

Projekt - Endbericht

Herstellung von Ersatzbrennstoffen

im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Umweltbundesamts und der Saubermacher Dienstleistungs AG

erstellt am

Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE)
Montanuniversität Leoben

Dipl.-Ing. Michael Prochaska
Mag. Dr. Georg Raber
O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 07.07.2005

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	4
1.1 Zielsetzung	4
1.2 Einführung	5
2 BEGRIFFE	7
2.1 Einzelprobe	7
2.2 Stichprobe	7
2.3 Sammelprobe	7
2.4 Mischprobe	8
2.5 Feldprobe	8
2.6 Laborprobe	8
2.7 Analysenprobe	8
2.8 Teilprobe	9
2.9 Repräsentative Probe	9
2.10 Qualifizierte Stichprobe	9
2.11 Los, Losgröße	9
2.12 Beurteilungsmenge	9
2.13 Abscheideleistung, Abscheidegrad	10
2.14 Probenbezeichnungen	10
2.15 Probenverjüngung	10
3 BESCHREIBUNG DER ANLAGE	13
3.1 Vorzerkleinerung	14
3.2 Windsichtung	14
3.3 Fe-Abscheider	15
3.4 NFe-Abscheider	15
3.5 Freie Austragstelle	16
3.6 Nachzerkleinerung	16

3.7	Beprobung der 2D- und 3D-Materialströme	17
3.8	Beprobung Mix.....	17
4	VERSUCHSPLANUNG.....	18
4.1	Massenbilanz und Sortierung	18
4.1.1	Massenbilanzierung.....	18
4.1.2	Sortierung	19
4.2	Probenahme heizwertreiche Fraktion	20
4.2.1	Konzept der Mischprobenbildung	22
4.2.2	Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material	24
4.3	Probenahme gelbe Tonne	24
5	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	25
5.1	Massenbilanz und Sortierung	26
5.1.1	Massenbilanz.....	27
5.1.2	Sortierung der abgeschiedenen Metallfraktionen	29
5.1.3	Aufbereitung und Einschmelzen der Nichteisenmetalle	29
5.1.4	Sortierung des Inputmaterials.....	31
5.2	Probenahme heizwertreiche Fraktion	36
5.2.1	Konzept der Mischprobenbildung	36
5.2.2	Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material	36
5.2.3	Vergleich Probenahme vom unzerkleinerten Input mit anschließender Aufbereitung und Teilprobenentnahme sowie der Beprobung während der Behandlung	37
5.3	Probenahme gelbe Tonne	37
6	ERGEBNISSE.....	38
6.1	Massenbilanz und Sortierung	38
6.1.1	Massenbilanz I + II	38
6.1.2	Sortierung der abgeschiedenen Metallfraktionen	39
6.2	Probenaufbereitung im Labor	42
6.3	Ermittlung der erzeugten Qualität	42
6.4	Ermittlung der Abscheideleistung.....	44

6.5	Sortieranalyse des Inputs und Qualität der Sortierfraktionen	45
6.5.1	Zerkleinerung und Einschmelzen des Nichteisenmetalls	47
6.5.2	Qualität der Fraktionen aus der Sortierung	48
6.6	Beurteilung des Konzepts der Mischprobenbildung für heizwertreiche Fraktionen bzw. Ersatzbrennstoffe.....	49
6.6.1	Chlor	52
6.6.2	Oberer Heizwert	57
6.6.3	Trockenrückstand	62
6.6.4	unterer Heizwert	67
6.6.5	Glühverlust	72
6.6.6	Cadmiumgehalt	77
6.6.7	Kupfergehalt	82
6.7	Probenahme Ersatzbrennstoff	82
6.7.1	Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material	84
6.8	Probenahme ÖKK Material und Vergleich der Qualitäten von Ersatzbrennstoff aus ÖKK-Material und aus der heizwertreichen Fraktion aus der MA	85
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	87
7.1	Abscheideleistung.....	87
7.2	Vergleich der erreichten Qualitäten.....	88
7.3	Mischprobenbildung.....	90
8	AUSBLICK.....	91
8.1	Metallabscheidung	91
8.2	Störstoffabscheidung	91
8.3	Chlorabscheidung	91
9	ZUSAMMENFASSUNG	92
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	93
11	TABELLENVERZEICHNIS	98
12	LITERATURVERZEICHNIS.....	100
13	ANHANG	102

1 Einleitung

Die Behandlung von gemischten Siedlungsabfällen (und ähnlichen Gewerbeabfällen) erfolgt in Österreich im Wesentlichen durch Abfallverbrennung, Splitting mit anschließender thermischer Verwertung und durch mechanisch-biologische Behandlung. Die im Zuge der Behandlung abgetrennten heizwertreichen Fraktionen werden v.a. in Reststoff- und Mitverbrennungsanlagen behandelt. Dabei unterliegen sie Gehaltsbegrenzungen.

1.1 Zielsetzung

Mit dem gegenständlichen Projekt „Herstellung von Ersatzbrennstoffen“ werden vor dem Hintergrund des vorsorgenden Umweltschutzes folgende Zielsetzungen verfolgt:

- **Ermittlung der Qualitäten von den aus heizwertreichen MBA-Fraktionen hergestellten Ersatzbrennstoffen bzw. der „Gelben Tonne“, die durch eine weitere großtechnische Aufbereitung erreicht werden können und der**
- **Vergleich zwischen den erreichbaren Qualitäten der „Restfraktion aus der gelben Tonne“, der „aufbereiteten heizwertreichen Fraktion aus MBA“ und der Probenahme im Oktober 2003 im Projekt „Heizwertreiche Fraktionen aus der MA und MBA“.**
- **Betrachtung der Mischprobenbildung und anschließender Analyse im Vergleich zu einer höheren Anzahl an einzeln analysierten Sammelproben mit anschließender rechnerischer Mittelwertbildung.**
- **Ermittlung der Abscheideleistung für Stoffe wie Schwermetalle, Fe- und NFe-Metalle aus der heizwertreichen Fraktion aus MBA.**
- **Bestimmung der Zusammensetzung der aussortieren NFe-Fraktion durch einen Schmelzversuch und Analysen**

1.2 Einführung

Auf internationaler Ebene gibt es seit 2002 im Rahmen des Europäischen Komitees für Normung (CEN, Comité Européen de Normalisation) ein technisches Komitee, das mit der Normung der Qualitätssicherung für Ersatzbrennstoffe beauftragt ist. Parallel dazu gibt es seit 2001 in Österreich Bestrebungen im Rahmen einer Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger¹, die ein Gütezeichen für Ersatzbrennstoffe vergleichbar dem deutschen RAL-Gütezeichen erreichen will. Eine weitere Möglichkeit ist die Festsetzung von Gehaltsgrenzwerten für Ersatzbrennstoffe anhand eines Vergleichs mit anderen Primär- und Sekundärbrennstoffen. Die Entwicklung einer Probenahmemethodik wäre in allen Fällen notwendig. Die Charakterisierung von heizwertreichen Fraktionen aus der mechanischen und der mechanisch biologischen Aufbereitung war bereits Inhalt eines Projekts im Jahr 2002-2003 (Prochaska et al. 2004). Offene Fragen zur weiteren Aufbereitung auf einer großtechnischen Anlage, der Bildung von Mischproben anstatt der rechnerischen Mittelwertbildung, die Abscheideleistung der Anlage und die Zusammensetzung der ausgeschleusten Nichteisenmetallfraktion waren Inhalt des vorliegenden Projekts „Herstellung von Ersatzbrennstoffen“.

Der vorliegende Projektbericht gliedert sich in

- Einleitung
- Begriffe
- Beschreibung der Anlage
- Versuchsplanung
- Versuchsdurchführung
- Ergebnisse
- Ausblick
- Zusammenfassung

¹ Sekundärenergieträger (SET) sind eigentlich ein Produkt aus Primärenergieträgern (z.B. Koks aus Kohle, Diesel aus Erdöl, usw.). Der Name wurde dennoch gewählt und beibehalten. Der korrekte Begriff nach dem BRAM (Brennstoff aus Müll) ist Ersatzbrennstoff (EBS), wobei der Brennstoff Primär- und Sekundärenergieträger ersetzt. International ist in der Normung der Begriff Solid Recovered Fuel (SRF) für feste Ersatzbrennstoffe und in der Fachwelt Refuse Derived Fuel (RDF), das auch flüssige Brennstoffe mit einbezieht, üblich.

Dem eiligen Leser wird nach dieser Einführung ein Blick auf den Aufbau der Anlage und das Konzept der Mischprobenbildung, die Betrachtung der Ergebnisse bzw. der Zusammenfassung und des Ausblicks empfohlen.

Die Vorgehensweise nimmt mehrfach Bezug auf die beiden Normvorhaben bzw. deren Ergebnisse CEN TC 292 „Sampling of Waste“ mit der prEN 14899:2004 und die CEN TC 343 „Solid Recovered Fuels“. Zentraler Bestandteil ist dabei jeweils die Anwendung der Theorie der Probenahme von Pierre Gy (P. Gy 1976) mit einem probabilistischen Ansatz, womit für normalverteilte Parameter die Abschätzung von Unsicherheiten der Ergebnisse möglich wird. Im Detail ist dieser probabilistische Ansatz für heizwertreiche Fraktionen z.B. im Bericht „Heizwertreiche Fraktionen aus der MA/MBA“, Prochaska et al. 2004, dargelegt.

2 Begriffe

Da die Entwürfe der CEN TC 343 nicht auf deutsch vorliegen, wurde für die Begriffsdefinitionen auf die CEN prEN 14899:2004 (dt) und die ÖNORM S 2123 zurückgegriffen.

2.1 Einzelprobe

Eine Einzelprobe ist laut ÖNORM S 2123-3 eine einzelne Probe, die an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen wird, die Mindestanforderungen einer qualifizierten Stichprobe einhält und als Feldprobe für eine Untersuchung bereitgestellt wird.

Eine Einzelprobe ist laut prEN 14899:2004 (dt) 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 zusammengefasst wird. Ein Synonym dafür ist Inkrement.

Die Einzelprobe in dieser Arbeit ist im Regelfall eine Probe, die korngößenabhängige Mindestmengenanforderungen einhält und Teil einer Sammel-/Mischprobe ist.

Die Verwendung als Laborprobe sollte ausgeschlossen werden, außer das Material dient einer rein optischen Beurteilung.

Einer Einzelprobe sollte immer ein Ort zugeordnet werden können, der exakte Zeitpunkt ist nicht unbedingt festzuhalten, wohl aber der zeitliche Rahmen (Tag, Abfolge, ...).

2.2 Stichprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 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 nur zu Vergleichs- und Definitionszwecken angeführt.

2.3 Sammelprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 die Probe, die aus mehreren über Raum und/oder Zeit gesammelten gemischten qualifizierten Stichproben besteht.

Charakteristisch ist dabei die Eigenschaft, dass Einzelproben (Inkremente) über Zeit oder Raum verteilt gesammelt werden. In dieser Arbeit wird der Begriff daher für Mischproben, die direkt aus Einzelproben bestehen, verwendet. Zur deutlicheren Abgrenzung zu den Mischproben wird dabei von Einzelnen Sammelproben die Rede sein.

2.4 Mischprobe

Laut prEN 14899:2004 (dt) zwei oder mehrere einzeln oder kontinuierlich entnommene Proben oder Teilproben (zusammengesetzte Mischprobe), die in einem geeigneten, bekannten Verhältnis vermischt wurden, um aus der Mischung den Durchschnittswert eines gewünschten Bestandteils zu bestimmen.

Sammel- und Mischprobe beschreiben den selben Vorgang aus zwei Gesichtspunkten. Einzelproben werden dabei in einem möglichst gleichem Verhältnis (z. B. gleiches Volumen bzw. gleiche Masse der Einzelproben) vermischt. In der Folge wird diese Probe unter dem im Vordergrund stehenden Aspekt des Mischens und Verjügens als Mischprobe bezeichnet.

2.5 Feldprobe

Laut prEN 14899:2004 (dt) die Menge (Masse oder Volumen) an Material, die bei einer Probenahme ohne jegliche Teilprobenentnahme erhalten wird.

Laut ÖNORM S 2123-3 die Probe, aus der die Laborprobe für die nachfolgende Untersuchung hergestellt wird. Die Feldprobe kann laut ÖNORM S 2123-3 entweder eine Einzelprobe, eine qualifizierte Stichprobe oder eine Sammelprobe sein.

Die Feldprobe ist die Sammelprobe bzw. Mischprobe sowie in Einzelfällen die Einzelprobe, welche noch ohne Verjüngungsschritt, aber gegebenenfalls nach Zerkleinerung, das beprobte Material repräsentiert. Die weitere Aufbereitung findet zumeist mit Teilproben der Feldprobe statt. Der Begriff wurde in dieser Arbeit nicht weiter verwendet.

2.6 Laborprobe

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

Laut ÖNORM S 2123-3 die Probe, die erforderlichenfalls nach Aufbereitung, Homogenisierung, Verjüngung und Konservierung aus der Feldprobe erhalten und für die Laboruntersuchung verwendet wird.

Die Laborprobe ist also jeweils das, was, erforderlichenfalls nach einer Aufbereitung, Homogenisierung, Verjüngung und Konservierung, den Probenahmeort in einem geeigneten Gebinde verlässt bzw. im Labor ankommt und registriert wird.

2.7 Analysenprobe

In ÖNORM S 2123-3 und prEN 14899:2004 (dt) nicht näher definiert, aber zum Verständnis hier dargelegt, ist die Analysenprobe jene Probe, die - je nach Analyse - im Labor einer

weiteren Aufbereitung, Homogenisierung, Verjüngung und Konservierung unterzogen worden ist und einem Aufschluss oder einer direkten Analyse unterzogen wird.

2.8 Teilprobe

Laut prEN 14899:2004 (dt) die Menge (Masse oder Volumen) des Materials, die mit Techniken gewonnen wurde, durch welche die interessierenden Parameter nach dem Zufallsprinzip über Teile gleicher oder unterschiedlicher Größe verteilt werden.

Durch die Verjüngung der Proben vor Ort werden Teilproben, die auf unterschiedliche Art herstellt werden, in dieser Arbeit beschrieben.

2.9 Repräsentative Probe

Laut prEN 14899:2004 (dt) die Probe, bei welcher der/die interessierende(n) Bestandteil(e) mit einer Unsicherheit vorliegt/en, die für die Zwecke des Probenahmeverfahrens angemessen ist.

2.10 Qualifizierte Stichprobe

Laut ÖNORM S 2123-3 eine Probe, die aus mehreren Stichproben besteht und die einem bestimmten Probenahmeort (Schurf oder Bohrung) und einer bestimmten Abfallart zugeordnet werden kann. Die qualifizierte Stichprobe muss die Mindestmengenerfordernisse einer qualifizierten Stichprobe einhalten.

2.11 Los, Losgröße

Laut prEN 14899:2004 (dt) 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 Jahresbehandlungsmenge und reicht in dieser Arbeit von Stunden bis mehreren Tagen.

2.12 Beurteilungsmenge

Mitunter wird das Los auch als Beurteilungsmenge festgelegt. Die Begriffe sind aber nicht zwingend gleichbedeutend. In der Folge wird dafür die betrachtete behandelte Menge, die durch eine Sammel- oder 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 t) oder Behandlungszeiträume (z. B. 1 Monat) festgelegt.

2.13 Abscheideleistung, Abscheidegrad

Die Abscheideleistung ist die Masse an abgeschiedenem Stoff pro Zeiteinheit. Der Abscheidegrad ist das Verhältnis von abgeschiedenem zu enthaltenem Stoff.

Die Berechnung des Abscheidegrads darf für Metalle nur den einer metallischen Wiederaufbereitung zuführbaren Anteil enthalten. Als nicht einer Wiederaufbereitung zuführbar werden dabei zur Zeit Oxide oder in Stoffverbunden vorliegende Metalle betrachtet.

2.14 Probenbezeichnungen

Zur eindeutigen Identifikation der Proben wurde ein Schema für die Bezeichnung gewählt. Die Bezeichnung setzt sich zusammen aus der Nummer des Versuchs und dem betrachteten Materialstrom (z.B. Output 1, 2D), der Benennung, ob es sich um eine Teilprobe einer Einzelnen Sammelprobe (E) aus dem Materialstrom, eine Mischprobe aus zwei oder drei Teilproben der E-Sammelproben (S) oder um eine Mischprobe aus sechs bis neun Teilproben von E-Sammelproben (SS) handelt. Die Abkürzungen entstammen den eigentlich inkorrekten Bezeichnungen **E**inzelprobe (E), **S**ammelprobe (S) und **S**ammelsammelprobe (SS) für die drei Mischstufen und wurden beibehalten, um die Rückverfolgbarkeit der einzelnen Werte (Anhang, Tabellen) zu gewährleisten. Weiters wurde eine Nummer (1 bis 3, 1 bis 6, 1 bis 7, 1 bis 9) vergeben (z.B. Output 1, 2D, E1). Die Proben von den sortierten Fraktionen wurden nach den enthaltenen Stoffen (Textil, Kartonagen, Verbund, Kunststoff, biogen, < 10 mm) bezeichnet. Die Proben der „Sammlung gelbe Tonne“ wurden mit ÖKK (Österreichischer Kunststoffkreislauf) bezeichnet. Beim Probeneingang im Labor vergibt dieses eine eigene Laufnummer für jede Laborprobe. Diese ist 4-stellig mit einem Zusatz für das Jahr (z.B. 0222-04). Die Listen im Anhang des Berichts für die Auftraggeber (z.B. Prüfberichte) sind nach diesen Nummern geordnet.

Die in dieser Arbeit verwendeten Proben sind, abgesehen von der Entnahme von Einzelproben an den Probenahmeorten, allesamt Mischproben bzw. Teilproben von Mischproben und Mischproben aus diesen. Die Proben der Metallfraktionen sind Teilproben der gesamten im betrachteten Zeitraum abgeschiedenen Metalle.

2.15 Probenverjüngung

Bei der Probenverjüngung wurde (degeneriertes) fraktionales Schaufeln angewendet, wobei maximal ein Verjüngungsverhältnis von 1:4 und mindestens zehn Inkremente pro Probe (E: 5 l, S und SS: 10 l) vorgesehen wurden. Das Fraktionierte Schaufeln wird auch als fraktionsweises Schaufeln, fraktionierendes Schaufeln oder Teilungsschaufeln bezeichnet (engl. fractional shovelling).

Für die praxistaugliche Probenahme und Probenaufbereitung sind praktikable Verjüngungsmethoden nötig. Zu diesem Zweck sollte das degenerierte Fraktionale Schaufeln [Gy, 1992, S. 416] verwendet werden, weil dafür von Gerlach et al. für Bodenproben und synthetische Bodenproben der Nachweis erbracht worden ist, dass fraktioniertes Schaufeln gegenüber der Viertelteilung zu geringeren Fehlern bei der Probenverjüngung führt. Prochaska [2004] hat gezeigt, dass dies auch für heizwertreiche Fraktionen < 50 mm gilt.

Beim Fraktionalen Schaufeln werden von der zu verjüngenden Menge (Mischprobe) mit einer geeigneten Schaufel Teilmengen entnommen und zu neuen Haufen 1,2,3, usw. aufgeschüttet. Eine geeignete Schaufel hat erhöhte Ränder und ihre 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 2-4 können als verworfenes Material auch gemeinsam aufgehäuft werden (degeneriert). Verjüngungen von 1:2, 1:3, 1:4 sind erreichbar, darüber sollten 2 Schritte gewählt werden.

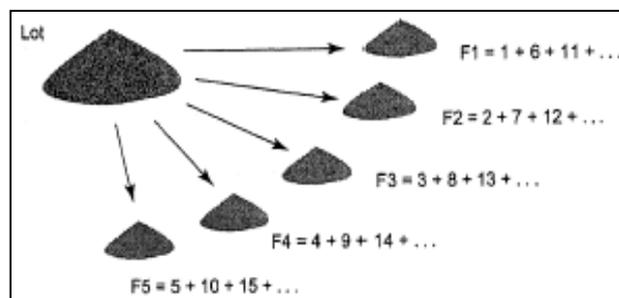


Abbildung 2.1: Fraktionales Schaufeln - Vorgehensweise bei einem Verjüngungsschritt, nicht degeneriert, alle Teilproben werden getrennt gebildet, Quelle [Gerlach 2002]

Die ÖNORM EN 932-2:1999 beschreibt das Einengen einer Probe durch fraktionales Schaufeln. Dabei wird zuerst die Anzahl der zu erhaltenen Teilproben (n) als Masse Laborprobe/Masse Test Probe ermittelt. Die Schaufelgröße wird dann so festgelegt, dass jede Teilprobe min. 10 mal bedient wird. Die Verjüngung findet in einem Schritt statt. Die eingesetzte Methode geht über 2 oder 3 Schritte wobei n mit max. 5 pro Schritt begrenzt wurde. Für jeden Schritt ist mit min. 10 Schaufeln zu rechnen.

Die nachfolgende Abbildung 2.2 zeigt die Anwendung des Fraktionales Schaufelns auf den vorletzten Teilungsschritt bei der Gewinnung der Laborproben. Dabei handelt es sich um eine 2:1 Teilung, links das verworfene Material, rechts die Teilprobe. Danach folgt ein weiterer Teilungsschritt in dem die Teilprobe auf die Laborproben (E mit 5 l, S mit 10l, SS mit 10l) aufgeteilt wird, für eine von sechs Teilproben im Verhältnis 3:3:1 (5 l : 5 l : 1,7 l). Wenn eine Laborprobe dabei zu groß wurde, konnte das Gesamtvolumen (lose auf der Handschaufel betrachtet) der Laborprobe durch Verdichten im Kübel erhöht werden, um die Verhältnismäßigkeit aufrecht zu erhalten, ohne z.B. Messzylinder zu verwenden.



Abbildung 2.2: Verjüngung durch degeneriertes Fraktionales Schaufeln, links das verworfene Material, in der Mitte das zu verjüngende Material, rechts die Teilprobe offen und rechts oben die Teilproben S und SS von vorhergegangenen Mischproben des selben Versuchs in Kübeln

Dieses Vorgehen stellt eine Verjüngung mittels der autom. Probenahmeeinrichtung der Verladungsanlage (ohne Metallabscheidung) nach. Dabei würde die über einen Zeitraum von z.B. 2 Wochen gebildete Sammelprobe nicht manuell verjüngt, sondern nochmals in die Verladestation aufgegeben und in kürzeren Abständen über die automatische Probenahmeeinrichtung beprobt, um die Verjüngung zu erzielen. Der Vorteil wäre die Abarbeitung eines größeren Volumens durch mechanische Hilfsmittel und das Wegfallen von subjektiver Entnahme von Inkrementen durch den Probenverjünger, da die Klappe das Material nicht sieht. Nachteilig könnten Verunreinigungen durch in der Anlage befindliche Feinfraktionen sein. Zusätzliche Stillstandszeiten (Verringerung der Anlagenverfügbarkeit) sollten dabei keine auftreten, weil die Verladestation im Vergleich zum Zerkleinerungsteil der Anlage aufgrund ihrer höheren Durchsatzleistung ohnehin während einer Schicht nicht laufend in Betrieb ist.

3 Beschreibung der Anlage

Die Konfiguration der Anlage stellte sich zum Zeitpunkt der Versuche (März und April 2004) wie in Abbildung 3.1 gezeigt dar.

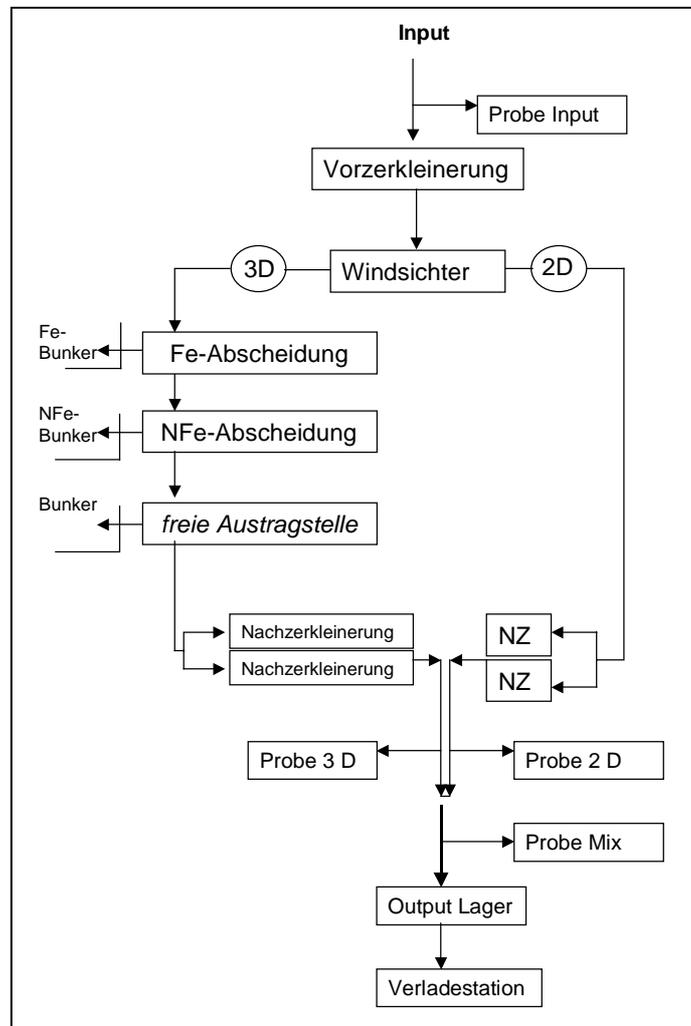


Abbildung 3.1: Schema der ThermoTeam-Anlage, Ist-Zustand März/April 2004

Die einzelnen Aggregate und Probenahmestellen werden in Kapitel 3.1-3.8 näher beschrieben.

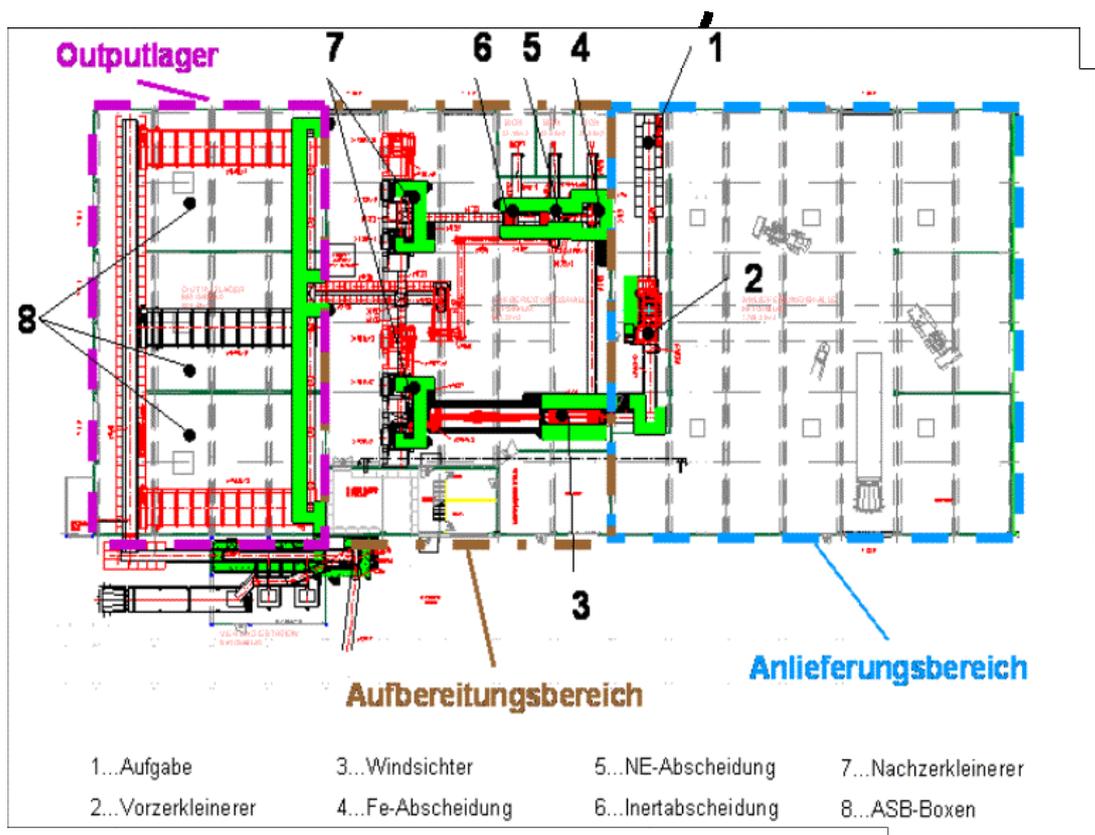


Abbildung 3.2: Plan der Aufbereitungsanlage ThermoTeam

3.1 Vorzerkleinerung

Die Vorzerkleinerung von Ballen oder losem Material erfolgt auf ca. 100 mm ohne Siebeinsatz. Bei dem Aggregat handelt es sich um einen „Meteor 2500“ (2500 mm Rotorlänge) der Fa. Lindner. Es ist dies ein Einwellenzerkleinerer, Langsamläufer, von der Zerkleinerungscharakteristik her ist es ein schneidendes System.

3.2 Windsichtung

Der Windsichter teilt das aufgegebene Material in einen spezifisch leichten 2D und einen spezifisch schweren 3D Teil. Der 3D Teil wird über die Fe- und NFe Abscheider zur Nachzerkleinerung gefördert, der 2D Teil wird direkt zur Zerkleinerung gefördert. Die Bezeichnung 2D und 3D basiert auf der Annahme, dass körperförmiges Material (dreidimensional) im Windsichter nach unten und flächiges Material (näherungsweise zweidimensional) nach oben ausgetragen wird. Es handelt sich um eine betriebsinterne Bezeichnung.

3.3 Fe-Abscheider

Ferromagnetische Stoffe werden durch Elektromagneten entweder nach oben (Überbandmagnet) aus dem Abfallstrom gehoben oder an einer Übergabestelle nach unten weiter am Band haftend (Magnet befindet sich in der Umlenkrolle, ist aber nur z.B. über 225° ausgeführt) umgelenkt und dann, wenn der Magnet endet, abgeworfen. Insgesamt weist die Anlage zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung 3 Fe-Abscheider auf. Einen Überkopfabscheider und einen in eine Übergabestelle integrierten, die nacheinander angeordnet sind, sowie weiters einen Überkopfabscheider im Auslieferungsbereich, wo das Material, das an das Zementwerk Retznei mittels Rohrgurtförderer geliefert wird, nochmals Fe-entfrachtet wird. Die Abscheideleistung wird, weil aufgrund der Revision des Zementwerks keine Ersatzbrennstoffauslieferung erfolgt, nur von den ersten beiden Fe-Abscheidern ermittelt.



Abbildung 3.3: Austragsbunker Fe-Abscheider

3.4 NFe-Abscheider

Der NFe-Abscheider gibt den Nichteisenmetallen einen zusätzlichen Impuls. Durch ein elektromagnetisches Wechselfeld wird ein Wirbelstrom in den elektrisch leitenden Teilchen erzeugt, der ein entgegen dem Wechselfeld gerichtetes magnetisches Dipolmoment im Teilchen bedingt. Es kommt somit zu einer Abstoßung gegenüber dem induzierenden Wechselfeld und der Impuls befördert die Teilchen damit über eine Trennkante (Abbildung 3.4). Der Austrag des abgeschiedenen Materials erfolgt mittels Förderband in einen Bunker.



Abbildung 3.4: NFe-Abscheider

3.5 Freie Austragstelle

An dieser Stelle war zur Zeit der Projektplanung ein Bürstensichter installiert. Weil sich dieser im Betrieb nicht bewährt hat (Folien bedeckten die Oberfläche, die Abscheideleistung wurde dadurch stark reduziert) wurde er ausgebaut. Für das Projekt bedeutet dies, dass die Abscheidung von Inertstoffen durch diesen Apparat nicht beurteilt werden kann. Es stand aber dadurch eine zusätzliche Austragstelle zur Verfügung, die durch das Umlegen einer Metallklappe zum Austrag von vorzerkleinertem Material genutzt werden konnte.



