinen Sprachgebrauch

Im alltäglichen Sprachgebrauch beschreibt man den Begriff „Qualität“ als etwas Perfektes, Exzellentes oder Tolles. Tatsächlich aber definiert der Begriff Qualität kein bestimmtes Leistungsniveau und dennoch hat die Formulierung „Das ist ein Qualitätsprodukt“ auf die Allgemeinheit eine positive Wirkung.

Gemäß DIN ISO 55350 wird Qualität wie folgt beschrieben [82]:

„...Gesamtheit der Merkmale, die eine Einheit zur Erfüllung vorgegebener Forderungen geeignet macht. Eine Einheit kann ein Produkt, eine Dienstleistung, ein Prozess oder eine Organisation (Abteilung, Unternehmen) sein. Die vorgegebenen Forderungen können festgelegt oder vorausgesetzt sein und ergeben sich i.a. aus dem Verwendungszweck (Art des Gebrauchs)“.

Nach der International Standard Organisation (ISO) ist:

„...Qualität die Gesamtheit von Merkmalen einer Betrachtungseinheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“ [83].

Entscheidend für die Qualität eines Produktes ist nicht sein Preis oder die Qualität der verwendeten Materialien. Entscheidend ist, dass die gestellten Anforderungen an das Produkt erfüllt werden. Dabei müssen sowohl die objektiv messbaren Eigenschaften und Vorgaben des Produzenten als auch die subjektiven Erwartungen der Kunden erfüllt werden.

Während Qualität traditionell als eine Eigenschaft von Produkten oder Dienstleistungen verstanden wurde, also die Erfordernisse der Kunden im Vordergrund standen, erstreckt sich der Qualitätsbegriff im Rahmen von Total – Quality – Konzepten über ganze Unternehmen. Neben den Kundenanforderungen treten die Anforderungen von Mitarbeitern, Kapitalgebern und Öffentlichkeit an das Management, an deren Erfüllung sich die umfassende Qualität eines Unternehmens (Total Quality) misst.

Die Begriffswelt rund um Qualität macht deutlich, dass für eine qualitative Aussage wie besser, schlechter, schöner, schneller usw. ein Vergleichsmaßstab notwendig ist. Es geht also darum, Qualitätsmerkmale zu identifizieren, um im Vergleich von Produkten und Dienstleistungen Aussagen über deren Eigenschaften treffen zu können. Entlang der gesamten Prozesskette, also von der Probenahme über die Probenvorbereitung bis hin zum Analyseergebnis existieren lediglich für den Bereich der Gewinnung der Analysedaten derartige Vergleichsmaßstäbe.

6.2 Produkt- und Organisationsqualität

Eine weitere wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist die, ob man die Produktqualität getrennt von der Organisationsqualität betrachten kann. Die Antwort darauf ist eindeutig nein, denn die Produktqualität ist untrennbar mit der Organisationsqualität verbunden. Das Kaufverhalten z.B. wird nicht nur durch die Bedarfsdeckung, das Produkt oder die Dienstleistung selbst, sondern auch durch den Vertrauens-Gesichtspunkt, wie beispielsweise Service- und Kundendienstverfügbarkeit, Zukunftssicherheit, Markenimage, Zeitgeist, etc. massiv beeinflusst. Produkt- und Dienstleistungsqualität wird also untrennbar mit Qualitätsmerkmalen des jeweiligen Lieferanten bzw. Herstellers in Verbindung gebracht und somit mit der Organisationsqualität verbunden.

Zu Beginn unternehmerischer Qualitätsbemühungen stand die Qualitätskontrolle. Tätigkeiten wie Prüfen und Messen standen hier im Vordergrund. Diese produktbezogene Sicht wurde später um die Perspektive auf den gesamten Herstellungsprozess erweitert und als Qualitätssicherung bezeichnet.

Das Qualitätsmanagement von heute geht noch einen Schritt weiter. Es geht um alle institutionalisierten Vorkehrungen und Maßnahmen innerhalb einer Organisation, die zur Herstellung von Kundenvertrauen und zur Erhöhung der Kundenzufriedenheit in Wechselbeziehung stehen. Qualitätssicherung umfasst alle diejenigen geplanten und systematischen Tätigkeiten, die notwendig sind, um ein hinreichendes Vertrauen zu schaffen, dass ein Produkt die festgelegten Qualitätsanforderungen erfüllen wird. Die Qualitätssicherung eines Unternehmens hat somit sicherzustellen, dass die gelieferten Produkte den mit den Kunden vereinbarten Anforderungen entsprechen, die definierte Qualität erreicht wird, ohne dass dem Unternehmen zusätzliche (nicht kalkulierte) Kosten entstehen und die gültigen Gesetze und Normen, insbesondere in Bezug auf die Produktsicherheit, eingehalten werden. Das Qualitätsmanagement-System nach ISO 9001 ff

[61] ist z.B. ein Führungssystem, das die notwendigen Werkzeuge zum Erreichen dieser Ziele zur Verfügung stellt. Da eine Vielzahl von Unternehmen der Abfallwirtschaft nach dieser Richtlinie zertifiziert sind bzw. eine solche anstreben, sollte ein Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffe in seiner Endausführung in das Qualitätsmanagement-System nach ISO 9001 ff integrierbar sein.

Die Vorteile lägen dabei in:

- einer nachvollziehbare Steigerung der Kundenzufriedenheit,
- einer massive Reduktion der Reklamationen und Fehlerkosten,
- einer erhebliche Kostenersparnis und besseren Ressourceneinsatz,
- einer Steigerung der Rechtssicherheit,
- einem aussagekräftigen System von Kennziffern,
- einer wesentlich bessere interne und externen Kommunikation,
- einer außenwirksamen Imageverbesserung,
- einer erhöhten Behördenakzeptanz,
- einer Etablierung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.

6.3 Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger (ÖG-SET)

Bereits im Jahr 2000 begannen erste Gespräche von Repräsentanten unterschiedlicher Organisationen zur Initiierung von Untersuchungen im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen. Durch die finanzielle Unterstützung seitens des Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (ehemals FFF) und der in Tabelle 6.1 angeführten Institutionen konnte unter Federführung des IAE-Institutes der Montanuniversität Leoben eine Plattform (Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger – ÖG-SET) gegründet werden, deren Aufgabe in der Ableitung von qualitativen Mindestanforderungen von Ersatzbrennstoffen lag. Die ÖG-SET verfolgte mit dem gegenständlichen Projekt, das den praktischen Hintergrund der vorliegenden Dissertationsarbeit darstellt, die nachfolgenden aufgelisteten Ziele [84]:

- Ausarbeitung von entsprechenden Regelungen für die Probenahme und Probenaufbereitung.
- Bewertung der Auswirkungen der erarbeiteten Regelungen auf den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in industriellen Feuerungsanlagen.
- Erarbeitung eines Gütesicherungskonzeptes als Grundlage für ein Gütezeichen.

Die wesentlichen Voraussetzungen für eine Umsetzung der Ergebnisse ist die breite Unterstützung seitens der betroffenen Betriebe, welche sich einerseits mit der Herstellung und andererseits mit der thermischen Verwertung der Ersatzbrennstoffe beschäftigen. Vor diesem Hintergrund konnten die in der Tabelle 6.1 angeführten Institutionen, in denen die überwiegende Mehrzahl der thematisch involvierten Unternehmen organisiert sind, als Projektpartner gewonnen werden.

Tabelle 6.1: Darstellung der Projektpartner von ÖG-SET [84]

Projektpartner
Austropapier - Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie
Fachverband der Bergwerke und Eisen erzeugenden Industrie
Fachverband der Holzverarbeitenden Industrie
Industriellenvereinigung (IV)
ISWA-Austria (ARGEV)
Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ)
Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VOEB)
Vereinigung der Österr. Zementindustrie (VÖZ)
Wirtschaftskammer Österreich Bundessparte Industrie

Abbildung 6.1 zeigt eine schematische Darstellung des Projektinhaltes, der sich aus den Detailaufgaben:

- Erstellung eines Kriterienkataloges für den Einsatz von Ersatzbrennstoffe in verschiedenen industriellen Feuerungsanlagen,
- Erarbeitung von Regelungen für die Probenahme von Abfällen,
- Durchführung eines Ringversuches zur Ermittlung der Grundlagen für ein QS-Konzept,
- Erarbeitung eines Qualitätssicherungskonzeptes,
- Definition der Grundlagen für ein Gütezeichen, zusammensetzt.

Die Gesamtprojektdauer betrug 2 Jahre, wobei das Projekt selbst in zwei Phasen gegliedert wurde.

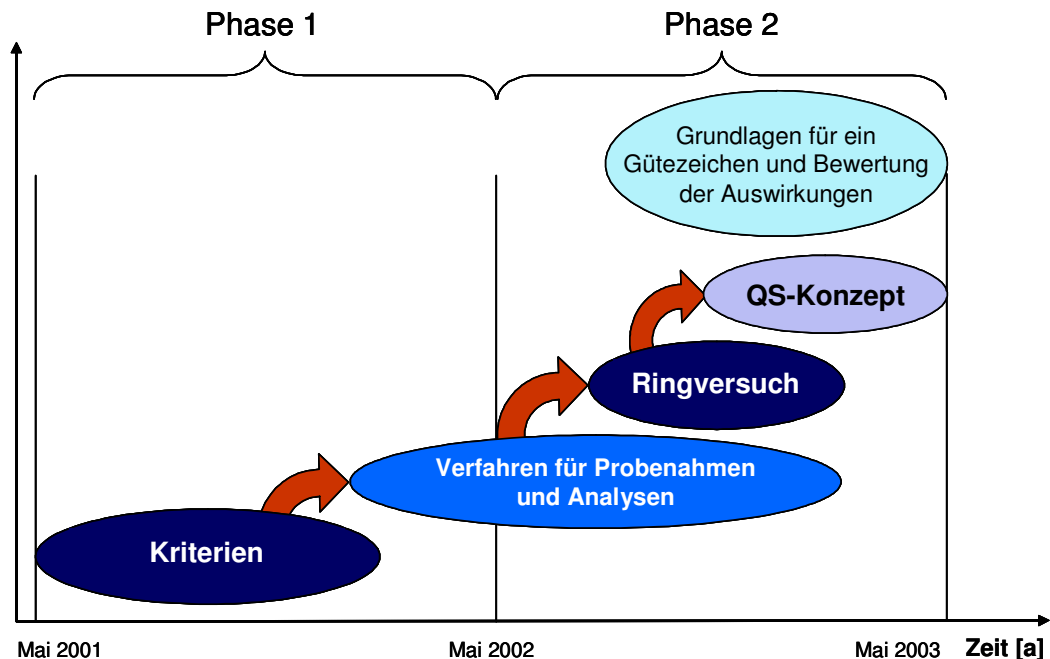


Abbildung 6.1: Grafische Darstellung der Projektinhalte von ÖG-SET [84]

6.4 Ableitung von relevanten Kriterien für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen

Entsprechend den unterschiedlichen Industriesparten und den dort angewandten thermischen Verwertungstechnologien, wie bspw. Wirbelschicht, Drehrohrofen, Kohlestaubfeuerungen, wurden insgesamt 5 Arbeitsgruppen (Zementindustrie, Papier-/Faser-/Plattenindustrie, Elektrizitätsindustrie, Stahl- und Holzindustrie) gebildet. Zur ganzheitlichen Betrachtung der Thematik waren bei den Gesprächen in den einzelnen ÖG-SET Arbeitsgruppen sowohl Hersteller als auch Verwerter von Ersatzbrennstoffen vertreten.

Für die unterschiedlichen Verwertungstechnologien wurden danach unter Leitung des Autors dieser Dissertationsarbeit wesentliche Kriterien für eine thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen erarbeitet und festgelegt. Dabei wurde prinzipiell nach drei unterschiedlichen Arten von Kriterien bzw. Qualitätsmerkmalen unterschieden:

- Ausschlusskriterien,
- Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale,
- Sonstige Qualitätsmerkmale.

Am Beispiel der Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Kraftwerken wird hier dargestellt, warum die Festlegung von Kriterien für die unterschiedlichsten Bereiche von entscheidender

Bedeutung ist. Beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in industriellen Feuerungsanlagen ist generell zu berücksichtigen, dass deren ursprüngliche technische Auslegung auf einem konventionellen Brennstoff basiert. Somit birgt die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen sowohl verfahrenstechnische Anlagenrisiken (z.B. Korrosion) als auch ökonomische Risiken (z.B. erhöhter Betriebsmittelbedarf) in sich.

Zur Herstellung eines Ersatzbrennstoffes sind Aufbereitungsschritte mit einer entsprechend strengen und nachvollziehbaren Qualitätssicherung mit einer Eingangs- und Einsatzkontrolle notwendig, wodurch qualitativ unspezifizierte Abfälle als definierter qualitätsgesicherter Ersatzbrennstoff in industriellen Feuerungsanlagen mit vermindertem Risiko eingesetzt werden können. Änderungen der Qualität der Ersatzbrennstoffe können zu erheblichen Auswirkungen auf den technischen und wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage führen. In Abbildung 6.2 sind beispielhaft Einflüsse von ausgewählten Parametern eines Ersatzbrennstoffs auf den Betrieb eines kalorischen Kraftwerkes angeführt [85].

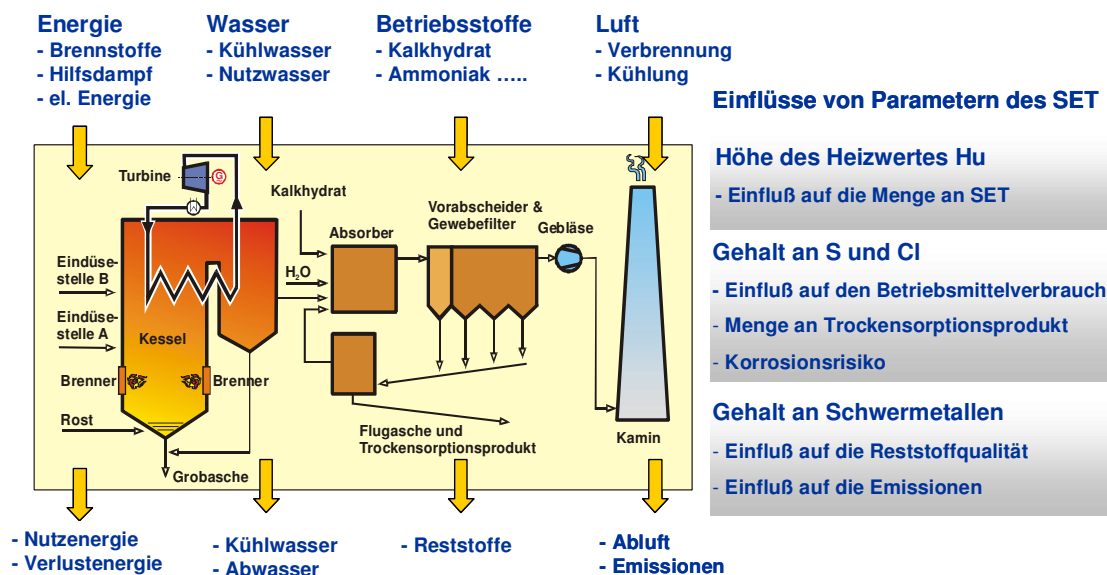


Abbildung 6.2: Einfluss von unterschiedlichen Parametern eines Ersatzbrennstoffs auf den Betrieb eines Kraftwerkes [85]

Ein wesentliches Kriterium für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in kalorischen Kraftwerken ist die Aufrechterhaltung von bestehenden Verwertungs- und Vermarktungsschienen für anfallende Reststoffe (z.B. Aschen, Trockensorptionsprodukte). Eine mögliche qualitative Änderung der Eigenschaften von Reststoffen führt in der Regel zu einer Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit und damit zur Begrenzung der Einsatzmöglichkeiten von Ersatzbrennstoffen [85].

Tabelle 6.2 bis Tabelle 6.4 beinhalten einen Auszug der in den Arbeitsgruppen definierten Kriterien bzw. Qualitätsmerkmalen. Eine vollständige Auflistung dieser kann dem Anhang A entnommen werden. Aus dieser Liste können, je nach Anforderung der einzelnen

Anlagenbetreiber, individuelle Merkmale für die Definition der Ersatzbrennstoffqualität ausgewählt und z.B. anschließend für die Beschaffung des entsprechenden Ersatzbrennstoffes in ein Spezifizierungsschema eingetragen werden. Auf das Spezifizierungsschema wird in Kapitel 6.8.4 näher eingegangen.

Im Folgenden werden Ausschlussmerkmale, chemisch- physikalische Merkmale und sonstige Qualitätsmerkmale näher beschrieben. Wichtig in diesem Zusammenhang ist dabei, dass nicht alle Merkmale zwingend zu untersuchen sind. Welche der Kriterien durch die entsprechenden Methoden zu bestimmen sind, muss in der weiterführenden Diskussion festgelegt werden, wobei die Entwicklungen auf europäischer Ebene einbezogen werden müssen.

6.4.1 Ausschlussmerkmale

Die Abfallverzeichnisverordnung [86] definiert in Anlage 3 gefahrenrelevante Eigenschaften (Kriterien). Abfälle gelten als gefährlich, wenn sie gefährliche Stoffe gemäß dieser Verordnung in einem Ausmaß enthalten oder mit solchen vermischt sind, dass mit einer einfachen Beurteilung nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine gefahrenrelevante Eigenschaft gemäß Anlage 3 zutrifft. Ersatzbrennstoffe, welche derartige Merkmale aufweisen, werden ohne Ausnahme von einer thermischen Verwertung in industriellen Anlagen ausgeschlossen. In der folgenden Tabelle 6.2 sind die Ausschlussmerkmale zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 6.2: Ausschlussmerkmale

Merkmale	Bezeichnung nach Abfallverzeichnis [86]
gefährliche Abfälle	
leicht entzündbar	
giftig	H6
radioaktiv	
übelriechend, ekelerregend	
infektiös	H9
gesundheitsschädlich	H5
nicht tropffrei	
explosiv	H1

6.4.2 Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale

Bei der Festlegung relevanter Qualitätsmerkmale wurden neben den Umweltschadstoffen wie Cadmium und Quecksilber auch anlagenrelevante Stoffe wie Chlor, Schwefel, Kalium und Natrium berücksichtigt (siehe Tabelle 6.3).

Wie aktuelle Untersuchungen zeigen [87], nehmen Korrosionsvorgänge im Falle der Anwesenheit von Schwefel ab. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, dass es zu einer Sulfatisierung der Alkalichloridbeläge an den metallischen Flächen kommt, wodurch die örtliche Chlorkonzentration sinkt und damit der Korrosionsprozess eingedämmt wird. Nach Bachhiesl [88] wird dazu eine Korrosionskennzahl definiert, welche das Verhältnis Schwefelgehalt zu Chlorgehalt im Ersatzbrennstoff angibt.

Der Gehalt an Alkalien beeinflusst neben dem Ascheschmelzverhalten auch das Verhalten des vorhandenen Chlors. Ein hoher Alkaligehalt im Ersatzbrennstoff bewirkt durch eine verstärkte Bildung von Alkalichloriden eine Verringerung der HCl-Mengen. Damit verbunden ist allerdings eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Bildung von unerwünschten Ablagerungen und somit einer verstärkten Hochtemperaturkorrosion [87]. Die Angabe der Gehalte an Schwefel, Natrium und Kalium sind somit wichtige anlagenrelevante Parameter zur Abschätzung von Einflüssen durch Korrosion.

Tabelle 6.3: Auszug chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale für Ersatzbrennstoffe

Merkmal
Cd
Hg
Cl
S
K
Heizwert
Wassergehalt
Aschegehalt
Korngröße (staubförmig, feinkörnig, grobkörnig, ...)
Überkornanteil, Feinkornanteil

6.4.3 Sonstige Qualitätsmerkmale

Die im Rahmen der Mitverbrennung auftretenden Probleme bzw. wirtschaftlich und ökologisch bestimmenden Faktoren sind vielschichtig. Nach Buekens [89] erstrecken sich diese 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.

Wie in der Darstellung von derzeit (Bezugsjahr 2005) bestehenden Gütebestimmungen [6], [80] gezeigt wurde, beinhalten diese lediglich umwelt- und anlagenrelevante Qualitätsmerkmale. Neben diesen ist es für einen gesicherten Anlagenbetrieb aber von entscheidender Bedeutung, zusätzliche Informationen zu Eigenschaften der verwendeten Ersatzbrennstoffe zu erhalten. Als Beispiel dazu werden die beiden Kriterien Lagerbarkeit und Förderbarkeit herangezogen.

Pomberger [90] führt zum Lagerverhalten von Abfällen an, dass eine Zwischenlagerung von gemischten Abfällen direkt nach der Sammlung zu minimieren ist, da eine geordnete Lagerung und definiertes Lagerverhalten nur bei kleinen Mengen sichergestellt werden kann. Anlagen zur thermischen Verwertung müssen zur Aufrechterhaltung des geregelten Betriebs kontinuierlich mit Ersatzbrennstoffen versorgt werden. Eine Zwischenlagerung der aufbereiteten Ersatzbrennstoffe in größeren Mengen wird daher unumgänglich. Daraus folgt, dass auch diese definierte Lagereigenschaften aufweisen müssen. Eine Bildung von Brücken im Ersatzbrennstoffzwischenlager muss unter allen Umständen unterbunden werden, da dies mit einem Anlagenstillstand (Kosten) und der Notwendigkeit des Einsatzes von Personal (Sicherheitsrisiko bei Arbeiten im Bunker) verbunden ist.

Beim Zementproduktionsprozess besteht die Möglichkeiten, Abfälle sowohl primär- als auch sekundärseitig in das System einzubringen. Die Hauptanforderung an Abfälle, die primärseitig aufgegeben werden, ist die Konsistenz in Bezug auf Stückigkeit (bzw. Korngröße) und Energiegehalt, da beide Parameter ganz wesentlich die Stabilität der Flamme und somit das Flammenbild beeinflussen ebenso wie die Förderbarkeit der Ersatzbrennstoffe bei der Eindüsung als Brennstoff in der Primärfeuerung [91].

Daraus wird ersichtlich, dass neben umwelt- und anlagenrelevanten Kriterien von Ersatzbrennstoffen auch solche wie Lagerfähigkeit und Förderbarkeit für einen gesicherten Anlagenbetrieb von entscheidender Bedeutung sind. Die folgende Tabelle 6.4 zeigt einen Auszug der sonstigen Qualitätsmerkmale (die gesamte Tabelle findet sich in Anhang I).

Tabelle 6.4: Auszug sonstige Qualitätsmerkmale für Ersatzbrennstoffe

Kriterium
Mahlbarkeit
Förderbarkeit
Lagerbarkeit
Zündtemperatur

Ähnliche Kriterien wurden bei der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Kohlekraftwerken identifiziert [92]. Diese als Schlüsselfaktoren bezeichneten Kriterien untergliedern sich in:

- Verfahrenstechnische Schlüsselfaktoren der Feuerungstechnik (z.B. unvollständiger Ausbrand, Korrosion, ...),
- Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale,
- Sonstige Qualitätsmerkmale.

6.4.4 Spezifikation- und Klassifizierungssystem

Eine in Fachkreisen viel diskutierte Frage ist die der Bildung von unterschiedlichen Qualitätsklassen für Ersatzbrennstoffe (vergleiche [6], [80]). Wie sich im Laufe der hier dargestellten Untersuchungen gezeigt hat, ist die Ableitung und Festlegung von anlagenbezogenen Richtwerten für Schwermetalle und anderer wesentlicher Elemente im Ersatzbrennstoff aufgrund der unterschiedlichen Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnologien verschiedener Anlagen nicht ohne weiteres möglich. Als Beispiel dazu können Anlagen mit Wirbelschichttechnologie angeführt werden, welche sich beispielsweise sowohl in der Kesselbauweise (z.B. stationär oder zirkulierend) als auch im Aufbau der Rauchgasreinigungsanlage, bedingt durch die Schaltung der Reinigungsstufen, wesentlich voneinander unterscheiden können. Dementsprechend unterschiedlich können auch die Anforderungen an die Gehalte an bestimmten Elementen im Ersatzbrennstoff sein. Aus diesem Grund wurde nach eingehender Diskussion innerhalb der Arbeitsgruppen von einer Festlegung von Richtwerten und der damit verbundenen Bildung unterschiedlicher Qualitätsklassen für Ersatzbrennstoffe in dem ÖG-SET Projekt Abstand genommen. Vielmehr wurde der Schwerpunkt der Qualitätssicherung auf die Schaffung von belastbaren Analysenergebnissen gelegt. Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse sollten für bestimmte Gruppen von Ersatzbrennstoffen festgelegt werden. Diese bilden die Voraussetzung für jegliche Festlegung von Qualitätsklassen. Mit Beginn der Arbeiten des CEN/TC 343 „Solid Recovered Fuels“ trat allerdings eine Änderung der Ausgangssituation ein.

In insgesamt 5 Working Groups (WG) wurden die für die Erstellung der Technischen Spezifikationen von Solid Recovered Fuels (SRF) notwendigen Tätigkeiten durchgeführt. Im Rahmen der WG 2 wurde ein Klassifizierungssystem für SRF und ein Formblatt für die Spezifikation der Eigenschaften ausgearbeitet. Ziel der Technischen Spezifikation ist es, den effizienten Handel mit SRF zu ermöglichen, die Akzeptanz auf den Brennstoffmärkten zu verbessern und das Vertrauen der Öffentlichkeit zu steigern.

Gemäß dem aktuellen Stand der Arbeiten war eine Klassifizierung anhand der Parameter Heizwert, Chlor- und Quecksilbergehalt geplant. Tabelle 6.5 beinhaltet den Klassifizierungsentwurf von SRF mit Stand November 2004 [93].

Tabelle 6.5: Klassifizierungsentwurf von SRF (Stand 11.2004) [93]

Parameter	Statistische Größe	Einheit	Klassen				
			1	2	3	4	5
H _u	Mittelwert	MJ/kg FS	x ≥ 25	x ≥ 20	x ≥ 15	x ≥ 10	x ≥ 5
Cl	Mittelwert	% TS	y ≤ 0,3	y ≤ 0,6	y ≤ 1,0	y ≤ 1,5	y ≤ 3,0
Hg	Median	mg/MJ	< 0,02	< 0,03	< 0,08	< 0,15	< 0,50
	80 ^o % Perzentil	mg/MJ	< 0,04	< 0,04	< 0,16	< 0,30	< 1,00

Für jeden Parameter wurden fünf Klassen mit entsprechender Klassennummer vorgesehen. Die Kombination aus den drei Klassennummern legt schlussendlich den Code der Klassifizierung fest.

Alle weiteren Eigenschaften des Ersatzbrennstoffs (SRF) werden in einem Formblatt, bestehend aus einem verbindlichen und unverbindlichen Teil, spezifiziert. Die Parameter des verbindlichen Teiles sind jedenfalls anzugeben. Aus den Parametern des unverbindlichen Teiles sind in Abhängigkeit von den spezifischen Rahmenbedingungen von den beteiligten Parteien die zu spezifizierenden auszuwählen. Zu den verbindlichen Parametern zählen u. a. die Herkunft nach dem European Waste Catalogue (EWC) [94], der Cl-Gehalt sowie der Gehalt sämtlicher Metalle, die in der EU-RL 2000/76 über die Verbrennung von Abfällen [51] geregelt sind.

