



# **EVALUIERUNG DES ABFALLANNAHMEVERFAHRENS FÜR MECHANISCH-BIOLOGISCH BEHANDELTE ABFÄLLE ZUR DEPONIERUNG**

Projekt AMBA  
Endbericht



lebensministerium.at

REPORT  
REP-0112

Wien, 2007



**Projektleitung**

Monika Denner (Umweltbundesamt)

**AutorInnen**

Erwin Binner (BOKU, Kapitel 3.6 und 5.2 Stabilitätsparameter)

Monika Denner (Umweltbundesamt)

**Probenahme, Aufbereitung & Chemische Analytik**

Umweltbundesamt, Stoffe & Analysen, Abt. Anorganische Analytik (Eluat, Gesamtgehalte, Brennwert)

Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft (Stabilitätsparameter)

**Übersetzung**

Brigitte Read (Umweltbundesamt)

**Lektorat**

Maria Deweis, Andrea Hanus-Illnar (Umweltbundesamt)

**Satz/Layout**

Elisabeth Riss (Umweltbundesamt)

**Umschlagfoto**

Probenahme einer MBA-Output-Fraktion (Christian Schütz, Umweltbundesamt)

Wir bedanken uns bei den Betreibern der MBA-Anlage Halbenrain für die gute Zusammenarbeit und für die konstruktiven Gespräche mit dem Auftraggeber.

Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft.

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Vienna  
Österreich/Austria

Eigenvervielfältigung, gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2007  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-910-1



# INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	17
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	20
<b>2 VERSUCHSPLANUNG</b> .....	23
<b>2.1 Vorarbeiten im Rahmen der Probenahmestrategieplanung</b> .....	23
2.1.1 Erfassung und Auswertung bestehender Daten zu MBA-Deponieoutput.....	23
2.1.2 Ergebnisse der Vorerhebung und Anlagenauswahl .....	28
2.1.3 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß Stat-Modell.....	30
2.1.4 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß MBA-Modell .....	34
2.1.5 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß ÖNORM S 2123-1 .....	35
2.1.6 Informative Gegenüberstellung der Probenmengen nach unterschiedlichen Berechnungsmodellen.....	36
2.1.7 Ermittlung der Probenanzahl nach unterschiedlichen Randbedingungen .....	36
<b>2.2 Erarbeitung einer Probenahmestrategie</b> .....	38
<b>2.3 Definition des Probenahmeplans für die ausgewählte Anlage</b> .....	38
<b>2.4 Beprobungskonzept für die konkrete Anlage</b> .....	41
<b>3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</b> .....	42
<b>3.1 Material und Methoden</b> .....	42
3.1.1 Untersuchungsgegenstand .....	42
3.1.2 Kurzbeschreibung der MBA-Anlage .....	43
<b>3.2 Probenahme und Probenaufbereitung vor Ort</b> .....	46
<b>3.3 Fotodokumentation</b> .....	50
<b>3.4 Probenaufbereitung im Labor</b> .....	52
3.4.1 Eingangsdaten und Laborprobenzuordnung zu den beprobten Teilmengen.....	52
3.4.2 Homogenisierung, Teilung und Probenaufarbeitung im Labor.....	54
<b>3.5 Bestimmung des nominellen Größtkorns</b> .....	58
3.5.1 Verteilungsdichtefunktion .....	58
3.5.2 Verteilungssummenfunktion.....	59
3.5.3 Auswertung zur Bestimmung des nominellen Größtkorns .....	59
<b>3.6 Stabilitätsparameter Atmungsaktivität und Gasspendensumme</b> .....	59
3.6.1 Auswertung der Wiederholansätze .....	61
3.6.2 Auswertung der Tages- und Wochenmischproben .....	61
3.6.3 Graphische Darstellung der Verläufe der Atmungsaktivität der Tages- und Wochenmischproben .....	65
3.6.4 Graphische Darstellungen der Gasspenden und Gasspendensummen der Tages- und Wochenmischproben.....	71
3.6.5 Auswertungen der Tagesmischproben und Wochenmischproben für Modell MBA – Stabilitätsparameter .....	83
<b>3.7 Brennwert (oberer Heizwert) und Inertstoffe</b> .....	86
3.7.1 Auswertung der Wiederholansätze .....	87



3.7.2	Auswertung der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben für Modelle WMP Stat und WMP MBA – Brennwert und Inertanteil .....	87
3.7.3	Auswertung der qualifizierten Stichproben .....	90
3.7.4	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischproben für die Modelle MBA und Stat – Brennwert und Inertanteil.....	91
<b>3.8</b>	<b>Gehalte im Feststoff – Trockenmassebestimmung, Wassergehalt, Metalle und Arsen</b> .....	<b>99</b>
3.8.1	Auswertung der Wiederholansätze .....	99
3.8.2	Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben für Modelle WMP Stat und WMP MBA.....	101
3.8.3	Auswertung der qualifizierten Stichproben .....	113
3.8.4	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischproben für die Modelle MBA und Stat .....	115
<b>3.9</b>	<b>Eluatanalysen</b> .....	<b>130</b>
3.9.1	Auswertung der Wiederholansätze .....	132
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION</b> .....	<b>133</b>
<b>4.1</b>	<b>Stabilitätsparameter</b> .....	<b>133</b>
4.1.1	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe für Stabilitätsparameter .....	133
4.1.2	Diskussion der Ergebnisse – Atmungsaktivität und Gasspendensumme.....	137
<b>4.2</b>	<b>Brennwert (oberer Heizwert)</b> .....	<b>140</b>
4.2.1	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischprobe – MBA-Modell.....	140
4.2.2	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit dem Ergebnis der Wochenmischprobe – Stat-Modell .....	142
4.2.3	Diskussion der Ergebnisse – Brennwert, Inertanteil.....	144
<b>4.3</b>	<b>Gehalte im Feststoff</b> .....	<b>147</b>
4.3.1	Wassergehalt .....	147
4.3.2	Blei.....	148
4.3.3	Cadmium .....	149
4.3.4	Chrom.....	150
4.3.5	Kupfer .....	151
4.3.6	Nickel.....	152
4.3.7	Silber .....	153
4.3.8	Zink.....	154
4.3.9	Arsen .....	155
4.3.10	Quecksilber .....	156
4.3.11	Diskussion der Ergebnisse Schwermetalle und Arsen.....	157
<b>4.4</b>	<b>Eluatanalysen</b> .....	<b>158</b>
4.4.1	Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischprobe – MBA-Modell.....	158
4.4.2	pH-Wert.....	159
4.4.3	Elektrische Leitfähigkeit.....	160
4.4.4	Abdampfrückstand .....	161
4.4.5	TOC.....	162
4.4.6	Ammonium-Stickstoff .....	163



4.4.7	Sulfat .....	164
4.4.8	Chrom gesamt .....	165
4.4.9	Beurteilung der Eluatanalysen .....	166
4.4.10	Diskussion der Ergebnisse – Tagesäquivalente .....	169
4.4.11	Diskussion der Ergebnisse – Wochenäquivalente .....	172
<b>5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>173</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>173</b>
<b>5.2</b>	<b>Stabilitätsparameter</b> .....	<b>174</b>
5.2.1	Argumente und Untersuchungen zur Vorbelüftung .....	174
5.2.2	Zusammenhang zwischen Gasbildung und Atmungsaktivität .....	177
5.2.3	Zusammenfassung .....	178
5.2.4	Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben .....	178
<b>5.3</b>	<b>Brennwert (oberer Heizwert)</b> .....	<b>179</b>
5.3.1	Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben .....	179
<b>5.4</b>	<b>Gesamtgehalte im Feststoff</b> .....	<b>179</b>
5.4.1	Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben .....	179
<b>5.5</b>	<b>Eluatanalysen</b> .....	<b>180</b>
5.5.1	Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben .....	180
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>181</b>
<b>7</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>184</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>187</b>
<b>8.1</b>	<b>Datentabellen</b> .....	<b>187</b>
<b>8.2</b>	<b>Analysenergebnisse und Wiederfindungsraten der Referenzmaterialien für die Bestimmung der Gesamtgehalte im Feststoff</b> .....	<b>191</b>
<b>8.3</b>	<b>Histogramme der Tagesmischproben</b> .....	<b>193</b>
<b>8.4</b>	<b>Personalaufwand für die Probenahme vor Ort</b> .....	<b>196</b>
<b>8.5</b>	<b>Projektbeteiligte und Abgrenzung der Aufgaben</b> .....	<b>196</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Aufarbeitungsplan für die Proben .....	32
Abbildung 2:	Darstellung des Probenbaums für die Probenahme (Konzept für 360 t Wochenäquivalent) .....	41
Abbildung 3:	Fotodokumentation MBA-Deponiefraktion < 10 mm vorabgesiebt, mit Anteilen > 10 mm, die nach der Rotte aus der Sink-Schwimmabscheidung als Sinkfraktion anfallen (Steine, Keramik, Glas) .....	42
Abbildung 4:	Fotodokumentation der MBA-Deponieoutputfraktion – Inertstoffe .....	42
Abbildung 5:	Verfahrensschema für die mechanische Aufbereitung .....	44
Abbildung 6:	Darstellung der Probenahme- und Probenteilungsschritte vor Ort (am Beispiel eines Tagesäquivalentes) .....	48
Abbildung 7:	Fotodokumentation – Blick auf den abgelagerten Haufen .....	50
Abbildung 8:	Fotodokumentation Probenahmegerät Löffelbaggerschaufel .....	50
Abbildung 9:	Probenahmebereich für Wochenäquivalent Nr. 1 .....	51
Abbildung 10:	Probenahmebereich Wochenäquivalent Nr. 1 (Schurf bis zur Grundfläche) .....	51
Abbildung 11:	Probenahmebereich Wochenäquivalent Nr. 1 (Schürfe Bild links für Tagesäquivalent 1 und Bild Mitte für Tagesäquivalent 2 mit Löffelbagger) .....	52
Abbildung 12:	Probenteilung der Wochenmischproben (MBA-Modell) .....	55
Abbildung 13:	Probenteilung der Tagesmischproben und Qualifizierten Stichproben (MBA-Modell) .....	55
Abbildung 14:	Probenteilung der Mischproben – Stat-Modell Ansatz gemäß prCEN/TR 15310-1 .....	56
Abbildung 15:	Probenvorbereitung (MBA-Modell und Stat-Modell Ansatz gemäß prCEN/TR 15310-1) .....	57
Abbildung 16:	Darstellung der Verteilungsdichtefunktion .....	58
Abbildung 17:	Darstellung der Verteilungssummenfunktion .....	59
Abbildung 18:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II) .....	65
Abbildung 19:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II) .....	65
Abbildung 20:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II) .....	66
Abbildung 21:	Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II) .....	66
Abbildung 22:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II) .....	67
Abbildung 23:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II) .....	67
Abbildung 24:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II) .....	68
Abbildung 25:	Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II) .....	68
Abbildung 26:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II) .....	69
Abbildung 27:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II) .....	69
Abbildung 28:	Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II) .....	70
Abbildung 29:	Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II) .....	70
Abbildung 30:	Gasspende der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II) .....	71



Abbildung 31:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II).....	71
Abbildung 32:	Gasspende der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II).....	72
Abbildung 33:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II).....	72
Abbildung 34:	Gasspende der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II).....	73
Abbildung 35:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II).....	73
Abbildung 36:	Gasspende der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II).....	74
Abbildung 37:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II).....	74
Abbildung 38:	Gasspende der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II).....	75
Abbildung 39:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II).....	75
Abbildung 40:	Gasspende der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II).....	76
Abbildung 41:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II).....	76
Abbildung 42:	Gasspende der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II).....	77
Abbildung 43:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II).....	77
Abbildung 44:	Gasspende für Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II).....	78
Abbildung 45:	Gasspendensumme für Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II).....	78
Abbildung 46:	Gasspende der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II).....	79
Abbildung 47:	Gasspendensumme der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II).....	79
Abbildung 48:	Gasspende der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II) .....	80
Abbildung 49:	Gasspendensumme der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II) .....	80
Abbildung 50:	Gasspende der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II) .....	81
Abbildung 51:	Gasspendensumme der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II) .....	81
Abbildung 52:	Gasspende der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II) .....	82
Abbildung 53:	Gasspendensumme der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II) .....	82
Abbildung 54:	Histogramm von Kupfer in mg/kg TM – WMP .....	106
Abbildung 55:	Boxplot für Kupfer in mg/kg TM – WMP .....	106
Abbildung 56:	Boxplott von Silber in mg/kg TM .....	109
Abbildung 57:	Boxplott von Zink in mg/kg TM.....	110
Abbildung 58:	Boxplott von Cd, Ag, As und Hg in mg/kg TM.....	115
Abbildung 59:	Boxplott von Pb, Cr, Cu, Ni und Zn in mg/kg TM.....	115
Abbildung 60:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT <sub>4</sub> (TMP MBA 1 bis 3).....	134
Abbildung 61:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT <sub>4</sub> (TMP MBA 4 bis 6).....	134
Abbildung 62:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT <sub>4</sub> (TMP MBA 7 bis 9).....	135
Abbildung 63:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS <sub>21</sub> (TMP MBA 1 bis 3).....	135
Abbildung 64:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS <sub>21</sub> (TMP MBA 4 bis 6).....	136
Abbildung 65:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS <sub>21</sub> (TMP MBA 7 bis 9).....	136



Abbildung 66:	Darstellung der Ergebnisse der Atmungsaktivität in TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 bis 3 .....	137
Abbildung 67:	Darstellung der Ergebnisse der Gasspendensumme in TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 bis 3 .....	139
Abbildung 68:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 1 bis 3) .....	141
Abbildung 69:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 4 bis 6) .....	141
Abbildung 70:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 7 bis 9) .....	142
Abbildung 71:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 1 bis 3).....	143
Abbildung 72:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 4 bis 6).....	143
Abbildung 73:	Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 7 bis 9).....	144
Abbildung 74:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Brennwert (Inertanteil korrigiert).....	144
Abbildung 75:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Inertanteil .....	146
Abbildung 76:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Wassergehalt WG 105 °C .....	147
Abbildung 77:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Blei .....	148
Abbildung 78:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Cadmium.....	149
Abbildung 79:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Chrom .....	150
Abbildung 80:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Kupfer.....	151
Abbildung 81:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Nickel .....	152
Abbildung 82:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Silber .....	153
Abbildung 83:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Zink .....	154
Abbildung 84:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Arsen.....	155
Abbildung 85:	Graphische Darstellung der Ergebnisse – Quecksilber .....	156
Abbildung 86:	Vergleich TMP mit WMP – Trockenmasse < 10 mm Fraktion ....	158
Abbildung 87:	Vergleich TMP mit WMP – pH-Wert.....	159
Abbildung 88:	Vergleich TMP mit WMP – elektrische Leitfähigkeit .....	160
Abbildung 89:	Vergleich TMP mit WMP – Abdampfdruckstand .....	161
Abbildung 90:	Vergleich TMP mit WMP – Gesamter organischer Kohlenstoff...	162
Abbildung 91:	Vergleich TMP mit WMP – Ammonium-Stickstoff .....	163
Abbildung 92:	Vergleich TMP mit WMP – Sulfat .....	164
Abbildung 93:	Vergleich TMP mit WMP – Chrom gesamt.....	165
Abbildung 94:	Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 20 Wochen) (BINNER 2004) .....	174





Abbildung 95: Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungs-aktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 3 Wochen) (BINNER 2004) .....	175
Abbildung 96: Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines nicht durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 13 Wochen) (BINNER 2004).....	176
Abbildung 97: Einfluss ungünstiger Milieubedingungen auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von frischem Bioabfall (BINNER 2004).....	177
Abbildung 98: Zusammenhang zwischen Gasbildung und Atmungsaktivität (ABF-BOKU) .....	177
Abbildung 99: Histogramm für Inertanteil in % – Normalverteilung .....	194
Abbildung 100: Histogramm für Brennwert (Ho) in kJ/kg TM – Normalverteilung ....	194
Abbildung 101: Histogramm für Blei in mg/kg TM – keine Normalverteilung.....	194
Abbildung 102: Histogramm für Cadmium in mg/kg TM – Normalverteilung.....	194
Abbildung 103: Histogramm für Chrom in mg/kg TM – keine Normalverteilung.....	195
Abbildung 104: Histogramm für Kupfer in mg/kg TM – keine Normalverteilung...	195
Abbildung 105: Histogramm für Nickel in mg/kg TM – Normalverteilung .....	195
Abbildung 106: Histogramm für Silber in mg/kg TM – keine Normalverteilung .....	195
Abbildung 107: Histogramm für Zink in mg/kg TM – keine Normalverteilung.....	195
Abbildung 108: Histogramm für Arsen in mg/kg TM – keine Normalverteilung.....	195
Abbildung 109: Histogramm für Quecksilber in mg/kg TM – keine Normalverteilung .....	196



## TABELLENVERZECHNIS

Tabelle 1:	Darstellung der Leitparameter.....	21
Tabelle 2:	Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – anorganische Parameter im Feststoff, Gesamtgehalte (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).....	24
Tabelle 3:	Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – organische Parameter im Feststoff, Brennwert und Stabilitätsparameter (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).....	25
Tabelle 4:	Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – Parameter im Eluat (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).....	26
Tabelle 5:	Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – Parameter im Eluat (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).....	27
Tabelle 6:	Inputdaten für die Berechnung der Mindestprobenmenge nach prCEN/TR 15310-1 (Stat-Modell).....	31
Tabelle 7:	Mindestmengen für Brennwert und Schwermetalle nach prCEN/TR 15310-1 .....	31
Tabelle 8:	Probenaufarbeitungsschritte .....	33
Tabelle 9:	Informative Gegenüberstellung der Mindestmengen .....	36
Tabelle 10:	Probenahmeplan gemäß ÖNORM EN 14899.....	39
Tabelle 11:	Input in die MBA-Anlage.....	43
Tabelle 12:	Charakteristische Daten (Basis 2005) für MBA-Deponieoutput – Zeitpunkt Output aus der Fertigtrotte (gerundet auf 2 sign. Stellen) .....	45
Tabelle 13:	Charakteristische Daten für MBA-Deponieoutput (Basis 2005) zum Zeitpunkt der Deponierung (gerundet auf 2 sign. Stellen).....	45
Tabelle 14:	Output aus der MBA-Anlage .....	45
Tabelle 15:	Auswahl von Subpopulationen für die Probenahme von MBA-Output .....	46
Tabelle 16:	Probenanzahl und Angaben zur Feldprobe zur Charakterisierung der MBA-Outputfraktion nach zwei Modellansätzen .....	49
Tabelle 17:	Tagesmischproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation.....	53
Tabelle 18:	Wochenmischproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation.....	53
Tabelle 19:	Qualifizierte Stichproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation (ausschließlich für MBA-Modell).....	54
Tabelle 20:	Datentabelle zur Bestimmung des nominellen Größtkorns $D_{95}$ .....	58
Tabelle 21:	Relative Wiederholstandardabweichungen für je zwei Bestimmungen der behandelten Originalproben.....	61
Tabelle 22:	Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 1 bis 3) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 1) – WG, $AT_4$ .....	62
Tabelle 23:	Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 1 bis 3) und Wochenmischprobe (WMP MBA 1) – $GS_{21}$ .....	62
Tabelle 24:	Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 4 bis 6) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 2) – WG, $AT_4$ .....	63



Tabelle 25: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 4 bis 6) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 2) – GS <sub>21</sub> .....	63
Tabelle 26: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 7 bis 9) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 3) – WG, AT <sub>4</sub> .....	64
Tabelle 27: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 7 bis 9) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 3) – GS <sub>21</sub> .....	64
Tabelle 28: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.....	83
Tabelle 29: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	84
Tabelle 30: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	84
Tabelle 31: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	85
Tabelle 32: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	85
Tabelle 33: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	86
Tabelle 34: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 (AT <sub>4</sub> und GS <sub>21</sub> ) .....	86
Tabelle 35: Relative Wiederholstandardabweichungen für je 2 Bestimmungen in den Proben < 0,25 mm nach Feinvermahlung mit Benzoesäure .....	87
Tabelle 36: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Brennwert (oberer Heizwert Ho) .....	88
Tabelle 37: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Brennwert .....	89
Tabelle 38: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Inertstoffe.....	89
Tabelle 39: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Inertanteil.....	90
Tabelle 40: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben .....	90
Tabelle 41: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.....	92
Tabelle 42: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 1 bis 3 (Inertstoffe, Brennwert).....	92
Tabelle 43: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 1 A, B (Inertstoffe, Brennwert) .....	92
Tabelle 44: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 4 bis 6 (Inertstoffe, Brennwert).....	93
Tabelle 45: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 2 A, B (Inertstoffe, Brennwert) .....	93
Tabelle 46: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 7 bis 9 (Inertstoffe, Brennwert).....	94
Tabelle 47: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 3 A, B (Inertstoffe, Brennwert) .....	94



Tabelle 48: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Inertstoffe).....	94
Tabelle 49: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 A, B (Inertstoffe).....	95
Tabelle 50: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Inertstoffe).....	95
Tabelle 51: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 A, B (Inertstoffe).....	95
Tabelle 52: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Inertstoffe).....	95
Tabelle 53: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 A, B (Inertstoffe).....	96
Tabelle 54: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Brennwert) .....	96
Tabelle 55: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 A I, II (Brennwert) .....	96
Tabelle 56: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Brennwert) .....	97
Tabelle 57: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 A I, II (Brennwert) .....	97
Tabelle 58: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Brennwert) .....	98
Tabelle 59: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 A I, II (Brennwert) .....	98
Tabelle 60: Relative Wiederholstandardabweichungen für je zwei Bestimmungen in den Proben < 0,25 mm .....	100
Tabelle 61: Relative Wiederholstandardabweichung für je drei unabhängige Bestimmungen des Referenzmaterials CRM 146 R (analysenfein, homogen).....	101
Tabelle 62: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – TM 105 °C.....	102
Tabelle 63: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – TM 105 °C .....	102
Tabelle 64: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – WG 105 °C .....	103
Tabelle 65: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Blei.....	103
Tabelle 66: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Blei.....	104
Tabelle 67: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Cadmium .....	104
Tabelle 68: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Cadmium .....	104
Tabelle 69: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Chrom .....	105
Tabelle 70: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Chrom.....	105



Tabelle 71: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Kupfer .....	106
Tabelle 72: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert und Median für drei WÄQ – Kupfer.....	107
Tabelle 73: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Nickel .....	107
Tabelle 74: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Nickel.....	108
Tabelle 75: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Silber.....	108
Tabelle 76: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert und Median für drei WÄQ – Silber .....	109
Tabelle 77: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Zink .....	110
Tabelle 78: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Zink.....	111
Tabelle 79: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Arsen.....	111
Tabelle 80: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Arsen .....	111
Tabelle 81: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Quecksilber.....	112
Tabelle 82: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Quecksilber.....	112
Tabelle 83: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (TM, WG, Pb, Cd).....	113
Tabelle 84: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (Cr, Cu, Ni, Ag).....	114
Tabelle 85: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (Zn, As, Hg).....	114
Tabelle 86: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.....	116
Tabelle 87: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 1 bis 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	117
Tabelle 88: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 1 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	118
Tabelle 89: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 4 bis 6 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	119
Tabelle 90: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 2 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	120
Tabelle 91: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 7 bis 9 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	121
Tabelle 92: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	122
Tabelle 93: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	123



Tabelle 94: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	124
Tabelle 95: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	125
Tabelle 96: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	126
Tabelle 97: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	127
Tabelle 98: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).....	128
Tabelle 99: Zusammenfassende Darstellung des Vergleiches der Wochenbeurteilungswerte auf Basis TMP bzw. WMP für beide Modelle – Gesamtgehalte im Feststoff .....	129
Tabelle 100: Eluatanalysen – angewendete Prüfverfahren .....	130
Tabelle 101: Eluatanalysen – Tagesmischproben .....	131
Tabelle 102: Eluatanalysen – Wochenmischproben.....	131
Tabelle 103: Wochenmischprobe – Ergebnisse der unabhängigen Eluatansätze (n = 2) .....	132
Tabelle 104: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Brennwert .....	145
Tabelle 105: Informative Zusammenfassung der Ergebnisse – Inertanteil .....	146
Tabelle 106: Informative Zusammenfassung der Ergebnisse – WG 105 °C.....	147
Tabelle 107: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Blei .....	148
Tabelle 108: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Cadmium .....	149
Tabelle 109: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Chrom .....	150
Tabelle 110: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Kupfer .....	151
Tabelle 111: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Nickel .....	152
Tabelle 112: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Silber.....	153
Tabelle 113: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Zink ....	154
Tabelle 114: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Arsen.....	155
Tabelle 115: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Quecksilber .....	156
Tabelle 116: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.....	166
Tabelle 117: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Tagesmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet) .....	167
Tabelle 118: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Tagesmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet) .....	168
Tabelle 119: Gehalte im Eluat – Leitparameter in den Wochenmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet) .....	170



Tabelle 120: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Wochenmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet) .....	171
Tabelle 121: Datentabelle zu TM, WG und Inertanteil .....	187
Tabelle 122: Datentabelle zu Stabilitätsparametern und Brennwert .....	188
Tabelle 123: Datentabelle zu Gesamtgehalten im Feststoff (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni) .....	189
Tabelle 124: Datentabelle zu Gesamtgehalten im Feststoff (Ag, Zn, As, Hg) .....	190
Tabelle 125: Datentabelle zu Eluatanalysen – TM 105 °C, pH-Wert, Leitfähigkeit und ADR.....	191
Tabelle 126: Datentabelle zu Eluatanalysen – TOC, Ammonium-Stickstoff, Sulfat und Chrom gesamt .....	191
Tabelle 127: Wiederfindungsraten für Referenzmaterial CRM 146R „trace elements in sewage sludge from industrial origin“ nach Aufschluss mit Königswasser (zur Information Darstellung gerundet auf 2 bis 3 sign. Stellen).....	192
Tabelle 128: Test auf Normalverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov- Anpassungstest.....	193
Tabelle 129: Test auf Normalverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov- Anpassungstest.....	194







## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie dient zur Erarbeitung von Grundlagen zur Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle zur Deponierung und wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft erstellt.

Der Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung gibt entsprechend den Anforderungen der Entscheidung des Rates zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien (Rats-Entscheidung) gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG vom 19. Dezember 2002 Kriterien und Rahmenbedingungen für die zukünftige Vorgehensweise bei der Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien vor.

Die Annahmekriterien beinhalten Vorgaben für das dreistufige Abfallannahmeverfahren, bestehend aus einer Grundlegenden Charakterisierung, einer Übereinstimmungsbeurteilung (Abfallströme) und der Identitätskontrolle auf der Deponie.

In der EU-Entscheidung wird für sämtliche Stufen des Abfallannahmeverfahrens die vorhergehende Erstellung eines Probenahmeplanes gefordert.<sup>1</sup>

Die Festlegung der Herangehensweise im Probenahmeplan hat die betrachtete Situation und die erforderliche Aussagesicherheit des Untersuchungsprogrammes zu berücksichtigen. Dafür sind Erhebungen betreffend der Bandbreite und Veränderlichkeit der typischen Eigenschaften (ausgedrückt als Variabilitäten) in den Teilmengen vorzusehen.

In der Norm zur Probenahmeplanerstellung für Abfälle können im Gegensatz zu Analysennormen für einen definierten Anwendungsbereich keine konkreten Vorgaben für sämtliche Probenahmesituationen gegeben werden. Daher bedarf es zusätzlicher Regelungen im Hinblick auf eine Harmonisierung der Herangehensweise zur Probenahme von Abfällen für die drei Ebenen der Abfalluntersuchung zum Zwecke der Deponierung. Im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung werden in Abhängigkeit von der Quelle und Herkunft des Abfalls verschiedene Modelle dargelegt und der relevante Beurteilungsmaßstab (Scale<sup>2</sup>) für das Abfallannahmeverfahren festgelegt (Tagesäquivalent und Wochenäquivalent).

Das *MBA-Modell* gemäß Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung regelt die Anzahl der getrennten Untersuchungen in Abhängigkeit von der Relevanz des Parameters für die Annahme auf der Massenabfalldeponie. Liegen die Gehalte in untersuchten Wochenmischproben im grenzwertnahen<sup>3</sup> Bereich (häufig bei Brennwert und Stabilitätsparameter), sind getrennte Untersuchungen der Tagesmischproben zur Erhöhung der Aussagesicherheit erforderlich.

---

<sup>1</sup> Die Vorgehensweise bei der Probenahmeplanerstellung wird in der mittlerweile national umgesetzten ÖNORM EN 14899 Probenahme von Abfällen – Rahmen für die Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans – beschrieben.

<sup>2</sup> Scale: the stated size or volume that is considered appropriate for assessing the material (prCEN/TR 15310-1).

<sup>3</sup> Gemäß dem Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung gilt: Für den pH-Wert ist der grenzwertnahe Bereich der Bereich zwischen dem unteren Grenzwert und 0,5 Einheiten darüber und der Bereich zwischen dem oberen Grenzwert und 0,5 Einheiten darunter. Für den Brennwert ist der grenzwertnahe Bereich der Bereich zwischen 6.000 kJ/kg TM und 6.600 kJ/kg TM. Für sonstige Parameter ist der grenzwertnahe Bereich der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

Bei Parametern der Gehalte im Feststoff und der Eluatgehalte, bei denen die Ergebnisse der Tages- oder Wochenmischproben nicht im grenzwertnahen Bereich oder darüber liegen, sind bei nachfolgenden Beurteilungen Vereinfachungen betreffend die Untersuchungshäufigkeit vorgesehen.

Ziele der Studie waren die Erfassung und Auswertung von verfügbaren Daten für MBA-Abfälle und die Evaluierung des *MBA-Modells* durch Vergleich der im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung vorgesehenen Bestimmungen zu Untersuchungshäufigkeit, Mindestmengen, Probenanzahl und Mischprobenbildung mit den auf Basis der durchgeführten Untersuchungen gemäß *Stat-Modell* erhaltenen Ergebnissen aus den statistischen Betrachtungen.

Im Rahmen der Studie wurden die geplanten Regelungen für das Abfallannahmeverfahren für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung (*MBA-Modell*) am Beispiel der MBA-Outputfraktion aus der MBA-Anlage Halbenrain praktisch umgesetzt (Beprobung von Haufwerk).

Die Untersuchungen umfassen die im Hinblick auf die Deponierung auf einer Massenabfalldeponie relevanten Leitparameter, wie Stabilitätsparameter, Brennwert sowie ausgewählte anorganische und organische Parameter im Eluat und Feststoff.

Insbesondere für die Brennwertuntersuchungen wurde eine weitgehend auf statistischen Ansätzen beruhende Vorgehensweise (*Stat-Modell*) für Probenahme und Probenvorbereitung umgesetzt und die Einflüsse der Probenmenge, der Probenaufarbeitung und der Analyse auf die Untersuchungsergebnisse untersucht. Die Proben für die Brennwertuntersuchungen gemäß *Stat-Modell* wurden auch für die Bestimmung der anorganischen und organischen Leitparameter in Feststoff und Eluat herangezogen. Zur Gewinnung von Vorinformationen betreffend Streuungen innerhalb und zwischen Beurteilungsmengen wurde eine Varianzanalyse für sämtliche Leitparameter durchgeführt.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass für MBA-Abfälle die Stabilitätsparameter (v. a. Atmungsaktivität nach vier Tagen) und der Brennwert die kritischen Parameter bezüglich Einhaltung der Grenzwerte darstellen. Im Gegensatz zu den Anforderungen der deutschen Abfallablagerungsverordnung ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung kein Grenzwert für TOC im Eluat für die Massenabfalldeponie vorgesehen.

Die Schwermetallgehalte im Feststoff weisen erwartungsgemäß höhere Streuungen bei den Ergebnissen auf, wobei keiner der Wochenbeurteilungswerte im grenzwertnahen Bereich liegt.<sup>4</sup> Bei der Auswertung der Daten ist auf Ausreißer zu prüfen und eine Plausibilitätskontrolle durchzuführen – insbesondere ist zu unterscheiden, ob es sich um einen partikulären Effekt in der Analysenprobe oder um eine tatsächlich belastete Mischprobe handelt, die korrekte Rückschlüsse auf die Beurteilungsmenge zulässt.

---

<sup>4</sup> Zur Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens nach beiden Modellen wurde die Probenvorbereitung gemäß gängiger Praxis durchgeführt: Metallanteile, wie z. B. vereinzelt vorkommende Batterien, Kabelteile und Stahlschrauben wurden im Zuge der Aufarbeitung separiert und getrennt erfasst – die anteiligen Schadstoffkonzentrationen wurden im Rahmen der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt.



Im Hinblick auf die Untersuchungen zur Variabilität innerhalb der Tagesmischprobe sei darauf hingewiesen, dass nicht jeder hohe Einzelwert auf ein Nichteinhalten des Vermischungsverbot zurückzuführen ist und hohe Standardabweichungen bei den Metallen nicht generell durch eine erhöhte Stichprobenanzahl für die Mischprobe ausgeglichen werden können – insbesondere, wenn der Hauptanteil an der Gesamtstreuung der Analysenergebnisse auf die Stufen der Probenvorbereitung zurückzuführen ist (z. B. selektives Zerkleinerungsverhalten durch unterschiedliche Eigenschaften der Partikel in der Probe und im Hinblick auf die partikulären Effekte zu geringe Probeneinwaage für den Aufschluss).

Die Vergleichbarkeit der rechnerischen Mittelwertbildung mit der „Probenahmemitelung“ durch Herstellung und Analyse von Mischproben war bei sämtlichen Parametern gegeben.

Die Untersuchungen zu den Stabilitätsparametern konnten zeigen, dass die Aufbereitung und Analyse von Wochenmischproben (Doppelansätze) unter Berücksichtigung der Wiederholbarkeit der Daten belastbare Daten liefert. Deutliche Unterschiede beim Parameter Atmungsaktivität sind jedoch durch die alternativen Aufarbeitsverfahren zu erwarten, die nach ÖNORM S 2027-1 als gleichwertig eingestuft werden. Die untersuchte MBA-Outputfraktion beinhaltet 22 +/- 2 % Inertanteil (Glas, Steine, Keramik) mit einer Korngröße über 20 mm. Wird die Gesamtmenge der Probe zerkleinert und der Inertanteil bei der Berechnung der Analysenergebnisse berücksichtigt, erhält man eindeutig geringere Werte als nach der im Rahmen der Studie normgemäß durchgeführten Absiebung der Gesamtmenge der Probe auf < 20 mm (ohne Berücksichtigung der Art und Menge des Überkorns). Eine Präzisierung der Norm wäre insbesondere vor dem Hintergrund der Relevanz des aeroben Stabilitätsparameters dringend anzuraten.

Der Brennwert kann mit geringen Schwankungen bestimmt werden und liegt bei sämtlichen Untersuchungen im grenzwertnahen Bereich. Die Ergebnisse des MBA-Modells waren für die Deponie-Outputfraktion aus der MBA Halbenrain mit den Ergebnissen des Stat-Modells sehr gut vergleichbar. Bei der untersuchten Deponie-Outputfraktion wurden gemäß Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung pro Wochenäquivalent sechs qualifizierte Stichproben zu mind. 100 l entnommen und daraus wurde eine Feldprobe von 600 l hergestellt. Wie der Vergleich der Ergebnisse der Proben für die Brennwertuntersuchungen nach *MBA-Modell* (100 l qualifizierte Stichprobe) mit den Ergebnissen nach *Stat-Modell* (12 l) zeigen konnte, wäre für die Durchführung der Brennwertuntersuchung im konkreten Fall (Deponie-Output aus der MBA-Anlage Halbenrain) eine deutlich geringere Probenmenge für die Brennwertbestimmung ausreichend gewesen.

Bei Abfällen vergleichbarer Eigenschaften und Kornverteilungen wie beim gegenständig untersuchten Material sollte der befugten Fachanstalt die Möglichkeit eingeräumt werden, die Probenmengen entsprechend anzupassen. Zur Erhöhung der Aussagesicherheit werden eine Aufarbeitung von Parallelproben (ab der Probenahme) und die Durchführung von jeweils zwei Bestimmungen pro Analysenprobe vorgeschlagen.

Die auf Basis der Daten berechneten Untersuchungshäufigkeiten für die grenzwertrelevanten Parameter werden im Kapitel Diskussion behandelt. Auswertungen der Wiederholstandardabweichungen, Standardabweichungen im Zuge der Probenaufarbeitung (Parallelaufarbeitungen) und der Datenvergleich MBA-Modell versus Stat-Modell wie auch die statistischen Tests auf signifikante Unterschiede zwischen den Variabilitäten innerhalb und zwischen den Wochenbeurteilungsmengen werden im Bericht eingehend behandelt.



# 1 EINLEITUNG

## **Rechtliche Rahmenbedingungen**

Gemäß der Entscheidung des Rates (Ratsentscheid) vom 19. Dezember 2002 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäß Artikel 16 und Anhang II der Richtlinie 1999/31/EG (2003/33/EG) ist hinkünftig zur Annahme von Abfällen auf Deponien ein dreistufiges Verfahren vorgesehen (1. Grundlegende Charakterisierung, 2. Übereinstimmungsuntersuchung, 3. Kontrolle auf der Deponie).

Für die Outputmaterialien aus der mechanisch biologischen Abfallbehandlung (MBA) zur Deponierung umfasst die Grundlegende Charakterisierung entsprechend dem Ratsentscheid Grundanforderungen, wie z. B. Beschreibung von Quelle und Herkunft des Materials, Erhebung von Informationen über den Herstellungsprozess, Abfallbeschreibung etc. und besondere Anforderungen, wie z. B. die Erfassung der Zusammensetzung der einzelnen Abfallchargen, die Bandbreite und Veränderlichkeit der typischen Eigenschaften der Abfälle sowie eine regelmäßige Untersuchung der Schlüsselvariablen.

## **Neues MBA-Modell in Neufassung DeponieVO**

Zur Umsetzung dieses Verfahrens unter gleichzeitiger Berücksichtigung der verbindlich anzuwendenden Norm ÖNORM EN 14899 „Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen – Rahmen für die Erstellung und Anwendung eines Probenahmeplans“ wurden im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung (Anhang 4) verschiedene Modelle der Abfallannahmeverfahren für Abfallströme und einmalig anfallende Abfälle entwickelt. Für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle zur Deponierung war es aufgrund spezifischer Rahmenbedingungen (biologische Stabilitätsparameter und Brennwert) erforderlich, ein eigenes Modell für das Abfallannahmeverfahren zu erarbeiten (*MBA-Modell*)<sup>5</sup>.

## **Evaluierung des neuen MBA-Modells**

Zur Evaluierung des geplanten Abfallannahmeverfahrens wurden verfügbare Daten zu MBA-Anlagen und Gesamtbeurteilungen ausgewertet und auf Basis der statistischen Auswertungen eine Probenahmestrategie für eine konkrete MBA-Anlage entwickelt.

## **Praktische Beprobung**

Bei der praktischen Beprobung des MBA-Materials zur Deponierung wurden sowohl die Beprobungsstrategie gemäß MBA-Modell als auch der weitgehend an die ÖNORM EN 14899 und die Technischen Berichte der CEN/TC 292 angelehnte statistische Beprobungsansatz umgesetzt (*Stat-Modell*)<sup>6</sup>.

Zur Erfassung der wesentlichen Beiträge zur Gesamtstandardabweichung für die Gehalte im Feststoff wurden im Aufarbeitungs- und Analysenkonzept sowohl getrennte Aufarbeitungen von aliquoten Teilen der Laborproben als auch Wiederholanalysen der aufbereiteten Proben vorgesehen.

## **Auswahl der Leitparameter**

Das analytische Untersuchungsprogramm umfasst die für die Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit des MBA-Materials relevanten Parameter. Die Leitparameter wurden auf Basis der Auswertungen der vorliegenden Daten zu verschiedenen MBA-Anlagen ausgewählt.

<sup>5</sup> MBA-Modell: Kurzbezeichnung für das der gegenständlichen Studie zugrunde liegende Modell für die Durchführung der Probenahme und der Berechnungen. Diese Rahmenbedingungen werden in Kapitel 2.6 des Anhangs 4 Teil 2 des Entwurfes der Neufassung der Deponieverordnung für die Grundlegende Charakterisierung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung beschrieben.

<sup>6</sup> Stat-Modell: Kurzbezeichnung für das Modell zur Durchführung der Probenahme und der Berechnungen gemäß Vorgaben der ÖN EN 14899 und prCEN/TR 15310-1.



Die Auswahlkriterien für die Leitparameter waren

- Grenzwertnähe und Relevanz für die Beurteilung des Ablagerungsverhaltens sowie des Rotteverlaufes (Brennwert, Stabilitätsparameter, TOC im Eluat<sup>7</sup>).
- Auswahl von Parametern im Eluat und Feststoff, deren durchschnittliche Gehalte über 10 % des Grenzwertes liegen können (z. B. Schwermetalle).

Nachfolgende Tabelle zeigt die ausgewählten Leitparameter für die Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens von MBA-Deponieoutput.

### **Auswahlkriterien für Leitparameter**

### **Leitparameter**

Tabelle 1: Darstellung der Leitparameter.

<b>Leitparameter</b>	<b>Abkürzung</b>
<b>Brennwert</b>	<b>Ho</b>
<b>Stabilitätsparameter</b>	
Atmungsaktivität nach 4 Tagen	AT <sub>4</sub>
Gasspendensumme im Inkubationstest nach 21 Tagen	GS <sub>21</sub>
<b>Gehalte im Feststoff<sup>8</sup></b>	
Blei	Pb
Cadmium	Cd
Chrom gesamt	Cr
Kupfer	Cu
Nickel	Ni
Silber	Ag
Zink	Zn
Arsen	As
Quecksilber	Hg
<b>Gehalte im Eluat</b>	
Gesamter organischer Kohlenstoff	TOC <sup>9</sup>
Ammonium-Stickstoff (als N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Leitfähigkeit	LF
pH-Wert	pH
Abdampfrückstand	ADR
Chrom gesamt	Cr
Sulfat (als SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>

<sup>7</sup> Im Zuge der Vorerhebungen zu TOC wurden Gehalte im Bereich von 830 bis 6.600 mg/kg TM im Eluat festgestellt.

<sup>8</sup> Als Gesamtgehalte im Feststoff gelten die nach Aufschluss mit Königswasser mobilisierbaren Gehalte.

<sup>9</sup> TOC im Eluat wird nach Elution und anschließender Zentrifugation zur Fest-Flüssig-Trennung bestimmt.



### **Projektziele**

#### **Erfassung und Auswertung von Daten für MBA-Abfälle zur Erstellung von Probenahmeplänen**

Wesentliche Aspekte der vorliegenden Studie waren die Erfassung und Auswertung der vorliegenden Daten für MBA-Abfälle (MBA-Output für die Deponie) zur Auswahl von Leitparametern und die Erstellung der Probenahmepläne gemäß MBA-Modell und Stat-Modell.

#### **Evaluierung des MBA-Modells**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde das MBA-Modell für eine konkrete Anlage umgesetzt und in der Praxis getestet.

Das MBA-Modell legt in Abhängigkeit von den Jahresmengen an MBA-Output für die Deponie die Beurteilungsmaßstäbe und die Mindestprobenmengen fest. Die Proben wurden entsprechend MBA-Modell innerhalb der Wochen- und Tagesäquivalente verteilt und zusätzlich wurden zufällig ausgewählte Proben für die Ermittlung der Variabilitäten innerhalb der Tagesäquivalente analysiert.

**Stat-Modell:** Simultan zur Beprobung gemäß MBA-Modell erfolgte die Vorgehensweise gemäß ÖNORM EN 14899 und der Technischen Berichte der CEN/TC 292 (prCEN/TR 15310-1). Zur Vergleichbarkeit mit den Rahmenbedingungen des MBA-Modells wurden dieselben Beurteilungsmaßstäbe (Wochen- und Tagesäquivalente) definiert – die Mindestmengen für die weitgehend statistische Vorgehensweise wurden in Abhängigkeit von nominellem Größtkorn und Anteil der Partikel mit bestimmter Charakteristik (Bezugsbasis Brennwert) berechnet.

Sämtliche erhobenen Daten für die ausgewählte Anlage werden zur Berechnung von Mindestuntersuchungsumfang und Häufigkeit für die relevanten Leitparameter verwendet.

Die Evaluierung des MBA-Modells erfolgt durch Vergleich der im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung vorgesehenen Bestimmungen zu Untersuchungshäufigkeit, Mindestmengen, Probenanzahl und Mischprobenbildung mit den im Rahmen der Studie erhobenen Daten und darauf aufbauenden Berechnungen gemäß prCEN/TR 15310-1.

#### **Vergleich rechnerische Mittelwertbildung mit „Probenahmemittelung“ durch Herstellung und Analyse von Mischproben**

Da beim MBA-Modell im Rahmen der Grundlegenden Charakterisierung Möglichkeiten zur Herstellung von Wochenmischproben aus den Tagesmischproben enthalten sind, werden sämtliche Tages- und Wochenmischproben getrennt aufgearbeitet und analysiert und ein Vergleich der rechnerischen Mittelwerte auf Basis der analysierten Tagesmischproben mit den erhaltenen Ergebnissen für die Wochenmischproben durchgeführt.

#### **Varianzen im Zuge der Probenvorbereitung**

Im Zuge der Probenvorbereitung werden sämtliche Wochenmischproben geteilt und getrennt aufgearbeitet, um Rückschlüsse auf die Varianzen resultierend aus Probenteilung, Analyse und Probenzusammensetzung zu ermöglichen.



## 2 VERSUCHSPLANUNG

Im Zuge der Versuchsplanung wurden Daten zu vorhandenen MBA-Anlagen ausgewertet, ein Beprobungskonzept erstellt und eine geeignete Anlage für die Durchführung des Projektes ausgewählt.

### 2.1 Vorarbeiten im Rahmen der Probenahmestrategieplanung

#### 2.1.1 Erfassung und Auswertung bestehender Daten zu MBA-Deponieoutput

Als Datengrundlagen dienten die im Rahmen einer Ist-Stand-Erhebung gemeinsam mit dem BMLFUW erfassten wesentlichen Eckdaten der österreichischen MBA-Anlagen und Gesamtbeurteilungen, die dem Umweltbundesamt von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt wurden (NEUBAUER & ÖHLINGER (2006)).

Die Auswertung der vorliegenden Daten war für die Erstellung konkreter Probenahmepläne sowie für den statistischen Ansatz erforderlich und diente des Weiteren als Grundlage zur Auswahl der Leitparameter für das analytische Untersuchungsprogramm.

Zur Berechnung der Mittelwerte und Mediane für die Evaluierung der MBA-Deponieoutputdaten wurden sämtliche vorhandenen Messwerte über der Nachweisgrenze herangezogen.

Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze<sup>10</sup> wurden mit dem Wert der Bestimmungsgrenze einbezogen. Ausgewählte statistische Kenngrößen (ab zwei unabhängigen Datensätzen) wie Mittelwerte „MW“, Mediane „MED“, relative Standardabweichungen „RSD %“ und die Anzahl der unabhängigen Daten „n“ werden in Tabelle 2 bis Tabelle 5 auf den nächsten Seiten dargestellt.

---

<sup>10</sup>Die Bestimmungsgrenze lag zumeist bei 10 % des relevanten Grenzwertes oder darunter.

Tabelle 2: Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – anorganische Parameter im Feststoff, Gesamtgehalte (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).<sup>11</sup>

Anlage		Halbenrain				Aich Assach	Oberpullendorf				St. Pölten				Aller-heiligen	Ort im Innkreis			
Gesamtgehalte	Einheit	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n
Arsen	mg/kg TM	5	8	5	5	7	7	34	6	3	2,0	42	2,0	2	1				
Barium	mg/kg TM	450	20	440	4	350	170	24	180	3	470	0,3	470	2	150	1.300		1.300	3
Blei	mg/kg TM	290	35	290	5	2.700	1.500	32	1.700	3	390	36	390	2	390	500		500	3
Cadmium	mg/kg TM	2,5	120	1,3	5	2	2,9	40	2,7	3	3	67	3	2	1	6	9	6	3
Chrom gesamt	mg/kg TM	590	18	590	5	190	610	19	600	3	100	8	100	2	100	500		500	3
Kobalt	mg/kg TM	16	43	16	5	8	12	13	12	3	7	11	7	2	15				
Kupfer	mg/kg TM	330	29	350	5	1.100	820	21	820	3	650	43	650	2	200	530	5	550	3
Nickel	mg/kg TM	150	29	130	5	130	680	10	680	3	47	9	47	2	61	500		500	3
Quecksilber	mg/kg TM	1,5	58	1,6	5	2	0,5	120	0,2	3	2	35	2	2	2				
Silber	mg/kg TM	6	46	5	5	3	4	4	4	2	5	-	5	2	37	3		3	3
Zink	mg/kg TM	720	17	760	5	950	1.500	8	1.600	3	1.100	48	1.100	2	840	1.500	5	1.500	3

MW = Mittelwert

RSD % = relative Standardabweichung

MED = Median

W = Messwert

n = Anzahl der Daten

<sup>11</sup>Quelle: Gesamtbeurteilungen (Datenbasis 2004 und 2005), die seitens der Betreiber der betreffenden MBA-Anlagen für das Projekt zur Verfügung gestellt wurden.





Tabelle 3: Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – organische Parameter im Feststoff, Brennwert und Stabilitätsparameter (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).

Anlage	Einheit	Halbenrain				Aich Assach	Oberpullendorf				St. Pölten				Allerheiligen	Ort im Innkreis			
		MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n
TOC <sup>12</sup>	mg/kg TM	260.000	90	130.000	5		160.000	0,4	160.000	2	160.000	9	160.000	2	120.000				
Glühverlust	Masse-%	34	16	35	5	20	28	2	28	3				36	32	5	33	3	
BTEX	mg/kg TM													0,2					
EOX	mg/kg TM	0,1	-	0,1	5						6	96	6	2					
Summe KW	mg/kg TM					60	1.400	9	1.400	3				1.100	2.200	13	2.000	3	
PAK (16 EPA)	mg/kg TM	30	100	18	5	3					23	16	23	2		2	2	3	
PAK (6DIN)	mg/kg TM					2	4	20	4	2				2					
Brennwert	kJ/kg TM	5.700	11	5.800	5	3.700	5.700	2	5.700	3	4.300	20	4.300	2	5.900	5.900	9	6.200	3
KW-Index	mg/kg TM	3.000	38	2.700	5						1.700	34	1.700	2					
Benzapyren	mg/kg TM	1,7	67	1,2	5	0,2					2,1	4	2,1	2					
Trockenmasse	%	79	6	80	5	57	75	4	75	2				68	54	13	58	3	
AT <sub>4</sub>	mg O <sub>2</sub> /g TM	5	40	4	5						6	13	6	2		5	36	6	3
GS <sub>21</sub>	Nl/kg TM	13	49	14	5						4	14	4	2		15	20	15	3

MW = Mittelwert

RSD % = relative Standardabweichung

MED = Median

W = Messwert

n = Anzahl der Daten

<sup>12</sup>TOC und Glühverlust: nicht maßgeblich, wenn Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung einen Brennwert von 6.000 kJ/kg TM einhalten.



Tabelle 4: Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – Parameter im Eluat (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).