Abbildung 3.5: Übergabestelle und Austragsband, Bürstensichter ausgebaut

3.6 Nachzerkleinerung

Die Nachzerkleinerer (4 Stück Lindner „Komet 1800“, einstellbarer Schnittpalt) sind jeweils doppelt ausgeführt und parallel angeordnet, sie werden abwechselnd über Förderbänder beschickt. Die 2D Seite hat dabei einen 30 mm Siebeinsatz, die 3D Seite einen 10 mm Siebeinsatz. Danach wird das Material in den Bunker zur Zwischenlagerung gefördert.

3.7 Beprobung der 2D- und 3D-Materialströme

Im Angebot war die Beprobung der getrennten Ströme über das Abschalten jeweils eines Stranges dargestellt. Durch Öffnungen an den Übergabestellen nach der Nachzerkleinerung ist auch dort eine Beprobung möglich. Damit wird auch vermieden, dass durch die Zerkleinerung einer relativ kleinen Menge an 3D-Material andere Verhältnisse als im Regelbetrieb auftreten.



Abbildung 3.6: Übergabestelle hinter der 2D-Nachzerkleinerung, Probenahmeort

3.8 Beprobung Mix

Die Beprobung des gemischten aufbereiteten Materials (Verhältnis 3D : 2D ist ca. 30 : 70) erfolgt im Verteiler oberhalb des Bunkers. Die Zugänglichkeit ist dabei stark eingeschränkt, weil der Abwurfpunkt über einen Meter von der Luke entfernt liegt und aus der Öffnung Dampf austritt, wodurch die ohnehin schlechten Sichtbedingungen (Staub, geringe Beleuchtung) weiter verschlechtert werden.



Abbildung 3.7: Probenahmeöffnung für das Mix-Material, 2D und 3D Fraktion gemischt, oberhalb des Auslieferungslagers

4 Versuchsplanung

Für die Versuche wird Material aus zwei mechanisch(biologischen) Abfallaufbereitungs-Anlagen (M(B)A) auf Abruf bereitgestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Daten früherer Untersuchungen („Heizwertreiche Fraktionen aus der MA/MBA“) wird die Lieferung von ca. 120 Mg aus der ZEMKA (Zentrale Müll- und Klärschlamm Kompostierungsanlage) in Zell am See angefordert. Dieses Material wird für die Aufbereitungsversuche verwendet. Dazu wird das Material in 4 Beurteilungsmengen geteilt. Verwendet werden je 20 Mg für die Erstellung von zwei Massenbilanzen und je 40 Mg für die zweimalige Probenahme und Überprüfung des Konzepts der Mischprobenahme.

4.1 Massenbilanz und Sortierung

4.1.1 Massenbilanzierung

Es werden zwei Massenbilanzen (Massenbilanz I, Massenbilanz II) ermittelt. Dies soll jeweils mit einer Anlieferung (ca. 20 Mg) geschehen. Die entstehenden Fraktionen sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

Tabelle 4.1: (Teil)Fraktionen der Massenbilanzierung

Fraktion/Teilfraktion	Erfassung der Masse
Input	erfasst +/- 20 kg
Eisen	erfasst +/- 0,1 kg
Nichteisen	erfasst +/- 0,1 kg
Staub	nicht erfasst
Flüchtige Substanzen	nicht erfasst
3D-Fraktion	erfasst +/- 20 kg
2D-Fraktion	nicht erfasst

Die Erfassung von 2D Material ist nicht möglich, da dies in den Bunker transportiert wird und dabei keine Verwiegung stattfindet. Der Staub der Hallenluftabsaugung kann aufgrund der Zeitverzögerung nicht dem Material der Massenbilanz zugeordnet werden und wird ohnehin im Normalbetrieb im Kreislauf geführt. Eine weitere Fehlerquelle ist die Aufgabe von mehr

oder weniger Material als verwogen wurde, was bei der Situation im Inputlager (vgl. Abbildung 5.2) nicht auszuschließen ist. Da das 2D-Material nicht verwogen werden kann (es fällt in das Outputlager) und als Differenz der anderen ein- und ausgehenden Materialströme ermittelt wird, werden diese unbekanntes Massen durch das Vorgehen der 2D Fraktion zugerechnet. Der Bilanzfehler der Masse an flüchtigen Substanzen und an Staub und etwaige Differenzen in der Bilanz durch die Aufgabe im Inputlager werden somit in die 2D Fraktion eingerechnet.

4.1.2 Sortierung

Im Rahmen der Massenbilanzierung werden Teilproben der über die Metallabscheider ausgetragenen Metallfraktionen gewonnen, welche danach einer Sortierung unterzogen werden.

Bei der Sortierung werden die Metallfraktionen (ca. 100 kg) jeweils auf Eisen, Nichteisenmetalle, Kunststoff/Brennbares, Sonstiges (Organik, Inert) sowie Batterien getrennt und verwogen. Die Metallfraktionen werden aufbereitet und analysiert. Die genaue Vorgehensweise dafür stand zum Planungszeitpunkt noch nicht fest, weil die mechanische Zerkleinerung der Metalle noch offen war.

Zu späterem Zeitpunkt wurde festgestellt, dass für Eisenmetalle im Verwertungskreislauf keine Zerkleinerung unter 200 mm erfolgt und somit industriell kein Zerkleinerungsaggregat für eine Probenaufbereitung zur Verfügung steht. Damit kann hier nicht der Weg der probabilistischen Gewinnung von Proben über mehrere Probenahme-, Zerkleinerungs- und Verjüngungsschritte gegangen werden. Stand der Technik für die Beurteilung der Zusammensetzung von Eisen- und Stahlschrott ist die optische Beurteilung. Eine Analyse der Eisenfraktion wird im Rahmen dieses Projekts somit nicht durchgeführt.

Für Nichteisenmetalle gibt es eine weitere Zerkleinerung im Zuge der gewerblichen Aufbereitung. Für diese Aufgabe konnte die Fa. Metran gewonnen werden. Weiters werden Teilproben der zerkleinerten Nichteisenmetalle mittels Riffelteilung gewonnen und eingeschmolzen. Das Einschmelzen dient der Analyse von Pb, Ni, Mg, Al, Ca, Ti, Zn, Fe, Si, Cu und In im gewonnenen Regulus. Die Salzschlacke wird ebenfalls analysiert. Das Abgas wird während des Aufheizvorganges bis ca. 150°C quantitativ abgezogen, dabei dient Ar als Spülgas und zur Verhinderung von Oxidation. Das Abgas wird durch eine Absorptionslösung geleitet, mit dem Ziel Hg aus dieser Lösung zu bestimmen.

Im Rahmen der Herstellung von Ersatzbrennstoffen werden vom Inputmaterial unzerkleinerte Einzelproben entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. Diese Mischprobe (ca. 1000 kg, 5 m³) wird in Metall, Kunststoff, Textilien, Papier/Pappe, Organik + Feinmaterial, Inertstoffe (Glas, Steine), Batterien, Verbundmaterial und Restfraktion sortiert. Dazu wird ein Sortiertisch mit 10 mm Rundlochung verwendet.

4.2 Probenahme heizwertreiche Fraktion

Die Probenahme im Zuge der Verarbeitung von ca. 40 Mg heizwertreicher Fraktion (Input) wird in 8-9 Intervallen á 20 min durchgeführt, dazwischen werden jeweils 10 min (Pausen, Rüstzeiten) nicht beprobt. Innerhalb dieser Intervalle werden jeweils 2,5 l Probe jede Minute gezogen, also in Summe 50 l pro Intervall, für die Bestimmung der (Leit)Parameter GV, TR, oberer u. unterer Heizwert, Cl, Cd und Cu. Diese 50 l (Einzelnen Sammelprobe) werden danach mittels Teilungsschaufeln (Fraktionales Schaufeln) zu 5 l Laborproben verjüngt. Im Zuge der Verjüngung wird aus je drei Leitparameterproben eine Probe für die Analyse dieser und weiterer Parameter (S, F, PCB, TOC, Al metallisch, Al gesamt, As, Be, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, V und Zn) der Gesamtparameter gewonnen (60 Einzelproben). In eine Probe für die Analyse aller Parameter fließen alle Einzelproben ein (180). Die Laborprobengröße beträgt bei den Gesamtparametern jeweils 10 l (vgl. Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Probenbezeichnungen, Zusammensetzung und analysierte Parameter für die aufbereitete Heizwertreiche Fraktion

Bezeichnung	zusammengesetzt aus	analysierte Parameter
Einzelprobe	ca. 2,5 l Probematerial	nicht einzeln analysiert
Einzelne Sammelprobe	einer Einzelprobe pro Minute, ca. 20 Einzelproben in Summe 50 l, für die Analyse verjüngt auf 5 l	Cl, Cd, Cu, GV, TR, oberer und unterer Heizwert, („Leitparameter“)
Mischprobe 1. Stufe	3 Sammelproben, für die Analyse verjüngt auf 10 l	Cl, Cd, Cu, GV, TR, oberer und unterer Heizwert, S, F, PCB, TOC, Al metallisch, Al gesamt, As, Be, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, V und Zn, („Gesamtparameter“)
Mischprobe 2. Stufe	9 Sammelproben, für die Analyse verjüngt auf 10 l	Cl, Cd, Cu, GV, TR, oberer und unterer Heizwert, S, F, PCB, TOC, Al metallisch, Al gesamt, As, Be, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, V und Zn, („Gesamtparameter“)

Die Beprobung des Inputmaterials erfolgt ebenfalls in 20 min Intervallen. Pro Intervall wird dabei durch Einzelproben aus dem Anschnitt des Haufens 1 m³ gewonnen. Die Mischprobe

wird entweder mit dem Doppelwellenzerkleinerer oder mit der 3D Seite der Anlage zerkleinert und dabei beprobt. Im ersten Fall (Outputproben 2D, 3D, Mix) erfolgt die Verjüngung durch Teilungsschaufeln, im 2. Fall (Zerkleinerung Inputmaterial) durch Probenahme aus dem Abwurf mit einer hohen Einzelprobenanzahl (100) und danach eine Verjüngung durch Teilungsschaufeln.

Die Massen für die Probenahme von Ersatzbrennstoffen orientieren sich dabei an einer modifizierten Abschätzung nach TC 343 WG3 Solid Recovered Fuels – Sampling Methods siehe Tabelle 4.3:

Tabelle 4.3: Planung der Mischprobenmasse/ -volumen in Abhängigkeit der Korngröße und der Schüttdichte nach einem Entwurf der CEN TC 343 WG3 Solid recovered fuels – sampling methods (modifiziert) für 10-30 mm maximale Korngröße (d_{95})

D95 mm	Sammel-/ Mischprobe (min.) kg	Sammel-/ Mischprobe (min.) Liter									
		Schüttdichte (kg/m ³)									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	
10	0,1	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	
20	0,7	6,5	4,4	3,3	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	
30	2,2	22,0	14,7	11,0	8,8	7,3	6,3	5,5	4,9	4,4	

Für diese Tabelle wurde die in der TC 343 WG3 "Solid Recovered Fuels - Sampling Methods" vorgeschlagene Formel dahingehend adaptiert, dass ein p von 0,002, entsprechend den Erkenntnissen von Prochaska et al. [2004] verwendet wurde, um Probenmassen für die Bestimmung von Schwermetallen zu erhalten. Die Teilchendichte wurde mit 1g/cm^3 übernommen, der Formfaktor ist 0,05; g wurde 0,25 gesetzt; $CV=0,2$. Die Sammelproben, bzw. Teilproben davon, werden vor der Verjüngung nicht weiter zerkleinert. Die höhere Masse an Sammelprobe (als nötig) dient nur der Praktikabilität.

Die Laborproben (verjüngte Mischproben) wurden auf Basis dieser Abschätzung (Tabelle 4.3) mit 10 l (umfassende Analyse, $d_{95} < 30$ mm, Schüttdichte 200 kg/m^3 lose bis 400 kg/m^3 komprimiert) bzw. 5 l (Leitparameter, bewusst verringerter Aufwand) festgelegt.

Tabelle 4.4 Planung der Mischprobenmasse/ -volumen in Abhängigkeit der Korngröße und der Schüttdichte nach einem Entwurf der CEN TC 343 WG3 Solid recovered fuels – sampling methods (modifiziert) für 40-300 mm maximale Korngröße (d_{95})

D95 mm	Sammel-/ Mischprobe (min.) kg	Sammel-/ Mischprobe (min.) Liter								
		Schüttdichte (kg/m ³)								
		50	60	75	80	90	100	150	200	250
40	9,3	186	155	124	116	103	93	62	46	37
50	18,1	363	302	242	227	202	181	121	91	73
75	61,2	1.225	1.021	816	765	680	612	408	306	245
100	145,2	2.903	2.419	1.935	1.814	1.613	1.452	968	726	581
150	489,9	9.798	8.165	6.532	6.124	5.443	4.899	3.266	2.449	1.960
200	1161,2	23.225	19.354	15.483	14.515	12.903	11.612	7.742	5.806	4.645
250	2268,0	45.360	37.800	30.240	28.350	25.200	22.680	15.120	11.340	9.072
300	3919,1	78.383	65.319	52.255	48.989	43.546	39.191	26.128	19.596	15.677

Für diese Tabelle wurde die in der TC 343 WG3 "Solid Recovered Fuels - Sampling Methods" vorgeschlagene Formel dahingehend adaptiert, dass ein p von 0,002, entsprechend den Erkenntnissen von Prochaska et al. [2004] verwendet wurde, um Probenmassen für die Bestimmung von Schwermetallen zu erhalten. Die Teilchendichte wurde mit 1g/cm^3 übernommen, der Formfaktor ist 0,05; g wurde 0,25 gesetzt; $CV=0,15$, weil wenn über alle Zerkleinerungs- und Teilprobenentnahmeschritte ein CV von 0,2 zugelassen wird, die Erfahrung zeigt, dass nur ein weiterer Auswahlschritt (die Entnahme der Laborprobe bei ca. 30 mm) ähnlich hohe Beiträge zur Gesamtunsicherheit der Probenahme bringt ($CV_{\text{gesamt}}=0,21$; $CV_{\text{Teilschritt}}=0,15$).

Die Proben des Inputmaterials wurden mit 1.000 kg (d_{95} ca. 200 mm) bzw. 5 m³ (Schüttdichte ca. 200 kg/m³) festgelegt (vgl. Tabelle 4.4).

4.2.1 Konzept der Mischprobenbildung

Im Zuge der Probenahme soll das Konzept der Mischprobenbildung für den behandelten Ersatzbrennstoff getestet werden. Ziel ist es zu zeigen, dass der Mittelwert für mehrere Teillose auch durch physikalisches Mischen vor der Laborprobe und Analyse anstatt der rechnerischen Mittelwertbildung vieler Einzelanalysen gebildet werden kann. Dabei werden zwei Mischstufen getestet. Die Abbildung 4.1 zeigt die Mischprobenbildung für zwei Stufen und sechs Mischproben, für neun Sammelproben werden auf der Stufe 1 jeweils drei zu einer Mischprobe zusammengefasst.

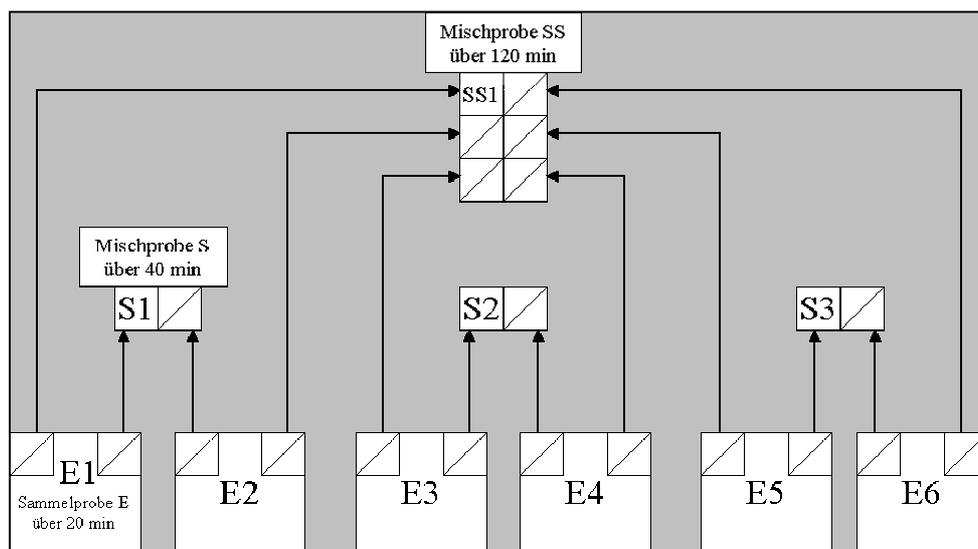


Abbildung 4.1: Mischprobenbildung bei der Probenahme in zwei Stufen

Eine Gegenüberstellung der Mittelwerte und Vertrauensbereiche auf den einzelnen Stufen sowie die Gegenüberstellung des Mittelwerts aller Einzelner Sammelproben und der aus Teilproben bestehenden Mischprobe mit ihren Vertrauensbereichen soll zur grafischen Beurteilung der Mittelwertbildung (funktioniert, funktioniert nicht) durch Fraktionales Schaufeln dienen. Der rechnerische Mittelwert der Einzelnen Sammelprobe (E) mit seinem Vertrauensbereich und der Mittelwert der jeweiligen Mischprobe (S bzw. SS) mit seinem Vertrauensbereich (Balken) müssen sich (bei 90% stat. Sicherheit für die Berechnung des Vertrauensbereichs) überschneiden, um das Kriterium der Übereinstimmung zu erfüllen. Ein fiktives Beispiel zeigt Abbildung 4.2.

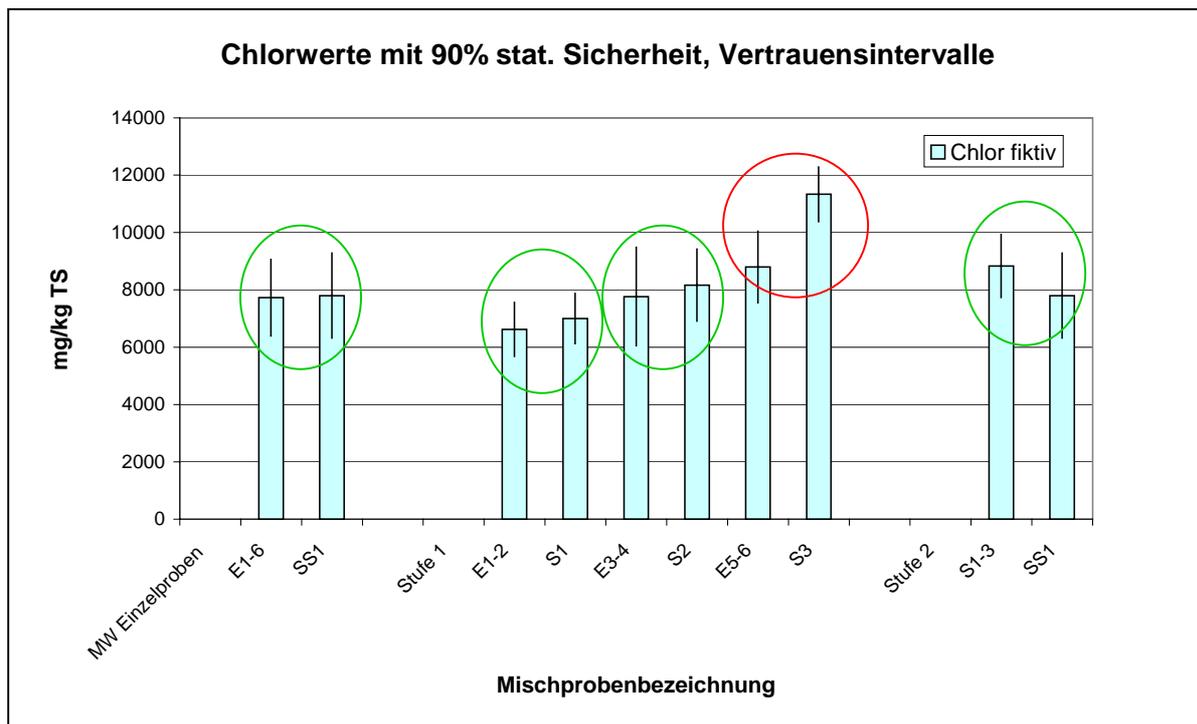


Abbildung 4.2: Vergleich von fiktiven Chlorgehalten. Verglichen werden Mischproben (Mittelwert Dreifach-Bestimmung) und gemittelte Werte aus mehreren Einzelnen Sammelproben (Mittelwert Dreifach-Bestimmung) in zwei Stufen wie in Abbildung 4.1 gezeigt.

Dabei ist zu erwarten, dass die Mittelwerte aus den Einzelbestimmungen ein präziseres Ergebnis liefern als die Bestimmung einer Mischprobe. Jedenfalls sollten sich der Vertrauensbereich des Mischprobenbestimmungsergebnisses und der Vertrauensbereich um den Mittelwert der Einzelergebnisse überschneiden. Im Beispiel wäre dies für alle Fälle (grün umrandet) außer bei der Stufe 1, für die Einzelnen Sammelproben 5 u. 6 bzw. Mischprobe S3 gegeben (rot umrandet). Ein höheres statistisches Sicherheitsniveau führt hier übrigens zu einem breiteren Vertrauensbereich.

4.2.2 Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material

Der Vergleich der Gehalte kann zeitlich und mit den Mittelwerten für die Beurteilungsmenge durchgeführt werden. Dabei wird das Verhältnis zwischen 2D und 3D Fraktion, das in den Massenbilanzierungen ermittelt wird, zugrunde gelegt, erwartet wird ein Verhältnis 2D-Material zu 3D-Material von 70 : 30.

4.3 Probenahme gelbe Tonne

Die Anlage wird über zwei Stunden Material der gelben Tonne behandeln, dies stellt eine Beurteilungsmenge von ca. 20 Mg dar. Dabei wird jeweils eine Sammelprobe von 2D- und 3D-Material mit 120 Einzelproben (eine Einzelprobe pro Minute) genommen.

5 Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Versuchsdurchführung werden die tatsächlichen Massen, die Probenmengen, die Probenanzahl und die Änderungen gegenüber der Planung dargelegt.

Das Material (insgesamt 120 Mg in Losen zu 20 Mg, die teilweise zu Beurteilungsmengen von 40 Mg zusammengefasst werden) ist heizwertreiche Fraktion der MBA Zell/See (Abbildung 5.1). In der MBA Zell/See wird Siedlungsabfall mit einem Langsamläufer vorzerkleinert, Eisen wird abgeschieden (Überkopfabscheider) und dann der Oberlauf von einer Absiebung bei 100 mm als heizwertreiche Fraktion gewonnen. Der Transport erfolgte in Presscontainern ohne Zwischenlagerung.



Abbildung 5.1: heizwertreiche Fraktion, Mischprobe aus dem unzerkleinerten Inputmaterial

Zweimal je 20 Mg wurden zur Erstellung einer Massenbilanz verwendet (vgl. Tabelle 5.1. in der 1. u. 2. Zeile). Dies soll die Aufteilung in Windsichteroberlauf und –unterlauf sowie die im Normalbetrieb erreichte Abscheidung von Eisen und Nichteisenmetallen zeigen. Dafür wurde der tatsächliche Gehalt an Eisen und Nichteisen durch eine Sortierung einer Teilprobe des Material ermittelt.

Zwei mal je 40 Mg wurden danach aufbereitet und im Zuge dieser Aufbereitung beprobt (vgl. Tabelle 5.1. in der 3. u. 4. Zeile). So wurden Proben für die chemische Analyse des aufbereiteten Materials gewonnen. Ein aufwändiger Beprobungsplan ermöglicht die Überprüfung des Konzepts der Mischprobenbildung.

Tabelle 5.1: durchgeführte Versuche, verwendete Massen und Zuordnung der sortierten Materialien

Versuch	Masse	Materialien aus der Behandlung	Untersuchungen	
Massenbilanz 1	ca. 20 Mg	2D, 3D, Eisen, Nichteisenmetalle	Bilanzierung 1	Sortierung von Eisen und Nichteisen
Massenbilanz 2	ca. 20 Mg	2D, 3D, Eisen, Nichteisenmetalle	Bilanzierung 2	
Herstellung von Ersatzbrennstoff 1	ca. 40 Mg	Output 1 2D, Output 1 3D, (Output 1 Mix, nicht beprob), Eisen, Nichteisenmetalle	3 Proben (70kg, 70kg, 1000kg) vom unzerkleinerten Input, Mischprobenbildung	Aufbereitung der unzerkleinerten Inputproben und Probenahme im 2D u. 3D Strom, Sortierung zweier Inputmaterialproben (70 kg)
Herstellung von Ersatzbrennstoff 2	ca. 40 Mg	Output 2 2D, Output 2 3D, Output 2 Mix, Eisen, Nichteisenmetalle	Probe (1200 kg) vom unzerkleinerten Input, Mischprobenbildung	Aufbereitung der unzerkleinerten Inputproben und Probenahme im 2D u. 3D Strom

5.1 Massenbilanz und Sortierung

Für die zwei unabhängigen Versuche zur Erstellung einer Massenbilanz der Input- und Outputströme der ThermoTeam Anlage (vgl. Abbildung 3.1) wurde je eine LKW-Lieferung zu ca. 20 Mg verwendet. Für die Sortierung und Überprüfung der Probenahme vom unzerkleinerten Inputmaterial wurden Proben des Inputmaterials im Zuge der Aufbereitung von heizwertreicher Fraktion/Herstellung von Ersatzbrennstoffen von je 40 Mg über den Aufbereitungszeitraum aus dem Haufenanschnitt (Abbildung 5.3) mit Schaufel/Mistgabeln entnommen. Diese wurden einerseits für eine nachfolgende Zerkleinerung zur Probenahme (2 x je 5 m³) und für eine manuelle Sortierung des Inputs (ca. 140 kg) verwendet. Auch die bei der Aufbereitung der 20 Mg abgeschiedenen Fe- und NFe-Fractionen wurden, nach Verjüngung mit Fraktionalem Schaufeln (2:1), sortiert, um die Masse $Fe_{\text{abgeschieden, sortiert}}$ mit einem Anteil am gesamten in der heizwertreichen Fraktion enthaltenen Fe_{Schrott} (gleichfalls für NFe) zu hinterlegen. Der Abscheidegrad ergibt sich dann als $Fe_{\text{abgeschieden, sortiert}} / Fe_{\text{Schrott}}$. Die zu ermittelnde Abscheideleistung ist der Abscheidegrad mal dem Durchsatz pro Zeiteinheit.

5.1.1 Massenbilanz

Das angelieferte Material wurde verwogen und nach dem Abladen, um Vermischung zu vermeiden nach Leerfahren der Anlage (ohne Reinigung der Siebe), sogleich aufbereitet. Eine derartige Anlieferung ist in Abbildung 5.2 gezeigt. Die Verwiegung des Inputs und des 3D Outputs, der über die freie Austragstelle abgezweigt wurde (Abbildung 5.4), erfolgte auf einer Brückenwaage (+/- 20 kg). Die Metallfraktionen wurden in Kisten bzw. den besenreinen Bunkern (Abbildung 5.5 und Abbildung 5.6) aufgefangen und mit einer elektronischen Waage (+/- 0,1 kg) verwogen. Die 2D Fraktion wurde nicht verwogen. Der Bilanzfehler ist somit in der größten, der 2D Fraktion enthalten und hat dort die prozentuell geringste Auswirkung. Aus der Betriebserfahrung ist bekannt, dass ein Großteil des Materials im Windsichter nach oben ausgetragen wird. Typisch ist ein Wert um 70%.



Abbildung 5.2: heizwertreiche Fraktion für die 1. Massenbilanz im Inputlager von ThermoTeam, die Kreise heben die beiden Ladungen des LKW-Zuges hervor.



Abbildung 5.3: heizwertreiche Fraktion für die 1. Aufbereitung, im Inputlager getrennt gelagert



Abbildung 5.4: Im Zuge der Massenbilanzierung wurde die 3D Fraktion direkt am Abwurf der freien Austragstelle aufgefangen



Abbildung 5.5: Im Zuge der Massenbilanz I abgeschiedene Eisenfraktion

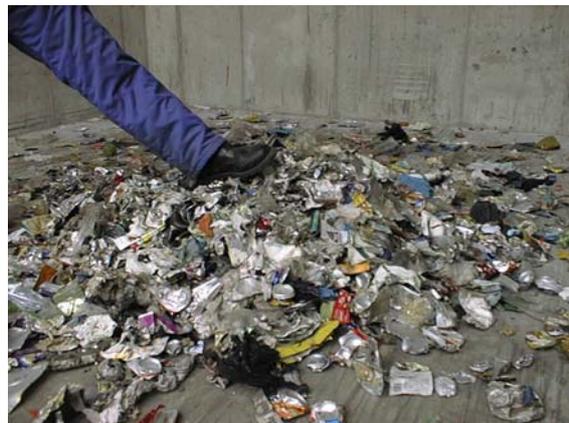


Abbildung 5.6: Im Zuge der Massenbilanz I abgeschiedene Nichteisenmetallfraktion

5.1.2 Sortierung der abgeschiedenen Metallfraktionen

Die Sortierung der Metallfraktionen erfolgte auf einem Siebtisch mit 10 mm Rundlochung in die Fraktionen Eisen, Nichteisenmetalle, Brennbares, Batterien, Feinanteil und Inertes. Die Sortiertiefe war 100%. Sortiert wurde je eine Teilprobe der im Rahmen der Massenbilanzen abgeschiedenen Metallfraktionen. Die Teilproben wurde durch fraktionales Schaufeln gewonnen. Bei der Sortierung der Nichteisenmetalle wurde der Feinanteil von einem Mitarbeiter vor der Verwiegung verworfen. Weil der brennbare Anteil wieder ins Inputlager verbracht wurde, wurde somit der Feinanteil mit der brennbaren Fraktion vermischt, daher sind einmal diese Fraktionen nur gemeinsam erfasst worden.

5.1.3 Aufbereitung und Einschmelzen der Nichteisenmetalle

Die in der Sortierung gewonnene Nichteisenmetallfraktion wurde bei der Metran in einem zweistufigen Granulator auf 12 mm (Sieblochung) zerkleinert. Die Staubabscheidung war dabei die Hälfte der Zeit abgeschaltet, wurde aber danach wieder mitbetrieben (Hg könnte sich am Staub anlagern und sollte möglichst in der Probe bleiben). Bis auf ein dickes Messingstück konnte die gesamte Probe verarbeitet werden. Hauptbestandteil waren Aluminium Dosen und –Gebrauchsartikel.

Der Versuchsaufbau (Abbildung 5.8) am Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität musste eigens für diesen Versuch entwickelt werden. Insbesondere der quantitative Abzug der Gasphase (126 Normliter) bedurfte einer zusätzlichen Deckelkonstruktion. Problematisch war das Auswaschen des Quecksilbers aufgrund der hohen Abgastemperatur. Um Ablagerungen in den Leitungen zu verhindern, wurden die Leitungen geheizt. Gegenüber dem Normverfahren (DIN 51865-3 „Bestimmung des Hg-Gehalts; Absorption in Lösungen und AAS“) musste deshalb die Flaschengröße und Menge an Waschlösung deutlich erhöht werden. Weiters wurden die Waschflaschen gekühlt und konnten somit unter 50°C gehalten werden. Zusätzlich zur Absorption von Bestandteilen des Abgases kondensierten in den Flaschen die organischen Anteile (Teer) des Materials (Abbildung 5.7). Ohne Kühlung und bei höheren Temperaturen verdampft die Absorptionslösung, die nur für die Messung eines Halbstundenmittelwerts im Abgas von Verbrennungsanlagen (ca. 120-140°C) mit geringerem durchgesaugtem Volumen konzipiert ist.



Abbildung 5.7: Absorptionslösung für die Abgase aus dem Schmelzversuch, rechts Zufluss, links Saugpumpe

Aufgrund des hohen Zeitaufwands in der Vorbereitung und Durchführung des 1. Versuchs wurden die geplanten Versuche 2 + 3 nicht mehr durchgeführt. Die zusätzlichen Versuche waren zur Optimierung gedacht, diese ist im Rahmen der Vorversuche durchgeführt worden.