Wenn die Normungsarbeiten auf EU-Ebene erfolgreich verlaufen, müssen diese in weiterer Folge in nationalen Regelwerken umgesetzt werden. Aus diesem Grund bezieht sich der Vorschlag für das QS-System im Rahmen der ÖG-SET auf die vorhin beschriebenen Parameter Brennwert bzw. Heizwert und Chlorgehalt. Der Parameter Quecksilber konnte nicht für die weitere Auswertung herangezogen werden, da eine zu geringe Anzahl an Werten von Einzelanalysen aus dem Ringversuch vorlagen. Anstelle dessen wurde der Parameter Cadmium in die folgenden Betrachtungen mitaufgenommen. Darüber hinaus wird in der vorliegenden Arbeit ein Vorschlag für ein weiterführendes Spezifizierungsschema als eine der Grundlagen für den Handel mit qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen entwickelt und dargestellt.

6.5 Laborvergleichsversuch

Im Rahmen des Projektes *Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen* [84] wurde ein Laborvergleichsversuch durchgeführt. Ziel dieses Ringversuchs war es unter anderem, den Einfluss der Probenahme auf die Gesamtmessunsicherheit bei einem vorher geplanten Probenahmekonzept zu ermitteln bzw. die Datengrundlage für die Ableitung des Qualitätssicherungskonzeptes zu schaffen. Eine Kenntnis der Messunsicherheit ist aus den verschiedensten Gründen von entscheidender Bedeutung. Als Beispiel dazu seien die Inputbestimmungen für

Ersatzbrennstoffe bei der Verwertung in der Zementindustrie genannt. In Abstimmung mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) hat die österreichische Zementindustrie die „*Positivliste für die Verbrennung von Abfällen in Anlagen zur Zementerzeugung*“ mit dem Ziel erarbeitet, die Art und Qualität der Abfälle zu beschreiben, die als Ersatzbrennstoff in dieser Branche eingesetzt werden. Brennbare Abfälle, die in Anlagen zur Zementerzeugung eingebracht werden, dürfen grundsätzlich folgende in Tabelle 6.6 angeführten Schadstoffgehalte (mg/kg TS bezogen auf einen unteren Heizwert von 25 MJ/kg) im Monatsmittel nicht überschreiten (Auszug aus [18]).

Tabelle 6.6: Maximale Schadstoffgesamtgehalte für brennbare Abfälle in [mg/kg TS] bezogen auf einen H_u von 25 MJ [18]

Element	Max. Schadstoffgehalt in [mg/kg]
Cadmium	2
Quecksilber	0,5
Gesamt Chlor *	1 M.-%

Die Untersuchung von Ersatzbrennstoffen (SRF) und der Vergleich mit Grenzwerten ist nur dann sinnvoll, wenn die entsprechenden Parameter richtig und genau genug bestimmt werden können. Gleiches gilt für die Untergliederung der Ersatzbrennstoffe in unterschiedliche Qualitätsklassen (siehe dazu Kapitel 6.8.4).

Ein weiteres Ziel des im Rahmen dieser Dissertationsarbeit durchgeführten Laborvergleichversuches lag darin zu prüfen, ob ein höherer Aufwand bei der Probenahme und der Probenaufbereitung auch zu einer besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse führt und ob dadurch für eine gewünschte Genauigkeit weniger Analysen notwendig werden. Derzeit entstehen bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen für die Durchführung der Eingangskontrolle sehr hohe Kosten, da dafür eine Vielzahl an Einzelproben erforderlich ist. Eine Verlagerung hin zu einer umfangreicheren Probenahme und Probenaufbereitung mit der Konsequenz einer deutlich reduzierten Anzahl an Einzelproben (bei gleicher Genauigkeit) hätte somit den entscheidenden Vorteil einer Kostenreduzierung.

6.5.1 Auswahl der zu untersuchenden Ersatzbrennstoffe

Ersatzbrennstoffe lassen sich nach Beckmann [14] gemäß ihrem Aufbereitungsaufwand grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

- Gruppe 1: Abfallarten, die bereits an der Anfallsstelle als Monofraktion erfasst werden und ohne aufwendige Aufbereitungsverfahren einer Mitverbrennung in industriellen

Anlagen zugeführt werden können. Beispiele dazu sind Altholz, Altöl oder Kunststoffe.

- Gruppe 2: Heizwertangereicherte Abfallströme aus einer mechanisch-biologischen Anlage (MBA), die aufgrund einer Mischerfassung vor der Mitverbrennung weiter aufbereitet werden müssen.

Die Auswahl der Ersatzbrennstoffe für den Laborvergleichsversuch erfolgte nach den beiden Kriterien Homogenität und deren mengenmäßige Verfügbarkeit. Ein weiteres wesentliches Entscheidungskriterium waren praktische Erfahrungen im Einsatz von SRF in industriellen Anlagen. Vor diesem Hintergrund wurden zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe – ein wenig heterogener (bzw. relativ homogener), und ein heterogener – ausgewählt. Die Regelungen für die Probenahme und Probenaufbereitung im Rahmen des Qualitätssicherungskonzeptes sollte auf die entsprechenden Gruppen abgestimmt werden. Dies birgt den entscheidenden Vorteil in sich, dass weitere Ersatzbrennstoffe nach einer Charakterisierung diesen Gruppen zugeordnet werden können.

Die Österreichische Kunststoff Kreislauf AG (ÖKK) ist Verwertungsgarantiegeber für Kunststoff-Verpackungen und Verpackungen aus textilen Faserstoffen im Rahmen des ARA Systems. Die in den Gelben Säcken und Gelben Tonnen gesammelten Leichtverpackungen werden auf einem Sortierband in rd. 20 unterschiedliche Materialien sortiert, die alle stofflich verwertet werden. Der verbleibende Rest aus vermischten Kunststoffen wird von Fehlwürfen – wie Restmüll, Problemstoffe etc. – befreit und überwiegend als Brennstoff, zum Teil aber auch stofflich verwertet. Die Altstoffe für die Verwertung werden in Containern zwischengelagert und dann sortenrein zu Ballen gepresst. Die Reststoffe werden ordnungsgemäß entsorgt. Im Jahr 2003 betrug die insgesamt zur Verwertung übernommene Menge an gebrauchten Kunststoff-Verpackungen 109.501 Mg (2002: 101.700 Mg). Die Menge an sortierter Kunststoff-Fraktion (SKF) betrug 51.339 Mg (2002: 47.100 Mg), welche als Rohstoff für neue Kunststoff-Produkte diente. Die verbleibenden 58.162 Mg (2002: 54.600 Mg) Mischkunststoff-Fraktion (MKF) wurden wie folgt verwertet:

- 5% stofflichen Verwertung (Erzeugung neuer Produkte wie z.B. Dachziegel und Rasengittersteine),
- 9% rohstoffliche Verwertung (Methanolerzeugung),
- 86% thermischen Verwertung [95].

Diese verbleibende MKF stellte einen der beiden Ersatzbrennstoffe für die Untersuchungen dar.

Aus der Gruppe der wenig heterogenen Ersatzbrennstoffe (und zwar: heterogener Ersatzbrennstoff) wurde Flotatschlamm aus der Papierindustrie gewählt. Diese Schlämme fallen in erheblichen Mengen weitgehend uniform an und werden meist innerhalb der Unternehmen thermisch verwertet.

6.5.2 Planung der Probenahme

Die Probenaufbereitung kann als eine Folge aufeinander folgender Probenahmen aufgefasst werden. Dementsprechend können die Forderungen der prEN 14899 [33] konsequent auf den gesamten Probenaufbereitungsweg bis hin zur Probenahme der Analysenprobe angewandt werden. Einer Einengung der Probe muss dabei immer eine Korngrößenverminderung vorangehen.

Für die beiden näher untersuchten, unterschiedlichen Ersatzbrennstoffe wurde im Rahmen der vorliegenden Dissertationsarbeit ein entsprechendes Untersuchungsprogramm erarbeitet. Die Untersuchungen wurden anhand von Leitparametern durchgeführt, welche durch die statistische Auswertung von bereits vorhandenem Datenmaterial identifiziert worden sind. Als erster Schritt erfolgte die Erarbeitung eines Modells zur Berechnung der Probenahmemenge und der Anzahl an zunehmenden Proben. Grundlage für die statistischen Berechnungen zur Erstellung eines Probenahmeplans waren dabei das Regelwerk prEN 14899 [69]. Ausgehend von einer zu definierenden maximalen Messunsicherheit, dem 95 % Perzentil der Korngröße, der Schüttdichte sowie der Heterogenität des Abfalls, ausgedrückt durch die unterschiedlichen Varianzen der zu untersuchenden Parameter, erfolgte die Berechnung der Probenahmemenge und Anzahl der zunehmenden Proben (vergleiche Kapitel 4.2.3). Es wurden dazu keine Standardabweichungen der Einzelschritte (Probenahme, -aufbereitung, -analyse) herangezogen, da diese nicht bekannt sind. Anstelle dessen wurden die bereits aus verschiedenen Projekten bekannten Gesamtstandardabweichungen verwendet. Eine Angabe von Einzelwerte ist aus vereinbarten Datenschutzgründen hier nicht möglich, diese können jedoch am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik eingesehen werden. Bei der eigentlichen Probenahme werden analog zur ÖNORM S2123 [66] und zu den Begriffen der CEN TC 292 (bzw. der prEN 14899:2004) [68] aus Einzelproben die Sammelproben hergestellt.

Der Planung der Probenahme für den Flotatschlamm liegen die in der folgenden Tabelle 6.7 angeführten Vorgaben zu Grunde. Die Berechnung der p-Werte für die Parameter Chlor und Cadmium erfolgte aus Analysedaten. Die Abmessungen der Größtkörner wurden durch die zur Verfügung stehenden Zerkleinerungsaggregate bestimmt.

Tabelle 6.7: Vorgaben für die Abschätzung des Fundamentalfehlers für die Probenahme von wenig heterogenem Flotatschlamm

Statistischer Parameter	Zerkleinerung		
	Probenahme	Schneidmühle	Ultrazentrifugal- mühle
Größtkorn D_{95} [mm]	20	4	1
Durchschnittliche Schüttdichte [kg/m^3]	90		
Korrekturfaktor für Korngrößenverteilung	1		0,25
Anteil der Teilchen mit dem zu bestimmenden Analyten	0,02		
Gewählte Sammelprobe [l]	8	0,5	Abhängig von der Analyse
Anteil der Teilchen mit dem Analyten Chlor [%] (berechnet)	0,076		
Anteil der Teilchen mit dem Analyten Cadmium [%] (berechnet)	0,03		

Der Planung der Probenahme für die stärker heterogene MKF liegen die in den folgenden Tabelle 6.8 angeführten Vorgaben zu Grunde [96].

Tabelle 6.8: Vorgaben für die Abschätzung des Fundamentalfehlers für die Probenahme von herogener MKF

Statistischer Parameter	Zerkleinerung			
	Terminator	Doppelwellen- zerkleinerer	Schneidmühle	Ultrazentrifugal- mühle
Größtkorn D_{95} [mm]	30	20	4	1
Durchschnittliche Schüttdichte [kg/m^3]	90			
Korrekturfaktor für Korngrößenverteilung	1			0,25
Anteil der Teilchen mit dem zu bestimmenden Analyten	0,2			
Gewählte Sammelprobe [l]	200	8	0,5	0,00064
Anteil der Teilchen mit dem Analyten Chlor [%] (berechnet)	1,6			
Anteil der Teilchen mit dem Analyten Cadmium [%] (berechnet)	0,044			

Die folgende Abbildung 6.3 zeigt eine Zusammenstellung der Anzahl an Sammelproben für den Laborvergleichsversuch bzw. der Anzahl und der Mengen an Einzelproben, aus denen diese gewonnen werden sollten. Aus der auf < 30 mm zerkleinerten MKF sollen Sammelproben zu je 200 Liter gewonnen werden (vergleiche Tabelle 6.8). Diese sollen aus je 20 Einzelproben zu je 10 Liter bestehen. Die so gewonnenen Mischproben sollten mit einem Doppelwellenzerkleinerer in einem weiteren Aufbereitungsschritt auf < 20 mm zerkleinert und mittels Viertelteilung verjüngt werden. Nach mehrfacher Verjüngung wird eine 8 Liter Feldprobe erhalten. Die so gewonnenen Feldproben werden dann in der

entsprechenden Anzahl an die teilnehmenden Laboratorien versandt. Für den Flotatschlamm ist nach der Gewinnung der Sammelprobe (10 Einzelproben à 1 Liter) keine weitere Zerkleinerung erforderlich. Auch diese werden in der geplanten Anzahl an die Laboratorien versandt.

Probenanzahl Ringversuch

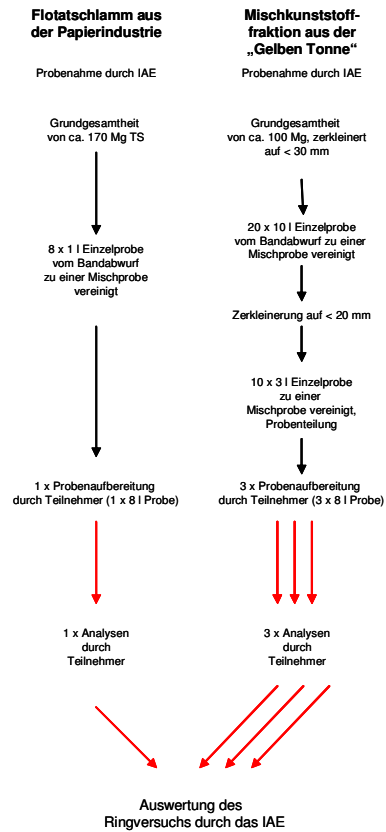


Abbildung 6.3: Vorgehensweise und Probenanzahl des Ringversuchs

Für die Abschätzung der Fundamentalfehler der einzelnen Probenahmeschritte wurde die Gleichung (3) für die Ermittlung der erforderlichen Probenmasse auf den Variationskoeffizienten CV umgeformt (siehe Kapitel 4.2.3.3).

$$CV = \sqrt{\frac{1}{6} * \pi * D_{95}^3 [cm^3] * g * \frac{1-p}{V_{Probe} [dm^3] * 1000 \left[\frac{cm^3}{dm^3}\right] * p}} * 100\% \quad (5)$$

mit:

$$V_{Probe} = \frac{M_{Probe}}{\rho_{Schüttung}} \quad (6)$$

In der Folge sind die relativen Standardabweichungen als Maß für den Fundamentalfehler der Probenahme als Wurzel aus der Summe der Fehlerquadrate angegeben.

$$CV_{Gesamt} = \sqrt{CV_{Schritt1}^2 + CV_{Schritt2}^2 + CV_{Schritt3}^2 + \dots + CV_{Schritt-n}^2} \quad (7)$$

In der nachfolgenden Tabelle 6.9 ist der Berechnungsweg zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der jeweiligen Schritte beispielhaft für den Parameter Chlor dargestellt. Die Berechnungen beziehen sich dabei auf den Ersatzbrennstoff Flotatschlamm. Der Massenanteil von Chlor in PVC wird dabei mit durchschnittlich 56 % (siehe Kapitel 4.2.3.2) angenommen.

Tabelle 6.9: Berechnungsweg zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der jeweiligen Probenahme/Aufbereitungsschritte für den Ersatzbrennstoff Flotatschlamm (Parameter Chlor)

Parameter	Zeile	Quelle	Probenahme Band	Nach Schneidmühle	Nach Ultrazentrifugalmühle
Vorgaben					
Durchschnittliches Größtkorn D_{95} [mm]	1	Tabelle 6.7	20	4	1
Durchschnittliche Schüttdichte [kg/m ³]	2	Tabelle 6.7	90	90	90
Korrekturfaktor für Korngrößenverteilung	3	Tabelle 6.7	1	1	0,25
Mittelwert an Chlor im Flotatschlamm [%] (aus durchgeführten Analysen)	4	[97]	0,043		
Massenanteil Chlor [%]	5		56 (Chlor in PVC)		
Anteil der Teilchen mit dem Analyten (berechnet)	6	Zeile 4/(100*Zeile 5)	0,00076		
Gewählte Sammelprobe [l]	7	Tabelle 6.7	8	0,5	
Sammelprobe für Analyse Parameter Chlor [g]	8				0,2
Berechnungsergebnisse					
Mindestmenge der Einzelprobe [kg]	9	$M_{inc} = 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot \rho \cdot D_{95}^3$ (Formel 2)	0,019	0,00016	0,00009
Mindestmenge der Einzelprobe [l]	10	$V_{Pr\ obe} = \frac{M_{Pr\ obe}}{\rho_{Schüttung}}$ (Formel 6)	0,22	0,0017	0,001
Gewählte Menge Analyseprobe für Labor [l]	11	Zeile 8/Zeile 2			0,011
Standardabweichung der Einzelschritte (aus Binomialverteilung) [%]	12	Formel 5	83	30	12
Probenahmefehler nach Fehlerfortpflanzungsgesetz für alle Schritte [%]	13	Formel 7	83	88	89
Standardabweichung aller 3 Schritte [%]	14				89

Die nachstehende Abbildung 6.4 zeigt die Ergebnisse der Berechnung zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der jeweiligen Probenahmeschritte für den Ersatzbrennstoff Flotatschlamm (Parameter Chlor und Cadmium).

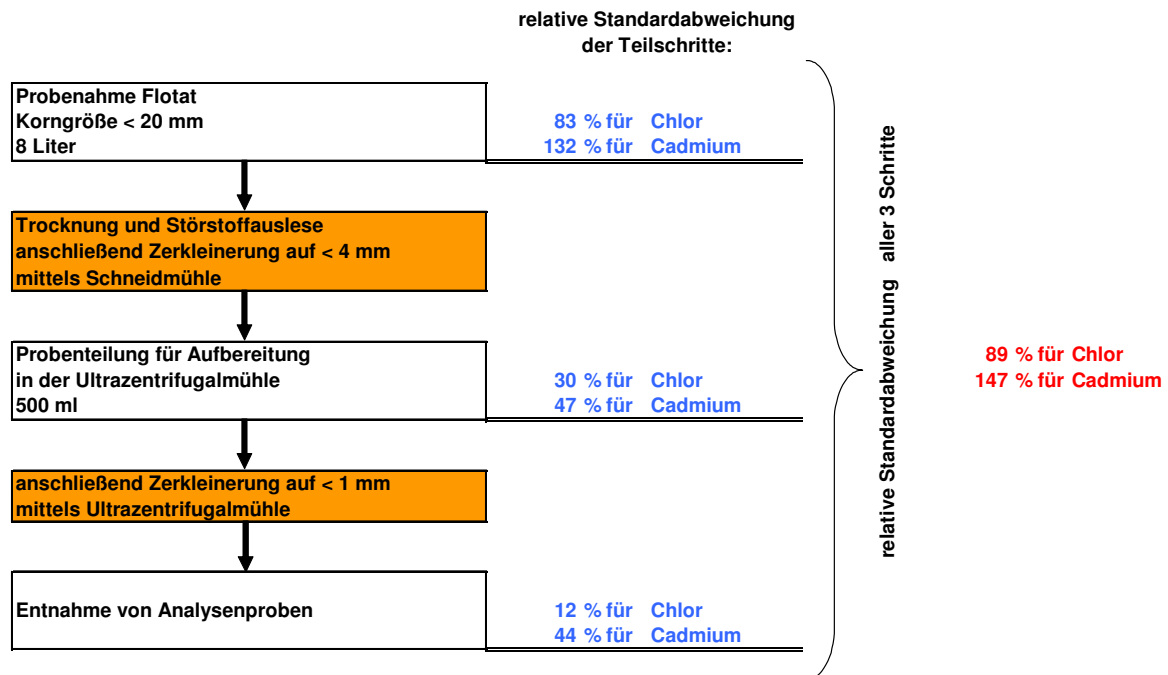


Abbildung 6.4: Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung der Standardabweichung für Flotatschlamm, Parameter Chlor und Cadmium

Analog zu der in Tabelle 6.9 dargestellten Berechnung für den Ersatzbrennstoff Flotatschlamm wurde diese auch für die Mischkunststofffraktion aus der gelben Tonne (MKF) vorgenommen. Die nachstehende Abbildung 6.5 zeigt die Ergebnisse der Berechnung zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der jeweiligen Probenahmeschritte für die Parameter Chlor und Cadmium.

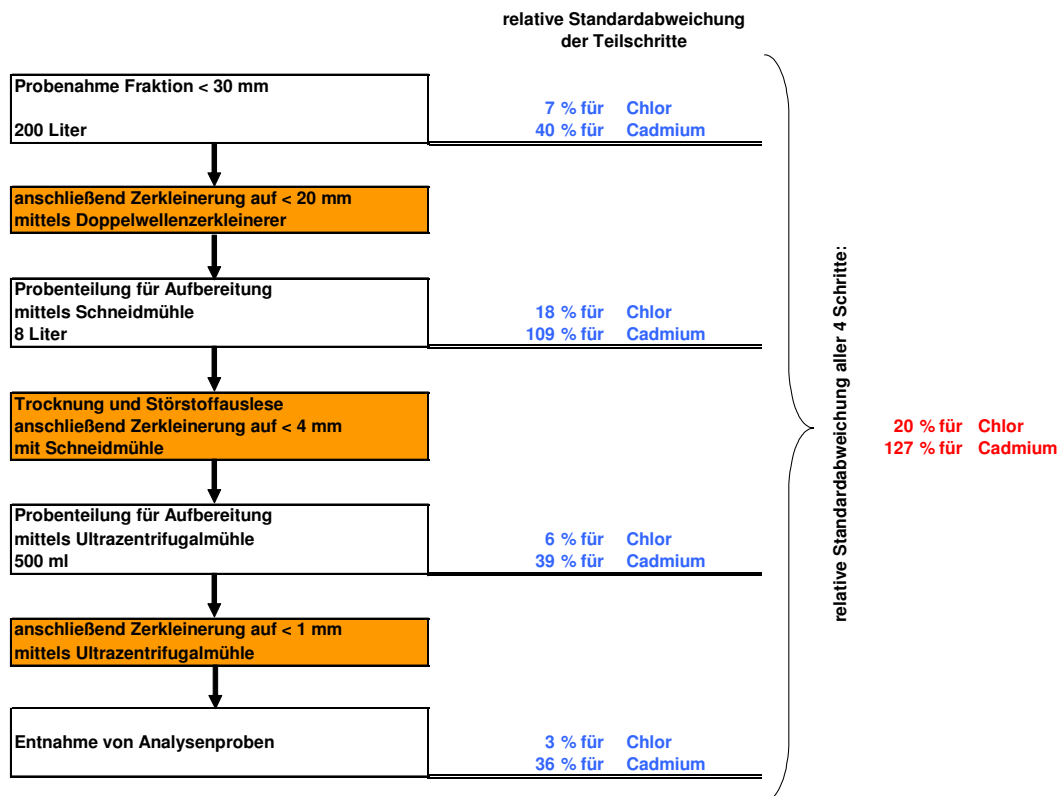


Abbildung 6.5: Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für MKF

6.5.3 Durchführung der Probenahme

Die Probenahme erfolgte am 04.03.2003 (Flotatschlamm) bzw. am 13.03 und 14.03.2003 (MKF). Zur Gewinnung der Proben wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- Flotatschlamm aus der Papierindustrie:** Für den Laborvergleichsversuch wurde Flotatschlamm aus der Deinking-Anlage eines Unternehmens der Papierindustrie verwendet. Als zu beprobende Menge wurden rund 18 Mg (entspricht 2,5 Stunden Probenahmezeitraum bei einem Tagesanfall von 170 Mg TS) herangezogen. Die Beprobung erfolgte dabei vom Band (siehe Abbildung 6.6). Es handelte sich um eine krümelige, leicht feuchte Masse mit einer Korngröße von rund 10 - 20 mm. Pro Laborprobe wurden dazu 10 mal je 1 Liter über den gesamten Probenahmezeitraum verteilt vom Band entnommen (entspricht einer 1 Liter-Einzelprobe nach 60 Sekunden für Labor 1, nach 120 Sekunden für Labor 2 usw.). Für die weiteren Untersuchungen bekam jedes Labor eine 10 Liter Sammelprobe.



Abbildung 6.6: Probenahmeort für Flotatschlamm aus der Papierindustrie

Der Berechnung zur Abschätzung des Fundamentalfehlers, dargestellt in Abbildung 6.4, liegen Daten aus Tabelle 6.7 zu Grunde. Siebanalysen des gewonnenen Flotatschlammes zeigten, dass die maximale Korngröße bei 15 mm, die der mittels Schneidmühle zerkleinerten Sammelprobe bei < 2 mm lag. Zusätzlich dazu betrug die tatsächlich gewonnene Probenmenge an Flotatschlamm 10 Liter anstelle der geplanten 8 Liter. Wie unter Kapitel 4.2.3.2 bzw. der Formel (5) dargestellt, geht die max. Korngröße mit der dritten Potenz in die Berechnungen ein. Die Abbildung 6.7 zeigt die Ergebnisse der Berechnung mit den angepassten, realitätsnahen Parametern. Aus diesen wird ersichtlich, dass durch diese Anpassung der Wert für die Abschätzung des Fundamentalfehlers für den Parameter Chlor um 38 %-Punkte, jener für den Parameter Cadmium um 57 %-Punkte reduziert wird.

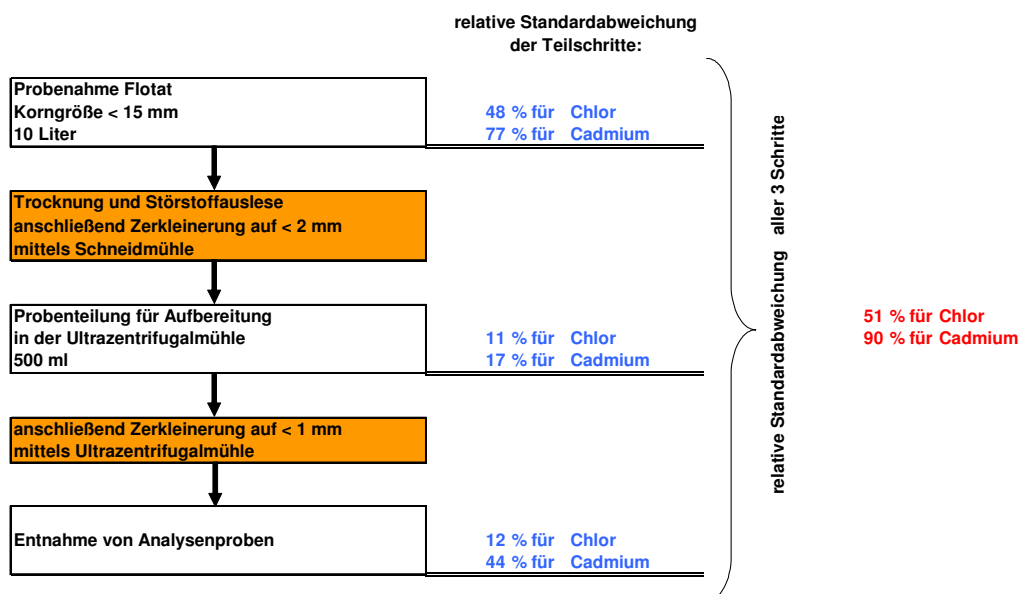


Abbildung 6.7: Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für Flotatschlamm mit korrigierten Korngrößen und Probenmengen

- **Restkunststofffraktion aus der „Gelben Tonne“ (MKF):** Als zu beprobende Menge wurden 12 Ballen mit à rund 0,35 Mg herangezogen (in Summe rund 4,5 Mg). Mittels eines Zerkleinerungsaggregates der Marke „Terminator“ mit nachgeschalteter Feinzerkleinerung wurden die gesamten 12 Ballen auf eine Korngröße < 30 mm zerkleinert. Die Beprobung dieses vorzerkleinerten Materials erfolgte vom Abwurf (siehe Abbildung 6.8). Aus den durchgeführten Berechnungen ergab sich eine Anzahl von 20 Einzelproben mit einem Volumen von je 10 l, welche in einem Container zu einer Mischprobe vereinigt wurden. Diese 20 Einzelproben pro Labor wurden in gleichmäßigen Abständen (alle 30 Sekunden) gezogen. Die erste Einzelprobe wurde dem Behälter für Labor 1 zugeordnet. Nach 30 Sekunden wurde die nächste Einzelprobe dem Behälter für Labor 2 zugeordnet usw. Diese Vorgänge wurden solange wiederholt, bis jede Sammelprobe aus 20 Einzelproben bestand. Die Mischproben wurden anschließend einzeln mit einem Doppelwellenzerkleinerer (siehe Abbildung 6.9) auf < 15 mm zerkleinert und daraus drei Proben zu je 10 l gewonnen. Jedes Labor bekam damit 3 Proben zu je 10 l.