Anlage		Halbenrain				Aich Assach	Oberpullendorf				St. Pölten				Aller-heiligen	Ort im Innkreis			
Eluatgehalte	Einheit	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n
pH-Wert		7,8	4	7,9	5	8,4	7,6	1	7,6	3	7,5	2	7,5	2	7,9	8,1	1	8,1	3
Leitfähigkeit	mS/m	520	10	520	5	180	390	5	400	3					410				
Abdampfrückstand	mg/kg TM	48.000	17	50.000	5	13.000	37.000	0,4	37.000	2	45.000	16	45.000	2	60.000	44.000	13	47.000	3
Aluminium	mg/kg TM	3	62	2	5										10				
Antimon	mg/kg TM														0,2				
Arsen	mg/kg TM	0,1	19	0,1	5	0,1									0,1				
Barium	mg/kg TM	0,6	29	0,6	5	0,4									0,7				
Blei	mg/kg TM	0,3	53	0,2	5	0,2									0,6				
Bor	mg/kg TM	0,6	8	0,6	2										3,4				
Cadmium	mg/kg TM	0,02	42	0,02	5	0,01									0,01				
Chrom gesamt	mg/kg TM	4	62	3	5	0,1									0,6				
Chrom (VI)	mg/kg TM	0,5		0,5	5	0,1	0,05		0,05	2	0,025		0,025	2					
Eisen	mg/kg TM	30	88	25	5	1,0					8	5	8	2	44				
Kobalt	mg/kg TM	0,3	80	0,2	5	0,1									0,5				
Kupfer	mg/kg TM	4	76	5	5	1,2									3,6				
Mangan	mg/kg TM														3,7				
Nickel	mg/kg TM	2	74	1	5	0,1									2,4				
Quecksilber	mg/kg TM	0,01		0,01	5	0,01									0,02				
Selen	mg/kg TM														0,1				
Silber	mg/kg TM	0,10	-	0,10	5	0,1									0,1				
Thallium	mg/kg TM														0,1				
Vanadium	mg/kg TM														0,3				



Tabelle 5: Datenerhebung zu MBA-Deponieoutputfraktionen – Parameter im Eluat (gerundet auf max. 2 sign. Stellen).

Anlage		Halbenrain				Aich Assach	Oberpullendorf				St. Pölten				Allerheiligen	Ort im Innkreis			
Eluatgehalte	Einheit	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n	MW	% RSD	MED	n	W	MW	% RSD	MED	n
Zink	mg/kg TM	2	43	3	5	0,9									3,5				
Zinn	mg/kg TM	0,3	150	0,1	5										0,6				
Ammonium (als N)	mg/kg TM	1.300	27	1.300	5	0,3	520	48	410	3	580	27	580	2	1.600	990	2	990	3
Chlorid	mg/kg TM	120	15	120	4	1.300	3.400	13	3.600	3					5.400				
Cyanid leicht freisetzbar (als CN)	mg/kg TM	0,1	130	0,1	5		0,2		0,2	2	0,1		0,1	2					
Fluorid (als F)	mg/kg TM	3	21	3	5	0,5	1	40	1	3	8	35	8	2	10	2	4	2	3
Nitrat (als N)	mg/kg TM	11	180	2	5	440	300	41	290	3	25	110	25	2	15				
Nitrit (als N)	mg/kg TM	5	190	0,4	5	0,5	6	80	4	3	21	130	21	2	0,2	10		10	3
Phosphat (als P)	mg/kg TM	7	64	6	5	2	7	32	6	3	2	34	2	2	39				
Sulfat (als SO <sub>4</sub> )	mg/kg TM	16.000	21	16.000	5	2.700	1.900	11	1.900	3	18.000	7	18.000	2	9.400	13.000	5	13.000	3
Sulfid	mg/kg TM														1,5				
TOC	mg/kg TM	5.500	55	3.800	5	830	4.900	31	5.300	3	3.500	16	3.500	2	6.600				
EOX	mg/kg TM	0,7	100	0,7	2	0,3	0,5	45	0,5	2	0,2		0,2	2					
Summe KW	mg/kg TM					2,1									6,2				
Phenole (Index)	mg/kg TM														0,3				
anionenaktive Tenside (als TBS)	mg/kg TM	29	48	37	5	11,0	82	4	82	2	8	37	8	2	18,0				
Trübung	TE/F														1.900				
KW-Index	mg/kg TM	36	50	32	5														

## 2.1.2 Ergebnisse der Vorerhebung und Anlagenauswahl

Die kritischen, da maßgeblichen Parameter für die Beurteilung der Ablagerung von Abfällen aus der MBA auf Massenabfalldeponien sind der Brennwert und die Stabilitätsparameter.

### Brennwert

Die Standardabweichungen für verschiedene Gesamtbeurteilungen innerhalb eines Jahres für den Brennwert liegen entsprechend den vorliegenden Daten größtenteils unter 12 %.

Die Standardabweichungen bei Wiederholanalysen aus einer Probe betragen ca. 2 %. Die Standardabweichung aus Probenaufarbeitung samt analytischer Bestimmung kann mit etwa 8 % abgeschätzt werden (ÖNORM S 2118-1, SCHEIDL 2000). Gemäß Endbericht zur Bestimmung des oberen Heizwertes wurde festgestellt, dass die im Zuge des Ringversuches mit 11 teilnehmenden Labors ermittelten Ergebnisse zum oberen Heizwert von MBA-Materialien überraschend gute Übereinstimmung der Daten brachten. Zudem wurde festgestellt, dass es möglich ist, auch mit kleinsten Einsatzmengen von etwa 1 g die Qualität der mechanisch-biologisch behandelten Abfälle hinreichend genau zu erfassen.

Die im Rahmen der gegenständlichen Studie ausgewerteten Daten zu Wiederholanalysen des Brennwertes bestätigen die obigen Angaben (Wiederholstandardabweichung: ca. 2–3 %).

### Stabilitätsparameter

Gemäß Endbericht zum Ringversuch für die Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen (IGW 2004) wird die Wiederholstandardabweichung für die  $AT_4$ -Bestimmung mit ca. 4 % angegeben (kurzfristig) – die Wiederholstandardabweichung zu einem anderen Zeitpunkt ergab ca. 8 % (nach Ausreißerelimination). Die Autoren berichten über vergleichbare Verhältnisse bei den Parametern  $GB_{21}$  und  $GS_{21}$ . Die Streuungen zwischen den Labors ergaben deutlich höhere Werte: rd. 33–40 % relative Standardabweichung für  $AT_4$ , etwa 15–18 % relative Standardabweichung für  $GB_{21}$  und  $GS_{21}$ . Erläuterungen der Autoren zu den Ursachen der Standardabweichungen zwischen den Labors werden im Endbericht zum Ringversuch dargestellt.

Die Standardabweichungen für verschiedene Gesamtbeurteilungen innerhalb eines Jahres für die Stabilitätsparameter liegen entsprechend den vorliegenden Daten bei etwa 40 %. Es liegen derzeit noch keine weiteren Daten zu Wiederholstandardabweichungen innerhalb eines Labors vor.

### TOC im Eluat

Die Gehalte an TOC im Eluat für verschiedene Gesamtbeurteilungen und verschiedene Anlagen liegen im Bereich von 830–6.600 mg/kg TM bei  $L/S = 10$  l/kg TM. Die Standardabweichungen über verschiedene Untersuchungen liegen im Bereich von 30–60 %. Im Gegensatz zu den Anforderungen der deutschen Abfallablagerversordnung ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung kein Grenzwert für TOC im Eluat für die Massenabfalldeponie vorgesehen.



NELLES et al. (2000) berichten über TOC-Gehalte im Eluat aus Hausmüll (ohne Behandlung) von bis zu 1.800 mg/l und verweisen auf eine Untersuchung von BRINKMANN et al. (1996), die nach MBA-Behandlung einen TOC im Eluat von 41,5 bis 982 mg/l feststellten. Wie im Rahmen einer Studie zur Evaluierung des Auslaugungsverhaltens von ausgewählten Abfällen anhand von experimentellen Untersuchungen und Modellierungen gezeigt werden konnte, können Schwermetalle und auch persistente organische Verbindungen wie z. B. Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, Polychlorierte Biphenyle und einige Pestizide durch Interaktion mit gelöstem organischem Kohlenstoff mobilisiert werden (VAN DER SLOOT et al. 2000).

### Weitere begrenzte Parameter

Parameter, bei denen auf Basis der vorliegenden Gesamtbeurteilungen anzunehmen ist, dass deren Gehalte im Bereich von 10 % des Grenzwertes liegen können und die für die Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit auf der Massenabfalldeponie relevant sind, werden für die Projektdurchführung ausgewählt.

### Auswahl der Leitparameter

- Brennwert (oberer Heizwert  $H_o$ )
- Stabilitätsparameter:
- Atmungsaktivität nach 4 Tagen Versuchsdauer ( $AT_4$ )
- Gasspendensumme im Inkubationstest ( $GS_{21}$ ).
- Gehalte im Feststoff:
- Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Silber (Ag), Zink (Zn), Arsen (As), Quecksilber (Hg).
- Gehalte im Eluat:
- Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)
- Ammonium-Stickstoff ( $NH_4^+$ -N)
- pH-Wert (pH)
- elektrische Leitfähigkeit (LF)
- Abdampfdruckstand (ADR)
- Chrom gesamt (Cr)
- Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ).

### Auswahl einer MBA-Anlage

Für die Durchführung des Projektes konnte durch die freundliche Unterstützung durch die Anlagenbetreiber die Anlage Halbenrain ausgewählt werden.

Die Anlage Halbenrain ist eine fortschrittliche Neuanlage, die mit Jänner 2004 den Regelbetrieb aufgenommen hat und über ausreichenden Platz verfügt, um die Probenahmen durchführen zu können. Weiters liegen umfangreiche Daten aus der Eigen- und Fremduntersuchung der Deponieoutputfraktion vor, die wesentlich für die Evaluierung des MBA-Modells und für die Untermauerung einer statistischen Herangehensweise für die relevanten Leitparameter sind.

### 2.1.3 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß Stat-Modell

Die Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß ÖNORM EN 14899 erfolgt auf Basis der aufgrund wissenschaftlicher Überlegungen abgeleiteten Formel, die von der WG1 des CEN/TC 292 im Technischen Bericht prCEN/TR 15310-1 veröffentlicht wurde.

$$M_{sam} = 1/6 \cdot \pi \cdot D_{95}^3 \cdot \delta \cdot g \cdot \frac{1-p}{CV^2 \cdot p}$$

Formel 1: Mindestprobenmenge – Berechnungsformel basierend auf prCEN/TR 15310-1.

- M<sub>sam</sub>* Mindestmenge Probe, in g.
- D<sub>95</sub>* 95-Perzentil („nominelles Größtkorn“), in cm.
- δ* Partikeldichte, in g/cm<sup>3</sup> (Richtwert lt. prCEN/TR 15310-1: 2,6 g/cm<sup>3</sup> für Boden).  
Für die gegenständliche MBA-Deponieoutputfraktion wird für die Berechnung der Mindestprobenmenge die Partikeldichte für Silikat von 2,6 g/cm<sup>3</sup> verwendet. Die Einbeziehung der Partikel mit geringerer Dichte (z. B. Kunststoffe) kann hier vernachlässigt werden.
- g* Korrekturfaktor für Korngrößenverteilung (zwischen 0,25 und 1), für die Planung wurde ein Korngrößenverteilungsfaktor von *g* = 1 verwendet.  
Entsprechend den Ergebnissen der durchgeführten Siebanalyse für die MBA-Deponieoutputfraktion der Anlage Halbenrain ist der Korrekturfaktor für eine breite Verteilung von *g* = 0,25 zur Berechnung heranzuziehen.
- p* Anteil der Partikel mit bestimmter Charakteristik [m/m], Richtwert lt. prCEN/TR 15310-1 *p* = 0,02.  
Sinnvoll erscheint für eher gleichmäßig verteilte Charakteristiktragende Partikel ein  $p \leq 0,1$ .  
Für die Berechnung der Mindestprobenmenge für den grenzwertrelevanten Leitparameter Brennwert wird *p* = 0,1 zugrunde gelegt, da der Anteil der Brennwertträgerpartikel in der MBA-Deponieoutputfraktion entsprechend höher ist.  
Die Schwermetall-Analysen werden aus den gezogenen Probenmengen für die Brennwertbestimmung durchgeführt; gemäß prCEN/TR 15310-1 sollte ein *p*-Faktor von 0,02 herangezogen werden.  
Eine Betrachtung zu den Mindestmengen für die Schwermetalle und die Auswirkung der geringeren Probenmenge im Zuge der Probenahme wird nach Abschluss der Analysen vorgenommen.
- CV* angestrebter Variationskoeffizient (unter Berücksichtigung des Fundamentalfehlers der Probenahme – Richtwert lt. prCEN/TR 15310-1: CV = 0,1).



Tabelle 6: Inputdaten für die Berechnung der Mindestprobenmenge nach prCEN/TR 15310-1 (Stat-Modell).

Inputparameter	Wert	Einheit
Korngröße $D_{95}$	3	cm
Partikeldichte	2,6	$\text{g/cm}^3$
Schüttdichte	0,7	$\text{g/cm}^3$
p (zw. 2 % und 10 %)	0,1	m/m
1-p	0,9	m/m
CV (Fundamentalfehler)	0,1	[ ]
Formfaktor (Kugelform = 1)	1	$\text{cm}^3/\text{cm}^3$
g Korrekturfaktor für Partikelverteilung	0,25	[ ]

### Stat-Modell Inputparameter

Die nachfolgende Tabelle 7 fasst die gemäß Formel 1 berechneten Mindestprobenmengen für die ausgewählten Leitparameter Brennwert und Schwermetalle für die Ebene der Probenahme zusammen.

### Stat-Modell Mindestmengen

Tabelle 7: Mindestmengen für Brennwert und Schwermetalle nach prCEN/TR 15310-1.<sup>13</sup>

Mindestprobenmenge für	kg	l
Brennwert	8	12
Schwermetalle und Arsen	45	64

Die Laborprobe wird luftgetrocknet und über ein Sieb mit einer Maschenweite von 4 mm gesiebt. Inertstoffe und Metalle werden aussortiert und dokumentiert. Der aussortierte Anteil > 4 mm wird mittels Schneidmühle SM 2000 (750 UPM) zerkleinert. Nach Vereinigung und Homogenisierung der < 4 mm Fraktionen erfolgt die Probenteilung mittels Riffelteiler. Eine Mindestmenge von 0,5 kg Probe < 4 mm wird auf < 1 mm gesiebt, das Überkorn erneut mit der Schneidmühle zerkleinert und im Anschluss werden beide Teilfraktionen (< 1 mm) vereinigt und homogenisiert. Danach erfolgt eine Feinvermahlung in der Wolframkarbid-Scheibenschwingmühle auf eine Korngröße < 0,25 mm. Sämtliche im Zuge der mehrstufigen Aufarbeitung separierten Anteile werden gewichtsmäßig erfasst und dokumentiert (siehe Abbildung 1).

### Aufarbeitungsplan

<sup>13</sup>Die Anwendung der Formel zur Berechnung der Mindestmenge erlaubt lediglich eine Abschätzung der Größenordnung unter Berücksichtigung des Fundamentalfehlers der Probenahme von rd. 10 %.

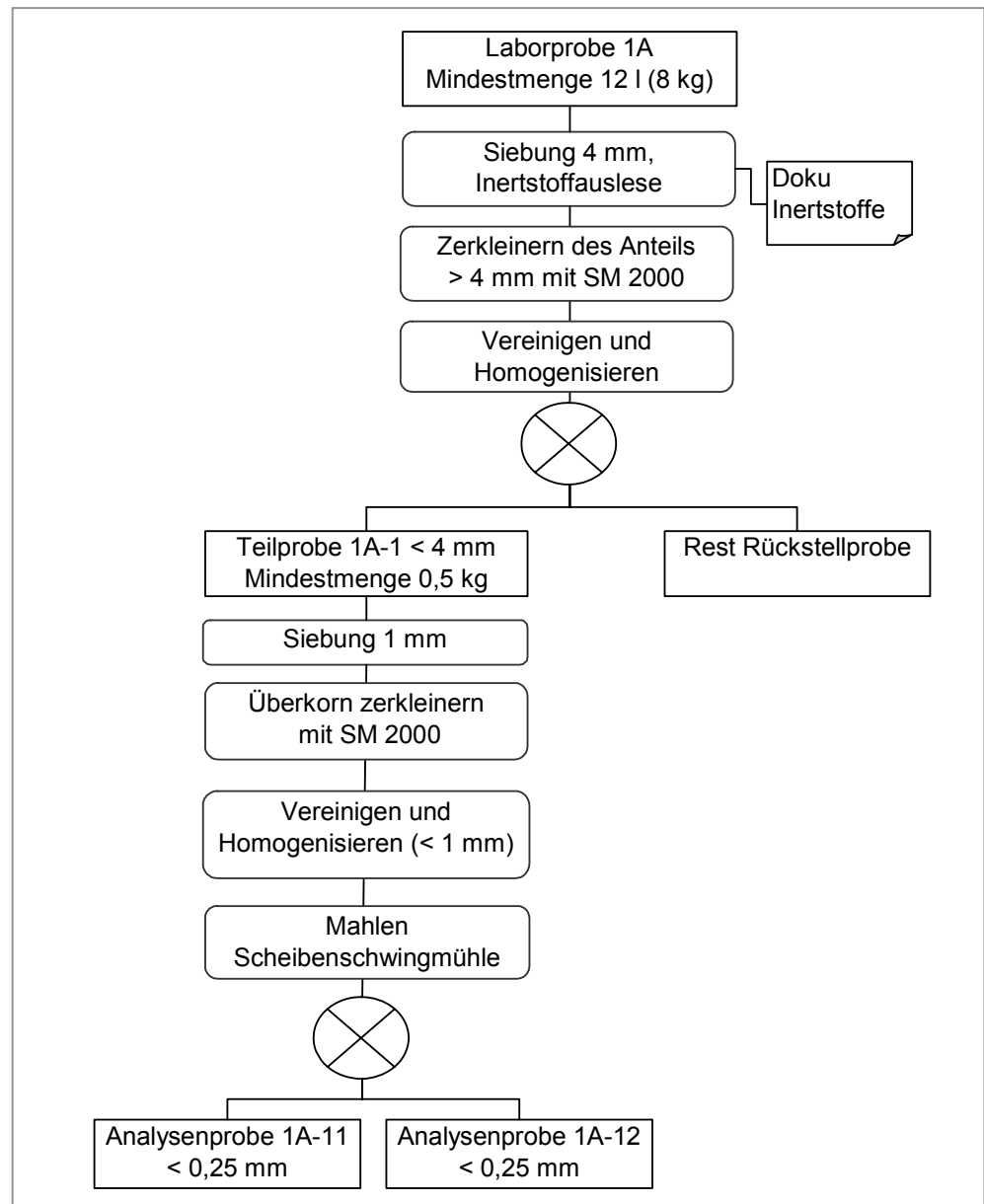


Abbildung 1: Aufarbeitungsplan für die Proben.

### Probenahmefehler

Für die Abschätzung des Fundamentalfehlers der Probenvorbereitung wird ebenfalls Formel 1 – jedoch mit Aktualisierung der Korngröße und Probenmengen entsprechend dem Aufarbeitungsplan – herangezogen. Eine Übersicht der Probenaufarbeitung für sämtliche Proben bietet nachfolgende Zusammenstellung.





Tabelle 8: Probenaufarbeitungsschritte.

Abschätzung des Fundamentalfehlers für	Randbedingung
Ebene 1	Probenahme (Eingangsgröße 10 l)
Zerkleinerungsstufe 1	Zerkleinerung der Gesamtmenge abzüglich der Aliquote von ~ 0,2 kg für den Eluatansatz auf < 4 mm
Probenteilung 1	Homogenisierung und Probenteilung (Riffelteiler) – 0,5 kg Teilprobe
Zerkleinerungsstufe 2	Zerkleinerung der Teilprobe (0,5 kg) auf < 1 mm
Zerkleinerungsstufe 3	Zerkleinerung der Teilprobe (0,5 kg) auf < 0,25 mm mittels Scheibenschwingmühle
Probenvorbereitung 1 (für Gesamtgehalte im Feststoff)	Entnahme von 2 g Probe (< 0,25 mm) für den Aufschluss
Probenvorbereitung 1 (für Brennwert)	Entnahme von 5 g Probe (< 0,25 mm) für die Vermahlung mit Benzoesäure – Verbrennung von 0,9 g Aliquot der Mischung im Kalorimeter

Ganz allgemein kann der Gesamtfehler eines Untersuchungsprogrammes wie folgt angeführt werden (WEGSCHEIDER 1994):

$$S^2_{tot} = S^2_{sa} + S^2_{analyt}$$

$S^2_{tot}$  Gesamtfehler (Quadrat) des Untersuchungsprogrammes.

$S^2_{sa}$  Probenahmefehler (Quadrat): beinhaltet die Schritte der Auswahl der Proben aus einer größeren Menge (Probenziehung) und die Homogenisierung des Materials, welche üblicherweise in mehreren Teilschritten durchgeführt werden. Im Zuge der Homogenisierung und weiteren Aufarbeitung können die Partikel des Materials verschiedenen Kräften ausgesetzt sein, aufgrund derer sich z. B. aufgrund von Zerkleinerungseigenschaften (Härte) oder Dichteverhältnissen im Zuge der Homogenisierung einige Probenpartikel selektiv anreichern können.

$S^2_{analyt}$  Analytischer Fehler (Quadrat): beinhaltet die Komponenten der Messung und Schritte der Probenvorbereitung (z. B. Aufschluss).

Die Bestimmung des Probenahmefehlers (Quadrat) aus n Schritten im Zuge der Probenahme erfolgt durch Aufsummieren der Quadrate der einzelnen Beiträge.<sup>14</sup>

$$S^2_{sa} = \sum_{i=1}^n S^2_{sa,i}$$

$s^2_{sa}$  Probenahmefehler (Quadrat)

n Anzahl

$s^2_{sa,i}$  Probenahmefehler (Quadrat), Schritt i

<sup>14</sup> Als Richtwert zur Abschätzung des Fundamentalfehlers der Probenahme können pro Schritt ungefähr 10 % einberechnet werden (bei 4–5 Schritten ergibt dies rd. 20 %).

**Abschätzung  
Mindestfehler für  
Probenahme und  
Aufarbeitung**

Für die in Tabelle 8 angeführten Zerkleinerungsschritte und die geplanten Probenmengen kann der minimale Fehler durch die Probenaufarbeitung für den Leitparameter Brennwert ( $p = 0,1$ ) unter Berücksichtigung des Fundamentalfehlers der Probenahme mit rd. 10 %<sup>15</sup> abgeschätzt werden. Eine Abschätzung des minimalen Fehlers für die Schwermetalle ( $p = 0,02$ ) ergibt unter den genannten Bedingungen rd. 30 %.

**Zu beachten ist, dass die Formel keinerlei inhomogene Verteilungseffekte (z. B. Anreicherungen, Hot Spots, Nuggets) oder Segregationseffekte (vor Ort bzw. im Zuge der Probenvorbereitung) berücksichtigt. Hierfür muss im Rahmen der Probenahme durch ausreichende Verteilung der (Stich-)Proben innerhalb der Beurteilungsmaßstäbe und im Zuge der Probenvorbereitung durch ausreichende Mahlfeinheit, ggf. durch Trennung nach stofflichen Fraktionen, getrennter Aufarbeitung und nachfolgender Herstellung der Mischung sowie entsprechend angepasste Mindestmengen Rechnung getragen werden.**

Es darf an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass bei Abfällen mit Inhaltsstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen (hier MBA-Deponieoutput)

- die Heterogenität des Materials, z. B. vereinzelt auftretende Metallträgerpartikel,
- die Probenahme und
- die Probenvorbereitung

relevante Einflussgrößen für den Gesamtfehler des Untersuchungsprogrammes sind.

**Annahmen im Hinblick auf die Verteilung der gesuchten Eigenschaften innerhalb der Beurteilungsmaßstäbe**

**Liegt eine zufällige  
Verteilung vor?**

Aufgrund der häufigen Umwälzung der MBA-behandelten Proben im Behandlungsprozess und der Entstehungsgeschichte des Haufens wird in gegenständlichem Fall im Hinblick auf die Probenahme von einer annähernd zufälligen Verteilung der Schadstoffträgerpartikel und der Inertanteile innerhalb der Beurteilungsäquivalente ausgegangen.

**2.1.4 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß MBA-Modell**

Die Mindestprobenmenge gemäß MBA-Modell für die Stichprobe beträgt lt. Festlegung ca. 30 l, die Mindestmenge für die qualifizierte Stichprobe 100 l.

Für die Ermittlung der Anzahl der qualifizierten Stichproben ist zunächst der Beurteilungsmaßstab (Tagesäquivalent) für die MBA-Anlage Halberrain zu berechnen. Zur Berechnung des Tagesäquivalentes wird die Jahresproduktionsmenge der MBA-Deponieoutputfraktion durch 260 dividiert.

---

<sup>15</sup>Für die Abschätzung des Fundamentalfehlers von Probenahme und Probenvorbereitung wird jede Stufe der Probenteilung und Teilprobenentnahme als neuerliche „Probenahme“ angesehen.



Im gegenständlichen Fall befanden sich laut Angaben des Anlagenbetreibers zum Zeitpunkt der Probenahme fünf Wochenproduktionsmengen zu insgesamt 1.800 t am Zwischenlagerbereich (Freifläche). Daraus ergibt sich ein Wochenäquivalent von 360 t und ein Tagesäquivalent von 72 t.

Die Jahresproduktionsmenge wird auf Basis der Angaben zur Situation während der Probenahme abgeschätzt (52 Wochen multipliziert mit 360 t MBA-Deponieoutput/Woche ergeben 18.720 t/a).

Gemäß ÖNORM S 2123-1 ergeben sich sechs qualifizierte Stichproben für die rechnerische Bezugsbasis von 72 t – die Mindestprobenmenge für ein Tagesäquivalent beträgt 600 l (Anzahl der qualifizierten Stichproben, multipliziert mit 100 l/qualifizierte Stichprobe).

Aus sämtlichen qualifizierten Stichproben pro Tagesäquivalent sind durch Homogenisierung und qualifizierte Probenteilungsverfahren mind. 40 kg Laborprobe herzustellen. Die Laborprobe wird mittels Riffelteiler geviertelt – ca. 10 kg werden für die weitere Aufarbeitung zur Herstellung der Analysenprobe verwendet (Anlehnung an die Vorgangsweise gemäß ÖNORM S 2118-1).

Die so hergestellte Probe kann zur Bestimmung sämtlicher Parameter verwendet werden (inkl. Stabilitätsparameter nach entsprechender Probenkonservierung durch Tiefrieren bzw. Kühlung).

### 2.1.5 Bestimmung der Mindestprobenmenge gemäß ÖNORM S 2123-1

$$M_{STP} = 0,06 \cdot D_{95}$$

Formel 2: Berechnung der Mindestmenge für die Stichprobe gemäß ÖNORM S2123-1.

$M_{STP}$  Mindestmenge für die Stichprobe, [kg]

$D_{95}$  nominales „Größtkorn“, [mm]

Für gegenständliches Material mit einem Größtkorn von 30 mm wären gemäß ÖNORM S 2123-1 mindestens 1,8 kg Stichprobe vorzusehen – in Abhängigkeit von der Stichprobenanzahl (z. B. 10) wären ca. 20 kg (ca. 30 l bei Schüttdichte von 0,7 kg/l) qualifizierte Stichprobe erforderlich.

### 2.1.6 Informative Gegenüberstellung der Probenmengen nach unterschiedlichen Berechnungsmodellen

Tabelle 9: Informative Gegenüberstellung der Mindestmengen.<sup>16</sup>

Berechnungsbasis	Mindestmenge/ -volumen		Mindestmenge/ -volumen		Randbedingung
Modell gemäß DVO bzw. Bezug auf Normen	STP		QSTP bzw. SAM		Anzahl der STP pro SAM oder QSTP
nominelles Größtkorn 3 cm	[kg]	[l]	[kg]	[l]	
Stat-Modell <sup>17</sup> Brennwert ( $p = 0,1$ )	1,4	2	8	12	6 STP pro SAM
Stat-Modell Schwermetalle, Arsen ( $p = 0,02$ )	7,5	11	45	64	6 STP pro SAM
MBA-Modell <sup>18</sup>	21	30	70	100	3 STP pro QSTP
ÖNORM S 2118-1	23	33	140	200	6 STP pro QSTP
ÖNORM S 2123-1	1,8	2,6	18	26	10 STP pro QSTP

STP Stichprobe

QSTP Qualifizierte Stichprobe

SAM Sammelprobe bzw. Mischprobe für prCEN/TR 15310-1 Berechnungsbasis

### 2.1.7 Ermittlung der Probenanzahl nach unterschiedlichen Randbedingungen

Für die Charakterisierung eines Wochenäquivalentes von ca. 360 t (siehe Kapitel 2.1.4) ist die Probenanzahl nach unterschiedlichen Herangehensweisen zu ermitteln (Probenanzahl: hier die Anzahl der qualifizierten Stichproben bzw. der Mischproben (Sammelproben) gemäß prCEN/TR 15310-1).

#### Stat-Modell

#### Probenanzahl gemäß Stat-Modell

Die Probenanzahl wird in Abhängigkeit von der angestrebten Aussagesicherheit und in Abhängigkeit von der angestrebten Präzision für den Mittelwert ermittelt. Die Vorgehensweise ist im Allgemeinen zweistufig – in einer Voruntersuchung oder auf Basis vorhandener Informationen wird die erforderliche Probenanzahl ermittelt.

<sup>16</sup>In der Tabelle werden die berechneten Daten dargestellt – zur leichteren Nachvollziehbarkeit wurden keine Rundungen vorgenommen. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass gemäß Randbedingungen für die Berechnung obige Werte lediglich einen Eindruck betreffend Größenordnung der Mindestmengen vermitteln sollten.

<sup>17</sup>Stat-Modell: Berechnungen erfolgen in Übereinstimmung mit den Vorgaben in prCEN/TR 15310-1.

<sup>18</sup>MBA-Modell gemäß Deponieverordnung berücksichtigt die Vorgaben für die Anzahl der qualifizierten Stichproben je Tagesäquivalent gemäß ÖNORM S 2123-1 und die Vorgaben für die Mindestmengen je Stichprobe und qualifizierter Stichprobe gemäß ÖNORM S 2027-1–3.



Im gegenständlichen Projekt sind pro Tagesäquivalent je sechs Stichproben zu je 2 l zu einer Mischprobe (Sammelprobe) zu je 12 l (Brennwert) zu vereinigen. (Ein Wochenäquivalent von rd. 360 t wird anhand von drei Tagesmischproben charakterisiert, die aus insgesamt 18 Stichproben hergestellt wurden).

Ohne weitere Teilungsschritte vor Ort werden die Mischproben ins Labor zur weiteren Aufarbeitung gebracht. Pro Beurteilungsmaßstab werden zur Vorerhebung drei Mischproben, bestehend aus jeweils sechs Stichproben aufbereitet und analysiert (Bezugsbasis: Tagesäquivalent).

Die beschriebene Vorgehensweise wird im Zuge des Projektes realisiert und nach Vorliegen der Ergebnisse wird eine Neuberechnung der Probenanzahl in Abhängigkeit von der angestrebten Präzision durchgeführt.

### **MBA-Modell**

Die Anzahl der qualifizierten Stichproben je Tagesäquivalent ist gemäß ÖNORM S 2123-1 zu ermitteln. Für 72 t beträgt die Anzahl der QSTP 6. Pro Tagesäquivalent zu 72 t sind je 6 QSTP zu je 100 l zu ziehen.

Für 360 t sind insgesamt 18 QSTP zu je 100 l (1.800 l) zu ziehen. Nach weiteren Homogenisierungs- und Teilungsschritten vor Ort durch Umschaukeln wird ein Teil (40 kg) der Tagesmischproben ins Labor zur weiteren Aufarbeitung gebracht.

Die beschriebene Vorgehensweise wird im Zuge des Projektes realisiert.

***Probenanzahl  
gemäß MBA-Modell***

### **ÖNORM S 2118-1 (zur Information)**

Ermittlungsbasis der Probenanzahl wäre eine Chargengröße in m<sup>3</sup> bei Einzelbeurteilung von über 450 m<sup>3</sup> (> 315 t).

Für gegenständlichen Fall (360 t) beträgt die Anzahl der (qualifizierten) Stichproben mindestens 8 QSTP zu je 200 l. Nach Vereinigung der qualifizierten Stichproben zur Sammelprobe ist nach weiteren Homogenisierungs- und Teilungsschritten vor Ort (alternativ Riffelteiler oder Mischkreuzverfahren) ein Aliquot (40 kg) der Sammelprobe ins Labor zur weiteren Aufarbeitung zu transportieren.

***Probenanzahl  
gemäß ÖNORM S  
2118-1***

### **ÖNORM S 2123-1 (zur Information)**

Ermittlungsbasis der Probenanzahl wäre eine Chargengröße in t – bei Einzelbeurteilung von ca. 360 t.

Für 360 t beträgt die Anzahl der qualifizierten Stichproben für ein nominelles Größtkorn (D<sub>95</sub>) von 30 mm (Siebanalyse) mindestens 8 QSTP zu je 26 l (30 mm \* 0,06 = 1,8 kg Stichprobe – 10 Stichproben ergeben 18 kg Sammelprobe oder 26 l).

Nach Vereinigung der qualifizierten Stichproben zur Sammelprobe ist nach weiteren Homogenisierungs- und Teilungsschritten vor Ort ein Aliquot (26 l oder 18 kg) der Sammelprobe ins Labor zur weiteren Aufarbeitung zu transportieren.

***Probenanzahl  
gemäß ÖNORM S  
2123-1***

## 2.2 Erarbeitung einer Probenahmestrategie

### **Zielsetzungen**

Die Probenahmestrategie zur Umsetzung des MBA-Modells in der Praxis für eine MBA-Anlage mit 20.000 t/a Deponieoutputfraktion und für die Erhebung von Daten für einen weitgehend statistischen Beprobungsansatz soll nachfolgende Zielsetzungen berücksichtigen:

- Erhebung der abfallcharakteristischen Eigenschaften der MBA-Deponieoutputfraktion für eine MBA-Anlage unter Einbeziehung der Informationen über den Prozess und Berücksichtigung von Vorinformationen (vorangehende Untersuchungen, z. B. Gesamtbeurteilungen).
- Erfassung der Variabilität für die Leitparameter zwischen Tagesäquivalenten und Wochenäquivalenten.
- Erfassung der Variabilität für die Leitparameter innerhalb von Tagesäquivalenten.
- Erfassung der Streuungen bei der Aufarbeitung im Labor durch Probenentteilung und getrennte Aufarbeitung von Proben (Parallelproben).

Die Probenmengen werden entsprechend Kapitel 2.1.4 (MBA-Modell) sowie Kapitel 2.1.3 (Stat-Modell) festgelegt.

### **Vergleich zwischen MBA-Modell und Stat-Modell**

Um einen direkten Vergleich zwischen den Ergebnissen der Proben gemäß MBA-Modell (Mindestmengen gemäß Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung 2006) und gemäß Stat-Modell (geringere Mindestprobenmengen für den Brennwert entsprechend prCEN/TR 15310-1) zu ermöglichen, werden beide Probenahmestrategien simultan im Zuge der Beprobung umgesetzt und die Proben für das Stat-Modell mit den Proben für das MBA-Modell miterfasst.<sup>19</sup>

### **Definition der Subpopulation (Los)**

Durch die unterschiedliche Lagerdauer und die damit einhergehenden Abbauprozesse des organischen Materials kommt es zu Beeinflussungen der Leitparameter<sup>20</sup> (v. a. Stabilitätsparameter, Brennwert). Für die Erstellung der Probenahmepläne wird daher als Los das Wochenäquivalent festgelegt (auch für den statistischen Ansatz). Innerhalb des Wochenäquivalentes werden die Veränderungen der Leitparameter durch fortschreitenden organischen Abbau als vernachlässigbar angesehen und eine zufällige Verteilung der Leitparameter angenommen.

### **Definition des Beurteilungsmaßstabs**

Die Beurteilungsmaßstäbe für beide Modelle werden mit einer Wochenproduktionsmenge (Wochenäquivalent) von 360 t festgelegt. Die weitere Abstufung für die Probenahme umfasst eine Tagesproduktionsmenge (Tagesäquivalent) von 72 t.

## 2.3 Definition des Probenahmeplans für die ausgewählte Anlage

Da ein Vergleich des MBA-Modells mit dem Stat-Modell unter Einbeziehung der Technischen Berichte prCEN/TR 15310 angestrebt werden soll, ist die vorhergehende Definition von einheitlichen Beurteilungsmaßstäben wesentlich. Der ausgearbeitete Probenahmeplan wird nachfolgend dargestellt.

<sup>19</sup> Statt der Stichprobenziehung aus der Löffelbaggerschaufel wurden die Stichproben für das Stat-Modell aus der qualifizierten Stichprobe für das MBA-Modell gezogen. Mögliche Alternative: Stichproben innerhalb der jeweiligen Beurteilungsmenge verteilen.

<sup>20</sup> Das Material wurde nach der Probenahme im Rahmen der Studie noch einen weiteren Monat auf der Freifläche der Anlage zur Nachrotte gelagert.

Tabelle 10: Probenahmeplan gemäß ÖNORM EN 14899.

Projekt	AMBA 2589
Projektleiter, Tel.	M. Denner
Probenahme durch (Probenehmer)	MitarbeiterInnen Umweltbundesamt und Mitarbeiter BOKU für Stabilitätsparameter
Probenahmedatum	Montag 10.10.2005 und Dienstag 11.10.2005
Probenahmeort	MBA-Anlage Halbenrain, Zwischenlager auf Freifläche (Adresse)
Abfallart	Abfallart: SN 91105 – Hausmüll- und Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, mechanisch biologisch behandelt.
Details	<p>Die mechanische Behandlung des Inputmaterials ermöglicht die Aufteilung in eine vorwiegend biogene Fraktion zur biologischen Behandlung und eine vorwiegend heizwertreiche Fraktion zur Produktion von verschiedenen Brennstoffqualitäten (Abfallbehandlung vor Deponierung und Abtrennung einer heizwertreichen Fraktion). Input: unbehandelte oder behandelte gemischte Siedlungsabfälle (Feinfraktion der vorzerkleinerten Abfälle, Siebschnitt &lt; 80 mm), geringe Mengen an Sperr- und Gewerbemüll, Klärschlamm (aus gewerblichen Betrieben Lederindustrie, Tiermehlerzeugung, nur geringe Mengen kommunaler Klärschlamm – Anlieferung der Klärschlämme erfolgt aerob stabilisiert, Trockenmasse ca. 30 %).</p> <p>Die Biologie besteht aus einer dreistufigen Tunnelrotte (2 Wochen Intensivrotte 1, 2 Wochen Intensivrotte 2, 2–8 Wochen Nachrotte im 3. Tunnel, Zwischenlager auf Freilagerfläche).</p> <p>Die mechanische Endaufbereitung der heizwertreichen Fraktionen erfolgt über Siebschnitte, Metallabscheidung, Windsichtung, Nasseparierung und Nachzerkleinerung. Die Abluft wird über einen Biofilter mit Vor- und Nachwäscher geführt. Abwässer zur externen Entsorgung fallen keine an. Die Anlage ermöglicht die Aufarbeitung der Abfälle zu deponiefähigem Material entsprechend der Deponieverordnung und zu thermisch oder stofflich verwertbaren Fraktionen.</p>
Ansprechpartner der Anlage	Namen, Tel.-Nr.
Ziel der Probenahme	Auswahl von drei Wochenäquivalenten aus zumindest fünf (Beurteilungsäquivalent 360 t) – Beprobung gemäß MBA-Modell (Ermessen) gem. Entwurf der DeponieVO und simultane Vorgehensweise gem. ÖNORM EN 14899 und prCEN/TR 15310-1 (Stat-Modell).
Angaben zur beurteilten Menge (Lot, Lotgröße)	Fünf Wochenäquivalente (rd. 1.800 t), Mitte August KW 34 bis KW 41; 1 Wochenäquivalent entspricht mengenmäßig etwa 360 t, 1 Tagesäquivalent entspricht 72 t.
Probenahmestelle	Zwischenlager auf Freifläche hinter der Halle.
Korngrößenverteilung (Vorinformation)	<p>&lt; 10 mm (nur rd. 10 % Anteil &gt; 10 mm durch Beimischung der durch Rotte gegangenen Inertstoffe aus der Sink-Schwimmabscheidung (Sinkfraktion)).</p> <p>Größtkorn des Anteils &gt; 10 mm: 80 mm</p> <p>Beschreibung &gt; 10 mm: Steine, Keramik, Glas.</p>
Probenahmetechnik	Schürfe mittels Großgerät (Löffelbagger), Handschaufel unlackiert an leicht zugänglichen Stellen.
Probengebinde	KS-Säcke reißfest, 50 l Tonnen PE-beschichtet (zur Anteilsbestimmung der Stichproben 50 l-Tonnen mit Verschlussdeckel).
Probenbeschriftung	<p>STP l (l = 1, 2, 3) für Stichprobe.</p> <p>QSTP k (k = 1, ..., 6) für qualif. Stichprobe.</p> <p>TMP j (j = 1, 2, 3) für Tagesmischproben zu betreffender Subpopulation.</p> <p>WMP i (i = 1, 2, 3) (Wochenmischproben).</p> <p>– siehe auch Probenbaum; Zusatz "Stat" bzw. "MBA" nach Modell.</p>



95 Perzentil ( $D_{95}$ ) Kornverteilung	Abschätzung: 10 mm abgeseibt lt. Vorinformationen.
Form der Partikel (dominierend)	Näherung: runde Form.
Schüttdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]	rd. $700 \text{ kg/m}^3$ (Schätzwert) – bei der Probenahme zu bestimmen! (50 l-Tonne, Waage).
Partikeldichte [ $\text{g/cm}^3$ ]	rd. $2,6 \text{ g/cm}^3$ .
<u>Mindestprobenmenge</u> (Stichprobe STP, qualifizierte Stichprobe QSTP)	MBA-Modell: Mindestmenge 30 l für STP l ( $l = 1, 2, 3$ ) Mindestmenge 100 l für QSTP k ( $k = 1, \dots, 6$ ) Stat-Modell: (prCEN/TR 15310-1).  Aus praktikableren Gründen wird die Erhöhung der Mindestprobenmenge auf 12 l (8 kg) Sammelprobe pro Tagesäquivalent vorgesehen, die aus jeweils 6 Stichproben zu 2 l hergestellt wird.  (Alternative: Mindestmenge 300 g für STP – 18 Stichproben pro Tagesäquivalent ergeben dann mindestens 5,4 kg Sammelprobe pro Tagesäquivalent).
<u>Tatsächliche Mengen</u> (Stichproben, qualifizierte Stichproben, Tagesmischproben)	Stichproben (STP): je 50 l. Qualifizierte Stichproben (QSTP): je 150 l. Homogenisieren der STP, Entnahme je QSTP – 2 l für Stat-Modell-Proben. TMP aus je 6 50 l-Aliquoten der QSTP (QSTP 1 bis 6 pro Tag) herstellen. WMP aus TMP herstellen (1 WMP aus je 3 x 50 l TMP).
Herstellung der QSTP aus den Stichproben	MBA-Modell: Getrennte Abfüllung der Stichproben, Homogenisierung und Herstellung der QSTP. Entnahme der Teilmenge für die Stichprobe für stat. Ansatz (je 2 l). 6 getrennte QSTP herstellen für Analyse. Stat-Modell: jeweils Teilaliquot (2 l) von homogenisierter QSTP gemäß MBA-Modell entnehmen. Details siehe "Probenbaum".
Mindestprobenmenge (Sammelprobe)	MBA-Modell: 40 kg Feuchtmaterial. Stat-Modell: Ansatz: 5,4 kg Mindestmenge Feuchtmaterial aus praktischen Gründen: 12 l.
Probenteilung vor Ort	Fraktioniertes Schaufeln.
Probenahmeintervall (Probenanzahl)	pro WÄQ zu 360 t – Auswahl von 3 TÄQ von 72 t, darin Verteilung der Stichproben für die TÄQ ( $m = 18$ ) – Herstellung der QSTP und SAM (pro WÄQ 3 SAM TÄQ und 1 SAM WÄQ) gemäß Aufarbeitungsskizze.
Sicherheitsvorkehrung	Grundausrüstung für ProbenehmerInnen. Unterfertigung der Benutzerordnung vor der Probenahme. Im Bereich der Hallen gilt strengstes Rauchverbot!
Fotodokumentation	Dokumentation auf Fotoliste vor Ort.
Probenahmeprotokoll	gemäß SOP (Grundlage ÖNORM S 2123-1), Skizze.

Das Beprobungskonzept wird in Form eines Probenbaumes dargestellt, der die Verteilung der Stichproben innerhalb dreier Tagesäquivalente für die Beprobung eines Wochenäquivalentes veranschaulicht.



## 2.4 Beprobungskonzept für die konkrete Anlage

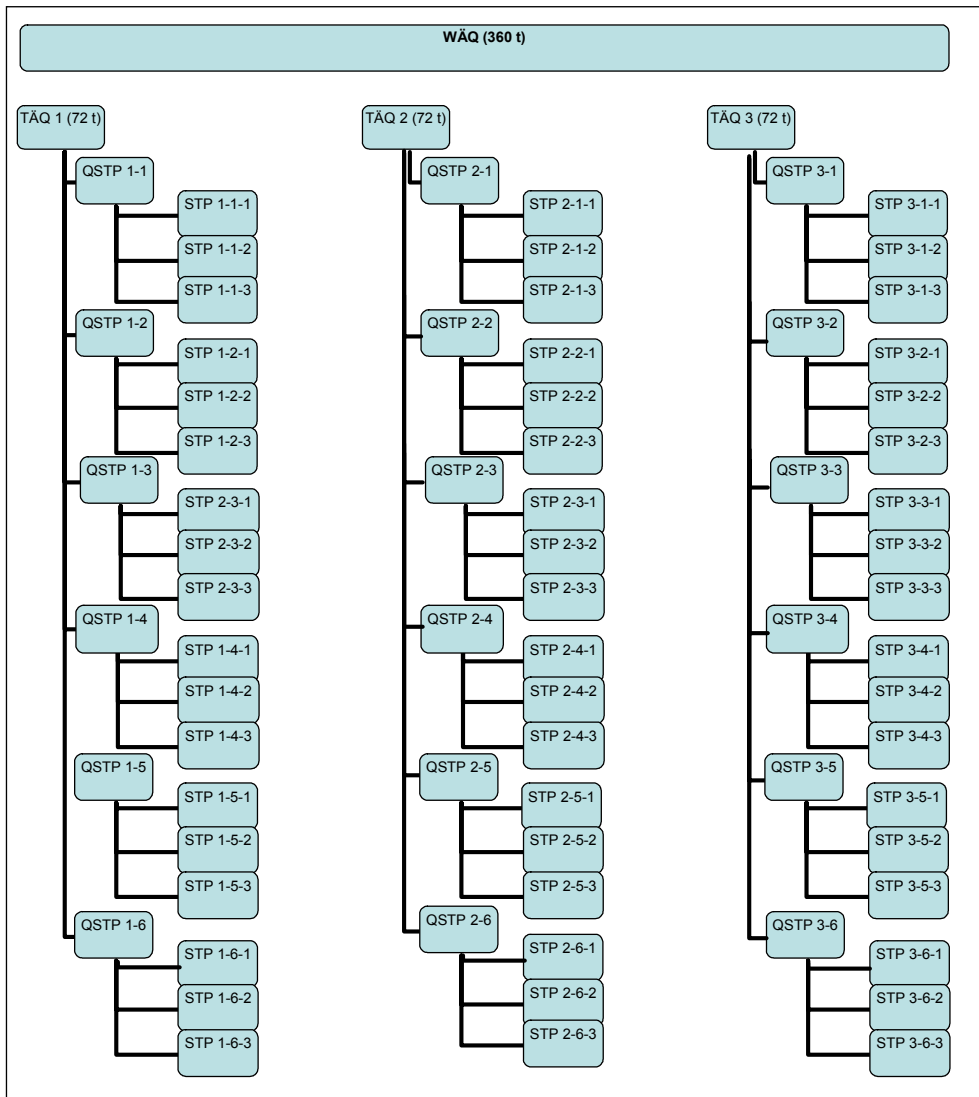


Abbildung 2: Darstellung des Probenbaums für die Probenahme (Konzept für 360 t Wochenäquivalent).

Die Proben beziehen sich gemäß MBA-Modell für rd. 18.000 t/a Deponieoutput auf je eine Beurteilungsmenge von rd. 360 t (Wochenäquivalent). Insgesamt werden, wie in der Abbildung am Beispiel eines Wochenäquivalentes dargestellt, drei Wochenäquivalente (WÄQ  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$ ) anhand von je drei Tagesäquivalenten TÄQ  $j$  (TÄQ fortlaufend nummeriert  $j = 1, \dots, 9$ ) für die Beprobung ausgewählt. Innerhalb der Beurteilungsmenge (TÄQ  $j$ ) werden die sechs qualifizierten Stichproben QSTP  $jk$  (QSTP  $jk$ ,  $k = 1, \dots, 6$ ) innerhalb von 72 t Einheiten (Tagesäquivalent) verteilt. Für das MBA-Modell werden je drei Stichproben (STP) zu 50 l aus der Löffelbaggerschaufel gezogen und diese jeweils zu einer qualifizierten Stichprobe (QSTP  $jk$ ) vereinigt. Aus den qualifizierten Stichproben werden aus ökonomischen Gründen jeweils 2 l für die Herstellung der Probe (Sammelprobe) gemäß ÖNORM EN 14899 verwendet (anstelle von rd. 0,7 l pro Stichprobe).

### 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

#### 3.1 Material und Methoden

##### 3.1.1 Untersuchungsgegenstand

MBA-Deponieoutputfraktion „Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, mechanisch biologisch behandelt“, Schlüssel Nr.: 91105 aus der MBA Halbenrain.



Abbildung 3: Fotodokumentation MBA-Deponiefraktion < 10 mm vorabgesiebt, mit Anteilen > 10 mm, die nach der Rotte aus der Sink-Schwimmabscheidung als Sinkfraktion anfallen (Steine, Keramik, Glas).



Abbildung 4: Fotodokumentation der MBA-Deponieoutputfraktion – Inertstoffe.



### 3.1.2 Kurzbeschreibung der MBA-Anlage

Die Kurzbeschreibung der MBA-Anlage fokussiert auf die im Hinblick einer Probenahmeplanung und -durchführung relevanten mechanischen Aufbereitungsschritte und biologischen Behandlungsschritte.

Die MBA-Anlage Halbenrain ist für eine Jahreskapazität von 70.000 t/a ausgelegt. Die Anlage ist zur Behandlung der Abfälle vor der Deponierung zur Gewinnung eines reaktionsarmen Massenabfalls geeignet.

#### **Auslegung der Anlage**

Im Zuge der Vorbehandlung erfolgt die Abtrennung von heizwertreichen Fraktionen für die thermische Behandlung. Die aussortierten Wertstoffe werden einer stofflichen Verwertung zugeführt.

Zur MBA-Anlage werden unbehandelte und mechanisch behandelte gemischte Siedlungsabfälle, Sperrmüll- und Gewerbeabfälle sowie aerob stabilisierte Klärschlämme (Großteil aus gewerblichen Betrieben: Lederindustrie) angeliefert. Der Klärschlamm dient zur Einstellung des Wassergehaltes (Feuchtigkeitsversorgung) und zur Gewährleistung eines ausreichenden Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnisses.

#### **Abfallinput**

Tabelle 11: Input in die MBA-Anlage.