Abbildung 5.8: Versuchsaufbau für das Einschmelzen der Nichteisenmetalle mit einem Induktionsofen unter Spülung mit Ar (durchsichtige Leitung), Temperaturmessung, und Abzug der Gase (schwarze Heizleitung) sowie Abzugshaube mit Sichtfenster. Ofen mit Metalldeckel und Dämmwolle

Das Einschmelzen war schwierig, weil sich kein geschlossener Regulus bildete (geringer Cu-Anteil), sondern sich nur angebackene Metallkugeln (vgl. Abbildung 5.9) bildeten. Das größte, zur Analyse verwendete metallische Stück, war ca. 1x5x8cm. Entgegen den Annahmen (Regulus, Salzschlacke) bildeten sich drei Phasen aus:

- eine wasserlösliche Salzphase,
- eine Schlackenphase und
- der Regulus.



Abbildung 5.9: vorbereitende Schmelzversuche: deutlich zu erkennen sind die Metallkugeln in einer Matrix aus vermutlich Aluminiumoxid

Die wasserlösliche Phase wurde herausgelöst, Schlacke und Metallregulus > 2 mm sortiert und das Ausbringen an Metall bestimmt.

Sollten wieder flüchtige Bestandteile in einer derartigen Matrix bestimmt werden, ist von der Versuchsdurchführung her die Kombination mit dem Einschmelzen aufgrund des hohen Anteils an Organik (v.a. Lack) in Zukunft zu vermeiden. So könnte die Hg-Absorption bis 120 °C unter Vermeidung von Pyrolyseerscheinungen durchgeführt werden. Normalerweise werden Nichteisenmetalle ohne Gasabsorption bei 600°C abgeschwelt, bevor ein Einschmelzen begonnen wird. Das Einschmelzverhalten kann durch die Vorlage von Reinkupfer verbessert werden.

5.1.4 Sortierung des Inputmaterials

Gegenüber der Planung wurde Holz/Biogenes getrennt vom Feinmaterial sortiert.

Da das Material für die Inputsortierung parallel zu den Proben des Inputmaterials gezogen wurde, sind in den Intervallen nicht die geplanten Mengen (1000 kg) erreicht worden. Ein höherer Personaleinsatz war durch die räumliche Situation nicht möglich (enger Bunker). Nach der benötigten Sortierzeit für eine Sortiertiefe von ca. 75 % wäre eine so große Menge vom Zeitaufwand her kaum durchführbar gewesen. Auch wurde die Dichte des umgeschauelten Materials überschätzt. Es wurden 300-400 kg/m³ erwartet, tatsächlich erreicht wurden ca. 200 kg/m³.

Bei der händischen Sortierung war der große Anteil an feinen Materialien auffällig, die eigentlich bei einem Siebschnitt von 100 mm nicht enthalten hätten sein sollen. Diese waren einer händischen Trennung nicht mehr zugänglich und hätten die Anwendung von Greifwerkzeug (Pinzette) bedurft. Die weitere Auftrennung wurde aber als nicht nötig angesehen.

In Tabelle 5.2 sind die Sortierfraktionen aufgelistet. Abbildung 5.10 bis Abbildung 5.19 zeigen die sortierten Fraktionen.

Tabelle 5.2: Fraktion für die Sortierung des unzerkleinerten Inputmaterials

Sortierfraktionen
Eisen
Nichteisenmetalle
Kunststoffe
Textilien
Papier, Karton
Glas, Steine, Keramik
Verbunde
Holz, Biogenes
Batterien
Feinanteil <10 mm
Restfraktion < ca. 30 mm



Abbildung 5.10: Fraktionen der Inputsortierung – Eisen, ferromagnetisch



Abbildung 5.11: Fraktionen der Inputsortierung – Nichteisenmetalle, paramagnetisch



Abbildung 5.12: Fraktionen der Inputsortierung – Kunststoffe



Abbildung 5.13: Fraktionen der Inputsortierung – Textilien



Abbildung 5.14: Fraktionen der Inputsortierung – Papier, Karton



Abbildung 5.15: Fraktionen der Inputsortierung – Glas, Steine, Keramik



Abbildung 5.16: Fraktionen der Inputsortierung – Verbunde



Abbildung 5.17: Fraktionen der Inputsortierung – Holz, Biogenes



Abbildung 5.18: Fraktionen der Inputsortierung – Feinanteil < 10 mm



Abbildung 5.19: Fraktionen der Inputsortierung – Restfraktion < ca. 30 mm

5.2 Probenahme heizwertreiche Fraktion

Die Probenahme verfolgt mehrere Ziele, die Charakterisierung des aus heizwertreicher Fraktion der MBA nach weiterer mechanischer Aufbereitung hergestellten Ersatzbrennstoffes, die Überprüfung des Konzepts der Mischprobenbildung durch degeneriertes Fraktionales Schaufeln, den Vergleich von getrennter Probenahme von zwei Stoffströmen in der Aufbereitungsanlage und der Probenahme aus dem gemischtem Strom sowie den Vergleich mit Material aus der Verpackungsabfallsammlung „gelbe Tonne“.

Die Einzelnen Sammelproben (E) wurden ohne Zerkleinerung zu Laborproben mit 5 l Volumen verjüngt, die Mischproben (S,SS) wurden zu 10 l Laborproben verjüngt.

5.2.1 Konzept der Mischprobenbildung

Wie in der Planung vorgesehen, wurden in zwei Stufen Mischproben gebildet. Da die Verarbeitungszeit für die Beurteilungsmengen nur auf Basis des Anlagendurchsatzes abgeschätzt werden konnte, aber ein höherer Durchsatz erreicht wurde, konnten statt neun Sammelproben (E) im ersten Versuch zur Charakterisierung (Output 1) nur sieben gezogen werden. Bei Output 2 konnte die Mischprobenbildung von je drei Proben (S) aus neun Einzelnen Sammelproben (E) und von diesen drei Mischproben (S) auf eine Mischprobe (SS) wie geplant erfolgen. Die Intervalle wurden dazu auf 15 min (5 min Rüstzeit) verkürzt. Im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Input 1: 1000 kg bzw. Input 2: 1200 kg) wurden sechs Einzelne Sammelproben zu drei Mischproben (S) und zu einer Mischprobe (SS) zubereitet.

5.2.2 Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material

Im Zuge der Aufbereitung des Ersatzbrennstoffs aus heizwertreicher Fraktion aus der MBA ZEMKA wurden an drei Stellen Einzelproben gezogen und daraus Sammelproben gewonnen.

- 2D-Materialstrom
- 3D-Materialstrom
- zusammengeführter 2D und 3D Strom, sogenannter Mix-Materialstrom

Es wird getestet, ob für eine Beurteilungsmenge (ca. 40 Mg) die Beprobung der Einzelströme und rechnerische Mittelwertbildung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Massenströme (2D zu 3D = 70 zu 30, vgl. 6.1.1 Massenbilanz) zum selben Ergebnis führt wie die direkte Beprobung und Analyse des gemischten Materialstroms. Dies ist von Bedeutung,

wenn die Qualität des produzierten anstatt des ausgelieferten Materials bestimmt werden soll, da die Probenahme des rückvermischten Mix-Materials schwer zugänglich ist.

Beim ersten Versuch zur Aufbereitung war der Probenahmeort für das Mix-Material trotz der Zusicherung des Anlagenbetreibers noch nicht zugänglich. Der Versuch wurde dennoch durchgeführt, da ein längeres Blockieren der Anlage nicht möglich war. Für den 2. Versuch war die Zugänglichkeit dann hergestellt.

5.2.3 Vergleich Probenahme vom unzerkleinerten Input mit anschließender Aufbereitung und Teilprobenentnahme sowie der Beprobung während der Behandlung

Im Zuge der Aufbereitung von je 40 Mg wurden fünf bzw. sechs Bigbags (Versuchsbezeichnung Input 1, Input 2) mit unzerkleinertem Input (ca. 1.000 kg bzw. 1.200 kg) als Probe aus dem Anschnitt des Haufens in der Box entnommen. Dabei wurde alle 20 min für 10 min unterbrochen (Rüstzeit, etc.) Die Probe wurde ebenfalls auf der Anlage zerkleinert und dabei Einzelproben gezogen und für jeden Strom (2D, 3D) eine Mischprobe gebildet. Als Störstoffe hat die Anlage dabei bei Versuch 1, Probe Input 1 1,02 kg Fe und 1,94 kg NFe abgeschieden, bei Probe Input 2 waren es 3,0 kg Fe und 1,1 kg NFe.

Der Versuch soll zeigen, ob die Mischprobe aus dem Inputmaterial für das im Versuch aufgegebene Material, wenn man es zerkleinert, beprobt und der chem. Bestimmung zuführt, ähnliche Ergebnisse bringt wie die Bestimmung der Mischproben, die im Zuge der Herstellung des Ersatzbrennstoffs (Aufbereitung der heizwertreichen Fraktion) selbst gewonnen wurden.

Dies kann die Möglichkeit zur Probenahme von unzerkleinertem heizwertreichem MA/MBA Material erweitern bzw. bestätigen. Das Beurteilungsmaterial ist bei dieser Inputprobenahme (Input TT-Anlage) vergleichbar mit dem Output der Splittinganlage/MBA.

5.3 Probenahme gelbe Tonne

Die Probenahme konnte beim 2D und 3D Strom wie geplant erfolgen, d. h. über zwei Stunden wurden ca. 20 Mg verarbeitet und je 120 Einzelproben gezogen.

6 Ergebnisse

6.1 Massenbilanz und Sortierung

6.1.1 Massenbilanz I + II

Wie Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 zeigen, ist die Aufteilung von 2D- zu 3D Fraktion ca. 70 % zu 30 %. Die Erfahrung aus dem sonstigen Betrieb kann daher auf die Aufbereitung von Ersatzbrennstoff aus heizwertreicher Fraktion übertragen werden. Dieses Ergebnis wird bei den Auswertungen (z.B. Vergleich der Qualitäten) weiter verwendet. Die Menge an Eisen liegt etwas unter den Erfahrungswerten (0,5%). Dies kann mit der erfolgten Abscheidung bei der Aufbereitung der heizwertreichen Fraktion bei der ZEMKA erklärt werden. Die NFe-Abscheidung liegt im Erfahrungsbereich (0,2-0,3 %).

Tabelle 6.1: Fraktionen der Massenbilanzierung I

Massenstrom, Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf den Input
Input	19.100 kg	100 %
2D-Fraktion	13.500 kg	70,7 %
3D-Fraktion	5.600 kg	29,3 %
Eisen (aus der 3D Fraktion abgeschieden)	58,0 kg	0,30 %
Nichteisen (aus der 3D Fraktion abgeschieden)	43,3 kg	0,23 %
Staub	nicht erfasst	
Flüchtige Substanzen	nicht erfasst	

Tabelle 6.2: Fraktionen der Massenbilanzierung II

Massenstrom, Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf den Input
Input	19.540 kg	100 %
2D-Fraktion	13.720 kg	70,2 %
3D-Fraktion	5.820 kg	29,8 %
Eisen (aus der 3D Fraktion abgeschieden)	86,8 kg	0,44 %
Nichteisen (aus der 3D Fraktion abgeschieden)	39,5 kg	0,20 %
Staub	nicht erfasst	
Flüchtige Substanzen	nicht erfasst	

6.1.2 Sortierung der abgeschiedenen Metallfraktionen

Die Sortierung der bei der Massenbilanzierung abgeschiedenen Metallfraktionen bzw. der durch Fraktionales Schaufeln gewonnenen Teilproben davon, wurde zur Bestimmung von groben, äußerlich anhaftenden Fremdstoffen durchgeführt. Dabei wurde der Metallgehalt in der Metallfraktion ermittelt. Dieser lag für Eisen bei 59,3 % bzw. 75,6 % und für die Nichteisenmetalle bei 87,5 % bzw. 89,5 %. Das Eisen war v. a. aufgrund der Drähte, die viel brennbares Material mit austragen, stärker verunreinigt. Da es sich bei den Daten (Tabelle 6.3 bis Tabelle 6.6) um Massen% handelt, ist die optische Verunreinigung wesentlich größer. Auch kann festgehalten werden, dass Batterien nur in der Eisenfraktion enthalten waren.

Im Feinanteil < 10 mm (vgl. Abbildung 5.18) sind auch noch Metallteile enthalten. Sortierung des Feinanteils wurde keine durchgeführt.

Tabelle 6.3: Fraktionen der Sortierung Eisenfraktion I

Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Gesamtprobe Fe-Fraktion	58,38 kg	100 %
Eisen	44,16 kg	75,6 %
Nichteisenmetalle	0,7 kg	1,2 %
Brennbares	11,18 kg	19,2 %
Batterien (8 Stück)	0,22 kg	0,4 %
Feinanteil <10 mm	2,12 kg	3,6 %
Inert	0,00 kg	0,0 %

Tabelle 6.4: Fraktionen der Sortierung Nichteisenfraktion I

Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Gesamtprobe NFe-Fraktion	34,44 kg	100 %
Eisen	0,04 kg	0,1 %
Nichteisenmetalle	30,82 kg	89,5 %
Brennbares	3,52 kg	10,2 %
Batterien	0,00 kg	0,0 %
Feinanteil <10 mm	Ist in brennbar enthalten	
Inert	0,06 kg	0,02 %

Tabelle 6.5: Fraktionen der Sortierung Eisenfraktion II

Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Gesamtprobe Fe-Fraktion	35,06 kg	100 %
Eisen	20,78 kg	59,3 %
Nichteisenmetalle	0,44 kg	1,3 %
Brennbares	12,14 kg	34,6 %
Batterien (11 Stück)	0,24 kg	0,7 %
Feinanteil <10 mm	1,46 kg	4,2 %
Inert	0,00 kg	0,0 %

Tabelle 6.6: Fraktionen der Sortierung Nichteisenfraktion II

Fraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Gesamtprobe NFe-Fraktion	27,04 kg	100 %
Eisen	0,04 kg	0,1 %
Nichteisenmetalle	23,66 kg	87,5 %
Brennbares	2,66 kg	9,8 %
Batterien	0,00 kg	0,0 %
Feinanteil <10 mm	0,68 kg	2,5 %
Inert	0,00 kg	0,0 %

6.2 Probenaufbereitung im Labor

Die Mitdokumentation der Probenaufbereitung wurde vor diesem Projekt eingeführt. Dem dafür aufgelegten Probenaufbereitungsbuch entstammt die für die Auftraggeber im Detail im Anhang (Tabelle 13.1 und Tabelle 13.2) aufgeführte Zusammenstellung. Dabei ist die Laufnummer der Laborprobe und die Probenbezeichnung für die Zuordnung zu den Versuchen angegeben. Zusammenhänge zwischen nicht versprödeten Proben und besonders niedrigen Cl Gehalten aufgrund von selektiver (Nicht)-Zerkleinerung konnten keine gefunden werden.

Zur Optimierung des Durchsatzes wurde in den meisten Fällen eine zweistufige Aufbereitung auf 4 mm und dann auf 1 mm (Trapezsiebe) der jeweiligen Laborprobe in einem Langsamläufer durchgeführt. Ebenfalls wurde fast durchgängig mit Stickstoff versprödet. Die geforderte Siebgröße von 0,5 mm wurde nicht eingehalten, weil für den Langsamläufer (im Gegensatz zum Schnellläufer, der eine höhere thermische Beanspruchung der Proben verursacht) kein derartiges Sieb vorrätig war. Die Lieferdauer des Siebes war mit 4-6 Wochen zu lange.

6.3 Ermittlung der erzeugten Qualität

Für die Ermittlung der Qualität eines Ersatzbrennstoffs (in diesem Fall dem Output der ThermoTeam-Anlage) werden international in erster Linie die Parameter unterer Heizwert, Chlorgehalt und Quecksilbergehalt herangezogen (vgl. TC 343 WG 2 „Fuel specification and classes“). Wichtig sind auch physikalische Parameter wie Korngröße, Lagerfähigkeit und Schüttgewicht, die hier keine Betrachtung finden. Für den Einsatz sind je nach Anlage weitere Parameter von Interesse, v.a. die in der Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen (2000/76/EC) für die Emissionen solcher Anlagen beschränkten Parameter (F, Cl, Cd + Tl, Hg, Summe Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V). Über den Transfer ins Abgas (je nach Transferfaktor der Verbrennungsanlage und des Brennstoffs) könnten diese im Abgas beschränkten Parameter für den Einsatz des Brennstoffs rechtlich limitierend sein. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit den Ersatzbrennstoff mit Spezifikationswerten, Primärbrennstoffen, Güteklassen von Gütezeichen oder anderen Ersatzbrennstoffen zu vergleichen. In der Folge wird die Qualität als die Summe der Eigenschaften aufgefasst, wobei in erster Linie chemische Eigenschaften betrachtet werden.

Die weitere Aufbereitung bringt, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Skutan [Skutan 2004], eine Entfrachtung bei Cd, Hg, Fe, Cu und Al. Bei Cr findet durch die mechanische Aufbereitung keine Entfrachtung statt. Im Unterschied zu Skutan wurden dabei aber keine Bestimmungen des gesamten Metallgehalts durchgeführt, sondern entsprechend dem Stand der Technik und der Normung Metallstücke vor der Zerkleinerung im Labor als Störstoffe aussortiert. Auffällig ist im Vergleich der höhere Gehalt an Antimon bzw. Thallium in der Splittingfraktion vom März 2004 (Versuche dieser Arbeit) im Vergleich zum Oktober

2003 (Charakterisierung einer Mischprobe über 8 Behandlungstage der Anlage ZEMKA im Rahmen des Projekts „Heizwertreiche Fraktionen aus der MA/MBA“, Prochaska et al. 2004). Von der Anlage selbst kommt nur Abrieb als Quelle in Frage, so könnte Antimon im Schneidwerkzeug enthalten sein (Legierungselement von Schnellarbeitsstählen). Da sowohl Antimon als auch Thallium auf mehreren Pfaden in den Siedlungsabfall gelangen, sind hier keine weiteren Aussagen möglich.

Der untere Heizwert war im Oktober 2003 deutlich höher als im März 2004. Der obere Heizwert etwas geringer. Dies stimmt mit den saisonalen Schwankungen und der herrschenden Witterung überein. Anfang Oktober 2003 herrschte in Zell/See kaltes, trockenes Wetter. Ende März 2004 war das Wetter in Retznei kühl und regnerisch. Der höhere obere Heizwert wird in Tourismusgebieten mit einer Zunahme an Verpackungsabfällen (v. a. Kleinverpackungen wurden auch bei der Sortierung vorgefunden) erklärt. Das Material wurde nicht offen im Freien gelagert.

Cd wird, wie neuere Sortierungen nach diesem Projekt bestätigen, über die Eisenfraktion in Form von Akkumulatoren abgeschieden. Hg wird ebenfalls in der Eisenfraktion abgeschieden, in Form von Knopfzellen. Allerdings sind dabei nur einzelne Funde bei Sortierungen auf der ThermoTeam-Anlage nachgewiesen. Eine weitere, bisher unbestätigte, Senke könnte die Hallenabluft aufgrund der Wärmeentwicklung in den Zerkleinerern und im Outputlager sein. Weiters ist festzuhalten, dass die hohen Hg-Werte bei ZEMKA Oktober 2003 ca. einem Thermometer in der 12 m³ Probe entsprochen haben und die Aufbereitung im Oktober 2003 bei 0-5°C erfolgte. Die Umgebungstemperaturen mit 10-15°C waren im März 2004 deutlich höher. Im Zuge der Nachzerkleinerung steigt die Temperatur des Materials deutlich an, wie die Dampfentwicklung zeigt. Temperatur wurde keine gemessen. Das auch im März 2004 Hg im Material enthalten war, zeigen die Analysen der Sortierfraktionen (Tabelle 6.10).

Im Detail sind die Ergebnisse in Tabelle 6.7 wiedergegeben.

Tabelle 6.7: Für die Ermittlung der erzeugten Qualität und den Vergleich wurden die SS-Mischproben herangezogen und die 2D und 3D Fraktion 70 zu 30 gewichtet. Angegeben sind die Mittelwerte aus 3 Bestimmungen der Mischproben (SS) für Output 1 u. 2, der Mischproben (S) für Input 1 u. 2 bzw. der Mittelwert von 3 Proben einer Outputprobenahme bei der Anlage ZEMKA (Prochaska et al. 2004)

Parameter	Einheit	Output 1	Output 2	Input 1	Input 2	Zemka Okt 2003	Input-Spezifikation Retznei Grenzwert
Trockenrückstand	%	70%	70%	71%	65%	77%	80%
Störstoffe	%	1,2%	3,8%	4%	3%	5,2%	
Heizwert oberer	kJ/kg TS	21420	21578	19323	19579	20900	
Heizwert unterer	kJ/kg OS	12236	11744	12036	10861	14400	20000
Chlor	mg/kg TS	9989	10115	6784	9726	9600	
Schwefel	mg/kg TS	4190	2630	2750	2550	1700	
Fluor	mg/kg TS	21	40	66	50	90	
PCB	mg/kg TS	<1	<1	<1	<1	0,04	
TOC	%	43%	40%	39%	39%	54%	
Glühverlust	%	77%	77%	77%	73%	78%	
Al metallisch	mg/kg TS	4330	2010	530	2120		
Al	mg/kg TS	6042	6334	7234	6653	8600	
As	mg/kg TS	3,6	4,7	3,4	2,4	5,2	15
Be	mg/kg TS	<5	<5	<5	<5	<2,5	
Cd	mg/kg TS	1,5	2,6	1,3	0,7	4,9	25
Co	mg/kg TS	4,1	4,0	3	4	3,9	20
Cr	mg/kg TS	306	408	203	143	430	300
Cu	mg/kg TS	1292	746	759	980	1800	500
Hg	mg/kg TS	0,3	0,6	2,1	1,2	3,8	1
Mn	mg/kg TS	276	261	283	276	190	
Ni	mg/kg TS	31	22	26	23	28	200
Pb	mg/kg TS	142	123	107	69	78	500
Sb	mg/kg TS	24	30	13	8	5	30
Sn	mg/kg TS	4,5	1,3	0,9	0,5	9,5	70
Tl	mg/kg TS	0,4	3,3	0,3	0,4	0,2	3
V	mg/kg TS	4,3	2,9	2,9	4,0	6,3	70
Zn	mg/kg TS	702	505	448	561	710	

6.4 Ermittlung der Abscheideleistung

Im Zuge der Aufbereitung werden durch zwei Eisenabscheider und einen Nichteisenmetallabscheider Wertstoffe bzw. Störstoffe, je nach Betrachtungsweise, aus dem Ersatzbrennstoff ausgeschleust. Im Mittel über beide Versuche wurden dabei 0,374 % Fe-Metalle und 0,214 % NFe Metalle bezogen auf die Masse an Input abgeschieden. Berücksichtigt man weiter den mittleren Gehalt an Metallstücken aus der händischen Sortierung der beiden Metallfraktionen, so verringert sich der tatsächliche Anteil der in den jeweiligen Fraktionen abgeschiedenen Metalle auf 0,252 % für Eisen und 0,190 % für Nichteisenmetalle. Die in den jeweils anderen Metallfraktionen mit ausgetragenen Metalle

betragen nur zwischen 0,01-0,02 % der Gesamtmasse und werden deshalb bei dieser Fragestellung nicht extra ausgewiesen.

Enthalten sind auf Basis der Sortierung des Inputs 0,835 % an Eisenmetallen und 2,31 % an Nichteisenmetallen. Der Abscheidegrad für Eisenmetalle liegt somit bei 30,2 %. Der für Nichteisenmetalle ist deutlich geringer und liegt nur bei 8,20 %. Grund dafür ist die doppelte Abscheidung von Eisen. Der generelle Grund für die geringe Abscheideleistung ist bei dieser Korngröße (< 100 mm) der geringe Aufschlussgrad der vergesellschafteten Teilchen und die mitunter dicke Bandaufgabe. Laut Angaben der Anlagenleitung werden viele NFe-Teile (Al-Dosen) mit dem 2D Strom im Windsichter nach oben ausgetragen und passieren somit nicht den NFe-Abscheider.

Die Berechnung des Abscheidegrads darf nur den einer metallischen Wiederaufbereitung zuführbaren Anteil enthalten. Dies würde sonst den Abscheidegrad weiter senken. Z.B. war neben dem metallischen Al in der Fraktion Verbund noch 1,3 % Al enthalten, in der Restfraktion noch 0,4 %, in den anderen Fraktionen nur < 0,1%, was die Gesamtfracht an Al noch weiter erhöht.

Die Abscheideleistung ergibt sich bei 10 t/h Durchsatz zu 25,2 kg Fe / h und 19 kg NFe / h.

6.5 Sortieranalyse des Inputs und Qualität der Sortierfraktionen

In Summe wurden ca. 140 kg Inputmaterial sortiert (vgl. 5.1.4 Sortierung des Inputmaterials). Auffällig war, dass ca. ein Drittel (Restfraktion und Feinanteil) einer händischen Sortierung nicht zugänglich waren. Die Massenanteile für die beiden Inputproben sind in Tabelle 6.8 und Tabelle 6.9 dargestellt. Die größten Anteile hatten die Fraktionen Kunststoffe, Textilien und Papier/Karton. Die Gehalte an Eisen und Nichteisenmetallen waren Basis für die Berechnung des Abscheidegrads.

Tabelle 6.8: Fraktionen der Sortierung des Input I

Sortierfraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Eisen	0,66 kg	1,0 %
Nichteisenmetalle	1,04 kg	1,7 %
Kunststoffe	13,83 kg	22,0 %
Textilien	13,36 kg	21,2 %
Papier, Karton	8,12 kg	12,9 %
Glas, Steine, Keramik	0,02 kg	0,0 %
Verbunde	2,6 kg	4,1 %
Holz, Biogenes	1,54 kg	2,4 %
Batterien	0 kg	0,0 %
Feinanteil <10 mm	5,8 kg	9,2 %
Restfraktion < ca. 30 mm	16,0 kg	25,4 %
Teilprobe 1 = Summe aller Fraktionen	62,97 kg	100 %

Tabelle 6.9: Fraktionen der Sortierung des Input II

Sortierfraktion	Masse	Anteil bezogen auf die Gesamtprobe
Eisen	0,3 kg	0,7 %
Nichteisenmetalle	1,92 kg	2,1 %
Kunststoffe	20,14 kg	24,5 %
Textilien	13,28 kg	19,2 %
Papier, Karton	10,62 kg	13,5 %
Glas, Steine, Keramik	0,02 kg	0,03 %
Verbunde	4,54 kg	5,2 %
Holz, Biogenes	0,86 kg	1,7 %
Batterien	0 kg	0,0 %
Feinanteil <10 mm	11,78 kg	8,5 %
Restfraktion < ca. 30 mm	33,98 kg	24,5 %
Teilprobe 2 = Summe aller Fraktionen	75,64 kg	100 %

6.5.1 Zerkleinerung und Einschmelzen des Nichteisenmetalls

Für den Versuch (Durchführung siehe 5.1.3) wurden 2.000 g der auf < 12 mm zerkleinerten Nichteisenmetalle nach der manuellen Sortierung verwendet. Zusätzlich wurden 1500 g Salz (NaCl) zugegeben. Ausgewogen wurden 1879 g Salz und Feinanteil < 2 mm, 463 g Schlacke und 811 g Metallregulus. Der Rest waren demnach flüchtige Verbindungen und Staub. Das Metallausbringen ist somit mit 41 % anzugeben.

Die Analyse des Regulus (5 Messpunkte, EDX) brachte im Mittel 85,08 % Al, 0,38 % Mg, 0,26 % Ca, 8,52 % Ti (nur in einem Messpunkt 42,6% !), 1,73 % Zn, 0,66 % Fe, 0,24 % Si, 3,2 % Cu, 0,28 % In und keinen Nachweis von Pb und Ni.

Die Schlacke enthält 1,2 % Zn, 1,0 % Cu, 0,7 % Fe, 0,4 % Al, 500 mg/kg Pb, 500 mg/kg Ni und 0,9 mg/kg Cd. Die Salzlösung wurde, da in der Planung nicht bekannt, nicht erfasst und konnte somit nicht analysiert werden.

Aufgrund der großen Menge an Waschlösung (120 ml) ist die Nachweisgrenze für Hg sehr niedrig. Bezogen auf die Masse von 2000 g wurde ein Hg Gehalt von 7 µg/l (0,4 µg/kg TS) ermittelt. Da Knopfzellen im Zuge der Sortierung aussortiert worden wären und zumeist in der Fe Fraktion auftreten, bestätigt dies die Annahmen, dass die NFe Fraktion weitgehend Hg-frei ist. Auch für Cd und Blei erfolgt in dieser Fraktion keine Abscheidung.

Wie in der Versuchsdurchführung dargelegt, stellt die Vorgehensweise nicht die für das Einschmelzen von Nichteisenmetallen dar. Mangels Nachverbrennung (Oxidation der unerwartet massereichen flüchtigen Bestandteile) ist die Anwendung eines Normverfahrens für Abgas nur bedingt geeignet. Für das Einschmelzen würde sonst ein Abschwelen vorgeschaltet (600°C) und ein Kupferbad vorgelegt.

6.5.2 Qualität der Fraktionen aus der Sortierung

Die Fraktionen der Inputsortierung wurden mit dem Doppelwellenzerkleinerer aufbereitet und mit Fraktionalem Schaufeln verjüngt. Die Ergebnisse zeigen die unterschiedliche Verteilung von Feuchte in den Fraktionen (Restfraktion und Papier enthalten mehr Wasser, die Kunststofffraktion weniger als der Durchschnitt). Der Chlorgehalt ist in der Textilfraktion und der Kunststofffraktion erhöht. Metallisches Aluminium ist in den Verbundmaterialien und der Restfraktion enthalten. Dieses Al trägt deutlich zur Gesamtfracht an Al bei, kann aber aufgrund der Feinheit schmelztechnisch direkt nicht mehr rückgewonnen werden. Es ist bei der Ermittlung des Abscheidegrads in den meisten Fällen als nicht abscheidbar anzusehen bzw. unerwünscht, da es in einer weiteren Aufbereitung schwer von Papier und Kunststoff zu trennen ist. Kupfer ist in der Kunststoff- und der Textilfraktion enthalten, Antimon ist in der Kunststoff- und der Textilfraktion deutlich erhöht. Fluor ist fast nur in den Kunststoffen enthalten (Werte siehe Tabelle 6.10).

Tabelle 6.10: Qualität der Fraktionen aus der Sortierung des Inputmaterials

Parameter	Einheit	<10mm	Verbund	Papier/ Karton	Kunststoff	Textil	Restfraktion
Trockenrückstand	%	73%	75%	61%	83%	72%	65%
Störstoffe	%	2,7%	1,6%	0,8%	0,8%	1,3%	3,6%
Heizwert oberer	kJ/kg TS	10409	21780	16425	30043	20491	15211
Heizwert unterer	kJ/kg OS	6393	14464	8323	22514	12844	8341
Chlor	mg/kg TS	3787	3252	4775	12559	13251	7595
Schwefel	mg/kg TS	3000	1700	2100	2700	4300	3400
Fluor	mg/kg TS	80	25	15	700	23	22
PCB	mg/kg TS	<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOC	%	29%	44%	36%	55%	42%	36%
Glühverlust	%	51%	82%	80%	82%	83%	76%
Al metallisch	mg/kg TS	100	13000	800	100	0	4000
Al	mg/kg TS	8101	7880	4780	3130	2933	9271
As	mg/kg TS	3,5	1,9	3,6	2,6	5,7	2,9
Be	mg/kg TS	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	mg/kg TS	1,2	0,4	0,4	0,8	0,7	0,5
Co	mg/kg TS	5,9	2,5	2,6	3,4	4,3	5,5
Cr	mg/kg TS	134	53	52	338	732	92
Cu	mg/kg TS	9,9	7,8	12,6	595,0	448,4	13,0
Hg	mg/kg TS	3,0	2,9	3,4	3,0	2,3	3,3
Mn	mg/kg TS	411	180	187	228	250	331
Ni	mg/kg TS	54	20	12	12	13	29
Pb	mg/kg TS	104	93	93	95	134	200
Sb	mg/kg TS	6,5	2,9	5,6	12,9	11,6	4,6
Sn	mg/kg TS	1,2	0,7	1,2	1,2	0,7	1,0
Tl	mg/kg TS	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,7
V	mg/kg TS	5,5	2,0	1,5	2,3	3,3	4,3
Zn	mg/kg TS	339	203	252	607	516	337

6.6 Beurteilung des Konzepts der Mischprobenbildung für heizwertreiche Fraktionen bzw. Ersatzbrennstoffe

Nachfolgend wird das Konzept der Mischprobenbildung anhand der Parameter Chlor, Glühverlust, Trockenrückstand, oberer und unterer Heizwert und Cadmium für die einzelnen Mischstufen beurteilt. Wie eingangs erläutert, werden dabei die Bestimmungsmittelwerte von Einzelnen Sammelproben (z.B. E1-E3) mit Bestimmungswerten von zusammengesetzten Mischproben (z.B. S1) verglichen. Die Mischproben wurden dabei mittels degeneriertem Fraktionalem Schaufeln gewonnen. Entsprechend den Erkenntnissen aus dem Projekt „Heizwertreiche Fraktionen aus der MA/MBA“ wurde dem Probenverjünger dabei die Mindestanforderung von 10 Teilproben in der jeweiligen Mischprobe vorgegeben.