Abbildung 6.8: Zerkleinerungsaggregat Terminator



Abbildung 6.9: Doppelwellenzerkleinerer des Institutes für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE)

Die Verjüngung der Probe erfolgte dabei nach dem Zerkleinerungsschritt mittels Viertelteilung (siehe Abbildung 6.10).



Abbildung 6.10: Viertelteilung der Probe

Auch bei der Mischkunststofffraktion aus der gelben Tonne (MKF) erfolgte eine nachträgliche Korrektur der Berechnung zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der Einzelschritte. Die max. Korngröße des Ersatzbrennstoffes nach der Aufbereitung mittels Doppelwellenzerkleinerer betrug <math>< 15\text{ mm}</math> (und nicht <math>< 20\text{ mm}</math>), jene nach der Schneidmühle <math>< 2\text{ mm}</math> (und nicht <math>< 4\text{ mm}</math>). Die tatsächliche Probenahmemenge betrug 10 l (und nicht, wie in Abbildung 6.5 dargestellt, 8 l). Zudem erfolgte das ausschließliche Zerkleinern mittels Ultrazentrifugalmühle auf <math>< 0,5\text{ mm}</math>, und nicht wie in Abbildung 6.5 dargestellt, auf <math>< 1\text{ mm}</math>. Die folgende Abbildung 6.11 zeigt die korrigierten Berechnungsergebnisse.

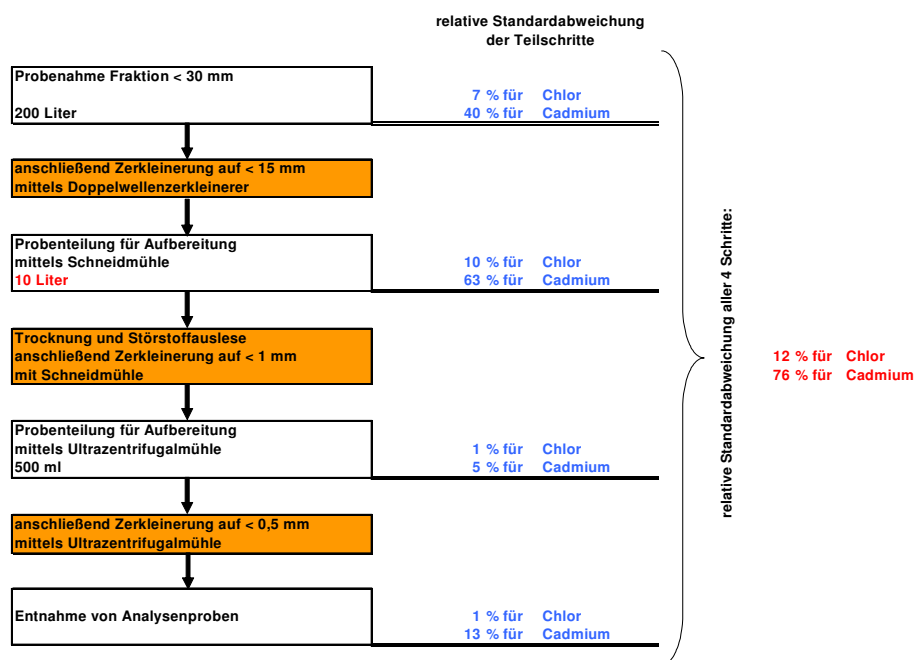


Abbildung 6.11: Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für MKF für korrigierte Probenahmeparameter

6.5.4 Probenvorbereitung und -analyse

Die durch das Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE) gewonnenen Proben wurden an die 13 teilnehmenden Labors versandt. Folgende Laboratorien haben dabei an dem Laborvergleichsversuch (Ringversuch) teilgenommen (alphabetisch gereiht):

- Böhler Analytik Ges.m.b.H
- Chemisches Laboratorium für Umwelt und Gesundheit, Rumpold Aktiengesellschaft;
- Lafarge Centre Technique Europe Centrale GmbH, Prüfanstalt Mannersdorf ;
- Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE), Montanuniversität Leoben;
- FHA – Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH und Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik;
- PORR Umwelttechnik GmbH, Verfahrensentwicklung Umweltlabor;
- Steyermühl AG;
- Umweltlabor Dr. Axel Begert GesmbH, Allg. beeid. Gerichtl. SV;
- Verbund-Umwelttechnik GmbH;
- voestalpine Stahl GmbH Abteilung B4P;
- Wietersdorfer und Peggauer Zementwerke GmbH;
- Wopfinger Baustoffindustrie GmbH.
- Zementwerk Leube GmbH

Die Aufbereitung der Proben (Störstoffauslese, Probenzerkleinerung) und die nachfolgende Analyse durch die Teilnehmer wird in den nachstehenden Kapiteln beschrieben.

6.5.4.1 Störstoffauslese

Abfallproben können sehr harte, abrasive Materialien enthalten, die die Mühlen während der Zerkleinerung beschädigen können. Diese Materialien sind vor allem Steine, Metallteile, Glas- und Keramikscherben größer als 1 mm. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden diese Störstoffe nach der Trocknung und vor dem Mahlen händisch mit Hilfe eines Siebes (Maschenweite 1 mm), einer Pinzette und eines Magneten aus der getrockneten Probe entfernt. Die aussortierten Störstoffe wurden gewogen und ihr Anteil an der Originalprobe bestimmt. Bei den folgenden Analysen wird angenommen, dass Glühversuch (GV) und Brennwert (H_o) der Störstoffe gleich Null sind (gilt für Metalle, Steine und Glas). Die ursprünglichen Messwerte wurden entsprechend rechnerisch korrigiert. Der Fehler, der durch das Auslesen der Störstoffe entsteht, wird damit minimiert.

Probleme können auftreten, wenn sehr viele Störstoffe in der Analysenprobe vorhanden sind, z.B. bei Siebproben in bestimmten Fraktionen, in denen sich Glasscherben anreichern. An diesen Störstoffen können noch größere Anteile der eigentlichen Analysenprobe anhaften. Durch eine kurze Behandlung der bereits ausgelesenen Störstoffe in der

Kugelmühle (ca. 1-2 Minuten) erreicht man eine bessere Trennung der Störstoffe von der Analysenprobe. Die Störstoffe können anschließend sehr leicht mit einem 1 mm Sieb von der restlichen Analysenprobe getrennt werden. Der Siebüberlauf stellt die Fraktion der Störstoffe dar und wird ausgewogen. Der Siebdurchgang wird zur Analysenprobe hinzugefügt.

Werden Metallteile aussortiert und Schwermetalle analysiert, muss der aussortierte Anteil bestimmt und die Messwerte entsprechend korrigiert werden. Die folgende Tabelle 6.10 stellt die Ergebnisse der Störstoffauslese dar [97].

Tabelle 6.10: Zusammenfassung der bei der Ringanalyse aussortierten Störstoffe

Lab. Nr. ⁽¹³⁾	Störsst.	Metall	Glas	Steine	Sonstige	Berücksichtigung bei den Ergebnissen
2	MKF: 6-14 g	MKF: 4-10 g	MKF: 1-4 g	keine	MKF: 1-2 g Holz, Kork und Undefinierbares	keine Korrektur erfolgt
3	keine	-	-	-	-	keine Störstoffe aussortiert
4	keine	-	-	-	-	keine Störstoffe gefunden
5	keine	-	-	-	-	keine Störstoffe gefunden
6	keine	-	-	-	-	keine Störstoffe gefunden
7	MKF: 13,4 g	2,5 g	4,1 g	6,8 g	-	Keine Korrektur der Schwermetallanalysen um aussortierte Metallteile
8	0,48 g	0,48 g	-	-	-	keine Korrektur erfolgt
9	keine	-	-	-	-	keine Störstoffe gefunden
11	0,1-21,1 g	0,01-1,03 g	0-0,67 g	0-0,13 g	-	Verwendung eines Magneten
12	7,98 g	0,68 g	4,2 g	3,1 g	-	Rechnerische Korrektur
15	nicht relevant	-	-	-	-	Keine relevanten Störstoffe gefunden, keine Korrektur
17	2,38 g	2,26 g (Cu)	0,12 g	-	-	Rechnerische Korrektur
18	unbekannt	-	-	-	-	Keine Störstoffe aussortiert

Zusammenfassen kann festgehalten werden, dass einige Labors in keiner Probe Störstoffe aussortiert haben. 6 Labors haben in den MKF Proben Störstoffe gefunden wobei allerdings nur bei 2 Labors eine rechnerische Korrektur der Werte erfolgte.

6.5.4.2 Probenzerkleinerung

Bei der Probenaufbereitung bestand die Anforderung, dass immer zuerst die Zerkleinerung und darauf folgend die systematische Probenteilung (z.B. über die unter Kapitel 4.3.1 beschriebene Viertelteilung) durchzuführen war. D.h. bei einstufiger Aufbereitung wurde das gesamte getrocknete Material (8 l) zerkleinert und die Probenteilung auf 500 ml erst anschließend vorgenommen. Bei mehrstufiger Aufbereitung konnte das gesamte Material

¹³ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

(8 l) z.B. auf < 4 mm zerkleinert, auf 500 ml geteilt und danach nochmals auf < 1 mm zerkleinert werden.

In der folgenden Tabelle 6.11 sind die Vorgaben für die Probenaufbereitung angeführt. Den einzelnen Laboratorien wurden hinsichtlich der Zerkleinerung Richtwerte für die zu erreichende Korngröße vorgegeben. Keine Vorgaben erfolgten dahingehend, ob dies in einem ein- oder mehrstufigen Prozess zu erfolgen hatte. Wie die zusammenfassende Tabelle 6.13 zudem zeigt wurde die Zerkleinerung mit sehr unterschiedlichen Aggregaten in verschiedener Weise vorgenommen.

Tabelle 6.11: Vorgabe für die Probenaufbereitung

Probenaufbereitungsschritte	
1)	Die 10 l Probe wird mittels Viertelteilung aufgeteilt. 2 l Probe werden für die Wassergehaltsbestimmung bei 105 °C verwendet. 8 l Probe werden bei < 30 °C getrocknet.
2)	Aus 8 l-Probe werden Störstoffe (Steine, Glas, Metalle) aussortiert.
3)	Die gesamte 8 l-Probe wird auf < 4 mm zerkleinert (z.B. mittels einer Schneidmühle).
4)	Mittels Viertelteilung wird die Probe auf ein Volumen von 500 ml eingengt.
5)	Diese 500 ml werden mittels Ultrazentrifugalmühle oder Schneidmühle auf eine Korngröße < 1 mm zerkleinert.
6)	Die Probe wird nachgetrocknet (< 30 °C). Alternativ kann die Analysenfeuchte bestimmt und bei der Messwert-Berechnung berücksichtigt werden.
7)	100 ml werden zur Analyse verwendet.
8)	Entnahme der Analyseprobe von 0,2 – 1 g aus den 100 ml.

Bei manchen Mahlaggregaten wird die Temperatur während der Zerkleinerung so hoch, dass das zu zerkleinernde Material teilweise zu schmelzen oder zu pyrolysieren beginnt. Hier kann die Probe vor Aufgabe in die Mühle gekühlt und/oder versprödet werden (z.B. mit Flüssigstickstoff oder Trockeneis). Die folgende Tabelle 6.12 zeigt eine Zusammenstellung darüber, welche Laboratorien eine Versprödung mit welchen Mitteln durchgeführt haben.

Tabelle 6.12: Zusammenfassung der verwendeten Versprödungsmethode

Lab. Nr. ⁽¹⁴⁾	Nach-trocknung	Versprödung	Beobachtungen und Probleme während der Probenaufbereitung
2	0 h	Versprödung durch CO ₂	Zerkleinerungsversuch von MKF-Material von 10mm auf 1mm mit Schneidmühle - sehr viel Proberückstand verblieb zwischen Messer und Sieb - deshalb erfolgte die Zerkleinerung mit Ultrazentrifugalmühle; Erwärmung der Mühlen bei allen Proben.
3	~ 17 h	Flüssigstickstoff	Erwärmung der Retschmühle, Versprödung mit flüssigem Stickstoff.
4	1 h	nein	
5	24 h	ja	
6		Kühlung mit Stickstoff (keine Versprödung)	Leichte Erwärmung der Proben.
7	-	Die Kunststoffe wurden mit Trockeneis versprödet	Keine Probleme mit der Schneidmühle bei der Verwendung eines 1,0 mm Siebes; bei 0,5 mm jedoch starke Erwärmung.
8	24 h	Versprödung erfolgte mit Trockeneis	Ablagerungen an der Mühle, diese wurde aber ignoriert.
9	0 h	nein	Durch Temperaturanstieg während des Mahlens kam es vereinzelt zur Verklumpung. Proben im gekühlten Zustand (-20 °C) zerkleinert.
11	8 h	keine	
12		ja	
15	6 h	ja	Starke Erwärmung, langsames Aufmahlen und Flüssigstickstoffkühlung notwendig
17	24 h	ja	artifizielle Probe erwärmte sich deutlich mehr, benötigte mehr Kühlung
18	2 d	nein	

Zusammenfassend kann angeführt werden, dass insbesondere bei der Zerkleinerung der MKF eine Kühlung der Proben erforderlich wurde, um die gestellte Anforderung erfüllen zu können.

Bei der Probenaufbereitung musste darauf geachtet werden, dass die Temperatur während des Vorgangs nicht über 30 °C anstieg, damit flüchtige Bestandteile wie z.B. Hg während der Zerkleinerung nicht entweichen. Für die Wassergehaltsbestimmung wurde ein Teil der Originalprobe bei 105 °C getrocknet, dieser jedoch nicht weiter aufbereitet. Weiters musste darauf geachtet werden, dass durch den Mahlvorgang oder die Probenteilung keine systematischen Fehler auftraten (z.B. durch Segregation oder dadurch, dass ein Teil der Probe in den Mühlen verbleibt).

Die folgende Tabelle 6.13 zeigt eine Zusammenstellung aller wesentlichen Informationen zur Probenzerkleinerung.

¹⁴ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

Tabelle 6.13: Zusammenfassung der eingesetzten Zerkleinerungsgeräte, der erreichten Korngrößen und der zerkleinerten Menge an Ersatzbrennstoff

Lab. Nr. ⁽¹⁵⁾	Zerkleinerung 1. Stufe			Zerkleinerung 2. Stufe		
	Gerät	Korngröße	Menge	Gerät	Korngröße	Menge
2	Schneidmühle	6 x 10 mm	MKF rd. 1 kg, Flotat rd. 4 kg	Ultrazentrifugalmühle (UZM)	1 mm	500 ml
3	UZM (Retsch)	2 mm	8000 g	UZM (Retsch)	0,5 mm	500 ml
4	Retsch SM 2000	< 2 mm	1.000 ml	Retsch SM 2000	< 1 mm	200 ml
5	Retsch Zentrifugalmühle	< 4 mm	4000 ml	Retsch Zentrifugalmühle	< 1 mm	500 ml
6	Schneidmühle (Fa. RETSCH)	4 mm	je 10.000 ml	Ultrazentrifugal-Mühle (Fa. RETSCH)	0,5 mm	je 1000 ml
7	Schneidmühle	< 10 mm	rd. 5000 ml	Schneidmühle	< 1 mm	ca. 1000 ml
8	Retsch Schneidmühle SM 2000	10 mm	8000 ml	Retsch Schneidmühle SM 2000	1 mm	500 ml
9	Schneidmühle SM 2000	5 mm	3000 ml	Schneidmühle SM 2000	0,5 mm	250 ml
11	Retsch Mühle	< 1 mm	8 l			
12	Schneidmühle	<1 mm	rd. 2500 ml			
15	Schneidmühle, WC-Messer	< 1 mm	gesamte Probe, d.h. 10 l, Flotat rd. 2 kg			
17	Schneidmühle, vergeben an Unterauftragnehmer	< 1 mm	8000 ml	nur eine Zerkleinerungsstufe		
18	Schneidmühle	4 mm	alles, d.h. 5000 ml	Schneidmühle	1 mm	500 ml

Die Vorgabe, die zugesandten Proben auf eine Korngröße < 1 mm zu zerkleinern, wurde von allen Labors eingehalten. Nachdem aber bei einigen Labors weniger Material der MKF Probe als vorgesehen getrocknet wurde, konnten darauf folgend nicht die geforderten 8 l weiter aufbereitet werden. Für die Zerkleinerung in der zweiten Stufe wurde daher von zwei Labors eine geringere Menge an Material verwendet (Nr. 4 und 9).

6.5.4.3 Analysemethoden

Im folgenden Kapitel werden die bei der Untersuchung der beiden Ersatzbrennstoffe (Flotatschlamm und MKF) angewandten Analysemethoden angeführt. Konkret wird auf die Bestimmung der Parameter: Wassergehalt, Glühverlust bzw. Aschegehalt, oberer Heizwert (Brennwert), Cadmium und Chlor eingegangen.

Der Wassergehalt wurde aus den Originalproben in Anlehnung an die DIN EN 12880:2001 [98] nach Vorzerkleinerung auf < 30 mm bestimmt.

¹⁵ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

Die Bestimmung des Glühverlusts bzw. des Aschegehalts ist in Anlehnung an die DIN 51719:1997 [99] durchgeführt worden. Die minimale Einwaage betrug 1 g. Der Glühvorgang erfolgte bei 1000 +/- 50 °C. Die Bestimmung wurde dreifach durchgeführt und jeder erhaltene Einzelwert angegeben.

Die Bestimmung des oberen Heizwertes (Brennwert) erfolgte in Anlehnung an DIN 51900 [100]. Bei der Berechnung des unteren Heizwertes wurde keine Stickstoff- und Schwefelkorrektur vorgenommen. Zur Untersuchung der Gleichwertigkeit des angewandten Analysenverfahrens mit der DIN 51900 wurde eine typische Probe (Sekundärbrennstoff aus dem AQS Ringversuch 2001, IAE-Probennummer 8391-01) mehrfach untersucht. Dazu wurde die Probe sowohl mit als auch ohne der anzuwendenden N- und S-Korrektur und sowohl mit als auch ohne Spülen der Bombe mit Sauerstoff gemessen. Die statistische Auswertung zeigt, dass das Verfahren (keine Sauerstoffspülung, Verzicht auf die N- und S-Korrektur) der DIN 51900 gleichwertig ist. Dieses Ergebnis wird auch durch die Studienarbeit „Oberer und unterer Heizwert von Abfallfraktionen“ des IAE bestätigt [101].

Für das Element Cadmium existieren eine Vielzahl an Regelwerken und Verfahren zur qualitativen Bestimmung. Aufgrund der Verschiedenartigkeit der angewandten Bestimmungsmethoden für diesen Parameter wurde im Rahmen des Laborvergleichsversuches bewußt keine bestimmte Methode festgelegt. Vielmehr erfolgte die Definition von Qualitätsanforderungen für die Bestimmungsmethode (Säureaufschluß mit nachfolgender Analyse) in Form von Wiederfindungsraten (vergleiche Tabelle 6.14). Die Wiederfindung über das Gesamtverfahren wurde mittels eines geeigneten Standards (z.B. zertifiziertes Referenzmaterial (Klärschlamm)) geprüft. Die Wiederfindungsraten (WFR RM) mussten innerhalb des in der Tabelle angegebenen Bereichs liegen. Für den Aufschluss der Proben wurde ein oxidativer Säureaufschluss (6 ml konz. HNO₃ (65%), 1 ml konz. HCl (32 %) und 1 ml H₂O₂ (30 %) bezogen auf 0,2 g Probeneinwaage) vorgeschrieben.

Tabelle 6.14: Qualitätsanforderungen für die Bestimmung von Cadmium

Parameter	Einheit	Normen	MBG	WFR RM	WFR SA
Cadmium	mg/kg	DIN EN ISO 11885 [102] DIN EN ISO 5961 [103] DIN 38406-29 [104] ÖNORM M 6617 [105]	1	68 – 132 %	55 – 145 %

MBG Mindestbestimmungsgrenze (kleinster Kalibrationsstandard).

WFR RM Wiederfindungsrate bei Einsatz von zertifiziertem Referenzmaterial (Werte IAE), angegeben als dreifache Standardabweichung (Regelkartenkontrollgrenzen).

WFR SA Wiederfindungsrate bei Standardaddition (Werte IAE), angegeben als dreifache Standardabweichung (Regelkartenkontrollgrenzen).

Die Wiederfindungsrate des Referenzmaterials (WFR RM) wird berechnet nach:

$$\text{WFR RM} = \frac{x_{\text{ist}}}{x_{\text{soll}}} \cdot 100 \quad (8)$$

WFR RM	Wiederfindungsrate des Referenzmaterials in %,
x_{ist}	gemessener Wert in mg/kg oder ppm,
x_{soll}	theoretischer Wert in mg/kg oder ppm (im Zertifikat angegebener Sollwert).

Die Wiederfindungsrate der Standardaddition (WFR SA) wird berechnet nach:

$$\text{WFR SA} = \frac{x_{\text{SA}} - x_{\text{P}}}{x_{\Delta\text{SA}}} \cdot 100 \quad (9)$$

WFR SA	Wiederfindungsrate des Referenzmaterials in %,
x_{SA}	gemessener Wert in der Probe nach der Standardaddition,
x_{P}	gemessener Wert in der Probe vor der Standardaddition,
$x_{\Delta\text{SA}}$	Konzentration des Standards in der aufgestockten Probe.

Bei der Standardaddition wird aus der Messserie eine Probe im typischen Konzentrationsbereich herausgenommen. Die Konzentration des zu bestimmenden Parameters in dieser Probe wird gemessen. Zur Probe wird nun ein hochkonzentrierter Standard addiert, so dass die resultierende Konzentration etwa doppelt so hoch ist wie die ursprüngliche Konzentration in der Probe.

In der nachstehenden Tabelle 6.15 sind die angewandten Bestimmungsmethoden für den Parameter Cadmium inklusive der entsprechenden Wiederfindungsraten angegeben. Nicht von allen 13 Teilnehmern des Ringversuches wurden die entsprechenden Werte bestimmt.

Tabelle 6.15: Bestimmung des Cadmiumgehaltes

Lab. Nr. ⁽¹⁶⁾	Blindwert [mg/kg TS]	BG [mg/kg TS]	WFR KST [%]	WFR CRM [%]	WFR Kunstst. [%]	WFR Papierschl. [%]	Methode/Geräteeinstellungen
2		1	99,7	91			ICP - OES Plasma 400 (Perkin Elmer), Blindwert bei Kalibration berücksichtigt, Interner Standard Sc c=1mg/ml; 30µl/30 ml.
4							RFA Standardloses Programm "UNIQUANT" - ARL
5	< 0,05	0,05		113			ICP-MS
6	< 0,001	0,1	105,8	89		88,5	GR-AAS nach DIN 38406-29; SIMAA 6000 (Fa. Perkin-Elmer)
7	< 0,2	0,2		98,4			AAS-Grafitrohr mit Plattformtechnik
9	< 0,2	0,2	96	98,7			ICP Varian VISTA MPX
11	0,08 µg/l	0,5	98	113	79 %	90	GR-AAS, HKL 4 mA; 0,8 nm Spalt; 228 nm Wellenlänge
12	0,08	0,5	105	83	87	91	Graphitrohr-AAS mit Zeeman-Untergrundkompensation
15	< 1	0,87	107	94	-	-	Grafitrohr-AAS
17	< BG	1		87	90,7	93,2	GFAAS, Unicam 939 QZ
18	-	1	-	76,3	-	-	DIN EN ISO 5961 [103]

BG	Bestimmungsgrenze
WFR KST	Wiederfindungsrate des Kontrollstandards für die Cadmiumdetektion in %
WFR CRM	Wiederfindungsrate des mitgelieferten zertifizierten Referenzmaterials CRM 144R in %;
WFR Kunstst.	Wiederfindungsrate durch Standardaddition in eine reale Probe mit Kunststoffmatrix in %;
WFR Papierschl..	Wiederfindungsrate durch Standardaddition in einer realen Probe mit Papierschlammatrix in %.

Für die Bestimmung des Chlorgehalts stehen ebenfalls unterschiedliche Verfahren wie z.B. die Verbrennung nach Wickbold, ein Kalorimetraufschluss etc. mit anschließender Bestimmung des Chlorgehalts in der Aufschlusslösung über Ionenchromatografie oder ionenselektive Elektroden bzw. über eine Röntgenfluoreszenzanalyse oder über andere Analysemethoden zur Verfügung. Auch hier wurde aufgrund der Verschiedenartigkeit der möglichen Bestimmungsmethoden bewusst keine bestimmte Methode festgelegt, sondern ebenfalls einzuhaltende Mindestqualitätsanforderungen für die Bestimmungsmethode definiert (vergleiche Tabelle 6.16).

¹⁶ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

Tabelle 6.16: Bestimmung des Chlorgehaltes

Lab. Nr. ⁽¹⁷⁾	Blindwert [mg/kg TS]	BG [mg/kg TS]	WFR KST [%]	WFR PP/PVC-Mischung	WFR Kunstst	WFR Papierschlamm	Mehrfachbest.	Methode/ Geräteeinstellungen
2	-	50 ppm bei 2 g Einwaage	98,6	0,51 und 0,49	-	-	3-fach	Kalorimeternaufschluss, Titration mit Silbernitrat, WFR der PP/PVC-Mischung mit RFA verifiziert.
3	rechnerisch korrigiert			0,48			3-fach	Kalorimeternaufschluss, Fällung mit Silbernitrat und Titration des Überschusses mit Ammoniumthiocyanat.
4							3-fach	
5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3-fach	Anlehnung an EN 196-21 [106], Kalorimeternaufschluss und Titration.
6	< 50	< 100	-	0,58	-	-	3-fach	Kalorimetrischer Aufschluss (Bombe) + DIN 38405-1 [107], PP/PVC-Mischung zusätzlich mit Eschka-Mischung und potentiometrisch bestimmt.
7	30	30		0,54			3-fach	Pyrohydrolytischer Aufschluss (1250 °C im O ₂ -Strom) mit volumetr. Chloridbest. bzw. Aufschluss i.d. Kalorimeterbombe f. PVC/PP-Gemisch.
8	< 30	< 30		57			3-fach	Verbrennung von Chlor zu Chlorid in Kalorimeterbombe, anschließende Titration mit AgNO ₃ .
9		0,1		0,64			MKF 2-fach, Flotat 3-fach	
11	185			0,58			3-fach	Kalorimeter IKA C7000; Dionex IC Ionenchromatographie.
12	25	200	105	107	94	109	3-fach	Verbrennung in der Sauerstoffbombe, Titrimetrische Endbestimmung.
15	100	100	-	Probe nicht verwendet, da WFR zu gering	-		3-fach	Verbrennungsaufschluss in der Sauerstoffbombe, Ionenchromatographie.
17	n.a.	200		0,58	n.a.	n.a.	3-fach	Analytik Jena AOX, multi X 2002
18	-			51			3-fach	DIN 51577 Teil 1 [108]

Lab.Nr.