Input	(Datenbasis 2004)
unbehandelte gemischte Siedlungsabfälle*	16 %
behandelte gemischte Siedlungsabfälle*	53 %
aerob stabilisierte Klärschlämme	31 %

\* inkl. Sperr- und Gewerbemüll

Nach einer Eingangskontrolle und Wägung auf der Brückenwaage erfolgt die Zuordnung des Abfalls zur geeigneten Annahmelinie. Die Abfälle können direkt (Direktlinie), über eine Sieblinie oder über eine gesonderte Schlammannahmelinie aufgegeben werden (siehe Abbildung 5: Verfahrensschema für die mechanische Aufbereitung).

#### **Mechanische Aufbereitung**

Sperrmüll- und Gewerbeabfälle werden im Shredder vorzerkleinert und nach vorhergehender Fe-Abscheidung mittels Überbandmagnet bei 80 mm abgesiebt. Der Siebdurchgang wird in die MBA-Anlage eingebracht.

Der Klärschlamm wird in einer Mischung mit mechanisch behandeltem gemischtem Siedlungsabfall (Klärschlammanteil max. 1/3) in die Anlage aufgegeben. Besonders wichtig bei produktionsspezifischem Gewerbemüll ist die Vorselektion hinsichtlich Brennwert, da sonst feinere Kunststoffanteile in die Fraktion < 10 mm mitgehen könnten und das Brennwertkriterium nicht eingehalten werden könnte.

Ein Verfahrensschema zur mechanischen Aufbereitung der Inputmaterialien vor Einbringen einer Mischung von behandelten gemischten Siedlungsabfällen mit Klärschlamm in die Rottetunnel zeigt nachfolgende Abbildung.

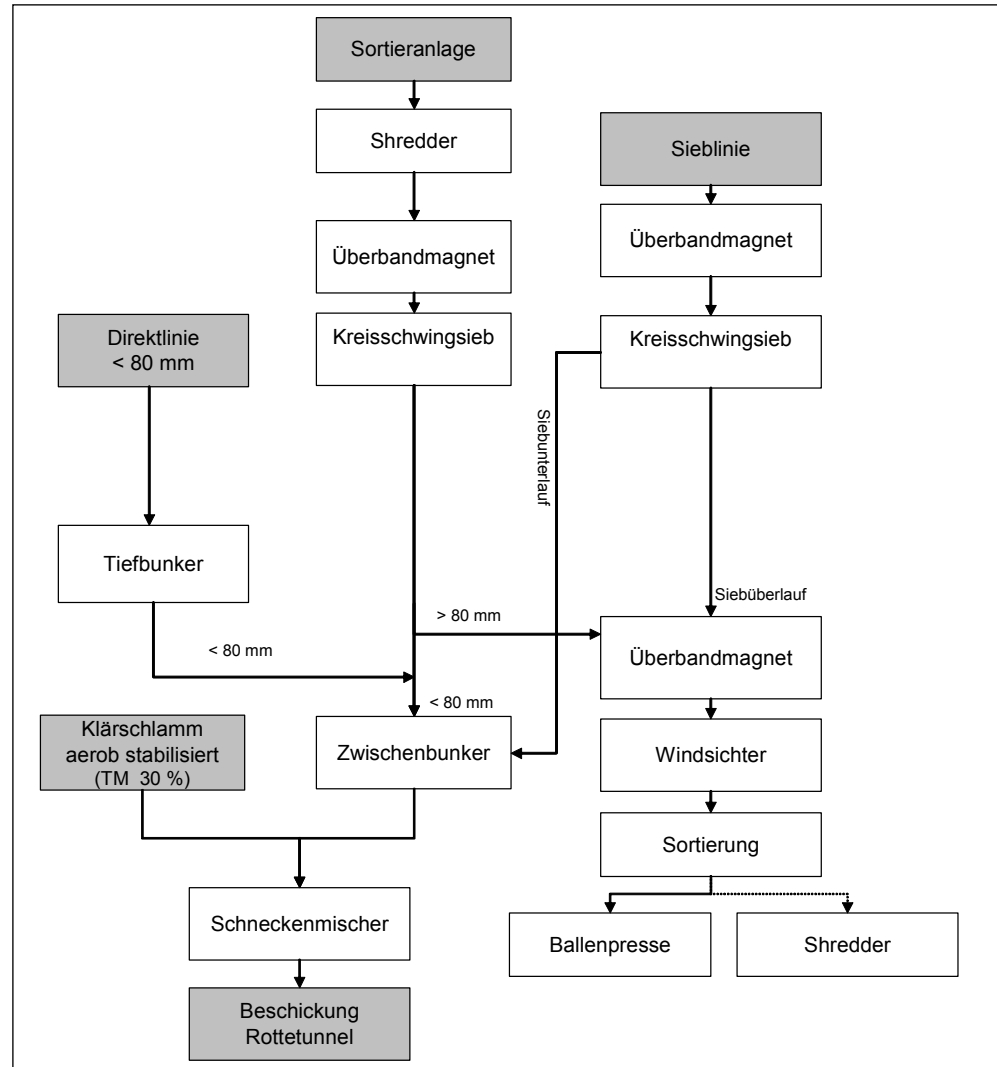


Abbildung 5: Verfahrensschema für die mechanische Aufbereitung.<sup>21</sup>

### Behandlung in der MBA-Anlage

- Kurzbeschreibung der Behandlung in der MBA-Anlage. Intensivrotte in zwei Rottegängen (4 Wochen) durch jahreszeitlich angepasste Rezepturen (Beregnung, Temperatur, Belüftung).
- Mechanische Konfektionierung zwischen der biologischen Behandlung. Die Schritte der mechanischen Behandlung umfassen Magnetabscheidung, Wirbelstromsichtung, Siebung sowie eine Querstromsichtung für den Siebüberlauf. Die Schwerfraktion aus der Zick-Zack-Sichtung wird im Sink-Schwimmscheider weiter getrennt und gemeinsam mit der < 10 mm Fraktion zur Fertigrotte im Nachrottetunnel aufgegeben. Die Schwerfraktion setzt sich im Wesentlichen aus Inertstoffen wie Keramik und Steine zusammen (Größtkorn rd. 80 mm).

<sup>21</sup>Das Verfahrensschema wurde gemäß Informationen beim Lokalaugenschein bei der MBA-Anlage erstellt (DENNER 2005).



Fraktionen nach der mechanischen Konfektionierung:

Heizwertreiche Leichtfraktion, Schwerfraktion, Eisen- und Nichteisen-Fraktion, feinkörniger Anteil für den 3. Rottegang.

- Fertigrotte im Nachrottetunnel (2–8 Wochen).

Input: Feinkörniger Anteil aus der mechanischen Konfektionierung (nach der Intensivrotte) und Schwerfraktion aus der Schwimm-Sinkabscheidung.

*Tabelle 12: Charakteristische Daten (Basis 2005) für MBA-Deponieoutput – Zeitpunkt Output aus der Fertigrotte (gerundet auf 2 sign. Stellen).*

Parameter	Mittelwert +/- Stabw. Anzahl (n = 19)
Trockenmasse	83 +/- 4 % Median: 84 %
Brennwert	6.000 +/- 600 kJ/kg Median: 6.200 kJ/kg
Inertstoffanteil	11 +/- 4 % Median: 13 %

- Zwischenlagerung auf Freifläche.

Das MBA-Deponieoutputmaterial (eingestellter Feuchtigkeitsgehalt: rd. 25 %) wird auf der Freifläche bis zur Deponierung zwischengelagert.

*Tabelle 13: Charakteristische Daten für MBA-Deponieoutput (Basis 2005) zum Zeitpunkt der Deponierung (gerundet auf 2 sign. Stellen).*

Parameter	Mittelwert +/- Stabw. Anzahl (n = 12)
Trockenmasse	80 +/- 5 % Median: 81 %
Brennwert	5.900 +/- 390 kJ/kg Median: 5.800 kJ/kg
Inertstoffanteil	13 +/- 2 % Median: 12 %

Der Output an Deponiefraktion (Datenbasis 2004) zur Ablagerung auf einer Massenabfalldeponie beträgt rd. 20.000 t/a.

**Output  
Deponiefraktion**

*Tabelle 14: Output aus der MBA-Anlage.*

Output	(Datenbasis 2004)
Deponiefraktion	28 %
Heizwertreiche Fraktion	27 %
Rest (Rotteverlust, Wertstoffe, Lagerbestände) <sup>22</sup>	45 %

<sup>22</sup>Bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen, die Klärschlamm mitbehandeln, beträgt das Verhältnis von Deponiefraktion zu heizwertreicher Fraktion zu Rotteverlust im Jahr 2005 für 13 bilanzierte MBA-Anlagen (insgesamt 16) im Durchschnitt etwa rd. 30 : 45 : 23, der Rest entfällt auf die Anteile der stofflichen Verwertung und der Herstellung von Müllkompost (NEUBAUER & ÖHLINGER 2006).



Der Rotteverlust durch den Abbau von organischen Substanzen durch Mikroorganismen während der biologischen Behandlung dürfte bei gegenständlicher Anlage etwa 30 % betragen.

### 3.2 Probenahme und Probenaufbereitung vor Ort

Die Probenahme erfolgte im Zeitraum 10. bis 11. Oktober 2005 – es konnten sämtliche geplante Proben gemäß Probenahmeplan realisiert werden.

Insgesamt waren vereinbarungsgemäß fünf Wochenäquivalente für die Probenahme auf dem Zwischenlager (Freifläche) vorgesehen. Der abgelagerte Haufen (5 Wochenäquivalente) an MBA-Deponieoutput umfasste laut Angaben des Anlagenbetreibers rd. 1.800 t (Masse von 5 Wochenäquivalenten zu je 360 t). Die Schüttdichte des Materials wurde vor Ort zu 0,7 kg/l bestimmt.

#### **Subpopulationen für die Probenahme**

Der gesamte Haufen wurde in fünf Bereiche (rd. 360 t) eingeteilt und entsprechend der Entstehungsgeschichte der Ablagerung wurden drei Wochenäquivalente für die Beprobung ausgewählt (Wochenäquivalent Nr. 1, Wochenäquivalent Nr. 3 und Wochenäquivalent Nr. 5).

Die längste Lagerungsdauer auf der Freifläche weist Wochenäquivalent Nr. 1 auf.

In nachfolgender Tabelle 15 finden sich Angaben zur ungefähren Rottedauer der ausgewählten Teilmengen (Wochenäquivalente) zum Zeitpunkt der Probenahme.<sup>23</sup>

*Tabelle 15: Auswahl von Subpopulationen für die Probenahme von MBA-Output.*

<b>Subpopulation</b>	<b>Rottedauer zum Zeitpunkt der Probenahme</b>
Wochenäquivalent Nr. 1	13 Wochen
Wochenäquivalent Nr. 3	11 Wochen
Wochenäquivalent Nr. 5	9–10 Wochen

Die Verteilung der Proben innerhalb der Wochen- und Tagesäquivalente wurde durch Unterstützung mittels Großgerät (Löffelbagger) umgesetzt. Die Beprobungsbereiche wurden durch die Beprobung komplett umgewälzt – die Stichproben für das MBA-Modell wurden aus dem Material unmittelbar nach Entleeren der Löffelbagger-schaufel gezogen. Die Stichproben für das Stat-Modell wurden aus den qualifizierten Stichproben für das MBA-Modell gezogen. Dafür wurden die qualifizierten Stichproben auf einer Plane aufgeschüttet, homogenisiert und mittels Handschaufel beprobt.

Insgesamt wurden drei Wochenäquivalente aus den vorhandenen fünf Wochenäquivalenten zur Beprobung ausgewählt und nachfolgend chemisch-analytisch charakterisiert.

#### **Charakterisierte Abfallmenge**

Die im Zuge der Studie charakterisierte Gesamtmenge der MBA-Outputfraktion beträgt etwa 1.080 t (3 Wochenäquivalente zu je 360 t).

<sup>23</sup>Das Material wurde bis zur Gesamtbeurteilung zum Zwecke der Deponierung auf der Massenabfalldeponie noch einen weiteren Monat auf dem Zwischenlager zur Nachrotte gelagert.



Pro Wochenäquivalent (rd. 360 t) wurden insgesamt 54 Stichproben zu 50 l gezogen, davon je 18 Stichproben innerhalb eines Tagesäquivalentes (etwa 72 t) verteilt.

Nachfolgend werden die relevanten Arbeitsschritte im Zuge der Beprobung beschrieben und die Mindestmengen zur Umsetzung des Probenahmeplanes für beide Modelle angegeben.

Eine graphische Übersicht zur Probenahme- und Probenteilung vor Ort wird im Anschluss in Abbildung 6 dargestellt.

### **Beprobung eines Tagesäquivalentes und Herstellung von Tagesmischproben für beide Modelle (MBA-Modell und Stat-Modell)**

- Verteilung von 18 Stichproben STP zu je 50 l innerhalb eines Tagesäquivalentes
  - Mengenbezug rd. 72 t.
- Herstellung einer qualifizierten Stichprobe QSTP aus je drei Stichproben zu je 50 l
  - insgesamt 150 l je QSTP.
- Homogenisierung der qualifizierten Stichproben QSTP durch Umschaufeln
  - insgesamt 6 QSTP pro Tagesäquivalent
  - Mengenbezug rd. 72 t.
- Entnahme von 2 l je qualifizierter Stichprobe QSTP für die Herstellung der Tagesmischprobe gemäß Stat-Modell
  - Bezeichnung TMP Stat
  - insgesamt 12 l TMP Stat.
- Neuerliche Entnahme von 2 l je qualifizierter Stichprobe QSTP pro Tagesäquivalent für die Herstellung der Wochenmischprobe WMP Stat
  - Bezeichnung WMP Stat
  - insgesamt 36 l WMP Stat.
- Entnahme von je 50 l qualifizierter Stichprobe QSTP für die Herstellung einer Sammelprobe für das Tagesäquivalent
  - insgesamt 300 l Sammelprobe.
- Homogenisierung der Sammelprobe für das Tagesäquivalent durch Umschaufeln.
- Probenteilung der Sammelprobe für das Tagesäquivalent durch fraktioniertes Schaufeln
  - Gewinnung von drei Teilproben zu je 50 l für:
    - Tagesmischprobe TMP MBA
    - Tagesmischprobe TMP MBA für Stabilitätsparameter
    - Tagesmischprobe TMP MBA für die Herstellung einer Wochenmischprobe WMP MBA.

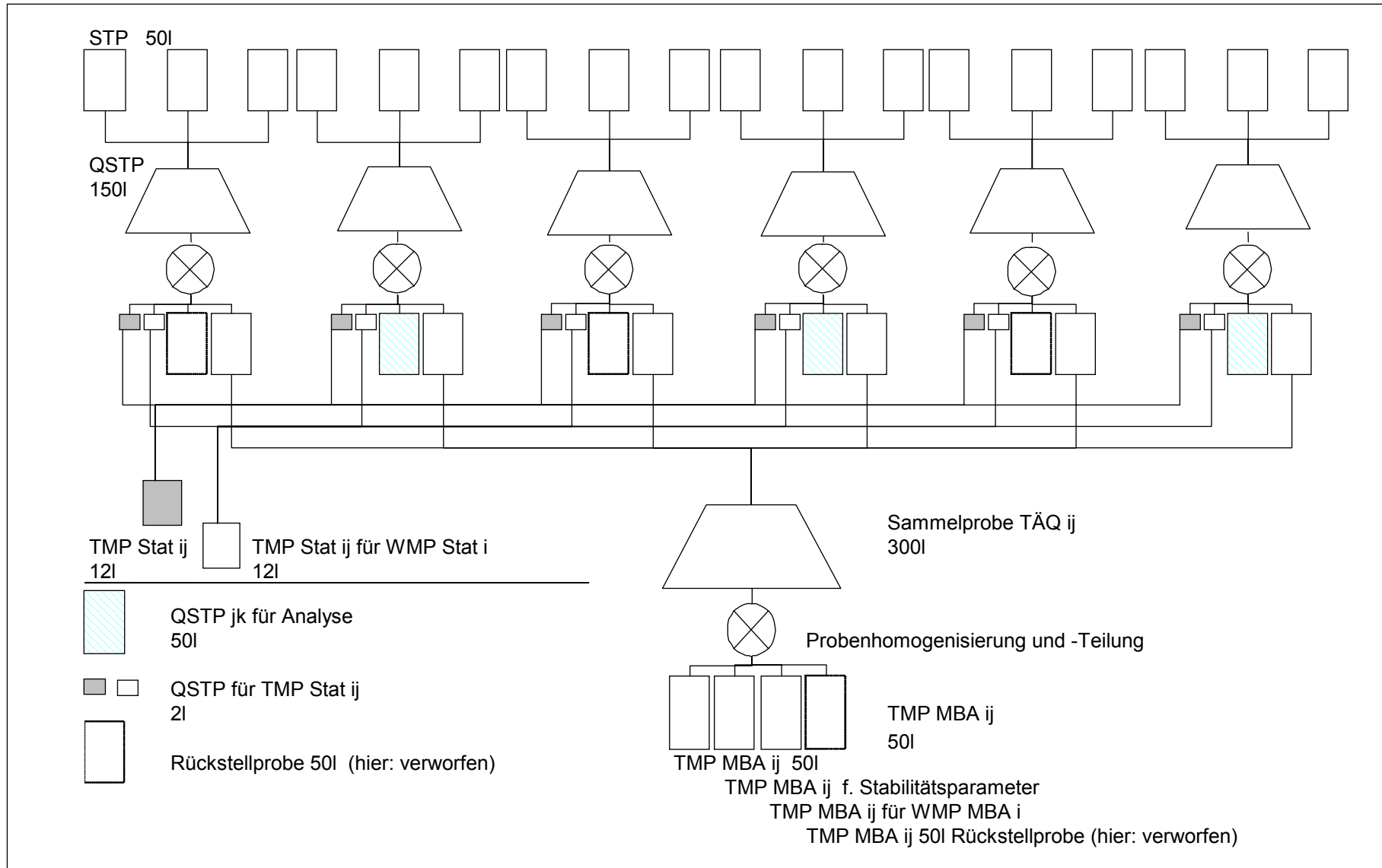


Abbildung 6: Darstellung der Probenahme- und Probenteilungsschritte vor Ort (am Beispiel eines Tagesäquivalentes).





### Herstellung von Wochenmischproben für das MBA-Modell

Die jeweils drei getrennten Abfüllungen (je 50 l) der Tagesmischproben zu einem Wochenäquivalent werden vereinigt und homogenisiert.

Die Probenteilung erfolgt mittels fraktioniertem Schaufeln zur Gewinnung der

- Wochenmischprobe WMP MBA,
- Wochenmischprobe WMP MBA für Stabilitätsparameter.

Die weitere Probenteilung der Wochenmischprobe WMP MBA in zwei Parallelproben A und B erfolgt im Labor.

### Herstellung von Wochenmischproben für das Stat-Modell

Die jeweils drei getrennten Abfüllungen (je 12 l) der Tagesmischproben zu einem Wochenäquivalent werden vereinigt und homogenisiert.

- Wochenmischprobe WMP Stat.

Die weitere Probenteilung der Wochenmischprobe WMP Stat in zwei Parallelproben A und B erfolgt im Labor.

### Qualifizierte Stichproben

Zur Abschätzung der Variabilität innerhalb der Tagesäquivalente gemäß MBA-Modell werden von den ersten beiden Tagesäquivalenten zufällig je drei qualifizierte Stichproben (QSTP) zu je 50 l ausgewählt und für die getrennte Aufarbeitung und Analyse bereitgestellt.

- 3 QSTP zu TÄQ 1 und 3 QSTP zu TÄQ 2,
- Aliquote zu 50 l.

*Tabelle 16: Probenanzahl und Angaben zur Feldprobe zur Charakterisierung der MBA-Outputfraktion nach zwei Modellansätzen.*

Probenart	Probenanzahl je Modell	Volumen (Masse) der Feldprobe	
		MBA-Modell	Stat-Modell
Tagesmischproben	9	je 900 l (630 kg)	je 12 l (8 kg)
Wochenmischproben	3	je 2.700 l (1.890 kg)	je 36 l (24 kg)

Detaillierte Angaben zu den aktuellen Laborprobenmassen (Eingangsdaten) und die Zuordnung der Laborproben zur betreffenden Subpopulation (Wochenäquivalent/ Tagesäquivalent) werden in Kapitel 3.4.1 dargestellt.

**Angaben zu  
Feldproben**

### Probenaufbereitung vor Ort

Zur Veranschaulichung der Probenahme sowie Probenhomogenisierungs- und Teilschritte vor Ort dient das schematische Ablaufdiagramm (siehe Abbildung 6). Eine Fotodokumentation zur Probennahmesituation kann man den nachfolgenden Seiten entnehmen.

### 3.3 Fotodokumentation



*Dimensionen: rechteckige Grundfläche rd. 21,5 m x 32 m, Höhe rd. 3,5–4 m.*

*Abbildung 7: Fotodokumentation – Blick auf den abgelagerten Haufen.*



*Abbildung 8: Fotodokumentation Probenahmegerät Löffelbaggerschaufel.*





Abbildung 9: Probenahmebereich für Wochenäquivalent Nr. 1.



Abbildung 10: Probenahmebereich Wochenäquivalent Nr. 1 (Schurf bis zur Grundfläche).





Abbildung 11: Probenahmebereich Wochenäquivalent Nr. 1 (Schürfe Bild links für Tagesäquivalent 1 und Bild Mitte für Tagesäquivalent 2 mit Löffelbagger).

### 3.4 Probenaufbereitung im Labor

#### 3.4.1 Eingangsdaten und Laborprobenzuordnung zu den beprobten Teilmengen

In den nachfolgenden Tabellen werden die Eingangsdaten zu den vor Ort hergestellten Tagesmischproben (TMP  $j$ ,  $j = 1, \dots, 9$ ) und Wochenmischproben (WMP  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$ ) dargestellt.

**Laborproben –  
Eingangsdaten**

Die getrennt erfassten qualifizierten Stichproben (QSTP  $jk$ ) dienen für die Abschätzung der Variabilität innerhalb der Tagesäquivalente.



Tabelle 17: Tagesmischproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation.

**Probenliste**

Labornummer	Bezeichnung	Zuordnung zu jeweiliger Subpopulation	Probenmenge [l]
S 0510 3620	TMP Stat 1	WÄQ Nr. 1, TÄQ 1	11
S 0510 3621	TMP Stat 2	WÄQ Nr. 1, TÄQ 2	10
S 0510 3622	TMP Stat 3	WÄQ Nr. 1, TÄQ 3	12
S 0510 3623	TMP Stat 4	WÄQ Nr. 3, TÄQ 1	10
S 0510 3624	TMP Stat 5	WÄQ Nr. 3, TÄQ 2	10
S 0510 3625	TMP Stat 6	WÄQ Nr. 3, TÄQ 3	12
S 0510 3626	TMP Stat 7	WÄQ Nr. 5, TÄQ 1	11
S 0510 3627	TMP Stat 8	WÄQ Nr. 5, TÄQ 2	12
S 0510 3628	TMP Stat 9	WÄQ Nr. 5, TÄQ 3	11
S 0510 3629	TMP MBA 1	WÄQ Nr. 1, TÄQ 1	45
S 0510 3630	TMP MBA 2	WÄQ Nr. 1, TÄQ 2	44
S 0510 3631	TMP MBA 3	WÄQ Nr. 1, TÄQ 3	42
S 0510 3632	TMP MBA 4	WÄQ Nr. 3, TÄQ 1	35
S 0510 3633	TMP MBA 5	WÄQ Nr. 3, TÄQ 2	37
S 0510 3634	TMP MBA 6	WÄQ Nr. 3, TÄQ 3	36
S 0510 3635	TMP MBA 7	WÄQ Nr. 5, TÄQ 1	47
S 0510 3636	TMP MBA 8	WÄQ Nr. 5, TÄQ 2	47
S 0510 3637	TMP MBA 9	WÄQ Nr. 5, TÄQ 3	48

**Verwendete Abkürzungen:**

TMP Tagesmischprobe

WMP Wochenmischprobe

QSTP Qualifizierte Stichprobe

WÄQ Wochenäquivalent

TÄQ Tagesäquivalent

Zusätze: Stat bezieht sich auf Probenmengen gemäß prCEN/TR 15310-1

MBA bezieht sich auf Probenmengen gemäß MBA-Modell-Vorgaben.

Tabelle 18: Wochenmischproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation.

**Probenliste**

Labornummer	Bezeichnung	Zuordnung zu jeweiliger Subpopulation	Probenmenge [l]
S 0510 3638	WMP Stat 1	WÄQ Nr. 1	35
S 0510 3639	WMP Stat 2	WÄQ Nr. 3	33
S 0510 3640	WMP Stat 3	WÄQ Nr. 5	35
S 0510 3641	WMP MBA 1	WÄQ Nr. 1	37
S 0510 3642	WMP MBA 2	WÄQ Nr. 3	39
S 0510 3643	WMP MBA 3	WÄQ Nr. 5	46



**Probenliste** Tabelle 19: Qualifizierte Stichproben – Probenmengen und Zuordnung zur jeweiligen Subpopulation (ausschließlich für MBA-Modell).

Labornummer	Bezeichnung QSTP jk	Zuordnung zu jeweiliger Subpopulation	Probenmenge [l]
S 0510 3644	QSTP 1-2	WÄQ Nr. 1, TÄQ 1	39
S 0510 3645	QSTP 1-4	WÄQ Nr. 1, TÄQ 1	39
S 0510 3646	QSTP 1-6	WÄQ Nr. 1, TÄQ 1	40
S 0510 3647	QSTP 2-2	WÄQ Nr. 1, TÄQ 2	44
S 0510 3648	QSTP 2-3	WÄQ Nr. 1, TÄQ 2	45
S 0510 3649	QSTP 2-4	WÄQ Nr. 1, TÄQ 2	45

#### Verwendete Abkürzungen:

TMP	Tagesmischprobe
WMP	Wochenmischprobe
QSTP	Qualifizierte Stichprobe
WÄQ	Wochenäquivalent
TÄQ	Tagesäquivalent

Zusätze: Stat bezieht sich auf Probenmengen gemäß prCEN/TR 15310-1

MBA bezieht sich auf Probenmengen gemäß MBA-Modell-Vorgaben.

### 3.4.2 Homogenisierung, Teilung und Probenaufarbeitung im Labor

#### **Probenteilung im Labor**

Sämtliche Laborproben (siehe Tabelle 17 bis Tabelle 19) wurden zunächst auf einer Folie durch mehrfaches Umschaukeln homogenisiert. Im Anschluss erfolgte die Probenteilung mittels Riffelteiler oder fraktioniertem Schaufeln, wie in Abbildung 12 bis Abbildung 14 für die zugehörigen Proben dargestellt.

#### **MBA-Modell**

Die Proben TMP MBA, WMP MBA und QSTP wurden mittels Riffelteiler in zwei Teilproben geteilt (Mindestmengenvorgabe: 10 kg).

#### **Probenaufarbeitung für die Eluatanalysen**

Aus den geteilten Fraktionen der Originalproben wurden mind. 300 g für die Bestimmung der Trockenmasse bei 105 °C (Bezug Originalfraktion) entnommen. Für die Eluatherstellung wurden von ausgewählten Originalproben 0,126 kg (bezogen auf die Trockenmasse) mit 1,25 l Reinstwasser versetzt (entsprechend einem L/S = 10 l/kg TM) und die Elution gemäß ÖNORM EN 12457-4 durchgeführt.

Beide Teile der WMP MBA-Proben wurden eindeutig bezeichnet (Zusatz A bzw. B) und getrennt gemäß Abbildung 15 bis zur Analysenprobe aufgearbeitet.

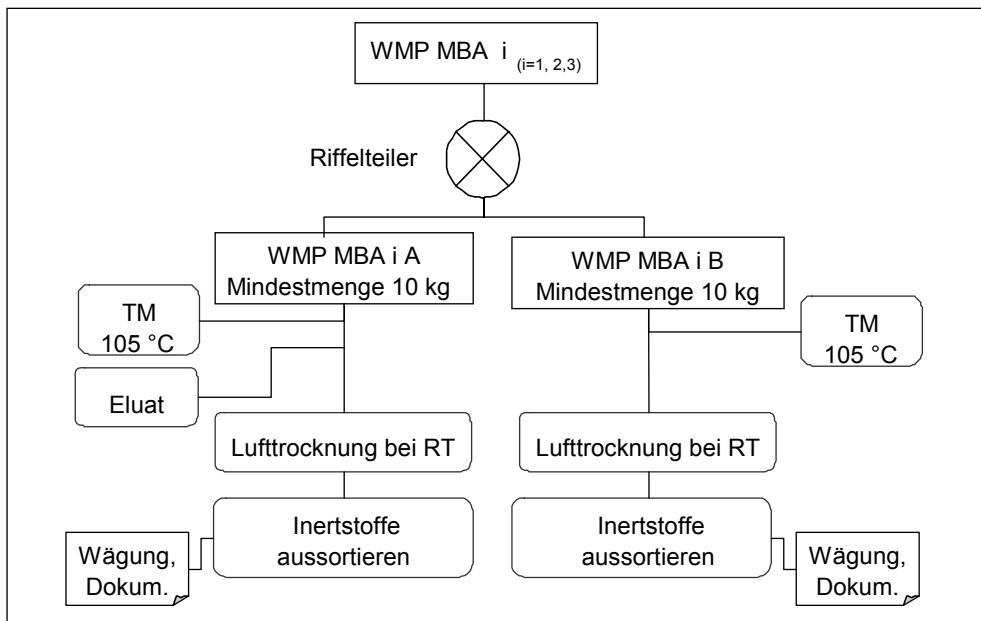


Abbildung 12: Probenteilung der Wochenmischproben (MBA-Modell).

Wie in Abbildung 13 dargestellt, wurde von sämtlichen TMP MBA- und QSTP-Proben ein Teil zur weiteren Aufarbeitung luftgetrocknet<sup>24</sup>, der zweite Teil im Kunststoffstoffsack tiefgefroren (Rückstellprobe).

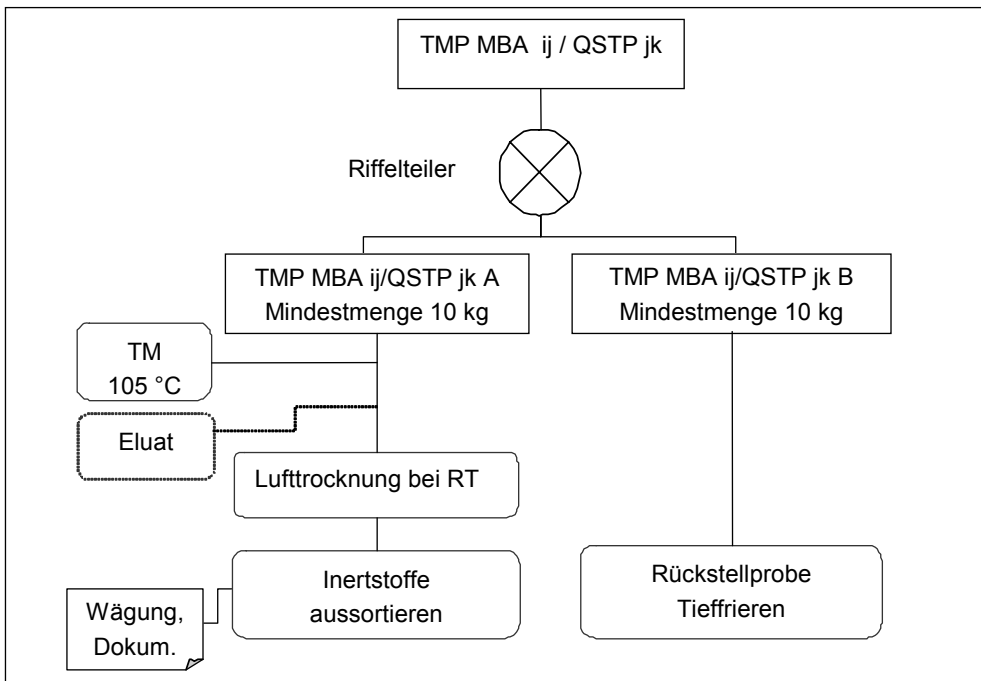


Abbildung 13: Probenteilung der Tagesmischproben und Qualifizierten Stichproben (MBA-Modell).

<sup>24</sup>Die Lufttrocknung dient hier lediglich zur Erzielung einer mit Sieben und Scheidmühle bearbeitbaren ausreichend trockenen Probe und wird nicht bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt. Es erfolgt eine Massenbilanzierung des Probengewichtes von der Originalprobe über die Lufttrocknung bis zu den Stufen der weiteren Bearbeitung. Der Bezug Trockenmasse wird durch Trocknung eines Aliquotes der luftgetrockneten Proben bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C zum Zeitpunkt der Bestimmung der Parameter durchgeführt.

**Stat-Modell** Sämtliche Proben TMP Stat wurden ohne Teilung bis zur weiteren Bearbeitung luftgetrocknet (rd. 8 kg Probenmenge). Die Probenteilung der Mischproben WMP Stat ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Mischproben wurden nach fraktioniertem Schaufeln im Labor auf einer Folie in drei Teile geteilt – zwei Teile (Bezeichnung: A und B) wurden getrennt – gemäß Abbildung 15 dargestellt – weiter aufbereitet. Der Rest wurde verworfen.

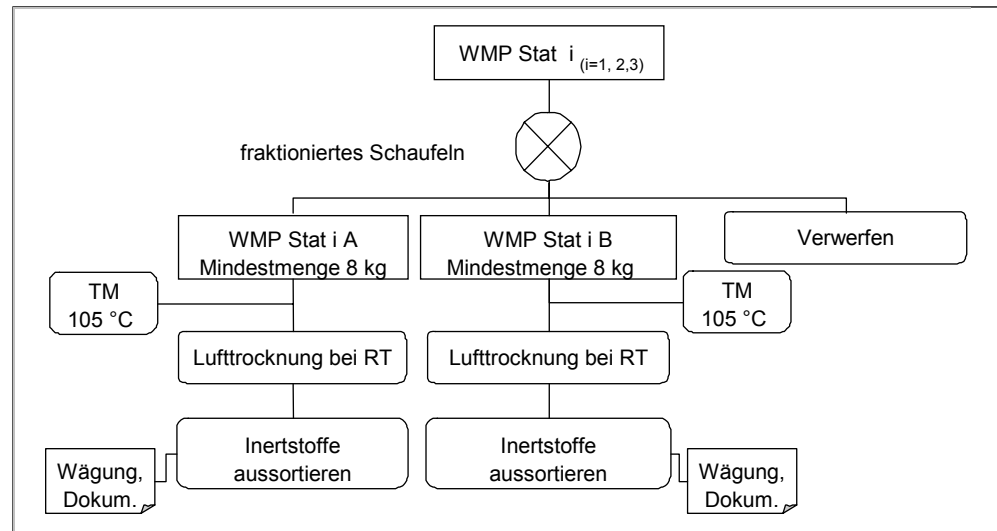


Abbildung 14: Probenteilung der Mischproben – Stat-Modell Ansatz gemäß prCEN/TR 15310-1.

**Probenaufarbeitung für die Leitparameter im Feststoff**

Die Abbildung 15 veranschaulicht das Probenaufarbeitungsschema für sämtliche Proben nach Aussortierung der Inertanteile (Mittelwert aus neun Tagesmischproben: 22 +/- 2 % Steine, Glas, Keramik) und nach Abtrennung von metallischen Bestandteilen der Probe im Zuge der mehrstufigen Aufarbeitung.

**MBA-Modell Stat-Modell**

Nachfolgende Anteile wurden getrennt erfasst: vereinzelte Batterien (überwiegend Alkali-Mangan Batterien „Alkaline“), vereinzelte kurze Kabelteile (Kupferlitzen), Kugelschreiberminen, Kronenkorken, Stahlschrauben, Leiterplattenteile.<sup>25</sup>

<sup>25</sup>Zur Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens wurde die Probenvorbereitung gemäß gängiger Praxis durchgeführt: Metallanteile wie z. B. Batterien, Kabelteile und Stahlschrauben wurden im Zuge der Aufarbeitung getrennt erfasst – die anteiligen Schadstoffkonzentrationen im Rahmen der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt.



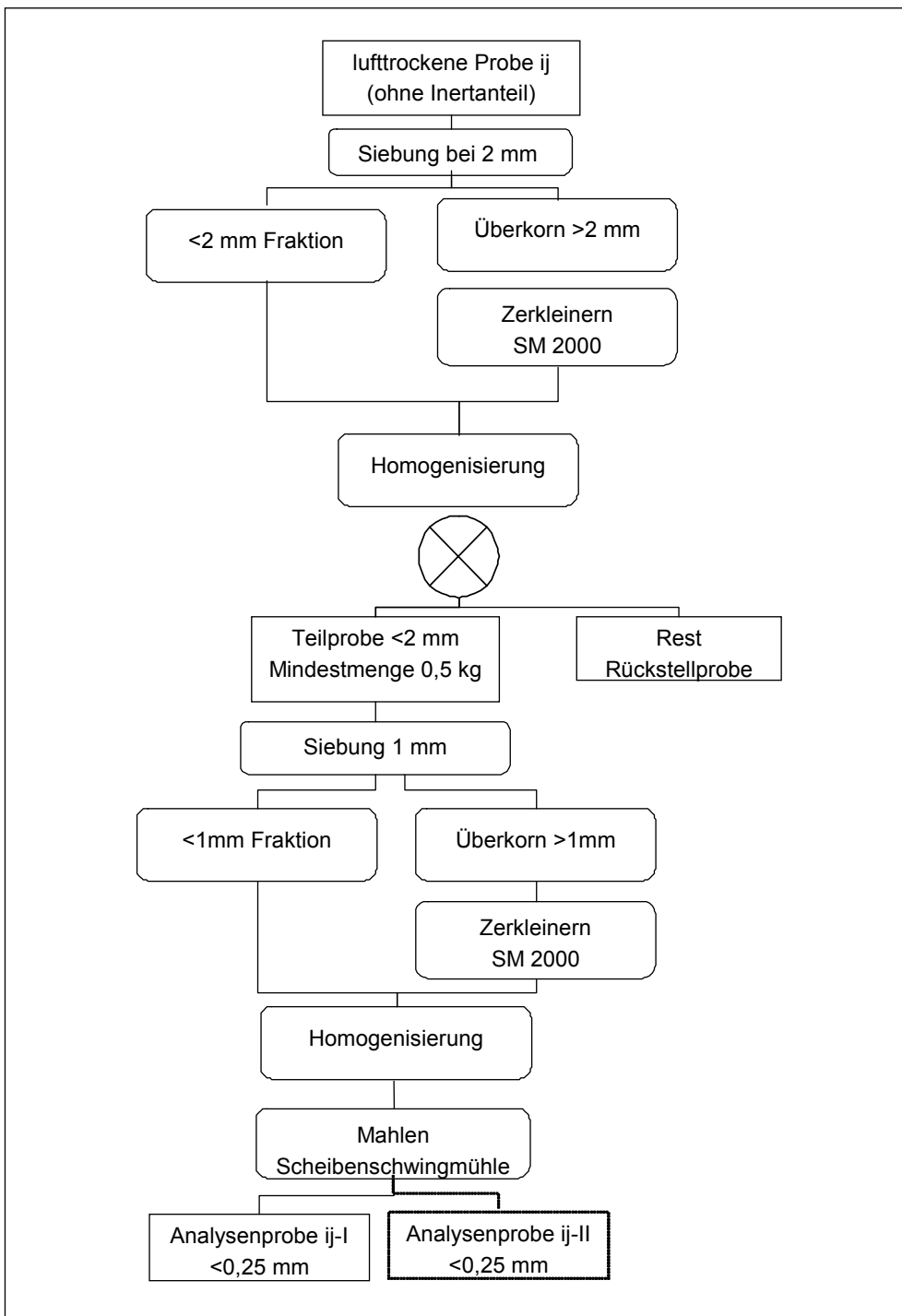


Abbildung 15: Probenvorbereitung (MBA-Modell und Stat-Modell Ansatz gemäß prCEN/TR 15310-1).

Insgesamt wurden 36 Proben für die Leitparameter Brennwert und Gehalte im Feststoff (Metalle und Arsen) wie in Abbildung 15 dargestellt, getrennt aufgearbeitet.

### 3.5 Bestimmung des nominellen Größtkorns

Zur Bestimmung des nominellen Größtkorns ( $D_{95}$ ) wurden 12,1 kg MBA-Deponieoutput gesiebt. Da die Siebung lediglich die Bestimmung des nominellen Größtkorns  $D_{95}$  sowie die Abschätzung der Breite der Korngrößenverteilung zum Ziel hatte, wurden ausgewählte Prüfsiebe mit höheren Abstufungen (kleinstes Sieb: 0,5 mm Maschenweite) verwendet – siehe nachfolgende Tabelle (Daten ungerundet).

Tabelle 20: Datentabelle zur Bestimmung des nominellen Größtkorns  $D_{95}$ .

Maschenweite $x$	$\Delta x$	mittlere Maschenweite	Sieb- rückstand	Sieb- durchgang	Verteilungs- dichte	Verteilungs- summe
mm	mm	mm	g	g	$q(x)$	$Q(x)$
31,5			291	11.816		0,98
10	21,5	20,75	1.960	9.856	0,008	0,81
8	2	9	555	9.301	0,023	0,77
2	6	5	3.469	5.832	0,048	0,48
0,5	1,5	1,25	3.222	2.607	0,177	0,22
0	0,5	0,25	2.607		0,431	

$Q(31,5) = 0,98$  in obiger Tabelle bedeutet, dass 98 % der Gesamtprobe eine Korngröße kleiner oder gleich 31,5 mm aufweisen.  $q(0,5) = 0,177$  bedeutet, dass der Anteil der Gesamtprobe des Korngrößenbereiches zwischen 0,5 mm und 2 mm (mittlere Maschenweite 1,25 mm) 17,7 % ausmacht – der Anteil der Gesamtprobe mit einer Korngröße  $< 0,5$  mm beträgt 43,1 %.

#### 3.5.1 Verteilungsdichtefunktion

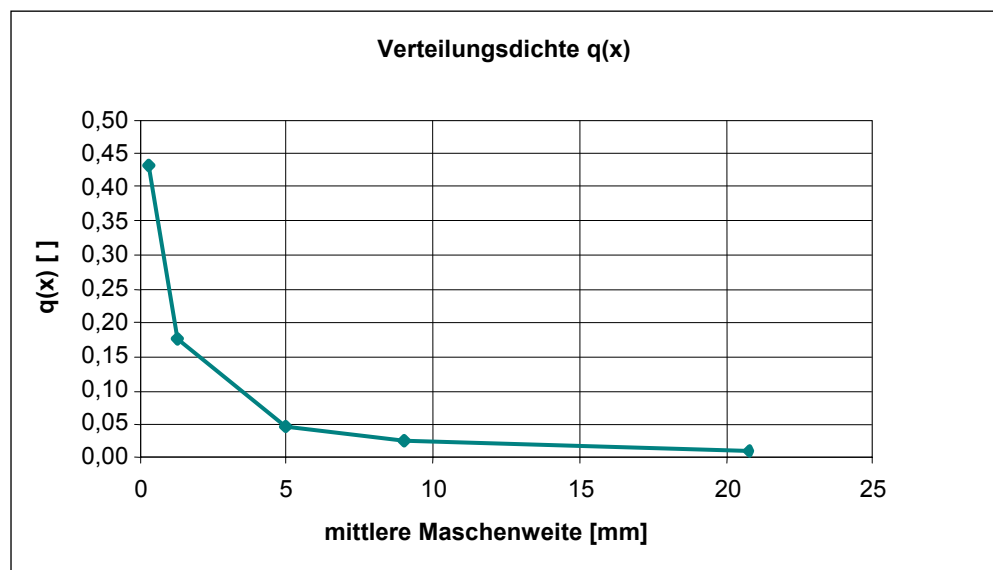


Abbildung 16: Darstellung der Verteilungsdichtefunktion.

Die Auftragung der Verteilungsdichte  $q(x)$  erfolgt gegen die mittlere Maschenweite (siehe Abbildung 16). Für die Darstellung wird der Mengenanteil, der in ein bestimmtes Partikelgrößenintervall fällt, auf die Intervallbreite bezogen.

### 3.5.2 Verteilungssummenfunktion

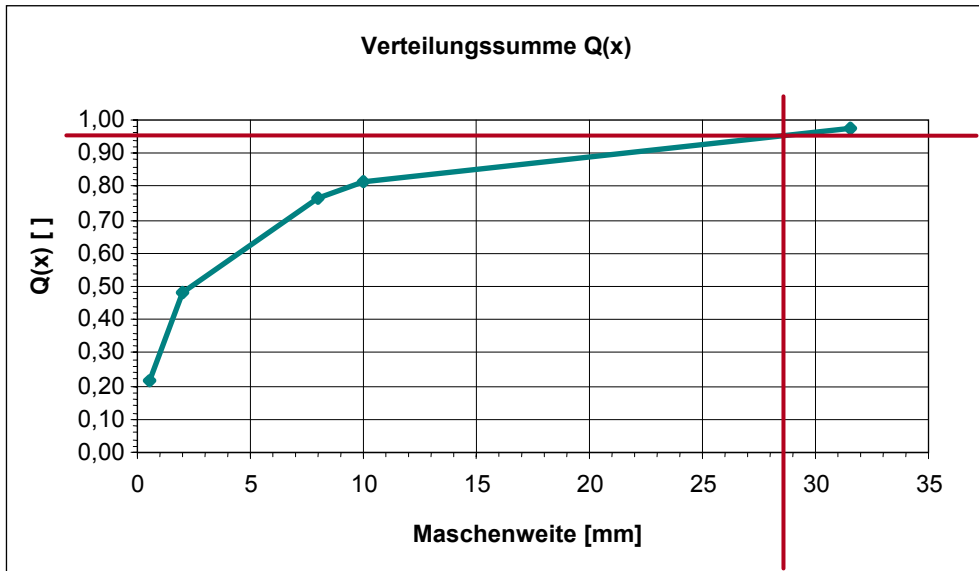


Abbildung 17: Darstellung der Verteilungssummenfunktion.

Die Auftragung der Verteilungssumme  $Q(x)$  erfolgt über die obere Maschenweite (siehe Abbildung 17). Die Verteilungssumme gibt den Mengenanteil der Partikel an, die kleiner oder höchstens gleich einer bestimmten Partikelgröße sind. Die Mengenanteile werden durch Wägung bestimmt.

### 3.5.3 Auswertung zur Bestimmung des nominellen Größtkorns

Gemäß Abbildung 17 liegt das nominelle Größtkorn (95 Perzentil der Korngrößenverteilungssummenfunktion) im Bereich von  $28,5 \pm 1$  mm (rd. 30 mm). Es liegt eine breite Partikelverteilung vor ( $D_{95}: D_{05} = 4 : 1$ ).

Die Berechnungen der erforderlichen Mindestmengen für das ermittelte Größtkorn von rd. 30 mm werden in Tabelle 7: Mindestmengen für Brennwert und Schwermetalle nach prCEN/TR 15310-1 und Tabelle 9: Informative Gegenüberstellung der Mindestmengen dargestellt.

**Schlussfolgerung  
zur Mindestmenge**

## 3.6 Stabilitätsparameter Atmungsaktivität und Gasspendensumme

Die Bestimmungen der Stabilitätsparameter wurden an der Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft durchgeführt.



**Stabilitätsparameter** Die Stabilitätsparameter dienen zur Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen unter aeroben ( $AT_4$ ) und anaeroben ( $GS_{21}$ ) Testbedingungen. Da bei der Bestimmung der Gasspendensumme höhere Probenmengen (hier ca. 2,5 kg FM) als bei der Bestimmung der Gasbildung im Gärtest eingesetzt werden können, bietet die Bestimmung der  $GS_{21}$  besonders bei inhomogeneren Materialien Vorteile.

#### **Atmungsaktivität nach einer Versuchsdauer von 4 Tagen ( $AT_4$ )**

Die Bestimmung der Atmungsaktivität erfolgte gemäß ÖNORM S 2027-1 (Vornorm) mit der nachstehend angegebenen Modifizierung.

Probenvorbehandlung: Die Originalprobe (< 10 mm + Schwerfraktion) wurde auf 20 mm nachgesiebt (der Siebüberlauf > 20 mm wurde bei der Bestimmung nicht berücksichtigt). Pro Ansatz wurden je ca. 40 g FM Probe < 20 mm für die Bestimmungen der Atmungsaktivität verwendet (n = 2).

Modifizierung: Die Proben wurden mittels Faustprobe optimal befeuchtet (statt Filternutschenmethode gemäß ÖNORM S 2027-1) und durch dreistündiges Stehenlassen in Aluminiumtassen belüftet. Nach rd. 24 Stunden Versuchsdauer wurden zur Entfernung von möglicherweise gebildeten hemmenden Stoffwechselprodukten die Sapromatreaktionsgefäße geöffnet, das Probenmaterial erneut für rd. 30 Minuten in einer Aluminiumtasse an der Luft stehengelassen und anschließend wieder eingebaut.

Nachträgliche Untersuchungen ohne Vorbelüften und Öffnen des Gefäßes zeigten bei den untersuchten Proben der Anlage Halbenrain keinen Unterschied zu der angeführten Alternativmethode.

Die Inertanteile (< 20 mm) wurden normgemäß (ÖNORM S 2027-1) bei der Auswertung der Atmungsaktivität (nach beiden Methoden) nicht berücksichtigt.

#### **Gasspendensumme im Inkubationsversuch ( $GS_{21}$ )**

Die Bestimmung der Gasspendensumme im Inkubationsversuch erfolgte gemäß ÖNORM S 2027-2 (Vornorm) nach unten angeführter Modifizierung.

Probenvorbehandlung: Die Originalprobe (< 10 mm + Schwerfraktion) wurde ohne Absieben auf < 20 mm auf maximale Wasserkapazität befeuchtet. Pro Ansatz wurden je 2,5 kg FM des befeuchteten Materials eingesetzt (n = 2).

Modifizierung: Die Versuchseinheit wurde vor dem Einsetzen ins Wasserbad mit Stickstoff gespült, um den in der Porenluft der Probe bzw. im Versuchsgefäß befindlichen Sauerstoff zu verdrängen. Dadurch werden im Versuchsansatz rascher anaerobe Abbaubedingungen – und damit eine Verkürzung der lag-Phase – erreicht. Ohne Spülen mit Stickstoff wird der enthaltene Sauerstoff zunächst zum Teil durch aeroben Abbau verbraucht. Nach Beendigung des aeroben Abbaus wird der Restsauerstoff in weiterer Folge nach und nach durch das gebildete Deponiegas verdünnt. Besonders bei wenig reaktiven Proben (MBA-Output) kann es infolge der geringen Gasbildung einige Tage dauern, bis das System sauerstofffrei ist.



### 3.6.1 Auswertung der Wiederholansätze

Von jeder Mischprobe (TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 bis 3) wurden jeweils Doppelansätze zur Bestimmung der Stabilitätsparameter herangezogen.

Die nachfolgende Tabelle 21 zeigt die nach Normierung der Daten auf den jeweiligen Mittelwert der 12 Mischproben (TMP  $j$  ( $j = 1, \dots, 9$ ) bzw. WMP  $i$  ( $i = 1, \dots, 3$ )) erhaltene mittlere relative Standardabweichung („mittlere RSD I, II“), berechnet aus allen 12 Doppelansätzen.

Um Informationen betreffend des Bereiches der relativen Standardabweichungen der jeweils zwei Bestimmungen zu erhalten, werden zusätzlich die kleinsten Standardabweichungen als Minima („Min RSD I, II“) und die größten Standardabweichungen als Maxima („Max RSD I, II“) der Doppelansätze für 12 unterschiedliche Mischproben angegeben.