Die Verifizierung des Konzepts ist für den Ersatz von Analysenaufwand durch Probenmischung wichtig, was bei gleicher Datenqualität zu finanziellen Einsparungen führen

sollte. Dies wird auch als physikalische Mittelwertbildung anstatt rechnerischer Mittelwertbildung bezeichnet.

Die Abbildungen zeigen zusätzlich zu den Mittelwerten die Vertrauensbereiche der Mittelwerte unter der Annahme einer Normalverteilung. Diese Normalverteilung darf für CI durchaus angenommen werden, wie die Verteilung der CI Werte insgesamt, aber auch für Teile des Datenkollektivs, in Abbildung 6.1 zeigt.

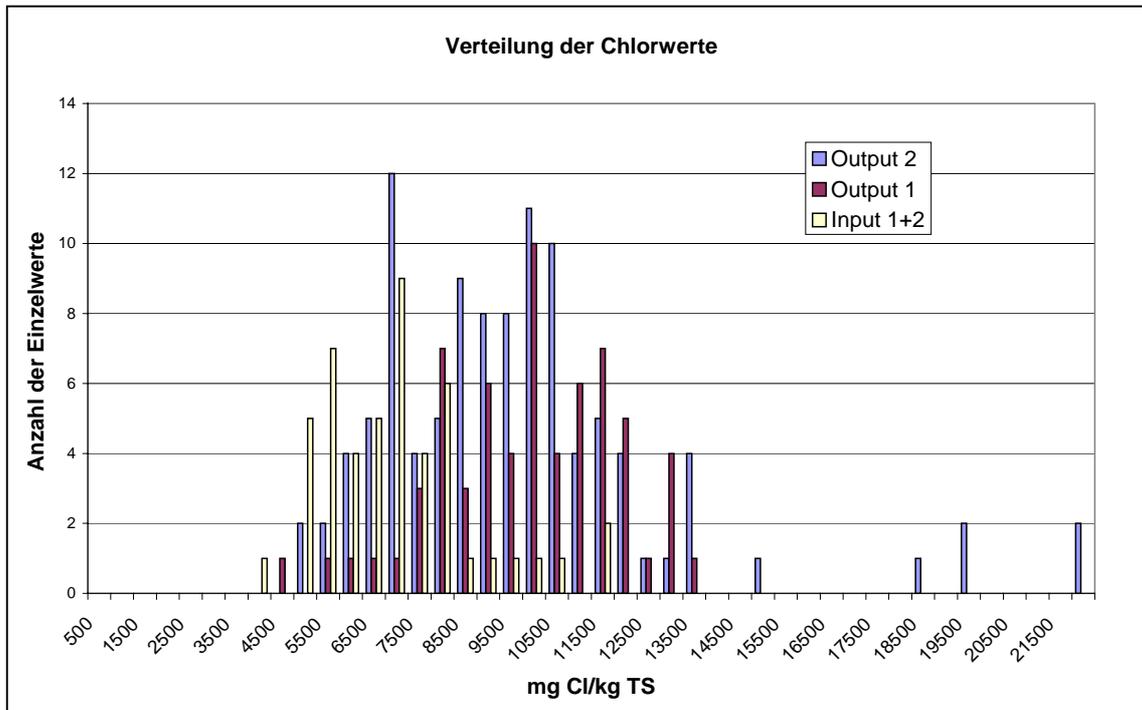


Abbildung 6.1: annähernd normalverteilte Chlorwerte in den Materialströmen, Output 2 zeigt stärkere Inhomogenität

Die Vertrauensbereiche wurden wie folgt berechnet:

Vertrauensbereich (d) [mg/kg TS] = Quantil der Standardnormalverteilung bei beidseitiger Teststatistik und 90 % statistischer Sicherheit (u_{90}) mal der Standardabweichung (σ) der Einzelbestimmungswerte dividiert durch die Wurzel der Anzahl (n) an Einzelbestimmungswerten

$$d = \frac{u_p * \sigma_{gesamt}}{\sqrt{n}}$$

Gleichung 1 (CEN prEN 14899:2004)

In jedem Fall ist eine erfolgreiche Mischprobenbildung festzustellen, wenn sich die Vertrauensbereiche der beiden Mittelwerte von Sammelproben (E) und Mischprobe (S) überschneiden (vgl. Abbildung 4.2). Die Abbildungen zeigen aber auch Fälle, wo dies nicht gegeben ist. Abgesehen von Inhomogenitäten der beprobten Stoffe, die im Prozedere berücksichtigt sind, können somit nur Fehler der Probenverjünger oder in der

Probenaufbereitung und der Analyse zu Unterschieden in den Mittelwerten führen. Aber zuerst seien die Ergebnisse dargestellt. Begonnen wird dabei mit dem Parameter Chlor.

6.6.1 Chlor

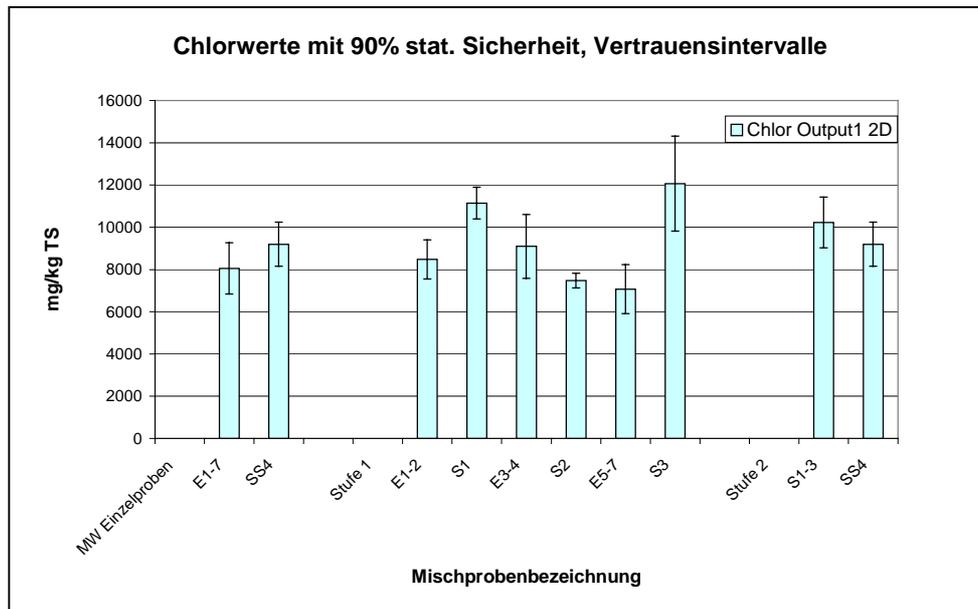


Abbildung 6.2: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Chlorgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 50 min (20 min + 10 min Rüstzeit + 20 min) bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

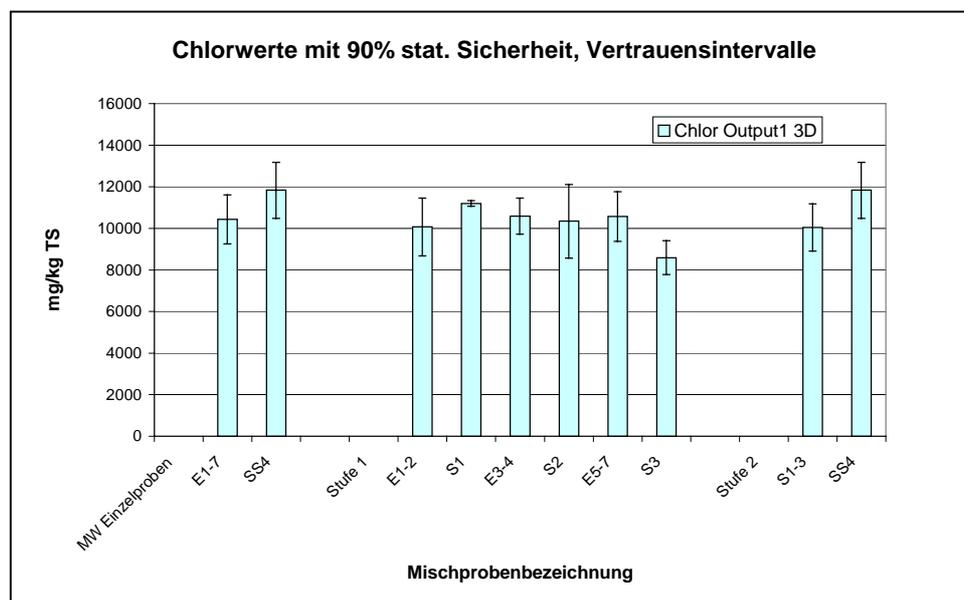


Abbildung 6.3: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Chlorgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 50 bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.2 und die Abbildung 6.3 zeigen für die gesamte Stufe eins und zwei und die Stufe zwei gute Übereinstimmung zwischen den Bestimmungen.

Für die Stufe 1 alleine gibt es in zwei Fällen keine Übereinstimmung. Dies kann mit der anderen Zusammensetzung der Proben E1 und E7 (selektive Zerkleinerung bzw. Transport beim An- und Abfahren der Anlage), die optisch erkennbar war, zusammenhängen.

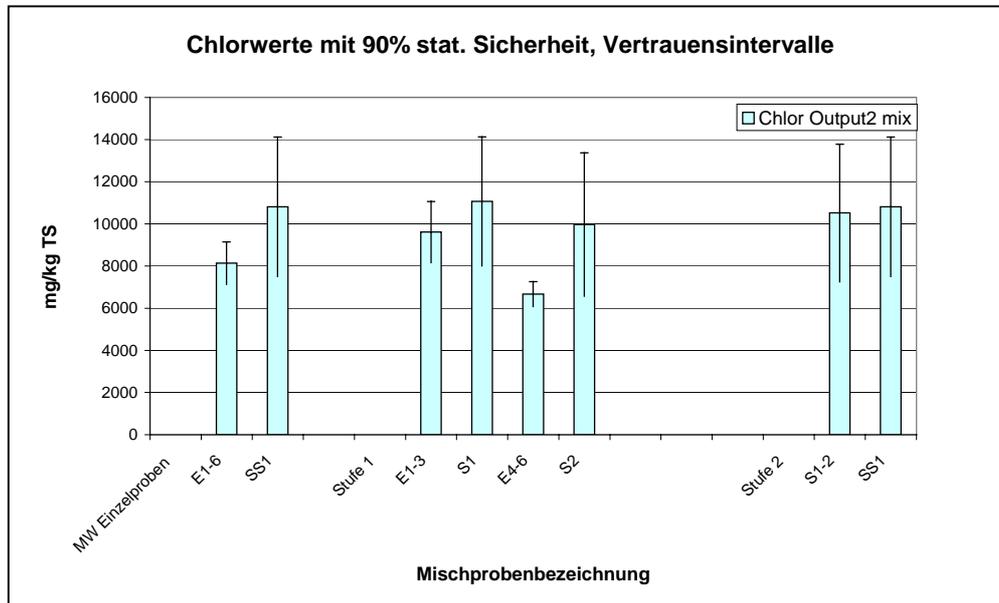


Abbildung 6.4 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Chlorgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Auch hier (Abbildung 6.4) zeigt das Ergebnis sehr gute Übereinstimmung über beide Stufen bzw. die 2. Stufe. Bei der 1. Stufe ist in der 2. Hälfte die starke Variabilität des Chlorgehalts auffällig. Die Beurteilung fällt dabei knapp, aber auf Basis der gewählten Kriterien immer noch positiv aus (die Vertrauensbereiche überschneiden sich). Insgesamt ist hier die Inhomogenität des Abfalls größer.

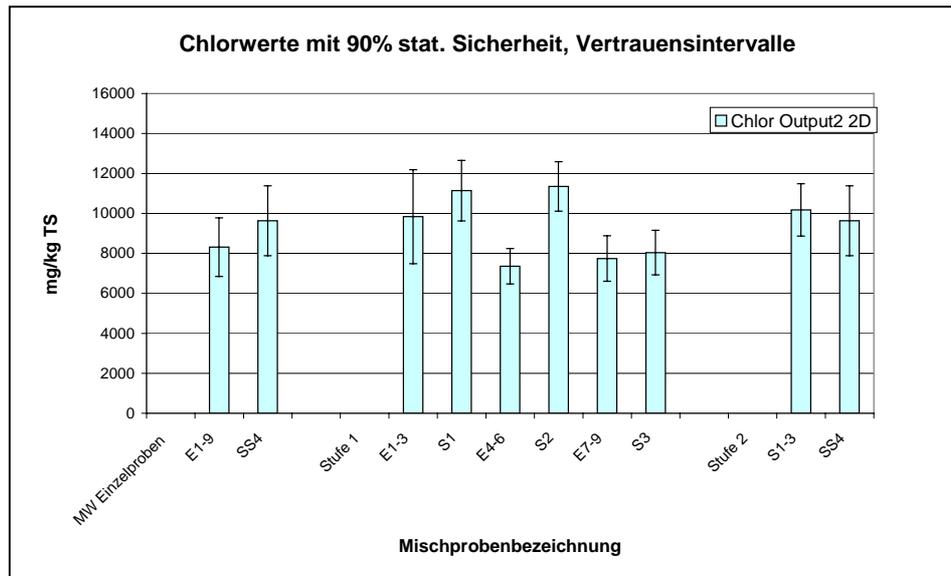


Abbildung 6.5: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Chlorgehalts von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Die Mischprobenbildung im 2. Versuch im 2D-Strom ähnelt sehr stark dem fiktiven gewählten Beispiel. Nur die Bestimmungen einer Mischprobe, die aus Teilproben von zwei Einzelnen Sammelproben gewonnen wurde, führte nicht zu einer Übereinstimmung der Ergebnisse. Für alle anderen Mischproben, auch die übergeordnete für alle Proben des Versuchs, zeigen sich Überschneidungen des Vertrauensbereichs.

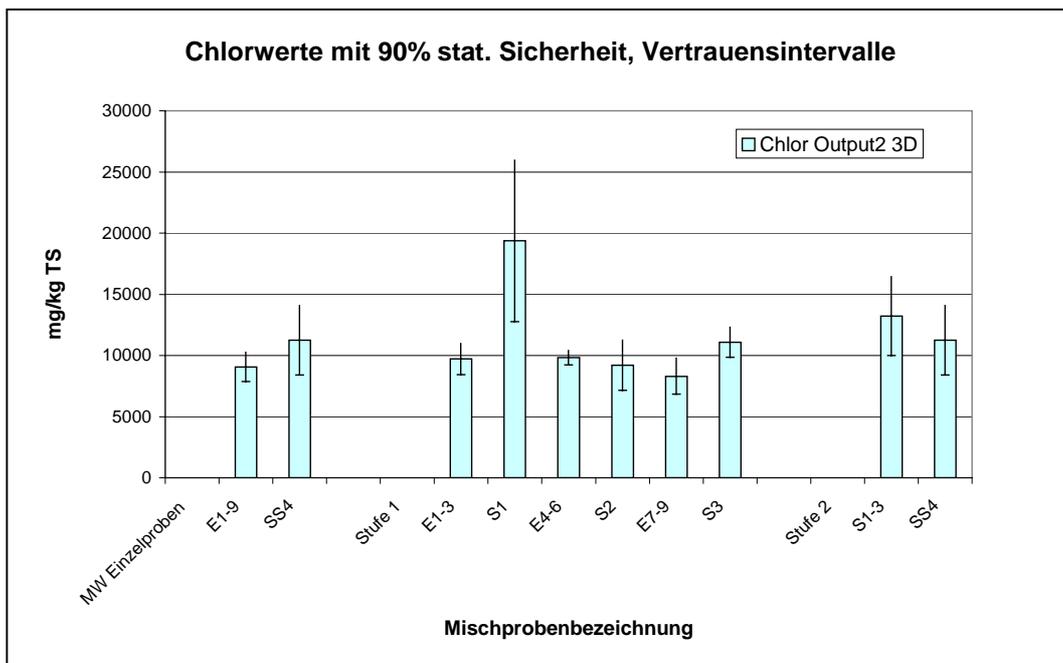


Abbildung 6.6: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Chlorgehalts von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

In dieser Versuchsserie (Abbildung 6.6) sind zwei Proben mit sehr hohen Chlorgehalten (ca. 19.000 mg/kg TS) aufgetreten: E4 und S1. Auch bei der Mischprobe S3 gibt es keine Übereinstimmung mit den Werten der Sammelproben. Über beide Stufen und bei der 2. Stufe sowie der Mischprobe 2 sind die Übereinstimmungskriterien erfüllt.

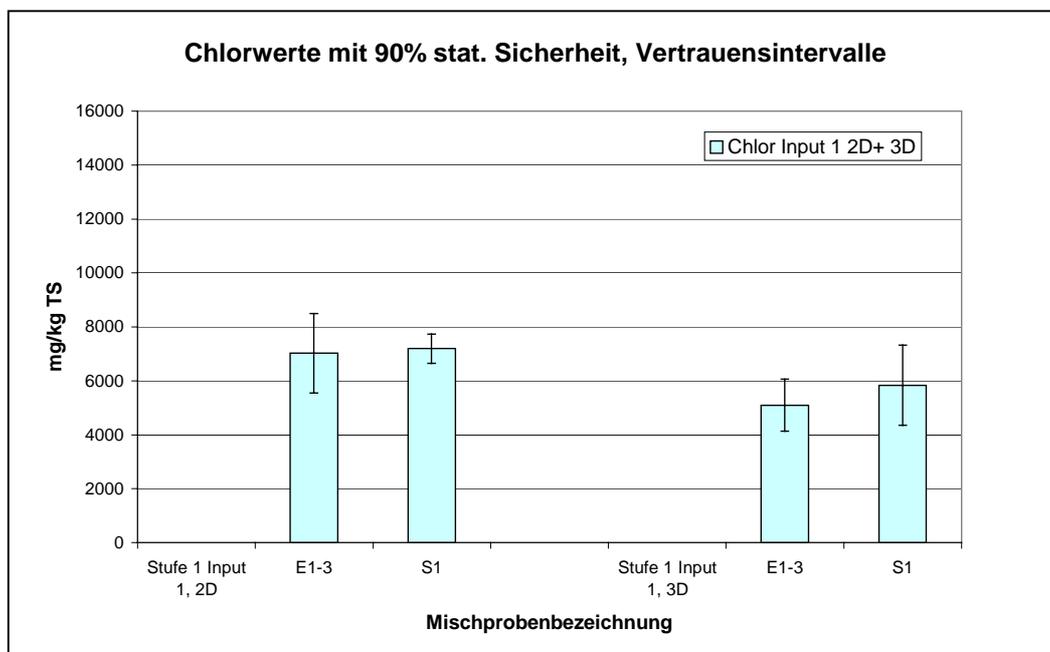


Abbildung 6.7: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

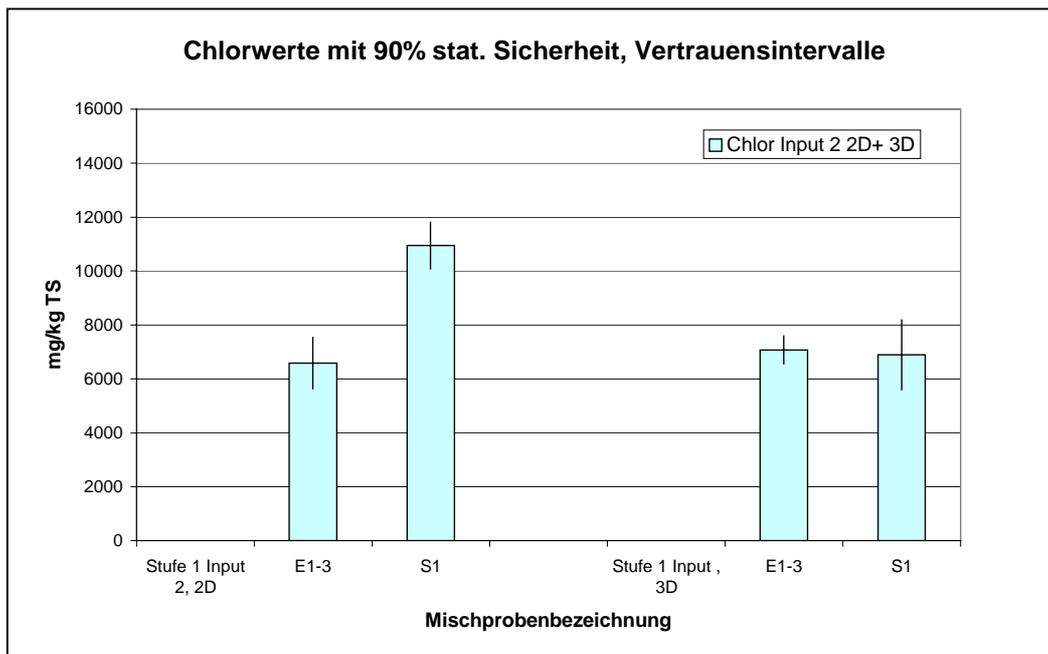


Abbildung 6.8: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Auch bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.7 und Abbildung 6.8) zeigt sich in den meisten Fällen sehr gute Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben. Eine Verjüngung und Bestimmung zeigt allerdings deutliche Unterschiede.

Zusammenfassend ist eine bedingte Übereinstimmung der Sammelproben (E) mit den Mischproben (S, SS) festzustellen. Die Übereinstimmung ist nicht eindeutig, aber weitgehend gegeben. Die Vorgehensweise hätte eine weitergehende Übereinstimmung erhoffen lassen. Allerdings ist die Methodik für homogenere Fraktionen verifiziert worden, als sie durch selektive Zerkleinerung und Transport (v. a. in den Nachzerkleinerern) hergestellt wurden. Deshalb ist die Durchmischung zu erhöhen. Dafür ist eine Verringerung der Teilprobengröße anzustreben und eine Erhöhung der Teilprobenanzahl (z. B. auf 20 wie in TC 343 WG 3 Sampling Methods (Nov. 2004)) als Maßnahme vorzusehen.

6.6.2 Oberer Heizwert

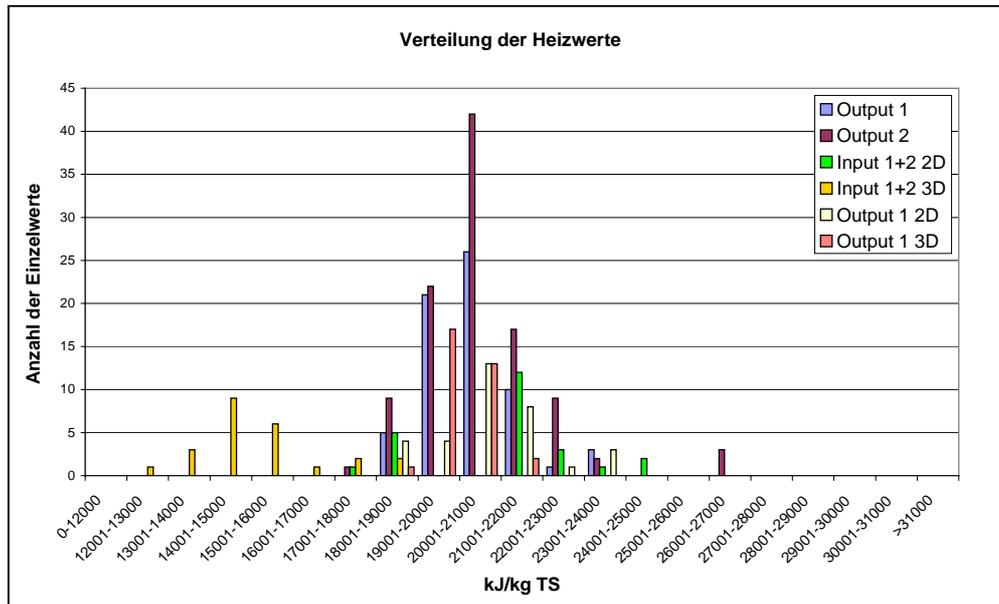


Abbildung 6.9: Die Heizwerte sind annähernd normalverteilt, auffällig ist nur der nicht vorkommende Heizwertbereich von 19.000-21.000 kJ/kg bei Input 1+2 2D

Die oberen Heizwerte sind annähernd normalverteilt (Abbildung 6.9), daher kann die Auswertung durchgeführt werden.

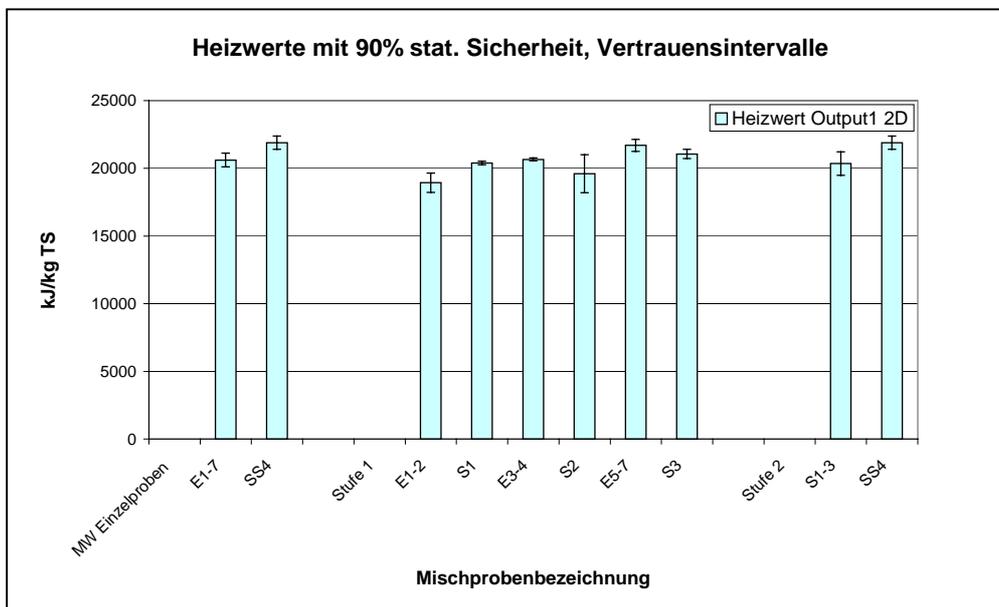


Abbildung 6.10: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des oberen Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 50 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

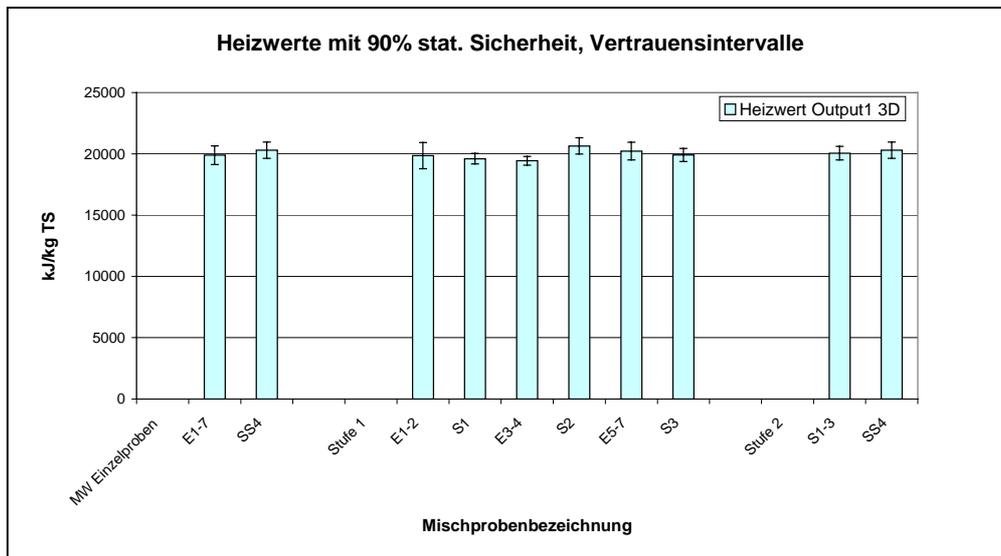


Abbildung 6.11: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des oberen Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 50 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.10 zeigt für das 2D Material nur geringe Übereinstimmung. Die Abbildung 6.11 zeigt für das 3D Material sehr gute Übereinstimmung.

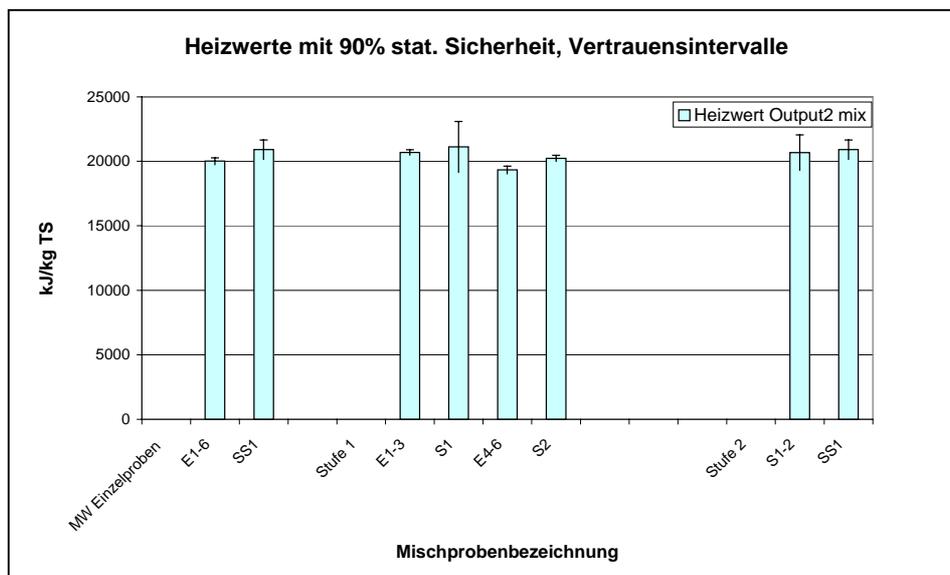


Abbildung 6.12 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des oberen Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Auch hier (Abbildung 6.12) zeigt das Ergebnis gute Übereinstimmung über beide Stufen bzw. die 2. Stufe. Bei der 1. Stufe fällt die inhomogene Probe S1 auf, weiters stimmen E4-6 und S2 nicht überein.