Teilnehmernummer des jeweiligen Labors (die Proben beginnen alle mit dieser Nummer),

BG

Bestimmungsgrenze,

WFR KST

Wiederfindungsrate des Kontrollstandards für die Chloriddetektion in %,

WFR PP/PVC-Mischung

Wiederfindungsrate der mitgelieferten PP/PVC-Mischung in % (Sollgehalt laut Hersteller: 1,1 % Chlor),

¹⁷ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

WFR Kunstst.	Wiederfindungsrate durch Standardaddition in eine reale Probe mit Kunststoffmatrix in %,
WFR Papierschl..	Wiederfindungsrate durch Standardaddition in eine reale Probe mit Papierschlammatrix in %.

6.6 Ergebnisse des Laborvergleichsversuches

Die Auswertung der Ergebnisse des Laborvergleichsversuches wurde im Rahmen dieser Dissertationsarbeit am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE) durchgeführt. Mittels formatierten Datenträgern erfolgte die Übermittlung der Ergebnisse durch die teilnehmenden Laboratorien.

6.6.1 Ausreißertest

Die Auswertung der Parameter Trockensubstanz, Glühverlust und Brennwert wurde gemäß DIN 38402-42:1984 [109] vorgenommen. Als Einzelwert für die Auswertung wurde das vom Labor angegebene Messergebnis für die Probe verwendet, d.h. Mehrfachbestimmungen aus einer Probe wurden nicht berücksichtigt. Die Parallelbestimmungen innerhalb eines Labors ergeben sich, dadurch dass die drei gelieferten Proben derselben Matrix immer der gleichen Grundgesamtheit entstammten. Bei der Auswertung nach oben genannter Norm werden drei verschiedene Typen von Ausreißern eliminiert:

- Typ 1 Ausreißer sind Ausreißer innerhalb der Ergebnisse eines Labors, welche nach dem Grubbs-Test [109] ermittelt werden.
- Typ 2 Ausreißer sind Ausreißer zwischen den Labormittelwerten, welche nach dem Grubbs-Test [109] ermittelt werden.
- Typ 3 Ausreißer sind Ausreißer zwischen den Laborstandardabweichungen, welche nach dem Chrochan-Test [109] ermittelt werden.

Einige Autoren gehen mittlerweile davon aus, dass Konzentrationswerte in der Abfall- und Umweltanalytik log-normalverteilt sind [110], [111], [112], [113]. Dies gilt bei niedrigen Elementgehalten. In diesem Fall führt eine Eliminierung von Ausreißern mit Hilfe von statistischen Tests, die auf der Normalverteilungsannahme beruhen, zu einer systematischen Unterschätzung des wahren Werts.

Für die Auswertung der Parameter Cadmium und Chlor wurden daher nur Ausreißer eliminiert, bei denen eine systematische Abweichung angenommen werden konnte. Alle anderen möglichen Ausreißer (z.B. über den Grubbs-Test ermittelt) wurden bei den Werten für Chlor- und die Schwermetallgehalte im Datenkollektiv belassen.

6.6.2 Beurteilung der Ringversuchsergebnisse

Für die Beurteilung von Ringversuchsergebnissen im Rahmen der internen Qualitätssicherung von Labors schlägt der EURACHEM Guide „Selection, use and interpretation of proficiency testing (PT) schemes by laboratories- 2000“ First Edition 2000 [114] die Ermittlung und Bewertung des z-score vor. Für die Berechnung des „z-score“ wird folgende Formel angewandt :

$$z = \frac{|x_i - x|}{s} \quad (10)$$

s	Standardabweichung der Einzelwerte aller Laboratorien (ausreißerbereinigt),
x_i	Ergebnis des Labors,
x	Mittelwert der Ergebnisse aller Laboratorien (ausreißerbereinigt),
z	z-score.

Der erhaltene z-score wird wie folgt interpretiert:

$z < 2$	Ringversuch bestanden, keine Korrekturmaßnahmen notwendig,
$2 \leq z \leq 3$	Ergebnis fragwürdig, Ursache sollte gesucht werden,
$z > 3$	Ringversuch nicht bestanden, Korrekturmaßnahmen müssen erfolgen.

6.6.3 Einzelwerte und Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Kenndaten des Ringversuchs für die Parameter Brennwert, Trockensubstanz und Glühverlust, Chlor und Cadmium angegeben. Die relative Standardabweichung wurde für den Brennwert, die Trockensubstanz und den Glühverlust aus den von den Labors angegebenen Mittelwerten der Mehrfachbestimmungen berechnet. Die Auswertung der Parameter Chlor und Cadmium wurde auf Basis jedes einzelnen Analysenwertes, also jeder Mehrfachbestimmung, vorgenommen. Identifizierte Ausreißer werden in den anschließenden Tabellen wie folgt gekennzeichnet:

*	Ausreißer vom Typ 1 nach DIN 38402-42 [109],
**	Ausreißer vom Typ 2 nach DIN 38402-42,
***	Ausreißer vom Typ 3 nach DIN 38402-42,
****	zusätzliche Ausreißer vom Typ 2, nach Eliminierung der Ausreißer vom Typ 3, nach DIN 38402-42.

Tabelle 6.17: Einzelwerte Parameter oberer Heizwert in [kJ/kg TS]

Oberer Heizwert	Mischkunststofffraktion									Flotatschlamm	
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	z-score	
Labor-nummer ⁽¹⁸⁾	1	2	3			1	2	3	1	1	
2	31010	30260	31110	30793	465	0,9	1,8	0,8	8020	1,5	
3	31472	32827	31955	32085	687	0,3	1,4	0,3	8807	0,7	
4	31960	31130	30970	31353	531	0,3	0,7	0,9	8400	0,4	
5	*** 33327	***34605	*** 31470	*** 33134	*** 1577	-	-	-	** 12491	-	
6	33047	32487	32051	32528	499	1,6	0,9	0,4	9175	1,7	
7	32160	33570	32360	32697	763	0,5	2,3	0,8	8900	1,0	
8	31217	31348	30911	31159	224	0,6	0,5	1,0	8518	0,1	
9	31300	30570	31250	31040	408	0,5	1,4	0,6	** 10800	-	
11	31770	32286	32218	32091	280	0,1	0,7	0,6	8763	0,6	
12	30.915	31.703	33.064	31894	1087	1,0	0,0	1,6	** 7077	-	
15	31726	32131	33280	32379	806	0,0	0,5	1,9	8153	1,1	
17	Misch-probe	31274	-	31274	-	-	0,6	-	8470	0,2	
18	30975	30851	31542	31123	368	0,9	1,1	0,2	8264	0,8	

Tabelle 6.18: Einzelwerte Parameter Trockensubstanz [%]

TS	Mischkunststofffraktion									Flotatschlamm	
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	z-score	
Labor-nummer ⁽¹⁹⁾	1	2	3			1	2	3	1	1	
2	87,2	86,5	86,3	86,7	0,473	1,0	0,1	0,1	64,3	0,9	
3	86,19	87,43	86,07	86,6	0,753	0,2	1,2	0,4	64,96	0,6	
4	86,74	86,93	86,07	86,6	0,452	0,4	0,6	0,4	** 56	-	
5	** 95,15	** 96,27	** 95,88	** 95,8	** 0,569	-	-	-	65,2	1,2	
6	87,4	86,5	86,7	86,9	0,473	1,2	0,1	0,4	64,1	1,3	
7	85,7	86,7	85,9	86,1	0,529	0,8	0,4	0,6	64,6	0,2	
8	88,4	87,7	87,7	87,9	0,404	2,4	1,5	1,5	64,4	0,7	
9	86,1	85,9	86	86,0	0,100	0,4	0,6	0,5	65,1	1,0	
11	86,53	85,86	85,93	86,1	0,368	0,2	0,6	0,6	64,44	0,6	
12	87,4	86,5	86,5	86,8	0,520	1,2	0,2	0,1	64,5	0,3	
15	85,83	85,72	85,34	85,6	0,257	0,7	0,8	1,3	64,15	1,2	
17	86,2	84,8	84,3	85,1	0,985	0,2	1,9	2,5	65,4	1,7	
18	*** 89,8	*** 87,3	*** 87,5	*** 88,2	*** 1,39	-	-	-	65	0,7	

¹⁸ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten

¹⁹ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

Tabelle 6.19: Einzelwerte Parameter Glühverlust [%]

TS	Mischkunststofffraktion						Flotatschlamm			
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	z-score
Probe-nummer ⁽¹⁹⁾	1	2	3			1	2	3	1	1
2	**** 93,81	**** 94,81	**** 93,99	**** 94,2	**** 0,53	-	-	-	56,69	0,6
3	92,3	93,6	91,8	92,6	0,929	0,3	2,5	1,3	57,6	1,9
4	92,27	92,35	92,44	92,4	0,085	0,3	0,1	0,0	56,62	0,5
5	*** 92,71	*** 94,97	*** 92,63	*** 93,4	*** 1,33	-	-	-	56,57	0,5
6	92,6	92,4	93	92,7	0,306	0,4	0,0	1,2	56,1	0,2
7	91,8	93,4	91,9	92,4	0,896	1,3	2,1	1,1	55,9	0,5
8	**** 93,2	**** 93,7	**** 93,5	**** 93,5	**** 0,25	-	-	-	56,1	0,2
9	92	92,5	92,2	92,2	0,252	0,9	0,2	0,5	** 43,9	-
11	92,06	92,84	92,77	92,6	0,433	0,8	0,9	0,7	56,04	0,3
12	92,2	92,4	92,7	92,4	0,238	0,4	0,1	0,5	55,1	1,6
15	92,16	92,56	93,06	92,6	0,451	0,5	0,3	1,3	55,22	1,4
17	*** 93,68	*** 90,28	*** 91,12	*** 91,7	*** 1,77	-	-	-	56,75	0,7
18	91,9	92,47	91,7	92,0	0,398	1,1	0,1	1,5	** 58,8	-

Tabelle 6.20: Einzelwerte Parameter Chlor [% TS]

Chlor	Mischkunststofffraktion						Flotatschlamm					
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	MW	Stabw.	z-score
Labor-nummer ⁽¹⁹⁾	1	2	3			1	2	3	1			1
2	0,73	0,87	0,63	0,67	0,110	0,6	0,2	1,0	0,04	0,03	0,0058	0,1
	0,69	0,73	0,51			0,8	0,6	1,4	0,03			0,3
	0,66	0,68	0,52			0,9	0,8	1,3	0,03			0,3
3	0,7	0,8	0,9	0,80	0,087	0,7	0,4	0,1	0,014	0,01	0,0006	0,8
	0,7	0,8	0,9			0,7	0,4	0,1	0,014			0,8
	0,7	0,8	0,9			0,7	0,4	0,1	0,015			0,8
4	0,87	0,77	0,97	0,95	0,212	0,2	0,5	0,2	0,12	0,13	0,0115	2,2
	0,83	1,34	0,85			0,3	1,4	0,2	0,12			2,2
	0,68	1,2	1,04			0,8	1,0	0,4	0,14			2,8
5	1,98	1,92	0,74	1,15	0,569	3,6	3,4	0,6	0,014	0,01	0,0057	0,8
	0,7	1,73	0,63			0,7	2,8	1,0	0,006			1,0
	1,02	1,05	0,6			0,4	0,5	1,1	< 0,005			-
6	1,11	1,07	1,15	1,11	0,030	0,7	0,5	0,8	0,04	0,04	0,0058	0,1
	1,14	1,11	1,06			0,8	0,7	0,5	0,03			0,3
	1,09	1,12	1,12			0,6	0,7	0,7	0,04			0,1
7	0,88	0,98	0,96	0,82	0,292	0,1	0,2	0,1	0,04	0,04	0,0	0,1
	0,67	0,48	0,5			0,8	1,5	1,4	0,04			0,1
	0,91	0,63	1,41			0,0	1,0	1,7	0,04			0,1
8	1,14	1,16	1,12	1,14	0,077	0,8	0,8	0,7	<0,03			-

Chlor	Mischkunststofffraktion						Flotatschlamm					
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	MW	Stabw.	z-score
Labor-nummer ⁽¹⁹⁾	1	2	3			1	2	3	1			1
	1,02	1,16	1,27			0,4	0,8	1,2	<0,03			-
	1,14	1,21	1,04			0,8	1,0	0,4	<0,03	-	-	-
9	0,76	0,92	1,43	0,88	0,295	0,5	0,0	1,7	< 0,10			-
	0,62	0,86	0,66			1,0	0,2	0,9	< 0,10			-
	-	-	-			-	-	-	-	< 0,10	-	-
11	0,761	0,852	0,958	0,94	0,118	0,5	0,2	0,1	0,082	0,08	0,0212	1,1
	0,965	0,869	0,916			0,2	0,2	0,0	0,099			1,6
	0,966	0,94	1,194			0,2	0,1	0,9	0,057			0,4
12	0,57	0,94	0,54	0,70	0,149	1,2	0,1	1,3	0,025	0,02	0,0025	0,5
	0,57	0,81	0,73			1,2	0,4	0,6	0,02			0,6
	0,57	0,87	0,67			1,2	0,2	0,8	0,022			0,6
15	0,99	1,21	1,08	1,09	0,152	0,3	1,0	0,6	0,02	0,02	0,0038	0,6
	1,11	1,33	1,2			0,7	1,4	1,0	0,021			0,6
	1,12	0,91	0,85			0,7	0,0	0,2	0,014			0,8
17	0,51	0,79	0,59	0,58	0,144	1,4	0,4	1,1	< 0,1			-
	0,73	0,74	0,42			0,6	0,6	1,7	< 0,1			-
	0,53	0,56	0,38			1,3	1,2	1,8	< 0,1	-	-	-
18	0,71	0,86	1,49	1,08	0,337	0,7	0,2	1,9	0,03	0,03	0,0058	0,3
	0,91	0,67	1,58			0,0	0,8	2,3	0,02			0,6
	1,15	0,94	1,37			0,8	0,1	1,5	0,03			0,3

Tabelle 6.21: Einzelwerte Parameter Cadmium [mg/kg TS]

Cadmium	Mischkunststofffraktion						Flotatschlamm					
	Einzelwerte der Probe			MW	Stabw.	z-score der Probe			Einzelwert	MW	Stabw.	z-score
Labor-nummer ⁽²⁰⁾	1	2	3			1	2	3	1			1
2	2,9	2,6	9,4	3,90	2,85	0,4	0,5	1,3	1,1	1,15	0,071	2,0
	4,5	1,7	2,3			0,0	0,7	0,5	1,2			2,3
4	null	null	null	-	-	-	-	-	null	-	-	-
	null	null	null			-	-	-	null			-
5	0,36	11	6,2	5,18	4,14	1,0	1,7	0,5	0,15	0,140	0,014	0,4
	0,32	6,5	6,7			1,1	0,5	0,6	0,13			0,4
6	2,8	2,7	3,9	3,18	0,643	0,4	0,4	0,1	0,1	0,100	0,0	0,5
	3,4	2,4	3,9			0,3	0,5	0,1	0,1			0,5
7	1,43	3,52	6,41	3,50	2,15	0,8	0,2	0,5	0,16	0,160	0,0	0,4
	1,86	1,96	5,82			0,7	0,6	0,4	0,16			0,4

²⁰ Insgesamt wurden an 18 Laboratorien Proben versandt. Ergebnisse reichten 13 davon ein. In der Tabelle wurde die ursprünglich Bezeichnung (Labornummer) beibehalten.

9	3,36	3,3	3,42	3,53	0,410	0,3	0,3	0,3	0,103	0,104	0,001	0,5
	3,43	3,31	4,36			0,3	0,3	0,0	0,105			0,5
11	0,42	15,49	6,06	4,95	5,68	1,0	2,8	0,4	0,18	0,145	0,049	0,3
	0,16	4,97	2,59			1,1	0,1	0,5	0,11			0,5
12	2,41	2,63	1,73	2,08	0,699	0,5	0,5	0,7	< 0,5	-	-	-
	1,43	3,01	1,29			0,8	0,4	0,8	< 0,5			-
15	1	4	3	7,67	8,07	0,9	0,1	0,4	<1	-	-	-
	18	18	2			3,5	3,5	0,6	<1			-
17	4,1	8,9	6,7	6,42	1,90	0,1	1,1	0,6	< 1	-	-	-
	5,6	4,9	8,3			0,3	0,1	1,0	< 1			-
18	<1	1,03	<1	-	-	-	0,9	-	<1	-	-	-
	<1	<1	<1			-	-	-	<1			-

Die Auswertung wurde anhand der zuvor zitierten Richtlinie [114] durchgeführt. Wie ersichtlich, konnten alle teilnehmenden Laboratorien die geforderten Qualitätsstandards erfüllen und haben somit den Ringversuch positiv bestanden.

In der unter Kapitel 6.5.4.3 zitierten Studie [101], welche am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik erstellt wurde, wird eine Methode für die Bestimmung des unteren Heizwertes angeführt, bei der dieser ohne Stickstoff- und Schwefelkorrektur aus dem oberen Heizwert berechnet wird. Dies erfolgt nach folgender Formel (11). Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 6.22 zusammengefasst dargestellt.

$$H_u [kJ / kg OS] = H_o [kJ / kg TS] \cdot 0,92 \cdot \frac{100 - WG[\%]}{100} - 2441 [kJ / kg] \cdot \frac{WG[\%]}{100} \quad (11)$$

H_u unterer Heizwert, störstoffkorrigiert, bezogen auf die Originalsubstanz (OS),

H_o oberer Heizwert, störstoffkorrigiert, bezogen auf die Trockensubstanz (TS),

WG Wassergehalt.

Tabelle 6.22: Zusammenstellung der unteren Heizwerte für MKF (berechnet aus Mittelwerte für H_o und WG aus je 3 Einzelwerten) und Flotatschlamm (H_o und WG jeweils Einzelwerte)

Labor	Mischkunststofffraktion			Flotatschlamm		
	WG [%]	H_o [kJ/kg TS]	H_u [kJ/kg OS]	WG [%]	H_o [kJ/kg TS]	H_u [kJ/kg OS]
Labor 2	13,33	30793,33	24227,36	35,7	8020	3872,87
Labor 3	13,44	32084,67	25226,55	35,04	8807	4408,02
Labor 4	13,42	31353,33	24647,13	-	-	-
Labor 5				34,8	-	-
Labor 6	13,13	32528,33	25676,33	35,9	9175	4534,36
Labor 7	13,90	32696,67	25562,86	35,4	8900	4425,33
Labor 8	12,07	31158,67	24912,52	35,6	8518	4177,75
Labor 9	14,00	31040,00	24217,33	34,9	-	-
Labor 11	13,89	32091,33	25082,39	35,56	8763	4327,11
Labor 12	13,17	31893,78	25153,67	35,46	-	-
Labor 15	14,37	32379,00	25156,01	35,85	8153	3936,64
Labor 17	14,90	31273,67	24027,43	34,6	8469,67	4251,44
Labor 18		31122,78		35	8263,53	4087,24
MW	13,6	31701	24899	35,3	8563	4225
STABW	0,74	651	553	0,43	379	226
rel. STABW [%]	5,45	2,05	2,22	1,23	4,43	5,35

Die erweiterte Darstellung der Ergebnisse bzw. die weitere Auswertung bezieht sich auf die Parameter Brennwert, Trockensubstanz, Glühverlust Chlor- und Cadmium. Auf Basis dieser Parameter erfolgt die Ableitung des QS-Konzeptes. Alle in den folgenden Tabellen 6.23 - 6.27 angegebenen Werte wurden gemäß DIN 38402-42:1984 [109] inkl. Ergänzungen ermittelt. Sowohl der jeweilige Gesamtmittelwert als auch die absolute Standardabweichung und die relative Standardabweichung wurden aus der Anzahl der ausreißerfreien Werte aller Labors berechnet. Die Standardabweichung stellt die Grundlage der Abschätzung der erforderlichen Probenanzahl dar (Abbildung 6.12 – 6.17).

Tabelle 6.23: Ergebnisse Parameter oberer Heizwert (H_o)

oberer Heizwert (H_o)	Einheit	Mischkunststoff- fraktion	Flotatschlamm
Anzahl der ausreißerfreien Werte		34	10
Anzahl der Laboratorien		12	10
Anzahl der Ausreißerwerte		3	3
Relativer Anteil der Ausreißerwerte	%	8	23
Gesamtmittelwert	kJ/kg TS	31.727	8.547
Standardabweichung	kJ/kg TS	812	361
Relative Standardabweichung	%	2,56	4,23

Tabelle 6.24: Ergebnisse Parameter Trockenrückstand

Trockensubstanz	Einheit	Mischkunststoff- fraktion	Flotatschlamm
Anzahl der ausreißerfreien Werte		33	12
Anzahl der Laboratorien		11	12
Anzahl der Ausreißerwerte		6	1
Relativer Anteil der Ausreißerwerte	%	15	8
Gesamtmittelwert	%	86,4	64,7
Standardabweichung	%	0,84	0,434
Relative Standardabweichung	%	0,98	0,67

Tabelle 6.25: Ergebnis Parameter Glühverlust

Glühverlust	Einheit	Mischkunststoff- fraktion	Flotatschlamm
Anzahl der ausreißerfreien Werte		27	11
Anzahl der Laboratorien		9	11
Anzahl der Ausreißerwerte		12	2
Relativer Anteil der Ausreißerwerte	%	31	15
Gesamtmittelwert	%	92,4	56,2
Standardabweichung	%	0,48	0,71
Relative Standardabweichung	%	0,51	1,27

Tabelle 6.26: Ergebnisse Parameter Chlor

Chlor	Einheit	Mischkunststoff- fraktion	Flotatschlamm
Anzahl der ausreißerfreien Werte		114	29
Anzahl der Laboratorien		13	10
Anzahl der Ausreißerwerte		0	0
Relativer Anteil der Ausreißerwerte	%	0	0
Schiefe der Verteilung		1,0	1,7
Gesamtmittelwert	% TS	0,92	0,042
Standardabweichung	% TS	0,3	0,0087
Relative Standardabweichung	%	32,1	84,8

Tabelle 6.27: Ergebnisse Parameter Cadmium

Cadmium	Einheit	Mischkunststoff- fraktion	Flotatschlamm
Anzahl der ausreißerfreien Werte		55	12
Anzahl der Laboratorien		9	6
Anzahl der Ausreißerwerte		0	0
Relativer Anteil der Ausreißerwerte	%	0	0
Schiefe der Verteilung		2,1	2,4
Gesamtmittelwert	mg/kg TS	4,43	0,3
Standardabweichung	mg/kg TS	3,87	0,42
Relative Standardabweichung	%	87,9	133

6.6.4 Abschätzung der nötigen Anzahl an Sammel-/ Mischproben

Die Standardabweichung s des gesamten Batchs wird durch die experimentell ermittelte Standardabweichung σ angenähert. Vereinfacht wurde folglich die Formel (12) angewandt:

$$\boxed{n = \frac{u_p^2}{d^2} s^2} \quad \text{und} \quad \boxed{s = \sigma} \quad (12)$$

n	Anzahl der Proben,
u_p	Perzentil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit p , $p = 0,5 + C/200$,
C	gewünschte statistische Sicherheit in %,
s	Standardabweichung,
σ	experimentell ermittelte Standardabweichung.

Mit Hilfe dieser Formel (12) kann die Anzahl an zu nehmenden Sammelproben der beiden Ersatzbrennstoffe für die entsprechenden Parameter abgeschätzt werden. Diese Probenanzahl wird in den folgenden Abbildungen 6.12 bis 6.17 in Abhängigkeit vom Vertrauensbereich grafisch dargestellt.

Geht man dabei z.B. für den Parameter Brennwert (Abbildung 6.12) von einer 80 %-igen Sicherheit und einem Vertrauensbereich von 200 kJ/kg TS aus, so sind dazu 26 gleichartige Untersuchungen durchzuführen. Erhöht man die Sicherheit auf 95 % so sind bei gleicher Präzision 60 Sammelproben zu untersuchen.