*Tabelle 21: Relative Wiederholstandardabweichungen für je zwei Bestimmungen der behandelten Originalproben.*

Parameter	Einheit	mittlere RSD I, II	Min RSD I, II	Max RSD I, II	Anzahl der unabhängigen Ansätze (n)
AT <sub>4</sub>	%	7	1	20	12
GS <sub>21</sub>	%	5	0,4	11	12

Die angegebenen Standardabweichungen berücksichtigen die Komponenten Probeneinwaage, Analyse und Heterogenität der Probe.

### 3.6.2 Auswertung der Tages- und Wochenmischproben

Die Auswertung der Atmungsaktivität und der Gasspendensumme für sämtliche Tagesmischproben und Wochenmischproben wird nachfolgend dargestellt (siehe Tabelle 22 bis Tabelle 27).

Die graphischen Verläufe der Atmungsaktivität, Gasspende und Gasspendensumme finden sich unter Kapitel 3.6.3 und 3.6.4.



Tabelle 22: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 1 bis 3) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 1) – WG, AT<sub>4</sub>.

	Einheit	TMP MBA 1	TMP MBA 2	TMP MBA 3	Mittelwert TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
WG (Originalprobe, nach Shredder)	% FM	18,2	17,7	16,4	17,4	17,4
Atmungsaktivität Originalprobe <sup>26</sup>						
Einbauwassergehalt	% FM	35,8	35,2	35,4	34,5	37,5
AT <sub>4</sub> / AT <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /g TM	8,1/ 13,5	7,4/ 12,2	7,4/ 12,8	7,6/ 12,8	7,8/ n.b.
AT <sub>4</sub> „lag-Phase“	Stunden	4	5	4	–	7
AT <sub>4</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	2,8	4,0	1,6	2,6 <sup>1)</sup>	0,6

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %)

n.b. nicht bestimmt

Tabelle 23: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 1 bis 3) und Wochenmischprobe (WMP MBA 1) – GS<sub>21</sub>.

	Einheit	TMP MBA 1	TMP MBA 2	TMP MBA 3	Mittelwert TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
Gasspendensumme Originalprobe (< 10 mm + Schwerfraktion < 20 mm)						
Einbauwassergehalt	% FM	39,6	42,8	44,2	42,2	41,7
GS <sub>21</sub> (Einzelwerte)	NI/kg TM	11,0/ 11,5	14,6/ 15,2	19,5/ 18,9	–	13,6/ 13,9
GS <sub>21</sub> (Mittelwerte)	NI/kg TM	11,2	14,9	19,2	15,1	13,8
GS <sub>21</sub> „lag-Phase“	Tage	5	10	9	–	9
GS <sub>21</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	2,2	2,0	3,1	8,6 <sup>1)</sup>	1,1
GS <sub>90</sub>	NI/kg TM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	23,3
pH-Wert (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	–	7,7/ 7,4	7,8/ 7,5	7,6/ 7,5	7,8/ 7,5	7,9/ 7,6
Leitfähigkeit (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	mS/cm	2,1/ 26,3	2,3/ 28,8	2,0/ 26,8	2,1/ 27,3	6,6/ 62,0 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %).

<sup>2)</sup> Zu hohe Leitfähigkeit bei Versuchsende resultiert durch Salzlösung, die am 96. Versuchstag wegen eines Stromausfalles ins Testmaterial gelangte.

n.b. nicht bestimmt

SIWA Sickerwasser

<sup>26</sup> Originalproben (Fraktion < 10 mm + Schwerfraktion), abgesiebt auf < 20 mm.



Tabelle 24: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 4 bis 6) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 2) – WG, AT<sub>4</sub>.

	Einheit	TMP MBA 4	TMP MBA 5	TMP MBA 6	Mittelwert TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
WG (Originalprobe, nach Shredder)	% FM	11,2	12,8	17,6	13,9	15,7
Atmungsaktivität Originalprobe <sup>27</sup>						
Einbauwassergehalt	% FM	38,4	41,1	34,9	38,1	33,9
AT <sub>4</sub> / AT <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /g TM	11,9/ 18,3	11,7/ 19,7	7,0/ 11,7	10,2/ 16,6	7,5/ n.b.
AT <sub>4</sub> „lag-Phase“	Stunden	8	8	4	–	6
AT <sub>4</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	13,8 <sup>2)</sup>	4,4	2,6	36 <sup>1)</sup>	0,5

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %).

<sup>2)</sup> Bei Ansatz 1 war ein größeres Glasstück eingewogen, daher wurde dieses Ergebnis bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt!

n.b. nicht bestimmt

Tabelle 25: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 4 bis 6) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 2) – GS<sub>21</sub>.

	Einheit	TMP MBA 4	TMP MBA 5	TMP MBA 6	Mittelwert TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
Gasspendensumme Originalprobe (< 10 mm + Schwerfraktion < 20 mm)						
Einbauwassergehalt	% FM	45,6	45,6	40,7	44,0	42,9
GS <sub>21</sub> (Einzelwerte)	NI/kg TM	18,5/ 18,6	19,1/ 22,4	11,6/ 12,0	–	19,4/ 20,9
GS <sub>21</sub> (Mittelwerte)	NI/kg TM	18,6	20,8	11,8	17,1	20,1
GS <sub>21</sub> „lag-Phase“	Tage	20	19	13	–	12
GS <sub>21</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	0,3	8,0	1,7	15 <sup>1)</sup>	3,5
GS <sub>90</sub>	NI/kg TM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	36,0
pH-Wert (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	–	8,2/ 7,4	9,4/ 7,4	8,1/ 7,6	8,6/ 7,5	8,1/ 7,4
Leitfähigkeit (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	mS/cm	1,9/ 25,7	2,1/ 23,3	2,1/ 29,2	2,0/ 26,1	2,2/ 26,3

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %)

n.b. nicht bestimmt

SIWA Sickerwasser

<sup>27</sup> Originalproben (Fraktion < 10 mm + Schwerfraktion), abgesiebt auf < 20 mm.



Tabelle 26: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 7 bis 9) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 3) – WG, AT<sub>4</sub>.

	Einheit	TMP MBA 7	TMP MBA 8	TMP MBA 9	Mittelwert TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
WG (Originalprobe, nach Shredder)	% FM	18,3	19,6	18,7	18,9	19,8
Atmungsaktivität Originalprobe <sup>28</sup>						
Einbauwassergehalt	% FM	34,9	37,3	36,1	36,1	34,0
AT <sub>4</sub> / AT <sub>7</sub>	mg O <sub>2</sub> /g TM	11,5/ n.b.	9,8 <sup>29</sup> / n.b.	9,3/ n.b.	10,2/ n.b.	10,1/ n.b.
AT <sub>4</sub> „lag-Phase“	Stunden	14	9	14	–	9
AT <sub>4</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	0,5	8,0	1,0	1,5 <sup>1)</sup>	0,6

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %)

n.b. nicht bestimmt

Tabelle 27: Auswertung der Tagesmischproben (TMP MBA 7 bis 9) und der Wochenmischprobe (WMP MBA 3) – GS<sub>21</sub>.

	Einheit	TMP MBA 7	TMP MBA 8	TMP MBA 9	Mittelwert TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
Gasspendensumme Originalprobe (< 10 mm + Schwerfraktion < 20 mm)						
Einbauwassergehalt	% FM	47,3	45,2	46,1	46,2	43,9
GS <sub>21</sub> (Einzelwerte)	NI/kg TM	17,8/ 20,2	18,9/ 20,7	18,5/ 17,4	–	18,7/ 17,7
GS <sub>21</sub> (Mittelwerte)	NI/kg TM	19,0	19,8	18,0	18,9	18,2
GS <sub>21</sub> „lag-Phase“	Tage	30	23	23	–	22
GS <sub>21</sub> Abweichung der Wiederholungen	% v. MW	6,3	4,5	3,1	3,9 <sup>1)</sup>	2,7
GS <sub>90</sub>	NI/kg TM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	40,4
pH-Wert (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	–	8,0/ 7,6	8,0/ 7,7	7,9/ 7,7	8,0/ 7,7	8,1/ 7,7
Leitfähigkeit (bei Versuchsende) Feststoff/SIWA	mS/cm	2,5/ 31,8	2,4/ 33,4	2,4/ 32,3	2,4/ 33,5	2,1/ 33,5

<sup>1)</sup> Abweichung von der Wochenmischprobe (Wert WMP = 100 %).

n.b. nicht bestimmt

SIWA Sickerwasser

<sup>28</sup> Originalproben (Fraktion < 10 mm + Schwerfraktion), abgesiebt auf < 20 mm.

<sup>29</sup> Wegen eines größeren Glasstückes im Reaktionsgefäß wurde das Ergebnis von Ansatz 2 bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.



### 3.6.3 Graphische Darstellung der Verläufe der Atmungsaktivität der Tages- und Wochenmischproben

Die graphischen Verläufe der Atmungsaktivität in Abhängigkeit von der Versuchsdauer unter Berücksichtigung allfälliger lag-Phasen werden nachfolgend dargestellt.

In den Graphiken werden zur Information die Messergebnisse für die unabhängigen Ansätze ( $n = 2$ ) der Atmungsaktivität über vier Tage und sieben Tage im Labor (unter Berücksichtigung allfälliger lag-Phasen) angegeben (siehe Abbildung 18 bis Abbildung 29).

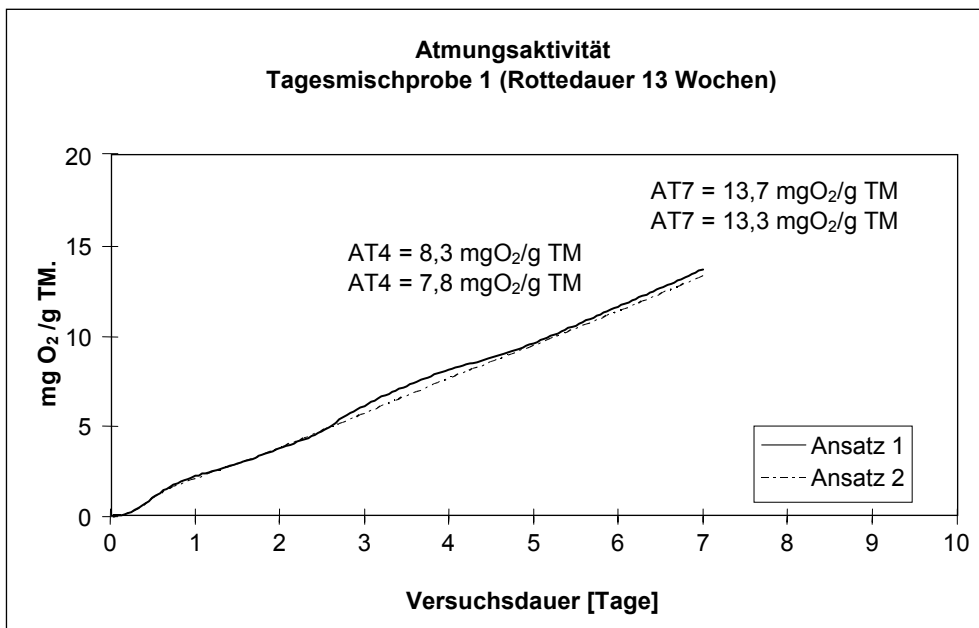


Abbildung 18: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II).

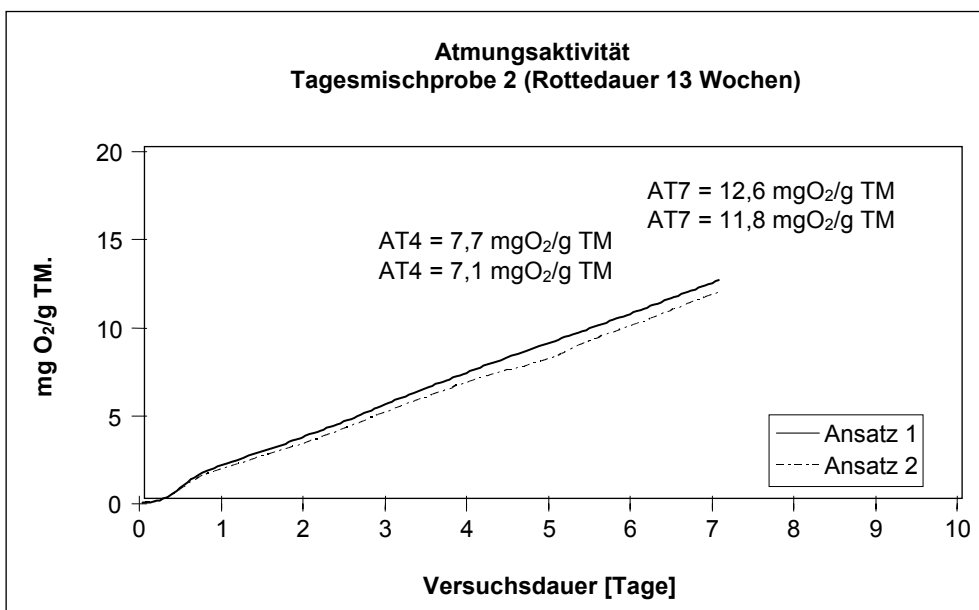


Abbildung 19: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II).

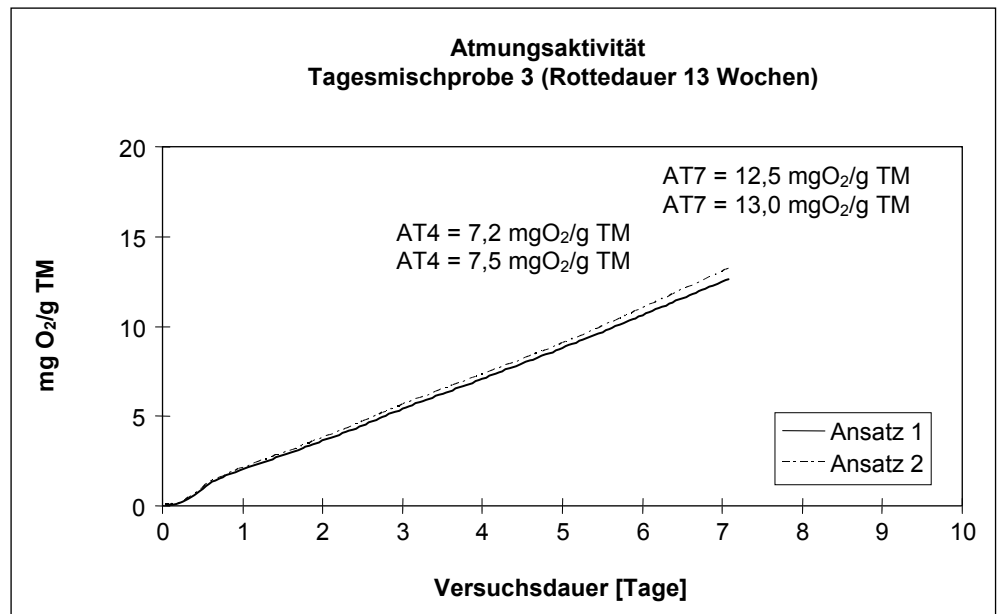


Abbildung 20: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II).

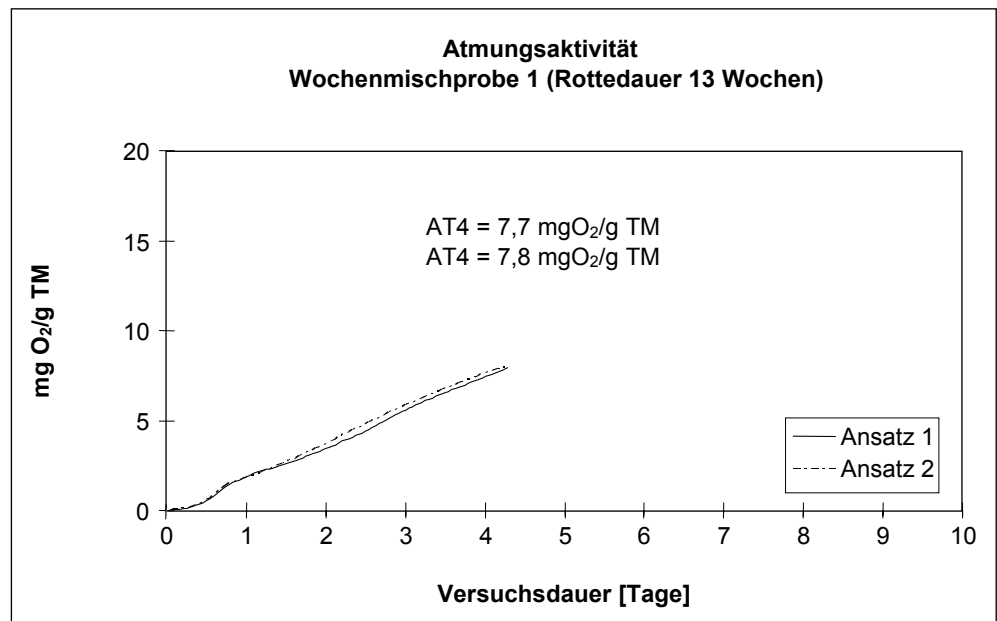


Abbildung 21: Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II).

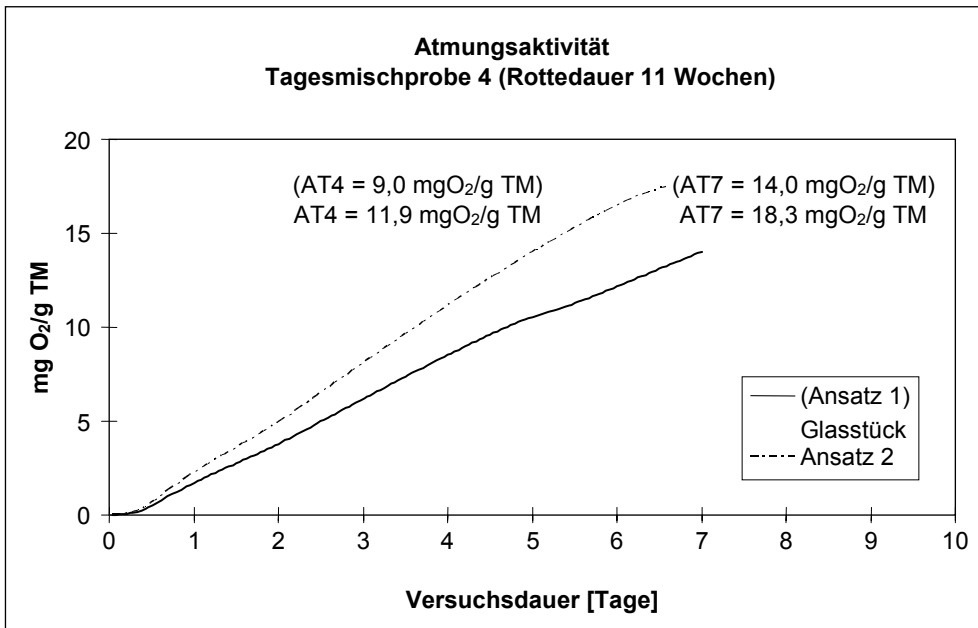


Abbildung 22: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II).<sup>30</sup>

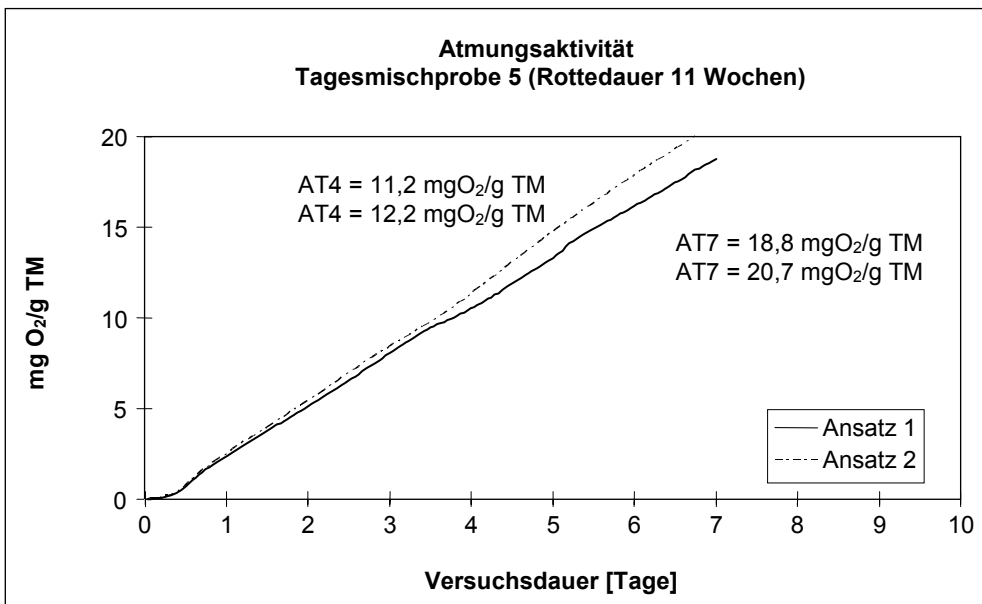


Abbildung 23: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II).

<sup>30</sup>Wegen eines größeren Glasstückes im Reaktionsgefäß wurde das Ergebnis von Ansatz 1 bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

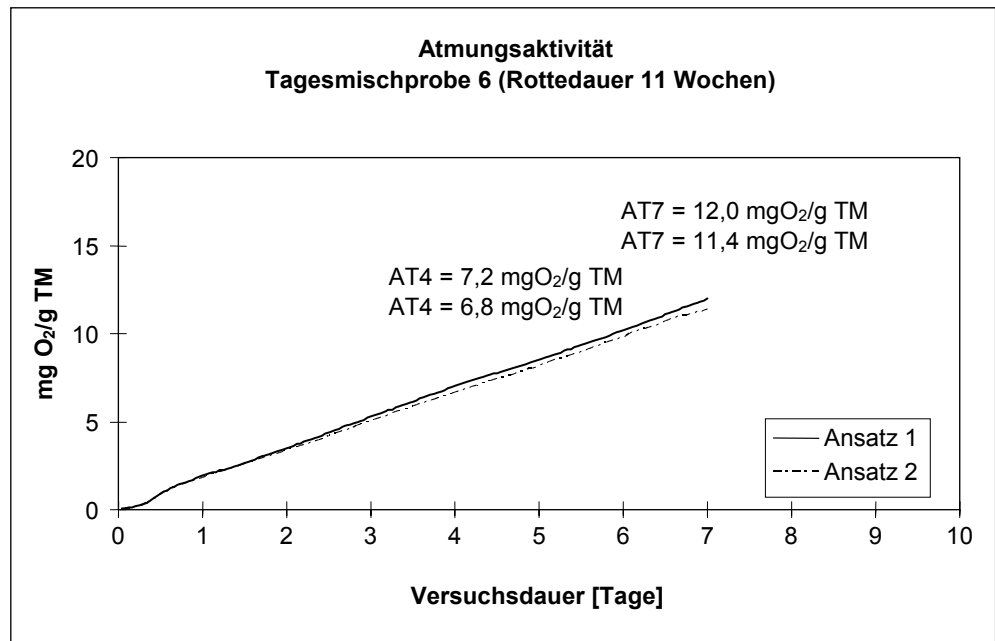


Abbildung 24: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II).

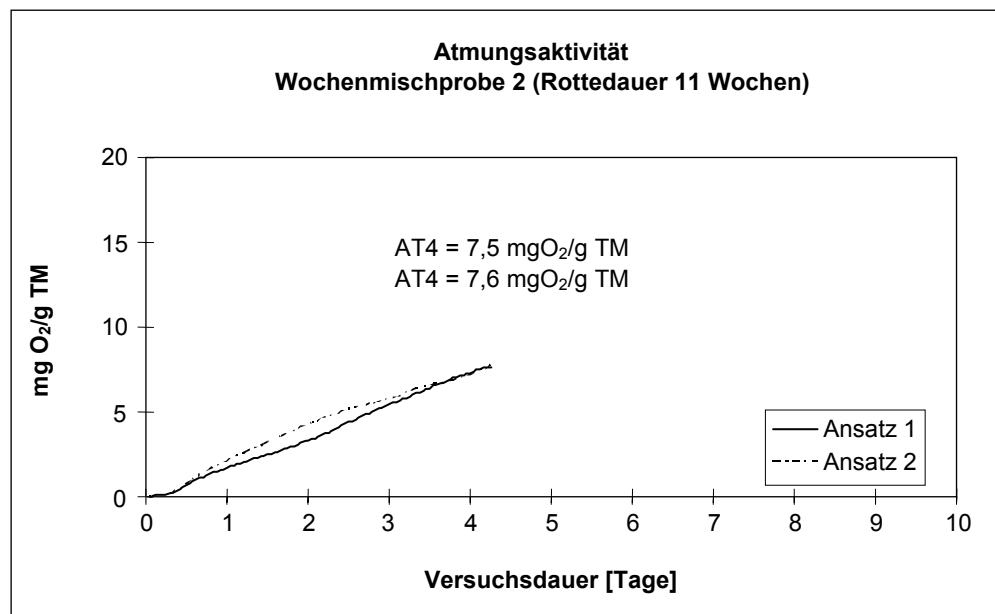


Abbildung 25: Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II).

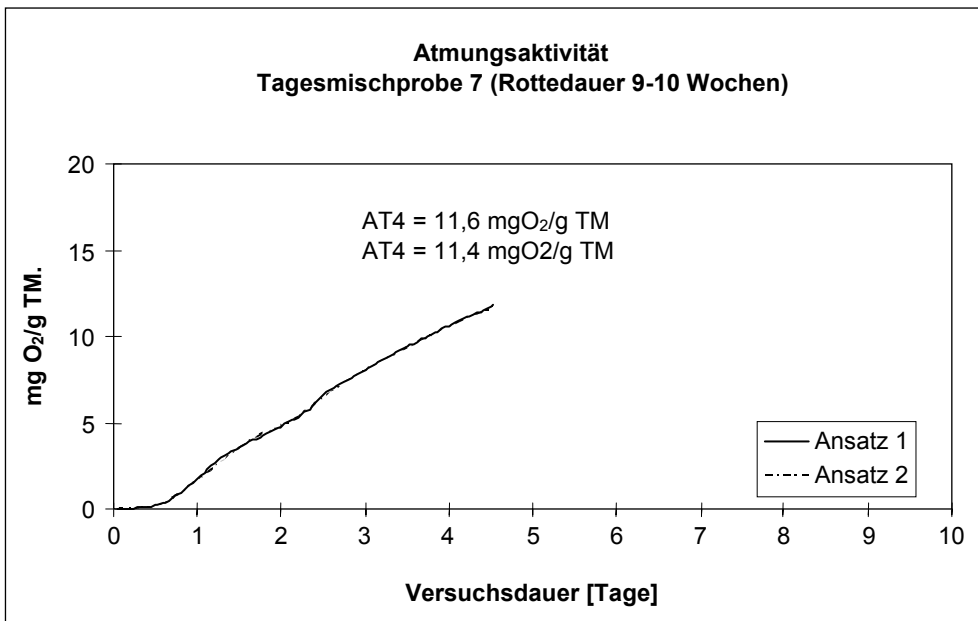


Abbildung 26: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II).

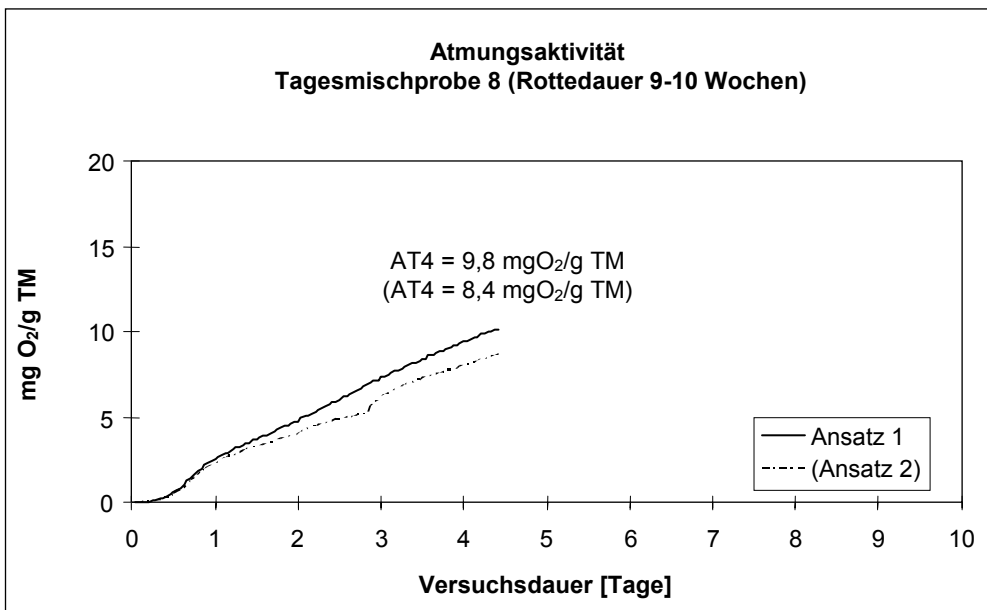


Abbildung 27: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II).<sup>31</sup>

<sup>31</sup>Wegen eines Defektes der Messzelle nach 2,5 Tagen Versuchsdauer wurde das Ergebnis von Ansatz 2 bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

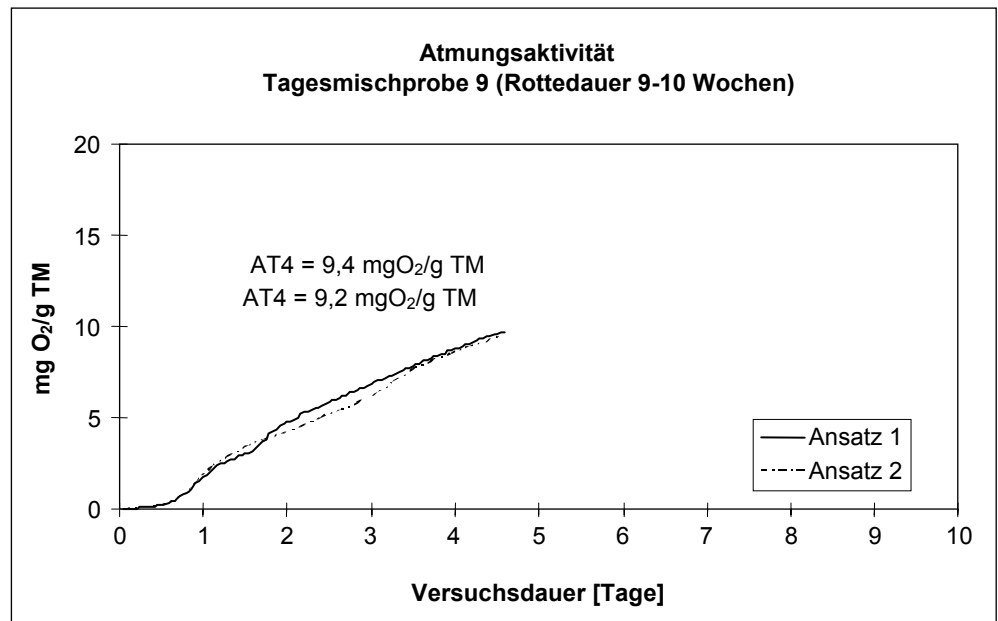


Abbildung 28: Atmungsaktivität der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II).

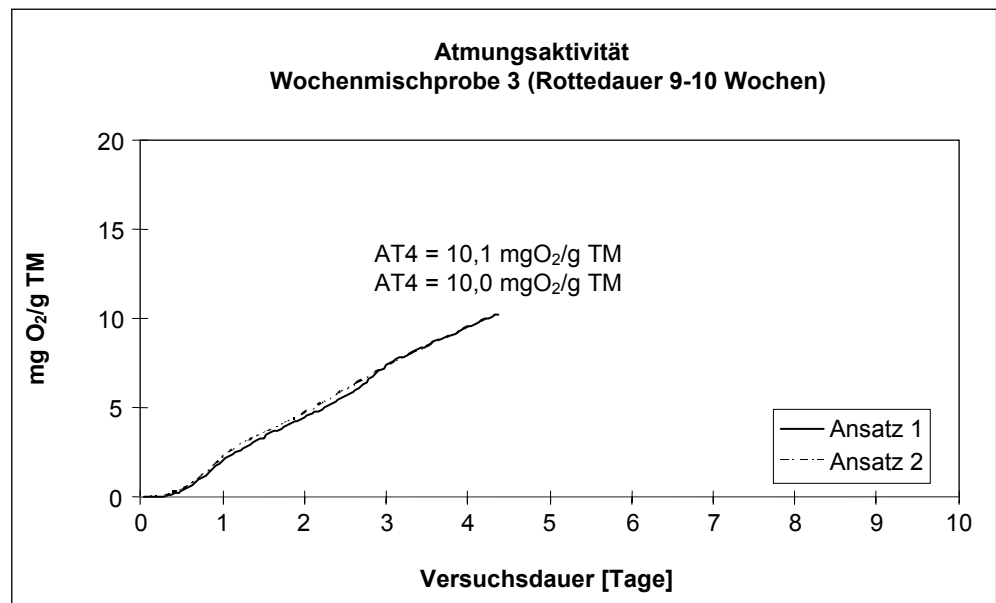


Abbildung 29: Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II).

### 3.6.4 Graphische Darstellungen der Gasspenden und Gasspendensummen der Tages- und Wochenmischproben

Die graphischen Verläufe der Gasspenden und Gasspendensummen in Abhängigkeit der Versuchsdauer unter Berücksichtigung allfälliger Lag-Phasen werden nachfolgend dargestellt. In den Graphiken der Gasspendensummen werden zur Information die Messergebnisse für die Doppelbestimmungen nach 21 Tagen Versuchsdauer unter Berücksichtigung allfälliger Lag-Phasen angegeben (siehe Abbildung 30 bis Abbildung 53).

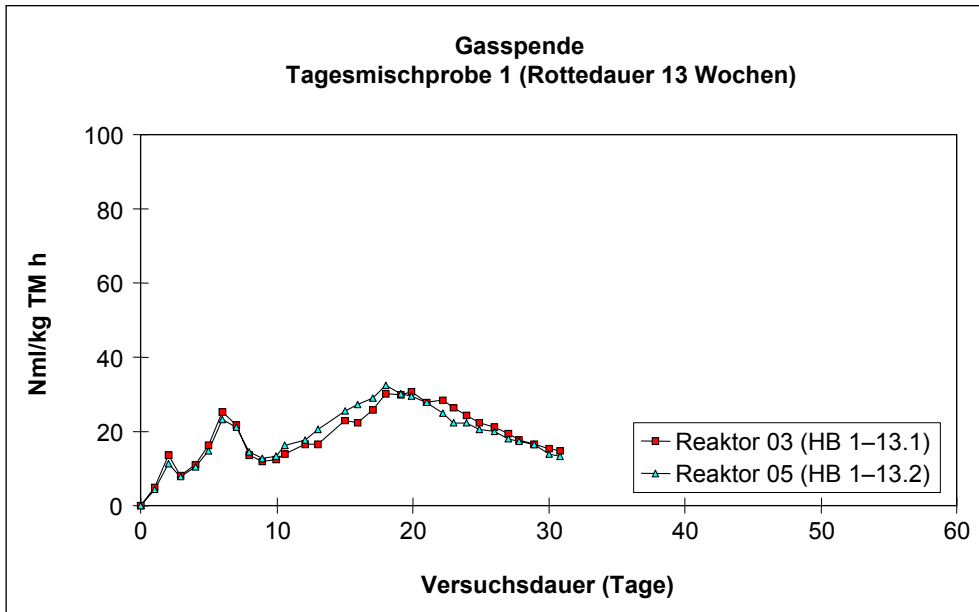


Abbildung 30: Gasspende der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II).

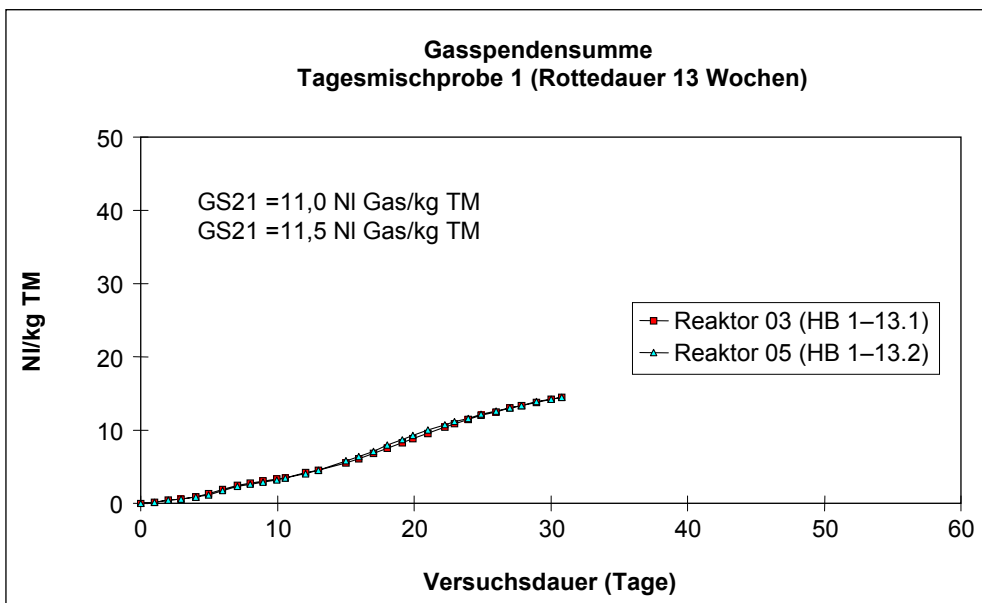


Abbildung 31: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 1 (TMP MBA 1 I, II).

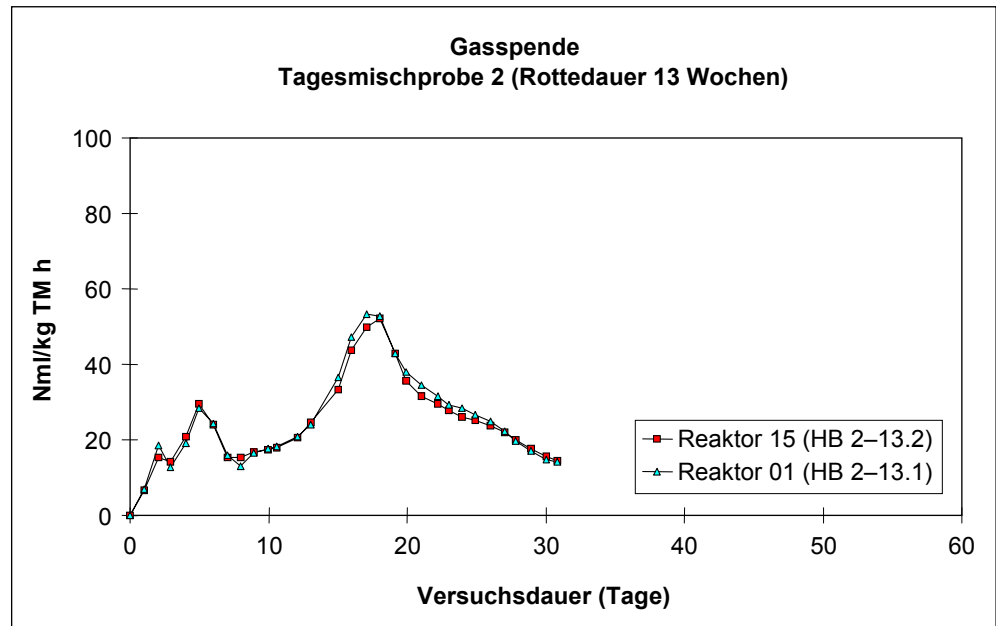


Abbildung 32: Gasspende der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II).

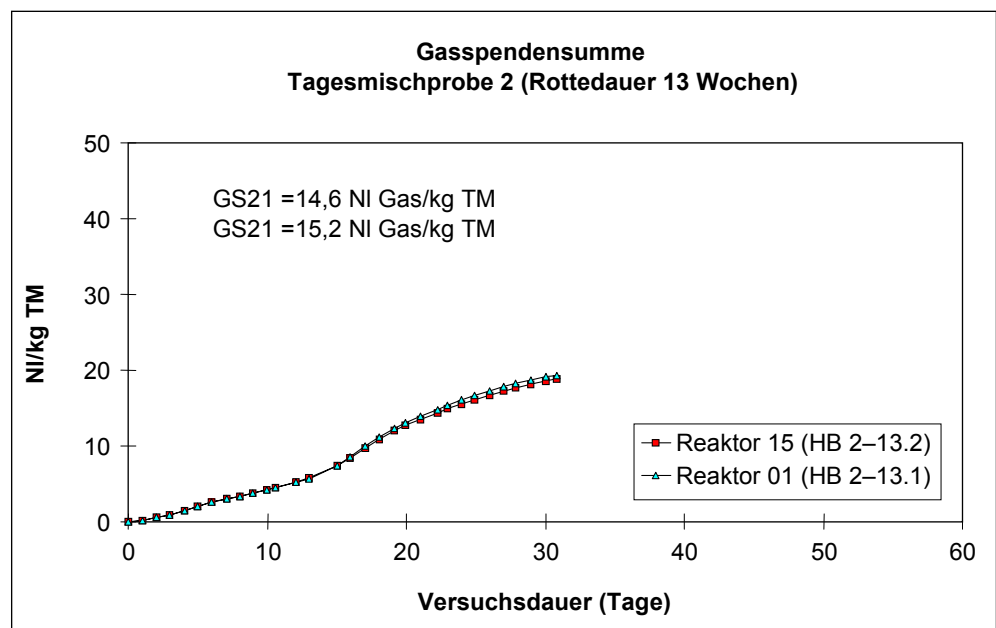


Abbildung 33: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 2 (TMP MBA 2 I, II).



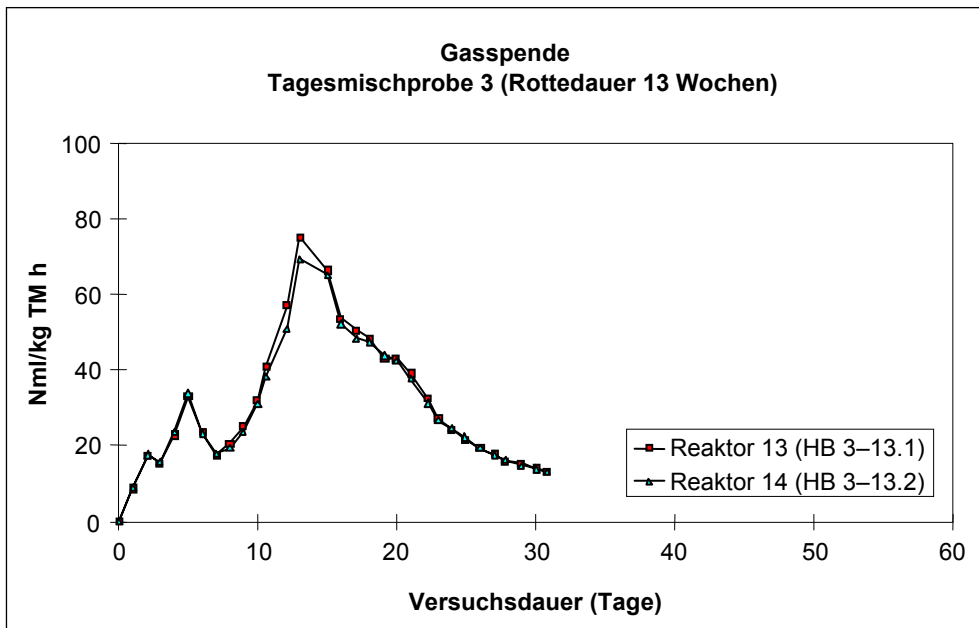


Abbildung 34: Gasspende der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II).

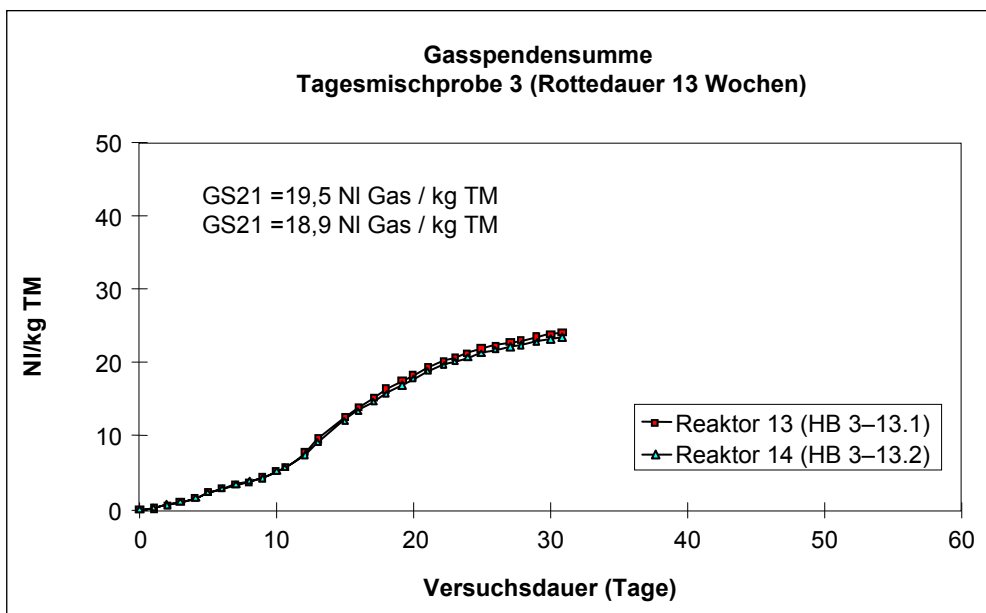


Abbildung 35: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 3 (TMP MBA 3 I, II).

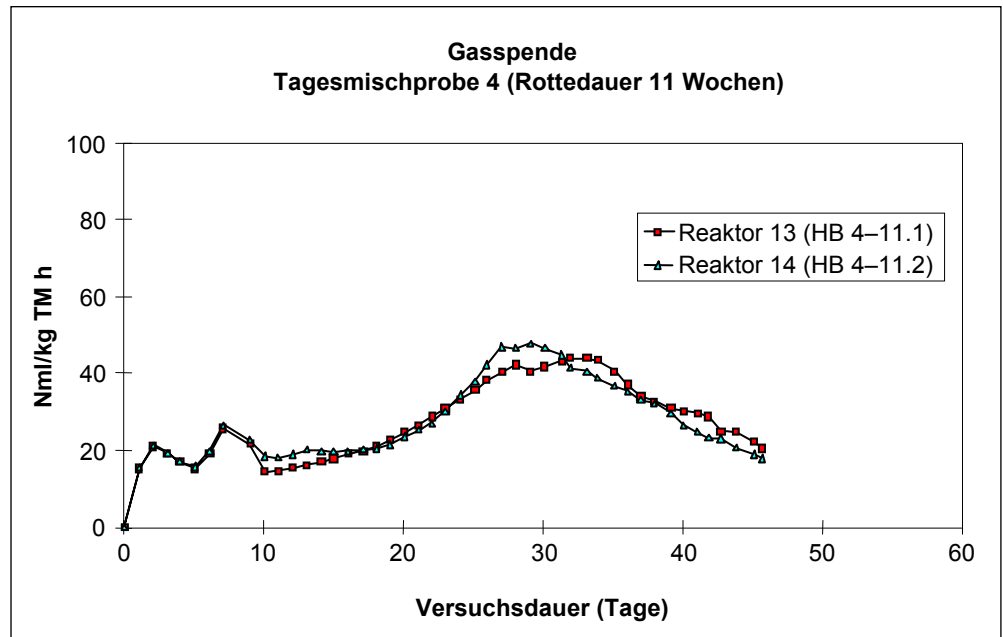


Abbildung 36: Gasspende der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II).

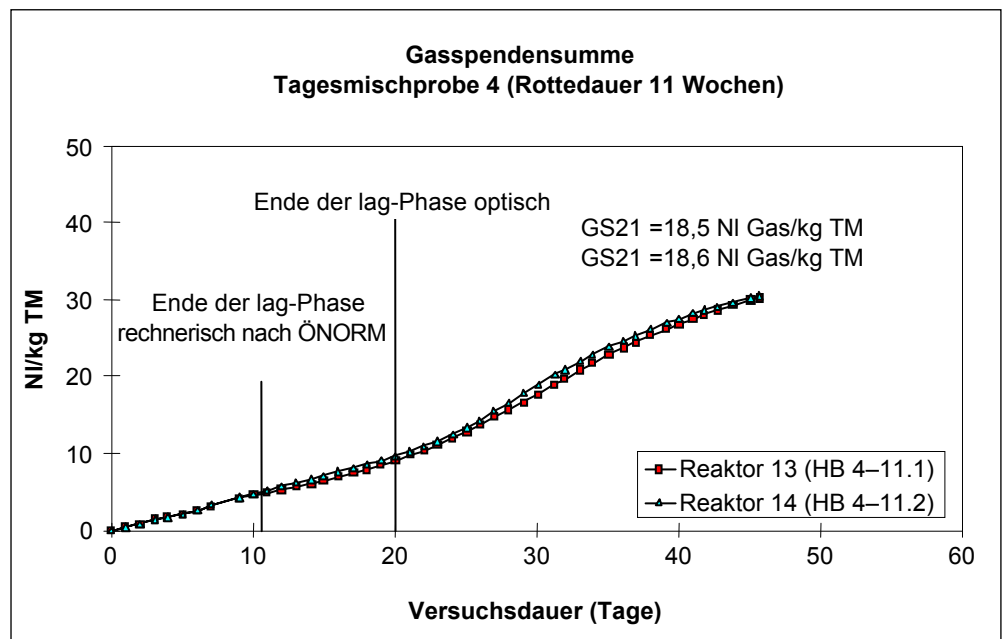


Abbildung 37: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 4 (TMP MBA 4 I, II).

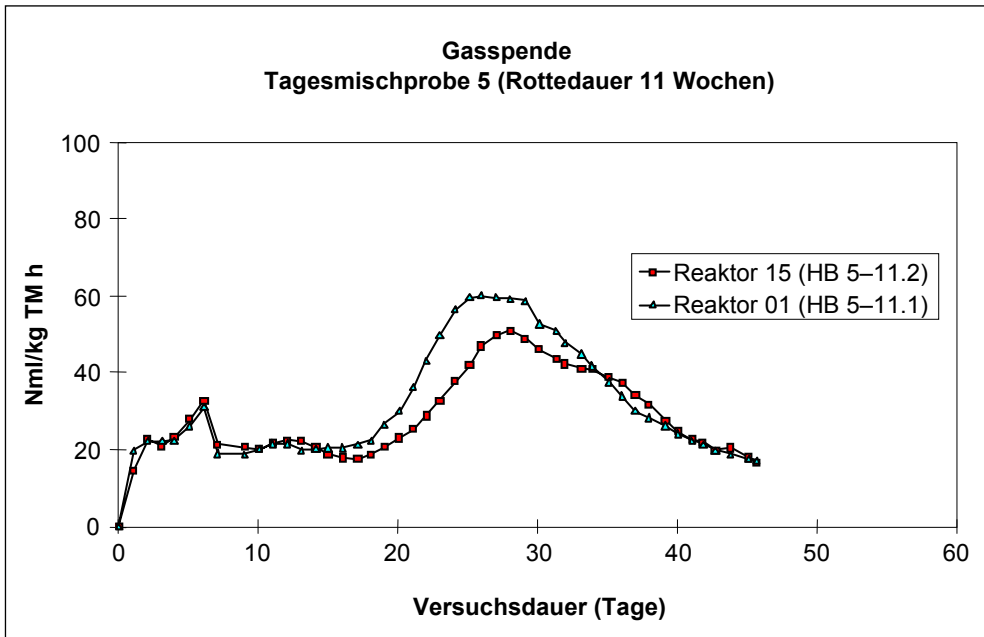


Abbildung 38: Gasspende der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II).