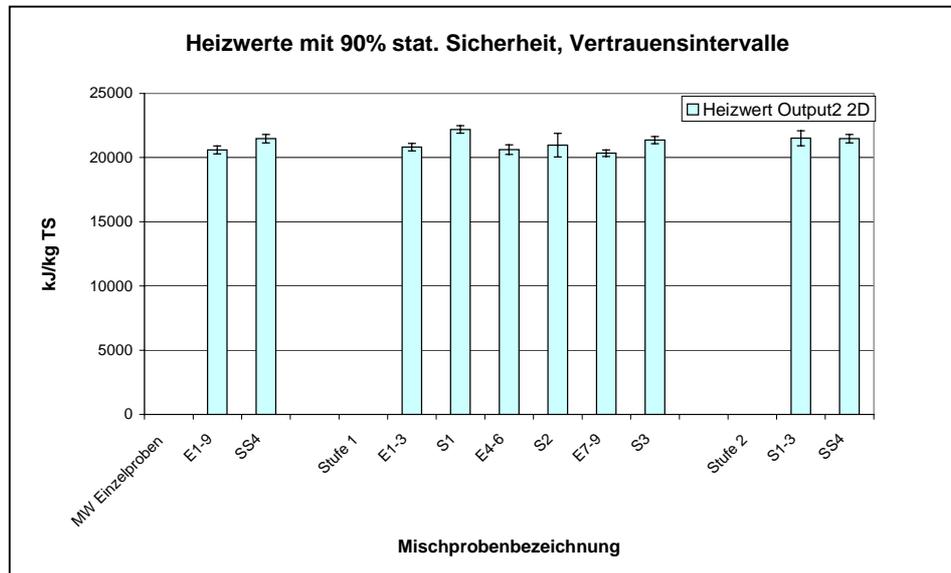


Abbildung 6.13: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des oberen Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Auf den ersten Blick zeigt die Abbildung 6.13 ein sehr gleichmäßiges Bild. Aufgrund der präzisen Analyse mit geringen Streuungen sind aber dennoch einige Stufen der Verjüngung als nicht erfolgreich absolviert zu bezeichnen (über beide Stufen, Stufe 1 - 1. und 3. Teil)

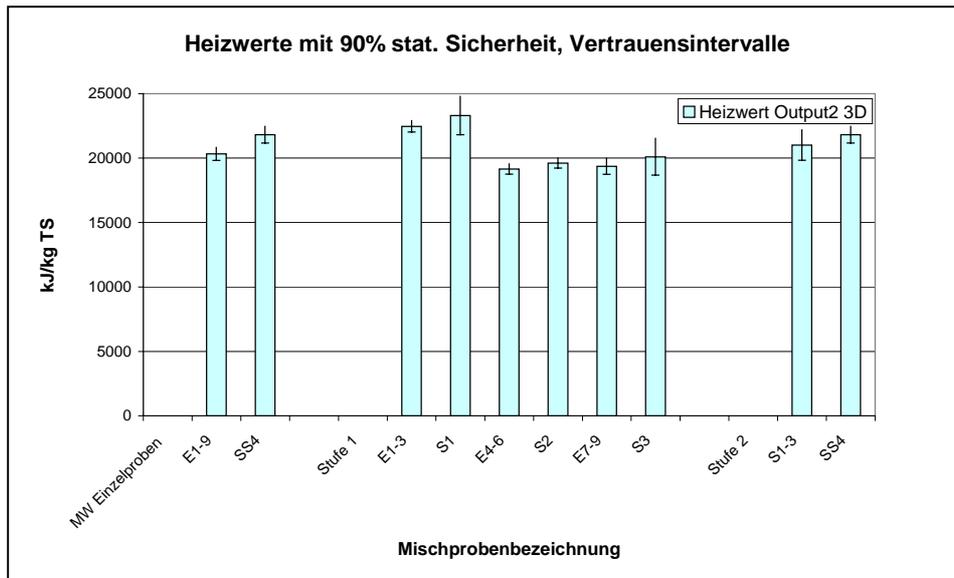


Abbildung 6.14: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des oberen Heizwerts von Sammelproben die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

In dieser Versuchsserie (Abbildung 6.14) hat nur die Verjüngung über beide Stufen nicht zufriedenstellend funktioniert. Denkbar ist eine Überrepräsentierung von Teilproben der Mischproben E1-E3 im Vergleich zu E4-E9 in der Mischprobe SS4, wozu der Probenverjünger unbewusst neigt, da anfangs mehr Platz im Mischgefäß zur Verfügung steht. Der Probenverjünger hat für diesen Fall die Möglichkeit, durch Verdichten des Materials im Kübel Platz zu schaffen und dennoch gleiche Anteile jeder Sammelprobe in die Mischprobe zuzugeben. Die kürzeren Intervalle haben hier sehr gut funktioniert, dabei tritt auch kein Platzmangel im Mischprobengefäß auf.

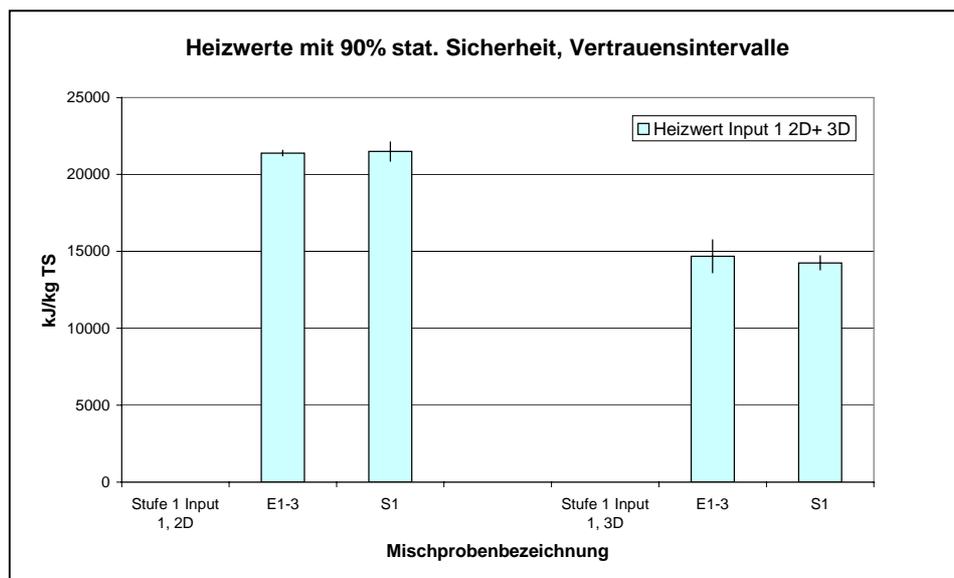


Abbildung 6.15: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

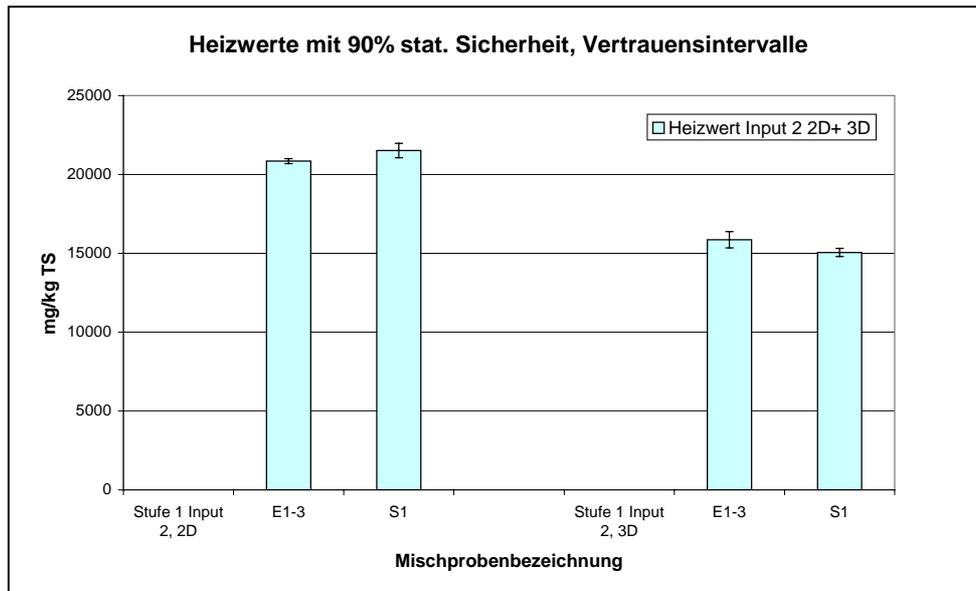


Abbildung 6.16: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Auch bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.15 und Abbildung 6.16) zeigt sich sehr gute Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben. Eine Verjüngung und Bestimmung (Input 2, 2D) zeigt allerdings geringe Unterschiede.

Zusammenfassend ist wiederum eine bedingte Übereinstimmung der Sammelproben (E) mit den Mischproben (S, SS) festzustellen. Die Übereinstimmung ist nicht eindeutig, aber weitgehend gegeben. Die Unterschiede treten erwartungsgemäß im gröberen (2D, < 30 mm) Materialstrom eher auf als im feineren (3D, < 10mm).

6.6.3 Trockenrückstand

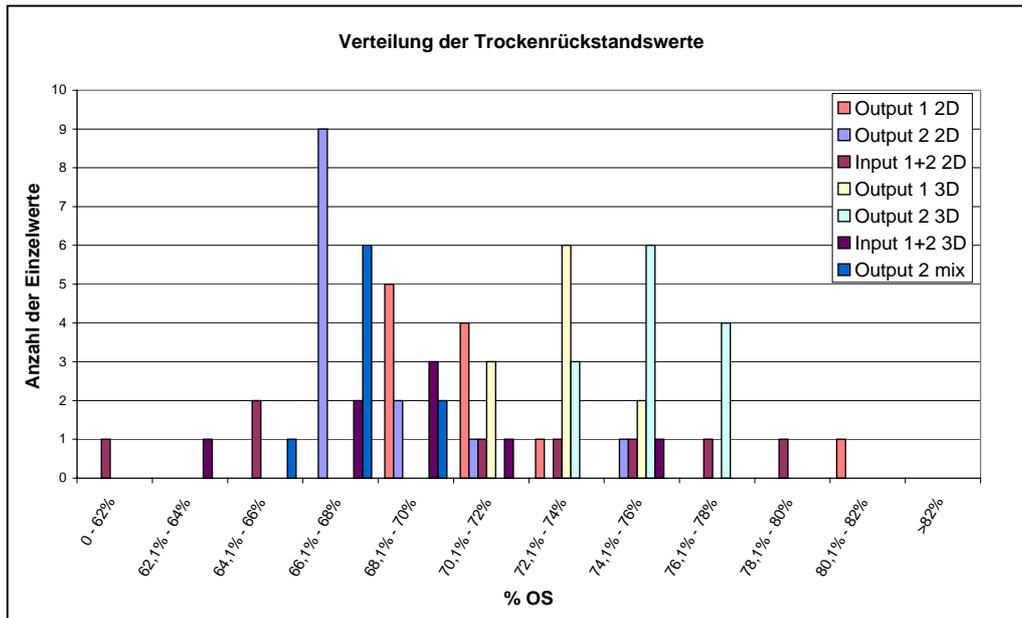


Abbildung 6.17: Die Werte für den Trockenrückstand sind für das 3D Material und die Mischung aus 2D und 3D normalverteilt, für die 2D Fraktion auffallend linkssteil

Bei den Aussagen zur Mischprobenbildung für die Werte des Trockenrückstands ist immer die geringe Anzahl an Einzelwerten, die eingeflossen sind, und die dadurch bedingte geringe statistische Aussagekraft zu berücksichtigen.

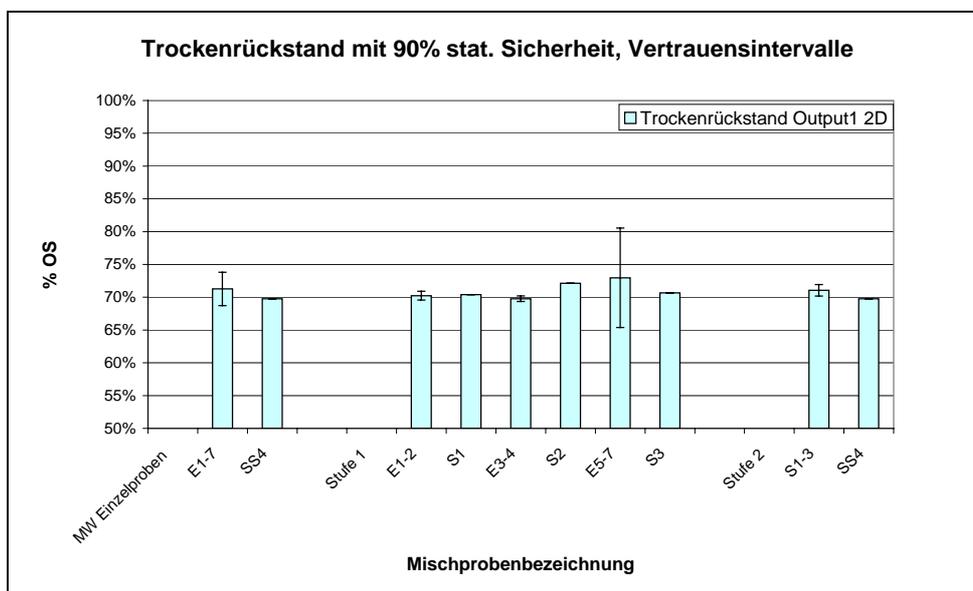


Abbildung 6.18: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Trockenrückstands von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

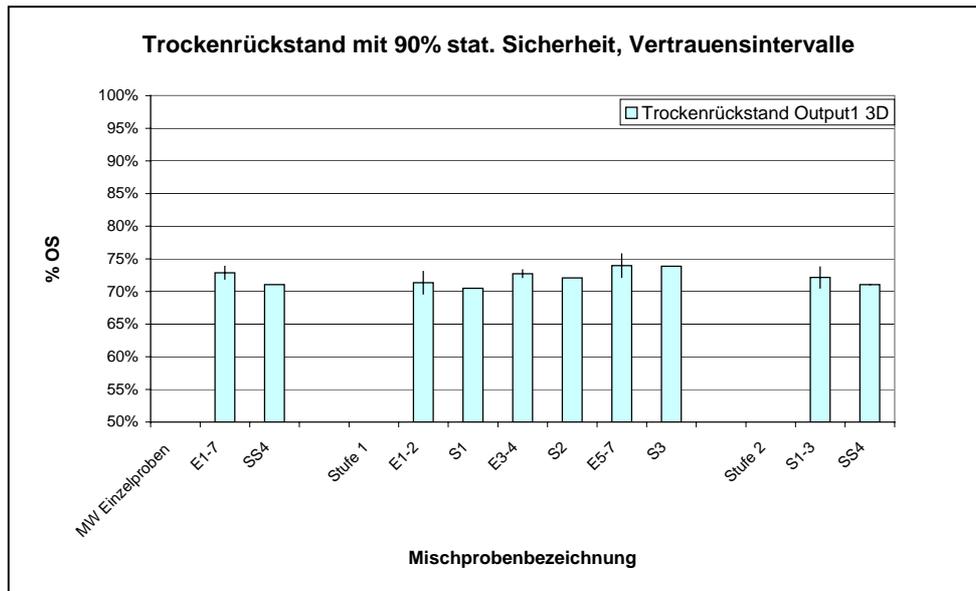


Abbildung 6.19: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Trockenrückstands von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.18 zeigt für das 2D Material gute Übereinstimmung. Einmal wird in Stufe 1 kein übereinstimmendes Ergebnis erreicht. Die Sammelprobe E7 liegt mit 80 % um 10 % höher als die anderen Werte, daher der rechnerisch so große Vertrauensbereich. Die Abbildung 6.19 zeigt für das 3D Material sehr gute Übereinstimmung in der Stufe 1 bzw. 2, über beide Stufen tritt jedoch bei der Mischprobe ein geringerer Trockenrückstand als bei den Einzelnen Sammelproben im Mittel auf.

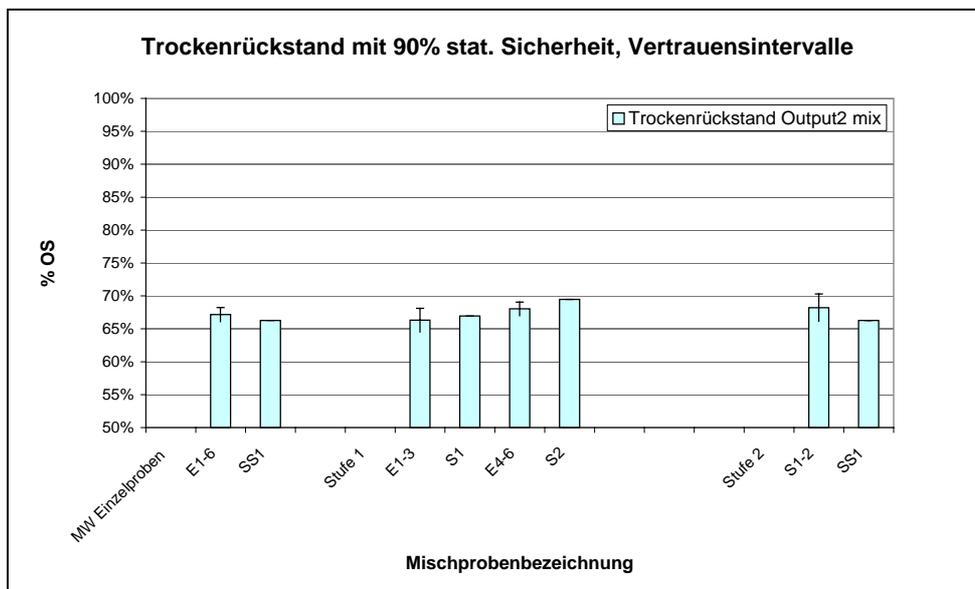


Abbildung 6.20 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Trockenrückstands von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Hier (Abbildung 6.20) zeigt das Ergebnis sehr gute Übereinstimmung über beide Stufen bzw. die 1. und die 2. Stufe einzeln.

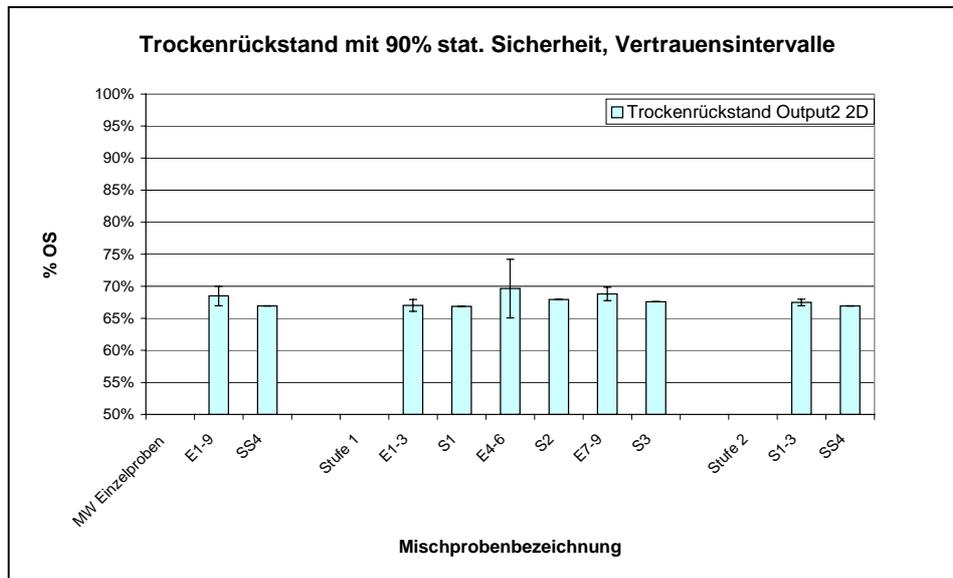


Abbildung 6.21: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Trockenrückstands von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.21 zeigt sehr gute Übereinstimmung der Werte für alle Stufen. E4 ist ein überdurchschnittlich hoher Trockenrückstand.

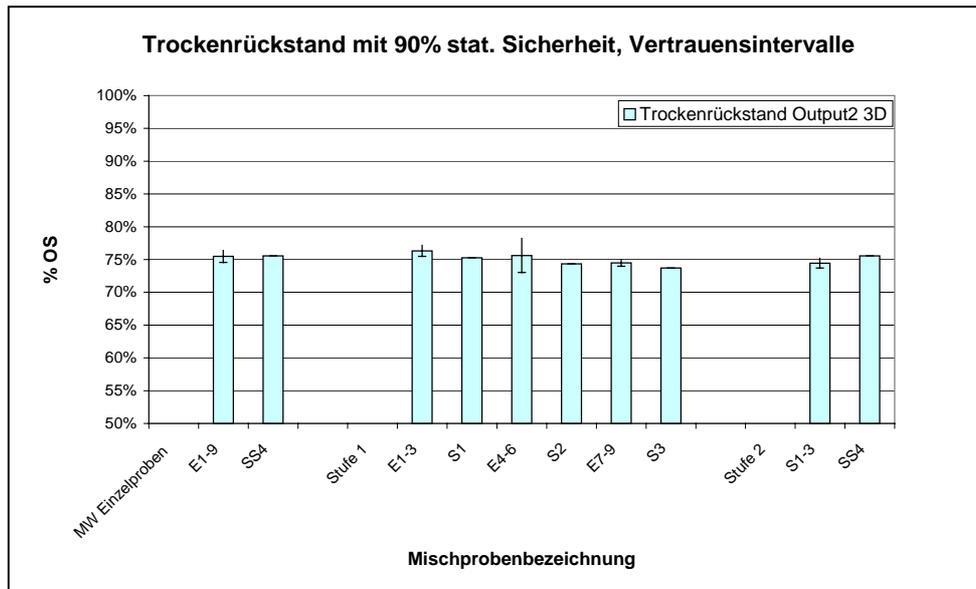


Abbildung 6.22: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Trockenrückstands von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

In dieser Versuchsserie (Abbildung 6.22) hat nur die Verjüngung über beide Stufen und einmal über die erste Stufe zufriedenstellend funktioniert. Bei E4-E6 wurde ein Bandbereich der Mittelwerte von 73-78% festgestellt, Der 3. Teil der Stufe 1 und die Stufe 2 erfüllten das Übereinstimmungskriterium knapp nicht.

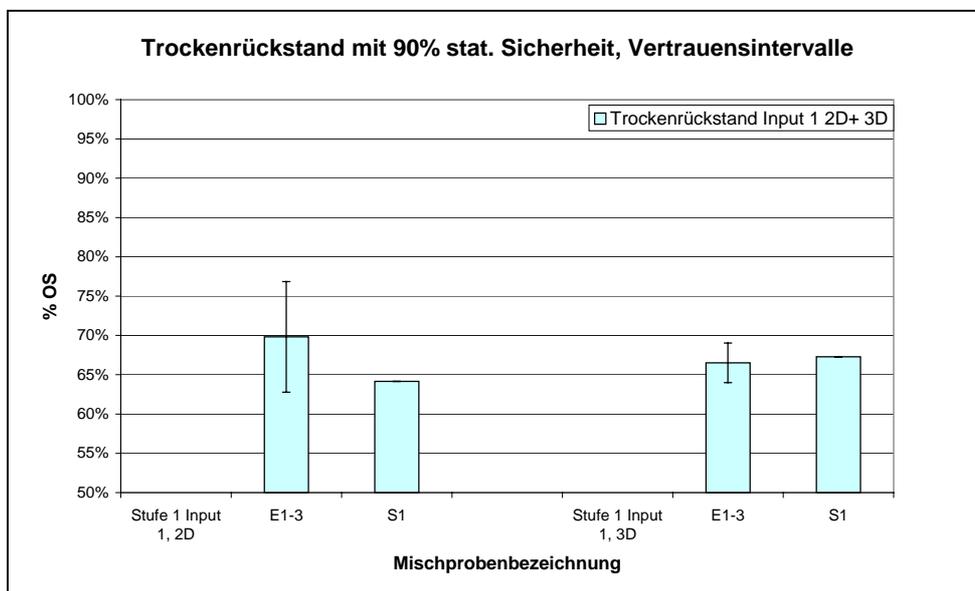


Abbildung 6.23: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

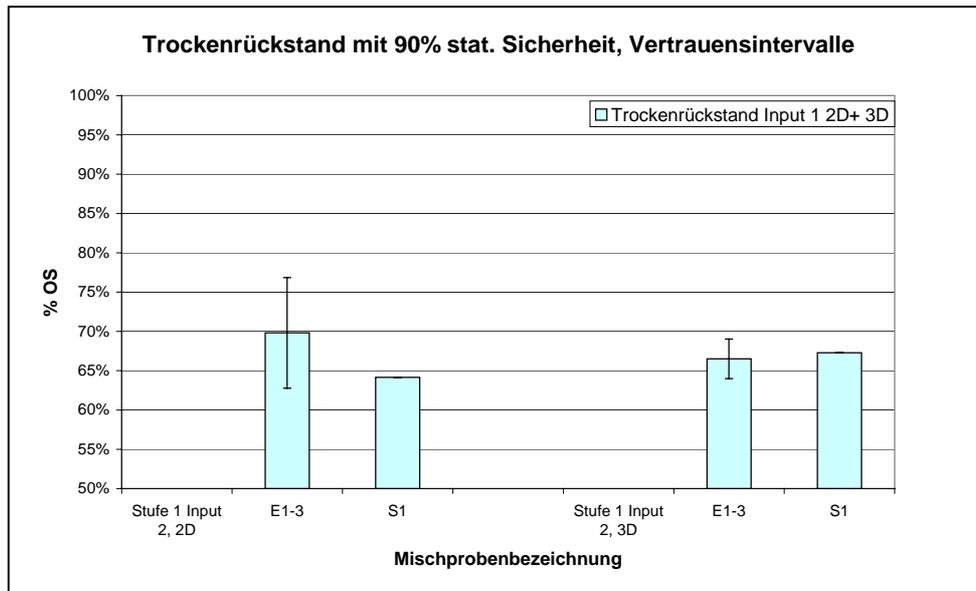


Abbildung 6.24: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Einzelnen Sammelproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Auch bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.23 und Abbildung 6.24) zeigt sich sehr gute Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben.

Zusammenfassend ist wiederum eine bedingte Übereinstimmung der Sammelproben (E) mit den Mischproben (S, SS) festzustellen. Die Übereinstimmung ist nicht eindeutig, aber weitgehend gegeben. Im 2. Versuch war der deutliche Unterschied im mittleren Trockenrückstand zw. 2D (feuchter) und 3D Fraktion auffällig.

6.6.4 unterer Heizwert

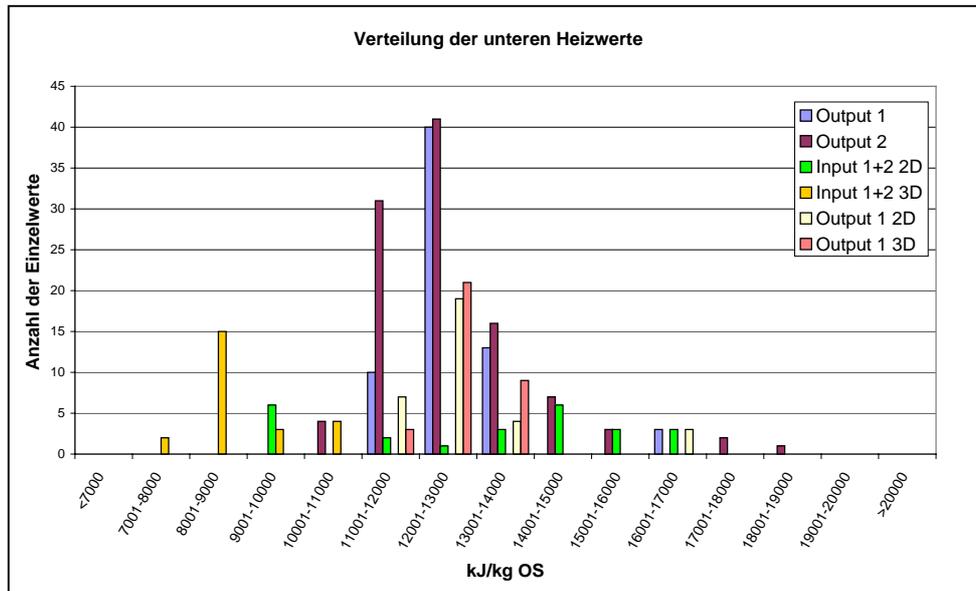


Abbildung 6.25: Die Werte für den unteren Heizwert zeigen sich annähernd normalverteilt

Der untere Heizwert stellt sich in der Abbildung 6.25 als weitgehend normalverteilt für die einzelnen Fraktionen dar.

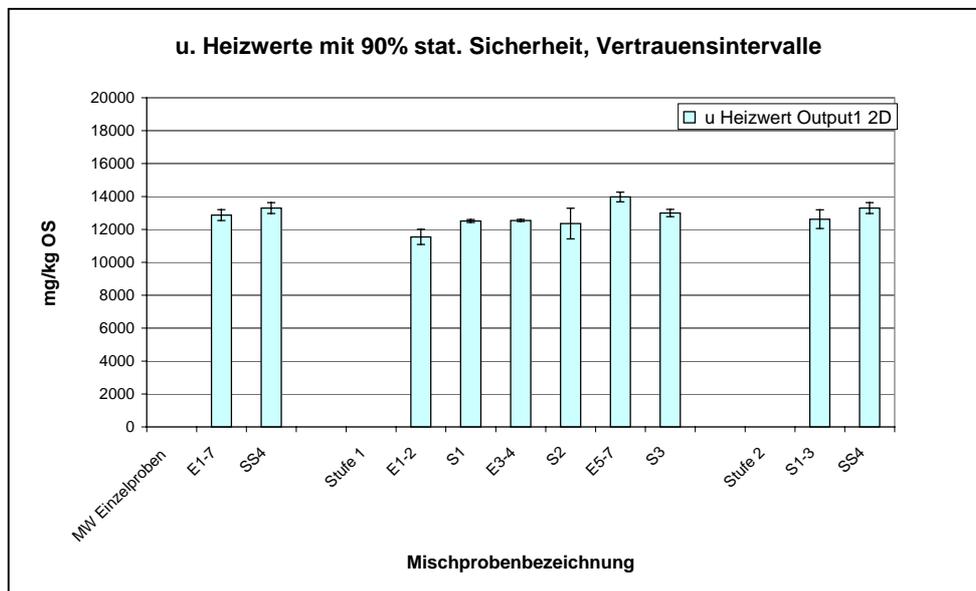


Abbildung 6.26: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des unteren Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

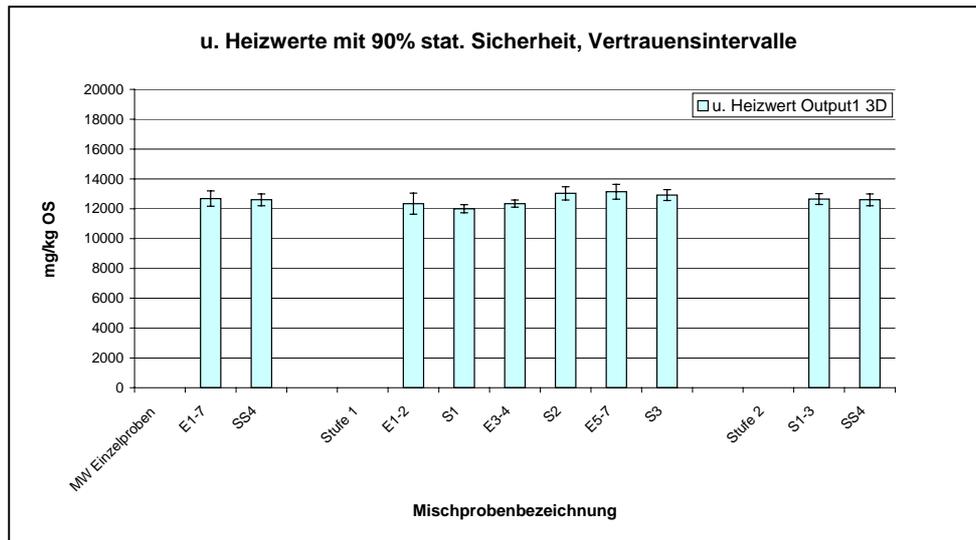


Abbildung 6.27: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des unteren Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.26 zeigt für das 2D Material bedingte Übereinstimmung. Zweimal wird in Stufe 1 kein übereinstimmendes Ergebnis erreicht. Die Abbildung 6.27 zeigt für das 3D Material sehr gute Übereinstimmung, die Werte stimmen auf allen Stufen überein.