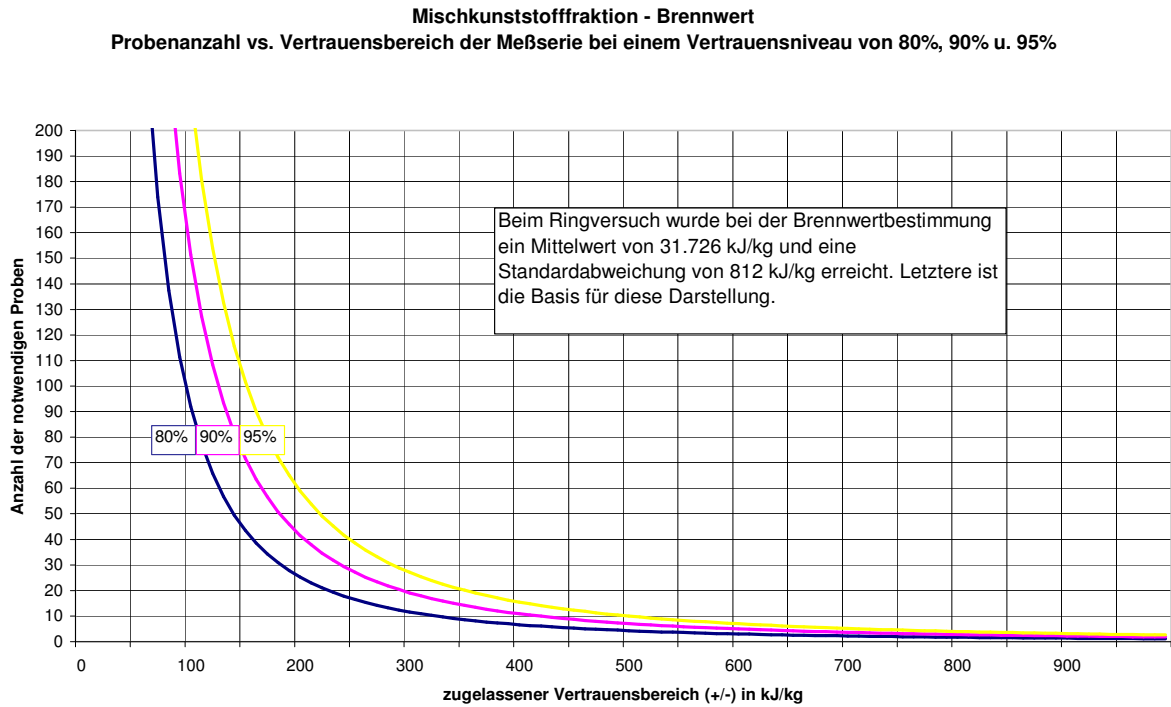


Abbildung 6.12: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für den Parameter Brennwert in der MKF

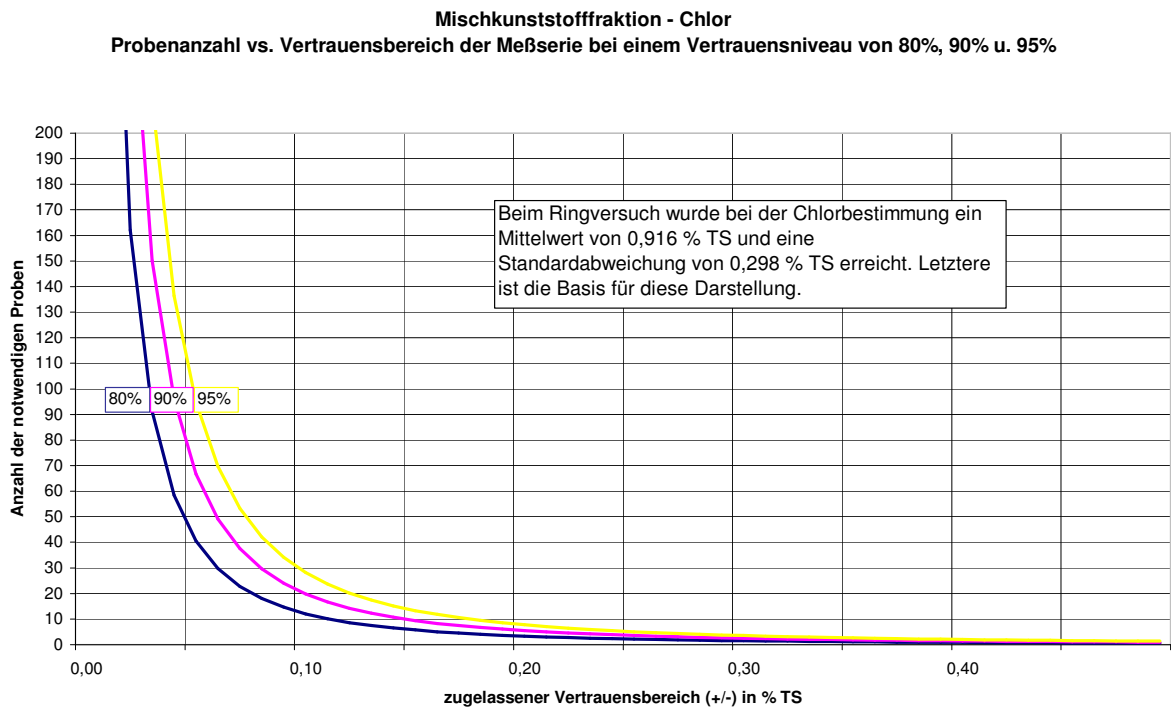


Abbildung 6.13: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Chlor in der MKF

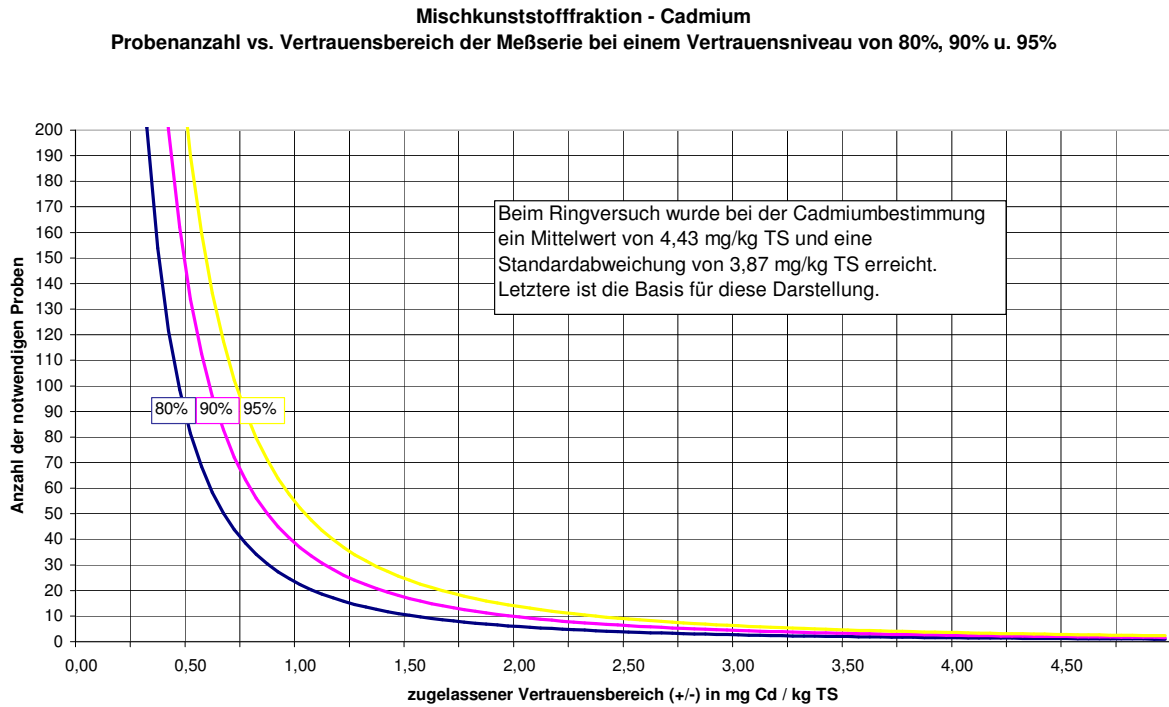


Abbildung 6.14: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Cadmium in der MKF

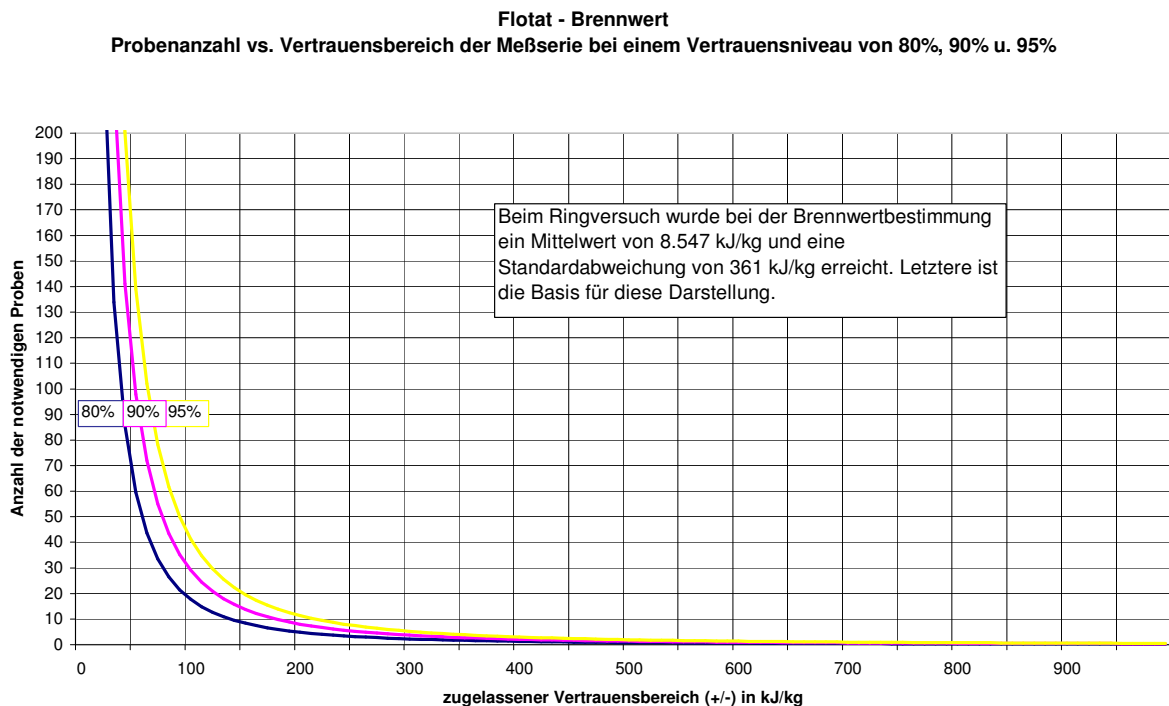


Abbildung 6.15: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für den Parameter Brennwert im Flotatschlamm

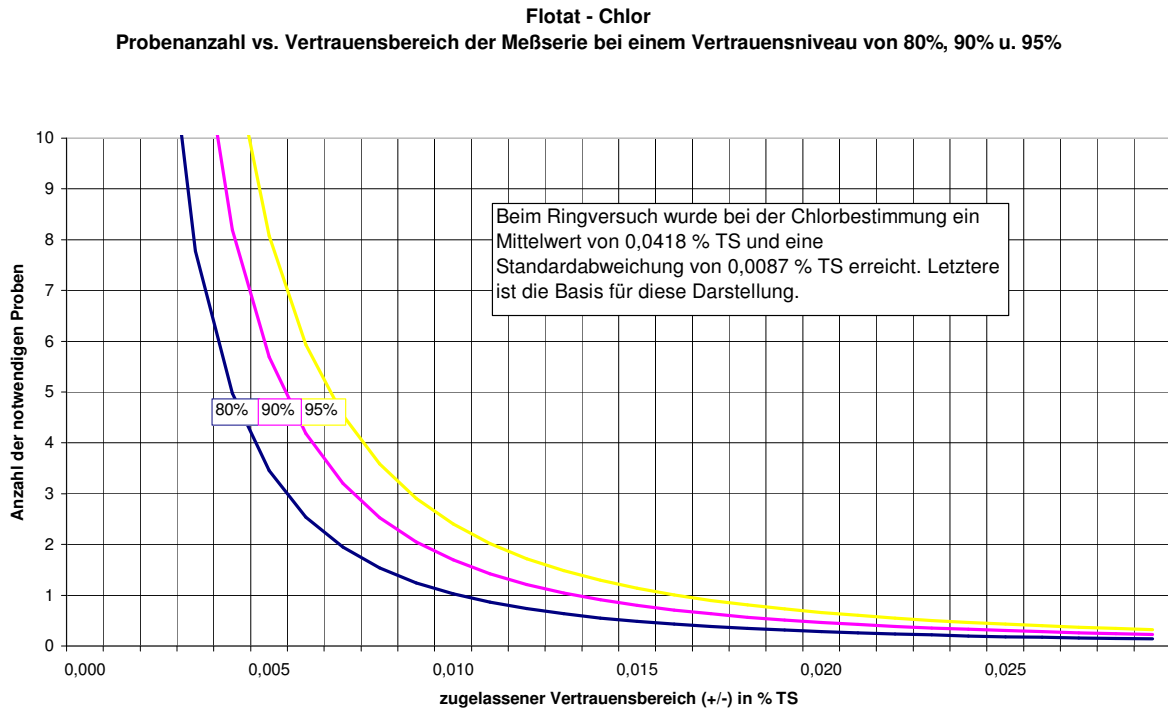


Abbildung 6.16: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Chlor im Flotatschlamm

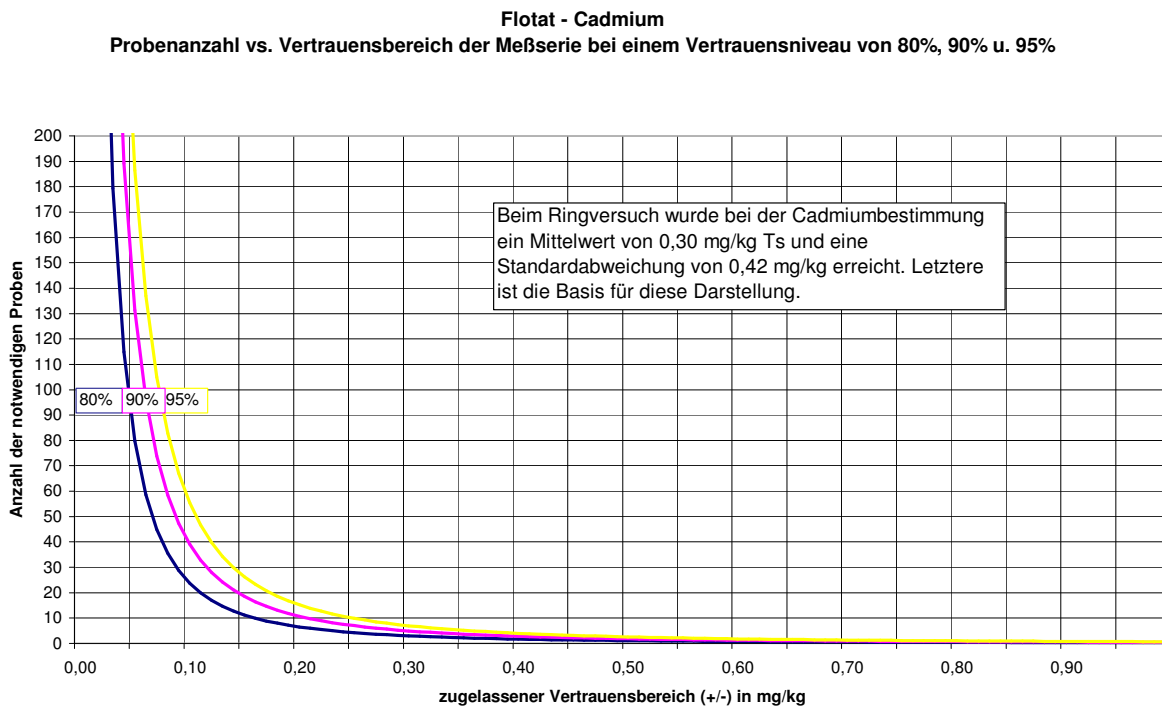


Abbildung 6.17: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Cadmium im Flotatschlamm

6.7 Einordnung der untersuchten Ersatzbrennstoffe in Qualitätsklassen nach CEN/TC 343 und Finnischem Standard

Wie bereits unter Kapitel 6.4.4 bzw. Kapitel 5.2.1 dargestellt, existiert bereits ein Klassifizierungsschema für Ersatzbrennstoffe bzw. wird im Rahmen der Europäischen Union ein derartiges geschaffen. In diesem Zusammenhang ist die grundsätzliche Frage zu stellen, welche Auswirkungen derartige Systeme für den Handel zwischen Herstellern von Ersatzbrennstoffen und deren Verwertern mit sich bringen. Sehr oft wird als Vorteil angeführt, dass damit sowohl die Beschaffung als auch das Anbieten der Ersatzbrennstoffe am Markt erleichtert wird, wenn lediglich Buchstaben bzw. Ziffern oder Kombinationen davon anstelle der tatsächlichen Analysewerte angegeben werden. Da für die „Entschlüsselung“ dieser wieder Tabellen zur Anwendung kommen müssen, und dabei Fehler passieren können, lässt sich darin kein wesentlicher Vorteil erkennen. Auf jeden Fall sollten diese Systeme nicht dazu genutzt werden, um „Wertigkeiten“ (z.B. 1 = gut und 5 = schlecht) zu schaffen. Damit könnte auch die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Anlagen mit einer Rauchgasreinigung nach dem Stand der Technik mit einem negativen Image besetzt werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem Laborvergleichsversuch für die Mischkunststofffraktion aus der „Gelben Tonne“ den beiden Klassifizierungssystemen zugeordnet. Die Tabelle 6.28 zeigt die Qualitätsklassen nach dem Finnischen Standard für die beiden Parameter Chlor und Cadmium.

Tabelle 6.28 Auszug aus dem Klassifizierungsschema des Finnischen Standards [8]

Nummer	Kenngröße	Einheit (bezogen auf TS)	Qualitätsklassen		
			I	II	III
1	Chlorgehalt	M-% TS	< 0,15	< 0,50	< 1,50
7	Cadmiumgehalt	mg/kg TS	< 1,00	< 4,00	< 5,00

Trägt man für den Parameter Chlor die Mittelwerte aus Tabelle 6.20 in einem Diagramm auf, so wird ersichtlich, dass alle Werte der Klasse III zugeordnet werden können (Abbildung 6.18). Betrachtet man allerdings die Standardabweichung der Werte, so können die der Laboratorien mit der Nummer 5 und 17 auch in die Klasse III bzw. die Klasse I fallen.

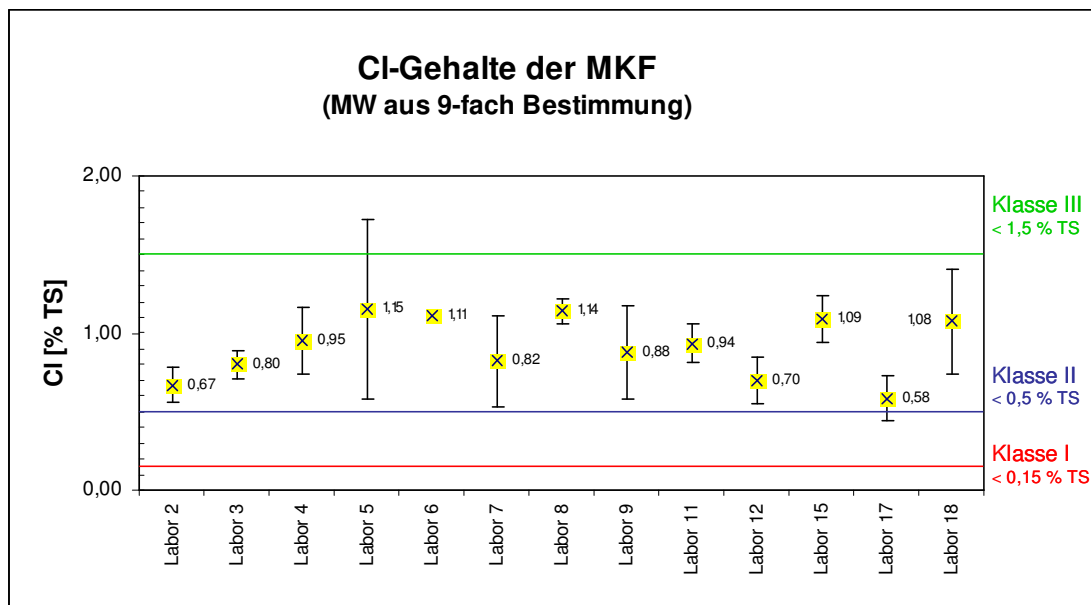


Abbildung 6.18: Darstellung der Chlorgehalte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas nach Finnischen Standard

In der Folgenden Abbildung 6.19 sind die Mittelwerte der Cadmiumgehalte aus Tabelle 6.21 grafisch dargestellt. Die farbigen Linien stellen die entsprechenden Klassengrenzen gemäß Finnischen Standard dar. Für diesen Parameter wird ersichtlich, dass bei einer Zuordnung der Werte aus dem Laborvergleichsversuch für denselben Ersatzbrennstoff unterschiedlichen Klassen resultieren. Ein und derselbe Ersatzbrennstoff entspricht dabei sowohl der Klasse II als auch der Klasse III. Einzelne Werte liegen sogar über der Grenze für die Klasse III.

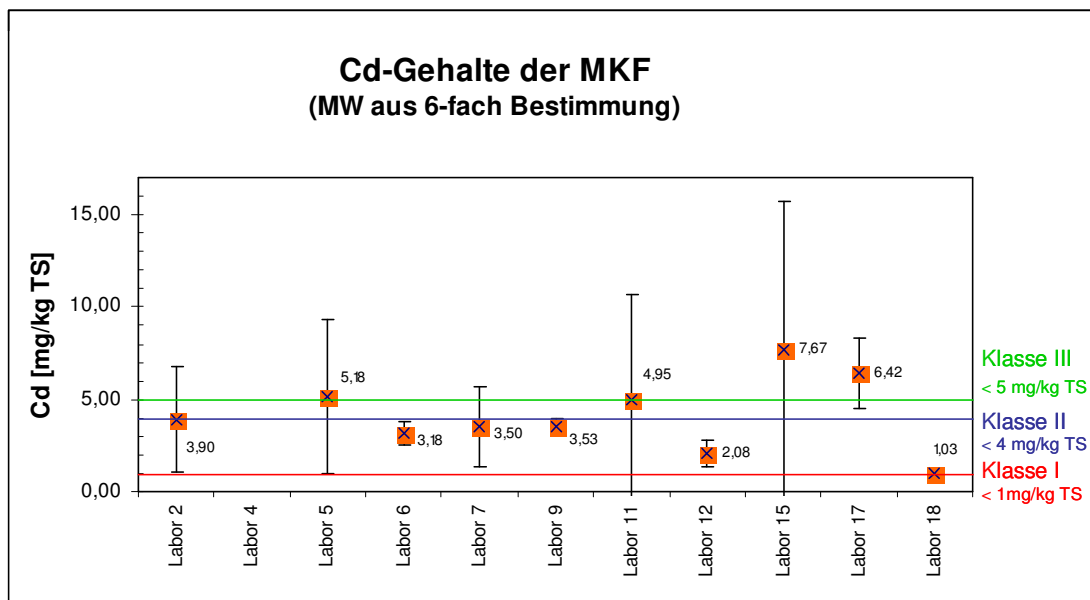


Abbildung 6.19: Darstellung der Cadmiumgehalte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas nach Finnischen Standard

Um für den Parameter Cadmium des Ersatzbrennstoffes MKF eine Zuordnung bzw. Unterscheidung zwischen Klasse II und III vornehmen zu können (Differenz von 1 mg/kg TS), bedarf es theoretisch mindestens eines Vertrauensbereiches von kleiner +/- 0,5 mg/kg TS. Nach Abbildung 6.14 sind dafür bei einer 80 %-igen Sicherheit rund 90 gleichartige Untersuchungen, bei einer 90 %-igen Sicherheit bereits 140 Probenuntersuchungen erforderlich.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen lässt sich an Hand des Parameters unterer Heizwert (H_u) darstellen. Die folgende Tabelle 6.29 zeigt einen Auszug aus dem Klassifizierungsentwurf für SRF nach CEN/TC 343. In diesem werden für verschiedene Parameter insgesamt 5 Klassen unterschieden (vergleiche Kapitel 6.4.4).

Tabelle 6.29 Auszug aus Klassifizierungsschema für SRF nach CEN/TC 343 [93]

Parameter	Statistische Größe	Einheit	Klassen				
			1	2	3	4	5
Heizwert	Mittelwert	MJ/kg FS	$x \geq 25$	$x \geq 20$	$x \geq 15$	$x \geq 10$	$x \geq 5$
Cl	Mittelwert	% TS	$y \leq 0,3$	$y \leq 0,6$	$y \leq 1,0$	$y \leq 1,5$	$y \leq 3,0$

Die Auswertung der Ergebnisse des Laborvergleichsversuches für den Parameter unterer Heizwert der MKF hat eine Standardabweichung von +/- 552,8 kJ/kg OS ergeben. Die folgende Abbildung 6.20 zeigt die Ergebnisse in grafischer Form (Mittelwerte aus drei Sammelproben mit je einer Einfachbestimmung). Es wird daraus ersichtlich, dass die Werte für diesen Parameter einen sehr gleichmäßigen Verlauf zeigen. Betrachtet man dazu die färbig abgebildeten Klassengrenze (Klasse 3, 4 und 5 wurde nicht dargestellt) so stellt sich folgende Situation dar: Trotz einer relativ geringen Standardabweichung der Messwerte ist keine eindeutige Zuordnung des Ersatzbrennstoffes MKF zur Klasse 1 (≥ 25.000 kJ/kg OS) bzw. der Klasse 2 (≥ 20.000 kJ/kg OS) möglich. Hier erscheint es von Vorteil zu sein, wenn die Klassen nicht nach regelmäßigen Abstufungen (25, 20, 15 ...), sondern an Hand von durchzuführenden praktischen Untersuchungen vorgenommen werden bzw. nach dem Vorliegen solcher angepasst werden.

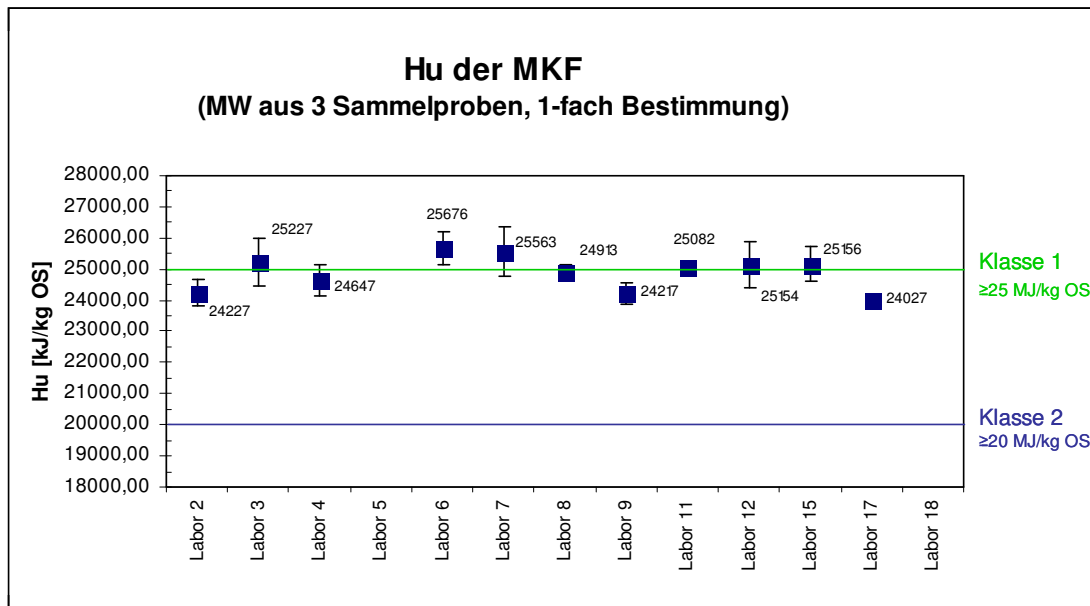


Abbildung 6.20: Darstellung der unteren Heizwerte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas für SRF nach CEN/TC 343 [93]

Aus den Abbildungen 6.19 und 6.20 lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Werden Klassen in zu engen Konzentrationsbereichen gezogen, muss ein entsprechend hoher Aufwand für die Probenahme und die Probenaufbereitung betrieben werden, welcher hauptsächlich aus Kostengründen in der Praxis schwer durchsetzbar ist.
2. Wird dieser Aufwand nicht betrieben, müssen die definierten Grenzen entsprechend aufgeweitet werden, damit eine eindeutige Zuordnung der Ersatzbrennstoffe erfolgen kann.

Eine gänzlich andere Situation zeigt sich für den Flotatschlamm aus der Papierindustrie. Gemäß

Tabelle 6.26 ergibt sich für diesen Ersatzbrennstoff für den Parameter Chlor ein Gesamtmittelwert von 0,042 %-TS und eine Standardabweichung von 0,0087%. Die Zuordnung der einzelnen Werte (Mittelwerte aus 3 Einzelproben) zu den unterschiedlichen Klassen ist in Abbildung 6.21 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass alle Werte deutlich unter der Grenze für die Klasse 1 liegen.