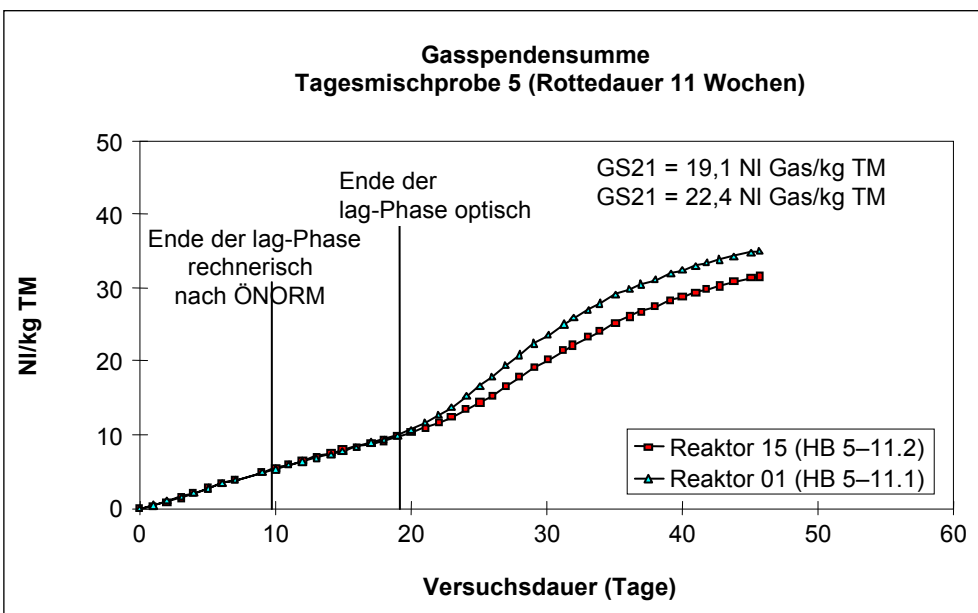


Abbildung 39: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 5 (TMP MBA 5 I, II).

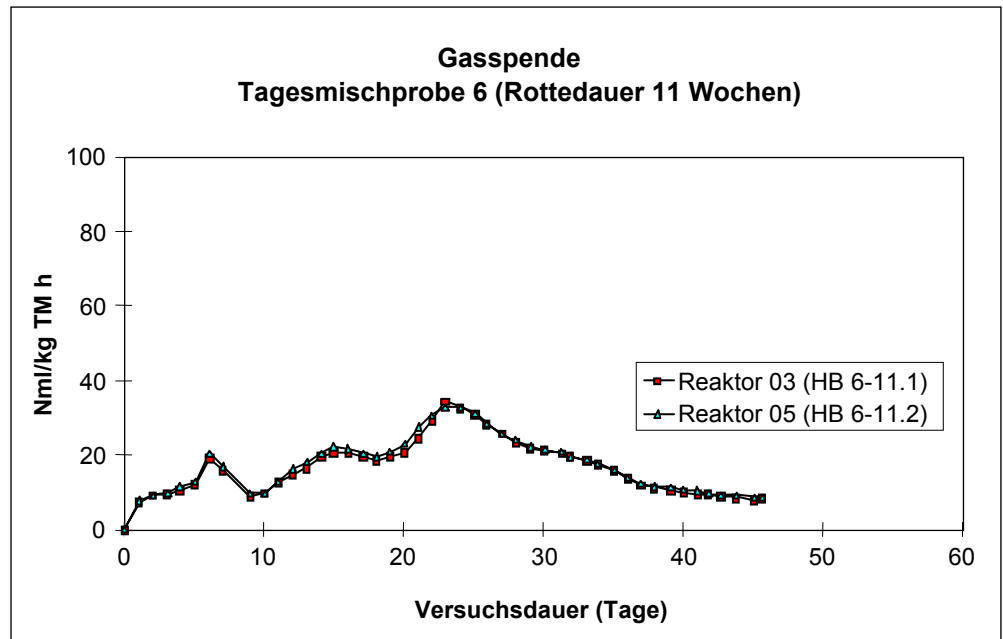


Abbildung 40: Gasspende der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II).

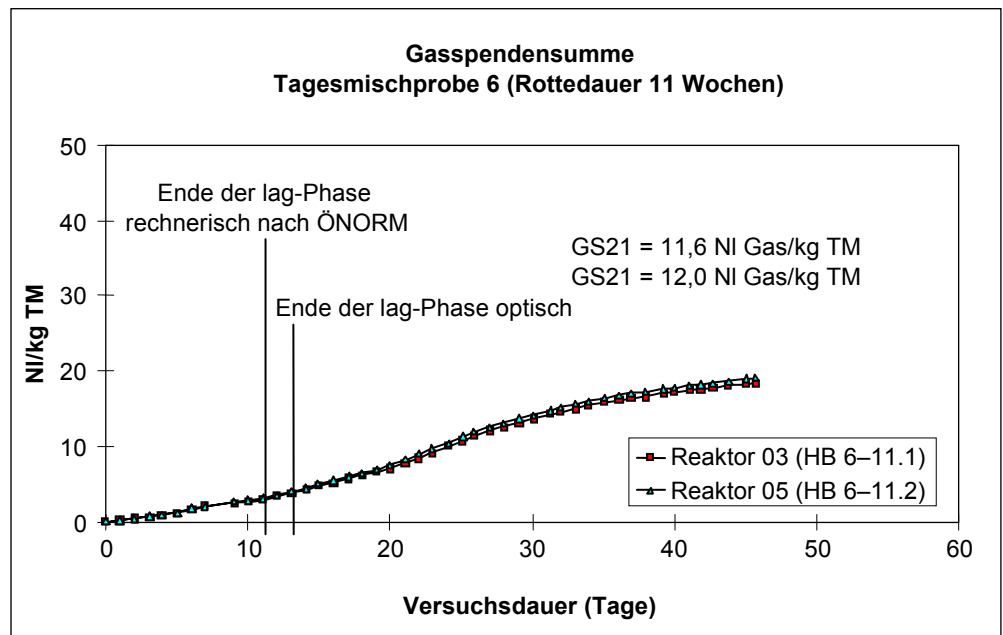


Abbildung 41: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 6 (TMP MBA 6 I, II).

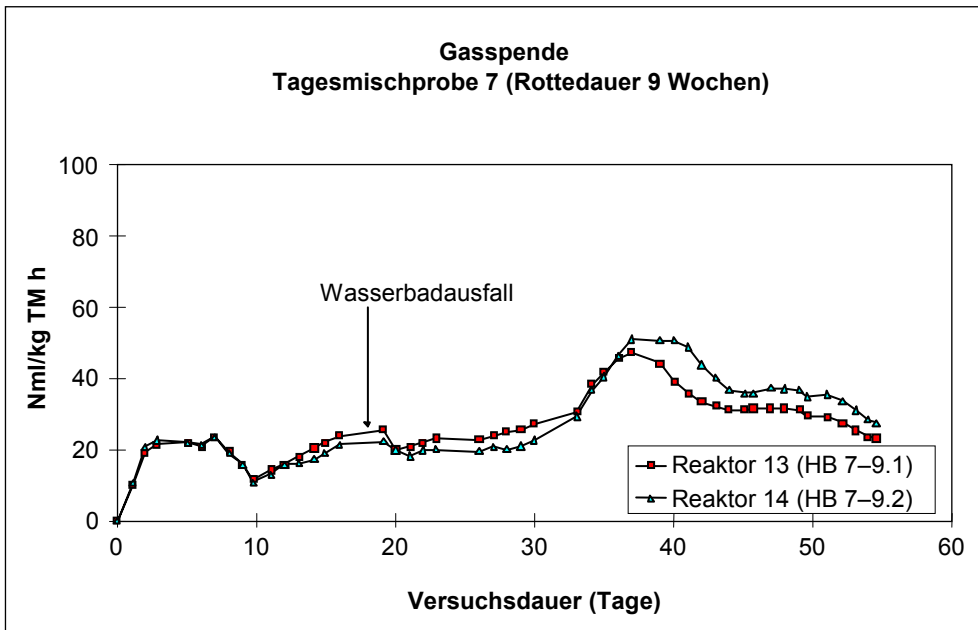


Abbildung 42: Gasspende der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II).

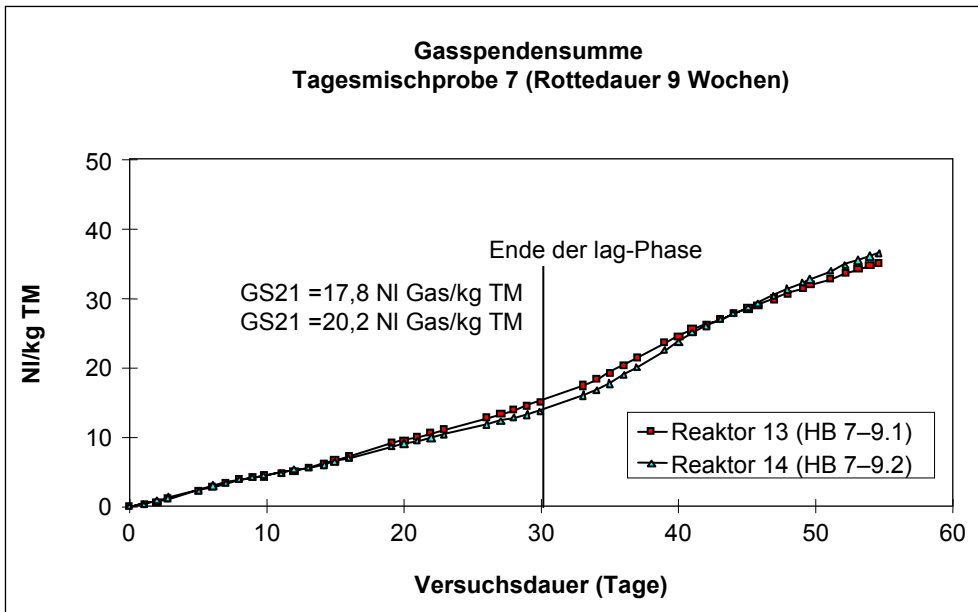


Abbildung 43: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 7 (TMP MBA 7 I, II).

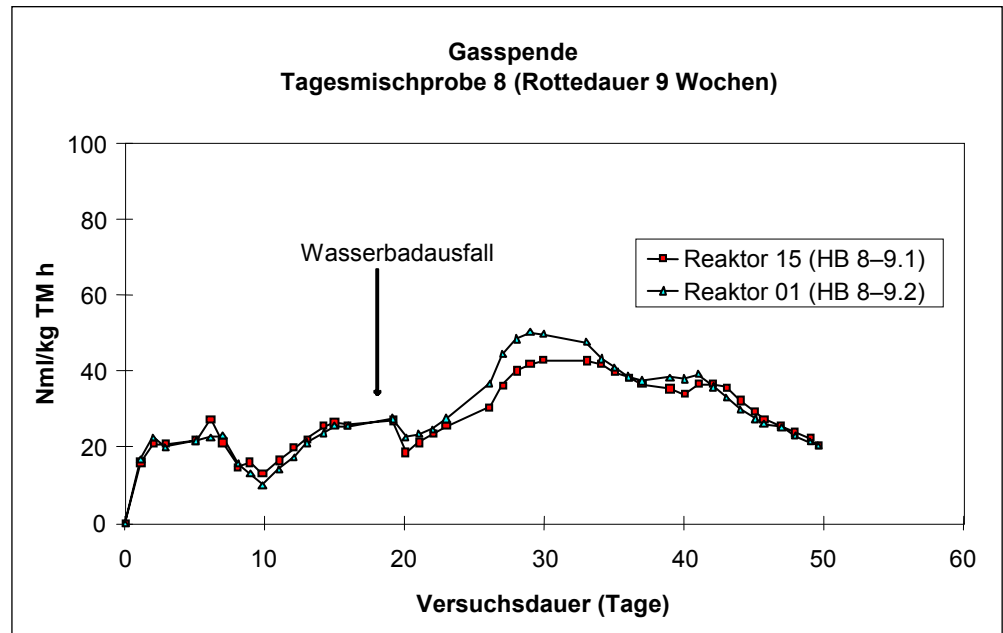


Abbildung 44: Gasspende für Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II).

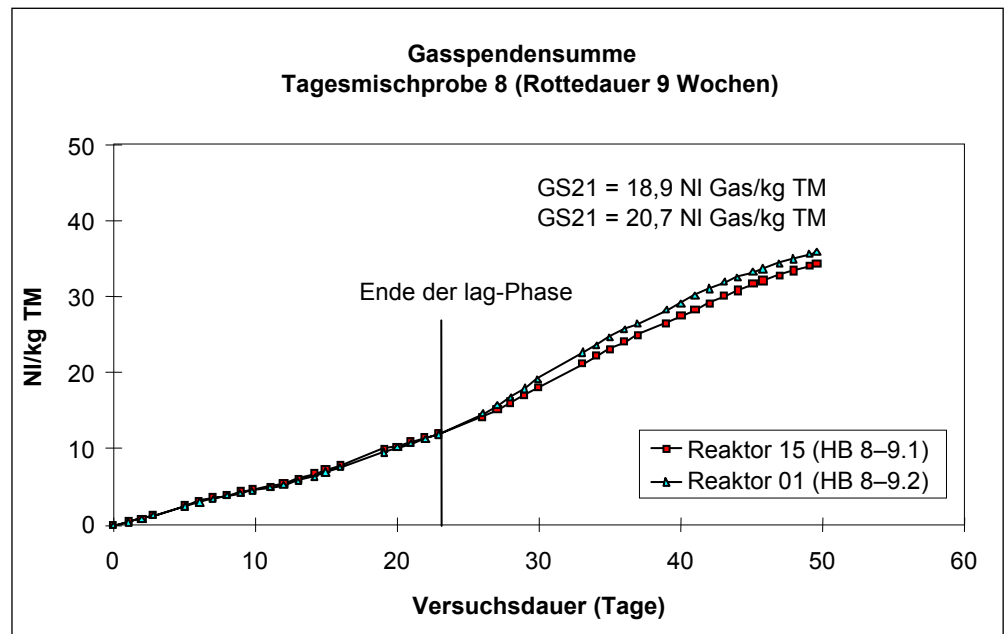


Abbildung 45: Gasspendensumme für Tagesmischprobe 8 (TMP MBA 8 I, II).

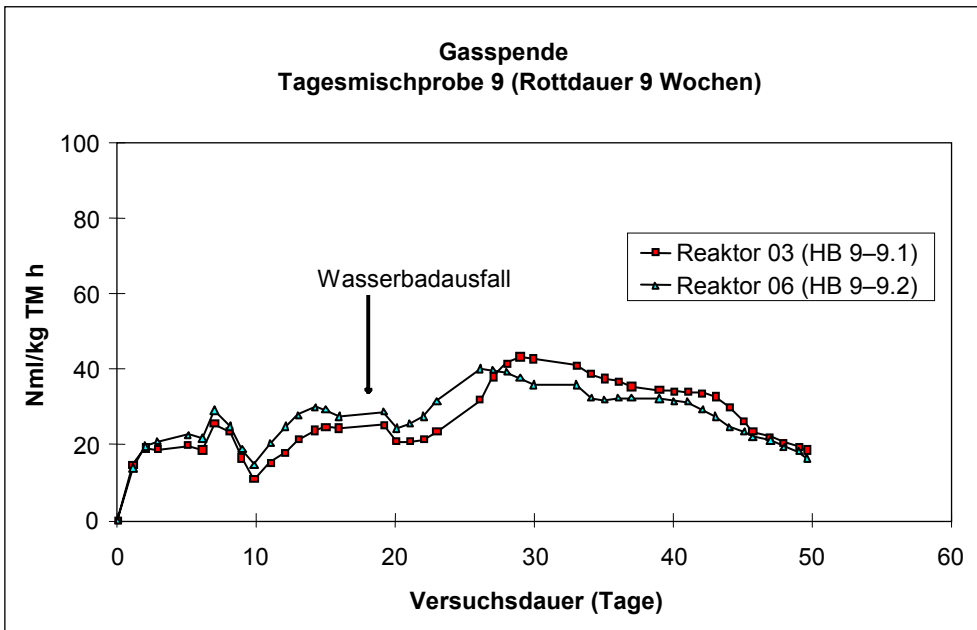


Abbildung 46: Gasspende der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II).

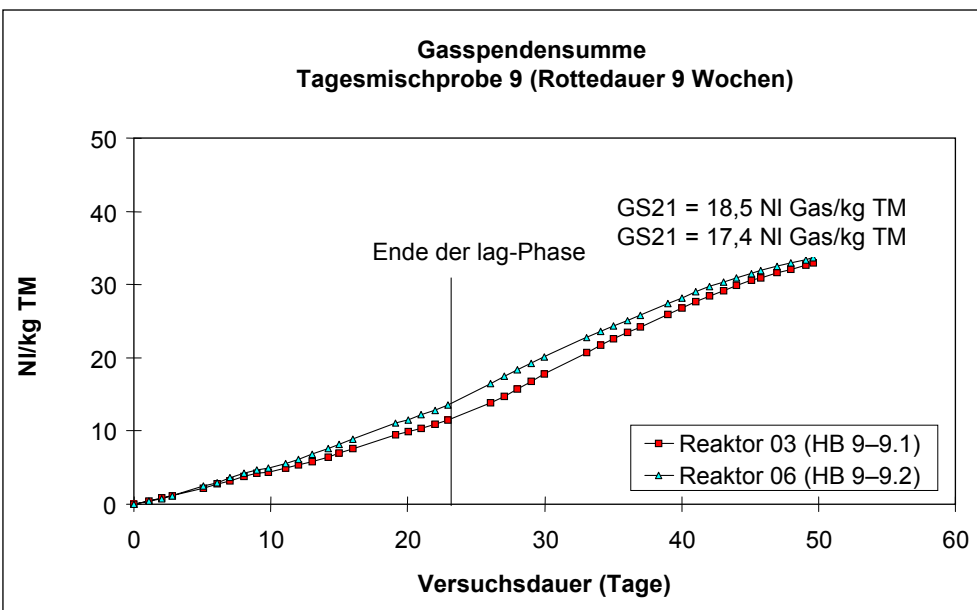


Abbildung 47: Gasspendensumme der Tagesmischprobe 9 (TMP MBA 9 I, II).

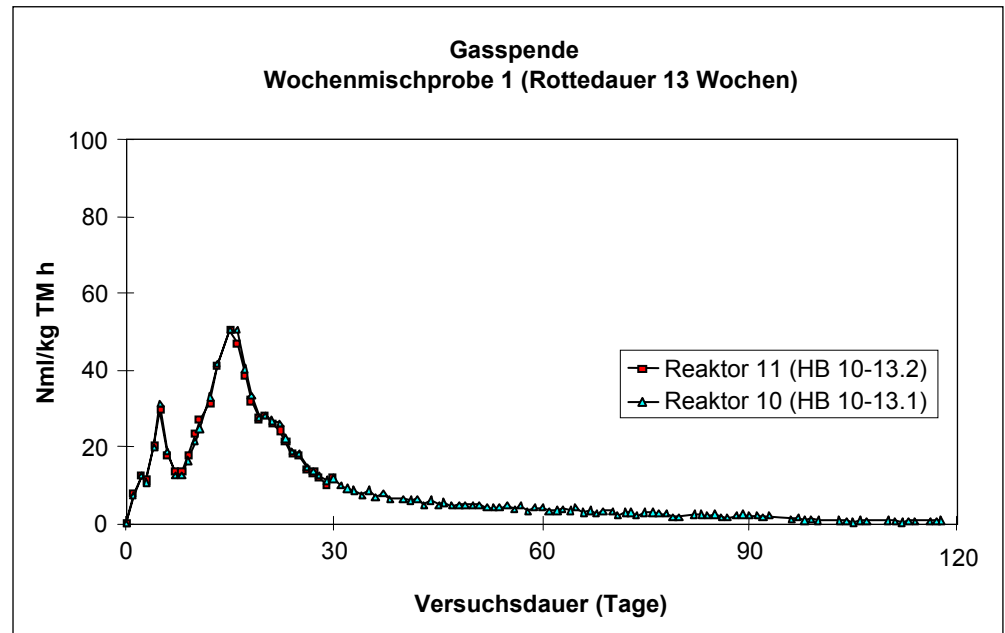


Abbildung 48: Gasspende der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II).

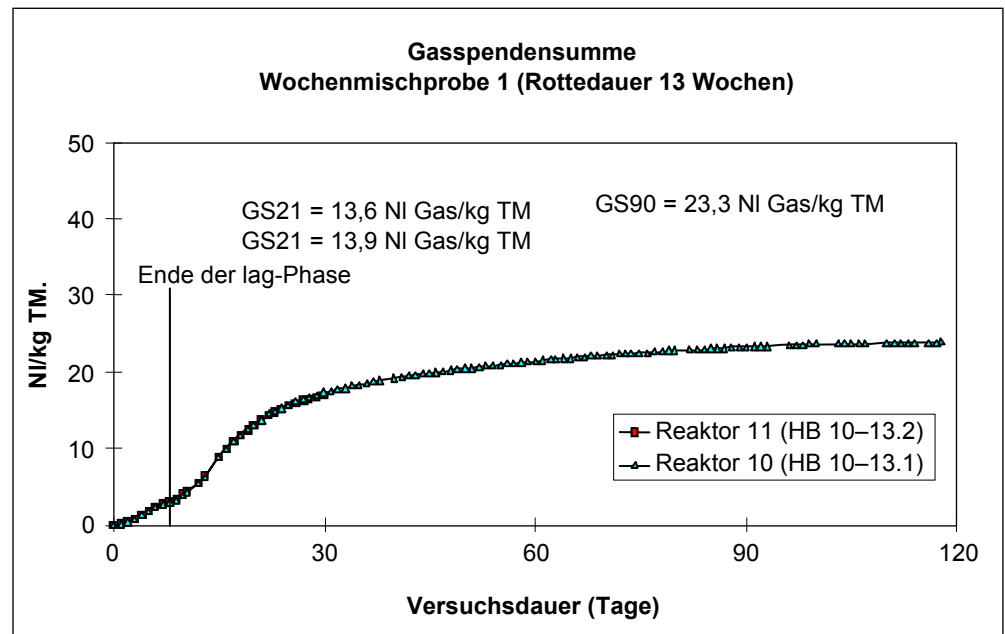


Abbildung 49: Gasspendensumme der Wochenmischprobe 1 (WMP MBA 1 I, II).



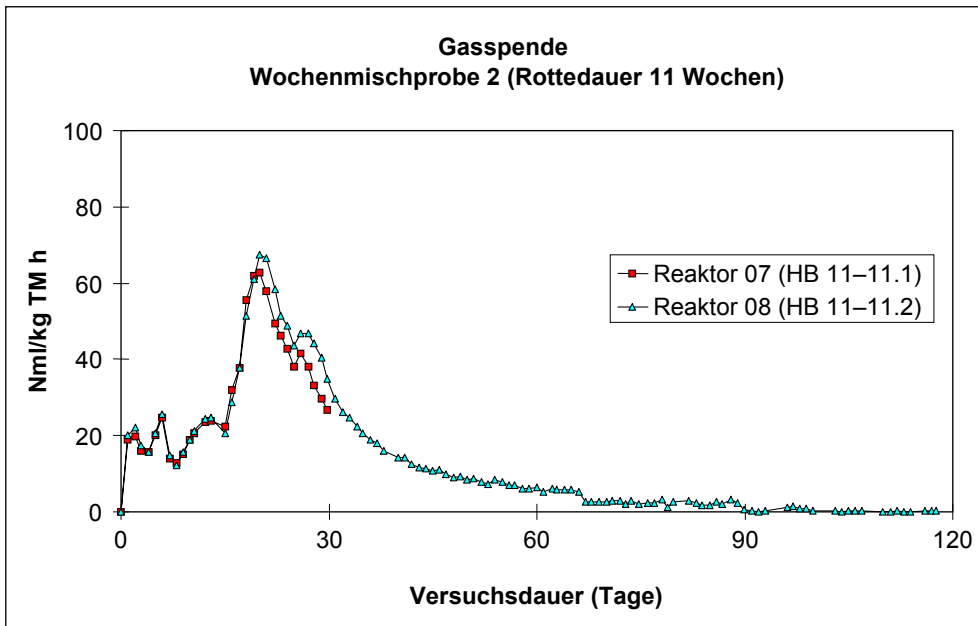


Abbildung 50: Gasspende der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II).

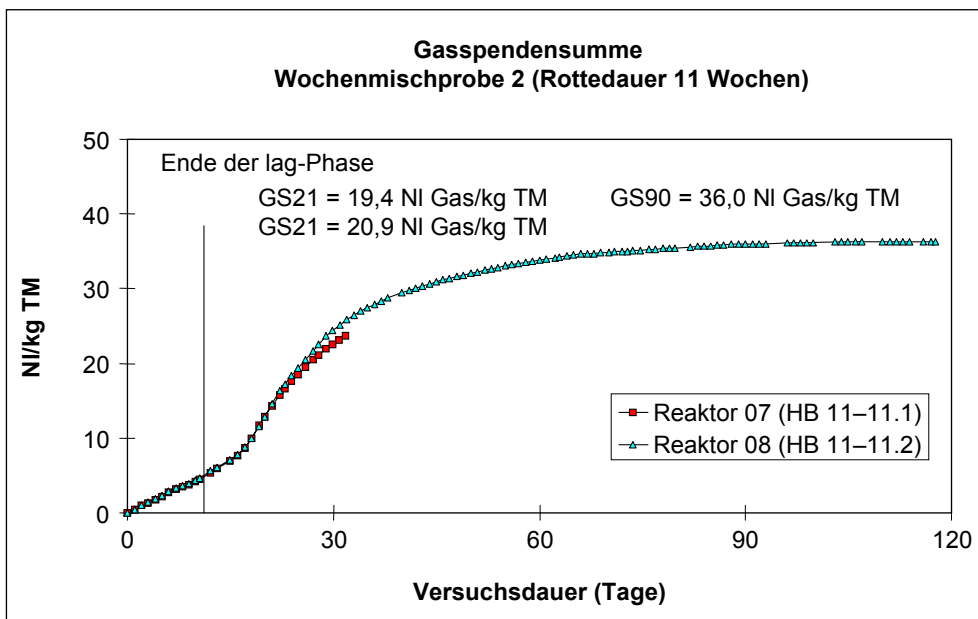


Abbildung 51: Gasspendensumme der Wochenmischprobe 2 (WMP MBA 2 I, II).

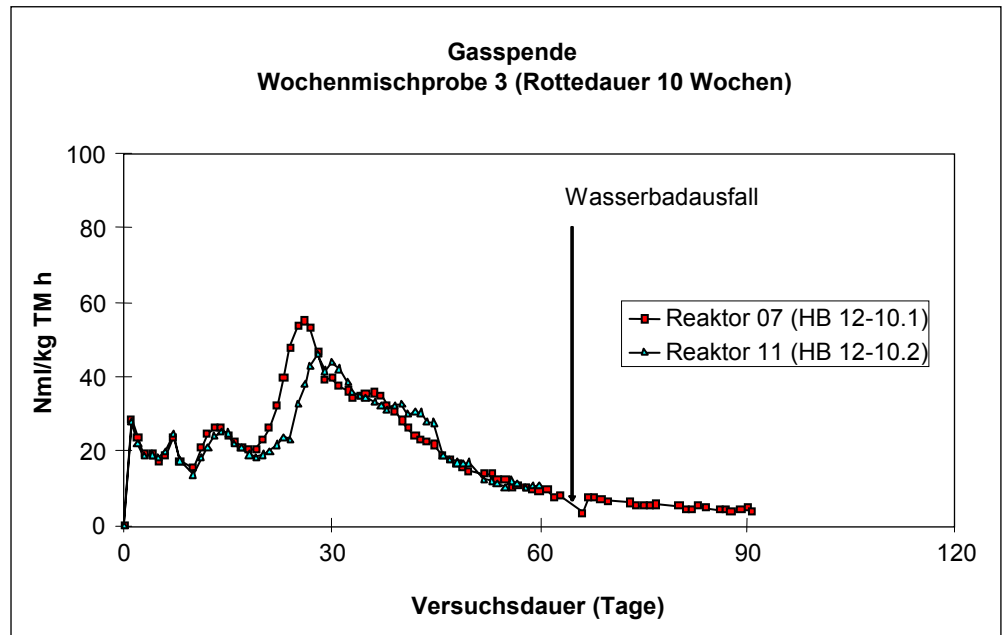


Abbildung 52: Gasspende der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II).

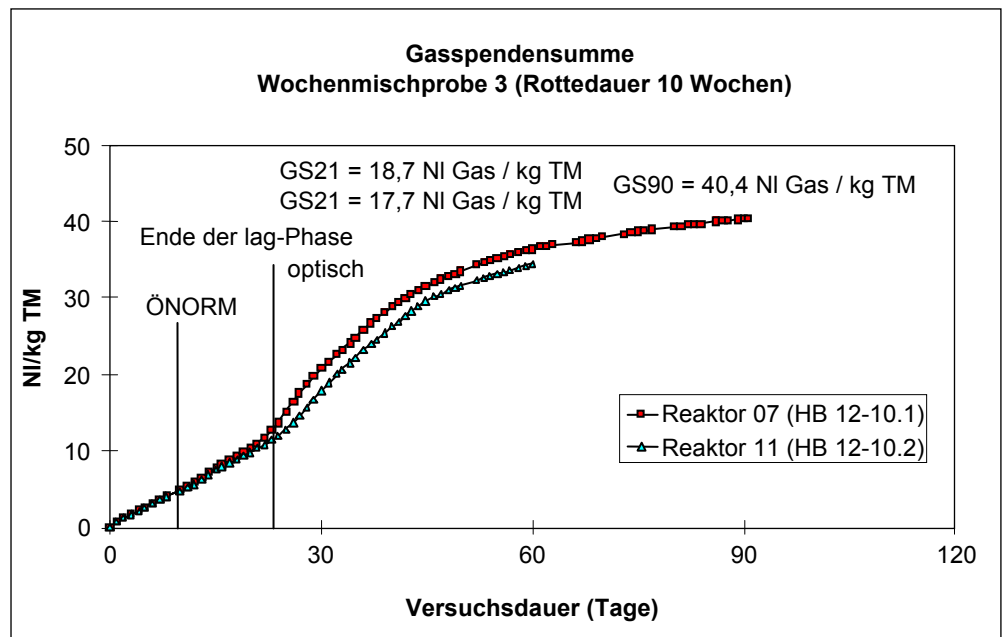


Abbildung 53: Gasspendensumme der Wochenmischprobe 3 (WMP MBA 3 I, II).



### 3.6.5 Auswertungen der Tagesmischproben und Wochenmischproben für Modell MBA – Stabilitätsparameter

Bei den Stabilitätsparametern wurden jeweils Doppelbestimmungen pro Tages- bzw. Wochenmischprobe durchgeführt.

Nachfolgend werden die Wochenbeurteilungswerte durch Mittelwertbildung aus den jeweils drei Tagesmischproben pro Wochenäquivalent berechnet. Zusätzlich werden in den Tabellen die absoluten und relativen Standardabweichungen, berechnet aus den jeweils drei Tagesmittelwerten (MW TMP MBA j I, II) bzw. aus den zwei Bestimmungen für die Wochenmischprobe angegeben.

Der Vertrauensbereich für den Wochenbeurteilungswert wird aus den angegebenen Standardabweichungen (Stabw. bzw. % RSD) und dem Mittelwert aus den drei Tagesmischprobenmittelwerten berechnet.

$$VB_{95} = \frac{s \cdot t_{(f; 1-\alpha/2)}}{\sqrt{3}} = \frac{s \cdot 4,3}{1,73} = s \cdot 2,48$$

Formel 3: Berechnung des 95 % Vertrauensbereiches (VB95) für den Erwartungswert.

$s$  Standardabweichung (Stabw.)

$(1-\alpha/2)$  Vertrauensniveau (zweiseitig); hier 95 % (95 % VB)

$f$  Freiheitsgrade ( $n-1$ ), hier 2 für den Mittelwert aus 3 TMP

$t_{(f; 1-\alpha/2)}$  Tabellenwert der Student-Verteilung (hier:  $t_{(2; 0,975)} = 4,3$ ).

Das 95 % Konfidenzintervall für den Erwartungswert kann durch Multiplikation der Standardabweichung mit dem Faktor von 2,48 und Addition sowie Subtraktion vom berechneten Mittelwert berechnet werden. Wegen der geringen Freiheitsgrade (hier 2) ergeben sich breite Konfidenzintervalle für den Beurteilungswert.

#### Beurteilungswerte

#### 95 % Konfidenzintervall

Im Anschluss an die Datentabellen und Auswertungen zu den Tages- und Wochenmischproben wird jeweils ein Statement betreffend Vergleichbarkeit der auf Basis der drei Tagesmischproben ermittelten Wochenbeurteilungswerte für das Wochenäquivalent mit den durch Analyse der Wochenmischproben (direkt) ermittelten Beurteilungswerten formuliert.

#### Vergleich Beurteilungswert auf Basis der TMP mit der WMP

Tabelle 28: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.

Subpopulation	Tagesmischprobe	Wochenmischprobe
WÄQ 1	TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
	TMP Stat 1 bis 3	WMP Stat 1
WÄQ 3	TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
	TMP Stat 4 bis 6	WMP Stat 2
WÄQ 5	TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
	TMP Stat 7 bis 9	WMP Stat 3

### 3.6.5.1 Wochenäquivalent Nr. 1

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP MBA 1 charakterisiert.

Tabelle 29: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
TMP MBA 1 I	8,3	11,0
TMP MBA 1 II	7,8	11,5
TMP MBA 2 I	7,7	14,6
TMP MBA 2 II	7,1	15,2
TMP MBA 3 I	7,2	19,5
TMP MBA 3 II	7,5	18,9
MW TMP MBA 1–3	7,6	15,1
Stabw. TMP MBA 1–3	0,4	4,0
% RSD TMP MBA 1–3	5,1	26,3

Tabelle 30: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
WMP MBA 1 I	7,7	13,6
WMP MBA 1 II	7,8	13,9
MW WMP MBA 1	7,8	13,8
Stabw. WMP MBA 1	0,1	0,2
% RSD WMP MBA 1	1	2

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW TMP +/- 95 % VB

AT<sub>4</sub> 7,6 +/- 1,0 mg O<sub>2</sub>/g TM

GS<sub>21</sub> 15,1 +/- 9,9 NI/kg TM.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW WMP +/- 3 s

AT<sub>4</sub> 7,8 +/- 0,3 mg O<sub>2</sub>/g TM (103 % bezogen auf MW TMP)

GS<sub>21</sub> 13,8 +/- 0,6 NI/kg TM (91 % bezogen auf MW TMP).

Das Ergebnis der Wochenmischprobe zu WÄQ 1 (WMP MBA 1) liegt im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

### 3.6.5.2 Wochenäquivalent Nr. 3

Das dritte Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP MBA 2 charakterisiert.

Tabelle 31: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
TMP MBA 4 I	9,0*	18,5
TMP MBA 4 II	11,9	18,6
TMP MBA 5 I	11,2	19,1
TMP MBA 5 II	12,2	22,4
TMP MBA 6 I	7,2	11,6
TMP MBA 6 II	6,8	12,0
MW TMP MBA 4–6	9,9	17,0
Stabw. TMP MBA 4–6	2,8	4,7
% RSD TMP MBA 4–6	28	27

\* Ein größeres Glasstück mit eingewogen – daher nicht zur Auswertung herangezogen.

Tabelle 32: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
WMP MBA 2 I	7,5	19,4
WMP MBA 2 II	7,6	20,9
MW WMP MBA 2	7,6	20,2
Stabw. WMP MBA 2	0,1	1,1
% RSD WMP MBA 2	1	5

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3 – Basis MW TMP +/- VB 95 %  
 AT<sub>4</sub> 9,9 +/- 6,9 mg O<sub>2</sub>/g TM  
 GS<sub>21</sub> 17,0 +/- 11,6 NI/kg TM.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3 – Basis MW WMP +/- 3 s  
 AT<sub>4</sub> 7,6 +/- 0,3 mg O<sub>2</sub>/g TM (77 % bezogen auf MW TMP).  
 GS<sub>21</sub> 20,2 +/- 3,3 NI/kg TM (119 % bezogen auf MW TMP).

Das Ergebnis der Wochenmischprobe zu WÄQ 3 (WMP MBA 2) liegt im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

#### 3.6.5.3 Wochenäquivalent Nr. 5

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP MBA 3 charakterisiert.

Tabelle 33: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
TMP MBA 7 I	11,6	17,8
TMP MBA 7 II	11,4	20,2
TMP MBA 8 I	9,8	18,9
TMP MBA 8 II	8,4*	20,7
TMP MBA 9 I	9,4	18,5
TMP MBA 9 II	9,2	17,4
MW TMP MBA 6–9	10,3	18,9
Stabw. TMP MBA 6–9	1,2	0,9
% RSD TMP MBA 6–9	11	5

\* Nicht zur Auswertung herangezogen.

Tabelle 34: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 (AT<sub>4</sub> und GS<sub>21</sub>).

Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>
Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM
WMP MBA 3 I	10,1	18,7
WMP MBA 3 II	10,0	17,7
MW WMP MBA 3	10,1	18,2
Stabw. WMP MBA 3	0,1	0,7
% RSD WMP MBA 3	1	4

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Beurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW TMP +/- VB 95 %  
AT<sub>4</sub> 10,3 +/- 2,9 mg O<sub>2</sub>/g TM  
GS<sub>21</sub> 18,9 +/- 2,3 NI/kg TM.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW WMP +/- 3 s  
AT<sub>4</sub> 10,1 +/- 0,3 mg O<sub>2</sub>/g TM (98 % bezogen auf MW TMP).  
GS<sub>21</sub> 18,2 +/- 2,1 NI/kg TM (96 % bezogen auf MW TMP).

Das Ergebnis der Wochenmischprobe zu WÄQ 5 (WMP MBA 3) liegt im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

## 3.7 Brennwert (oberer Heizwert) und Inertstoffe

**Brennwert (Ho)** Die Brennwertbestimmung (Ho) erfolgte gemäß DIN 51900, TI. 1 und 3 (adiabatisches Verfahren) mittels Kalorimeterbombe.

Ein Aliquot von 5 g der gemahlene (< 0,25 mm) und auf 105 °C vorgetrockneten Probe wurde mit Benzoesäure im Masseverhältnis 1:1 in der Kugelmühle verrieben. Ca. 0,6 bis 0,9 g der Mischung wurden zu einer Tablette gepresst und in der Kalori-



meterbombe unter Sauerstoff verbrannt (Doppelbestimmung). Die Verbrennungswärmen von Glühdraht, Baumwollfaden sowie von gebildetem Nitrat und Sulfat wurden normgemäß berücksichtigt.

Die Masse an aussortierten inerten Anteilen (Steine, Glas, Keramik) im Zuge der Aufbereitung wurde rechnerisch bei der Angabe des Brennwertes berücksichtigt.

**Inertstoffe**

### 3.7.1 Auswertung der Wiederholansätze

Von sämtlichen Mischproben des MBA-Modells (TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 A, B; WMP MBA 2 A, B sowie WMP MBA 3 A, B) wurden je zwei Ansätze für die Brennwertbestimmung herangezogen.

Die nachfolgende Tabelle 35 zeigt die nach Normierung der Daten auf den jeweiligen Mittelwert der 15 Mischproben (TMP  $j$  ( $j = 1, \dots, 9$ ) bzw. WMP  $i$  ( $i = 1, \dots, 3$ )) erhaltene mittlere relative Standardabweichung („mittlere RSD I, II“), berechnet aus allen 15 Doppelansätzen.

Um Informationen hinsichtlich des Bereiches der relativen Standardabweichungen der jeweils zwei Bestimmungen zu erhalten, werden zusätzlich die kleinsten Standardabweichungen als Minima („Min RSD I, II“) und die größten Standardabweichungen als Maxima („Max RSD I, II“) der Doppelansätze für 15 unterschiedliche Mischproben angegeben.

Tabelle 35: Relative Wiederholstandardabweichungen für je 2 Bestimmungen in den Proben < 0,25 mm nach Feinvermahlung mit Benzoesäure.

Parameter	Einheit	mittlere RSD I, II	Min RSD I, II	Max RSD I, II	Anzahl der unabhängigen Ansätze (n)
Brennwert Ho, Inertkorr.	%	3	0,3	7	15

Die angegebenen Standardabweichungen berücksichtigen die Komponenten Probeneinwaage, Aufschluss, Analysenschritt und Heterogenität der Probe (Aliquot der Fraktion < 0,25 mm auf 105 °C vorgetrocknet, mit Benzoesäure aufgemahlen, Einsatz 0,9 g Mischung). Die Wiederholstandardabweichung für zwei Bestimmungen aus der aufbereiteten Analysenprobe ist erwartungsgemäß gering.

### 3.7.2 Auswertung der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben für Modelle WMP Stat und WMP MBA – Brennwert und Inertanteil

Nachfolgend werden die statistischen Kenngrößen (Mittelwert, Standardabweichung, % relative Standardabweichung) für die im Labor aus der Originalprobe hergestellten Parallelproben (Bezeichnung nach Teilung: A und B) für den Brennwert und die Inertstoffe dargestellt.<sup>32</sup>

**Statistische Kenngrößen**

<sup>32</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum Brennwert verwiesen. Die auf zwei signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Die Dokumentation betreffend Durchführung der Probenteilung für die Wochenmischproben kann der Abbildung 12 und der Abbildung 14 entnommen werden. Die Aufarbeitungsschritte werden in Abbildung 15 als Fließbild dokumentiert.

### **Vergleich MBA- und Stat-Modell**

Zum Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat werden die Mittelwerte der betreffenden Wochenmischproben und die zugehörigen Standardabweichungen herangezogen.

Es wird beurteilt, ob der aus den Einzelergebnissen der beiden unabhängigen Aufarbeitungsproben A und B gebildete Mittelwert für die drei Wochenmischproben gemäß Stat-Modell im Erwartungsbereich (hier: Mittelwert  $\pm 1$  s, Mittelwert  $\pm 2$  s oder Mittelwert  $\pm 3$  s) der Ergebnisse des MBA-Modells liegt.

### **Varianzanalyse**

Durch eine Varianzanalyse wird die beobachtete Gesamtstandardabweichung der Wochenmischprobenergebnisse für beide Modelle mathematisch in die Anteile der Standardabweichung innerhalb der Wochenmischproben und in die Anteile der Standardabweichung zwischen den Wochenmischproben aufgeteilt. Damit kann der Fehler aus der unabhängigen Aufarbeitung der Parallelproben von der Variabilität zwischen den Wochenmischproben unterschieden werden.

Verwendet wird ein einfaches Varianzkomponentenmodell mit zufälligen Effekten mit den Variationsursachen zwischen den Wochenmischproben und innerhalb der Wochenmischproben (HARTUNG et al. 1985).

Mittels Varianzen-F-Test wird geprüft, ob die Variation zwischen den Wochenmischproben größer ist als die Variation innerhalb der Wochenmischprobe (DIN 53 804-1).

Im Anschluss wird ein Statement betreffend Übereinstimmung der beiden Modelle abgegeben.

### **Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Brennwert**

*Tabelle 36: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Brennwert (oberer Heizwert  $H_o$ ).*

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	6.145	5.813	5.979	235	4
WMP MBA 1	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	5.733	6.160	5.946	302	5
WMP Stat 2	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	5.998	6.000	5.999	1	0,02
WMP MBA 2	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	5.635	5.955	5.795	226	4
WMP Stat 3	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	5.786	5.334	5.560	320	6
WMP MBA 3	Brennwert $H_o$	kJ/kg TM Inertkorr.	5.573	5.577	5.575	3	0,1

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen.





Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA  $i$  (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat  $i$  (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

101 % (WMP 1); 104 % (WMP 2); 100 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 37: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Brennwert.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP</sub> A, B	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	kJ/kg TM Inertkorr.	5.772	237	4	4	2
Stat	kJ/kg TM Inertkorr.	5.846	284	5	4	3

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse. Die Brennwertergebnisse über verschiedene Tagesmischproben zeigen nur niedrige Streuungen (Gesamtstandardabweichung < 10 %).

Mittels Varianzen F-Test wird geprüft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen der Variation innerhalb der Wochenmischprobe und der Variation zwischen der Wochenmischprobe vorliegt (DIN 53804-1).

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Inertanteil

Tabelle 38: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Inertstoffe.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Inertstoffe	%	17	24	20	5	25
WMP MBA 1	Inertstoffe	%	21	22	22	1	3
WMP Stat 2	Inertstoffe	%	19	20	19	0,2	1
WMP MBA 2	Inertstoffe	%	23	21	22	2	7
WMP Stat 3	Inertstoffe	%	22	24	23	2	7
WMP MBA 3	Inertstoffe	%	22	23	22	1	5

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und dem Stat-Modell und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (WMP Stat 1 liegt im +/- 3 s des MBA-Modells, WMP 2 im +/- 2 s Bereich, WMP 3 im +/- 1 s Bereich des Mittelwertes).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA  $i$  (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat  $i$  (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

92 % (WMP 1); 89 % (WMP 2); 102 % (WMP 3)

Eine Aufteilung der Gesamtstreuung des Gesamtmittelwertes (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) aus den drei Wochenmischproben (MW<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle ergibt:

Tabelle 39: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Inertanteil.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	%	22	1	4	5	1
Stat	%	21	3	14	14	8

Mittels Varianzen F-Test wird geprüft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen der Variation innerhalb der Wochenmischprobe und der Variation zwischen der Wochenmischprobe vorliegt (DIN 53804-1).

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz (Beachte: Aussagen unscharf aufgrund vorliegender Freiheitsgrade<sup>33</sup>).

### 3.7.3 Auswertung der qualifizierten Stichproben

Durch die Ermittlung der Variation auf Basis der getrennten Analyse von qualifizierten Stichproben soll beurteilt werden, ob die Stichprobenanzahl für die Verteilung innerhalb der Tagesmischproben ausreichend ist.

Tabelle 40: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben.

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inertkorr.
QSTP 1-2	20	6.162
QSTP 1-4	21	5.522
QSTP 1-6	20	5.249
QSTP 2-2	18	6.197
QSTP 2-3	20	5.106
QSTP 2-4	20	5.458
MW	20	5.615
Stabw.	1	461
% RSD	4	8
Median	20	5.490

<sup>33</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen (A, B) zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>i</sub> und RSD<sub>z</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet und schließen einander in ihren Unsicherheitsbereichen ein. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich daher statistisch gesehen nicht voneinander.



Die ermittelte relative Standardabweichung liegt bei Inertstoffen und Brennwert unter 10 %.

**Statement:**

Die gegenwärtige qualifizierte Stichprobenanzahl (6) für das MBA-Modell ist ausreichend, um die Bestimmung des Brennwertes und der Inertanteile durchzuführen.

Die statistischen Kenngrößen Median und Mittelwert sind gut vergleichbar – die Hypothese des Vorliegens einer Normalverteilung der Daten kann angenommen werden (siehe auch Histogramm für Inertstoffe im Anhang, Abbildung 99).

### 3.7.4 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischproben für die Modelle MBA und Stat – Brennwert und Inertanteil

Bei den Parametern Brennwert und Inertanteile wurde für das Stat-Modell jeweils eine Bestimmung pro Tagesmischprobe durchgeführt (MBA-Modell Brennwert: jeweils zwei unabhängige Bestimmungen der Tagesmischproben).

Nachfolgend werden die Wochenbeurteilungswerte durch Mittelwertbildung aus den jeweils drei Tagesmischproben pro Wochenäquivalent berechnet. Zusätzlich werden in den Tabellen die absoluten und relativen Standardabweichungen, berechnet aus den jeweils drei Tagesmittelwerten (MW TMP Stat j I, II) bzw. aus den zwei Bestimmungen für die Wochenmischprobe angegeben.

Der Vertrauensbereich für den Wochenbeurteilungswert wird aus den angegebenen Standardabweichungen (Stabw. bzw. % RSD) und dem Mittelwert der drei Tagesmischprobenmittelwerte berechnet.

$$VB_{95} = \frac{s \cdot t_{(f; 1-\alpha/2)}}{\sqrt{3}} = \frac{s \cdot 4,3}{1,73} = s \cdot 2,48$$

Formel 4: Berechnung des 95 % Vertrauensbereiches für den Erwartungswert.

$s$  Standardabweichung (Stabw.)

$(1-\alpha/2)$  Vertrauensniveau (zweiseitig); hier 95 % (95 % VB)

$f$  Freiheitsgrade ( $n-1$ ), hier 2 für den Mittelwert aus 3 TMP

$t_{(f; 1-\alpha/2)}$  Tabellenwert der Student-Verteilung (hier:  $t_{(2; 0,975)} = 4,3$ ).

Das 95 % Konfidenzintervall für den Erwartungswert kann durch Multiplikation der Standardabweichung mit dem Faktor von 2,48 und Addition sowie Subtraktion vom berechneten Mittelwert berechnet werden. Wegen der geringen Freiheitsgrade (hier 2) ergeben sich breite Konfidenzintervalle für den Beurteilungswert.

Im Anschluss an die Datentabellen und Auswertungen zu den Tages- und Wochenmischproben wird jeweils ein Statement betreffend Vergleichbarkeit der auf Basis der drei Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswerte für das Wochenäquivalent mit den durch Analyse der Wochenmischproben (direkt) ermittelten Beurteilungswerten für beide Modelle formuliert.

#### Beurteilungswerte

#### 95 % Konfidenzintervall

#### Vergleich Beurteilungswert auf Basis der TMP mit WMP

*Tabelle 41: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.*

Subpopulation	Tagesmischprobe	Wochenmischprobe
WÄQ 1	TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
	TMP Stat 1 bis 3	WMP Stat 1
WÄQ 3	TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
	TMP Stat 4 bis 6	WMP Stat 2
WÄQ 5	TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
	TMP Stat 7 bis 9	WMP Stat 3

### 3.7.4.1 Wochenäquivalent Nr. 1 Stat-Modell – Inertstoffe und Brennwert

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP 1 charakterisiert.

*Tabelle 42: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 1 bis 3 (Inertstoffe, Brennwert).*

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inertkorr.
TMP Stat 1	16	5.496
TMP Stat 2	17	5.632
TMP Stat 3	19	5.253
MW TMP Stat (1 bis 3)	18	5.460
Stabw. TMP Stat (1 bis 3)	1	192
% RSD TMP Stat (1 bis 3)	8	4

*Tabelle 43: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 1 A, B (Inertstoffe, Brennwert).*

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inertkorr.
MW WMP Stat 1 A, B	20	5.979
Stabw. WMP Stat 1 A, B	5	235
% RSD WMP Stat 1 A, B	25	4

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW TMP +/- 95 % VB

Inertanteil 18 +/- 3 %

Brennwert 5.460 +/- 476 kJ/kg TM Inertkorr

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW WMP +/- 3 s

Inertanteil 20 +/- 15 % (111 % bezogen auf MW TMP).

Brennwert 5.979 +/- 705 kJ/kg TM (110 % bezogen auf MW TMP).



Die Ergebnisse der Wochenmischprobe zu WÄQ 1 (WMP Stat 1) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes (Beim Brennwert überlappen sich beide Erwartungsbereiche).