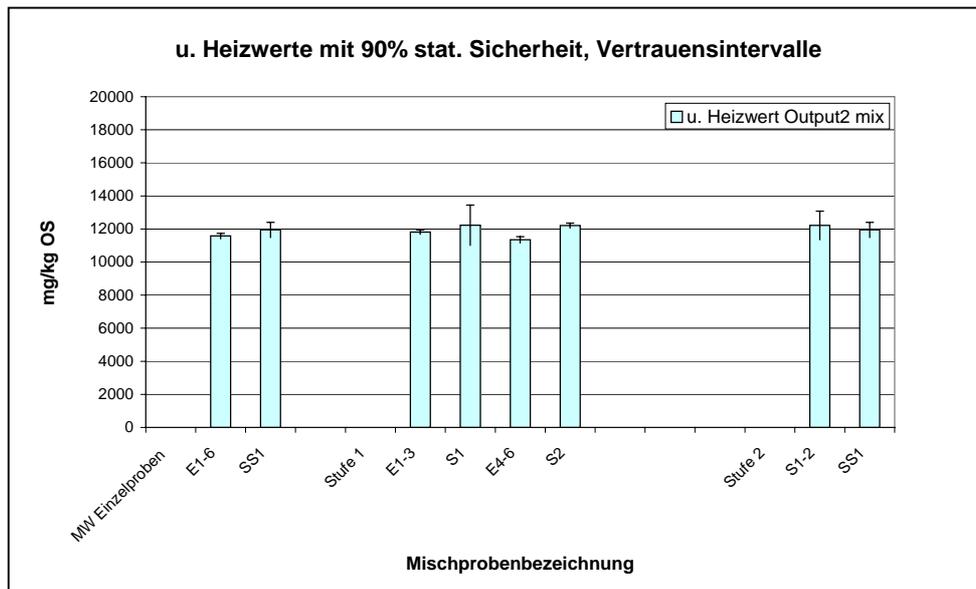


Abbildung 6.28 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des unteren Heizwerts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Hier (Abbildung 6.28) zeigt das Ergebnis gute Übereinstimmung über beide Stufen bzw. die 2. Stufe. Bei der 1. Stufe (E4-E6) gibt es bei sehr präzisen Mittelwerten für die Einzelnen Sammelproben (kleiner Vertrauensbereich) keine Übereinstimmung auf Basis des Kriteriums.

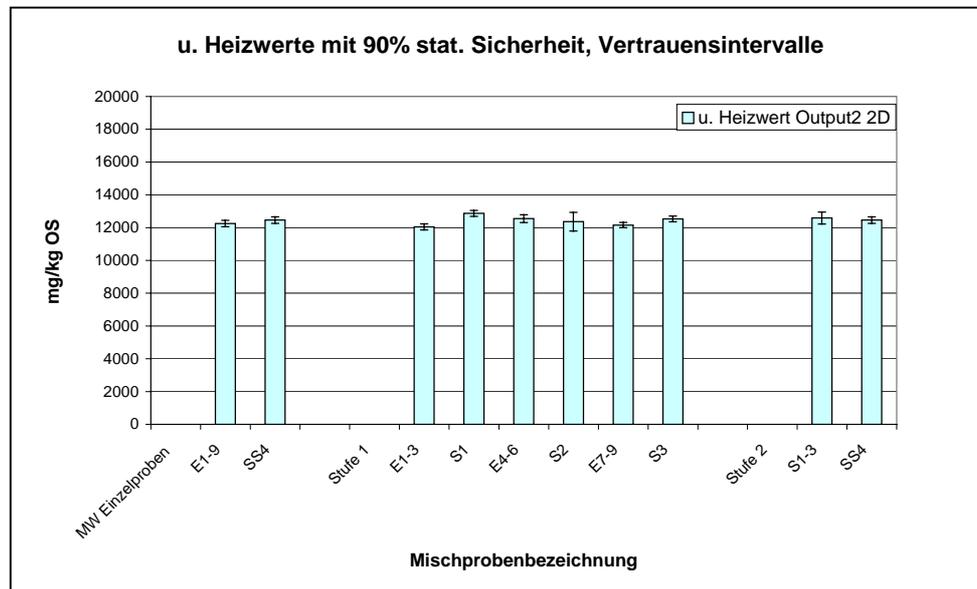


Abbildung 6.29: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des unteren Heizwerts von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.29 zeigt bedingte Übereinstimmung der Werte. Auf Stufe 1 wird von E1-3 / S1 und E7-9 / S2 das Kriterium nicht erfüllt.

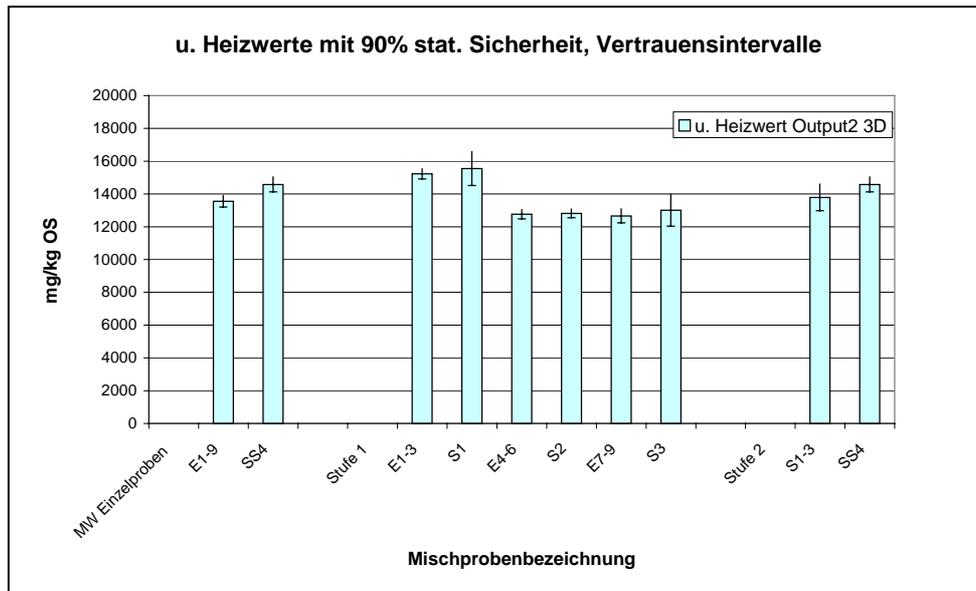


Abbildung 6.30: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des unteren Heizwerts von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

In dieser Versuchsserie (Abbildung 6.30) hat die Verjüngung über die Stufe 1 und die Stufe 2 jeweils sehr gut funktioniert. Über beide Stufen zeigt sich ein höherer SS4 Wert, der gleichfalls aufgrund der Überrepräsentation der ersten E-Proben zustande gekommen sein kann.

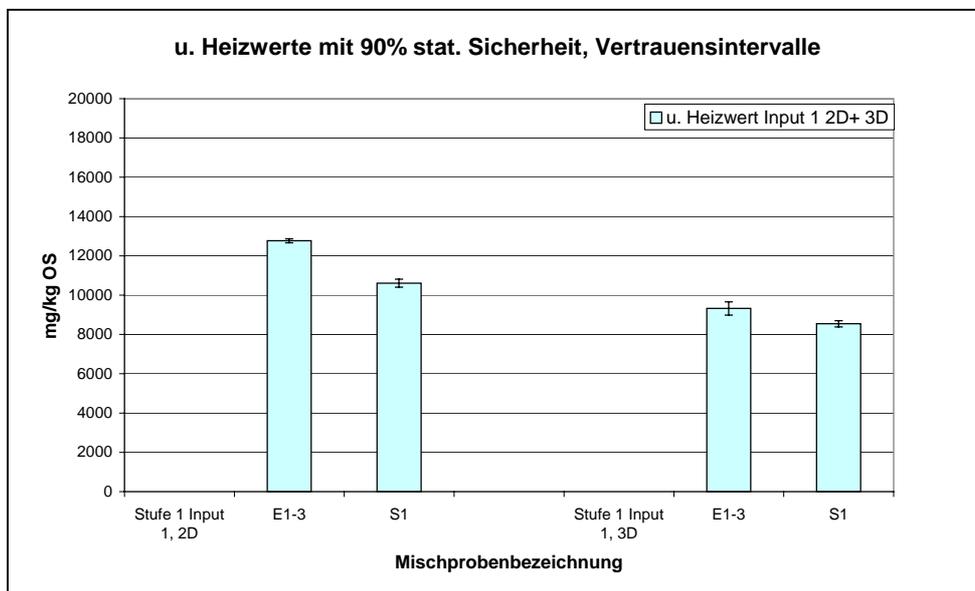


Abbildung 6.31: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

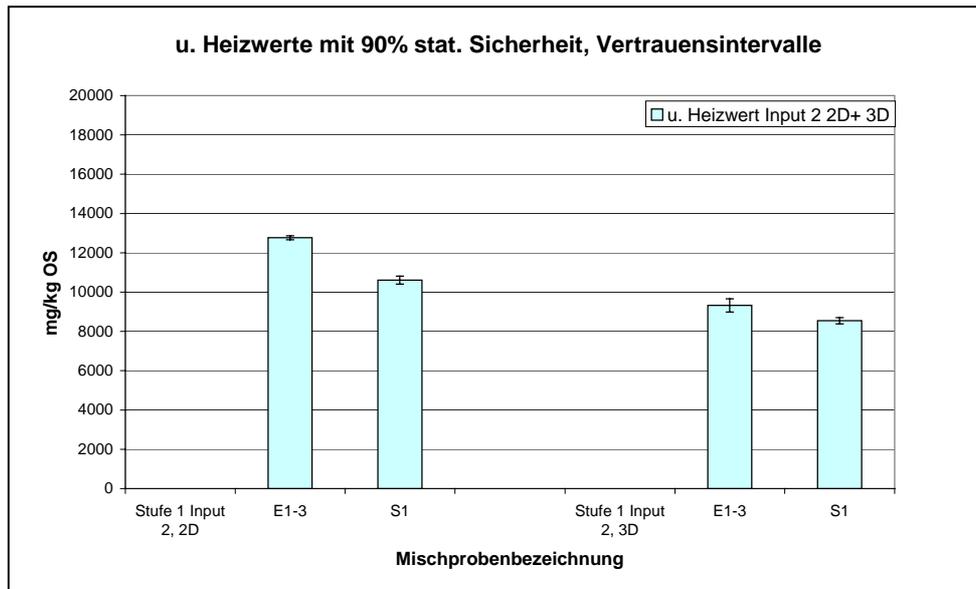


Abbildung 6.32: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Einzelnen Sammelproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.31 und Abbildung 6.32) zeigt sich keine Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben. Die unteren Heizwerte der Mischproben sind jeweils deutlich niedriger als die aus den Einzelnen Sammelproben bestimmten. Ursache dafür ist keine bekannt oder beobachtet worden.

Zusammenfassend ist für den unteren Heizwert die geringste, wenn auch bedingt vorhandene, Übereinstimmung (in 18 von 28 Fällen) der Sammelproben (E) mit den Mischproben (S, SS) festzustellen.

6.6.5 Glühverlust

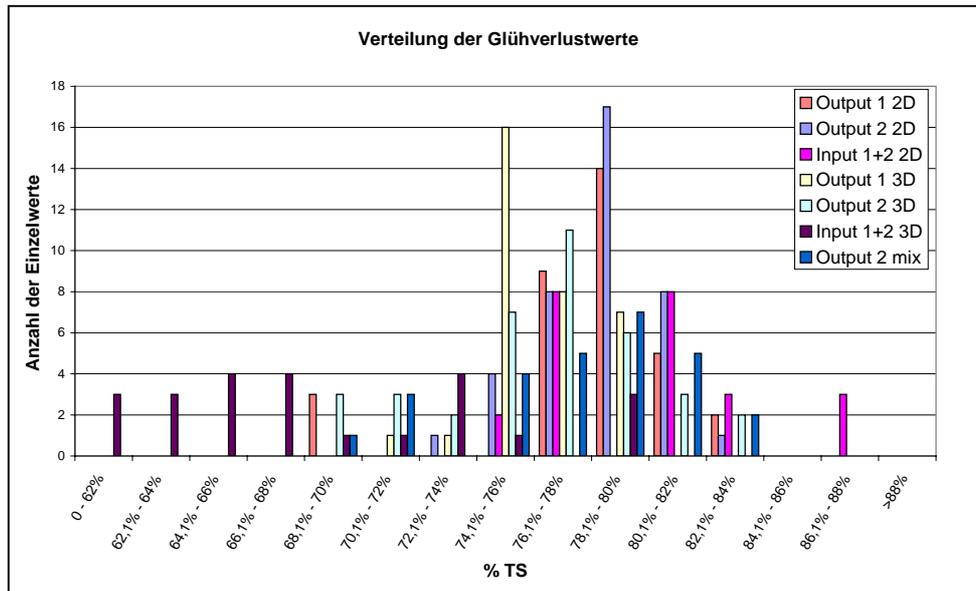


Abbildung 6.33: Die Werte für den Glühverlust sind weitgehend normalverteilt, für Input 1+2 3D gleichverteilt

Die Werte für den Glühverlust sind weitgehend normalverteilt, für Input 1+2, 3D gleichverteilt. Weitere Auffälligkeiten sind die „Lücke“ für das Input 1+2 Material 2D bei 78-80% und die Linkssteilheit von Output 1 3D.

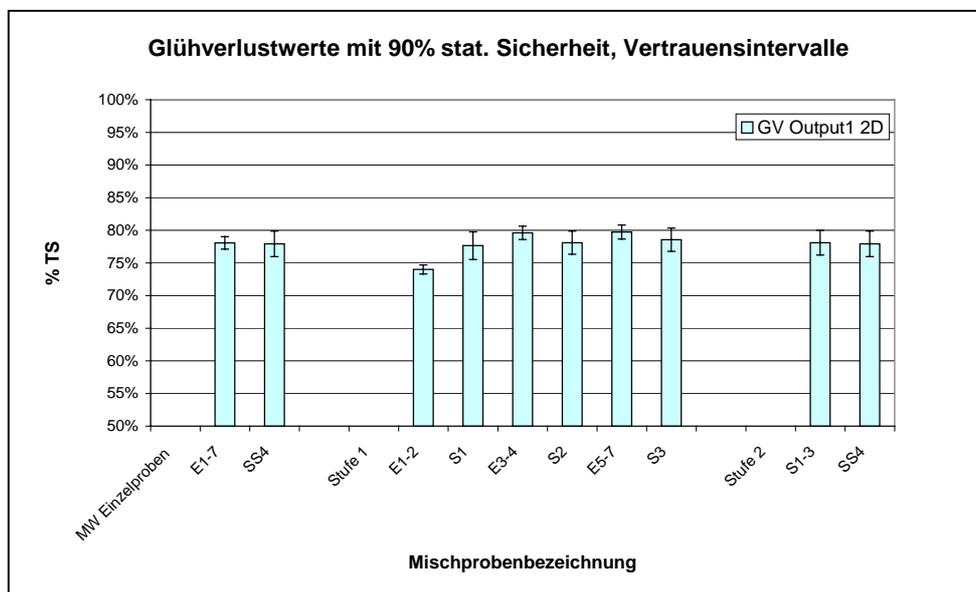


Abbildung 6.34: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Glühverlusts von Sammelpuben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

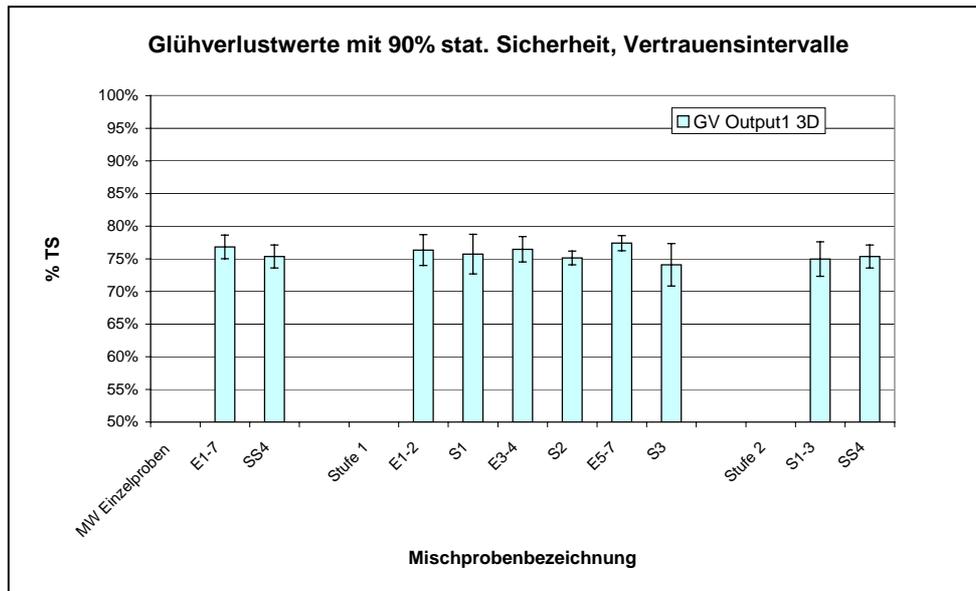


Abbildung 6.35: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Glühverlusts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.34 und die Abbildung 6.35 zeigen bis auf einen Verjüngungsschritt sehr gute Übereinstimmung der Werte. Nur E1-E2 bzw. S1 für das 2D Material stimmen nicht überein.

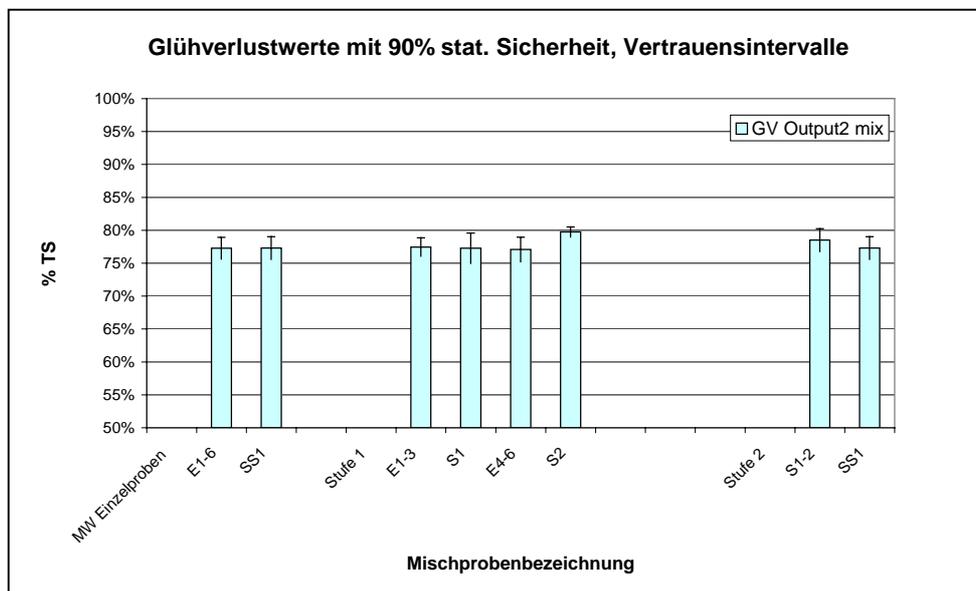


Abbildung 6.36 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Glühverlusts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

Hier (Abbildung 6.36) zeigt das Ergebnis sehr gute Übereinstimmung über beide Stufen bzw. die 1. und die 2. Stufe einzeln. Auch bei dem Verjüngungsschritt von E4-E6 auf S2 überlagern sich die Vertrauensbereiche gerade noch.

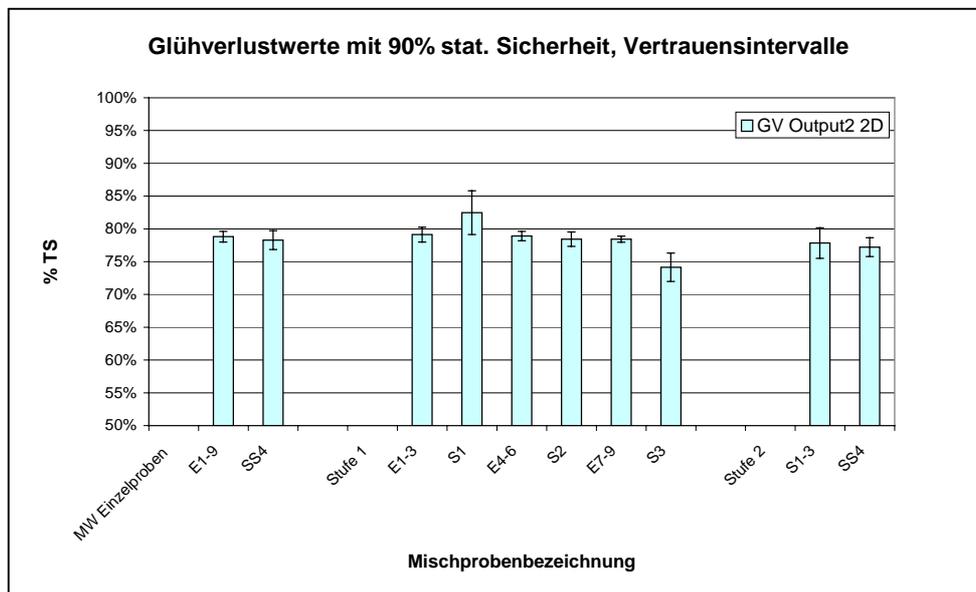


Abbildung 6.37: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Glühverlusts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.37 zeigt gute Übereinstimmung der Werte für alle Stufen. Nur S3 zeigt einen unterdurchschnittlichen Glühverlust, der nicht mit dem Mittelwert der Einzelproben übereinstimmt.

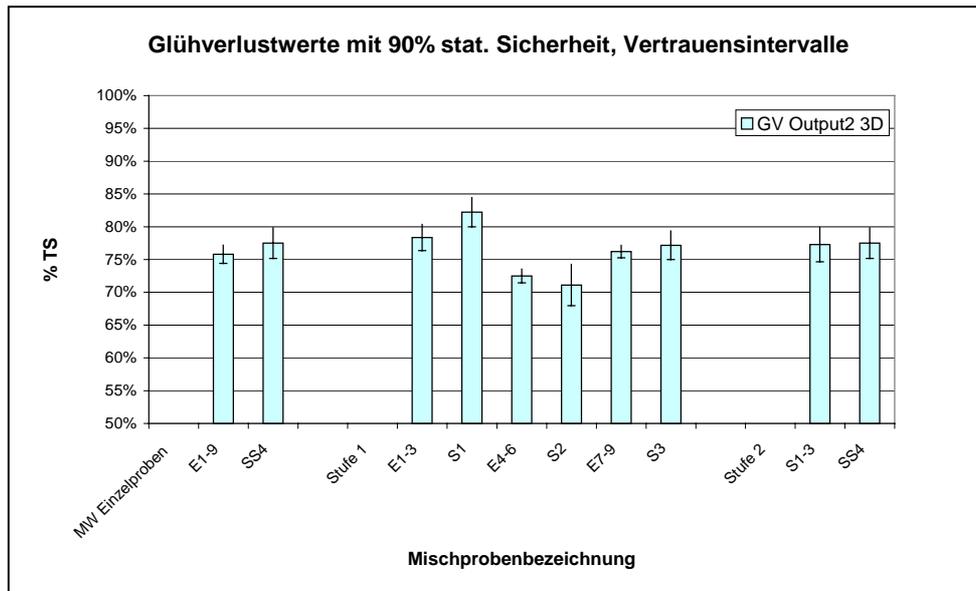


Abbildung 6.38: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Glühverlusts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

In dieser Versuchsserie (Abbildung 6.38) hat die Verjüngung über alle Stufen sehr zufriedenstellend funktioniert. Ein Absinken des Glühverlusts im mittleren Zeitraum wurde gut abgebildet.

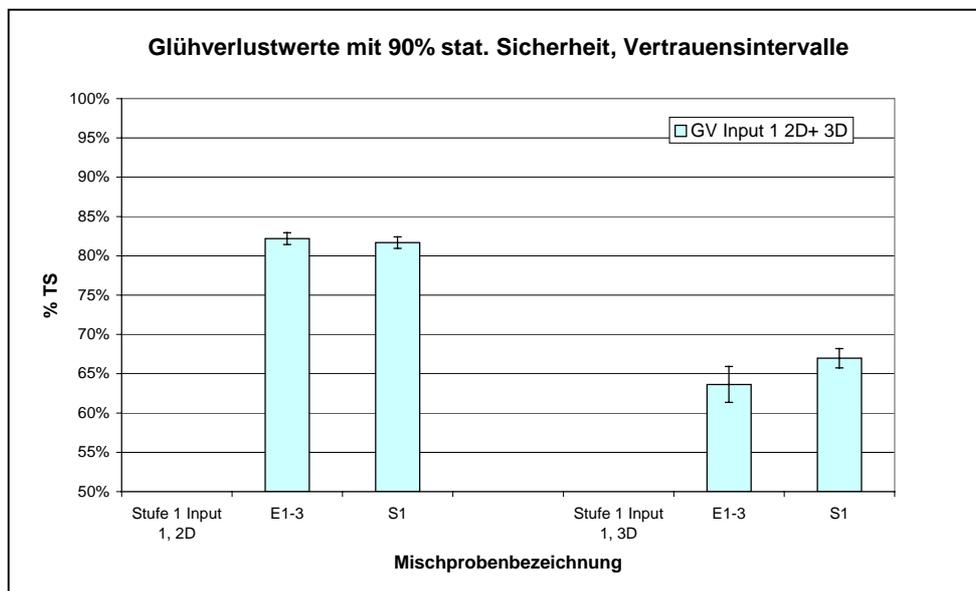


Abbildung 6.39: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

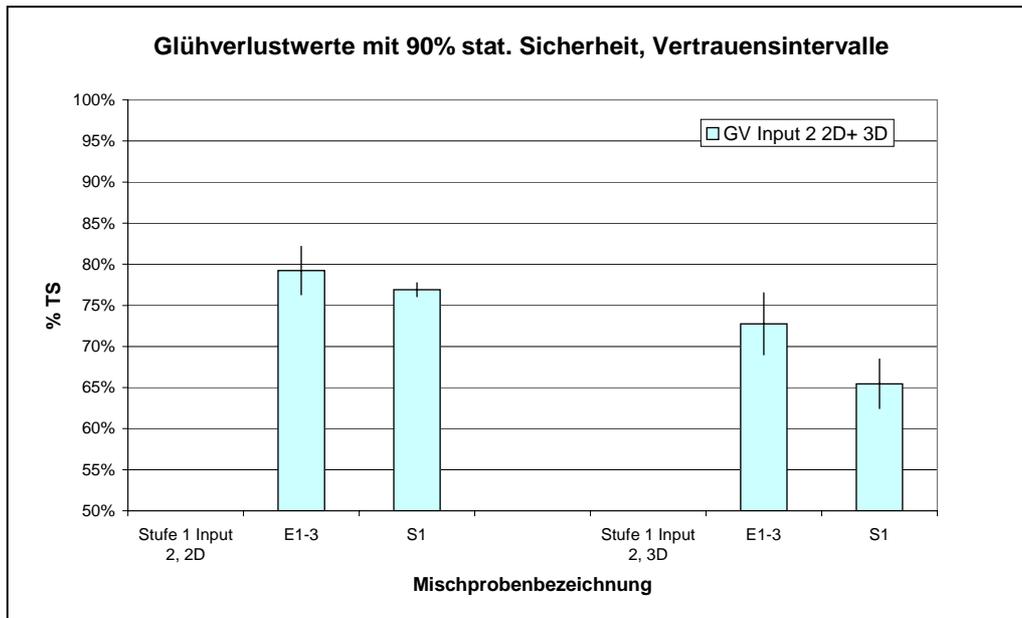


Abbildung 6.40: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Mischproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Auch bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.39 und Abbildung 6.40) zeigt sich weitgehend Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben. Die Vertrauensbereiche der Proben Input 2, 3D überschneiden sich knapp nicht.

6.6.6 Cadmiumgehalt

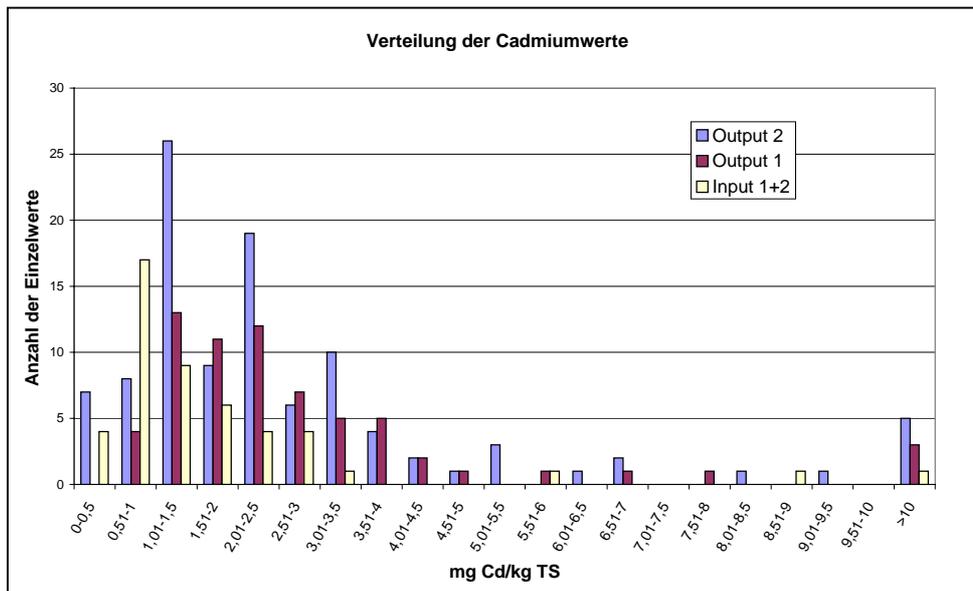


Abbildung 6.41: Die Werte für den Cadmiumgehalt sind weitgehend normalverteilt und leicht linksschief

Die Werte für den Cadmiumgehalt sind weitgehend normalverteilt und leicht linksschief (Abbildung 6.41). Wie bei Schwermetallen und Spurenkonzentrationen oft anzutreffen, gibt es einzelne, sehr hohe Werte außerhalb der Glockenkurve.

Der Auswertung für Cadmium sei folgende Anmerkung vorausgeschickt: Für das heizwertreiche Material, das in Bezug auf den Cadmiumgehalt wesentlich größere relative Gehaltsbereiche abdeckt (Heizwert +/- 30 %, Chlorgehalt +/- 50 %, Cadmiumgehalt +1690 % / -100%) und somit relativ heterogener ist, ergeben sich teilweise sehr große Vertrauensbereiche für die Mittelwerte der Sammelproben (E), aber auch der Mischproben (S, SS). Das Kriterium „Überschneidung der Vertrauensbereiche bei 90% statistischer Sicherheit“ bleibt zur besseren Vergleichbarkeit unverändert. Ausreißerwerte wurden keine eliminiert.

Vorwegnehmend kann für den Parameter Cadmium festgehalten werden, dass das Kriterium der Übereinstimmung von Einzelnen Sammelproben und Mischproben auf beiden Verjüngungsstufen und über beide Stufen für alle Proben erfüllt wird. Nachfolgend die einzelnen Darstellungen. Nach unten hin wurden negative Werte des rechnerischen Vertrauensbereiches nicht dargestellt.