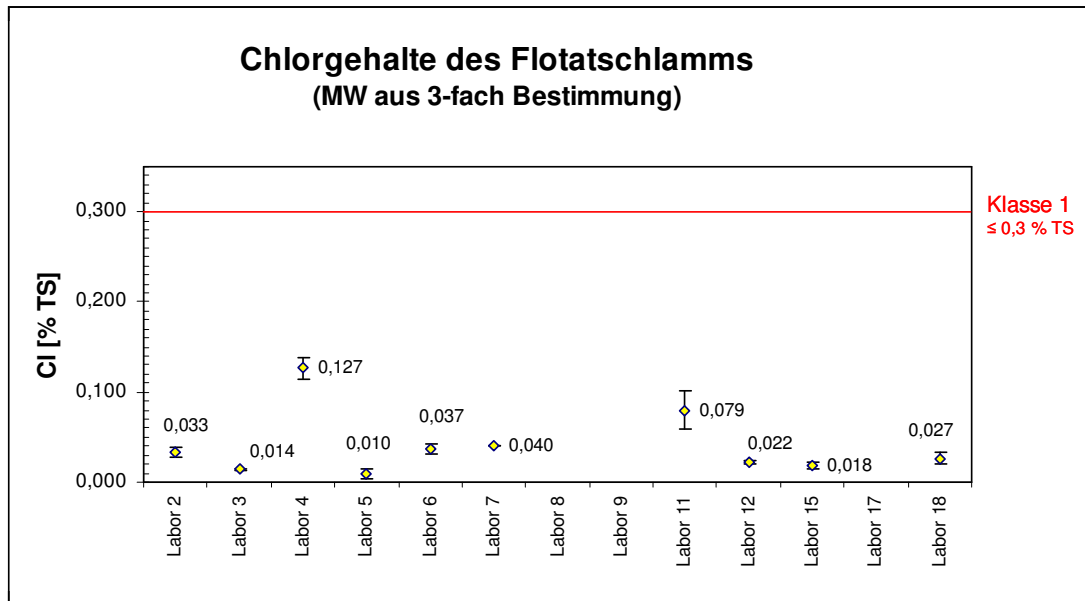


Abbildung 6.21: Darstellung der Chlorgehalte des Flotatschlammes und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas für SRF nach CEN/TC 343 [93]

Betrachtet man die Abbildung 6.21 so zeigt sich, dass bei sehr niedrigen Konzentrationen der Vertrauensbereich unter Umständen deutlich erweitert werden kann bzw. die Angabe einer Maximalkonzentration eine praxisnähere Variante darstellt. Dies legt die Forderung nach einer auf den Ersatzbrennstoff abgestimmten Vorgehensweise bei der Qualitätssicherung nahe.

Wie bereits an mehreren Stellen dieser Arbeit dargestellt, ist eine eindeutige Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden. Der Handel von Ersatzbrennstoffen passiert auf Verträgen zwischen einem Hersteller und einem Verwerter. Betrachten wir folgenden hypothetischen Fall:

Einer Lieferung liegt ein Ergebnis der Qualitätssicherung bei, in dem bescheinigt wird, dass der Ersatzbrennstoff z.B. in Hinblick auf den Parameter Chlor der Klasse 2 entspricht. Verbunden mit einem höheren Chlorgehalt ist ein geringerer Erlös beim Verkauf des Ersatzbrennstoffs. Im Zuge der thermischen Verwertung in einer industriellen Anlage tritt ein technisches Problem in Folge von Korrosion auf. Die darauf hin veranlasste Prüfung der Rückstellproben ergibt, dass der Ersatzbrennstoff in weiten Bereichen der Klasse 3 entspricht, und daher nur in geringerer Menge zum Einsatz hätte kommen dürfen. Die Frage die sich nun stellt ist, wer trägt die Verantwortung bzw. die entstandenen Kosten dafür?

6.8 Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffe

Betrachtet man die derzeitige Praxis bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen so zeigt sich, dass dazu eine Vielzahl von unterschiedlichen Regelungen zur Qualitätskontrolle zum Einsatz kommen. Es finden dabei Werke wie „Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Altholzrecycling“ [6] bzw. „Finnischer Standard“ [8] Anwendung, vielfach werden allerdings lediglich Vereinbarungen zwischen Ersatzbrennstoffhersteller und -verwerter getroffen. Allen gemein ist dabei der Umstand, dass die Kontrolle der Qualität sowohl beim Hersteller als auch beim Verwerter der Ersatzbrennstoffe überprüft wird, womit erhebliche Kosten verbunden sind. Ein umfassendes Qualitätssicherungskonzept kann hier entscheidende Vorteile bringen. Für die notwendige Akzeptanz bzw. die praktische Umsetzung eines solchen Konzeptes müssen allerdings zwei wesentlichen Anforderungen erfüllt werden:

- 1) Gewinnung von belastbaren Analysedaten für den Handel mit Ersatzbrennstoffen
- 2) Festschreibung eines „praxistauglichen“ Regelwerkes, welches mit vertretbaren Kosten realisiert werden kann.

In den nachfolgenden Kapiteln wird ein Qualitätssicherungssystem dargestellt, welches aus den Teilen Grundcharakterisierung, Eigen- und Fremdüberwachung sowie einem Spezifizierungsschema besteht.

6.8.1 Grundcharakterisierung und Erstprüfung

Den Ausgangspunkt der Qualitätssicherung stellt eine Grundcharakterisierung der Abfälle zur thermischen Verwertung dar. Entsprechend dem Vorgehen beim Laborvergleichsversuch erfolgt eine grundlegende Beurteilung des Abfallstromes, aus dem Ersatzbrennstoff hergestellt werden soll. Durch die Analyse von vorhandenen Daten (Herkunft, durchgeführte chemische Analysen, physikalische Daten, usw.) wird eine erste Entscheidung getroffen, ob es sich um einen homogenen oder einen weniger homogenen (bzw. heterogenen) Abfall handelt. Darauf aufbauend erfolgen die Planung der Probenahme und Probenaufbereitung gemäß Kapitel 6.5.2 sowie die praktischen Untersuchungen. Nach Auswertung dieser kann der entsprechende Abfall in das Gesamtkonzept aufgenommen werden (vergleiche Abbildung 6.27). Auch die künftige Deponieverordnung 2007, welche bereits als Entwurf zur Begutachtung vorliegt, wird eine grundlegende Charakterisierung der Abfälle beinhalten, welche unter anderem die Herkunft sowie eine Beurteilung der Abfälle anhand der Grenzwerte, aber auch die Ermittlung von Schlüsselvariablen (kritische Parameter für die Übereinstimmungsuntersuchung) umfasst [115].

Einen weiteren entscheidenden Bestandteil des Qualitätssicherungssystems bildet die Erstüberprüfung der qualitätssichernden Einrichtungen durch eine übergeordnete Institution (z.B. ÖG-SET). Diese bezieht sich sowohl auf die Eigen- als auch auf die

Fremdüberwachung. Die Erstprüfung dient dabei der Feststellung, ob die Voraussetzungen für eine Überwachung erfüllt werden können. Hierbei wird insbesondere festgestellt, ob die technische Ausrüstung und die personellen Voraussetzungen den Anforderungen entsprechen. Es muss dabei auch von der Qualitätssichernden Einrichtung nachgewiesen werden, dass die Überwachung kontinuierlich durchgeführt werden kann.

6.8.2 Probenahme- und Probenaufbereitungskonzept für die Eigen- und Fremdüberwachung

Einen wesentlichen Teil des Konzeptes stellen die Regelungen für die Probenahme und Probenaufbereitung im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung dar, welche im Folgenden abgeleitet werden. Basis dafür sind die Ergebnisse aus dem Laborvergleichsversuch, welche zur Entwicklung der Probenahme und Probenaufbereitungsschritte für die beiden untersuchten Ersatzbrennstoffe Mischkunststofffraktion (MKF) und Flotatschlamm herangezogen werden.

6.8.2.1 Konzept für Mischkunststofffraktion (MKF)

Für die Ableitung des Probenahmekonzeptes MKF als Mindestanforderung wird für den Parameter Chlor von einer 80 %-igen Sicherheit und 0,1 % Vertrauensbereich ausgegangen. Aus Abbildung 6.13 wird ersichtlich, dass dazu rund 12 Mischproben erforderlich sind. Damit kann davon ausgegangen werden, dass auch durch die Mindestprobenahme eine Unterscheidung in Klassen z.B. nach Finnischen Standard (siehe Abbildung 6.18) vorgenommen werden kann.

Der Parameter Brennwert kann durch eine solche Anzahl an Sammelproben (d.h. 12 Mischproben) auf rund ± 300 kJ/kg genau bestimmt werden (siehe Abbildung 6.12). Hier liegt es insbesondere im Ermessen des thermischen Verwerters von Ersatzbrennstoffen, die Qualität des Analyseergebnisses festzulegen. Ist kein derartig rigoroser Vertrauensbereich gefordert, so muss nicht jede gewonnenen Probe auf den Parameter unterer Heizwert untersucht werden, wobei beispielhaft mit sechs analysierten Proben ein Vertrauensbereich von ± 450 kJ/kg erreicht werden kann. Anhand der Beprobung und anschließender Analyse der MKF konnte gezeigt werden, dass für diesen Parameter eine probabilistische²¹ Probenahme mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden kann.

Für das Element Cadmium stellt sich die Situation hingegen anders dar. Geht man hier von einer 80 %-igen Sicherheit und einer Mischprobenanzahl von 12 aus so zeigt sich, dass der Gehalt an Cadmium mit rund $\pm 1,35$ mg/kg genau bestimmt werden kann (siehe Abbildung 6.14). Eine Reduktion der geforderten Präzision zu niedrigeren Werten würde den Aufwand der Probenahme und der Probenaufbereitung deutlich erhöhen (vergleiche Beispiel Seite 109).

²¹ orientiert sich an statistischen Modellen

Die folgende Tabelle 6.30 zeigt die Zusammenstellung der Angaben zum Vertrauensbereich für die Parameter Brennwert, Chlor und Cadmium in der MKF, bezogen auf eine 80% Sicherheit und eine Mischprobenanzahl von 12.

Tabelle 6.30: Angabe der Präzision für Brennwert, Chlor und Cadmium in der MKF (für 80 % Sicherheit und eine Mischprobenanzahl von 12) als Mindestanforderung.

Parameter	Vertrauensbereich
Brennwert	300 kJ/kg
Chlor	0,1 %
Cadmium	1,35 mg/kg

Daraus leitet sich das Konzept für die Probenahme der MKF ab, welches in der folgend dargestellten Abbildung 6.22 ersichtlich ist.

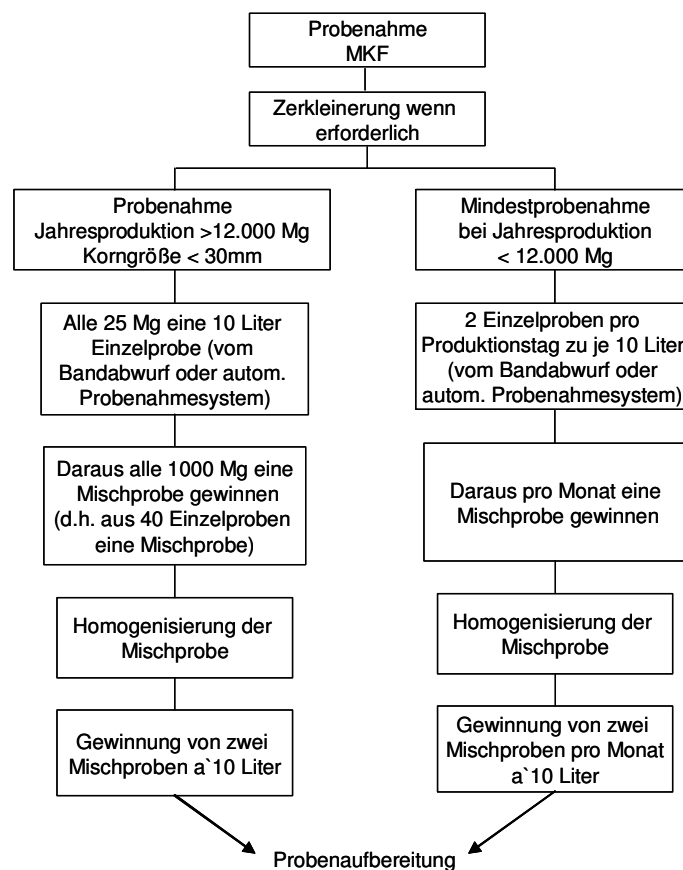


Abbildung 6.22: Entwickeltes Probenamekonzept für MKF

In der dargestellten Abbildung 3.1 stellt der linke Weg den Fall dar, dass die Jahresproduktion an MKF > 12.000 Mg/a beträgt. Entsprechend der Ausgangskorngröße der MKF erfolgt eine Zerkleinerung auf < 30 mm. In mengenproportionalen Intervallen werden

Einzelproben mit je 10 Liter entnommen und je 40 davon zu einer Mischprobe vereinigt. Die Intervalle orientieren sich dabei an den Vorgaben der „Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V.“. Durch die Mindestprobenahme (rechter Weg) kann gewährleistet werden, dass die erforderliche Mischprobenanzahl auch dann gewonnen wird, wenn die Jahresproduktion unter 12.000 Mg liegt. Die so gewonnenen Mischproben werden entsprechend der Abbildung 6.23 bis hin zur Laborprobe aufbereitet.

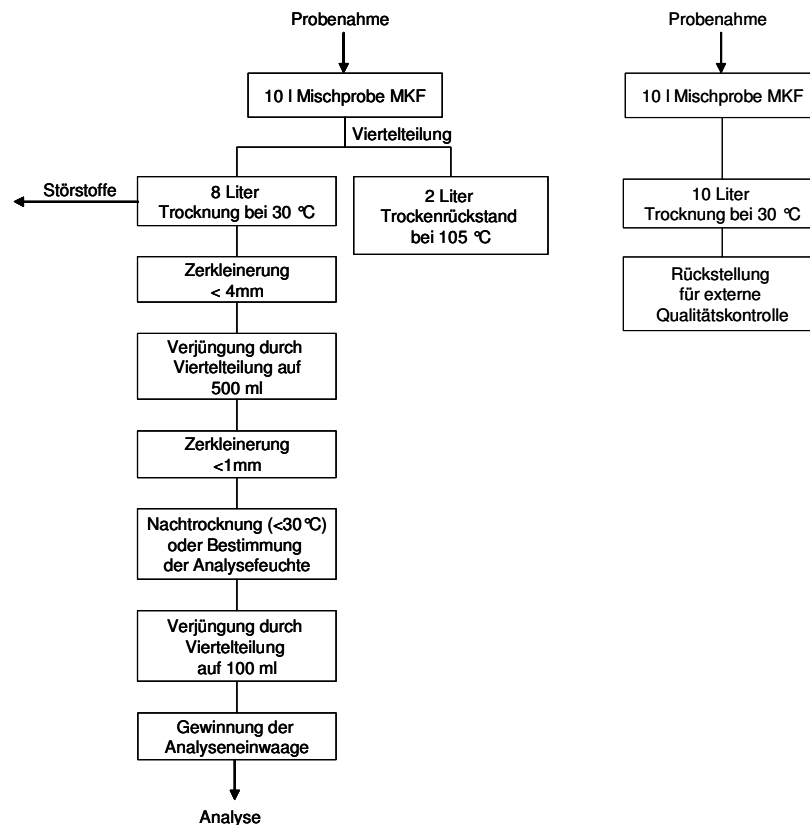


Abbildung 6.23: Entwickeltes Probenaufbereitungskonzept für MKF

Nach Ablauf des ersten Jahres sollte eine Überprüfung erfolgen, in wieweit die durchgeführte Qualitätskontrolle nach dem vorgeschlagenen Modus erfolgreich ist, bzw. ob eine Reduktion der Probenahmemenge bzw. der Analyseanzahl für die Parameter Chlor und Cadmium erfolgen kann.

6.8.2.2 Konzept für Flotatschlamm

Für die Ableitung des Probenahmekonzeptes Flotatschlamm (siehe Abbildung 6.24) wird für den Parameter Brennwert (H_o) von einer 80 %-igen Sicherheit und 100 kJ/kg Vertrauensbereich ausgegangen. Aus Abbildung 6.15 wird ersichtlich, dass dazu rund 18 Mischproben erforderlich sind.

Bei der Festlegung der Anzahl an Analysen für die verbleibenden Elemente ergibt sich die grundlegende Schwierigkeit der statistischen Berechnung der notwendigen Anzahl von Sammelproben für niedrige Gehalte. Wie aus Abbildung 6.17 ersichtlich wird, sind bei einem

niedrigen mittleren Cd-Gehalt von rund 0,30 mg/kg für eine z.B. 80 %-ige Sicherheit und einen Vertrauensbereich von 0,1 mg/kg sind rund 25 Mischproben erforderlich. Für homogenere bzw. weniger heterogene Fraktionen stellt sich somit eine Angabe des Vertrauensbereiches als %-Wert vom Mittelwert als nicht sinnvoll heraus (siehe Abbildung 6.21), da auf Grund der geringen Konzentrationen der Parameter im Ersatzbrennstoff die Anzahl an zu untersuchenden Proben sehr groß wird. Die Angabe des Vertrauensbereiches sollte in diesem Fall daher in maximal zulässigen Absolutwerten erfolgen (vgl. Tabelle 6.31)

Tabelle 6.31: Angabe der Präzision für Brennwert, Chlor und Cadmium im Flotatschlamm als Mindestanforderung

Parameter	Vertrauensbereich
Brennwert	100 kJ/kg
Chlor	0,01 %
Cadmium	0,5 mg/kg

Der vorgeschlagene Modus der Probenahme laut Abbildung 6.24 stellt somit einen Mindestaufwand zur Überprüfung der Gleichmäßigkeit des Brennwertes bzw. der Elementgehalte an Cl und Cd dar. Je Produktionstag wird eine Probe zu 2 Liter entnommen. Diese Einzelproben werden anschließend zu einer Monatsmischprobe vereinigt. Nach einer Homogenisierung werden daraus mittels Viertelteilung zwei Mischproben zu je 10 l gewonnen.

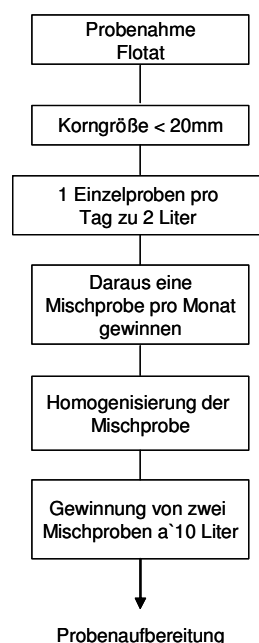


Abbildung 6.24: Vorgeschlagener Modus der Probenahme für Flotatschlamm

Die so gewonnenen Mischproben werden entsprechend der Abbildung 6.25 bis hin zur Laborprobe aufbereitet.

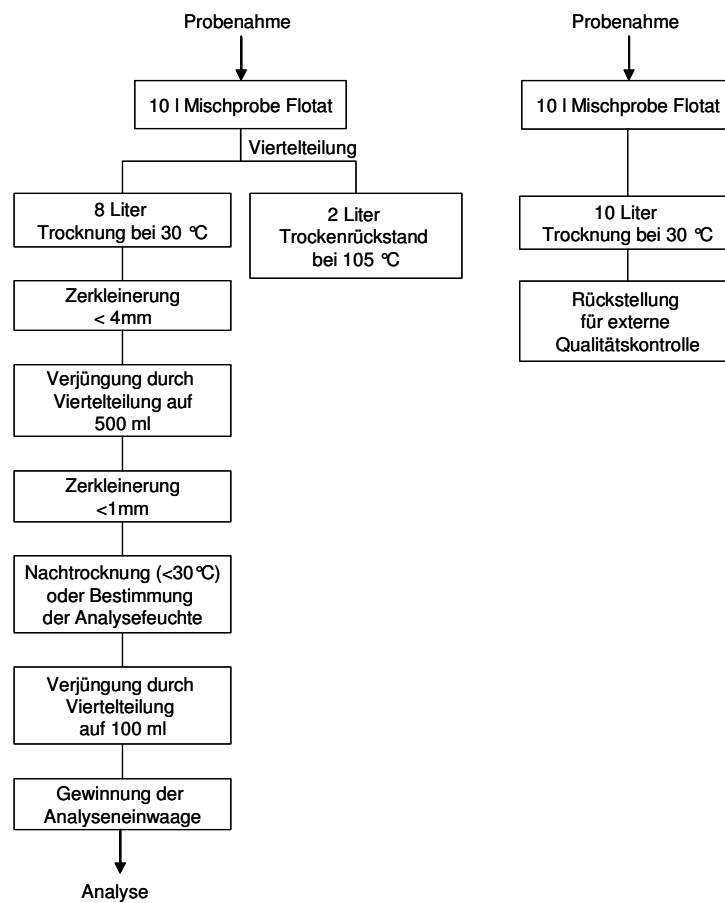


Abbildung 6.25: Grafische Darstellung der Entwickelten Probenaufbereitung für Flotatschlamm

Bei allen 18 gewonnenen Proben werden die zu untersuchenden Parameter bestimmt. Auch für dieses Konzept sollte nach Ablauf des ersten Jahres eine Überprüfung erfolgen. Bei Bedarf kann die nach dem vorgeschlagenen Modus durchzuführende Qualitätskontrolle angepasst werden.

6.8.3 Fremdüberwachung

Die Anzahl an Fremdüberwachungen bezieht sich auf ein Jahr und richtet sich nach der jeweils erzeugten Menge an Ersatzbrennstoffen (siehe Tabelle 6.32). Für die Durchführung der Fremdüberwachung sollen nur qualifizierte Laboratorien herangezogen werden, welche über entsprechende Erfahrungen im Bereich der Abfallanalytik verfügen und darüber hinaus interne Qualitätsstandards erfüllen (z.B. Akkreditierung nach ISO 17025).

Aus den gewonnenen Rückstellproben (siehe Abbildung 6.23 und Abbildung 6.25) wird eine nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und entsprechend den Vorgaben aufbereitet und

analysiert. Sollten sich dabei Abweichungen in den Analyseergebnissen zeigen, sind zwei weitere Rückstellproben durch das externe Laboratorium zu untersuchen. Zusätzlich zu den analytischen Untersuchungen wird durch die externe Stelle eine Systemüberprüfung vorgenommen. Diese beinhaltet die Durchsicht und Kontrolle der Aufzeichnungen bzw. eine Überprüfung der Funktion der Geräte für die Zerkleinerung.

Tabelle 6.32: Vorgeschlagene Anzahl an Fremdüberwachungen

Erzeugte Menge an Ersatzbrennstoffen [Mg/a]	Anzahl der Überwachungen/a
≤ 30.000	zwei
> 30.000 ≤ 40.000	drei
> 40.000 ≤ 60.000	vier
≥ 60.000	fünf

6.8.4 Spezifizierungsschema

Für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen müssen dem Verwerter die benötigten Informationen zur Verfügung gestellt werden, damit ein reibungsfreier Betrieb gewährleistet werden kann. Das im Folgenden dargestellte Spezifizierungsschema (Tabelle 6.33) stellt die Grundlage dazu dar. Entgegen den beschriebenen Klassifizierungssystemen werden dabei für die untersuchten Parameter keine Klassen, sondern konkrete Analysewerte eingetragen. Die Auswahl der zu untersuchenden Parameter kann auf die Erfordernisse der Verwertungsanlagen abgestimmt werden (siehe Qualitätsmerkmale).

Tabelle 6.33: Vorgeschlagenes Spezifizierungsschema

Allgemeines		Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale								Sonstige Qualitätsmerkmale	
Bezeichnung	Abfall SNr.	unterer Heizwert (H _u)	AG	WG	Cl	Hg	Cd	S	K	Förderbarkeit	Lagerbarkeit

Ein derartiges Spezifizierungsschema bietet für Hersteller und Verwerter von Ersatzbrennstoffen wesentliche Vorteile. Betrachte man die Situation der Ersatzbrennstoffverwerter, so kann z.B. über ein EDV-gestütztes System ein Ersatzbrennstoff mit bestimmten Qualitätsmerkmalen am Markt angefragt werden. Zusätzlich dazu besteht durch die Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für die einzelnen Parameter (Abbildung 6.12 bis 6.14) die Möglichkeit, eine QS-Sicherung zu definieren, welche über die Mindestanforderung (Tabelle 6.30 und Tabelle 6.31) hinausgeht. Die Angabe des erforderlichen Vertrauensbereiches im Spezifizierungsschema führt damit unmittelbar zu einer geänderten Anzahl an zu untersuchenden Proben. Die Hersteller von Ersatzbrennstoffen haben nun die Möglichkeit diese Ersatzbrennstoffqualität zu liefern.

Zusätzlich dazu können aber auch Ersatzbrennstoffe mit entsprechend definierter Qualität (durch Angabe von Standardparametern wie z.B. unterer Heizwert oder Chlor) am Markt angeboten werden.

Im Rahmen der weiteren Diskussion sollte festgelegt werden, ob Parameter wie der untere Heizwert, der Chlorgehalt und der Cd-, bzw. der Hg-Gehalt als für alle Ersatzbrennstoffe verpflichtend zu untersuchende Parameter zu definieren sind.

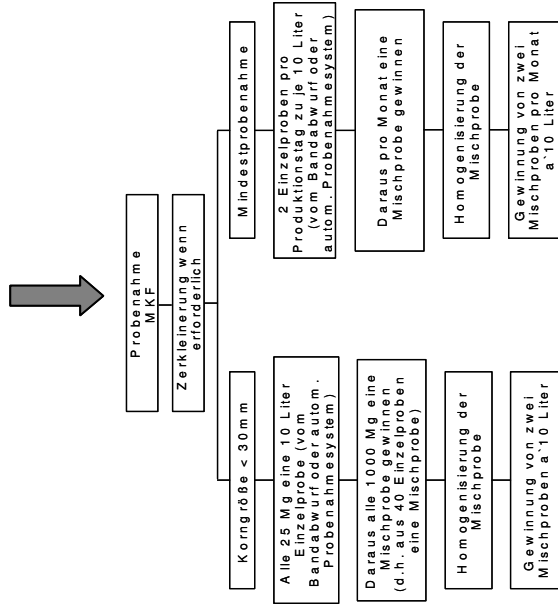
6.8.5 QS-Konzept und Integration in betriebliche Abläufe

Für eine langfristige Sicherung der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen ist die kontinuierliche Anlieferung von qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen von entscheidender Bedeutung. Die folgende Abbildung 6.26 zeigt den Teilbereich „Eigenüberwachung“ des entwickelten Qualitätssicherungskonzeptes für Ersatzbrennstoffe in grafischer Form.

Eigenüberwachung

Ersatzbrennstoffhersteller
Organisationsqualität
Produktqualität durch
QM-Systeme
(ISO 9001:2000, EFB)

Wenig homogene Ersatzbrennstoffe



Homogene Ersatzbrennstoffe

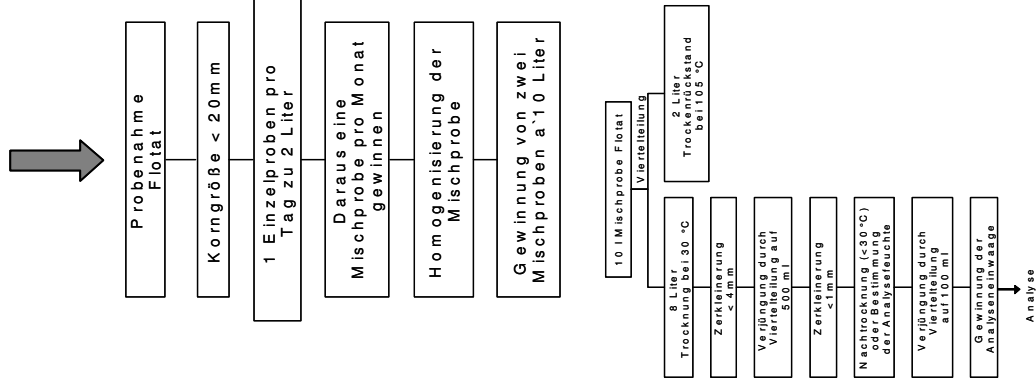


Abbildung 6.26: Teilbereich Eigenüberwachung des entwickelten Qualitätssicherungskonzeptes für Ersatzbrennstoffe

In der folgenden Abbildung 6.27 ist das Gesamtkonzept der Qualitätssicherung, welches im Rahmen dieser Forschungsarbeit entwickelt wurde, grafisch dargestellt.