### 3.7.4.2 Wochenäquivalent Nr. 3 Stat-Modell – Inertstoffe und Brennwert

Das dritte Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP 2 charakterisiert.

Tabelle 44: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 4 bis 6 (Inertstoffe, Brennwert).

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inertkorr.
TMP Stat 4	22	5.857
TMP Stat 5	20	6.027
TMP Stat 6	25	5.987
MW TMP Stat (4 bis 6)	22	5.957
Stabw. TMP Stat (4 bis 6)	2	89
% RSD TMP Stat (4 bis 6)	10	1

Tabelle 45: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 2 A, B (Inertstoffe, Brennwert).

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inertkorr.
MW WMP Stat 2 A, B	19	5.999
Stabw. WMP Stat 2 A, B	0,2	1
% RSD WMP Stat 2 A, B	1	0,02

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3 – Basis MW TMP +/- 95 % VB

Inertanteil 22 +/- 5 %

Brennwert 5.957 +/- 220 kJ/kg TM Inertkorr.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3 – Basis MW WMP +/- 3 s

Inertanteil 19 +/- 0,6 % (86 % bezogen auf MW TMP).

Brennwert 5.999 +/- 3 kJ/kg TM (101 % bezogen auf MW TMP).

Die Ergebnisse der Wochenmischprobe zu WÄQ 3 (WMP Stat 2) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

### 3.7.4.3 Wochenäquivalent Nr. 5 Stat-Modell – Inertstoffe und Brennwert

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP 3 charakterisiert.



Tabelle 46: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 7 bis 9 (Inertstoffe, Brennwert).

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inert-korr.
TMP Stat 7	19	6.413
TMP Stat 8	20	5.527
TMP Stat 9	19	6.010
MW TMP Stat (7 bis 9)	19	5.983
Stabw. TMP Stat (7 bis 9)	0,5	443
% RSD TMP Stat (7 bis 9)	3	7

Tabelle 47: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 3 A, B (Inertstoffe, Brennwert).

Parameter	Inertstoffe	Brennwert Ho
Einheit	%	kJ/kg TM Inert-korr.
MW WMP Stat 3 A, B	23	5.560
Stabw. WMP Stat 3 A, B	2	320
% RSD WMP Stat 3 A, B	7	6

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW TMP +/- 95 % VB

Inertanteil 19 +/- 1 %

Brennwert 5.983 +/- 1.102 kJ/kg TM Inertkorr.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW WMP +/- 3 s

Inertanteil 23 +/- 6 % (121 % bezogen auf MW TMP)

Brennwert 5.560 +/- 960 kJ/kg TM (93 % bezogen auf MW TMP).

Sämtliche Ergebnisse der Wochenmischproben zu WÄQ 5 (WMP Stat 3) für den Brennwert liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes. (Beim Inertanteil überlappen sich beide Erwartungsbereiche.)

#### 3.7.4.4 Wochenäquivalent Nr. 1 MBA-Modell – Inertstoffe

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP 1 charakterisiert.

Tabelle 48: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
TMP MBA 1	21
TMP MBA 2	20
TMP MBA 3	22
MW TMP MBA (1 bis 3)	21
Stabw. TMP MBA (1 bis 3)	1
% RSD TMP MBA (1 bis 3)	5



Tabelle 49: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 A, B (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
MW WMP MBA 1 A, B	22
Stabw. WMP MBA 1 A, B	1
% RSD WMP MBA 1 A, B	3

### 3.7.4.5 Wochenäquivalent Nr. 3 MBA-Modell – Inertstoffe

Das zweite Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP 2 charakterisiert.

Tabelle 50: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
TMP MBA 4	25
TMP MBA 5	25
TMP MBA 6	20
MW TMP MBA (4 bis 6)	23
Stabw. TMP MBA (4 bis 6)	3
% RSD TMP MBA (4 bis 6)	12

Tabelle 51: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 A, B (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
MW WMP MBA 2 A, B	22
Stabw. WMP MBA 2 A, B	2
% RSD WMP MBA 2 A, B	7

### 3.7.4.6 Wochenäquivalent Nr. 5 MBA-Modell – Inertstoffe

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP 3 charakterisiert.

Tabelle 52: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
TMP MBA 7	23
TMP MBA 8	19
TMP MBA 9	25
MW TMP MBA (7 bis 9)	22
Stabw. TMP MBA (7 bis 9)	3
% RSD TMP MBA (7 bis 9)	13

Tabelle 53: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 A, B (Inertstoffe).

Parameter	Inertstoffe
Einheit	%
MW WMP MBA 3 A, B	22
Stabw. WMP MBA 3 A, B	1
% RSD WMP MBA 3 A, B	5

### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischproben mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben – Inertanteil MBA-Modell

Sämtliche Ergebnisse der Wochenmischproben zu WÄQ 1, WÄQ 3 und WÄQ 5 (WMP MBA 1, WMP MBA 2 und WMP MBA 3) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

#### 3.7.4.7 Wochenäquivalent Nr. 1 MBA-Modell – Brennwert

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP 1 charakterisiert.

Tabelle 54: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM Inertkorr.
TMP MBA 1 I	5.982
TMP MBA 1 II	5.649
TMP MBA 2 I	5.601
TMP MBA 2 II	5.432
TMP MBA 3 I	5.311
TMP MBA 3 II	5.226
MW TMP MBA 1 bis 3	5.534
Stabw. TMP MBA 1 bis 3 <sup>34</sup>	274
% RSD TMP MBA 1 bis 3	5

Tabelle 55: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 A I, II (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM Inertkorr.
WMP MBA 1 A I	5.733
WMP MBA 1 A II	5.893
MW WMP MBA 1 A	5.813
Stabw. WMP MBA 1 A	113
% RSD WMP MBA 1 A	2

<sup>34</sup>Die Berechnung der Standardabweichung erfolgt über die drei Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen (n = 3).





### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW TMP +/- 95 % VB  
Brennwert 5.534 +/- 680 kJ/kg TM Inertkorr.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 1 – Basis MW WMP +/- 3 s  
Brennwert 5.813 +/- 339 kJ/kg TM (105 % bezogen auf MW TMP).

Die Ergebnisse der Wochenmischprobe zu WÄQ 1 (WMP MBA 1) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

#### 3.7.4.8 Wochenäquivalent Nr. 3 MBA-Modell – Brennwert

Das dritte Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP 2 charakterisiert.

Tabelle 56: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM Inertkorr.
TMP MBA 4 I	6.012
TMP MBA 4 II	5.468
TMP MBA 5 I	6.222
TMP MBA 5 II	6.263
TMP MBA 6 I	6.037
TMP MBA 6 II	5.952
MW TMP MBA 4 bis 6	5.992
Stabw. TMP MBA 4 bis 6 <sup>35</sup>	251
% RSD TMP MBA 4 bis 6	4

Tabelle 57: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 A I, II (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM Inertkorr.
WMP MBA 2 A I	5.635
WMP MBA 2 A II	5.613
MW WMP MBA 2 A	5.624
Stabw. WMP MBA 2 A	15
% RSD WMP MBA 2 A	0,3

<sup>35</sup> Die Berechnung der Standardabweichung erfolgt über die drei Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen (n = 3).



### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3– Basis MW TMP +/- 95 % VB  
Brennwert 5.992 +/- 624 kJ/kg TM Inertkorr.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 3 – Basis MW WMP +/- 3 s  
Brennwert 5.624 +/- 45 kJ/kg TM (94 % bezogen auf MW TMP).

Die Ergebnisse der Wochenmischprobe zu WÄQ 3 (WMP MBA 2) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

#### 3.7.4.9 Wochenäquivalent Nr. 5 MBA-Modell – Brennwert

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP 3 charakterisiert.

Tabelle 58: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM , Inertkorr.
TMP MBA 7 I	6.114
TMP MBA 7 II	6.137
TMP MBA 8 I	5.894
TMP MBA 8 II	5.565
TMP MBA 9 I	5.578
TMP MBA 9 II	5.468
MW TMP MBA 7 bis 9	5.792
Stabw. TMP MBA 7 bis 9 <sup>36</sup>	306
% RSD TMP MBA 7 bis 9	5

Tabelle 59: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 A I, II (Brennwert).

Parameter	Brennwert Ho
Einheit	kJ/kg TM, Inertkorr.
WMP MBA 3 A I	5.573
WMP MBA 3 A II	5.468
MW WMP MBA 3 A	5.520
Stabw. WMP MBA 3 A	74
% RSD WMP MBA 3 A	1

<sup>36</sup>Die Berechnung der Standardabweichung erfolgt über die drei Mittelwerte aus den Doppelbestimmungen (n = 3).



### Vergleich des Mittelwertes der Wochenmischprobe mit dem ermittelten Wochenbeurteilungswert aus den drei Tagesmischproben

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW TMP +/- 95 % VB  
Brennwert 5.792 +/- 761 kJ/kg TM Inertkorr.

Wochenbeurteilungswert zu WÄQ 5 – Basis MW WMP +/- 3 s  
Brennwert 5.520 +/- 222 kJ/kg TM (95 % bezogen auf MW TMP).

Die Ergebnisse der Wochenmischprobe zu WÄQ 5 (WMP MBA 3) liegen im 95 % Vertrauensbereich des auf Basis der Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswertes.

## 3.8 Gehalte im Feststoff – Trockenmassebestimmung, Wassergehalt, Metalle und Arsen

### Aufschluss mit Königswasser gemäß ÖNORM EN 13657

Thermischer Aufschluss unter Rückfluss von je 2 g der gemahlene lufttrockenen Probe (< 0,25 mm) – Säurematrix: 15 ml Salzsäure (36 %, subboiled) und 5 ml Salpetersäure (65 %, subboiled). Sämtliche Aufschlusslösungen wurden über Faltenfilter (280 1/4) filtriert.

**Aufschluss**

Für die Bestimmung der Trockenmasse (105 °C) wurden Aliquote von rd. 1 bis 2 g der gemahlene lufttrockenen Probe (< 0,25 mm) im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

**Trockenmasse**

### Bestimmung der königswasserlöslichen Anteile an Metallen und Arsen

Sämtliche Aufschlusslösungen wurden in geeigneter Verdünnung der Analyse durchgeführt. Die Bestimmung der Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Silber, Zink und Arsen erfolgte mit ICP-OES gemäß ÖNORM EN 11885.

**Prüfverfahren**

Die Quecksilberbestimmung in den Aufschlusslösungen erfolgte nach Reduktion mit Natriumborhydrid mittels Fließinjektions-Kaltdampf-AAS gemäß ÖNORM EN 1483.

Zur Überprüfung des Analysenverfahrens wurde das Referenzmaterial CRM 146 R „Trace elements in sewage sludge from industrial origin“ gemeinsam mit den Proben mit aufgeschlossen und analysiert.

**Qualitätssichernde Maßnahmen**

Die erhaltenen Analysenergebnisse und ermittelten Wiederfindungsraten in Bezug auf zertifizierte Referenzwerte werden im Anhang in Tabelle 127 auf Seite 192 dargestellt.

### 3.8.1 Auswertung der Wiederholansätze

Von insgesamt sieben Mischproben (TMP Stat 4, TMP MBA 1 bis 3 und WMP MBA 1 A bis 3 A) wurden je zwei Ansätze für die Bestimmung der Gesamtgehalte im Feststoff herangezogen.



Die nachfolgende Tabelle 60 zeigt die nach Normierung der Daten auf den jeweiligen Mittelwert der sieben Mischproben erhaltene mittlere relative Standardabweichung („mittlere RSD I, II“) berechnet aus allen sieben Doppelansätzen.

Um Informationen betreffend des Bereiches der relativen Standardabweichungen der jeweils zwei Bestimmungen zu erhalten, werden zusätzlich die kleinsten Standardabweichungen als Minima („Minima RSD I, II“) und die größten Standardabweichungen als Maxima („Maxima RSD I, II“) der Doppelansätze für sieben unterschiedliche Mischproben angegeben.

Die angegebenen Standardabweichungen berücksichtigen die Komponenten Probeneinwaage, Aufschluss, Analysenschritt und Heterogenität der Probe (2 g Aliquote der Fraktion < 0,25 mm lufttrocken).

*Tabelle 60: Relative Wiederholstandardabweichungen für je zwei Bestimmungen in den Proben < 0,25 mm.*

<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>mittlere RSD I, II</b>	<b>Minima RSD I, II</b>	<b>Maxima RSD I, II</b>	<b>Anzahl der unabhängigen Ansätze (n)</b>
Blei	%	12	2	19	7
Cadmium	%	17	2	35	7
Chrom	%	21	2	53	7
Kupfer	%	57	2	117	7
Nickel	%	25	0,5	65	7
Silber	%	27	2	46	7
Zink	%	13	0,2	25	7
Arsen	%	4	1	5	7
Quecksilber	%	6	1	12	7

Besonders die Metalle Kupfer, Nickel, Chrom und Silber streuen sehr stark. Da die MBA-Fractionen bis zu 2/3 aus mechanisch behandelten gemischten Siedlungsabfällen und etwa 1/3 Klärschlamm stammen, sind die erhaltenen höheren Standardabweichungen bei wiederholtem Aufschluss von 2 g Probenmaterial aus derselben aufbereiteten Analysenprobe (Feststoff) höchstwahrscheinlich auf inhomogene (partikuläre) Verteilung der Metalle in der Probe zurückzuführen (v. a. Kupfer).

Zur Gewinnung von Informationen betreffend Wiederholbarkeit von Aufschluss und Analyse für die Gesamtgehalte im Feststoff für ein homogenes Probenmaterial werden nachfolgend zusätzlich die mittlere relative Standardabweichung von drei unabhängigen Bestimmungen (getrennte Aufschlussserien) des Referenzmaterials CRM 146 „Schwermetalle in Klärschlamm aus industrieller Herkunft“ dargestellt (siehe Tabelle 61).



Tabelle 61: Relative Wiederholstandardabweichung für je drei unabhängige Bestimmungen des Referenzmaterials CRM 146 R (analysenfein, homogen).

Parameter	Einheit	mittlere RSD	Anzahl der unabhängigen Ansätze (n)
Blei	%	2	3
Cadmium	%	5	3
Chrom	%	2	3
Kupfer	%	5	3
Nickel	%	4	3
Silber	%	2	3
Zink	%	1	3
Arsen	%	2	3
Quecksilber	%	2	3

Wie zu erwarten, sind die mittleren Standardabweichungen für drei unabhängige Bestimmungen (in drei verschiedenen Serien) beim homogenen Referenzmaterial deutlich geringer als bei einem heterogenen Material wie MBA-Deponieoutput.

### 3.8.2 Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben für Modelle WMP Stat und WMP MBA

Nachfolgend werden die statistischen Kenngrößen (Mittelwert, Standardabweichung, % relative Standardabweichung) für die im Labor aus der Originalprobe hergestellten Parallelproben (Bezeichnung nach Teilung: A und B) für die Gesamtgehalte im Feststoff dargestellt.<sup>37</sup>

#### Statistische Kenngrößen

Die Dokumentation betreffend Durchführung der Probenteilung für die Wochenmischproben ist Abbildung 12 und Abbildung 14 zu entnehmen. Die Aufarbeitungsschritte werden in Abbildung 15 als Fließbild dokumentiert.

Zum Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat werden die Mittelwerte der betreffenden Wochenmischproben und die zugehörigen Standardabweichungen herangezogen.

#### Vergleich MBA- und Stat-Modell

Es wird beurteilt, ob der aus den Einzelergebnissen der beiden unabhängigen Aufarbeitungsproben A und B gebildete Mittelwert für die drei Wochenmischproben gemäß Stat-Modell im Erwartungsbereich (hier: Bereich Mittelwert  $\pm 1 s$ , Mittelwert  $\pm 2 s$  oder Mittelwert  $\pm 3 s$ ) der Ergebnisse des MBA-Modells liegt.

Durch eine Varianzanalyse wird die beobachtete Gesamtstandardabweichung der Wochenmischprobenergebnisse für beide Modelle mathematisch in die Anteile der Standardabweichung innerhalb der Wochenmischproben und in die Anteile der Standardabweichung zwischen den Wochenmischproben aufgeteilt. Damit kann der Fehler aus der unabhängigen Aufarbeitung der Parallelproben von der Variabilität zwischen den Wochenmischproben unterschieden werden.

#### Varianzanalyse

<sup>37</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Verwendet wird ein einfaches Varianzkomponentenmodell mit zufälligen Effekten mit den Variationsursachen zwischen den Wochenmischproben und innerhalb der Wochenmischproben (HARTUNG et al. 1985).

Mittels Varianzen-F-Test wird geprüft, ob die Variation zwischen den Wochenmischproben größer ist als die Variation innerhalb der Wochenmischprobe (DIN 53 804-1).

Im Anschluss wird ein Statement betreffend Übereinstimmung der beiden Modelle gegeben.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Trockenmasse der Originalprobe

Tabelle 62: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – TM 105 °C.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	TM 105 °C	% FM	84	82	83	2	2
WMP MBA 1	TM 105 °C	% FM	85	83	84	2	2
WMP Stat 2	TM 105 °C	% FM	85	85	85	0,4	0,5
WMP MBA 2	TM 105 °C	% FM	85	87	86	2	2
WMP Stat 3	TM 105 °C	% FM	83	83	83	0,2	0,3
WMP MBA 3	TM 105 °C	% FM	84	86	85	2	2

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (MW +/- 1 s).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

99 % (WMP 1); 99 % (WMP 2); 98 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 63: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – TM 105 °C.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	%	85	2	2	2	1
Stat	%	84	1	1	1	1

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und TM-Bestimmung.



Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Informativer Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Wassergehalt der Originalprobe

Tabelle 64: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – WG 105 °C.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	WG 105 °C	% FM	16	18	17	2	9
WMP MBA 1	WG 105 °C	% FM	15	17	16	2	12
WMP Stat 2	WG 105 °C	% FM	15	15	15	0,4	3
WMP MBA 2	WG 105 °C	% FM	15	13	14	2	12
WMP Stat 3	WG 105 °C	% FM	17	17	17	0,2	1
WMP MBA 3	WG 105 °C	% FM	16	14	15	2	13

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (MW  $\pm$  1 s).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

104 % (WMP 1); 105 % (WMP 2); 111 % (WMP 3).

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Blei

Tabelle 65: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Blei.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Blei	mg/kg TM	1.577	558	1.068	721	67
WMP MBA 1	Blei	mg/kg TM	826	1.059	942	165	17
WMP Stat 2	Blei	mg/kg TM	611	500	555	79	14
WMP MBA 2	Blei	mg/kg TM	728	681	705	33	5
WMP Stat 3	Blei	mg/kg TM	1.078	658	868	297	34
WMP MBA 3	Blei	mg/kg TM	860	917	888	40	5

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (WMP 1, WMP 2 MW  $\pm$  1 s; WMP 2 Stat liegt im 95 % Erwartungsbereich des MW WMP 2 MBA).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

113 % (WMP 1); 79 % (WMP 2); 98 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 66: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Blei.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	845	135	16	12	13
Stat	mg/kg TM	830	420	51	54	28

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Cadmium

Tabelle 67: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Cadmium.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Cadmium	mg/kg TM	1,0	3,2	2,1	1,5	72
WMP MBA 1	Cadmium	mg/kg TM	1,1	1,5	1,3	0,3	20
WMP Stat 2	Cadmium	mg/kg TM	4,0	1,5	2,7	1,7	63
WMP MBA 2	Cadmium	mg/kg TM	2,9	2,4	2,7	0,4	13
WMP Stat 3	Cadmium	mg/kg TM	1,3	1,5	1,4	0,1	10
WMP MBA 3	Cadmium	mg/kg TM	1,6	1,8	1,7	0,1	7

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (WMP 1: MW +/- 95 VB, WMP 2: MW +/- 1 s, WMP 3: MW +/- 3 s).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

159 % (WMP 1); 102 % (WMP 2); 86 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 68: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Cadmium.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	1,9	0,7	35	14	33
Stat	mg/kg TM	2,1	1,2	56	63	28





Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und TM-Bestimmung.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben für das Stat-Modell ist zufällig, für das MBA-Modell konnte ein wahrscheinlicher Unterschied<sup>38</sup> festgestellt werden. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Chrom

Tabelle 69: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Chrom.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Chrom	mg/kg TM	569	810	690	171	25
WMP MBA 1	Chrom	mg/kg TM	463	655	559	136	24
WMP Stat 2	Chrom	mg/kg TM	987	1.033	1.010	33	3
WMP MBA 2	Chrom	mg/kg TM	848	880	864	22	3
WMP Stat 3	Chrom	mg/kg TM	484	458	471	18	4
WMP MBA 3	Chrom	mg/kg TM	421	481	451	43	9

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in zwei von drei Fällen (MW +/- 1 s). Wahrscheinlicher Unterschied zwischen den Mittelwerten für WMP 2.

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

123 % (WMP 1); 117 % (WMP 2); 104 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 70: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Chrom.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	625	202	32	13	33
Stat	mg/kg TM	723	255	35	14	36

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

<sup>38</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen (A, B) zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>i</sub> und RSD<sub>z</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich voneinander, es kann jedoch statistisch noch kein signifikanter Unterschied (d. h. ein im Hinblick auf die geringen Freiheitsgrade eindeutiger Unterschied) nachgewiesen werden.

Wahrscheinlicher Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben.<sup>39</sup>

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Kupfer

Tabelle 71: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Kupfer.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Kupfer	mg/kg TM	949*	466	708	342	48
WMP MBA 1	Kupfer	mg/kg TM	592	471	531	85	16
WMP Stat 2	Kupfer	mg/kg TM	425	429	427	3	1
WMP MBA 2	Kupfer	mg/kg TM	375	1.419*	897	739	82
WMP Stat 3	Kupfer	mg/kg TM	409	415	412	4	1
WMP MBA 3	Kupfer	mg/kg TM	3.826*	370	2.098	2.444	116

\* Wie bereits erwähnt kommt besonders bei Metallen wie Kupfer der partikuläre Effekt zum Tragen (siehe bis zu 10-fach höhere Werte für A bzw. B in obiger Tabelle).

Nachfolgende Diagramme (Histogramm und Boxplot) mit Messergebnissen für sämtliche WMP *i* (*i* = 1, 2, 3 für Stat und MBA) veranschaulichen die zugrunde liegende Verteilung der Messwerte und den partikulären Effekt.

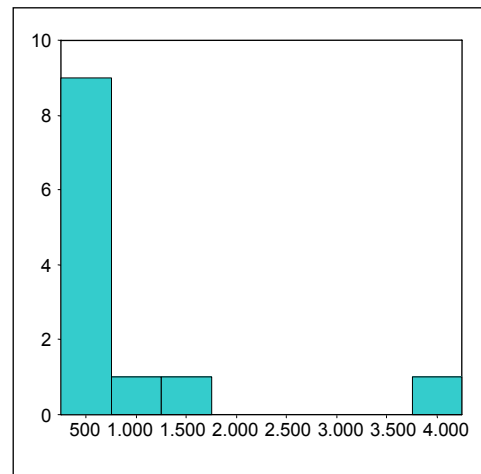


Abbildung 54: Histogramm von Kupfer in mg/kg TM – WMP.

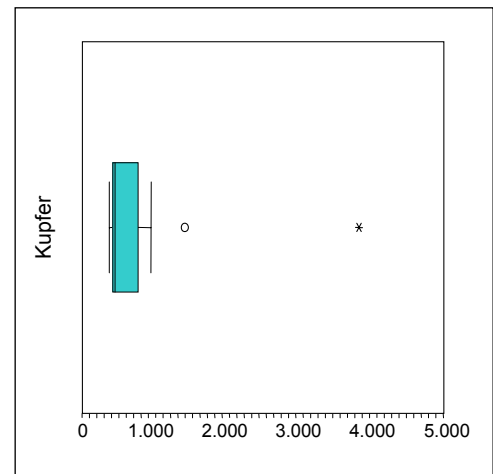


Abbildung 55: Boxplot für Kupfer in mg/kg TM – WMP.  
o Ausreißer  
\* Extremwert

<sup>39</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen A, B zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>1</sub> und RSD<sub>2</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich voneinander, es kann jedoch statistisch noch kein signifikanter Unterschied (d. h. ein im Hinblick auf die geringen Freiheitsgrade eindeutiger Unterschied) nachgewiesen werden.



Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (WMP 1, 2: MW +/- 1 s, WMP 3: MW +/- 3 s).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

133 % (WMP 1); 48 % (WMP 2); 20 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i</sub> WMP A, B) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z</sub> WMP) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Die Verteilung der Kupfergehalte weicht von einer Normalverteilung ab (partikuläre Verteilung der Kupferteilchen in den Proben). Daher wird in nachfolgender Tabelle neben dem Mittelwert auch der von Ausreißern weniger beeinflusste Median für beide Modelle angegeben (MED).

Der abfallcharakterisierende typische Erwartungswert für Kupfer lässt sich hier im Fall des MBA-Modells ohne Ausreißereliminierungsverfahren wesentlich besser mit dem statistischen Kennwert Median beschreiben.

Tabelle 72: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert und Median für drei WÄQ – Kupfer.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub> /(MED)	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i</sub> WMP A, B	% RSD <sub>z</sub> WMP
MBA	mg/kg TM	1.175/(532)	1.357	115	125	62
Stat	mg/kg TM	516/(427)	213	41	38	29

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Nickel

Tabelle 73: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Nickel.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Nickel	mg/kg TM	233	290	261	40	15
WMP MBA 1	Nickel	mg/kg TM	147	251	199	73	37
WMP Stat 2	Nickel	mg/kg TM	363	371	367	6	2
WMP MBA 2	Nickel	mg/kg TM	298	287	292	8	3
WMP Stat 3	Nickel	mg/kg TM	211	234	223	17	8
WMP MBA 3	Nickel	mg/kg TM	192	222	207	21	10



Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in zwei von drei Fällen (MW  $\pm 1$  s), signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten für WMP 2.<sup>40</sup>

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA *i* (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat *i* (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

131 % (WMP 1); 126 % (WMP 2); 108 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 74: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Nickel.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	233	58	25	19	18
Stat	mg/kg TM	284	70	25	9	26

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben für Modell MBA ist zufällig; für Modell Stat liegt ein wahrscheinlicher Unterschied<sup>41</sup> vor. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Silber

Tabelle 75: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Silber.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Silber	mg/kg TM	4,5	16*	10	8,3	81
WMP MBA 1	Silber	mg/kg TM	5,4	4,7	5,1	0,5	11
WMP Stat 2	Silber	mg/kg TM	1,7	1,5	1,6	0,1	6
WMP MBA 2	Silber	mg/kg TM	3,9	2,0	2,9	1,3	45
WMP Stat 3	Silber	mg/kg TM	3,8	4,9	4,4	0,7	17
WMP MBA 3	Silber	mg/kg TM	3,0	4,2	3,6	0,8	23

\* Ausreißerverdächtiger Wert (Partikulärer Effekt?)

<sup>40</sup>Da die Standardabweichung für die Wochenmischprobe 2 deutlich niedriger ausfällt als die im Zuge der Varianzanalyse erhobene Wiederholstandardabweichung mit mehr Freiheitsgraden, wird die Aussage „signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten für die WMP 2“ im Zuge der Plausibilitätsprüfung abgeschwächt.

<sup>41</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen (A, B) zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>i</sub> und RSD<sub>z</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich voneinander, es kann jedoch statistisch noch kein signifikanter Unterschied (d. h. ein im Hinblick auf die geringen Freiheitsgrade eindeutiger Unterschied) nachgewiesen werden.

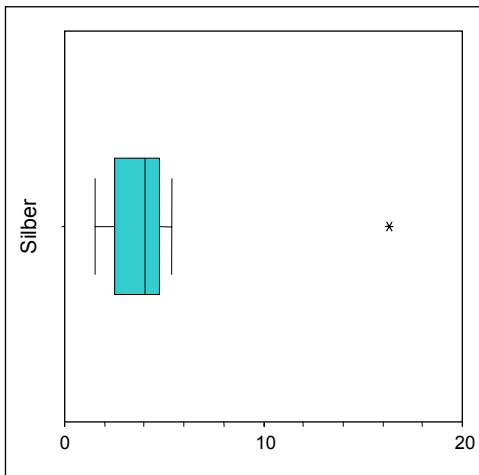


Abbildung 56: Boxplott von Silber in mg/kg TM.

\* Extremwert

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in zwei von drei Fällen (WMP 2, 3: MW  $\pm$  2 s). Bei WMP 1 liegt ein wahrscheinlicher Unterschied zwischen den Varianzen vor – die Mittelwerte unterscheiden sich unter Berücksichtigung der hohen Standardabweichungen nur zufällig (Aussagen unscharf!).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA  $i$  (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat  $i$  (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

205 % (inkl. hoher Messwert für Silber) bzw. 88 % ( $n = 1$  für WMP Stat 1 ohne hohen Messwert); 55 % (WMP 2); 121 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Der abfallcharakterisierende typische Erwartungswert für Silber lässt sich hier im Fall des MBA-Modells ohne Ausreißereliminierungsverfahren besser mit dem statistischen Kennwert Median beschreiben.

Tabelle 76: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert und Median für drei WÄQ – Silber.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub> /(Med)	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	3,9/(4,0)	1	31	25	22
Stat	mg/kg TM	5,4/(4,1)	5	101	89	53

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Zink

Tabelle 77: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Zink.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Zink	mg/kg TM	902	1.262	1.082	255	24
WMP MBA 1	Zink	mg/kg TM	1.055	1.354	1.205	212	18
WMP Stat 2	Zink	mg/kg TM	1.228	930	1.079	211	20
WMP MBA 2	Zink	mg/kg TM	807	976	891	119	13
WMP Stat 3	Zink	mg/kg TM	794	1.855*	1.325	750	57
WMP MBA 3	Zink	mg/kg TM	893	885	889	6	1

\* Ausreißerverdächtiger Wert (Partikulärer Effekt?)

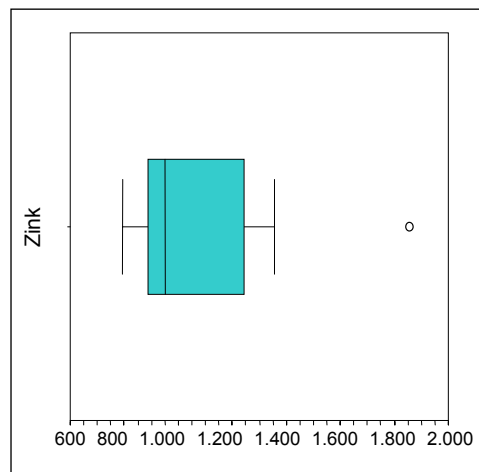


Abbildung 57: Boxplott von Zink in mg/kg TM.

o Ausreißer

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in zwei von drei Fällen (MW  $\pm 2s$ ). Im Fall der WMP 3 unterscheiden sich die Varianzen signifikant (hohe Standardabweichung bei Stat-Modell, niedrigere Standardabweichung bei MBA-Modell) – ein Mittelwertvergleich ist daher nicht zulässig.

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA  $i$  (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat  $i$  (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

90 % (WMP 1); 121 % (WMP 2); 149 % ( $n = 2$ ) bzw. 89 % ( $n = 1$  ohne Ergebnis für Probe WMP Stat 3 B) (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.



Tabelle 78: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Zink.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	995	196	20	14	16
Stat	mg/kg TM	1.162	387	33	41	11

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Arsen

Tabelle 79: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Arsen.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Arsen	mg/kg TM	6,8	7,3	7,0	0,3	5
WMP MBA 1	Arsen	mg/kg TM	7,9	9,6	8,8	1,2	13
WMP Stat 2	Arsen	mg/kg TM	9	9	9	1	7
WMP MBA 2	Arsen	mg/kg TM	11	9	10	2	16
WMP Stat 3	Arsen	mg/kg TM	4,8	5,9	5,3	0,7	13
WMP MBA 3	Arsen	mg/kg TM	5,6	5,8	5,7	0,1	2

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in drei von drei Fällen (MW +/- 2 s; WMP 3: MW +/- VB 95).

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

80 % (WMP 1); 92 % (WMP 2); 94 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i WMP A, B</sub>) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z WMP</sub>) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 80: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Arsen.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i WMP A, B</sub>	% RSD <sub>z WMP</sub>
MBA	mg/kg TM	8	2	26	14	24
Stat	mg/kg TM	7	2	24	8	25

Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig (MBA-Modell). Beim Stat-Modell liegt ein wahrscheinlicher<sup>42</sup> Unterschied vor. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### Vergleich der beiden Modelle MBA und Stat – Quecksilber

Tabelle 81: Vergleich der unabhängigen Aufarbeitungen der Wochenmischproben (A, B) – Quecksilber.

Modell	Parameter	Einheit	A	B	MW	Stabw.	% RSD
WMP Stat 1	Quecksilber	mg/kg TM	2,4	2,9	2,6	0,4	14
WMP MBA 1	Quecksilber	mg/kg TM	1,0	1,0	1,0	0,1	6
WMP Stat 2	Quecksilber	mg/kg TM	0,7	0,7	0,7	0,1	8
WMP MBA 2	Quecksilber	mg/kg TM	0,8	1,2	1,0	0,3	29
WMP Stat 3	Quecksilber	mg/kg TM	1,5	2,5	2,0	0,7	33
WMP MBA 3	Quecksilber	mg/kg TM	1,4	1,7	1,6	0,2	13

Nur zufälliger Unterschied zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und den Mittelwerten des Stat-Modells und daher vergleichbare Ergebnisse in zwei von drei Fällen (MW  $\pm$  3 s). Wahrscheinlicher Unterschied zwischen den Mittelwerten im Fall der WMP 1.

Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Wochenmischprobe WMP MBA i (Basis = 100 %) erhält man folgende Wiederfindungsraten für die Mittelwerte der Wochenmischprobe WMP Stat i (Berechnung mit ungerundeten Zahlen):

262 % (WMP 1); 70 % (WMP 2); 128 % (WMP 3).

Eine Aufteilung der Gesamtvariation und der Freiheitsgrade der Ergebnisse für die Wochenmischproben (Stabw.<sub>g</sub>, % RSD<sub>g</sub>) in einen Anteil innerhalb der Wochenmischprobe (% RSD<sub>i</sub> WMP A, B) und in einen Anteil zwischen den Wochenmischproben (% RSD<sub>z</sub> WMP) für beide Modelle zeigt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 82: Vergleich MBA- mit Stat-Modell – Gesamtmittelwert aus allen TMP – Quecksilber.

Modell	Einheit	MW <sub>g</sub>	Stabw. <sub>g</sub>	% RSD <sub>g</sub>	% RSD <sub>i</sub> WMP A, B	% RSD <sub>z</sub> WMP
MBA	mg/kg TM	1,2	0,3	28	18	25
Stat	mg/kg TM	1,8	0,9	53	25	53

<sup>42</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen (A, B) zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>i</sub> und RSD<sub>z</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich voneinander, es kann jedoch statistisch noch kein signifikanter Unterschied (d. h. ein im Hinblick auf die geringen Freiheitsgrade eindeutiger Unterschied) nachgewiesen werden.





Die relative Standardabweichung innerhalb der Wochenmischprobe A, B berücksichtigt die Heterogenität der Probe, die Aufarbeitung und Analyse.

Der Unterschied der Variation innerhalb der Wochenmischproben und der Variation zwischen den Wochenmischproben ist zufällig (MBA-Modell). Beim Stat-Modell liegt ein wahrscheinlicher<sup>43</sup> Unterschied vor. Die im Rahmen der Varianzanalyse berechneten mittleren Quadrate sind beide Schätzwerte derselben Varianz.

### 3.8.3 Auswertung der qualifizierten Stichproben

Tabelle 83: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (TM, WG, Pb, Cd).

Parameter	TM 105 °C	WG 105 °C	Blei	Cadmium
Einheit	%	%	mg/kg TM	mg/kg TM
QSTP MBA 1-2	86	14	1.427*	2
QSTP MBA 1-4	86	14	458	16*
QSTP MBA 1-6	84	16	467	2
QSTP MBA 2-2	83	17	467	1
QSTP MBA 2-3	82	18	569	5*
QSTP MBA 2-4	81	19	367	2
MW	84	16	626	5
Stabw.	2	2	398	6
% RSD	3	13	64	125
Median	83	17	467	2

\* Eine Auswertung der relativen Standardabweichungen (% RSD) ohne Einbeziehung der mit \* markierten Messwerte ergibt 15 % RSD für Blei (statt 64 %) und 29 % RSD für Cd (statt 125 %).

<sup>43</sup>Es wurden im Rahmen der Untersuchungen jeweils drei Wochenmischproben, zu je zwei Aufarbeitungen (A, B) zur Auswertung herangezogen. Die ermittelten relativen Standardabweichungen (RSD<sub>i</sub> und RSD<sub>z</sub>) sind daher mit erhöhten Unsicherheiten behaftet. Die Werte für die RSD innerhalb und zwischen den Wochenmischproben unterscheiden sich voneinander, es kann jedoch statistisch noch kein signifikanter Unterschied (d. h. ein im Hinblick auf die geringen Freiheitsgrade eindeutiger Unterschied) nachgewiesen werden.

Tabelle 84: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (Cr, Cu, Ni, Ag).<sup>44</sup>

Parameter	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
QSTP MBA 1-2	1.094	572	262	6,0
QSTP MBA 1-4	479	495	161	26*
QSTP MBA 1-6	493	576	164	5,2
QSTP MBA 2-2	585	539	227	8,1
QSTP MBA 2-3	828	646	387	5,4
QSTP MBA 2-4	599	579	206	6,4
MW	680	568	235	9,5
Stabw.	239	50	84	8,1
% RSD	35	9	36	85
Median	592	574	217	6

\* Eine Auswertung der relativen Standardabweichungen (% RSD) ohne Einbeziehung der markierten Messwerte (\*), ergibt 19 % RSD für Silber (statt 85 %).

Tabelle 85: Berechnung der statistischen Kenngrößen der qualifizierten Stichproben (Zn, As, Hg).<sup>45</sup>

Parameter	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
QSTP MBA 1-2	1.126	7,2	1,0
QSTP MBA 1-4	1.167	6,9	1,1
QSTP MBA 1-6	1.095	6,7	1,1
QSTP MBA 2-2	1.326	6,2	1,0
QSTP MBA 2-3	1.394	5,3	1,0
QSTP MBA 2-4	1.291	7,6	1,4
MW	1.233	6,7	1,1
Stabw.	121	0,8	0,2
% RSD	10	12	14
Median	1.229	7	1

<sup>44</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>45</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

### Leitparameter im Feststoff

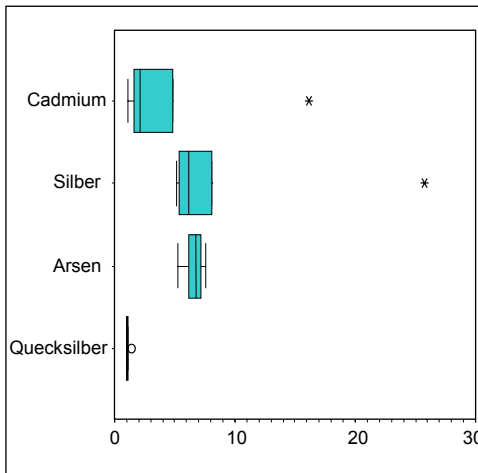


Abbildung 58: Boxplott von Cd, Ag, As und Hg in mg/kg TM.

\* Extremwerte  
o Ausreißer

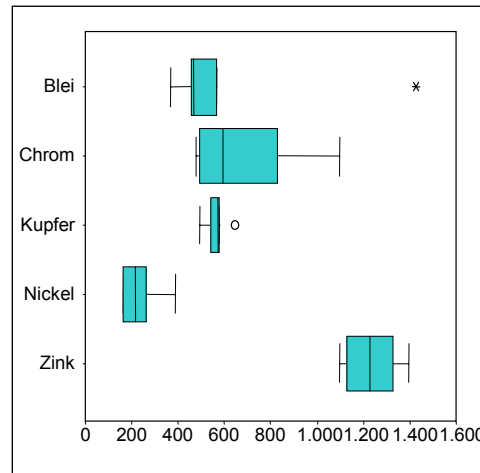


Abbildung 59: Boxplott von Pb, Cr, Cu, Ni und Zn in mg/kg TM.

Die von Extremwerten bereinigten relativen Standardabweichungen für die Leitparameter im Feststoff liegen im Bereich von 9–36 % RSD. Die Abschätzung der erforderlichen Stichprobenanzahl in Abhängigkeit von 10 % (20 %) Präzision und 90 % Aussagesicherheit ergibt 2 (1) bis 33 (9) Stichproben pro Tagesäquivalent.

Statement: Nachdem bei den Schwermetallen die partikulären Effekte überwiegen, die Gehalte sehr weit unterhalb des Grenzwertes für die Massenabfalldeponie liegen, sind sechs qualifizierte Stichproben pro Tagesäquivalent für das Stat-Modell bzw. 18 Stichproben pro Tagesäquivalent für das MBA-Modell ausreichend.

### 3.8.4 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischproben für die Modelle MBA und Stat

Nachfolgend werden die Auswertungen der Tagesmischproben und der Wochenmischprobe für beide Modelle dargestellt. Die statistischen Kenngrößen wie Mittelwert (MW), Standardabweichung (Stabw.) und relative Standardabweichung (% RSD) werden aus Einfachbestimmungen ( $n = 1$ ) für die Tagesmischproben ermittelt. Zum Vergleich mit den Ergebnissen der Wochenmischproben werden die statistischen Kenngrößen aus den unabhängigen Parallelaufarbeitungen A und B (für die Auswertung hier jeweils Einfachbestimmung pro Ansatz) ermittelt.

Die Wochenbeurteilungswerte werden durch Mittelwertbildung aus den jeweils drei Tagesmischproben pro Wochenäquivalent berechnet.

Der Vertrauensbereich für den Beurteilungswert wird aus den angegebenen Standardabweichungen (Stabw. bzw. % RSD) und dem Mittelwert der drei Tagesmischprobenmittelwerte berechnet.

**Wochen-  
beurteilungswerte**



$$VB_{95} = \frac{s \cdot t_{(f; 1-\alpha/2)}}{\sqrt{3}} = \frac{s \cdot 4,3}{1,73} = s \cdot 2,48$$

Formel 5: Berechnung des 95 % Vertrauensbereiches für den Erwartungswert.

$s$  Standardabweichung (Stabw.)

$(1-\alpha/2)$  Vertrauensniveau (zweiseitig); hier 95 % (95 % VB)

$f$  Freiheitsgrade ( $n-1$ ), hier 2 für den Mittelwert aus 3 TMP

$t_{(f; 1-\alpha/2)}$  Tabellenwert der Student-Verteilung (hier:  $t_{(2; 0,975)} = 4,3$ ).

### 95 % Konfidenzintervall

Das 95 % Konfidenzintervall für den Erwartungswert kann durch Multiplikation der Standardabweichung mit dem Faktor von 2,48 und Addition- sowie Subtraktion vom berechneten Mittelwert berechnet werden. Wegen der geringen Freiheitsgrade (hier 2) ergeben sich breite Konfidenzintervalle für den Beurteilungswert.

### Vergleich Beurteilungswert auf Basis der TMP mit WMP

Am Ende der Datentabellen und Auswertungen zu den Tages- und Wochenmischproben wird jeweils ein Vermerk betreffend Vergleichbarkeit der auf Basis der drei Tagesmischproben ermittelten Beurteilungswerte für das Wochenäquivalent mit den durch Analyse der Wochenmischproben (direkt) ermittelten Beurteilungswerten für beide Modelle angeführt („ja“, falls Mittelwert WMP innerhalb VB95 der TMP-Mittelwerte bzw. „nein“ für Mittelwert WMP außerhalb VB95 der TMP-Mittelwerte).

Zur Information wird der berechnete Mittelwert der Wochenmischprobe (MW WMP) in Bezug zum berechneten Mittelwert aus den analysierten Tagesmischproben gesetzt (Basis = 100 %) – in den Tabellen als Wiederfindungsrate angegeben (% WFR).

Tabelle 86: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.

Subpopulation	Tagesmischprobe	Wochenmischprobe
WÄQ 1	TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
	TMP Stat 1 bis 3	WMP Stat 1
WÄQ 3	TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
	TMP Stat 4 bis 6	WMP Stat 2
WÄQ 5	TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
	TMP Stat 7 bis 9	WMP Stat 3

### 3.8.4.1 Wochenäquivalent Nr. 1 – Stat-Modell

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP 1 charakterisiert.

Tabelle 87: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 1 bis 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>46</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP Stat 1	593	1,8	702	897	224	8,1	1.505	7,2	1,1
TMP Stat 2	517	1,2	679	556	381	5,2	1.041	7,5	0,9
TMP Stat 3	1.543	1,6	425	599	147	7,0	1.152	7,0	10
<b>MW TMP Stat (1 bis 3)</b>	<b>884</b>	<b>1,5</b>	<b>602</b>	<b>684</b>	<b>251</b>	<b>6,8</b>	<b>1.233</b>	<b>7,2</b>	<b>3,9</b>
<b>Stabw. TMP Stat (1 bis 3)</b>	<b>571</b>	<b>0,4</b>	<b>154</b>	<b>186</b>	<b>119</b>	<b>1,4</b>	<b>242</b>	<b>0,2</b>	<b>5,0</b>
<b>% RSD TMP Stat (1 bis 3)</b>	<b>65</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>48</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>128</b>

<sup>46</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

Tabelle 88: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 1 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>47</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP Stat 1 A, B	1.068	2,1	690	708	261	10	1.082	7,0	2,6
Stabw. WMP Stat 1 A, B	721	1,5	171	342	40	8	255	0,3	0,4
% RSD WMP Stat 1 A, B	67	71,6	25	48	15	81	24	4,8	14
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP ?</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>nein<sup>48</sup></b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>121</b>	<b>138</b>	<b>115</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	<b>153</b>	<b>88</b>	<b>97</b>	<b>67</b>

<sup>47</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>48</sup>Wahrscheinlicher Unterschied zwischen Standardabweichungen – Mittelwerte nur zufälliger Unterschied (Aussage unscharf).



### 3.8.4.2 Wochenäquivalent Nr. 3 – Stat-Modell

Das dritte Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP 2 charakterisiert.

Tabelle 89: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 4 bis 6 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>49</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP Stat 4	331	2,1	678	642	188	2,3	897	16	1,0
TMP Stat 5	1.066	1,7	423	1.015	222	2,5	5764	8,3	0,9
TMP Stat 6	545	1,3	1.300	539	362	5,2	1.108	6,5	0,8
<b>MW TMP Stat (4 bis 6)</b>	<b>647</b>	<b>1,7</b>	<b>800</b>	<b>732</b>	<b>257</b>	<b>3,3</b>	<b>2.590</b>	<b>10</b>	<b>0,9</b>
<b>Stabw. TMP Stat (4 bis 6)</b>	<b>378</b>	<b>0,4</b>	<b>451</b>	<b>250</b>	<b>92</b>	<b>1,6</b>	<b>2.751</b>	<b>4,9</b>	<b>0,1</b>
<b>% RSD TMP Stat (4 bis 6)</b>	<b>58</b>	<b>23</b>	<b>56</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>48</b>	<b>106</b>	<b>48</b>	<b>12</b>

<sup>49</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Tabelle 90: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 2 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>50</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP Stat 2 A, B	555	2,7	1.010	427	367	1,6	1.079	9,0	0,7
Stabw. WMP Stat 2 A, B	79	1,7	33	3	6	0,1	211	0,6	0,1
% RSD WMP Stat 2 A, B	14	63,2	3	1	2	6,2	20	7	8
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP?</b>	<b>ja</b>	<b>nein<sup>51</sup></b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>86</b>	<b>161</b>	<b>126</b>	<b>58</b>	<b>143</b>	<b>48</b>	<b>42</b>	<b>89</b>	<b>76</b>

<sup>50</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>51</sup>Bei vergleichbaren Standardabweichungen weisen Mittelwerte nur zufälligen Unterschied auf (Aussage unscharf).





### 3.8.4.3 Wochenäquivalent Nr. 5 – Stat-Modell

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP 3 charakterisiert.

Tabelle 91: Auswertung der Tagesmischproben TMP Stat 7 bis 9 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>52</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP Stat 7	558	2,5	439	476	169	2,8	721	5,3	1,6
TMP Stat 8	540	2,2	374	596	164	3,3	1.059	5,5	2,1
TMP Stat 9	587	2,2	626	1.231	362	3,3	1.273	5,5	1,5
<b>MW TMP Stat (7 bis 9)</b>	<b>562</b>	<b>2,3</b>	<b>479</b>	<b>768</b>	<b>231</b>	<b>3,1</b>	<b>1.018</b>	<b>5,4</b>	<b>1,7</b>
<b>Stabw. TMP Stat (7 bis 9)</b>	<b>23</b>	<b>0,2</b>	<b>131</b>	<b>406</b>	<b>113</b>	<b>0,3</b>	<b>278</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>
<b>% RSD TMP Stat (7 bis 9)</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>53</b>	<b>49</b>	<b>9</b>	<b>27</b>	<b>2</b>	<b>20</b>

<sup>52</sup> Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Tabelle 92: Auswertung der Wochenmischproben WMP Stat 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>53</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP Stat 3 A, B	868	1,4	471	412	223	4,4	1.325	5,3	2,0
Stabw. WMP Stat 3 A, B	297	0,1	18	4	17	0,7	750	0,7	0,7
% RSD WMP Stat 3 A, B	34	10,4	4	1	8	17	57	13	33
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP?</b>	<b>nein<sup>54</sup></b>	<b>nein<sup>55</sup></b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>nein<sup>56</sup></b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>154</b>	<b>63</b>	<b>98</b>	<b>54</b>	<b>96</b>	<b>139</b>	<b>130</b>	<b>98</b>	<b>115</b>

<sup>53</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>54</sup>Signifikanter Unterschied zwischen den Standardabweichungen – Mittelwerte können nicht statistisch verglichen werden.

<sup>55</sup>Bei vergleichbaren Standardabweichungen wahrscheinlicher Unterschied zwischen den Mittelwerten.

<sup>56</sup>Bei vergleichbaren Standardabweichungen unterscheiden sich die Mittelwerte nur zufällig.



### 3.8.4.4 Wochenäquivalent Nr. 1 – MBA-Modell

Das erste Wochenäquivalent (längste Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 1 bis 3 und die Wochenmischprobe WMP 1 charakterisiert.

Tabelle 93: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>57</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP MBA 1	1.743	1,6	1.224	649	507	17	1.245	7,3	1,1
TMP MBA 2	3.493	1,1	629	553	675	3,9	1.000	10	0,9
TMP MBA 3	466	1,0	444	631	127	5,9	1.162	6,7	1,1
<b>MW TMP MBA (1 bis 3)</b>	<b>1.901</b>	<b>1,2</b>	<b>766</b>	<b>611</b>	<b>436</b>	<b>8,9</b>	<b>1.136</b>	<b>8,0</b>	<b>1,1</b>
<b>Stabw. TMP MBA (1 bis 3)</b>	<b>1.520</b>	<b>0,3</b>	<b>407</b>	<b>51</b>	<b>281</b>	<b>7,1</b>	<b>125</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>
<b>% RSD TMP MBA (1 bis 3)</b>	<b>80</b>	<b>28</b>	<b>53</b>	<b>8</b>	<b>64</b>	<b>80</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>10</b>

<sup>57</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Tabelle 94: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 1 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>58</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP MBA 1 A, B	942	1,3	559	531	199	5,1	1.205	8,8	1,0
Stabw. WMP MBA 1 A, B	165	0,3	136	85	73	0,5	212	1,2	0,1
% RSD WMP MBA 1 A, B	17	19,8	24	16	37	11	18	13	6
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP?</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>50</b>	<b>108</b>	<b>73</b>	<b>87</b>	<b>46</b>	<b>56</b>	<b>106</b>	<b>110</b>	<b>95</b>

<sup>58</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



### 3.8.4.5 Wochenäquivalent Nr. 3 – MBA-Modell

Das dritte Wochenäquivalent (mittlere Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 4 bis 6 und die Wochenmischprobe WMP 2 charakterisiert.