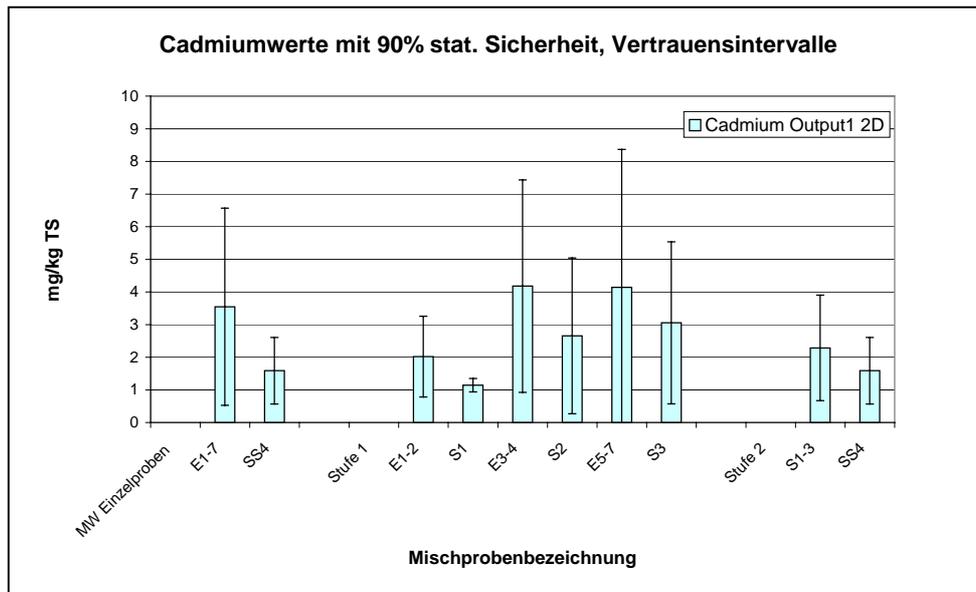


Abbildung 6.42: Beprobung des Materials im 2D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Cadmiumgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

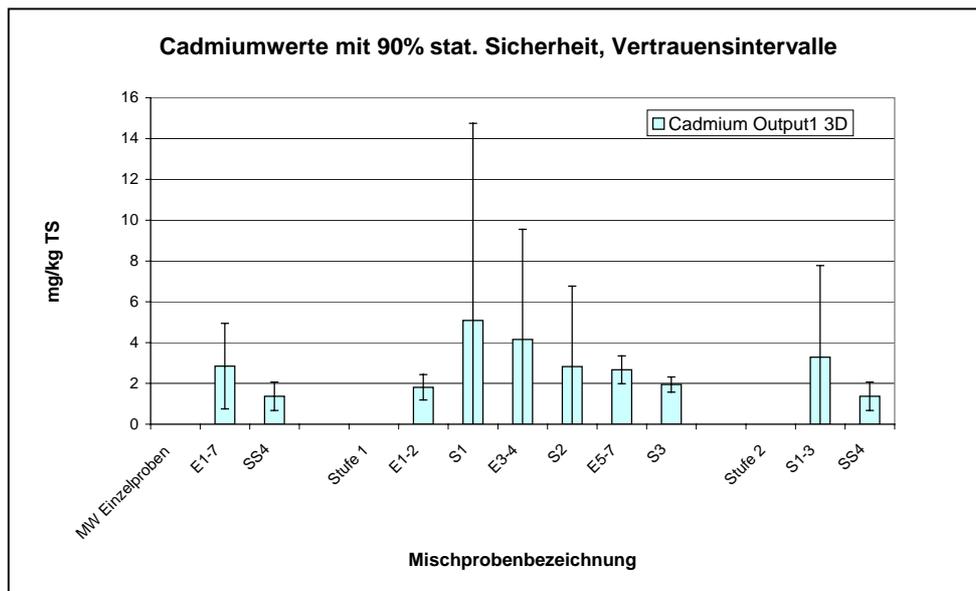


Abbildung 6.43: Beprobung des Materials im 3D Strom, 1. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Cadmiumgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min bzw. 80 min (S) und 200 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.42 und die Abbildung 6.43 zeigen auf Basis des Kriteriums Übereinstimmung der Werte.

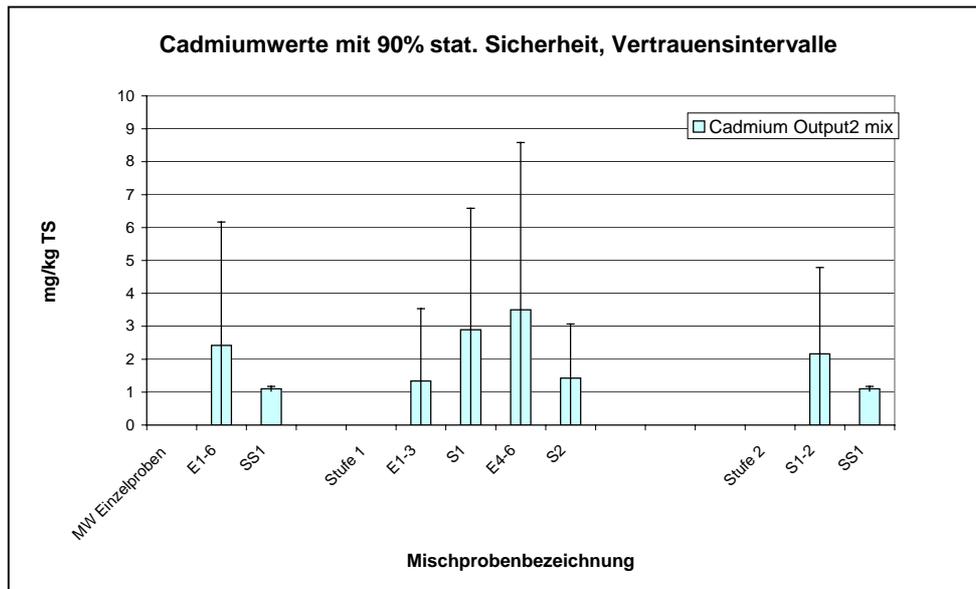


Abbildung 6.44 Beprobung des Materials im Bunkerabwurf, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Cadmiumgehalts von Sammelproben, die 20 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 80 min (S) und 170 min (SS) repräsentieren.

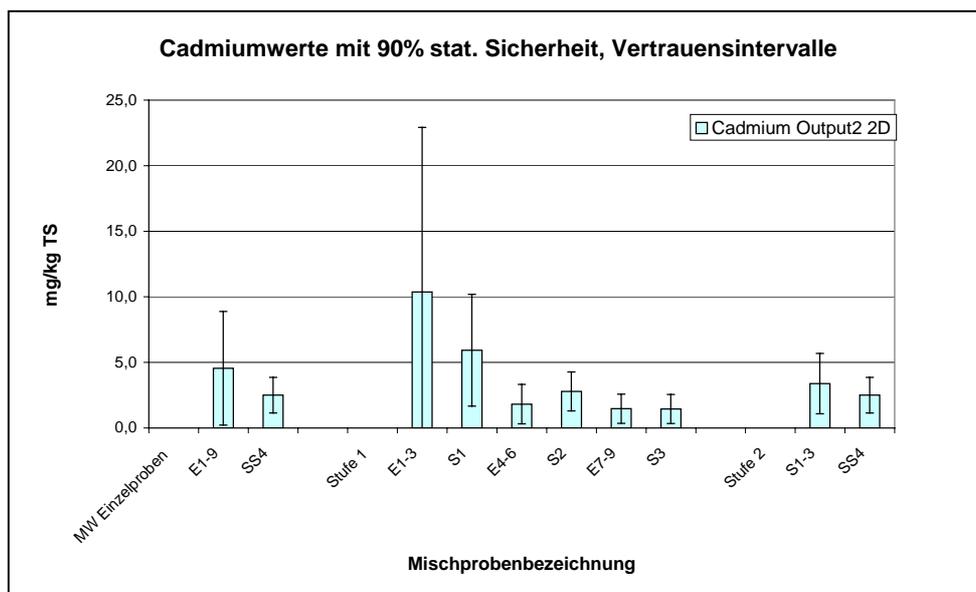


Abbildung 6.45: Beprobung des Materials im 2D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Cadmiumgehalts von Sammelproben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Die Abbildung 6.45 zeigt gute Übereinstimmung der Werte für alle Stufen. Nicht nur die Überschneidung, auch das absolute Niveau der Werte wird für die gröbere Fraktion (2D, < 30 mm) entsprechend abgebildet.

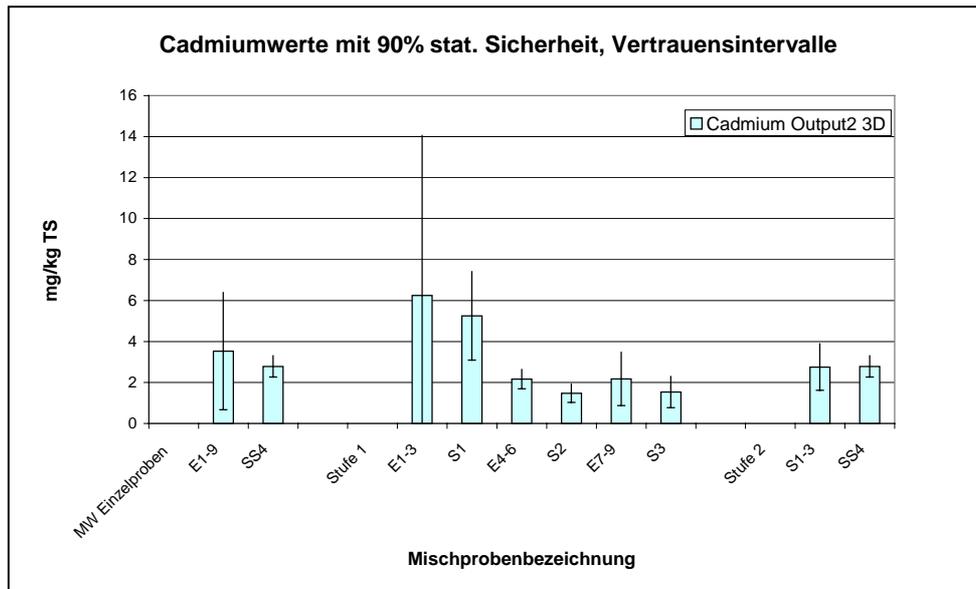


Abbildung 6.46: Beprobung des Materials im 3D Strom, 2. Versuch: Vergleich der Mittelwerte des Cadmiumgehalts von Sammelpuben, die 15 min (E) repräsentieren und von Mischproben daraus, die 55 min (S) und 175 min (SS) repräsentieren.

Auch der Cadmiumgehalt im 3D Material (< 10 mm) wurde im 2. Versuch entsprechend erfolgreich abgebildet.

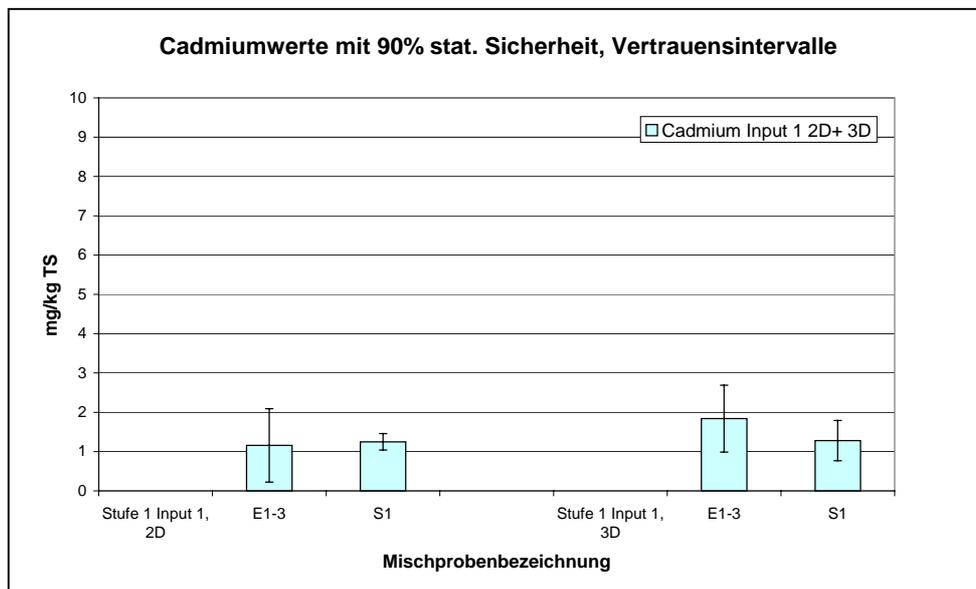


Abbildung 6.47: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Einzelnen Sammelpuben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 1

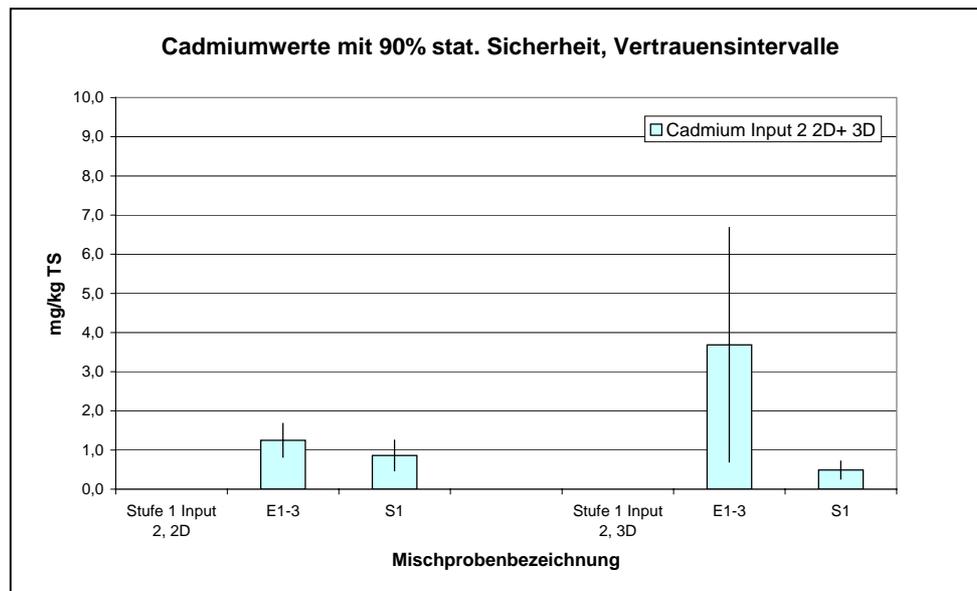


Abbildung 6.48: Bildung der Mischprobe aus Teilproben der Einzelnen Sammelproben bei der Aufbereitung der Inputproben, Versuch 2

Auch bei der Bildung von Mischproben im Zuge der Aufbereitung der Inputproben (Abbildung 6.47 und Abbildung 6.48) zeigt sich Übereinstimmung der Mischprobenmittelwerte mit den Einzelwerten der Sammelproben. Die Vertrauensbereiche der Proben Input 2, 3D überschneiden sich gerade noch.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass die für Cadmium bestimmten Werte innerhalb einer Einzelnen Sammelprobe oder Mischprobe nicht in erster Linie einem Nuggeteffekt (vgl. Cencic und Skutan 2002) unterliegen. Dem sonst in der Abfallanalytik häufigen Effekt wurde durch die gewählten Korngrößen und Probenmengen erfolgreich begegnet. Betrachtet man ein Datenkollektiv, so sind Mischproben daher anwendbar. Zu einer selektiven Abreicherung kam es bei geringen Probenmengen wie der Zerkleinerung von Inputproben, da bei geringem Durchsatz ein Rückstand an Thermoplasten mit Cd-Stabilisatoren im Zerkleinerer verbleibt. Auch die Metallabscheidung konnte bei geringen Mengen effektiver arbeiten, daher die niedrigeren Absolutwerte für die Inputmaterialproben.

6.6.7 Kupfergehalt

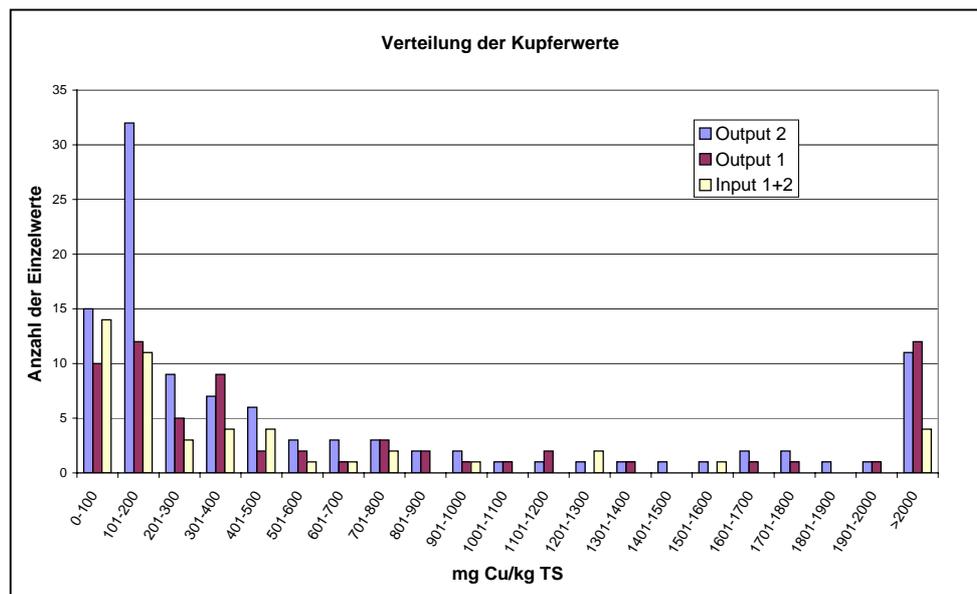


Abbildung 6.49: Die Werte für den Kupfergehalt sind weitgehend lognormal verteilt mit einigen hohen Werten

Da die Kupferwerte nicht normalverteilt vorliegen, wird von der Auswertung, die für die Angabe von Vertrauensbereichen Normalverteilung voraussetzt, Abstand genommen. Die Mischprobenbildung ist für Kupfergehalte somit so nicht verifizierbar.

6.7 Probenahme Ersatzbrennstoff

Die Beprobung wurde für eine einzelne Sammelprobe (E) zwischen 15 und 20 Minuten durchgeführt und jeweils der Beginn und die Endzeit dokumentiert. Weiters wurde die Einzelprobenanzahl mitdokumentiert (20 - 46 pro Sammelprobe). Da im ersten Durchgang nur sieben Sammelproben gewonnen werden konnten, wurde der 2. Durchgang mit 15 min Intervallen beprobt. Obwohl die Beteiligten auf der Anlage gebeten wurden, diese im 2. Versuch nur mit 70 % des möglichen Durchsatzes zu betreiben, wurde der gleiche Durchsatz wieder erreicht. Durch die gleichmäßigere Aufgabe erhöhte sich der Durchsatz sogar leicht (von ca. 10 Mg/h auf 12 Mg/h), da es zu weniger An- und Abfahrvorgängen der Förderbänder kam. Es wurde somit das gesamte Material bis auf ca. 2 Mg (10 min) am Schluss beprobt.

Die Probenahme erfolgte mit Kellen (3D, Mix), einem gefalteten Karton (2D) sowie Schaufeln und Mistgabeln (Input).

Die Verjüngung erfolgte mit einer Kehrrichtschaufel (Ersatzbrennstoff). Die abgeschiedenen Fraktionen wurden mit Schneeschaufeln (AI) verjüngt.

Das degenerierte Fraktionale Schaufeln wurde verwendet. Im ersten Schritt wird die Sammelprobe auf die nötige Menge verringert (z.B. zwei Teile verworfen, ein Teil wird zur

Teilprobe). Danach wird durch Schaufeln vom Haufen der Mischprobe reihum die Teilprobe (E), die Mischprobe (S) und die Mischprobe Stufe 2 (SS) bedient. Dabei wurde von den Probenverjüngern die nötige Laborprobenmenge berücksichtigt und S sowie SS entsprechend geringer bedient. Wo diese Abschätzung nicht funktionierte (mitunter wird damit zuviel Probe erhalten), wurde das Probenmaterial im Kübel verdichtet und gegebenenfalls mehr Masse als Laborprobe gewonnen, um auch die jeweils letzte Teilprobe (E) in der Mischprobe (S, SS) repräsentieren zu können. Mindestens 10 Teilproben mussten in eine Mischprobe einfließen.

6.7.1 Vergleich getrennte Probenahme von 2D und 3D Material und gemeinsame Probenahme Mix-Material

Tabelle 6.11: Vergleich der Bestimmung der Gehalte mittels Probenahme der 2D und 3D Fraktion und Gewichtung der Gehalte (70:30) und der Bestimmung aus dem gemischten Material, Mittelwerte von drei Bestimmungen der zusammengesetzten Mischproben (SS)

Parameter	Einheit	Output 2	Output 2 Mix
Trockenrückstand	%	70%	66%
Störstoffe	%	3,8%	3,3%
Heizwert oberer	kJ/kg TS	21578	20905
Heizwert unterer	kJ/kg OS	11744	11949
Chlor	mg/kg TS	10115	10810
Schwefel	mg/kg TS	2630	2700
Fluor	mg/kg TS	40	30
PCB	mg/kg TS	<1	<1
TOC	%	40%	42%
Glühverlust	%	77%	77%
Al metallisch	mg/kg TS	2010	1800
Al	mg/kg TS	6334	5221
As	mg/kg TS	4,7	2,7
Be	mg/kg TS	<5	0,1
Cd	mg/kg TS	2,6	2,9
Co	mg/kg TS	4,0	3,5
Cr	mg/kg TS	408	118
Cu	mg/kg TS	746	191
Hg	mg/kg TS	0,6	0,2
Mn	mg/kg TS	261	258
Ni	mg/kg TS	22	32
Pb	mg/kg TS	123	86
Sb	mg/kg TS	30	44
Sn	mg/kg TS	1,3	5,4
Tl	mg/kg TS	3,3	0,3
V	mg/kg TS	2,9	0,7
Zn	mg/kg TS	505	529

Unterschiede sind bei Kupfer und Chrom sowie bei Spuren wie V, Tl, Sn festzustellen. Der höhere Wassergehalt vom Output Mix liegt unter Umständen daran, dass die bei der Zerkleinerung aufgrund der Erwärmung (Eintrag von mechanischer Energie) entweichende Feuchte im Kettenkratzförderer wie in einem Kamin aufsteigt (die Mix-Probenahmestelle liegt um ca. 12 m über den 2D und 3D Probenahmestellen) und vom Material wieder aufgenommen wird. Ansonsten ist eine gute Übereinstimmung der Probenahmen und Analysen festzustellen.

6.8 Probenahme ÖKK Material und Vergleich der Qualitäten von Ersatzbrennstoff aus ÖKK-Material und aus der heizwertreichen Fraktion aus der MA

Tabelle 6.12: Vergleich eines aus ÖKK Material (Verpackungsabfallsammlung) gewonnenen Ersatzbrennstoffs mit dem aus heizwertreicher Fraktion aus der MA/MBA ZEMKA gewonnenen Ersatzbrennstoff. Die Al metallisch Bestimmung hat bei dem ÖKK-Material rechnerisch einen negativen Wert (ÖKK 2D) ergeben. Angegeben sind Mittelwerte von drei Bestimmungen der zusammengesetzten Mischproben (SS) bzw. der rechnerische Wert (70:30) aus den Sammelproben beim ÖKK-Material.

Parameter	Einheit	Output 1	Output 2	Output 2 Mix	ÖKK
Trockenrückstand	%	70%	70%	66%	93%
Störstoffe	%	1,2%	3,8%	3,3%	2,9%
Heizwert oberer	kJ/kg TS	21420	21578	20905	32184
Heizwert unterer	kJ/kg OS	12236	11744	11949	27311
Chlor	mg/kg TS	9989	10115	10810	10693
Schwefel	mg/kg TS	4190	2630	2700	1210
Fluor	mg/kg TS	21	40	30	36
PCB	mg/kg TS	<1	<1	<1	<1
TOC	%	43%	40%	42%	58%
Glühverlust	%	77%	77%	77%	88%
Al metallisch	mg/kg TS	4330	2010	1800	-5340
Al	mg/kg TS	6042	6334	5221	5783
As	mg/kg TS	3,6	4,7	2,7	2,3
Be	mg/kg TS	<5	<5	0,1	<5
Cd	mg/kg TS	1,5	2,6	2,9	1,7
Co	mg/kg TS	4,1	4,0	3,5	2,8
Cr	mg/kg TS	306	408	118	87
Cu	mg/kg TS	1292	746	191	764
Hg	mg/kg TS	0,3	0,6	0,2	2,3
Mn	mg/kg TS	276	261	258	105
Ni	mg/kg TS	31	22	32	25
Pb	mg/kg TS	142	123	86	74
Sb	mg/kg TS	24	30	44	10
Sn	mg/kg TS	4,5	1,3	5,4	0,6
Tl	mg/kg TS	0,4	3,3	0,3	0,2
V	mg/kg TS	4,3	2,9	0,7	1,8
Zn	mg/kg TS	702	505	529	296

Das ÖKK-Material hat einen deutlich geringeren Wassergehalt und einen höheren org. Kohlenstoffgehalt sowie Glühverlust. Damit wird auch ein wesentlich höherer Heizwert erreicht. Die Chlorgehalte sind sehr ähnlich. Bemerkenswert ist der deutlich höhere Quecksilbergehalt in dem ÖKK-Material. Die Probenahme des ÖKK-Materials fand vier Wochen nach den anderen Probenahmen statt (21.4.2004). Über zwei Stunden wurden bei

2D und 3D Material je 120 Einzelproben gezogen, je eine Mischprobe gebildet und diese durch mehrstufiges Fraktionales Schaufeln und auf je 10 l verjüngt.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Abscheideleistung

Die Abscheideleistung der Thermoteamanlage zum Zeitpunkt der Beprobung konnte für Eisen und Nichteisenmetalle ermittelt werden. Wirklich von Interesse war allerdings der Abscheidegrad. Eine Entfrachtung von Cadmium ist erkennbar. Die Abscheideleistung wurde nur für einem Metallrecycling zuführende Metallfrachten ermittelt. In Verbundmaterial enthaltene Frachten wurden nicht berücksichtigt.

Für Eisen ergab sich ein Abscheidegrad durch einen Überbandmagneten und einen Magneten, der in einen Abwurf integriert ist, von 30,2 % der Eisenfracht laut Sortierung.

Für die Nichteisenmetalle liegt der Abscheidegrad nur bei 8,20 %. Dabei kommt nur ein Wirbelstromabscheider in einer Übergabestelle zum Einsatz.

Die Abscheideleistung beträgt bei einem Durchsatz von 10 Mg/h somit 25,2 kg Fe/h und 19 kg NFe/h.

Für Inertmaterial wurde kein Abscheidegrad und keine Abscheideleistung ermittelt, weil der Bürstensicher nicht mehr eingebaut war.

Inzwischen wurden weitere Eisenabscheider nach dem Outputlager, also auch nach der Nachzerkleinerung, eingebaut und die Inertabscheidung modifiziert (einfache Windsichtung).

Für eine Erhöhung der Abscheidegrade gibt es mehrere Ansätze, z. B. die Kaskadenschaltung von Abscheideaggregaten, den besseren Aufschluss des Materials und eine bessere Vereinzelnung des Materials.

7.2 Vergleich der erreichten Qualitäten

Tabelle 7.1: Vergleich der erreichten Qualitäten bezogen auf die Trockensubstanz, Mittelwerte aus drei Bestimmungen von Mischproben bzw. sortierten Fraktionen

Parameter	Einheit	Output 1	Output 2	Output 2 Mix	ÖKK	Input 1	Input 2	Zemka Okt 2003	Positivliste der Österr. Zementindustrie f. KST u. HWF	Input- Spezifikation Retznei Grenzwert	<10mm	Verbund	Papier/ Karton	Kunststoff	Textil	Restfraktion
Trockenrückstand	%	70%	70%	66%	93%	71%	65%	77%	80%	80%	73%	75%	61%	83%	72%	65%
Störstoffe	%	1,2%	3,8%	3,3%	2,9%	4%	3%	5,2%			2,7%	1,6%	0,8%	0,8%	1,3%	3,6%
Heizwert oberer	kJ/kg TS	21420	21578	20905	32184	19323	19579	20900			10409	21780	16425	30043	20491	15211
Heizwert unterer	kJ/kg OS	12236	11744	11949	27311	12036	10861	14400	25000	20000	6393	14464	8323	22514	12844	8341
Chlor	mg/kg TS	9989	10115	10810	10693	6784	9726	9600	20000		3787	3252	4775	12559	13251	7595
Schwefel	mg/kg TS	4190	2630	2700	1210	2750	2550	1700			3000	1700	2100	2700	4300	3400
Fluor	mg/kg TS	21	40	30	36	66	50	90			80	25	15	700	23	22
PCB	mg/kg TS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0,04			<1	<1	<1	<1	<1	<1
TOC	%	43%	40%	42%	58%	39%	39%	54%			29%	44%	36%	55%	42%	36%
Glühverlust	%	77%	77%	77%	88%	77%	73%	78%			51%	82%	80%	82%	83%	76%
Al metallisch	mg/kg TS	4330	2010	1800	-5340	530	2120				100	13000	800	100	0	4000
Al	mg/kg TS	6042	6334	5221	5783	7234	6653	8600			8101	7880	4780	3130	2933	9271
As	mg/kg TS	3,6	4,7	2,7	2,3	3,4	2,4	5,2	15	15	3,5	1,9	3,6	2,6	5,7	2,9
Be	mg/kg TS	<5	<5	0,1	<5	<5	<5	<2,5			<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	mg/kg TS	1,5	2,6	2,9	1,7	1,3	0,7	4,9	27	25	1,2	0,4	0,4	0,8	0,7	0,5
Co	mg/kg TS	4,1	4,0	3,5	2,8	3	4	3,9	100	20	5,9	2,5	2,6	3,4	4,3	5,5
Cr	mg/kg TS	306	408	118	87	203	143	430	300	300	134	53	52	338	732	92
Cu	mg/kg TS	1292	746	191	764	759	980	1800	500	500	9,9	7,8	12,6	595,0	448,4	13,0
Hg	mg/kg TS	0,3	0,6	0,2	2,3	2,1	1,2	3,8	2	1	3,0	2,9	3,4	3,0	2,3	3,3
Mn	mg/kg TS	276	261	258	105	283	276	190			411	180	187	228	250	331
Ni	mg/kg TS	31	22	32	25	26	23	28	200	200	54	20	12	12	13	29
Pb	mg/kg TS	142	123	86	74	107	69	78	500	500	104	93	93	95	134	200
Sb	mg/kg TS	24	30	44	10	13	8	5	20 (800 PET)	30	6,5	2,9	5,6	12,9	11,6	4,6
Sn	mg/kg TS	4,5	1,3	5,4	0,6	0,9	0,5	9,5	70	70	1,2	0,7	1,2	1,2	0,7	1,0
Tl	mg/kg TS	0,4	3,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	10	3	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,7
V	mg/kg TS	4,3	2,9	0,7	1,8	2,9	4,0	6,3	bis 2000	70	5,5	2,0	1,5	2,3	3,3	4,3
Zn	mg/kg TS	702	505	529	296	448	561	710	1000		339	203	252	607	516	337

Tabelle 7.2: Vergleich der erreichten Qualitäten bezogen auf den unteren Heizwert, Mittelwerte aus drei Bestimmungen von Mischproben bzw. sortierten Fraktionen

Parameter	Einheit	Output 1	Output 2	Output 2 Mix	ÖKK	Input 1	Input 2	Zemka Okt 2003	Positivliste der Österr. Zementindustrie f. KST u. HWF	Input- Spezifikation Retznei Grenzwert	<10mm	Verbund	Papier/ Karton	Kunststoff	Textil	Restfraktion
Trockenrückstand	%	70%	70%	66%	93%	71%	65%	77%	Bezugswert: 80%	Bezugswert: 80%	73%	75%	61%	83%	72%	65%
Störstoffe	%	1,2%	3,8%	3,3%	2,9%	3,9%	3,2%	5,2%			2,7%	1,6%	0,8%	0,8%	1,3%	3,6%
Heizwert oberer	kJ/kg TS	21420	21578	20905	32184	19323	19579	20900			10409	21780	16425	30043	20491	15211
Heizwert unterer	kJ/kg OS	12236	11744	11949	27311	12036	10861	14400	Bezugswert: 25000	20000	6393	14464	8323	22514	12844	8341
Chlor	mg/kg TS	9989	10115	10810	10693	6784	9726	9600	20000		3787	3252	4775	12559	13251	7595
Schwefel	mg/MJ	240	156	150	41	163	153	91			344	88	155	99	240	267
Fluor	mg/MJ	1	2	2	1	4	3	5			9	1	1	26	1	2
PCB	mg/MJ	<0,06	<0,06	<0,06	<0,03	<0,06	<0,06	<0,05			<0,11	<0,05	<0,07	<0,04	<0,06	<0,08
TOC	%	43%	40%	42%	58%	39%	39%	54%			29%	44%	36%	55%	42%	36%
Glühverlust	%	77%	77%	77%	88%	77%	73%	78%			51%	82%	80%	82%	83%	76%
Al metallisch	mg/MJ	248	119	100	-182	31	127				11	676	59	4	0	314
Al	mg/MJ	346	375	290	197	429	399	462			930	409	352	115	164	727
As	mg/MJ	0,20	0,28	0,15	0,08	0,20	0,14	0,28	0,48	0,60	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2
Be	mg/MJ	<0,29	<0,30	0,01	<0,17	<0,30	<0,30	<0,13			<0,57	<0,26	<0,37	<0,18	<0,28	<0,39
Cd	mg/MJ	0,09	0,15	0,16	0,06	0,07	0,04	0,26	0,9	1,0	0,13	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Co	mg/MJ	0,24	0,24	0,19	0,09	0,19	0,25	0,21	3,2	0,8	0,7	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4
Cr	mg/MJ	18	24	7	3	12	9	23	10	12	15	3	4	12	41	7
Cu	mg/MJ	74	44	11	26	45	59	97	16	20	1	0,4	1	22	25	1
Hg	mg/MJ	0,01	0,03	0,01	0,08	0,13	0,07	0,20	0,06	0,04	0,34	0,15	0,25	0,11	0,13	0,26
Mn	mg/MJ	16	15	14	4	17	17	10			47	9	14	8	14	26
Ni	mg/MJ	1,8	1,3	1,8	0,8	1,5	1,4	1,5	6,4	8,0	6,1	1,0	0,9	0,4	0,7	2,3
Pb	mg/MJ	8	7	5	3	6,4	4,2	4	16	20	12	5	7	3	8	16
Sb	mg/MJ	1,36	1,77	2,47	0,34	0,75	0,49	0,28	0,64 (25,6 f. PET)	1,2	0,75	0,15	0,42	0,48	0,65	0,36
Sn	mg/MJ	0,26	0,08	0,30	0,02	0,05	0,03	0,51	2,2	2,8	0,13	0,04	0,09	0,04	0,04	0,08
Tl	mg/MJ	0,02	0,19	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,3	0,1	0,07	0,02	0,02	0,003	0,01	0,05
V	mg/MJ	0,25	0,17	0,04	0,06	0,17	0,24	0,34	bis 64	2,8	0,63	0,10	0,11	0,08	0,19	0,34
Zn	mg/MJ	40	30	29	10	27	34	38	32		39	11	19	22	29	26

Der Vergleich der Qualitäten (Tabelle 7.1 und Tabelle 7.2) zeigt, dass alle Parameter mit Ausnahme von Cr, Cu, Sb, Tl auch von heizwertreichen Fraktionen eingehalten werden können, wenn man mit den strengen Auflagen des Zementwerks Retznei vergleicht. Der Vergleich wurde gewählt, da nur bei einem stirnseitigen Einbringen in ein Zementdrehrohr diese Aufbereitungsfeinheit erzielt werden muss, um den Ausbrand sicher zu stellen. Ersatzbrennstoffe für andere Einsatzzwecke haben andere physikalische Spezifikationen. Die Probenahme und die Abscheidung sind dann nicht 1:1 übertragbar.