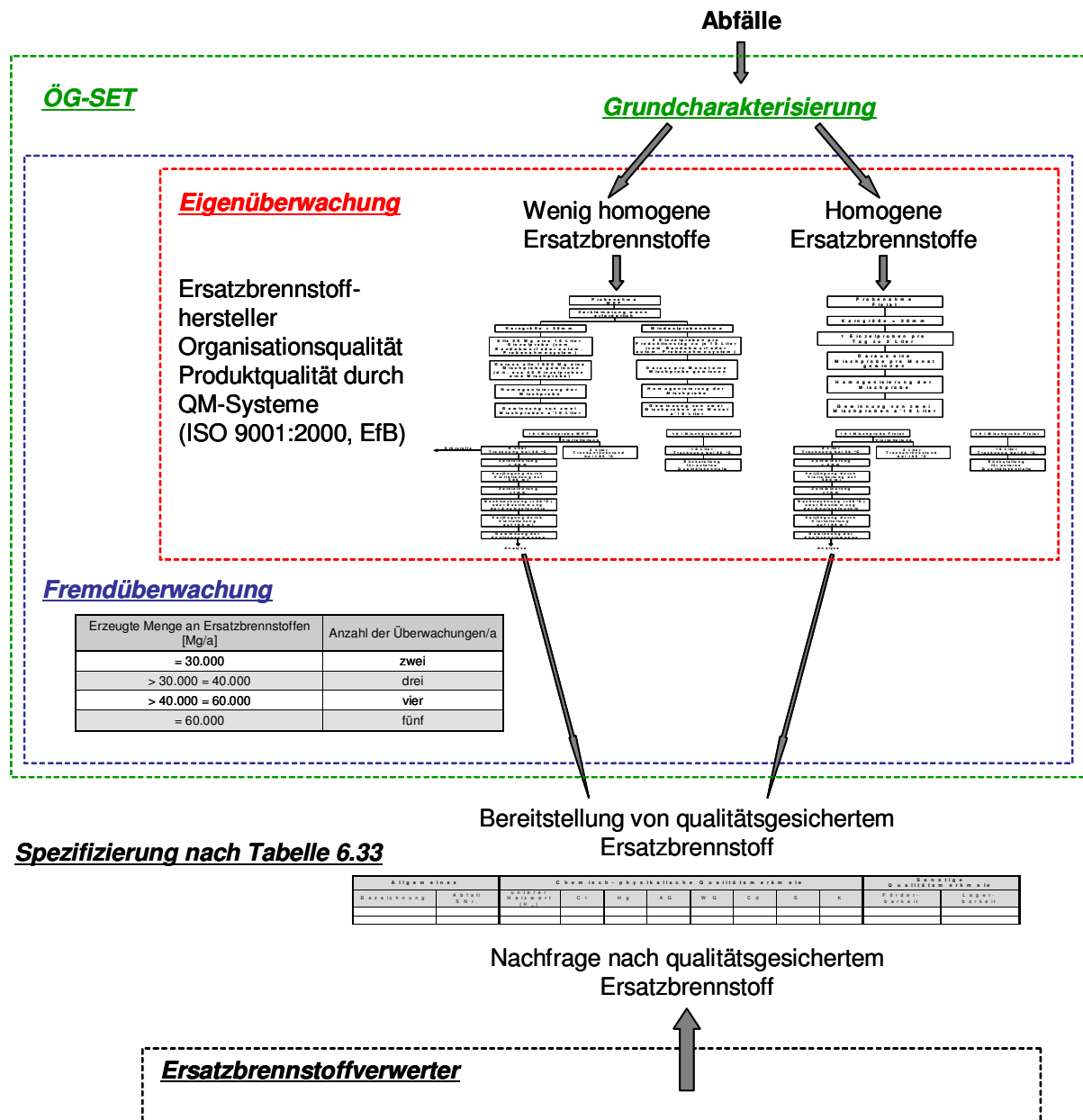


Abbildung 6.27: Entwickeltes Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffe

Der steigende Kostendruck auf Unternehmen, die potenzielle Abnehmer von Ersatzbrennstoffen sind, (z.B. Zementindustrie, Energieversorgungsunternehmen) bringt mit sich, dass ständig neue Abfälle untersucht werden, in wie weit diese zur Substitution von Regelbrennstoffen herangezogen werden können. Sollen diese Abfälle nach dem vorliegenden QS-Konzept güteüberwacht werden, so ist dafür eine Grundcharakterisierung erforderlich, damit eine entsprechende Unterteilung in homogen oder weniger homogen (bzw. heterogen) durchführbar ist. Als koordinierende Stelle würde sich hier die Plattform der ÖG-SET anbieten [84]. Die Einrichtung eines organisatorischen Rahmens für die Qualitätssicherung bringt zahlreiche Vorteile mit sich. Unter anderen sind dies die nachfolgend angeführten:

- Gütekennzeichen für die Fähigkeit eines Betriebes, definierte Brennstoffqualitäten herstellen zu können.
- Zentrale Datensammlung als Basis für die Weiterentwicklung des QS-Konzeptes.
- Diskussionsplattform für Ersatzbrennstoffhersteller, -verwerter, Behörden und Wissenschaft.
- Ergebnisse der Arbeiten können über Verbände und Interessensgemeinschaften gezielt auf EU-Ebene bekannt gemacht und in internationale Aktivitäten eingebracht werden.

Die Basis des Qualitätssicherungskonzeptes bilden die Eigen- und Fremdüberwachung mit den entsprechenden, auf den Ersatzbrennstoff abgestimmten, Probenahme- und Probenaufbereitungsschritten. Die Qualitätssicherung im Unternehmen in Hinblick auf die Ermittlung der Gehalte der unterschiedlichen Parameter im Ersatzbrennstoff (Eigenüberwachung) kann entweder durch betriebsinterne aber auch durch externe Laboratorien vorgenommen werden. Hingegen soll die Fremdüberwachung ausschließlich durch externe Einrichtungen durchgeführt werden.

Wie bereits unter Kapitel 6.2 beschrieben, ist die Produktqualität unmittelbar mit der Organisationsqualität verbunden. Eine Reihe von Qualitätsmindernden Einflüssen kann durch Optimierung der betriebsinternen Abläufe deutlich reduziert werden. Als Beispiel dazu sei der vermehrte Eintrag von Störstoffen und die Erhöhung des Wassergehaltes der Ersatzbrennstoffe bei nicht vollständig überdachten Lagerflächen angeführt, die durch ein entsprechendes Lagermanagement verhindert bzw. vermindert werden können. Die Integration des QS-Konzeptes in Managementsysteme wie dem nach ISO 9001:2000 bzw. dem Qualitätszertifikat des Vereins zur Verleihung des Zertifikats eines Entsorgungsbetriebes (V.EFB), welches dieses fachspezifisch ergänzt aber auch eigenständig zur Optimierung von Betriebsabläufen eingesetzt wird, kann wesentlich zu einer Erhöhung des Qualitätsstandards beitragen.

Die Qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffe werden entweder durch den Ersatzbrennstoffhersteller am Markt angeboten, können jedoch auch durch einen

Ersatzbrennstoffverwerter in der speziell für seine Anlage erforderlichen Qualität am Markt nachgefragt werden. Die Grundlage dazu bildet ein Spezifizierungsschema (siehe 6.8.4), in welches die Charakteristika des Ersatzbrennstoffes eingetragen werden können.

7 Zusammenfassung

Kern einer nachhaltigen Wirtschaft ist die Steigerung der Effizienz, wobei einer Erhöhung der Materialeffizienz eine vorrangige Bedeutung zukommt, welche maßgebend für eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist. Diese Steigerung der Wirtschaftlichkeit sollte dabei allerdings nicht nur die Bereiche der Versorgung mit Gütern umfassen, sondern insbesondere auch das Gebiet der Abfallbehandlung beinhalten. Daraus lässt sich ableiten, dass neben der Vermeidung auch die Verwertung und Beseitigung im Sinne einer nachhaltigen Abfallwirtschaft in der Regel hohe Priorität verdient.

Gemäß österreichischem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) kommt dem Schutz von Mensch und Umwelt, der Schonung der natürlichen Ressourcen sowie dem Verbleib emissionsneutraler Rückstände unter gleichzeitiger Schonung von Deponieraum oberste Priorität zu. Umweltbelastungen sind durch geeignete Maßnahmen zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen auf ein Minimum zu reduzieren.

Auf dem Gebiet der Verwertung von Ersatzbrennstoffen lag bisher das Hauptaugenmerk der Forschung und Entwicklung auf Seiten der Konzeption geeigneter Maschinen und Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus unterschiedlichsten Abfallfraktionen. Gleichzeitig dazu wurde der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in diversen industriellen Anlagen untersucht. Erst in jüngster Vergangenheit wird ein verstärktes Augenmerk auf die Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen gelegt. Diese beinhaltet einerseits die Definition von Parametern (z.B. Schwermetallgehalte, ...) und andererseits die Ableitung von Anforderungen für deren Einsatz (z.B. Förderbarkeit, ...). Sehr oft werden diese jedoch nicht hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen beschrieben. Sowohl für Hersteller von Ersatzbrennstoffen als auch für Verwerter ist dies allerdings sehr entscheidend, da einerseits eine Produktion nach geforderten Eigenschaften erfolgen und andererseits die Sicherheit hinsichtlich einer gleich bleibenden Qualität dieser bedeutend erhöht werden könnte.

In vielen Regelwerken beschränkt sich die Qualitätssicherung in der Richtwertfestlegung für Schadstoffe in Abfällen, welche eingehalten werden müssen, damit diese in entsprechenden Anlagen einer thermischen Verwertung zugeführt werden können. Als Beispiel dazu seien die Richtwerte der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) bzw. die Richtwerte der Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und die Positivliste der österreichischen Zementindustrie angeführt. Alle diese veröffentlichten Regelwerke beziehen sich einzig auf den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie. Für andere, wesentliche Industriezweige wie z.B. Wirbelschichtanlagen der Papierindustrie existieren zurzeit keine entsprechenden Vorgaben.

Entscheidend für die Bestimmung der Eigenschaften von Ersatzbrennstoffen sind die Probenahme und die Probenaufbereitung. Die Art und Weise wie diese Schritte zu erfolgen haben, wird zwar in unterschiedlichen Regelwerken allgemein definiert, in der Praxis sollte diese jedoch auf entsprechende Ersatzbrennstoffe oder Gruppen von Ersatzbrennstoffen,

welcher einer thermischen Verwertung zugeführt werden, abgestimmt und in einer zusammenfassenden Regelung festgeschrieben sein.

Die Vorgaben der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. geben hinsichtlich der Eigen- und Fremdüberwachung ein äußerst schlüssiges Konzept vor, während bei der Probenahme eine Unterscheidung in Abhängigkeit von der Heterogenität der Ersatzbrennstoffe von Vorteil wäre. Die Problematik der unterschiedlichen Anforderungen seitens der Anlagenbetreiber im Zusammenhang mit Parametern wie Störstoffgehalt, Korngröße oder verschiedenen Elementkonzentrationen konnte allerdings nicht gelöst werden, die Anforderungen werden durch das RAL-Gütezeichen weit übererfüllt.

Neben den beschriebenen Anforderungen muss ein umfassendes Qualitätssicherungssystem derart aufgebaut sein, dass es leicht in betriebliche Abläufe, sowohl beim Hersteller als auch dem Verwerter von Ersatzbrennstoffen, integriert werden kann und somit auch den Bereich der Organisationsqualität beinhalten.

Vor diesem Hintergrund lagen die wesentlichen Ziele der vorliegenden Forschungsarbeit in den folgend dargestellten Bereichen:

1. Festlegung von Kriterien für die thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen.
2. Darstellung und Analyse vorhandener Methoden der Probenahme und Probenaufbereitung sowie bestehender Konzepte der Qualitätssicherung.
3. Durchführung eines Laborvergleichsversuches.
4. Ableitung eines umfassenden Qualitätssicherungskonzeptes für zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe auf Basis der Daten des Laborvergleichsversuches.

Bereits im Jahr 2000 begannen erste Gespräche von Repräsentanten unterschiedlicher Organisationen zur Initiierung von Untersuchungen im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen. Durch die finanzielle Unterstützung seitens des Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft und der beteiligten Institutionen konnte unter Federführung des IAE-Institutes der Montanuniversität Leoben eine Plattform (Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger – ÖG-SET) gegründet werden, deren Aufgabe in der Ableitung von qualitativen Mindestanforderungen von Ersatzbrennstoffen lag. Entsprechend den unterschiedlichen Industriesparten und den dort angewandten thermischen Verwertungstechnologien, wie bspw. Wirbelschicht, Drehrohrofen, Kohlestaubfeuerungen, wurden insgesamt fünf Arbeitsgruppen (Zementindustrie, Papier-/Faser-/Plattenindustrie, Elektrizitätsindustrie, Stahl- und Holzindustrie) gebildet. Zur ganzheitlichen Betrachtung der Thematik waren bei den Gesprächen in den einzelnen ÖG-SET Arbeitsgruppen sowohl Hersteller als auch Verwerter von Ersatzbrennstoffen vertreten.

Für die unterschiedlichen Verwertungstechnologien wurden wesentliche Kriterien für eine thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen erarbeitet und festgelegt. Dabei wurde prinzipiell nach drei unterschiedlichen Arten von Kriterien bzw. Qualitätsmerkmalen unterschieden:

- Ausschlusskriterien,
- Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale,
- Sonstige Qualitätsmerkmale.

Im Rahmen des Projektes *Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen* wurde ein Laborvergleichsversuch durchgeführt. Ziel dieses Ringversuchs war es unter anderem, den Einfluss der Probenahme auf die Gesamtmessunsicherheit bei einem vorher geplanten Probenahmekonzept zu ermitteln bzw. die Datengrundlage für die Ableitung des Qualitätssicherungskonzeptes zu schaffen.

Die Auswahl der Ersatzbrennstoffe für den Laborvergleichsversuch erfolgte nach den beiden Kriterien Homogenität und deren mengenmäßige Verfügbarkeit. Ein weiteres wesentliches Entscheidungskriterium waren praktische Erfahrungen im Einsatz der Ersatzbrennstoffe in industriellen Anlagen. Vor diesem Hintergrund wurden zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe – ein wenig heterogener (Flotatschlamm aus der Papierindustrie), und ein heterogener (Mischkunststofffraktion der „gelben Tonne“) – ausgewählt. Die Regelungen für die Probenahme und Probenaufbereitung im Rahmen des Qualitätssicherungskonzeptes sollte auf die entsprechenden Gruppen abgestimmt werden. Dies birgt den entscheidenden Vorteil in sich, dass weitere Ersatzbrennstoffe nach einer Grundcharakterisierung diesen Gruppen zugeordnet werden können.

Grundlage für die statistischen Berechnungen zur Erstellung eines Probenahmeplans für den Ringversuch bildete das Regelwerk prEN 14899:2004. Ausgehend von zu definierenden Parametern erfolgte die Berechnung der Probenahmemenge und der Anzahl der zu nehmenden Proben.

Als Ergebnis der vorliegenden Arbeit liegt nun erstmalig ein Qualitätssicherungskonzept vor, dessen Kern die Eigen- und Fremdüberwachung mit den entsprechenden, auf den Ersatzbrennstoff abgestimmten, Probenahme- und Probenaufbereitungsschritten bilden. Die Qualitätssicherung im Unternehmen in Hinblick auf die Ermittlung der Gehalte der unterschiedlichen Parameter im Ersatzbrennstoff (Eigenüberwachung) kann dabei entweder durch betriebsinterne aber auch durch externe Laboratorien vorgenommen werden. Hingegen soll die Fremdüberwachung ausschließlich durch externe Einrichtungen durchgeführt werden.

Ergänzend zu den Inhaltsstoffen ist die Qualität der Ersatzbrennstoffe unmittelbar mit der Organisationsqualität verbunden. Eine Reihe von qualitätsmindernden Einflüssen kann durch

Optimierung der betriebsinternen Abläufe deutlich reduziert werden. Als Beispiel dazu sei der vermehrte Eintrag von Störstoffen und die Erhöhung des Wassergehaltes der Ersatzbrennstoffe bei nicht vollständig überdachten Lagerflächen angeführt, die durch ein entsprechendes Lagermanagement verhindert bzw. vermindert werden können. Die Integration des QS-Konzeptes in bestehende Managementsysteme wie dem nach ISO 9001:2000 bzw. dem Qualitätszertifikat des Vereins zur Verleihung des Zertifikats eines Entsorgungsfachbetriebes (V.EFB), welches dieses fachspezifisch ergänzt aber auch eigenständig zur Optimierung von Betriebsabläufen eingesetzt wird, ist einfach vorzunehmen und kann wesentlich zu einer Erhöhung des Qualitätsstandards beitragen.

Neben der Festlegung von Schadstoffgrenzwerten aus Umweltschutzgründen ist es ebenso wichtig, die Spezifikation, die aus verfahrenstechnischer Sicht an die Ersatzbrennstoffe gestellt wird, festzulegen. Darüber hinaus gilt eine Vielzahl anderer Anforderungen an Ersatzbrennstoffe im Hinblick auf eine steigende Nachfrage als relevant. Daher wurden im vorliegenden Konzept nicht nur Schadstoffgehalte, sondern auch physikalische Parameter wie Heizwert und Schüttgewicht aber auch ergänzende Parameter wie Förderbarkeit oder Lagerfähigkeit berücksichtigt. Die Angabe dieser zusätzlichen Parameter bzw. Informationen wird die Kommunikation zwischen Ersatzbrennstoffherstellern und -verwertern wesentlich erleichtern. Die qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffe werden entweder durch den Ersatzbrennstoffhersteller am Markt angeboten, können jedoch auch durch einen Ersatzbrennstoffverwerter in der speziell für seine Anlage erforderlichen Qualität am Markt nachgefragt werden. Die Grundlage dazu bildet das erarbeitete Spezifizierungsschema, in welches die erforderlichen Charakteristika des Ersatzbrennstoffes eingetragen werden können.

Für eine langfristige Sicherung der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen in industriellen Anlagen ist die kontinuierliche Anlieferung von qualitätsgesicherten Ersatzbrennstoffen von entscheidender Bedeutung. Der steigende Kostendruck auf Unternehmen, die potenzielle Abnehmer von Ersatzbrennstoffen sind (z.B. Zementindustrie, Energieversorgungsunternehmen), bringt mit sich, dass ständig neue Abfälle untersucht werden, in wieweit diese zur Substitution von Regelbrennstoffen herangezogen werden können. Sollen diese Abfälle nach dem vorliegenden QS-Konzept güteüberwacht werden, so ist dafür eine Grundcharakterisierung erforderlich, damit eine entsprechende Unterteilung in homogen oder weniger homogen (bzw. heterogen) durchführbar ist. Als koordinierende Stelle würde sich hier die Plattform der ÖG-SET anbieten.

8 Weiterer Forschungsbedarf

Die Machbarkeit der Substitution von Energieträgern durch Ersatzbrennstoffe aus Abfällen (SRF) ist an eine Vielzahl von Rahmenbedingungen gebunden. Wie in der vorliegenden Arbeit dargestellt, ist eine der wesentlichen die Sicherung der Ersatzbrennstoffqualität. Im Hinblick auf die Festlegung von Qualitätsmerkmalen stellen die physikalisch-chemischen Eigenschaften und dabei insbesondere die Schwermetallgehalte bzw. der Gehalt an Chlor eine entscheidende Bedeutung dar. Darüber hinaus sind aber auch andere Kriterien von Bedeutung, welche in derzeitigen Regelwerken noch nicht berücksichtigt sind. Hierbei besteht allerdings die Schwierigkeit, dass sich vorhandene Methoden zur Analyse von Regelbrennstoffen nur eingeschränkt auf Ersatzbrennstoffe übertragen lassen.

Als Beispiel dazu sei das Zünd- und Ausbrandverhalten angeführt, welches von einer Reihe von Parametern wie dem Anteil an flüchtigen Bestandteilen oder der Korngrößenverteilung abhängig ist. Für Ersatzbrennstoffe müssen die Charakterisierungsmethoden im Hinblick auf diese Merkmale (auf Basis der vorhandenen Erfahrungen mit unterschiedlichen Primärbrennstoffen) erst abgeleitet bzw. auch gänzlich neu entwickelt werden. Für chemische und physikalische Merkmale sind bei den Bestimmungsmethoden im Gegensatz zu den reaktionstechnischen Parametern bereits entsprechende Arbeiten durchgeführt worden.

Aus praktischer Sicht stellt die Weiter- bzw. Neuentwicklung von Methoden zur Bestimmung der sonstigen Qualitätsmerkmale, die nach dem vorliegenden QS-Konzept bei Bedarf ebenfalls in den einzelnen Liefervereinbarungen festgelegt werden, einen wichtigen Teil zukünftiger Forschungsarbeiten dar. Ergänzend dazu muss eine kritische Diskussion darüber erfolgen, ob eine Einschränkung der Qualitätsmerkmale auf bestimmte Parameter erfolgen kann.

Durch die Anwendung des Modells CEN/TC 292/WG1 [67] ist die maximale Korngröße der zu untersuchenden Ersatzbrennstoffe für die Berechnung der Probenahmemengen (sowohl für Einzel- als auch Sammelprobe) von entscheidender Bedeutung, da diese direkt proportional zur dritten Potenz der Korngröße sind. Die gängige Praxis bei der Herstellung der Analyseprobe ist eine Zerkleinerung auf < 1 mm. In einigen Regelwerken wird allerdings eine Aufbereitung der Analyseprobe auf $< 0,25$ mm gefordert [78]. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, inwieweit der Probenahmefehler der Analyseprobe durch eine derartige Zerkleinerung reduziert werden kann. Zusätzlich dazu wäre es von Vorteil, Siebanalysen nach der Zerkleinerung der Ersatzbrennstoffe (für alle beschriebenen Zerkleinerungsaggregate) durchzuführen. Innerhalb der gewonnenen Korngrößenklassen sollten dann entsprechende Analysen vorgenommen werden, inwieweit eine Anreicherung bestimmter Parameter in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung erfolgt.

9 Verzeichnisse

9.1 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AAS	Atomabsorptionsspektrometer bzw. -metrie
AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
Abs.	Absatz
AG	Aschegehalt
AgNO ₃	Silbernitrat
Al	Aluminium
AQS	Analytische Qualitätssicherung (Baden-Württemberg)
ARA	Altstoff Recycling Austria AG
ASA	Abfall Service Austria
As	Arsen
Art.	Artikel
B	Bor
Ba	Barium
Be	Beryllium
BG	Bestimmungsgrenze
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMUJF	Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
Br	Brom
BUWAL	Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landschaft
bzw.	beziehungsweise
Cl	Chlor
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
CEN	European Committee for Standardization
cm.	Zentimeter
Cr	Chrom
CRM	Referenzmaterial CRM 144 R
Co	Cobalt
CO ₂	Kohlendioxid
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie Norm
dt.	deutsch
etc.	et cetera
EU	Europäische Union

EURACHEM	A Focus For Analytical Chemistry in Europe
e.V.	eingetragener Verein
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
F	Fluor
ff	form feed (folgende Seite)
FFF	Forschungs Förderung Fond
FS	Feuchsubstanz
g	Gramm
gem.	gemäß
GR	Graphitrohr
GFAAS	Graphitrohr AAS (graphite furnace)
Gew.-%	Gewichtsprozent
GV	Glühverlust
h	Stunde
HCl	Chlorwasserstoff
Hg	Quecksilber
HNO ₃	Salpetersäure
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
H _o	oberer Heizwert (auch Brennwert)
H _u	unterer Heizwert
i.A.	im Allgemeinen
IAE	Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik
i.d.R.	in der Regel
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
K	Kalium
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoul
konz.	Konzentriert
KST	Kontrollstandard
l	Liter
ICP	Induktiv gekoppeltes Plasma
MA	Mechanische Abfallbehandlung
MBA	Mechanisch Biologische Abfallbehandlung
MBG	Mindestbestimmungsgrenze
max.	maximal
Mg	Magnesium
Mg	Megagramm
mg	Milligramm
MJ	Megajoul
MKF	Mischkunststofffraktion

mm	Millimeter
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
MS	Massenspektrometer bzw. -metrie
MW	Mittelwert
m ³	Kubikmeter
M.-%	Masseprozent
N	Stickstoff
Na	Natrium
n.b.	nicht bestimmt
NE	Nichteisen
Ni	Nickel
O ₂	Sauerstoff
OS	Originalsubstanz
ÖG	Österreichische Gütegemeinschaft
ÖG-SET	Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger
ÖNORM	Österreichisches Normungsinstitut
P	Phosphor
Pb	Blei
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
ppm	parts per million
PVC	Polyvinylchlorid
QS	Qualitätssicherung
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
rd.	Rund
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
RL	Richtlinie
RM	Referenzmaterial
S	Schwefel
Sb	Antimon
Se	Selen
SET	Sekundärenergieträger
SFK	Sortierte Kunststofffraktion
Sn	Zinn
SRF	solid recovered fuels
Stabw.	Standardabweichung
SV	Sachverständige
t	Tonne
TC	Technical Committee
Te	Tellur

TI	Thallium
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
usw.	und so weiter
UZM	Ultrazentrifugalmühle
V	Vanadium
V	Volumen
v.a.	vor allem
V.EFB	Vereins zur Verleihung des Zertifikats eines Entsorgungsfachbetriebes
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
VwGh	Verwaltungsgerichtshof
WC	Wolframcarbide
WRF	Wiederfindungsrate
WFR RM	Wiederfindungsrate Referenzmaterial
WG	Working Group
WG	Wassergehalt
Z	Ziffer
z.B.	zum Beispiel
Zn	Zink
z.T.	zum Teil
°C	Grad Celsius
%	Prozent
µl	Mikroliter
µm	Mikrometer

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Grafische Darstellung der Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Probenbezeichnungen.....	13
Abbildung 3.1:	Fraktionen beim Shreddern von Altfahrzeugen [38]	18
Abbildung 3.2:	Vereinfachte Darstellung grundlegender MBA-Konzepte [26].....	20
Abbildung 4.1:	Viertelteilung – Vorgehensweise bei einem Verjüngungsschritt	42
Abbildung 4.2:	Fraktioniertes Schaufeln - Vorgehensweise bei einem Verjüngungsschritt.....	43
Abbildung 4.3:	Schematische Darstellung des Probenteilungsverfahrens [77]	45
Abbildung 5.1:	Darstellung des Schemas der Probenahme [6].....	52
Abbildung 6.1:	Grafische Darstellung der Projekthinhalte von ÖG-SET [84]	62
Abbildung 6.2:	Einfluss von unterschiedlichen Parametern eines Ersatzbrennstoffs auf den Betrieb eines Kraftwerks [85].....	63
Abbildung 6.3:	Vorgehensweise und Probenanzahl des Ringversuchs	73
Abbildung 6.4:	Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung der Standardabweichung für Flotatschlamm, Parameter Chlor und Cadmium.....	76
Abbildung 6.5:	Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für MKF	77
Abbildung 6.6:	Probenahmeort für Flotatschlamm aus der Papierindustrie	78
Abbildung 6.7:	Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für Flotatschlamm mit korrigierten Korngrößen und Probenahmemengen	78
Abbildung 6.8:	Zerkleinerungsaggregat Terminator	79
Abbildung 6.9:	Doppelwellenzerkleinerer des Institutes für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE).....	79
Abbildung 6.10:	Viertelteilung der Probe	80
Abbildung 6.11:	Planung der Probenahme und Probenaufbereitung inkl. Abschätzung des Fundamentalfehlers für MKF für korrigierte Probenahmeparameter.....	80