Tabelle 95: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>59</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP MBA 4	596	1,7	647	399	253	21	696	15	1,1
TMP MBA 5	625	1,3	512	485	222	1,6	777	10	0,7
TMP MBA 6	934	1,8	1.550	720	516	3,6	1.019	6,4	0,7
<b>MW TMP MBA (4 bis 6)</b>	<b>718</b>	<b>1,6</b>	<b>903</b>	<b>535</b>	<b>331</b>	<b>8,8</b>	<b>831</b>	<b>10</b>	<b>0,8</b>
<b>Stabw. TMP MBA (4 bis 6)</b>	<b>187</b>	<b>0,3</b>	<b>564</b>	<b>166</b>	<b>162</b>	<b>11</b>	<b>168</b>	<b>5</b>	<b>0,2</b>
<b>% RSD TMP MBA (4 bis 6)</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>62</b>	<b>31</b>	<b>49</b>	<b>122</b>	<b>20</b>	<b>43</b>	<b>23</b>

<sup>59</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Tabelle 96: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 2 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>60</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP MBA 2 A, B	705	2,7	864	897	292	2,9	891	10	1,0
Stabw. WMP MBA 2 A, B	33	0,4	22	739	8	1,3	119	2	0,3
% RSD WMP MBA 2 A, B	5	13	3	82	3	45	13	16	29
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP?</b>	<b>ja</b>	<b>nein<sup>61</sup></b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>98</b>	<b>165</b>	<b>96</b>	<b>168</b>	<b>88</b>	<b>34</b>	<b>107</b>	<b>94</b>	<b>117</b>

<sup>60</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>61</sup>Bei vergleichbaren Standardabweichungen wahrscheinlicher Unterschied zwischen den Mittelwerten.



### 3.8.4.6 Wochenäquivalent Nr. 5 – MBA-Modell

Das fünfte Wochenäquivalent (kurze Lagerungsdauer auf der Freifläche) wird durch die Tagesmischproben TMP 7 bis 9 und die Wochenmischprobe WMP 3 charakterisiert.

Tabelle 97: Auswertung der Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>62</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP MBA 7	855	1,6	621	374	284	3,5	747	5,3	2,8
TMP MBA 8	3.153	1,4	451	485	195	2,9	898	5,4	1,3
TMP MBA 9	662	2,1	579	1.385	322	3,8	831	5,9	1,7
<b>MW TMP MBA (7 bis 9)</b>	<b>1.557</b>	<b>1,7</b>	<b>550</b>	<b>748</b>	<b>267</b>	<b>3,4</b>	<b>825</b>	<b>5,5</b>	<b>1,9</b>
<b>Stabw. TMP MBA (7 bis 9)</b>	<b>1.386</b>	<b>0,3</b>	<b>88</b>	<b>554</b>	<b>65</b>	<b>0,5</b>	<b>76</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>
<b>% RSD TMP MBA (7 bis 9)</b>	<b>89</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>74</b>	<b>24</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>39</b>

<sup>62</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



Tabelle 98: Auswertung der Wochenmischproben WMP MBA 3 (Gesamtgehalte im Feststoff).<sup>63</sup>

Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
MW WMP MBA 3 A, B	888	1,7	451	2.098	207	3,6	889	5,7	1,6
Stabw. WMP MBA 3 A, B	40	0,1	43	2.444	21	0,8	6	0,1	0,2
% RSD WMP MBA 3 A, B	5	7	9	116	10	23	1	2	13
<b>MW WMP innerhalb VB95 TMP?</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>	<b>ja</b>
<b>% WFR, Basis MW TMP</b>	<b>57</b>	<b>100</b>	<b>82</b>	<b>280</b>	<b>77</b>	<b>106</b>	<b>108</b>	<b>104</b>	<b>81</b>

<sup>63</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt – im Hinblick auf die Messgenauigkeit wird auf die im Zuge der Auswertung der getrennten Aufarbeitung der Proben ermittelten Standardabweichungen zum betreffenden Leitparameter verwiesen. Die auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.





Tabelle 99: Zusammenfassende Darstellung des Vergleiches der Wochenbeurteilungswerte auf Basis TMP bzw. WMP für beide Modelle – Gesamtgehalte im Feststoff.

Parameter	WÄQ 1, Stat	WÄQ 3, Stat	WÄQ 5, Stat	WÄQ 1, MBA	WÄQ 3, MBA	WÄQ 5, MBA	Mittlere WFR Stat	Mittlere WFR MBA	Vergleich WMP mit MW aus TMP
Einheit	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	% WFR, Basis MW TMP	n <sup>64</sup> von 6
Blei	121	86	154	50	98	57	120	68	5 von 6
Cadmium	138	161	63	108	165	100	120	124	3 von 6
Chrom	115	126	98	73	96	82	113	84	6 von 6
Kupfer	103	58	54	87	168	280	72	178	6 von 6
Nickel	104	143	96	46	88	77	114	70	6 von 6
Silber	153	48	139	56	34	106	113	66	4 von 6
Zink	88	42	130	106	107	108	87	107	6 von 6
Arsen	97	89	98	110	94	104	95	103	6 von 6
Quecksilber	67	76	115	95	117	81	86	98	6 von 6

<sup>64</sup>Anzahl der Wochenmischproben, die im 95 % Konfidenzintervall der Mittelwerte der Tagesmischproben lagen.



### 3.9 Eluatanalysen

Für die Bestimmung der ausgewählten organischen und anorganischen Leitparameter im Eluat wurden drei Tagesmischproben und drei Wochenmischproben ausgewählt.

**Eluatherstellung** Die Eluatherstellung erfolgte gemäß ÖNORM EN 12457-4. 0,14 bis 0,15 kg der aufbereiteten feuchten Laborprobe < 10 mm (entsprechend 0,126 kg bezogen auf die Trockenmasse 105 °C) wurden eingewogen und im Verhältnis L/S = 10 l/kg TM mit Reinstwasser versetzt.

Nach normgemäßer Stabilisierung wurden die Eluate auf nachfolgende Leitparameter analysiert:

- Eluatanalysen**
- TOC (Gesamter organischer Kohlenstoffgehalt)
  - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (Ammonium-Stickstoff)
  - LF (Elektrische Leitfähigkeit)
  - pH (pH-Wert)
  - ADR (Abdampfrückstand)
  - Chrom gesamt
  - Sulfat.

Zur Gewinnung von Vorinformationen betreffend Wiederholbarkeit des Auslaugungsverfahrens wurden zwei unabhängige Eluat-Ansätze für eine zufällig ausgewählte Probe angesetzt (Analysendaten siehe Tabelle 101: Eluatanalysen).

**Prüfverfahren** Die angewendeten Prüfverfahren für die Leitparameter im aufbereiteten Eluat werden nachfolgend dargestellt.

*Tabelle 100: Eluatanalysen – angewendete Prüfverfahren.*

Parameter	Verfahren
TOC	ÖNORM EN 1484
NH <sub>4</sub> -N	ÖNORM ISO 7150-1
LF	ÖNORM EN 27888
pH	DIN 38404-5
ADR	ÖNORM EN 15216
Chrom gesamt	DIN EN ISO 17294-2
Sulfat	ÖNORM EN ISO 10304-2

Tabelle 101: Eluatanalysen – Tagesmischproben.<sup>65</sup>

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C, < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Probenbezeichnung/Einheit	WÄQ i	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP MBA 4	WÄQ 3	92,0	7,69	425	40.400	5.530	445	12.500	1,64
TMP MBA 5	WÄQ 3	89,5	7,51	531	52.000	5.830	623	16.600	2,47
TMP MBA 6	WÄQ 3	88,0	7,54	436	42.400	4.610	656	13.000	4,35

Tabelle 102: Eluatanalysen – Wochenmischproben.

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C, < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Probenbezeichnung/Einheit	WÄQ i	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
WMP MBA 1A-I	WÄQ 1	85,8	7,48	506	50.000	6.100	902	17.600	2,65
WMP MBA 1A-II	WÄQ 1	85,8	7,51	508	50.300	5.590	872	17.700	2,72
WMP MBA 2A	WÄQ 3	84,8	7,53	531	51.400	4.160	667	17.400	2,98
WMP MBA 3A	WÄQ 5	84,1	7,52	545	52.200	6.010	885	16.600	4,49

<sup>65</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt. Die auf 2 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.



### 3.9.1 Auswertung der Wiederholansätze

Für die Wochenmischprobe WMP MBA 1A wurden zwei unabhängige Einwaagen einer Wochenmischprobe < 10 mm für das Eluat nach ÖNORM EN 12457-4 (L/S = 10l/kg TM) angesetzt und getrennt aufgearbeitet und analysiert (Ergebnisse siehe nachfolgende Tabelle).

Tabelle 103: Wochenmischprobe – Ergebnisse der unabhängigen Eluatansätze (n = 2).<sup>66</sup>

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C, < 10 mm	pH <sup>67</sup>	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Probenbezeichnung/Einheit	WÄQ i	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
WMP MBA 1A-I	WÄQ 1	85,8	7,48	506	50.000	6.100	902	17.600	2,65
WMP MBA 1A-II	WÄQ 1	85,8	7,51	508	50.300	5.590	872	17.700	2,72
MW WMP MBA 1A	WÄQ 1	85,8	7,49	507	50.200	5.850	887	17.700	2,69
Stabw.				1,4	212	361	21,2	71	0,05
% RSD				0,3	0,4	6,2	2,4	0,4	1,8

<sup>66</sup>Zur Information werden die ungerundeten Daten dargestellt. Die auf 2 signifikante Stellen gerundeten Ergebnisse werden im Anhang dargestellt.

<sup>67</sup>Mittelwertbildung über H<sup>+</sup>-Ionenkonzentration.





## 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 Stabilitätsparameter

Die Ergebnisse betreffend die Stabilitätsparameter beziehen sich auf die MBA-Outputfraktion auf der Freirotte (zum Zeitpunkt der Probenahme nach einer Rotte-dauer von 9 bis zu 13 Wochen) und dienen zur Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens für MBA-Abfälle auf Massenabfalldeponien gemäß Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung (2006).

Das Material wurde erst mehr als einen Monat später auf die Deponie verbracht. Die Voraussetzungen zur Ablagerung des Abfalls auf der Massenabfalldeponie waren nach Vorliegen einer Gesamtbeurteilung gemäß Deponieverordnung i.d.g.F (2004) gegeben.

#### 4.1.1 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe für Stabilitätsparameter

Zum Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben (berechnet) mit den Ergebnissen der aufbereiteten Wochenmischproben wurde ermittelt, ob die erhaltenen Wochenmischprobenergebnisse im 95 % Konfidenzintervall des berechneten Mittelwertes der Tagesmischproben ( $n = 3$ ) lagen.

**Vergleich  
MW TMP mit WMP –  
Stabilitätsparameter**

**Stabilitätsparameter ( $AT_4$  und  $GS_{21}$ ):**

**Für die Atmungsaktivität und die Gasspendensumme liegt die Wochenmischprobe im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe in 3 von 3 Fällen.**

Die graphischen Auswertungen finden sich in Abbildung 60 bis Abbildung 65.

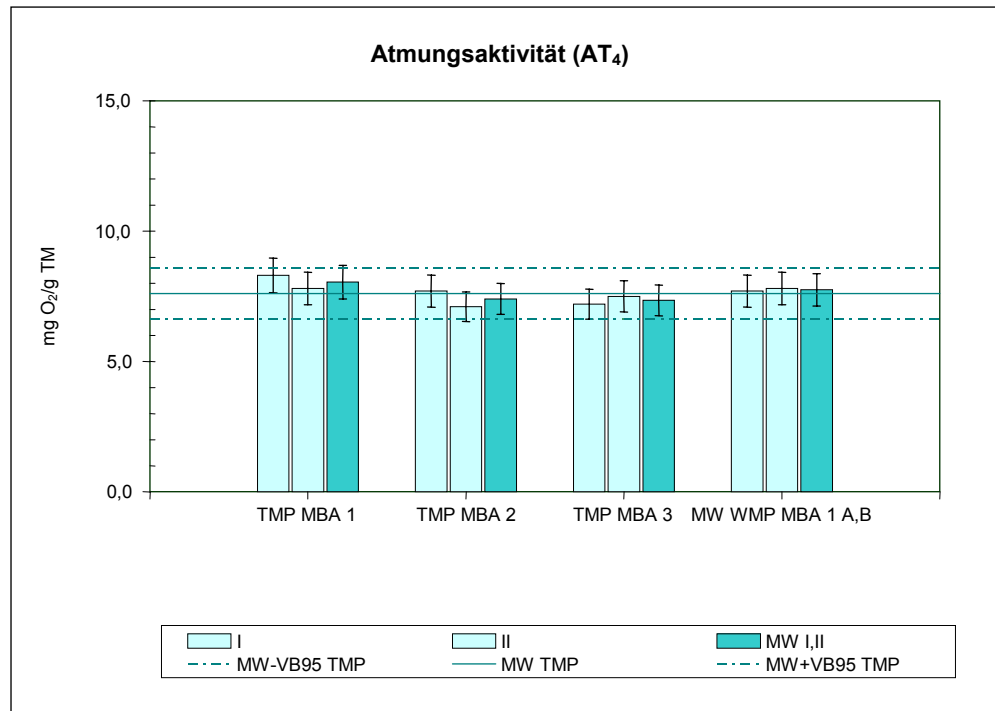


Abbildung 60: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT<sub>4</sub> (TMP MBA 1 bis 3).

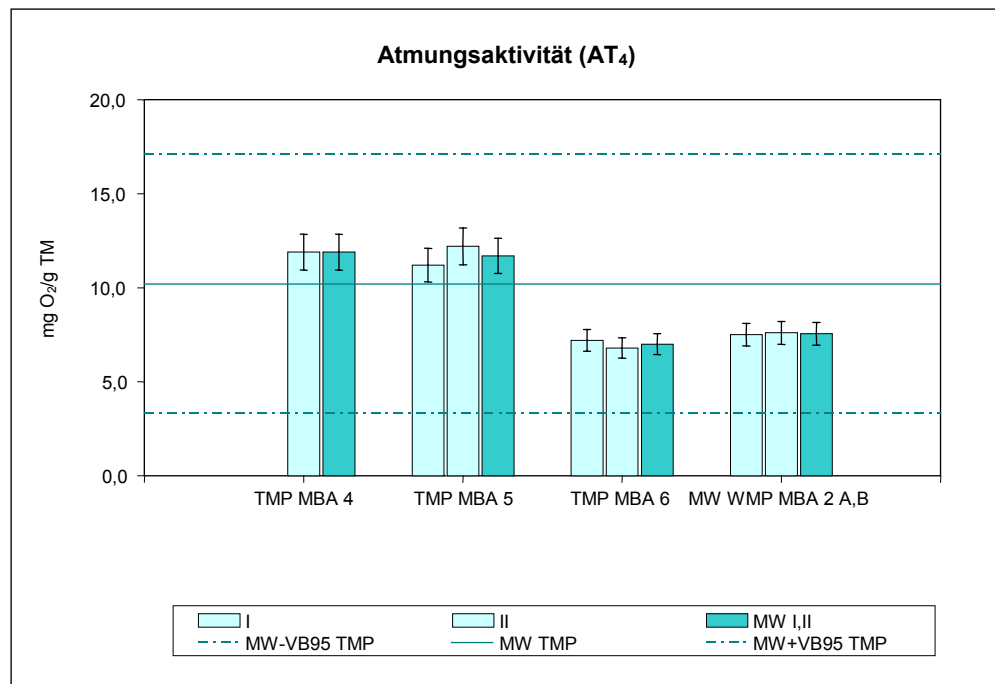


Abbildung 61: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT<sub>4</sub> (TMP MBA 4 bis 6).

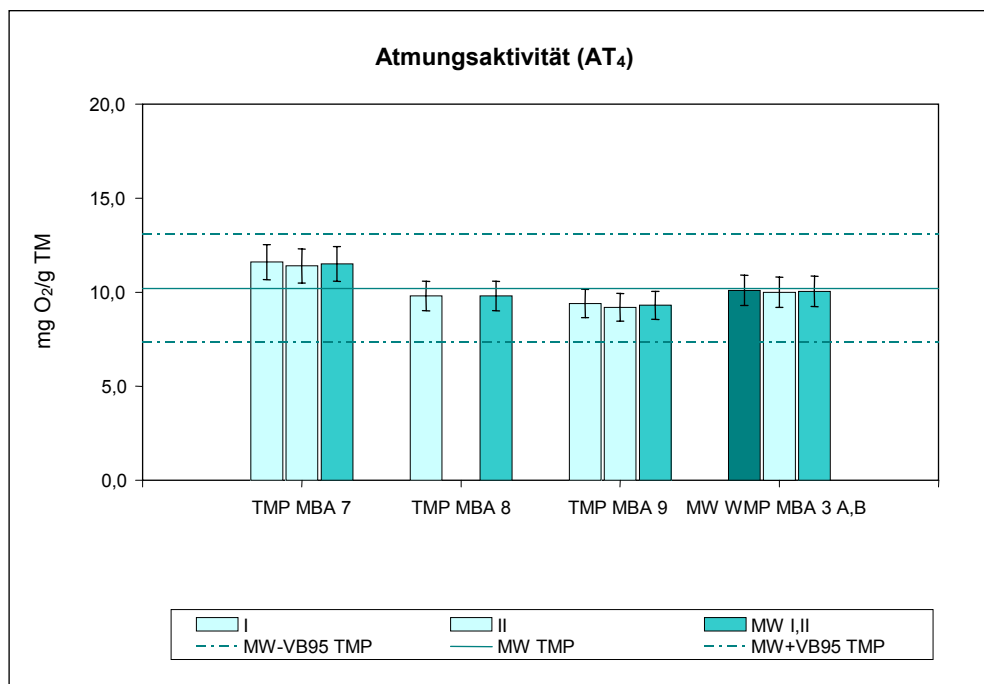


Abbildung 62: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – AT<sub>4</sub> (TMP MBA 7 bis 9).

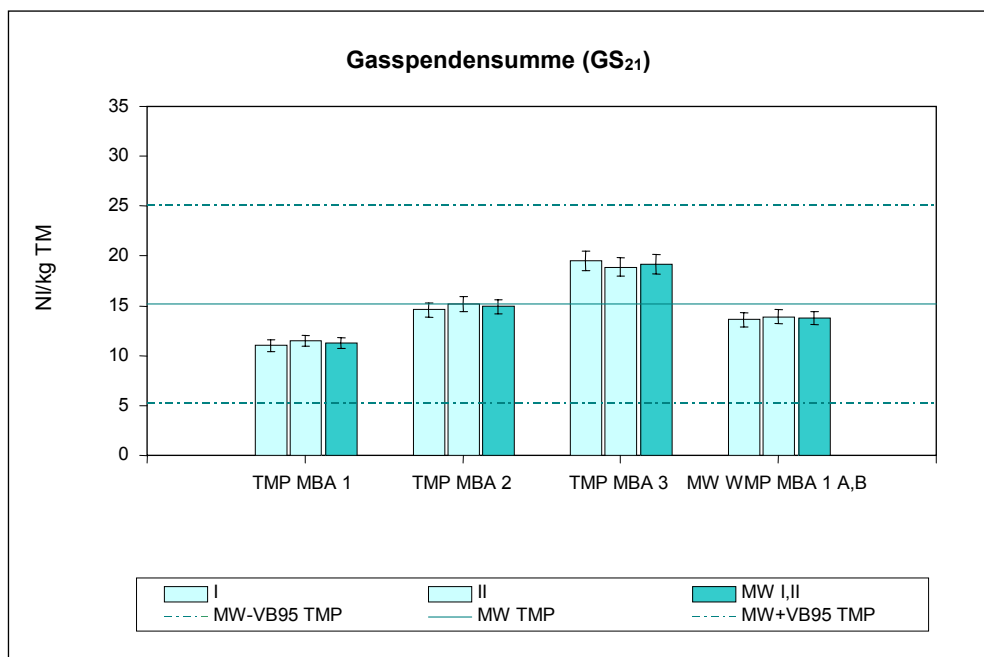


Abbildung 63: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS<sub>21</sub> (TMP MBA 1 bis 3).

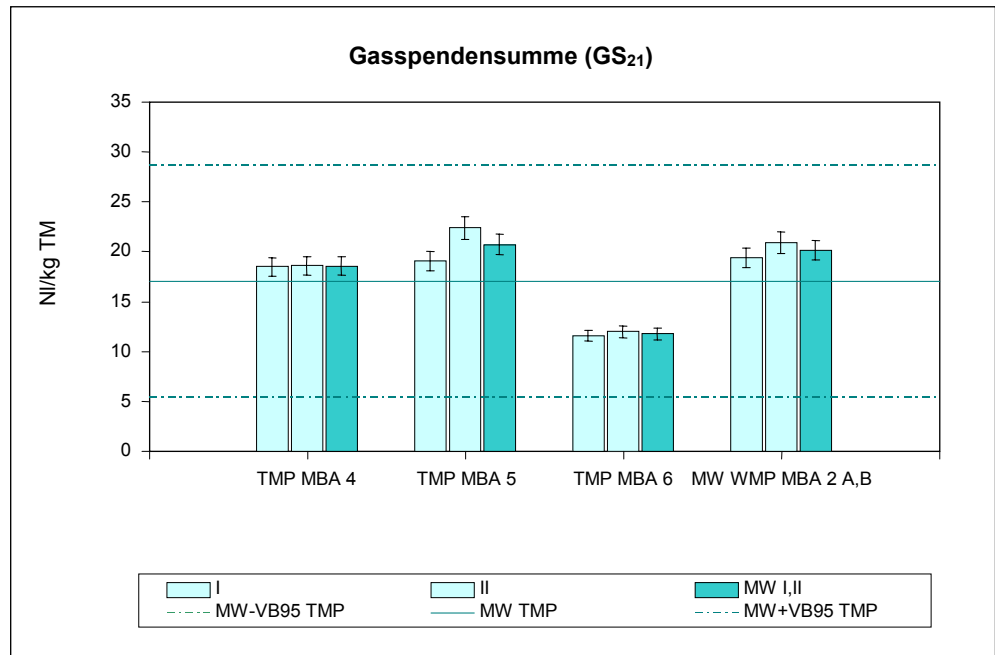


Abbildung 64: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS<sub>21</sub> (TMP MBA 4 bis 6).

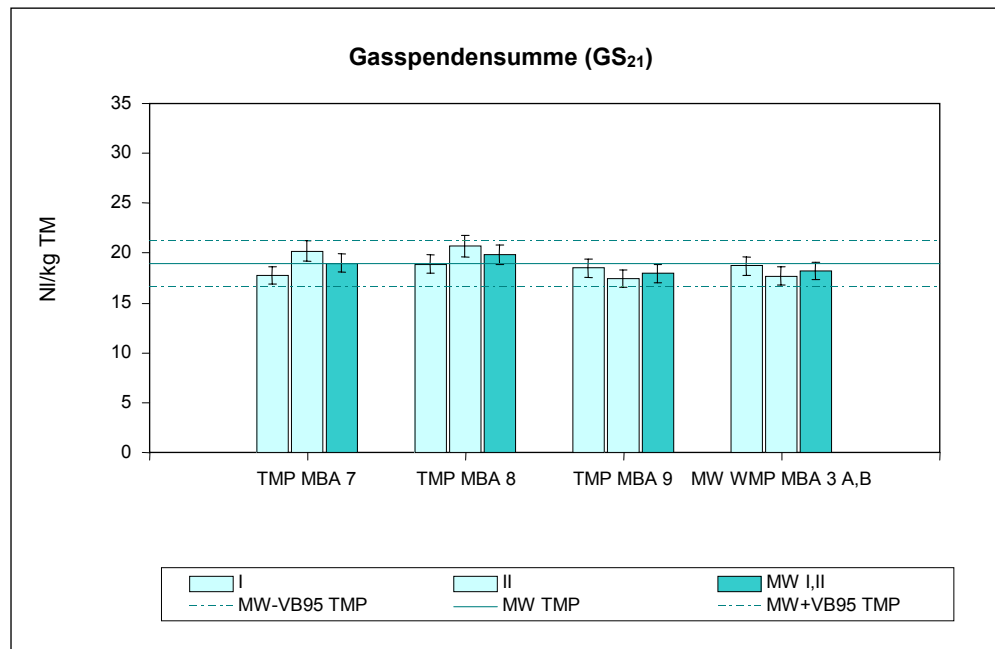


Abbildung 65: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit der Wochenmischprobe – GS<sub>21</sub> (TMP MBA 7 bis 9).



#### 4.1.2 Diskussion der Ergebnisse – Atmungsaktivität und Gasspendensumme

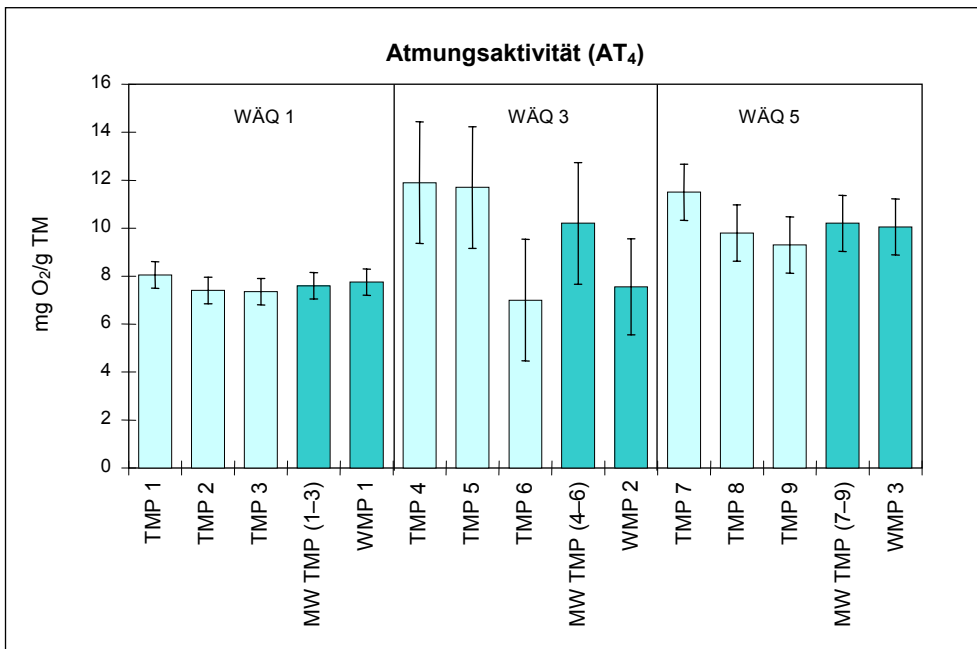


Abbildung 66: Darstellung der Ergebnisse der Atmungsaktivität in TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 bis 3.<sup>68</sup>

Beim **Atmungsaktivitätstest** liefern während der biologischen Behandlung ausgetrocknete Materialien in der Regel Minderbefunde. Da die Wassergehalte der entnommenen MBA-Materialien zwischen 10 und 20 % FM lagen, wurden die Proben nach dem schonenden Auftauen auf optimalen Wassergehalt befeuchtet und anschließend drei Stunden „vorbelüftet“. Erst dann wurde der Atmungsaktivitätstest gestartet. Diese Vorgangsweise verringert die beim Test auftretende lag-Phase.

Die Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 1 beträgt  $AT_4 = 7,8 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  und überschreitet damit – wie auch sämtliche der drei zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 ( $AT_4 = 8,0$  bzw.  $7,4$  bzw.  $7,4 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ) – den Grenzwert der Deponieverordnung ( $AT_4 < 7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ).<sup>69</sup> **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $AT_4 = 7,6 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  um 2,6% vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 22).

Die Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 2 beträgt  $AT_4 = 7,5 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  und überschreitet damit – wie auch zwei der drei zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 ( $AT_4 = 11,9$  bzw.  $11,7$  bzw.  $7,0 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ) – den Grenzwert der Deponieverordnung ( $AT_4 < 7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ). **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $AT_4 = 10,2 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  um 36 % vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 24).

<sup>68</sup> In der Abbildung werden die einfachen Standardabweichungen der Proben als Balken angegeben (+/- 1 s).

<sup>69</sup> Unter Beachtung der angeführten Randbedingungen für gegenständliches MBA-Material ist mit eindeutig erhöhten Ergebnissen der Atmungsaktivität nach der Absiebung bzw. mit rd. 1/5 geringeren Ergebnissen nach der Zerkleinerung der Gesamtmenge der Probe und Einberechnung der Inertanteile zu rechnen (siehe Erläuterungen auf der nächsten Seite).

Die Atmungsaktivität der Wochenmischprobe 3 beträgt  $AT_4 = 10,1 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  und überschreitet damit – wie auch die zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 ( $AT_4 = 11,5$  bzw.  $9,8$  bzw.  $9,3 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ) – den Grenzwert der Deponieverordnung ( $AT_4 < 7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ). **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $AT_4 = 10,2 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  um 1,5 % vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 26).

### Erläuterungen

In der Vornorm ÖNORM S 2027-1 zur Bestimmung der Atmungsaktivität nach vier Versuchstagen im Labor werden zwei unterschiedliche Verfahren für die Probenaufbereitung beschrieben:

- Absiebung der Probe (Gesamtmenge) feucht auf eine Korngröße  $< 20 \text{ mm}$ .
- Zerkleinerung der Probe (Gesamtmenge) feucht auf eine Korngröße  $< 10 \text{ mm}$  unter Abtrennung von möglicherweise vorhandenen Störstoffen (Glas, Steine und Metalle). Die Störstoffe sind bei der Berechnung der Analysenergebnisse zu berücksichtigen.

In der Vornorm wird auf die im Rahmen eines Ringversuches für die Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen (Ingenieurgesellschaft Witzenhausen (IGW) in Zusammenarbeit mit Fa. Statcon und TU Braunschweig; IGW 2004) erhobenen statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen in Abhängigkeit der Probenaufbereitung hingewiesen.

Da die Unterschiede zwischen den alternativen Probenaufarbeitungen jedoch geringer ausfielen als die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der teilnehmenden Labors, wurde von einer Festlegung einer Probenvorbereitungsmethode Abstand genommen.

Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurde die Probe (Gesamtmenge) für die Bestimmung der Atmungsaktivität normgemäß abgesiebt auf  $< 20 \text{ mm}$  und keine Störstoffkorrektur durchgeführt.

Im Zuge der Aufarbeitung der Proben für die Brennwert- und Gesamtgehaltsbestimmung wurde der Inertanteil zu  $22 \pm 2 \%$  bestimmt (Gesamtmittelwert aus allen Tagesmischproben). Beim Inertanteil handelt es sich im Wesentlichen um die Schwerfraktion aus der Schwimm-Sinkabscheidung mit einer Korngröße über  $20 \text{ mm}$ .

Aufgrund der beschriebenen Zusammensetzung des Materials wird im Zuge der normgemäßen Absiebung der Gesamtprobe auf  $< 20 \text{ mm}$  die Abtrennung von (überwiegend) Inertanteilen erzielt – wogegen bei der alternativ zulässigen Zerkleinerung der Gesamtproben die Inertanteile aussortiert und gewichtsmäßig bei der Berechnung der Analysenergebnisse berücksichtigt würden.

Unter Beachtung der angeführten Randbedingungen für gegenständliches MBA-Material ist mit eindeutig erhöhten Ergebnissen der Atmungsaktivität nach der Absiebung bzw. mit rd.  $1/5$  geringeren Ergebnissen nach der Zerkleinerung der Gesamtmenge der Probe und Einberechnung der Inertanteile zu rechnen.

**Eine Überarbeitung der Vornorm ÖNORM S 2027-1 und die Wiederholung des Ringversuches zu den Stabilitätsparametern wäre anzuraten – insbesondere vor dem Hintergrund der Relevanz des Stabilitätsparameters für den ordnungsgemäßen Nachweis der Erfüllung der Ablagerungskriterien auf der Massenabfalldeponie und der erforderlichen Rechtssicherheit für die Anlagenbetreiber.**

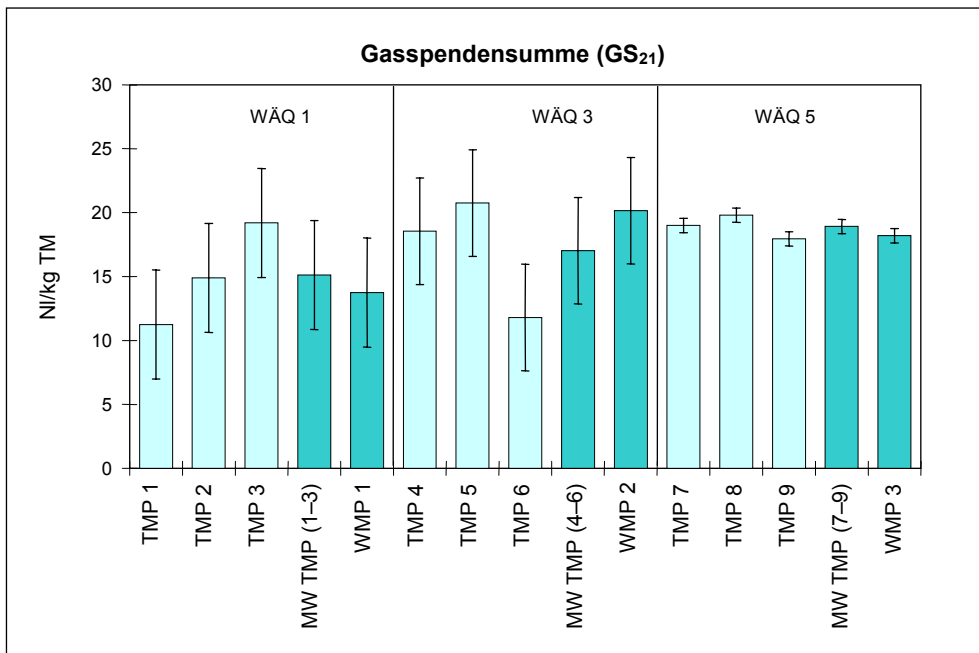


Abbildung 67: Darstellung der Ergebnisse der Gasspendensumme in TMP MBA 1 bis 9 und WMP MBA 1 bis 3.<sup>70</sup>

Die Gasspendensumme der Wochenmischprobe 1 beträgt  $GS_{21} = 13,8$  Ni/kg TM und erfüllt damit – wie auch die zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 1 bis 3 ( $GS_{21} = 11,2$  bzw.  $14,9$  bzw.  $19,2$  Ni/kg TM) – den Grenzwert der Deponieverordnung ( $GS_{21} < 20$  Ni/kg TM). **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $GS_{21} = 15,1$  Ni/kg TM um 9 % vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 23).

Die Gasspendensumme der Wochenmischprobe 2 beträgt  $GS_{21} = 20,1$  Ni/kg TM und überschreitet den Grenzwert der Deponieverordnung ( $GS_{21} < 20$  Ni/kg TM) zum Zeitpunkt der Untersuchung. Die zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 4 bis 6 ( $GS_{21} = 18,6$  bzw.  $20,8$  bzw.  $11,8$  Ni/kg TM) halten mit Ausnahme von Tagesmischprobe 5 den Grenzwert ein. **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $GS_{21} = 17,1$  Ni/kg TM um 15 % vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 25).

Die Gasspendensumme der Wochenmischprobe 3 beträgt  $GS_{21} = 18,2$  Ni/kg TM und erfüllt damit – wie auch die zugehörigen Tagesmischproben TMP MBA 7 bis 9 ( $GS_{21} = 19,0$  bzw.  $19,8$  bzw.  $18,0$  Ni/kg TM) – den Grenzwert der Deponieverordnung ( $GS_{21} < 20$  Ni/kg TM). **Der Mittelwert der drei Tagesmischproben weicht mit  $GS_{21} = 18,9$  Ni/kg TM um 3,9 % vom Analysenwert der Wochenmischprobe ab** (siehe Tabelle 27).

Eine Abschätzung der getrennt zu charakterisierenden Wochenäquivalente für die Prüfung der Ablagerungsfähigkeit im Rahmen der Grundlegenden Charakterisierungsuntersuchung für die grenzwertnahen Stabilitätsparameter  $AT_4$  und  $GS_{21}$  er-

<sup>70</sup> In der Abbildung werden die einfachen Standardabweichungen der Proben als Balken angegeben (+/- 1 s).

**gibt rd. 5 bis 12<sup>71</sup> Beurteilungen mit jeweils drei Tagesmischproben pro Wochenmischprobe für die Stabilitätsparameter – bei entsprechender qualitativer Aufbereitung können die Tagesmischproben zur Wochenmischprobe vereinigt werden und die Beurteilungen aus den unabhängigen Wochenmischproben durchgeführt werden.**

In der Neufassung der Deponieverordnung wird für die Beurteilung der Ablagefähigkeit im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung eine Beurteilung je angefangener 3.000 t Abfall aus der mechanisch-biologischen Behandlung, jedoch mindestens vier Beurteilungen pro Jahr, gleichmäßig auf die Jahresproduktion verteilt, gefordert.

Die Stabilitätsparameter sind bei jeder Beurteilung zu bestimmen. Es kann eine aus den Tagesmischproben hergestellte Sammelprobe für das Wochenäquivalent als Wochenmischprobe untersucht werden. Liegt jedoch das Ergebnis im grenzwertnahen Bereich oder über dem Grenzwert, so sind die Rückstellproben der einzelnen Tagesmischproben jeweils getrennt zu analysieren und der arithmetische Mittelwert aus diesen Ergebnissen mit dem ursprünglichen Beurteilungswert zu einem neuen Beurteilungswert arithmetisch zu mitteln.

**Im Hinblick auf die erhaltenen Daten der Studie sind die Anforderungen der Neufassung der Deponieverordnung zu begrüßen. Da die Untersuchungen gezeigt haben, dass die Ergebnisse der Wochenmischproben im 95 % Konfidenzintervall der berechneten Mittelwerte aus den drei Tagesmischproben lagen, wäre auch denkbar, dass anstatt der getrennten Analyse von Tagesmischproben die Herstellung von Parallelproben der Wochenmischproben durch Teilung vor Ort und die nachfolgende Analyse der Wochenmischproben (n = 2) ausreichend sind.**

## **4.2 Brennwert (oberer Heizwert)**

### **4.2.1 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischprobe – MBA-Modell**

#### **Vergleich MW TMP mit WMP – Brennwert**

Zum Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben (berechnet) mit den Ergebnissen der aufbereiteten Wochenmischproben wurde ermittelt, ob die erhaltenen Wochenmischprobenergebnisse im 95 % Konfidenzintervall des berechneten Mittelwertes der Tagesmischproben (n = 3) lagen.

---

<sup>71</sup>Randbedingungen: Mittels Varianzanalyse wurde die Gesamtvarianz für die Stabilitätsparameter GS<sub>21</sub> und AT<sub>4</sub> mathematisch in die Varianzanteile zwischen und innerhalb der Wochenäquivalente und Analyse aufgeteilt: Standardabweichung zwischen WÄQ 20 % bzw. 10 % AT<sub>4</sub>, Standardabweichung innerhalb WÄQ (Basis TÄQ) 21 % bzw. 17 %, Standardabweichung Analysen rd. 7 % bzw. 10 %. Berechnungsbasis: Präzision: 3 Ni/kg TM GS<sub>21</sub>; 0,7 mg O<sub>2</sub>/g TM; 90 % Aussagesicherheit.

### Brennwert (oberer Heizwert Ho) für Modell MBA:

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe in 3 von 3 Fällen.

Die graphischen Auswertungen finden sich in Abbildung 68 bis Abbildung 70.

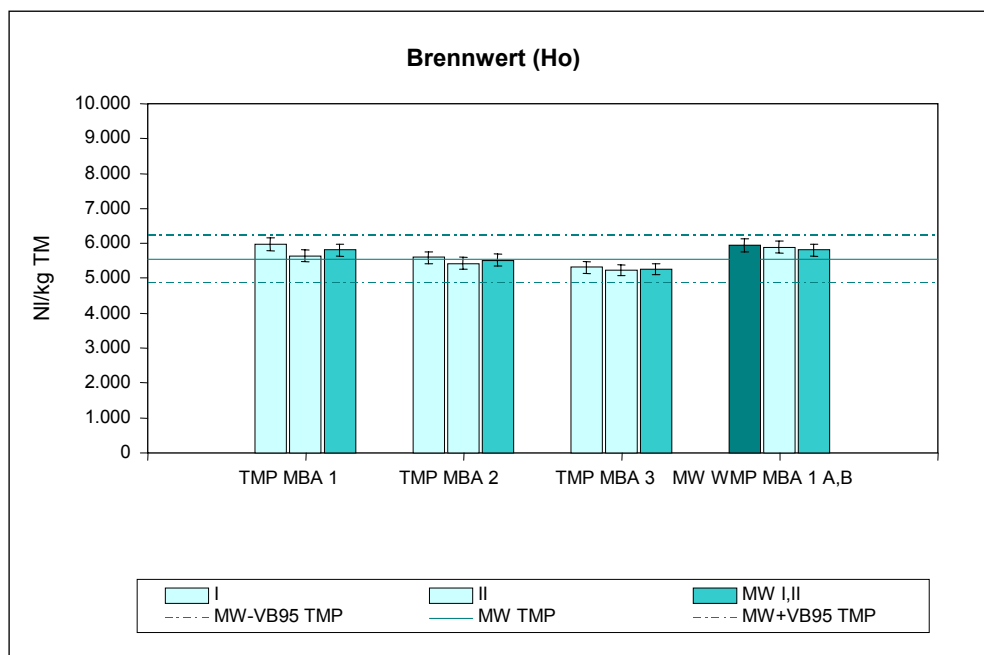


Abbildung 68: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 1 bis 3).

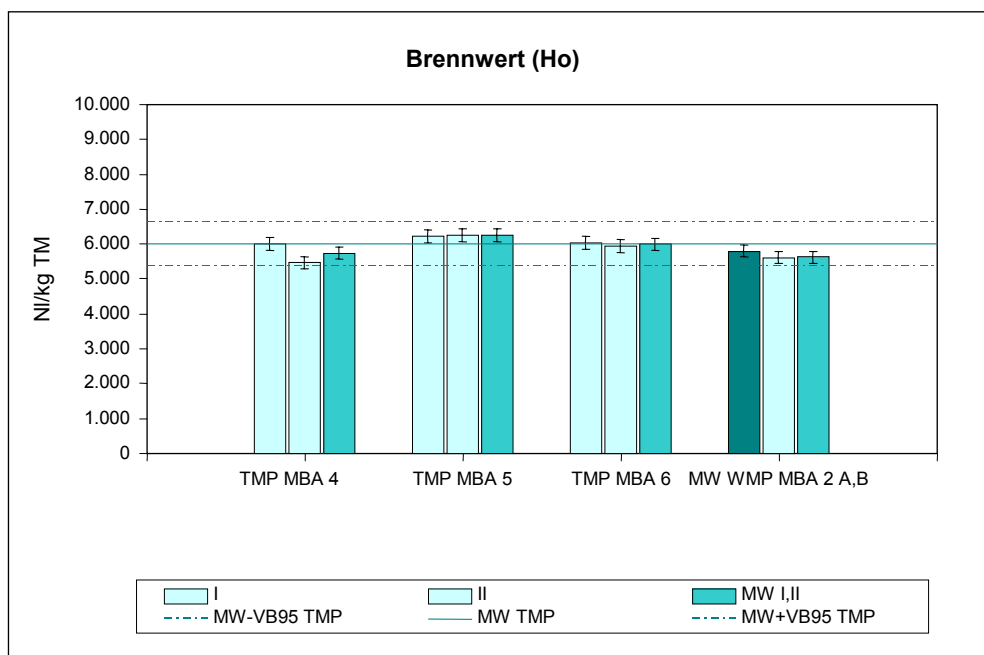


Abbildung 69: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 4 bis 6).

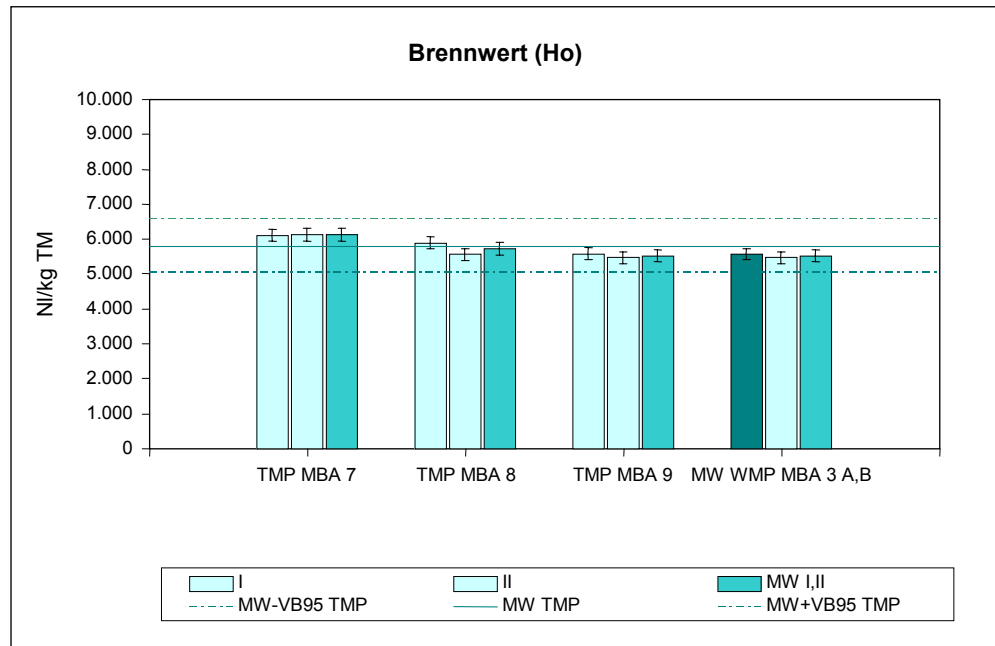


Abbildung 70: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP MBA 7 bis 9).

#### 4.2.2 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit dem Ergebnis der Wochenmischprobe – Stat-Modell

Vergleich

MW TMP mit WMP – Stabilitätsparameter

Zum Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben (berechnet) mit den Ergebnissen der aufbereiteten Wochenmischproben wurde ermittelt, ob die erhaltenen Wochenmischprobenergebnisse im 95 % Konfidenzintervall des berechneten Mittelwertes der Tagesmischproben (n = 3) lagen.

**Brennwert (oberer Heizwert Ho) für Modell Stat:**

**Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe in 3 von 3 Fällen.**

Die graphischen Auswertungen finden sich in Abbildung 71 bis Abbildung 73.

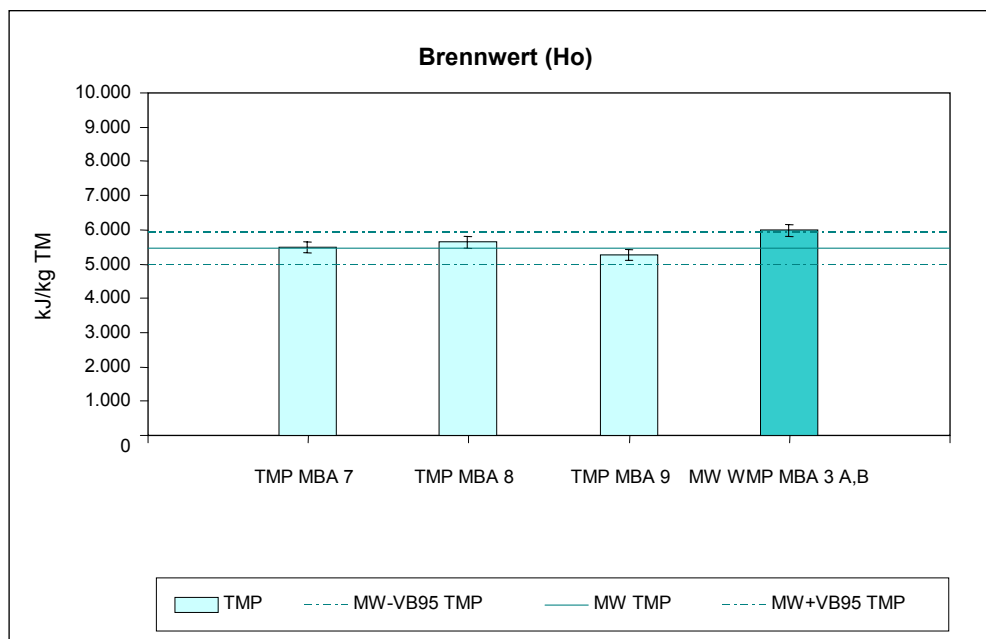


Abbildung 71: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 1 bis 3).

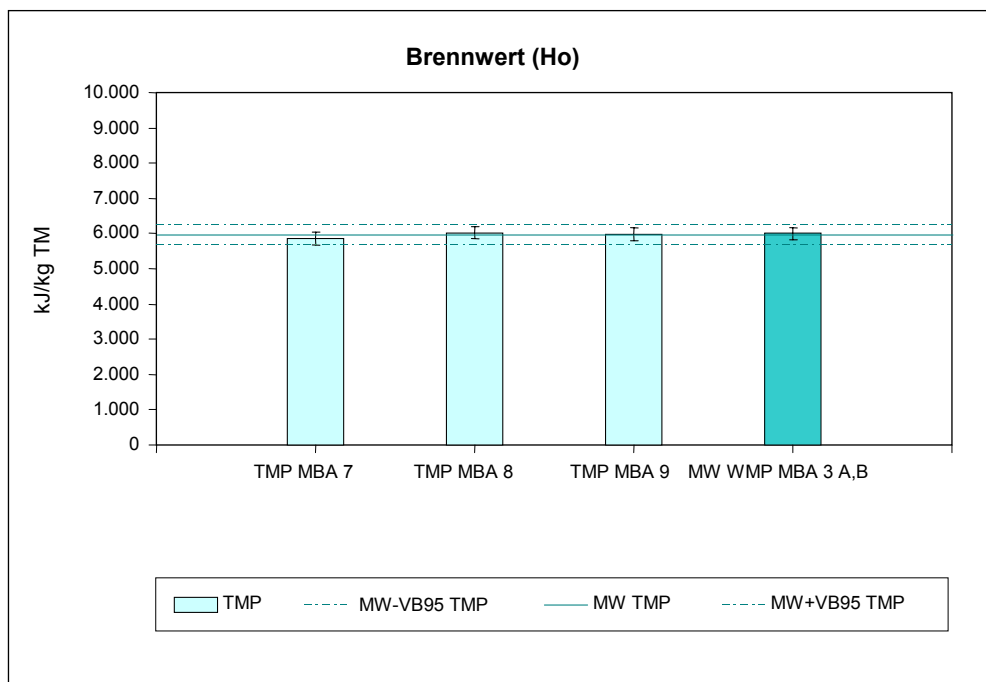


Abbildung 72: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 4 bis 6).