Bei dem Vergleich zeigt sich, dass Input-Grenzwerte für Cr, Sb, Tl geringfügig und für Cu deutlich überschritten würden. Gerade der Kupfergehalt könnte aber durch verbesserte Abscheidung tatsächlich reduziert werden, was gute Aussichten für das prinzipielle Erreichen der stofflichen Qualitätsanforderungen bietet. Der Heizwert könnte nur durch Trocknung erreicht werden. Ungeklärt ist der Pfad von Quecksilber, das vom Input zum behandelten Material hin deutlich abnimmt. Da es in der NFe Fraktion nicht nachgewiesen werden konnte, bleibt nur die Eisenabscheidung (was mit einzelnen Knopfzellenfunden bei späteren Versuchen nach diesem Projekt bestätigt werden konnte) und der Staub- bzw. Abluftpfad, der bisher nicht bestätigt werden konnte. Dabei wurde einmal stichprobenartig der abgeschiedene Staub untersucht, Abluftmessungen wurden keine durchgeführt.

7.3 Mischprobenbildung

Die Analyse von Mischproben im Vergleich zur Analyse von Einzelnen Sammelproben mit anschließender Mittelwertbildung zeigte vielversprechende Ergebnisse, wenn auch das Ergebnis, das mit einem möglichst geringen Aufwand bei der Probenverjüngung erreicht wurde, nicht eindeutig ausfällt. Vor allem bei sehr kurzzeitigen, kleinräumigen Betrachtungen spiegeln die Mischproben vereinzelt nicht den Mittelwert der Einzelproben wieder, wie am Beispiel der Parameter Chlor, Glühverlust, oberer und unterer Heizwert, Trockenrückstand und Cadmium gezeigt wurde.

Zusammenfassend erfüllt die Mischprobe etwa in 83 % der Fälle (139 von 168) das Kriterium der Übereinstimmung mit dem Mittelwert aus der Bestimmung der Einzelnen Sammelproben. Dabei wurde für 90 % statistische Sicherheit ein Vertrauensintervall auf Basis der Standardabweichung der Einzelbestimmungswerte der jeweils einbezogenen Proben berechnet. Der untere Heizwert ist aufgrund der verknüpften Einflüsse des oberen Heizwerts und des Trockenrückstands/Wassergehalts sowie der präzisen Bestimmungsmethodik der schwierigste Parameter.

Für die Qualitätssicherung und den bescheidkonformen Einsatz von Ersatzbrennstoffen ist eine Beurteilung auf Basis von 14-Tagesproben oder Monatsproben anstatt von Wochenproben durchaus als zulässig zu betrachten, wenn durch automatische Probenahmeeinrichtungen eine große Anzahl an Einzelproben erreicht wird und eine etwas aufwändigere Verjüngungsmethode, als die in den Versuchen verwendete, Anwendung findet.

8 Ausblick

8.1 Metallabscheidung

Der Anlagenaufbau hat sich seit dem Versuchszeitpunkt weiter verändert. In der Verladestation wurden zusätzliche Metallabscheider eingebaut. Bedeutend ist auch die Änderung, die ein Sternsieb brachte. Dabei werden vor allem Schaumstoffe < 30 mm abgeschieden. Die gute Vereinzelnung dabei wird genutzt, um Fe- Metalle mit einem Überbandmagneten abzutrennen. Nach dem Auslieferungslager finden somit drei weitere Fe-Abscheidungen statt.

Die Metallabscheidung bietet derzeit die einzige Möglichkeit zur Entfrachtung von Ersatzbrennstoffen von Schwer- und Leichtmetallen. Die Problematik wird damit aber in die Sekundärhütten verlagert. Der Verbleib des Quecksilbers stellt sich als noch nicht abgeklärt dar. Insbesondere sollte der Abluftweg ausgeschlossen werden, um die Annahme der Entfrachtung über die Eisenfraktion zu bekräftigen.

8.2 Störstoffabscheidung

Inzwischen wurde in die leere Übergabestelle ein windsichtendes System, das spezifisch schwerere Teile ausschleusen kann, installiert. Damit können die Nachzerkleinerung und die Transporteinrichtungen geschont werden.

8.3 Chlorabscheidung

Vor allem aus der Papierindustrie, bei der Aufbereitung der Reststoffe zur thermischen Verwertung, sind Systeme zur optischen Erkennung von C-Cl Verbindungen, wie diese in PVC enthalten sind, und der gezielten Abscheidung aus heterogener, verschmutzter Matrix, bekannt. Diese NIR Erkennungssysteme, die eine Batterie von Druckluftdüsen, über Magnetventile geschaltet, ansteuern, können PVC abreichern. Voraussetzung ist dafür eine ein Teilchen dicke Schicht. Transportgeschwindigkeiten von 2 m/s sind für Ersatzbrennstoffe bekannt. Auch in der Kunststoffaufbereitung werden solche Systeme eingesetzt, allerdings meist bei Systemen mit vorgeschalteter Wäsche der Kunststoffe.

Bekannt ist die erfolgreiche Positiv-Sortierung mit NIR-Systemen von Kunststoffen (PP, PE, PS, HDPE, ...) zur Gewinnung von Ersatzbrennstoffen aus gemischten Kunststoffen (Glorius und Hüskens 2005). Die Abtrennung von PVC aus heizwertreichen Fraktionen aus Siedlungsabfall ist bisher nicht umgesetzt.

9 Zusammenfassung

Das Projekt „Herstellung von Ersatzbrennstoffen“ wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, dem Umweltbundesamt und der Saubermacher Dienstleistungs AG finanziert.

Ermittelt wurden die Qualitäten eines Ersatzbrennstoffs, wie er durch mechanische Aufbereitung auf der Anlage der Fa. ThermoTeam, Retznei einerseits aus heizwertreicher Fraktion aus Siedlungsabfall - welche wiederum von der der mechanischen Aufbereitungsanlage der Zentralen Müll- und Klärschlammkompostierung in Zell am See (ZEMKA) zur Verfügung gestellt wurde - erzeugt werden kann und andererseits eines Ersatzbrennstoffs, wie er aus dem Material der getrennten Verpackungsabfallsammlung (Gelbe Tonne, Gelber Sack) erzeugt werden kann. Basis für den Vergleich bildeten detaillierte chemische und physikalische Analysen zur Beurteilung des Ersatzbrennstoffes. Dabei wurden oberer und unterer Heizwert, Trockenrückstand, Glühverlust, sowie der Gehalt an Cl, F, S, PCB, Al metallisch, Al gesamt, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, V und Zn bestimmt. Vor der Analyse erfolgte eine aufwändige, manuelle Probenahme und Probenverjüngung zur Erreichung repräsentativer Ergebnisse.

Für die künftige Qualitätssicherung wurde das kostengünstigere Konzept der Mischprobenbildung überprüft. Dabei wird physikalisches Mischen und Verjüngen von Sammelproben mit anschließender Analyse der rechnerischen Mittelwertbildung aus den Bestimmungswerten vieler Einzelanalysen gegenübergestellt. Dies wurde für die Parameter oberer und unterer Heizwert, Chlor, Cadmium, Trockenrückstand und Glühverlust durchgeführt.

Zur Bestimmung der Zusammensetzung von Nichteisenmetallen, die in der ThermoTeam-Anlage zurückgewonnen werden, wurde ein Schmelzversuch mit anschließender Charakterisierung der resultierenden Materialien durchgeführt.

Der Abscheidegrad der Anlage für Eisen und Nichteisenmetalle wurde durch Massenbilanzierungen und durch Sortierversuche ermittelt.

10 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1: FRAKTIONALES SCHAUFELN - VORGEHENSWEISE BEI EINEM VERJÜNGUNGSSCHRITT, NICHT DEGENERIERT, ALLE TEILPROBEN WERDEN GETRENNT GEBILDET, QUELLE [GERLACH 2002].....	11
ABBILDUNG 2.2: VERJÜNGUNG DURCH DEGENERIERTES FRAKTIONALES SCHAUFELN, LINKS DAS VERWORFENE MATERIAL, IN DER MITTE DAS ZU VERJÜNGENDE MATERIAL, RECHTS DIE TEILPROBE OFFEN UND RECHTS OBEN DIE TEILPROBEN S UND SS VON VORHERGEGANGENEN MISCHPROBEN DES SELBEN VERSUCHS IN KÜBELN.....	12
ABBILDUNG 3.1: SCHEMA DER THERMOTEAM-ANLAGE, IST-ZUSTAND MÄRZ/APRIL 2004	13
ABBILDUNG 3.2: PLAN DER AUFBEREITUNGSANLAGE THERMOTEAM.....	14
ABBILDUNG 3.3: AUSTRAGSBUNKER FE-ABSCHIEDER.....	15
ABBILDUNG 3.4: NFE-ABSCHIEDER.....	15
ABBILDUNG 3.5: ÜBERGABESTELLE UND AUSTRAGSBAND, BÜRSTENSICHTER AUSGEBAUT	16
ABBILDUNG 3.6: ÜBERGABESTELLE HINTER DER 2D-NACHZERKLEINERUNG, PROBENAHEMEORT	17
ABBILDUNG 3.7: PROBENAHEMEÖFFNUNG FÜR DAS MIX-MATERIAL, 2D UND 3D FRAKTION GEMISCHT, OBERHALB DES AUSLIEFERUNGSLAGERS.....	17
ABBILDUNG 4.1: MISCHPROBENBILDUNG BEI DER PROBENAHEME IN ZWEI STUFEN	22
ABBILDUNG 4.2: VERGLEICH VON FIKTIVEN CHLORGEHALTEN. VERGLICHEN WERDEN MISCHPROBEN (MITTELWERT DREIFACH-BESTIMMUNG) UND GEMITTELTE WERTE AUS MEHREREN EINZELEN SAMMELPROBEN (MITTELWERT DREIFACH-BESTIMMUNG) IN ZWEI STUFEN WIE IN ABBILDUNG 4.1 GEZEIGT.	23
ABBILDUNG 5.1: HEIZWERTREICHE FRAKTION, MISCHPROBE AUS DEM UNZERKLEINERTEN INPUTMATERIAL	25
ABBILDUNG 5.2: HEIZWERTREICHE FRAKTION FÜR DIE 1. MASSENBILANZ IM INPUTLAGER VON THERMOTEAM, DIE KREISE HEBEN DIE BEIDEN LADUNGEN DES LKW-ZUGES HERVOR.	27
ABBILDUNG 5.3: HEIZWERTREICHE FRAKTION FÜR DIE 1. AUFBEREITUNG, IM INPUTLAGER GETRENNT GELAGERT.....	27
ABBILDUNG 5.4: IM ZUGE DER MASSENBILANZIERUNG WURDE DIE 3D FRAKTION DIREKT AM ABWURF DER FREIEN AUSTRAGSTELLE AUFGEFANGEN	28
ABBILDUNG 5.5: IM ZUGE DER MASSENBILANZ I ABGESCHIEDENE EISENFRAKTION	28
ABBILDUNG 5.6: IM ZUGE DER MASSENBILANZ I ABGESCHIEDENE NICHTEISENMETALLFRAKTION... ..	28
ABBILDUNG 5.7: ABSORPTIONSLÖSUNG FÜR DIE ABGASE AUS DEM SCHMELZVERSUCH, RECHTS ZUFLUSS, LINKS SAUGPUMPE.....	29
ABBILDUNG 5.8: VERSUCHSAUFBAU FÜR DAS EINSCHMELZEN DER NICHTEISENMETALLE MIT EINEM INDUKTIONSOFFEN UNTER SPÜLUNG MIT AR (DURCHSICHTIGE LEITUNG), TEMPERATURMESSUNG, UND ABZUG DER GASE (SCHWARZE HEIZLEITUNG) SOWIE ABZUGSHAUBE MIT SICHTFENSTER. OFFEN MIT METALLDECKEL UND DÄMMWOLLE	30
ABBILDUNG 5.9: VORBEREITENDE SCHMELZVERSUCHE: DEUTLICH ZU ERKENNEN SIND DIE METALLKUGELN IN EINER MATRIX AUS VERMUTLICH ALUMINIUMOXID	30
ABBILDUNG 5.10: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – EISEN, FERROMAGNETISCH.....	32
ABBILDUNG 5.11: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – NICHTEISENMETALLE, PARAMAGNETISCH33	

ABBILDUNG 5.12: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – KUNSTSTOFFE	33
ABBILDUNG 5.13: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – TEXTILIEN	33
ABBILDUNG 5.14: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – PAPIER, KARTON.....	34
ABBILDUNG 5.15: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – GLAS, STEINE, KERAMIK	34
ABBILDUNG 5.16: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – VERBUNDE	34
ABBILDUNG 5.17: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – HOLZ, BIOGENES.....	35
ABBILDUNG 5.18: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – FEINANTEIL < 10 MM	35
ABBILDUNG 5.19: FRAKTIONEN DER INPUTSORTIERUNG – RESTFRAKTION < CA. 30 MM	35
ABBILDUNG 6.1: ANNÄHERND NORMALVERTEILTE CHLORWERTE IN DEN MATERIALSTRÖMEN, OUTPUT 2 ZEIGT STÄRKERE INHOMOGENITÄT	50
ABBILDUNG 6.2: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CHLORGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 50 MIN (20 MIN + 10 MIN RÜSTZEIT + 20 MIN) BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	52
ABBILDUNG 6.3: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CHLORGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 50 BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	52
ABBILDUNG 6.4 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CHLORGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	53
ABBILDUNG 6.5: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CHLORGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	54
ABBILDUNG 6.6: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CHLORGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	55
ABBILDUNG 6.7: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1	55
ABBILDUNG 6.8: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2	56
ABBILDUNG 6.9: DIE HEIZWERTE SIND ANNÄHERND NORMALVERTEILT, AUFFÄLLIG IST NUR DER NICHT VORKOMMENDE HEIZWERTBEREICH VON 19.000-21.000 KJ/KG BEI INPUT 1+2 2D.....	57
ABBILDUNG 6.10: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES OBEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 50 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	57
ABBILDUNG 6.11: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES OBEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 50 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	58

ABBILDUNG 6.12 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES OBEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	58
ABBILDUNG 6.13: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES OBEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	59
ABBILDUNG 6.14: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES OBEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	60
ABBILDUNG 6.15: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1	60
ABBILDUNG 6.16: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2	61
ABBILDUNG 6.17: DIE WERTE FÜR DEN TROCKENRÜCKSTAND SIND FÜR DAS 3D MATERIAL UND DIE MISCHUNG AUS 2D UND 3D NORMALVERTEILT, FÜR DIE 2D FRAKTION AUFFALLENDE LINKSSTEIL	62
ABBILDUNG 6.18: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES TROCKENRÜCKSTANDS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	62
ABBILDUNG 6.19: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES TROCKENRÜCKSTANDS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	63
ABBILDUNG 6.20 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES TROCKENRÜCKSTANDS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	63
ABBILDUNG 6.21: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES TROCKENRÜCKSTANDS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	64
ABBILDUNG 6.22: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES TROCKENRÜCKSTANDS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	65
ABBILDUNG 6.23: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1	65
ABBILDUNG 6.24: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER EINZELNEN SAMMELPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2.....	66
ABBILDUNG 6.25: DIE WERTE FÜR DEN UNTEREN HEIZWERT ZEIGEN SICH ANNÄHERND NORMALVERTEILT	67

ABBILDUNG 6.26: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES UNTEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	67
ABBILDUNG 6.27: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES UNTEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	68
ABBILDUNG 6.28 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES UNTEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	68
ABBILDUNG 6.29: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES UNTEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	69
ABBILDUNG 6.30: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES UNTEREN HEIZWERTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	70
ABBILDUNG 6.31: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1	70
ABBILDUNG 6.32: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER EINZELNEN SAMMELPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2.....	71
ABBILDUNG 6.33: DIE WERTE FÜR DEN GLÜHVERLUST SIND WEITGEHEND NORMALVERTEILT, FÜR INPUT 1+2 3D GLEICHVERTEILT.....	72
ABBILDUNG 6.34: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES GLÜHVERLUSTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	72
ABBILDUNG 6.35: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES GLÜHVERLUSTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	73
ABBILDUNG 6.36 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES GLÜHVERLUSTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	73
ABBILDUNG 6.37: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES GLÜHVERLUSTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	74

ABBILDUNG 6.38: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES GLÜHVERLUSTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	75
ABBILDUNG 6.39: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1	75
ABBILDUNG 6.40: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER MISCHPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2	76
ABBILDUNG 6.41: DIE WERTE FÜR DEN CADMIUMGEHALT SIND WEITGEHEND NORMALVERTEILT UND LEICHT LINKSSCHIEF.....	77
ABBILDUNG 6.42: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CADMIUMGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	78
ABBILDUNG 6.43: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 1. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CADMIUMGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN BZW. 80 MIN (S) UND 200 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.....	78
ABBILDUNG 6.44 BEPROBUNG DES MATERIALS IM BUNKERABWURF, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CADMIUMGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 20 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 80 MIN (S) UND 170 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	79
ABBILDUNG 6.45: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 2D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CADMIUMGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	79
ABBILDUNG 6.46: BEPROBUNG DES MATERIALS IM 3D STROM, 2. VERSUCH: VERGLEICH DER MITTELWERTE DES CADMIUMGEHALTS VON SAMMELPROBEN, DIE 15 MIN (E) REPRÄSENTIEREN UND VON MISCHPROBEN DARAUS, DIE 55 MIN (S) UND 175 MIN (SS) REPRÄSENTIEREN.	80
ABBILDUNG 6.47: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER EINZELNEN SAMMELPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 1.....	80
ABBILDUNG 6.48: BILDUNG DER MISCHPROBE AUS TEILPROBEN DER EINZELNEN SAMMELPROBEN BEI DER AUFBEREITUNG DER INPUTPROBEN, VERSUCH 2.....	81
ABBILDUNG 6.49: DIE WERTE FÜR DEN KUPFERGEHALT SIND WEITGEHEND LOGNORMAL VERTEILT MIT EINIGEN HOHEN WERTEN.....	82

11 Tabellenverzeichnis

TABELLE 4.1: (TEIL)FRAKTIONEN DER MASENBILANZIERUNG	18
TABELLE 4.2: PROBENBEZEICHUNGEN, ZUSAMMENSETZUNG UND ANALYSIERTE PARAMETER FÜR DIE AUFBEREITETE HEIZWERTREICHE FRAKTION	20
TABELLE 4.3: PLANUNG DER MISCHPROBENMASSE/ -VOLUMEN IN ABHÄNGIGKEIT DER KORNGRÖÖBE UND DER SCHÜTTDICHT NACH EINEM ENTWURF DER CEN TC 343 WG3 SOLID RECOVERED FUELS – SAMPLING METHODS (MODIFIZIERT) FÜR 10-30 MM MAXIMALE KORNGRÖÖBE (D ₉₅)	21
TABELLE 4.4 PLANUNG DER MISCHPROBENMASSE/ -VOLUMEN IN ABHÄNGIGKEIT DER KORNGRÖÖBE UND DER SCHÜTTDICHT NACH EINEM ENTWURF DER CEN TC 343 WG3 SOLID RECOVERED FUELS – SAMPLING METHODS (MODIFIZIERT) FÜR 40-300 MM MAXIMALE KORNGRÖÖBE (D ₉₅)	22
TABELLE 5.1: DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE, VERWENDETE MASEN UND ZUORDNUNG DER SORTIERTEN MATERIALIEN	26
TABELLE 5.2: FRAKTION FÜR DIE SORTIERUNG DES UNZERKLEINERTEN INPUTMATERIALS.....	32
TABELLE 6.1: FRAKTIONEN DER MASENBILANZIERUNG I	38
TABELLE 6.2: FRAKTIONEN DER MASENBILANZIERUNG II	39
TABELLE 6.3: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG EISENFRAKTION I	40
TABELLE 6.4: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG NICHT EISENFRAKTION I	40
TABELLE 6.5: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG EISENFRAKTION II	41
TABELLE 6.6: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG NICHT EISENFRAKTION II	41
TABELLE 6.7: FÜR DIE ERMITTLUNG DER ERZEUGTEN QUALITÄT UND DEN VERGLEICH WURDEN DIE SS-MISCHPROBEN HERANGEZOGEN UND DIE 2D UND 3D FRAKTION 70 ZU 30 GEWICHTET. ANGEGEBEN SIND DIE MITTELWERTE AUS 3 BESTIMMUNGEN DER MISCHPROBEN (SS) FÜR OUTPUT 1 U. 2, DER MISCHPROBEN (S) FÜR INPUT 1 U. 2 BZW. DER MITTELWERT VON 3 PROBEN EINER OUTPUTPROBENAHME BEI DER ANLAGE ZEMKA (PROCHASKA ET AL. 2004).....	44
TABELLE 6.8: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG DES INPUT I.....	46
TABELLE 6.9: FRAKTIONEN DER SORTIERUNG DES INPUT II	47
TABELLE 6.10: QUALITÄT DER FRAKTIONEN AUS DER SORTIERUNG DES INPUTMATERIALS.....	49
TABELLE 6.11: VERGLEICH DER BESTIMMUNG DER GEHALTE MITTELS PROBENAHME DER 2D UND 3D FRAKTION UND GEWICHTUNG DER GEHALTE (70:30) UND DER BESTIMMUNG AUS DEM GEMISCHTEN MATERIAL, MITTELWERTE VON DREI BESTIMMUNGEN DER ZUSAMMENGESetzten MISCHPROBEN (SS)	84
TABELLE 6.12: VERGLEICH EINES AUS ÖKK MATERIAL (VERPACKUNGSABFALLSAMMLUNG) GEWONNENEN ERSATZBRENNSTOFFS MIT DEM AUS HEIZWERTREICHER FRAKTION AUS DER MA/MBA ZEMKA GEWONNENEN ERSATZBRENNSTOFF. DIE AL METALLISCH BESTIMMUNG HAT BEI DEM ÖKK-MATERIAL RECHNERISCH EINEN NEGATIVEN WERT (ÖKK 2D) ERGEBEN. ANGEGEBEN SIND MITTELWERTE VON DREI BESTIMMUNGEN DER ZUSAMMENGESetzten MISCHPROBEN (SS) BZW. DER RECHNERISCHE WERT (70:30) AUS DEN SAMMELPROBEN BEIM ÖKK-MATERIAL.	85
TABELLE 7.1: VERGLEICH DER ERREICHTEN QUALITÄTEN BEZOGEN AUF DIE TROCKENSUBSTANZ, MITTELWERTE AUS DREI BESTIMMUNGEN VON MISCHPROBEN BZW. SORTIERTEN FRAKTIONEN	88

TABELLE 7.2: VERGLEICH DER ERREICHTEN QUALITÄTEN BEZOGEN AUF DEN UNTEREN HEIZWERT, MITTELWERTE AUS DREI BESTIMMUNGEN VON MISCHPROBEN BZW. SORTIERTEN FRAKTIONEN	89
TABELLE 13.1: PROBENAUFBEREITUNG I – ANGABEN ÜBER DIE AUFBEREITUNG LAUT PROBENAUFBEREITUNGSBUCH.....	102
TABELLE 13.2: PROBENAUFBEREITUNG II – ANGABEN ÜBER DIE AUFBEREITUNG LAUT PROBENAUFBEREITUNGSBUCH.....	103

12 Literaturverzeichnis

CENCIC, O. UND SKUTAN, S: Wie genau sind Schwermetalle in heizwertreichen Müllfraktionen bestimmbar?, In DepoTech 2002, Hrsg. Lorber et al., Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2002, ISBN 3-7739-5979-6

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) (Hrsg): Characterisation of waste - Sampling of waste materials, Framework, Draft prEN 14899, März 2004, Belgien, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN): TC 343 Solid recovered fuels – sampling methods, Entwurf Nov. 2004

GERLACH ROBERT W., Gy sampling theory in environmental studies – 1. Assessing soil splitting protocols, In: Journal of Chemometrics 2002, 16, S. 321-328

GLORIUS THOMAS UND HYSKENS JÜRGEN, Verminderung des Chlorgehalts im Brennstoff durch neue Sortiertechniken, In 10. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung, Schriftenreihe des Instituts für Abfallwirtschaft und Altlasten, Band 40, TU Dresden, Dresden 2005, ISBN 3-934253-33-4, S. 95 - 118

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (Hrsg.): ÖNORM EN 932-2 Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2 Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (Hrsg.): ÖNORM S 2123-1 Probenahmepläne für Abfälle, Wien, Dezember 2003.

PROCHASKA MICHAEL, RABER GEORG UND LORBER KARL-ERICH, Endbericht zum Projekt „Heizwertreiche Fraktionen aus der mechanischen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“, Online im Internet: [http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/abfall/Endbericht MBA_HWF.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/abfall/Endbericht_MBA_HWF.pdf) und <http://www.umweltnet.at/filemanager/download/10682/>

PROCHASKA MICHAEL: Homogenisieren und Mischen von Heizwertreichen Fraktionen – Vergleich der Methoden „Aufhäufen und Viertelteilung“ und „Fraktionales Schaufeln“ in 10. Freiburger Probenahmetagung: „Stand und Perspektiven“, 2004, Freiberg, ISBN 3-86012-237-1

RASEMANN, WINFRIED: ein neues mathematisches Modell zur Mischprobenbildung, In: Probenahme und Qualitätssicherung bei biologischen Stoffsystemen, Abfällen und im Umweltbereich, Institut für Qualitätssicherung von Stoffsystemen Freiberg e.V., Hrsg.: W. Rasemann. Freiberg, 2000, ISBN 3-86012-127-8

SKUTAN, STEFAN: Stoffanalysen an MBA und MA zur Restabfallbehandlung, In DepoTech 2004, Hrsg. Lorber et al., Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2004, ISBN 3-7739-5993-1

VERBAND DER ÖSTERREICHISCHEN ZEMENTINDUSTRIE (VÖZ), online im Internet:
<http://www.zement.at/downloads/positivliste3.pdf>, Abfrage 05. 12. 2004

THERMOTTEAM O. A., interne Unterlage: Lieferspezifikation für Zementwerk Retznei

13 Anhang

Tabelle 13.1: Probenaufbereitung I – Angaben über die Aufbereitung laut Probenaufbereitungsbuch

Probenaufbereitung				Zerkleinerung Langsamläufer SM 2000		
Pr. Nr.	Pr. Bez	Pr. Bez	Versuch	<4mm	<1mm	Versprödung
222	2d	e7	1. Output			
223	3d	e7	1. Output	x	x	
224	2d	e4	1. Output	x	x	
225	2d	e3	1. Output	x	x	
226	3d	e4	1. Output	x	x	
227	3d	e6	1. Output	x	x	x
228	3d	e2	1. Output		x	
229	3d	e1	1. Output		x	
230	3d	e5	1. Output		x	
231	3d	e3	1. Output		x	
232	2d	e1	1. Output	x	x	x
233	2d	e2	1. Output	x	x	x
234	2d	e6	1. Output	x	x	
235	2d	e5	1. Output	x	x	
236	3d	s3	1. Output	x	x	x
237	3d	s2	1. Output	x	x	x
238	2d	s2	1. Output	x	x	x
239	3d	ss4	1. Output		x	x
240	3d	s1	1. Output	x	x	x
241	2d	s1	1. Output	x	x	x
242	2d	ss4	1. Output	x	x	x
243	2d	s3	1. Output	x	x	x
244	3d	e1	2. Output	x	x	x
245	3d	e2	2. Output	x	x	x
246	3d	e3	2. Output	x	x	x
247	3d	e4	2. Output	x	x	x
248	3d	e5	2. Output	x	x	x
249	3d	e6	2. Output	x	x	x
250	3d	e7	2. Output	x	x	x
251	3d	e8	2. Output	x	x	x
252	3d	e9	2. Output	x	x	x
253	mix	e1	2. Output	x	x	x
254	mix	e2	2. Output	x	x	x
255	mix	e3	2. Output	x	x	x
256	mix	e4	2. Output	x	x	x
257	mix	e5	2. Output	x	x	x
258	mix	e6	2. Output	x	x	x
259	2d	e1	2. Output	x	x	x
260	2d	e2	2. Output	x	x	x
261	2d	e3	2. Output	x	x	x
262	2d	e4	2. Output	x	x	x
263	2d	e5	2. Output	x	x	x
264	2d	e6	2. Output	x	x	x
265	2d	e7	2. Output	x	x	x
266	2d	e8	2. Output	x	x	x
267	2d	e9	2. Output	x	x	x
268	3d	s1	2. Output	x	x	x
269	3d	s2	2. Output	x	x	x

Tabelle 13.2: Probenaufbereitung II – Angaben über die Aufbereitung laut Probenaufbereitungsbuch

Probenaufbereitung				Zerkleinerung Langsamläufer SM 2000		
Pr. Nr.	Pr. Bez	Pr. Bez	Versuch	<4mm	<1mm	Versprödung
270	3d	s3	2. Output	x	x	x
271	3d	ss4	2. Output	x	x	x
272	mix	s1	2. Output	x	x	x
273	mix	s2	2. Output	x	x	x
274	mix	ss3	2. Output	x	x	x
275	2d	s1	2. Output	x	x	
276	2d	s2	2. Output	x	x	x
277	2d	s3	2. Output	x	x	x
278	2d	ss4	2. Output	x	x	x
279	3d	e1	1. Input	x	x	x
280	3d	e2	1. Input	x	x	
281	3d	e3	1. Input	x	x	x
282	3d	s1	1. Input	x	x	x
283	3d	e1	2. Input	x	x	x
284	3d	e2	2. Input	x	x	x
285	3d	e3	2. Input	x	x	x
286	3d	s1	2. Input	x	x	x
287	2d	e1	2. Input	x	x	x
288	2d	e2	2. Input	x	x	x
289	2d	e3	2. Input	x	x	
290	2d	s1	2. Input	x	x	x
291	2d	e1	1. Input	x	x	x
292	2d	e2	1. Input	x	x	x
293	2d	e3	1. Input	x	x	x
294	2d	s1	1. Input	x	x	x
386	3d	ÖKK	ÖKK	x	x	x
387	2d	ÖKK	ÖKK	x	x	x
388	<10mm	Input	Input Sortierung	x	x	x
389	Verbund	Input	Input Sortierung	x	x	x
390	Papier/Karton	Input	Input Sortierung	x	x	x
391	Kunststoff	Input	Input Sortierung	x	x	x
392	Textil	Input	Input Sortierung	x	x	x
393	Restfraktion	Input	Input Sortierung	x	x	x