Abbildung 6.12: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für den Parameter Brennwert in der MKF.....	100
Abbildung 6.13: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Chlor in der MKF	100
Abbildung 6.14: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Cadmium in der MKF	101
Abbildung 6.15: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für den Parameter Brennwert im Flotatschlamm	101
Abbildung 6.16: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Chlor im Flotatschlamm.....	102
Abbildung 6.17: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches für das Element Cadmium im Flotatschlamm.....	102
Abbildung 6.18: Darstellung der Chlorgehalte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas nach Finnischen Standard	104
Abbildung 6.19: Darstellung der Cadmiumgehalte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas nach Finnischen Standard.....	104
Abbildung 6.20: Darstellung der unteren Heizwerte der MKF und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas für SRF nach CEN/TC 343 [93]	106
Abbildung 6.21: Darstellung der Chlorgehalte des Flotatschlammes und Zuordnung dieser zu Klassen des Klassifizierungsschemas für SRF nach CEN/TC 343 [93]	107
Abbildung 6.22: Entwickeltes Probennamekonzept für MKF.....	110
Abbildung 6.23: Entwickeltes Probenaufbereitungskonzept für MKF.....	111
Abbildung 6.24: Vorgeschlagener Modus der Probenahme für Flotatschlamm	112
Abbildung 6.25: Grafische Darstellung der Entwickelten Probenaufbereitung für Flotatschlamm	113
Abbildung 6.26: Teilbereich Eigenüberwachung des entwickelten Qualitätssicherungskonzeptes für Ersatzbrennstoffe	116
Abbildung 6.27: Entwickeltes Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffe	117

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Abgrenzung zwischen Recycling- und Verwertungsquote	15
Tabelle 3.2	Verwertungsziele am Beispiel von Großgeräten [35]	15
Tabelle 3.3	Vorgeschriebene Verwertungsquoten [28]	16
Tabelle 3.4	Zusammensetzung der Verwertungsquoten nach der Altfahrzeuge-VO [28]	17
Tabelle 4.1:	Anzahl qualifizierter Stichproben in Abhängigkeit der Gesamtmenge des zu beprobenden Abfalls [66]	35
Tabelle 4.2:	Mindestanzahl der Einzel-/Misch-/Sammel- und Laborproben in Abhängigkeit vom Prüfvolumen (Auszug) [57]	36
Tabelle 4.3:	Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe in Abhängigkeit von der Korngröße/Stückigkeit [57]	37
Tabelle 5.1:	Analysenumfang der Vollanalyse	53
Tabelle 5.2:	Umfang der Kurzanalyse	54
Tabelle 5.3:	Klassifizierungsschema des Finnischen Standards [80]	56
Tabelle 5.4:	Mindestanzahl an Einzelproben bei der Probenahme aus Haufen oder Ladungen [80]	57
Tabelle 6.1:	Darstellung der Projektpartner von ÖG-SET [84]	61
Tabelle 6.2:	Ausschlussmerkmale	64
Tabelle 6.3:	Auszug chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale für Ersatzbrennstoffe	65
Tabelle 6.4:	Auszug sonstige Qualitätsmerkmale für Ersatzbrennstoffe	66
Tabelle 6.5:	Klassifizierungsentwurf von SRF (Stand 11.2004) [93]	68
Tabelle 6.6:	Maximale Schadstoffgesamtgehalte für brennbare Abfälle in [mg/kg TS] bezogen auf einen Hu von 25 MJ [18]	69
Tabelle 6.7:	Vorgaben für die Abschätzung des Fundamentalfehlers für die Probenahme von wenig heterogenem Flotatschlamm	72
Tabelle 6.8:	Vorgaben für die Abschätzung des Fundamentalfehlers für die Probenahme von herogener MKF	72

Tabelle 6.9:	Berechnungsweg zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der jeweiligen Probenahme/Aufbereitungsschritte für den Ersatzbrennstoff Flotatschlamm (Parameter Chlor)	75
Tabelle 6.10:	Zusammenfassung der bei der Ringanalyse aussortierten Störstoffe	82
Tabelle 6.11:	Vorgabe für die Probenaufbereitung	83
Tabelle 6.12:	Zusammenfassung der verwendeten Versprödungsmethode	84
Tabelle 6.13:	Zusammenfassung der eingesetzten Zerkleinerungsgeräte, der erreichten Korngrößen und der zerkleinerten Menge an Ersatzbrennstoff.....	85
Tabelle 6.14:	Qualitätsanforderungen für die Bestimmung von Cadmium.....	86
Tabelle 6.15:	Bestimmung des Cadmiumgehaltes	88
Tabelle 6.16:	Bestimmung des Chlorgehaltes.....	89
Tabelle 6.17:	Einzelwerte Parameter oberer Heizwert in [kJ/kg TS]	92
Tabelle 6.18:	Einzelwerte Parameter Trockensubstanz [%].....	92
Tabelle 6.19:	Einzelwerte Parameter Glühverlust [%].....	93
Tabelle 6.20:	Einzelwerte Parameter Chlor [% TS].....	93
Tabelle 6.21:	Einzelwerte Parameter Cadmium [mg/kg TS]	94
Tabelle 6.22:	Zusammenstellung der unteren Heizwerte für MKF (berechnet aus Mittelwerte für Ho und WG aus je 3 Einzelwerten) und Flotatschlamm (Ho und WG jeweils Einzelwerte)	96
Tabelle 6.23:	Ergebnisse Parameter oberer Heizwert (Ho)	97
Tabelle 6.24:	Ergebnisse Parameter Trockenrückstand	97
Tabelle 6.25:	Ergebnis Parameter Glühverlust	97
Tabelle 6.26:	Ergebnisse Parameter Chlor	98
Tabelle 6.27:	Ergebnisse Parameter Cadmium	98
Tabelle 6.28	Auszug aus dem Klassifizierungsschema des Finnischen Standards [8].	103
Tabelle 6.29	Auszug aus Klassifizierungsschema für SRF nach CEN/TC 343 [93].....	105
Tabelle 6.30:	Angabe der Präzision für Brennwert, Chlor und Cadmium in der MKF (für 80 % Sicherheit und eine Mischprobenanzahl von 12) als Mindestanforderung.....	110

Tabelle 6.31:	Angabe der Präzision für Brennwert, Chlor und Cadmium im Flotatschlamm als Mindestanforderung.....	112
Tabelle 6.32:	Vorgeschlagene Anzahl an Fremdüberwachungen.....	114
Tabelle 6.33:	Vorgeschlagenes Spezifizierungsschema.....	114

9.4 Literaturverzeichnis

- [1] LORBER K.E., RAGOSSNIG A. & ZÄHRER L.: Restabfallkonzept der Republik Österreich, Vortrag anlässlich des Internationalen Recyclingkongresses in Berlin, In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): Reformbedarf in der Abfallwirtschaft, Berlin 2001.
- [2] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Bundesgesetz über die Vermeidung und Behandlung von Abfällen (Abfallwirtschaftsgesetz-AWG 2002), BGBl. I 102/2002, In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [3] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung, BGBl 1996/164, In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [4] SCHELCH M., RAGOSSNIG A. & LORBER K.E.: Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen, Forschungsantrag des IED an den Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft, Leoben 2001.
- [5] ÖSTERREICHISCHER WASSER UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV), ARBEITSAUSSCHUSS „THERMISCHE BEHANDLUNG“ (HRSG.): Positionspapier Abgrenzungskriterien Thermische Verwertung – Beseitigung, Endfassung vom 27. März 2001.
- [6] BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT SEKUNDÄRBRENNSTOFFE UND RECYCLINGHOLZ e.V (HRSG): Probenahme-Probenaufbereitungs- und Analysenvorschriften für Sekundärbrennstoffe im Rahmen des RAL-Gütezeichens Sekundärbrennstoffe, Stand April 2002, Köln, 2002.
- [7] OCHSENREITER C., & KUYUMCU H. Z.: Konzept für Sekundärbrennstoffwirtschaft – Von der Entsorgungsmentalität zur Versorgungsmaxime, In: Entsorgungspraxis 11/2000.
- [8] FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS (HRSG.): Solid recovered fuel, Quality control system, Helsinki 2000.
- [9] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG): FNA157 AG13 Brennstoff aus Abfall, Wien 2000.

- [10] 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.
- [11] HÄRD TLE G.: Herstellung, Lagerung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen, Dissertation, TU-Berlin, Berlin 2000.
- [12] RAGOBNIG A.: Thermische Behandlung heizwertreicher Abfälle in Wirbelschichtanlagen in Österreich, Dissertation am Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben 2001.
- [13] TESCH H.: Einsatz von heizwertreichen Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBRB) bei der Klinkerproduktion, Dissertation am Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben 2002.
- [14] Beckmann M., Thomé-Kozmiensky K.J.: Das Ersatzbrennstoffproblem – Aufkommen, Charakterisierung und Einsatz, In: Ersatzbrennstoffe 5 – Herstellung und Verwertung, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2005.
- [15] THOMÉ-KOZMIENSKY K.J.: Gestaltung der Ersatzbrennstoffherstellung im Hinblick auf die Verwertung, In: Ersatzbrennstoffe 2 – Verwerter, Qualitätskontrolle, Technik, Wirtschaftlichkeit, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2002.
- [16] LAGA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (HRSG): Maßstäbe und Kriterien für die energetische Verwertung von Abfällen in Zementwerken, Entwurf, 10.1997.
- [17] BUWAL (HRSG): Richtlinie Entsorgung von Abfällen in Zementwerken, Bern 1998.
- [18] VEREIN ÖSTERREICHISCHER ZEMENTINDUSTRIE: Positivliste für die Verbrennung von Abfällen in Anlagen zur Zementerzeugung, Wien 2001.
- [19] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung von gefährlichen Abfällen und Problemstoffen (BGBl. II 1997/227 idF v. BGBl. 2000/178 Festsetzungsverordnung gefährliche Abfälle).
- [20] URL: <http://www.umweltbundesamt.at> (Stand: 07.11.2005)
- [21] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 75/442/EWG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Juli 1995 über Abfälle. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [22] ÖSTERREICHISCHER WASSER UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV), ARBEITSAUSSCHUSS „THERMISCHE BEHANDLUNG“ (HRSG.): Positionspapier Abgrenzungskriterien Thermische Verwertung – Beseitigung, Endfassung vom 27. März 2001.
- [23] LORBER KARL: Vorlesung Einführung in den industriellen Umweltschutz. Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2002.

- [24] URL: <http://www.wu-wien.ac.at/abfall/abfallverwertungundbehandlung.htm> (Stand: 07.11.2005)
- [25] CORD-LANDWEHR K.: Einführung in die Abfallwirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart: Teubner, 2000. – ISBN 3-519-14246-0
- [26] STABER W.: Vorlesung Waste Disposal/Management. Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2003.
- [27] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 2000/53/EG des Rates vom 15. Juli 1975 über Abfälle. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [28] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung, BGBl II 2002/407, In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [29] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten und die Einrichtung von Sammel- und Verwertungssystemen (VerpackVO, BGBl 1996/648, In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [30] KIND/LIST/SCHMELZ: Das österreichische Abfallrecht - Erster Teil, AWG, Österreichische Staatsdruckerei, Wien, 1998.
- [31] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (HRSG.): Bundesabfallwirtschaftsplan 1998, Wien 1998.
- [32] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM (HRSG.): ÖNORM S 2123-3 Probenahmepläne für Abfälle, Wien, 01. November 2003.
- [33] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Information on sampling techniques, Technical Report 2 (WI 292017) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004; Belgien, 2004.
- [34] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 2002/96/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [35] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung BGBl. II 121/2005). Online im WWW unter URL: www.ris.bka.at. Stand: Februar 2005.

- [36] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [37] SCHMIDT J., LEITHNER R. (HRSG.): Automobilrecycling: Stoffliche, rohstoffliche und thermische Verwertung bei Automobilproduktion und Altautorecycling. Berlin: Springer-Verlag, 1995. – ISBN 3-540-58945-7.
- [38] HUMMEL R.: Altfahrzeugverwertung und -entsorgung in Österreich Recyclingquoten in Hinblick auf die Jahre 2006 und 2015, Diplomarbeit am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben 2003.
- [39] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26 April 1999 über Abfalldeponien. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [40] Bundesrepublik Deutschland (HRSG): Verordnung des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV, BGBl. I, Seite 305), <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/1853.php>, Februar 2001.
- [41] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG.): Bundesgesetz über die Vermeidung und Behandlung von Abfällen (Abfallwirtschaftsgesetz-AWG 1990), BGBl. 325/1990, <http://www.ris.bka.gv.at>.
- [42] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Bundesgesetz von 23. Jänner 2004 über die Änderung der Deponieverordnung, BGBl 2004/49.
- [43] MOSTBAUER P.: Grundlagen für eine technische Anleitung zur mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Abfällen; Umweltbundesamt Österreich R-151, Wien, 1998.
- [44] ONZ CH., ET. AL: Verwertung oder Beseitigung von Abfällen – Abgrenzung und Vorteile, Seminar des Verbandes Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VOEB), Wien 2002.
- [45] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Kommission der Europäischen Gemeinschaften gegen Bundesrepublik Deutschland, Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats - Artikel 7 Absätze 2 und 4 der Verordnung (EWG) Nr. 259/93 - Zuordnung des Zwecks einer Abfallverbringung (Verwertung oder Beseitigung) - Verbrennung von Abfällen - R 1 des Anhangs II B der Richtlinie 75/442/EWG - Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung. Rechtssache C-228/00, Urteil des Gerichtshofes (Fünfte Kammer) vom 13. Februar 2003.
- [46] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Kommission der Europäischen Gemeinschaften gegen Großherzogtum Luxemburg, Rechtssache C-458/00, Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats - Artikel 7 Absätze 2 und 4 der Verordnung (EWG) Nr. 259/93, Urteil des Gerichtshofes (Fünfte Kammer) vom 13. Februar 2003.

- [47] ÖSTERREICHISCHEN VERWALTUNGSGERICHTSHOFES (VwGH): Erkenntniss des VwGH, Geschäftszahl 2001/07/0043, Wien 2002.
- [48] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung), BGBl II 292/2001, Wien 2001.
- [49] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Abfallverzeichnisverordnung, BGBl II 2003/570. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [50] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Entscheidung der Kommission 2000/532/EG vom 3. Mai 2000 über ein Abfallverzeichnis. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [51] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verbrennung von Abfällen vom 4 Dezember 2000. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [52] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Verordnung 93/259/EWG des Rates zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung von Abfällen in der, in die und aus der EG vom 1 Februar 1993. In: Kodex Abfallrecht, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [53] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): Chemische Afvalstoffen Dusseldorp BV u. a. gegen Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Ersuchen um Vorabentscheidung: Raad van State - Niederlande. Verbringung von zur Verwertung bestimmten Abfällen - Grundsätze der Entsorgungsautarkie und der Nähe. Rechtssache C-203/96, Urteil des Gerichtshofes (Sechste Kammer) vom 25. Juni 1998.
- [54] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Gewerbeordnung 1994, BGBl 1994/194. In: Kodex Umweltrecht, 23 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [55] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (HRSG): ohne Autor.: Urteil des Europäischen Gerichtshof vom 27. Februar 2002 in der Rechtssache 6/00 (Abfall Service AG), Slg. 2002, I-1986.
- [56] KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN: Kommission der Europäischen Gemeinschaften gegen Bundesrepublik Deutschland, Schlussanträge des Generalanwalts Jacobs vom 26. September 2002, Rechtssache C-228/00 Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats - Artikel 7 Absätze 2 und 4 der Verordnung (EWG) Nr. 259/93 - Zuordnung des Zwecks einer Abfallverbringung (Verwertung oder Beseitigung) - Verbrennung von Abfällen - R 1 des Anhangs II B der Richtlinie 75/442/EWG - Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung, September 2002.

- [57] LAGA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (HRSG: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen (LAGA PN 98), Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin 2002.
- [58] SANONI B.: Fortgeschrittener chemischer Analysedienst für Elemente, Radionuklide und Phasen, das Jülicher Baukastensystem für Analyseschritte. In: Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie 323, 1986.
- [59] FLAMME S.: Energetische Verwertung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Anlagen – Ableitung von Maßnahmen zur umweltverträglichen Verwertung, Dissertation an der Gesamthochschule Wuppertal – Fachbereich Bauingenieurwesen der Bergischen Universität, Wuppertal 2002.
- [60] PROCHASKA M.: Entwicklung und Validierung einer Probenahmestrategie für die Qualitätssicherung von heizwertreichen Abfallfraktionen, Dissertation am Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben 2006.
- [61] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM EN ISO 9001:2000, Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001/2000), Fachnormenausschuss 129, Wien Dezember 2000.
- [62] ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:1999), Österreichischer Verband für Elektrotechnik und Österreichisches Normungsinstitut (ÖVE/ON), Wien 2001.
- [63] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT BUWAL (HRSG.): Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden, Handbuch, Bern 2003.
- [64] RASEMANN W.: Qualitätssicherung von Stoffsystemen durch Probenahme und Datenanalyse – Probleme, Erfahrungen, Tendenzen. In Rasemann (Hrsg): Qualitätssicherung von Stoffsystemen im Abfall- und Umweltbereich, Probenahme und Datenanalyse, Verlag für technisch wissenschaftliche Literatur, Clausthal-Zellerfeld 1999.
- [65] SOMMER K.: Probenahme zur Qualitätssicherung – Wie viel? Wie groß? Wo, Tagungsband zur 8. Freiburger Probenahmetagung, Herausgeber: W. Rasemann, Freiberg/Sachsen 8. und 9. November 2002.
- [66] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.) (2001): Vorschlag ÖNORM S 2123-1 Probenahmepläne für Abfälle, Wien.
- [67] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Characterisation of waste - Sampling Techniques for waste, CEN/TC 292/WG1 Teile 1-5, Belgien, 2001.
- [68] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004, Belgien, 2004.

- [69] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Information on selection and application of criteria for sampling under various conditions, Technical Report 1 (WI 292002) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004; Belgien, 2004.
- [70] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Information on sampling techniques, Technical Report 2 (WI 292017) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004, Belgien, 2004.
- [71] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Information for procedures for subsampling in the field, Technical Report 3 (WI 292018) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004, Belgien, 2004.
- [72] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Information on procedures on sample packaging, storage, preservation, transport and delivery, Technical Report 4 (WI 292019) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004; Belgien, 2004.
- [73] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (HRSG): Sampling of waste materials: Guidance on the process of defining the Sampling Plan, Technical Report 5 (WI 292041) zu: Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004, Belgien, 2004.
- [74] GERLACH R.: Gy sampling theory in environmental studies – 1. Assessing soil splitting protocols. In: Journal of Chemometrics 2002, 16, S. 321-328
- [75] PROCHASKA M., ET AL.: Heizwertreiche Abfallfraktionen aus der mechanischen Abfallbehandlung (MA) und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA), Projektendbericht erstellt am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben, September 2004.
- [76] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM EN 932-2, Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2 Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben, Wien 1999.
- [77] KUYUMCU H.Z., ET AL.: Entwicklung eines Probenahmeverfahrens für die Beurteilung von Ersatzbrennstoffen, in: Thomé-Kozmiensky, K.J.(Hrsg): Ersatzbrennstoffe 2, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2002.
- [78] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM S 2118-1 Probenahme und Probenaufbereitung von festen Abfällen für die Bestimmung des Brennwertes, Wien, 2001.
- [79] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 51701 Teil 3, Probenahme und Probenvorbereitung, Berlin, 1985.

- [80] FINNISH STANDARD ASSOCIATION SFS (HRSG.): SFS 5875, Solid recovered Fuel. Quality control system, Helsinki, 2000.
- [81] Mitteilung der Arbeitsgruppe „Kraftwerke im Rahmen des Projektes Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen, Dezember 2002.
- [82] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 55350 Teil 11: Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik – Teil 11: Begriffe des Qualitätsmanagements, 1995-08.
- [83] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN ISO 8402: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung – Begriffe, 1991.
- [84] SCHELCH M., PROCHASKA M., LORBER K.: Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen, Projektendbericht, Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, Leoben 2005.
- [85] BACHHIESL M., GRUBER K.H.: Forschung im Verbund, Klagenfurt 2002.
- [86] REPUBLIK ÖSTERREICH (HRSG): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis, BGBl II 2003/570, Wien 2003. In: Kodex Abfallrecht und Öko-Audit, 18 Auflage, LexisNexis ARD Orac Verlag, Wien 2005.
- [87] SCHIRMER M., ET AL.: Chlorverhalten im Verbrennungsprozess, In: Lorber, Staber, Novak, Prochaska, Maier, Kastl (HRSG); Konferenzbericht zur 7 DEPOTECH Fachtagung in Leoben, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004.
- [88] BACHHIESL M.: Untersuchung zur thermischen Verwertung von Biomasse und heizwertreichen Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken; Schriftenreihe der Forschung im Verbund Band 73, Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Verbund) (HRSG); Wien 2001.
- [89] 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.
- [90] POMBERGER R.: Umsetzung der Deponie-VO – Kombination von Anlagen für Splitting, Ersatzbrennstoffproduktion und thermische Verwertung, In: Lorber, Staber, Novak, Prochaska, Maier, Kastl (HRSG); Konferenzbericht zur 7 DEPOTECH Fachtagung in Leoben, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004.
- [91] LIECHTI J.: „Abfallentsorgung in Zementwerken“; Umwelt-Materialien Nr.70, Bern 1997.
- [92] THIEL S.: Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Kohlekraftwerken. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Bauhausuniversität Weimar, Weimar 2007.

- [93] PROCHASKA M., ET AL.: Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen – Stand bei der europäischen Normenentwicklung und der ÖG-SET, In: Lorber, Staber, Novak, Prochaska, Maier, Kastl (HRSG); Konferenzbericht zur 7 DEPOTECH Fachtagung in Leoben, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004.
- [94] European Communities (HRSG): European Waste Catalogue (EWC), Consleg: 2000Do532-01/01/2002.
- [95] URL: <http://www.okk.co.at> (Stand: 07.11.2005)
- [96] SCHELCH M., ZRAUNIG C.: Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysenvorschrift für den Ringversuch, Vorschrift zum Ringversuch im Rahmen des Projektes Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen, Leoben 2003.
- [97] ZRAUNIG C, SCHELCH M.: Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysenvorschrift für den Ringversuch, Endbericht zum Ringversuch im Rahmen des Projektes Machbarkeit und Risikoabschätzung des Einsatzes von Sekundärenergieträgern (SET) in Großanlagen, Leoben Dezember 2003.
- [98] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN EN 12880:2001: Charakterisierung von Schlämmen – Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts, Berlin Februar 2001.
- [99] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 51719: Prüfung fester Abfälle – Bestimmung des Aschegehaltes, ICS 75.160.10, Berlin Juli 1997.
- [100] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 51900: Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes, ICS 75.160.10, Berlin April 2000.
- [101] LEUTGÖB D., MÜLLER P.: Oberer und unterer Heizwert von Abfallfraktionen, Studienarbeit am Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, WS 2000/2001.
- [102] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN EN ISO 11885: Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ISO 11885:1996), Berlin April 1998.
- [103] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN EN ISO 5961: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Cadmium durch Atomabsorptionsspektrometrie (ISO 5961:1994), Berlin Mai 1995.
- [104] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 38406-29: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung — Kationen (Gruppe E) — Teil 29: Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) (E 29), Berlin Mai 1999.

- [105] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (HRSG.): ÖNORM M 6617 1997:05: Wasseruntersuchungen – Bestimmung von Aluminium, Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer und Nickel mittels Graphitrohr-Atomabsorptions-Spektrometrie, Wien Mai 1997
- [106] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN EN 196-21: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung des Chlorid-, Kohlenstoffdioxid- und Alkalianteils von Zement, Berlin März 1990.
- [107] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 38405-1 (D 1): Bestimmung der Chlorid-Ionen, Berlin Dezember 1985.
- [108] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 51577 Teil 1: Bestimmung des Chlorgehaltes, Berlin November 1982.
- [109] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): DIN 38402-42:1984: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 42: Ringversuche zur Verfahrensvalidierung, Auswertung (A 42), Berlin 1984.
- [110] SANSONI B., IYER R.K., KURT R. H: Concentration of Analytical Data as a Part of Data Processing in Trace Element Analysis; Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie, Nr. 306, S. 212-232, 1981.
- [111] DEAN R. B.: Use of Log-Normal Statistics in Environmental Monitoring; Chemistry in Water Reuse (W.J. Cooper, Ed.), vol 1, S. 245-258, 1981.
- [112] DEAN R. B.: Limits to Statistical Evaluation of Incinerator Emissions, Waste Management & Research, Nr. 5, S. 416-426, 1987.
- [113] UERKVITZ R., D. GOETZ: Schätzung von Stoffkonzentrationen in Produkten der Abfallbehandlung bei asymmetrischer Streuung von Analysenwerten, Müll und Abfall 10/1997.
- [114] EURACHEM GUIDE: Selection, use and interpretation of proficiency testing (PT) schemes by laboratories- 2000, First Edition 2000.
- [115] HOLZER C.: Die kommende Deponieverordnung, Verwertungs- und Entsorgungstag 2005, Austria Center Vienna, Wien 2005.

10 Anhang

Inhaltsverzeichnis

Anhang A: Liste der Qualitätsmerkmale

Anhang A

Tabelle A.1 Ausschlussmerkmale

Kriterium	Bezeichnung nach Festsetzungsverordnung [2]
gefährliche Abfälle	
leicht entzündlich	Leicht entzündbar
giftig	(H6)
radioaktiv	
übelriechend, ekelerregend	
infektiös	(H9)
gesundheitsbeeinträchtigend	gesundheitsschädlich (H5)
nicht tropffrei	
explosiv	(H1)

Tabelle A.2: Chemisch- physikalische Qualitätsmerkmale

Kriterien
Korngröße
staubförmig
feinkörnig (< 3mm)
grobkörnig (< 10mm)
kleinstückig (< 30mm)
mittelstückig (< 80mm)
grobstückig (< 150mm)
sperrig (> 150mm)
unzerkleinert (z.B. Autoreifen)
Überkornanteil
Feinkornanteil
konfektioniert
pelletiert (rund. 1cm)
brikettiert (mehrere cm)
Störstoffe
Mineralische Fremdstoffe
Fe- und Nichteisenmetalle
Staub, Erde
Parameter
Hg
Cd
Tl
Ba
Sb

Kriterien
As
Pb
Cr
Co
Mo
Mn
Ni
V
Zn
Sn
Se
Te
Be
Br
Cl
F
S
N
P
B
Ca
Na
K
Al
Cu
Aschegehalt
Heizwert
Wassergehalt

Tabelle A.3: Sonstige Qualitätsmerkmale

Kriterien
sortenrein
verunreinigt
klebend
hygroskopisch
geruchsneutral
Mahlbarkeit
Förderbarkeit

Tabelle A.4: Sonstige Qualitätsmerkmale

Kriterien
flüchtige Bestandteile
organische Bestandteile
Dampfdruck
Zustandsänderungen
Schmelzpunkt/-bereich
Erweichungspunkt/-bereich
Siedepunkt/-bereich
Viskosität
Flammpunkt
Zündtemperatur
Explosionsgrenzen
Ascheschmelzverhalten
pH-Wert