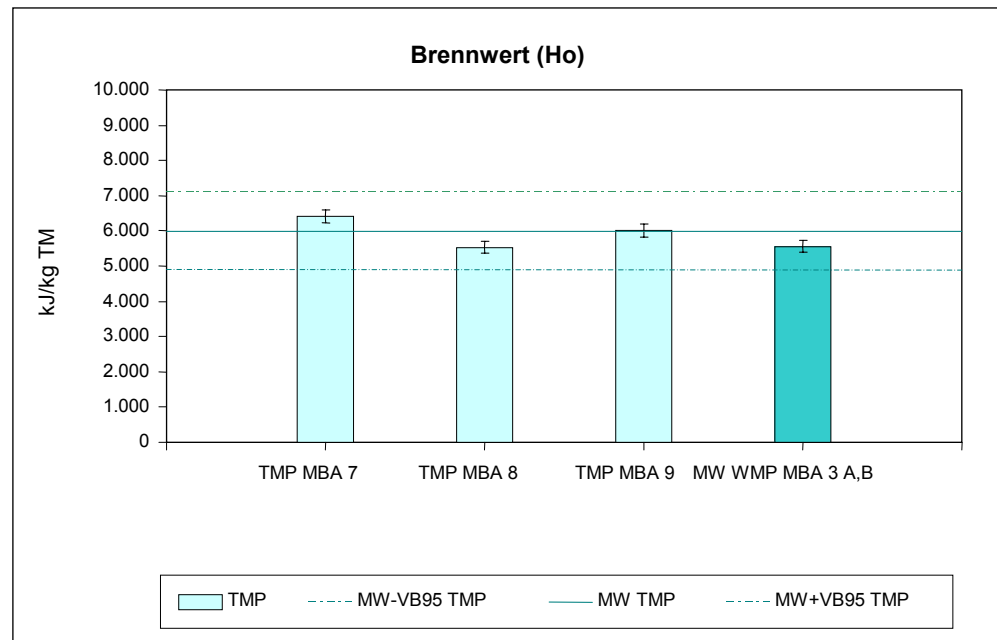


Abbildung 73: Vergleich Mittelwert der Tagesmischproben mit Wochenmischprobe – Brennwert (TMP Stat 7 bis 9).

#### 4.2.3 Diskussion der Ergebnisse – Brennwert, Inertanteil

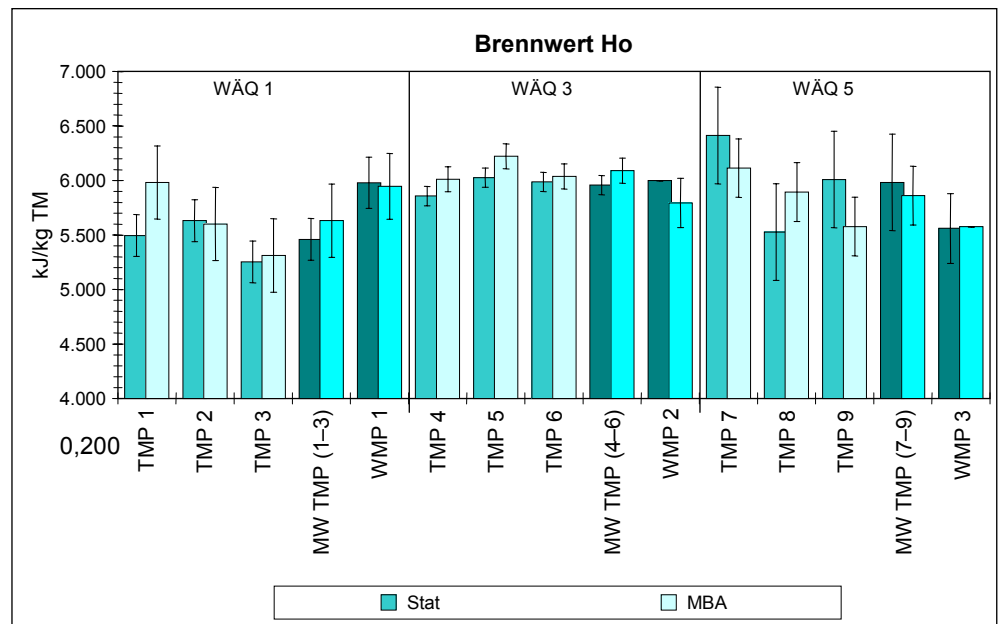


Abbildung 74: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Brennwert (Inertanteil korrigiert).



Tabelle 104: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Brennwert.

Beurteilungswert/ Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Brennwert kJ/kg TM, Inertkorr. Modell Stat	Brennwert kJ/kg TM, Inertkorr. Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	5.460	5.632
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	5.979	5.946
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	5.957	6.090
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	5.999	5.795
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	5.983	5.862
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	5.560	5.575
Mittelwert über Beurteilungswerte		5.823	5.817
Stabw. über Beurteilungswerte		136	115
% RSD über Beurteilungswerte		2,3	2,0

Eine Abschätzung der getrennt zu charakterisierenden Wochenäquivalente für die Prüfung der Ablagerungsfähigkeit im Rahmen der Grundlegenden Charakterisierungsuntersuchung für den grenzwertnahen Parameter Brennwert **ergibt rd. sieben<sup>72</sup> Beurteilungen mit jeweils drei Tagesmischproben pro Wochenmischprobe – bei entsprechender qualitativer Aufbereitung können die Tagesmischproben zur Wochenmischprobe vereinigt werden und die Beurteilungen aus den unabhängigen Wochenmischproben durchgeführt werden. Für den grenzwertnahen Bereich wurden hier 6.000 kJ/kg TM zugrunde gelegt und als Anforderung für die Präzision der Probenahme die Abweichung von 6.000 kJ/kg TM zum Mittelwert (hier: rd. 200 kJ/kg TM) für die Berechnung herangezogen.**

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass für die Einhaltung von 6.600 kJ/kg TM Brennwert deutlich weniger Beurteilungen bei vergleichbaren Rahmenbedingungen (geringe Streuung der Daten im Jahresverlauf, Material < 10 mm, eher homogene Verteilung der Inertanteile über das Material, häufige Umwälzung durch Bagger, etc.) durchzuführen wären, da der Abstand Mittelwert zu 6.600 kJ/kg deutlich größer ausfällt (hier: rd. 800 kJ/kg TM) im Vergleich zu oben angeführter Berechnungsgrundlage.

In der Neufassung der Deponieverordnung wird für die Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung eine Beurteilung je angefangener 3.000 t Abfall aus der mechanisch-biologischen Behandlung, jedoch mindestens vier Beurteilungen pro Jahr, gleichmäßig auf die Jahresproduktion verteilt, gefordert.

<sup>72</sup>Randbedingungen: Mittels Varianzanalyse wurde die Gesamtvarianz für den Brennwert mathematisch in die Varianzanteile zwischen und innerhalb der Wochenäquivalente und Analyse aufgeteilt: Standardabweichung zwischen WÄQ 3 %, Standardabweichung innerhalb WÄQ (Basis TÄQ) 4 %, Standardabweichung Analysen rd. 3 %. Berechnungsbasis: Präzision: 177 kJ/kg TM (Abstand Mittelwert zu 6.000 kJ/kg TM); 90 % Aussagesicherheit. Die gemäß prCEN/TS 15310-1 ermittelte Probenanzahl dient als Richtwert und ist im Zuge der tatsächlichen Beurteilungen entsprechend zu verifizieren.

Wie die bisherigen Untersuchungen zeigten, sind die Ergebnisse gemäß MBA-Modell mit den Ergebnissen des Stat-Modells (geringere Probenmengen) für gegenständlich untersuchten Abfall gut vergleichbar – bei vergleichbaren Abfällen und Kornverteilungen sollte der befugten Fachanstalt die Möglichkeit eingeräumt werden die Probenmengen entsprechend anzupassen.

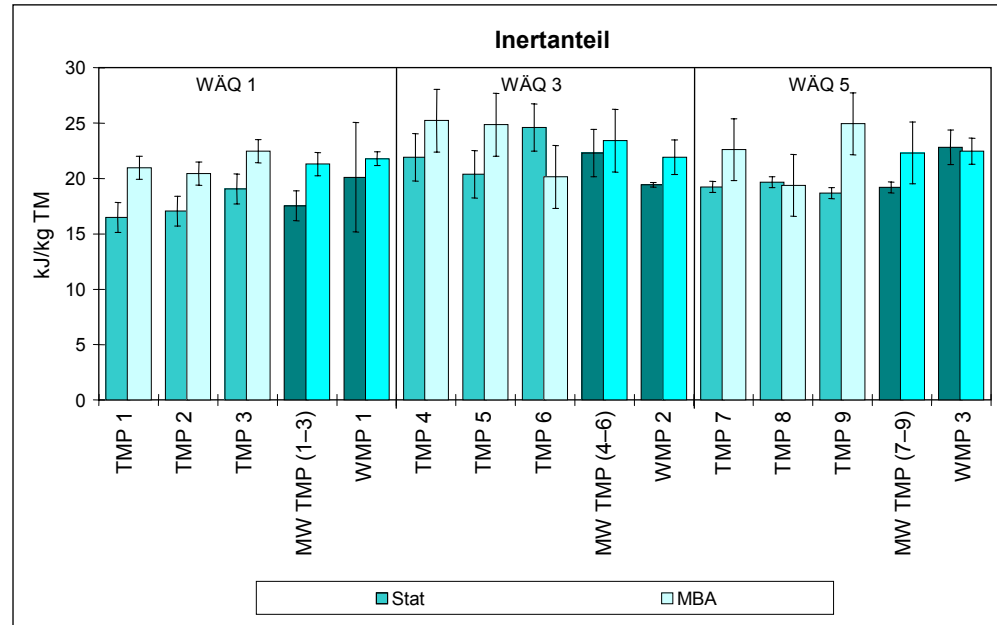


Abbildung 75: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Inertanteil.

Tabelle 105: Informative Zusammenfassung der Ergebnisse – Inertanteil.

Beurteilungswert/ Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	% Inertanteil Modell Stat	% Inertanteil Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	18	21
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	20	22
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	22	23
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	19	22
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	19	22
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	23	22
Mittelwert über Beurteilungswerte		20	22
Stabw. über Beurteilungswerte		1	1
% RSD über Beurteilungswerte		6	3

## 4.3 Gehalte im Feststoff

### 4.3.1 Wassergehalt

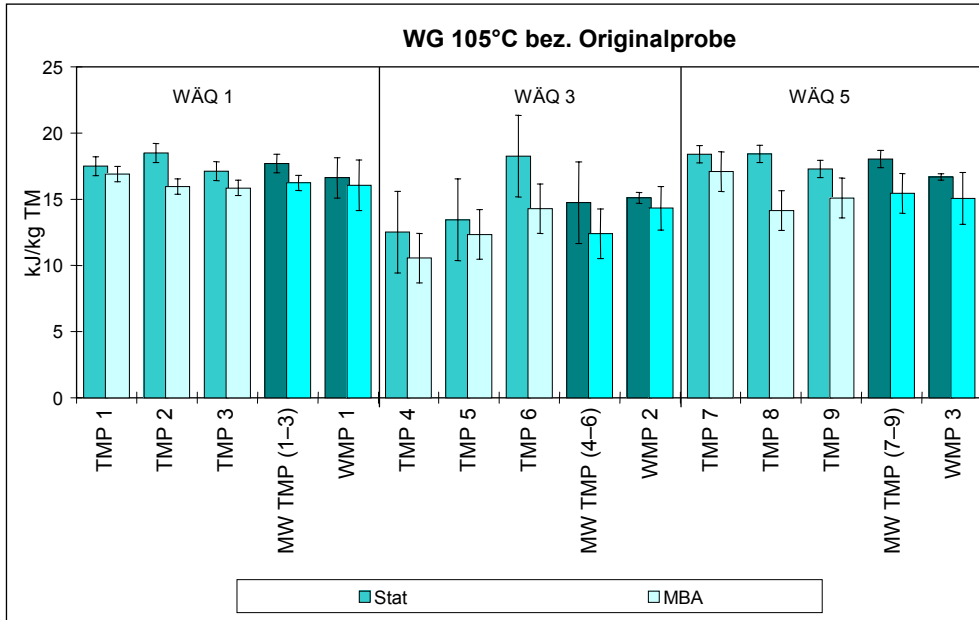


Abbildung 76: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Wassergehalt WG 105 °C.

Tabelle 106: Informative Zusammenfassung der Ergebnisse – WG 105 °C.

Beurteilungswert/ Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	% WG 105 °C Modell Stat	% WG 105 °C Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	18	16
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	17	16
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	15	12
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	15	14
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	18	15
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	17	15
Mittelwert über Beurteilungswerte		16	15
Stabw. über Beurteilungswerte		1	1
% RSD über Beurteilungswerte		8	10

### 4.3.2 Blei

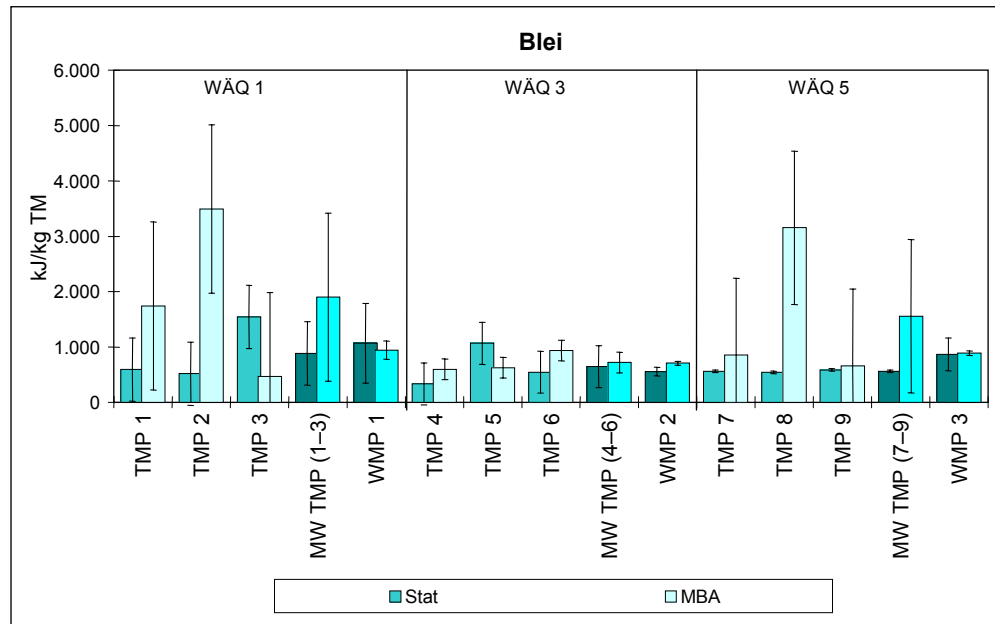


Abbildung 77: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Blei.

Tabelle 107: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Blei.

Beurteilungswert/ Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Blei mg/kg TM Modell Stat	Blei mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	884	1.901
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	1.068	942
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	647	718
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	555	705
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	562	1.557
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	868	888
Mittelwert über Beurteilungswerte		764	1.119
Stabw. über Beurteilungswerte		192	366
% RSD über Beurteilungswerte		25	33

Die Beurteilungswerte für Blei liegen im Bereich von 11 %–38 % des Grenzwertes.

### 4.3.3 Cadmium

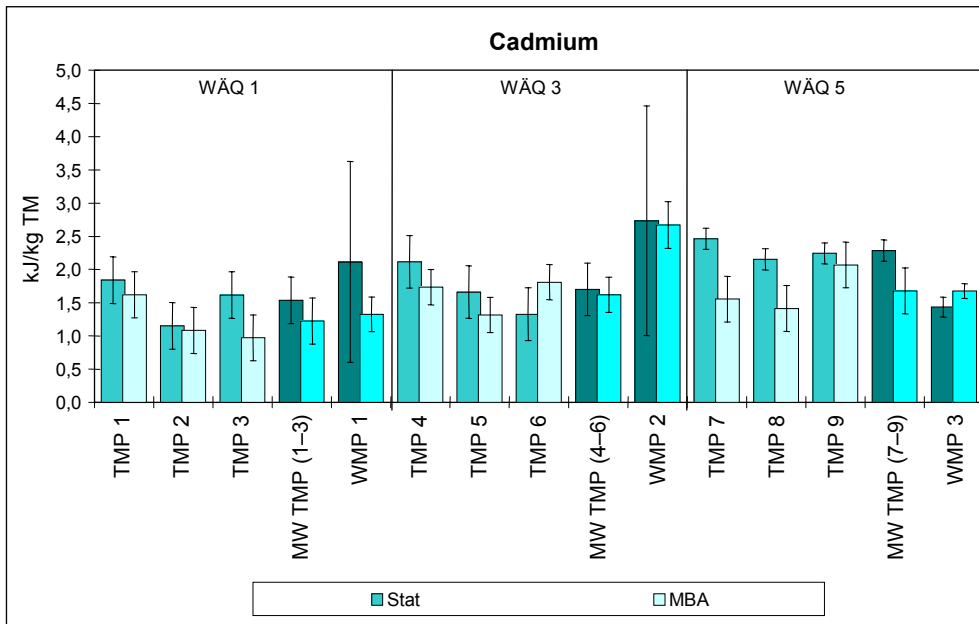


Abbildung 78: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Cadmium.

Tabelle 108: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Cadmium.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	1,5	1,2
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	2,1	1,3
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	1,7	1,6
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	2,7	2,7
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	2,3	1,7
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	1,4	1,7
Mittelwert über Beurteilungswerte		2,0	1,7
Stabw. über Beurteilungswerte		0,2	0,4
% RSD über Beurteilungswerte		11	26

Die Beurteilungswerte für Cadmium liegen im Bereich von 4–9 % des Grenzwertes.

### 4.3.4 Chrom

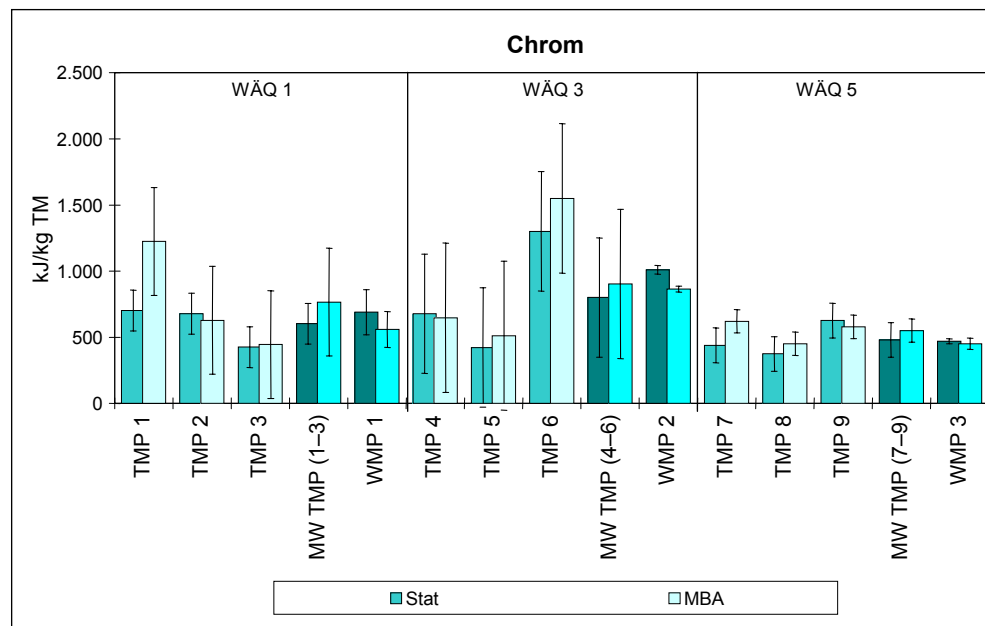


Abbildung 79: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Chrom.

Tabelle 109: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Chrom.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	602	766
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	690	559
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	800	903
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	1.010	864
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	479	550
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	471	451
Mittelwert über Beurteilungswerte		675	682
Stabw. über Beurteilungswerte		216	192
% RSD über Beurteilungswerte		32	28

Die Beurteilungswerte für Chrom liegen im Bereich von 9-20 % des Grenzwertes.

### 4.3.5 Kupfer

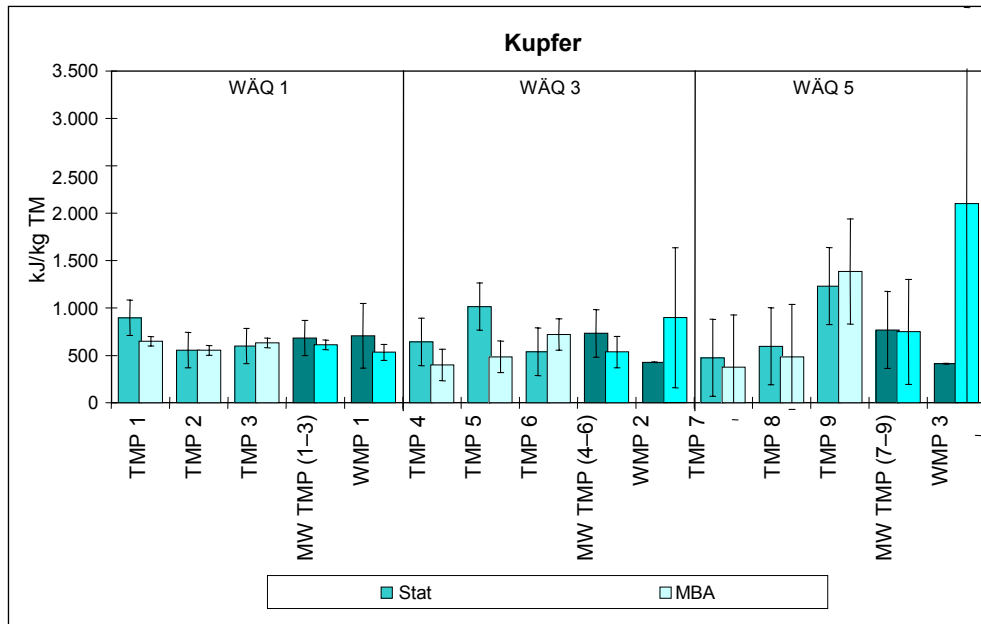


Abbildung 80: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Kupfer.

Tabelle 110: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Kupfer.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	684	611
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	708	531
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	732	535
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	427	897
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	768	748
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	412	2.098
Mittelwert über Beurteilungswerte		622	903
Stabw. über Beurteilungswerte		64	456
% RSD über Beurteilungswerte		10	50

Die Beurteilungswerte von Kupfer liegen im Bereich von 8–42 % des Grenzwertes.

### 4.3.6 Nickel

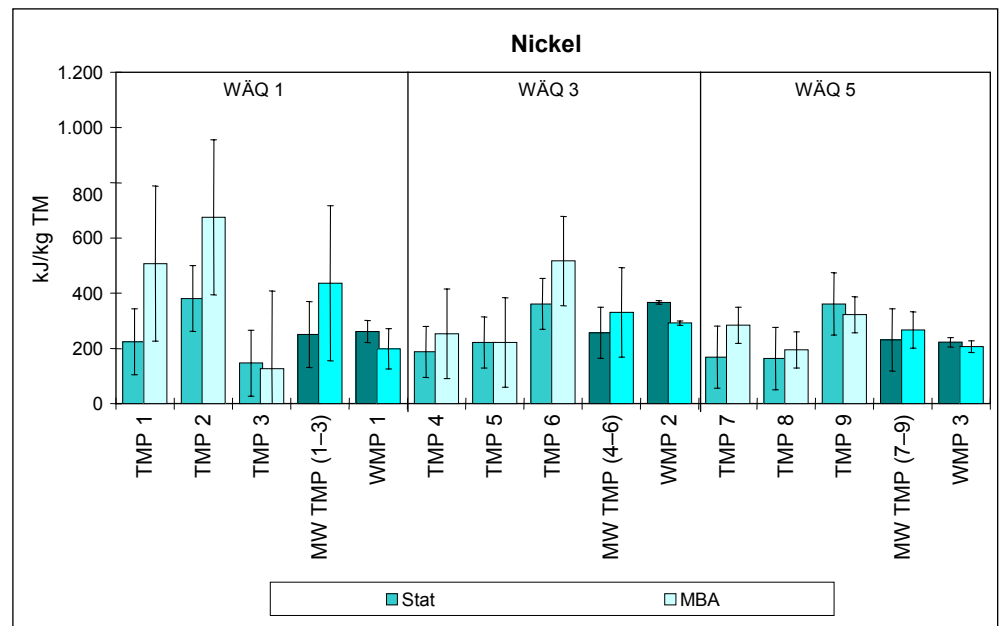


Abbildung 81: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Nickel.

Tabelle 111: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Nickel.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	251	436
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	261	199
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	257	331
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	367	292
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	231	267
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	223	207
Mittelwert über Beurteilungswerte		265	289
Stabw. über Beurteilungswerte		43	45
% RSD über Beurteilungswerte		16	16

Die Beurteilungswerte für Nickel liegen im Bereich von 10–22 % des Grenzwertes.



### 4.3.7 Silber

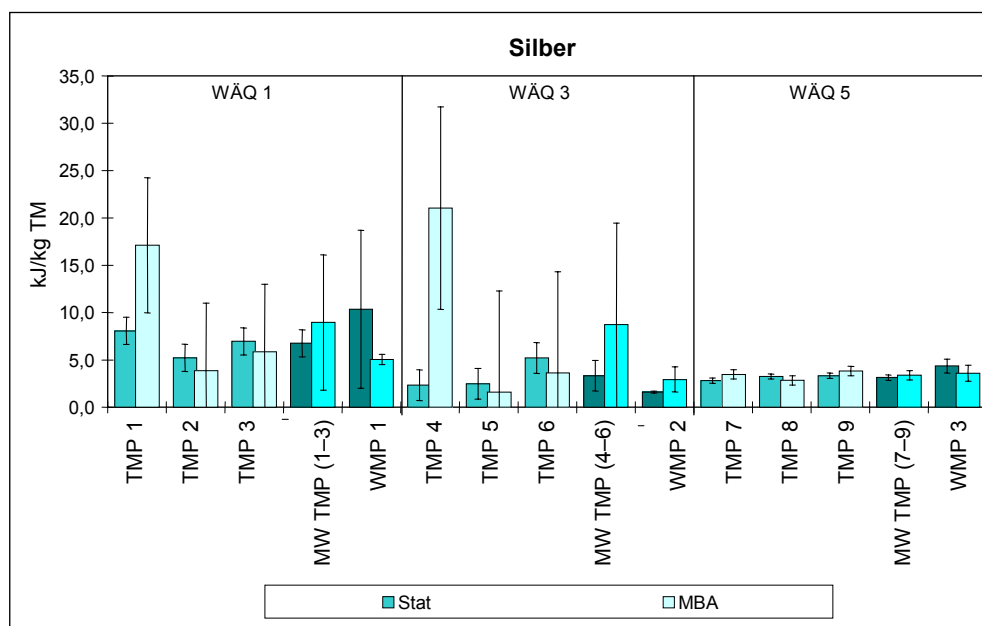


Abbildung 82: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Silber.

Tabelle 112: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Silber.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	6,8	8,9
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	10	5,1
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	3,3	8,8
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	1,6	2,9
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	3,1	3,4
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	4,4	3,6
Mittelwert über Beurteilungswerte		4,9	5,4
Stabw. über Beurteilungswerte		3,2	1,8
% RSD über Beurteilungswerte		65	33

Die Beurteilungswerte von Silber liegen im Bereich von 3–21 % des Grenzwertes.

### 4.3.8 Zink

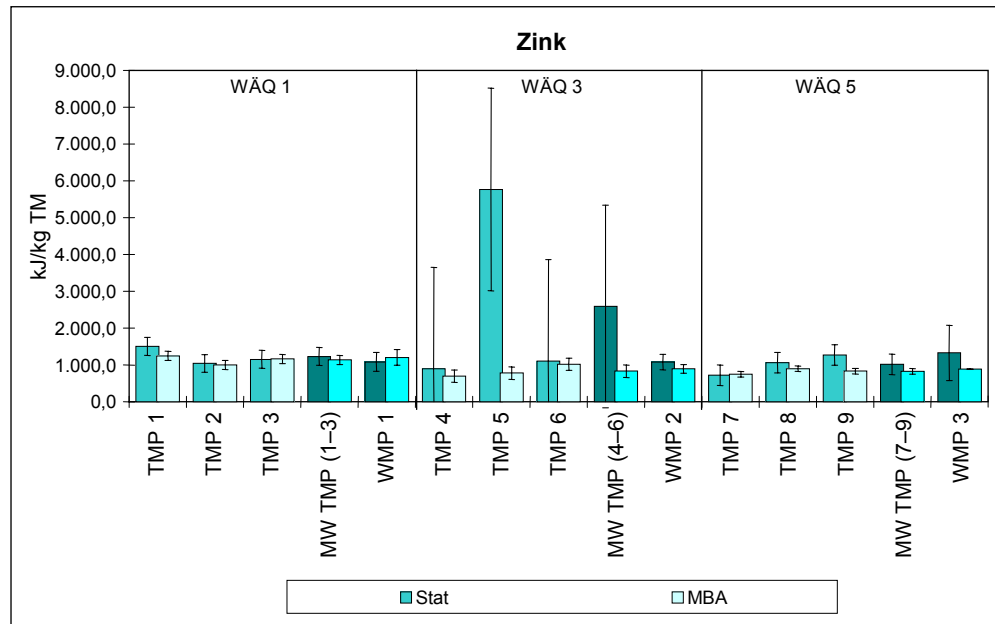


Abbildung 83: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Zink.

Tabelle 113: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Zink.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	1.233	1.136
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	1.082	1.205
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	2.590	831
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	1.079	891
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	1.018	825
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	1.325	889
Mittelwert über Beurteilungswerte		1.388	963
Stabw. über Beurteilungswerte		387	180
% RSD über Beurteilungswerte		28	19

Die Beurteilungswerte für Zink liegen im Bereich von 17–52 % des Grenzwertes.

### 4.3.9 Arsen

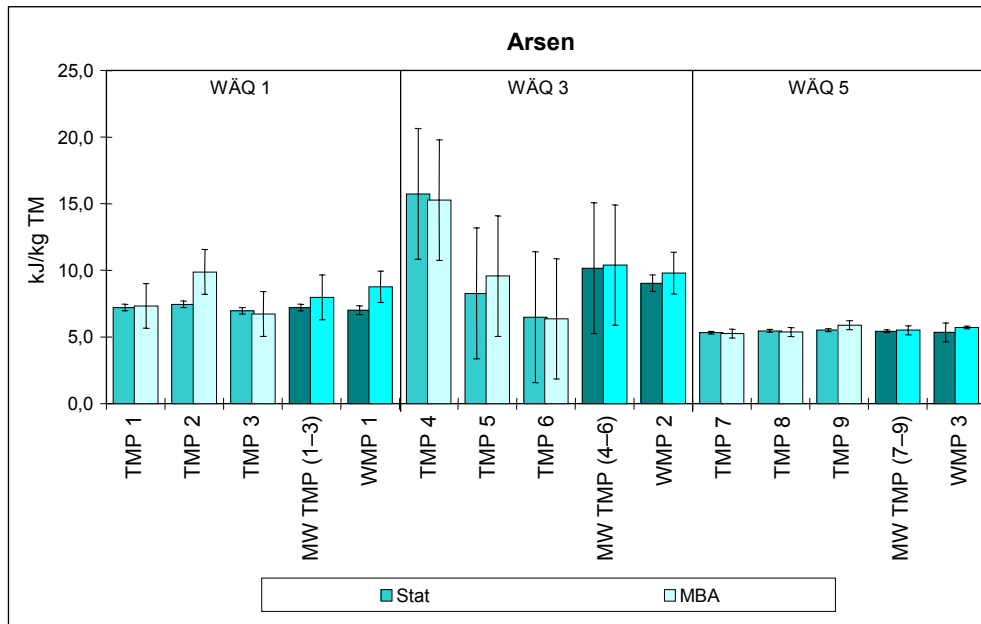


Abbildung 84: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Arsen.

Tabelle 114: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Arsen.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM	
		Modell Stat	Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	7,2	8,0
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	7,0	8,8
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	10	10
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	9,0	10
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	5,4	5,5
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	5,3	5,7
Mittelwert über Beurteilungswerte		7,4	8,0
Stabw. über Beurteilungswerte		2	2,3
% RSD über Beurteilungswerte		29	28

Die Beurteilungswerte für Arsen liegen im Bereich von 1-2 % des Grenzwertes.

### 4.3.10 Quecksilber

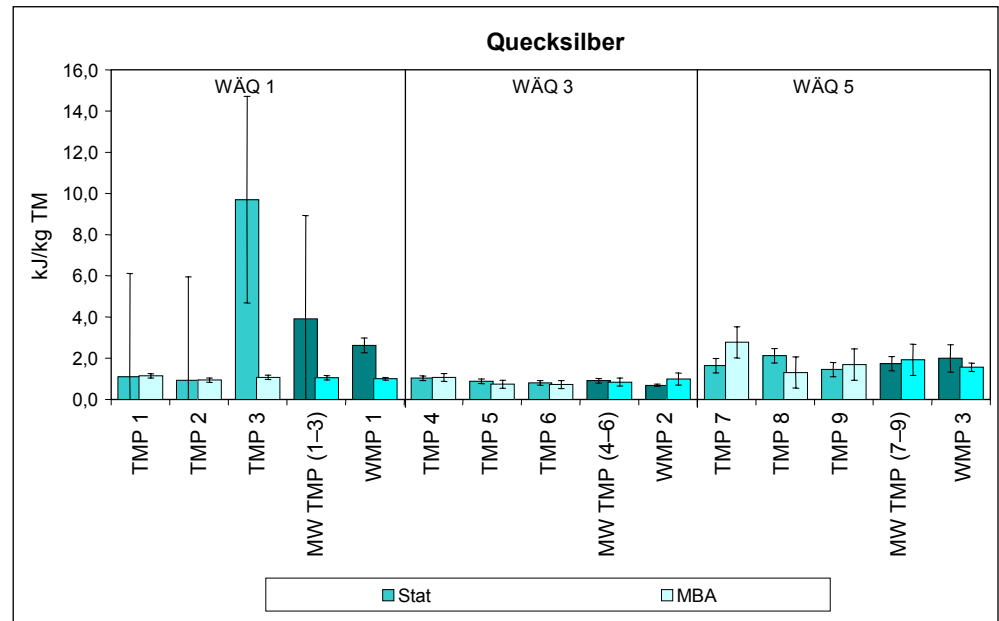


Abbildung 85: Graphische Darstellung der Ergebnisse – Quecksilber.

Tabelle 115: Zusammenfassung der Ergebnisse – Beurteilungswerte für Quecksilber.

Beurteilungswert/Zuordnung zur Subpopulation	Bezeichnung	Element mg/kg TM Modell Stat	Element mg/kg TM Modell MBA
Beurteilungswert WÄQ 1	MW TMP (1 bis 3)	3,9	1,1
Beurteilungswert WÄQ 1	MW WMP 1 A, B	2,6	1,0
Beurteilungswert WÄQ 3	MW TMP (4 bis 6)	0,9	0,8
Beurteilungswert WÄQ 3	MW WMP 2 A, B	0,7	1,0
Beurteilungswert WÄQ 5	MW TMP (7 bis 9)	1,7	1,9
Beurteilungswert WÄQ 5	MW WMP 3 A, B	2,0	1,6
Mittelwert über Beurteilungswerte		2,0	1,2
Stabw. über Beurteilungswerte		1	0,4
% RSD über Beurteilungswerte		63	36

Die Beurteilungswerte für Quecksilber liegen im Bereich von 3–20 % des Grenzwertes.



#### 4.3.11 Diskussion der Ergebnisse Schwermetalle und Arsen

Kein Wochenbeurteilungswert für die Schwermetalle und Arsen liegt im grenzwertnahen Bereich oder über dem Grenzwert.<sup>73</sup>

Gemäß Neufassung der Deponieverordnung kann bei der grundlegenden Charakterisierung die Untersuchung der Parameter für die Gehalte im Feststoff auf jede zweite Beurteilung, doch mindestens vier Beurteilungen pro Jahr, möglichst gleichmäßig auf die Beurteilungen verteilt, eingeschränkt werden.

Für die Untersuchung können die Wochenmischproben herangezogen werden.

Die Vorgehensweise für die Schwermetalle und Arsen entspricht den Erkenntnissen der Studie.

Bei der Auswertung der Daten ist auf Ausreißer zu prüfen und eine Plausibilitätskontrolle durchzuführen – wie die Ergebnisse der Studie zeigten, kommen vereinzelt höhere Gehalte an Metallen vor, die bei wiederholter Analyse nicht immer bestätigt werden können.<sup>74</sup>

Bei der Auswertung ist daher zu unterscheiden, ob es sich um einen partikulären Effekt oder um eine tatsächlich belastete Mischprobe handelt (am besten durch zumindest zwei unabhängige Einwaagen (z. B. mind. 2 x 2 g pro Analysenprobe für den Aufschluss mit Königswasser).

---

<sup>73</sup> Der grenzwertnahe Bereich ist der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

<sup>74</sup> Zur Evaluierung des Abfallannahmeverfahrens wurde die Probenvorbereitung gemäß gängiger Praxis durchgeführt: Metallanteile wie z. B. Batterien, Kabelteile und Stahlschrauben wurden im Zuge der Aufarbeitung getrennt erfasst – die anteiligen Schadstoffkonzentrationen im Rahmen der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt.

## 4.4 Eluatanalysen

### 4.4.1 Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischprobe – MBA-Modell

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Zum Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben (berechnet) mit den Ergebnissen der aufbereiteten Wochenmischprobe wurde ermittelt, ob die erhaltenen Wochenmischprobenergebnisse im 95 % Konfidenzintervall des berechneten Mittelwertes der Tagesmischproben ( $n = 3$ ) lagen.

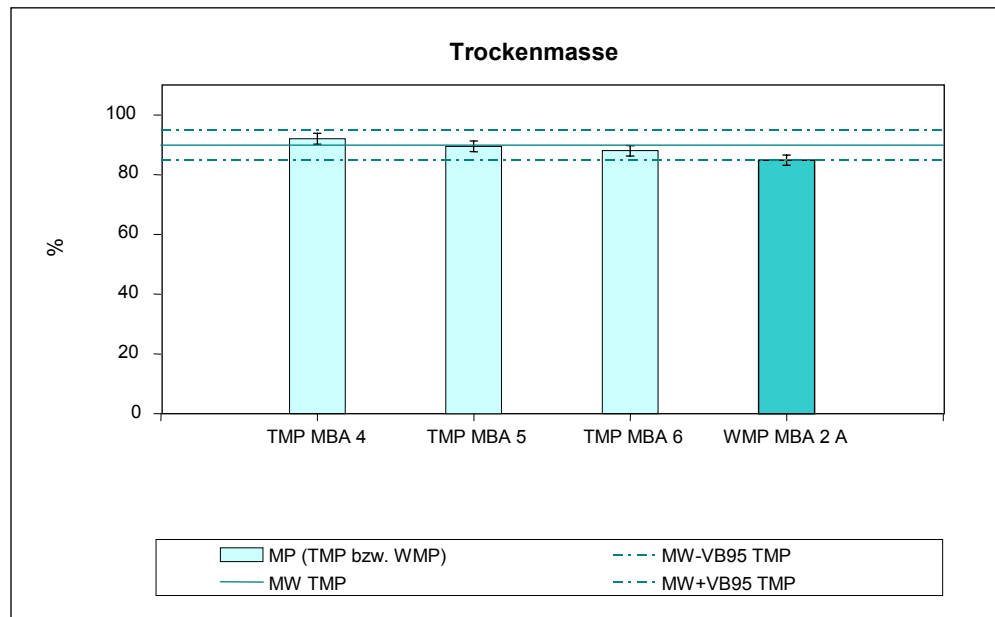


Abbildung 86: Vergleich TMP mit WMP – Trockenmasse < 10 mm Fraktion.

**Trockenmasse:**

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

#### 4.4.2 pH-Wert

Der Grenzwertbereich für den pH-Wert im Eluat für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien liegt zwischen 6,0 bis 13,0 pH-Einheiten.

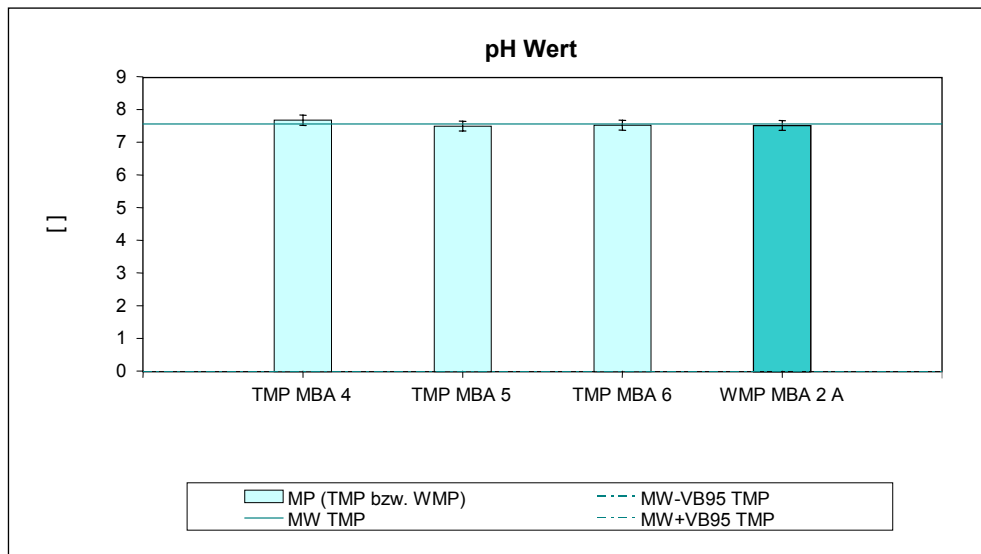


Abbildung 87: Vergleich TMP mit WMP – pH-Wert.

**pH-Wert: Sämtliche Ergebnisse liegen im Grenzwertbereich.**

### 4.4.3 Elektrische Leitfähigkeit

Für die elektrische Leitfähigkeit existiert kein eigener Grenzwert für die Annahme von Abfällen auf der Massenabfalldéponie – die löslichen Anteile sind über den Abdampfückstand begrenzt.

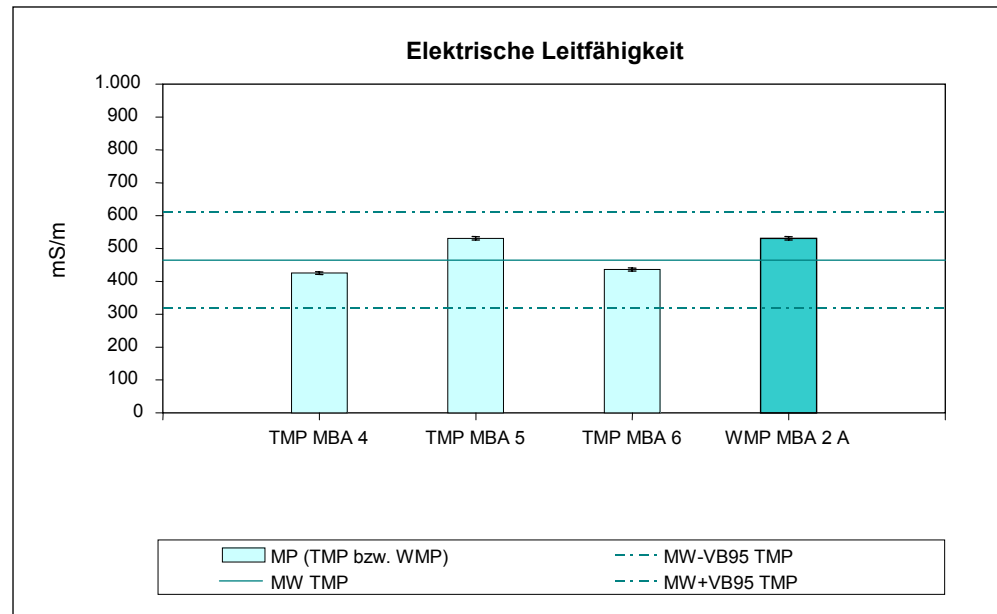


Abbildung 88: Vergleich TMP mit WMP – elektrische Leitfähigkeit.

#### Elektrische Leitfähigkeit:

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.



#### 4.4.4 Abdampfrückstand

Der Grenzwert für den Abdampfrückstand im Eluat für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien beträgt 100.000 mg/kg TM.

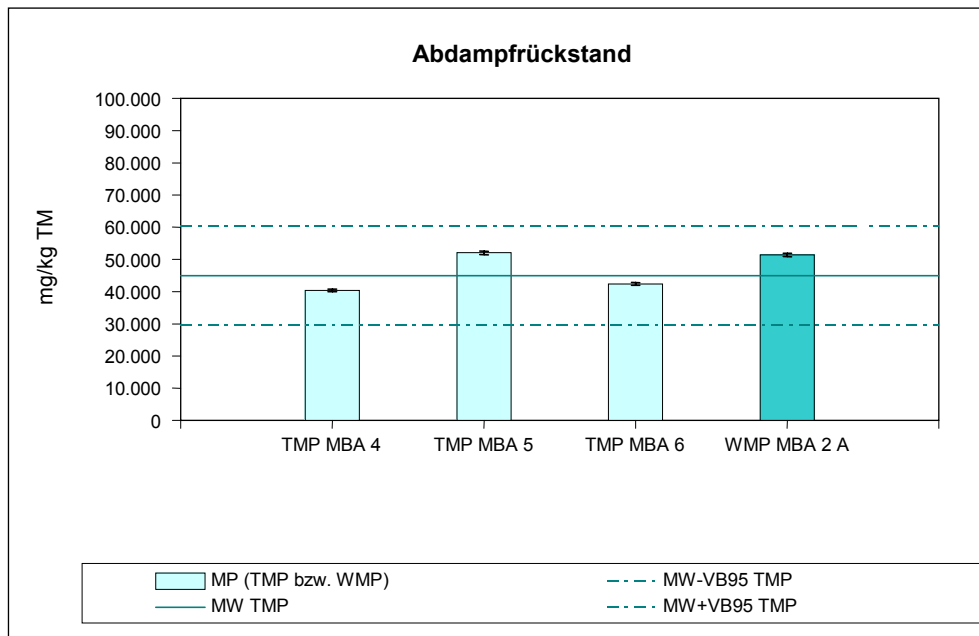


Abbildung 89: Vergleich TMP mit WMP – Abdampfrückstand.

#### Abdampfrückstand:

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Sämtliche Ergebnisse liegen unterhalb des grenzwertnahen Bereiches.<sup>75</sup>

<sup>75</sup> Der grenzwertnahe Bereich ist der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

#### 4.4.5 TOC

Der zum Zeitpunkt der Bearbeitung diskutierte Grenzwert für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien für den Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff im Eluat beträgt 2.500 mg/kg TM. Im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung ist für die Ermittlung der Ablagerbarkeit von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung kein Grenzwert vorgesehen.

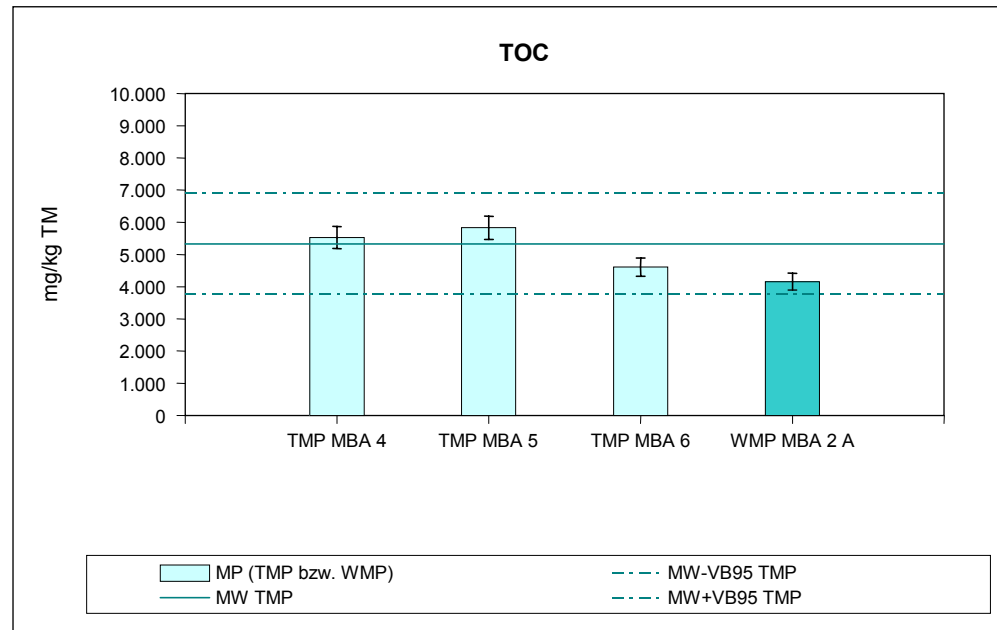


Abbildung 90: Vergleich TMP mit WMP – Gesamter organischer Kohlenstoff.

#### TOC im Eluat:

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

Sämtliche Ergebnisse liegen deutlich oberhalb des derzeit in Diskussion befindlichen Grenzwertes.

#### 4.4.6 Ammonium-Stickstoff

Der Grenzwert für Ammonium-Stickstoff im Eluat für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien beträgt 10.000 mg/kg TM.

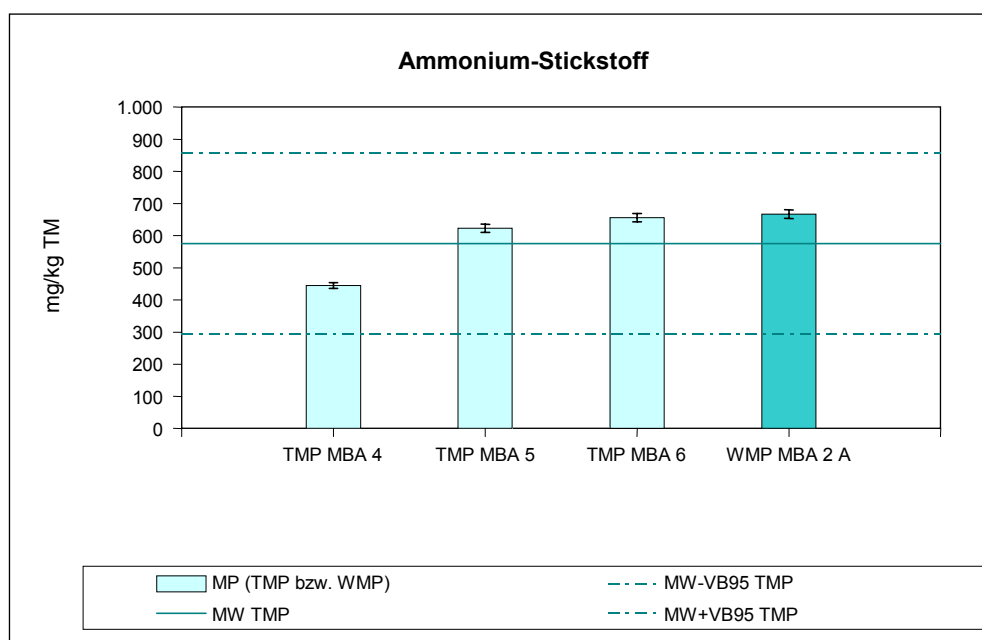


Abbildung 91: Vergleich TMP mit WMP – Ammonium-Stickstoff.

#### Ammonium-Stickstoff:

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Sämtliche Ergebnisse liegen unterhalb des grenzwertnahen Bereiches<sup>76</sup>.

<sup>76</sup> Der grenzwertnahe Bereich ist der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

#### 4.4.7 Sulfat

Der Grenzwert für Sulfat im Eluat für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien beträgt 25.000 mg/kg TM.

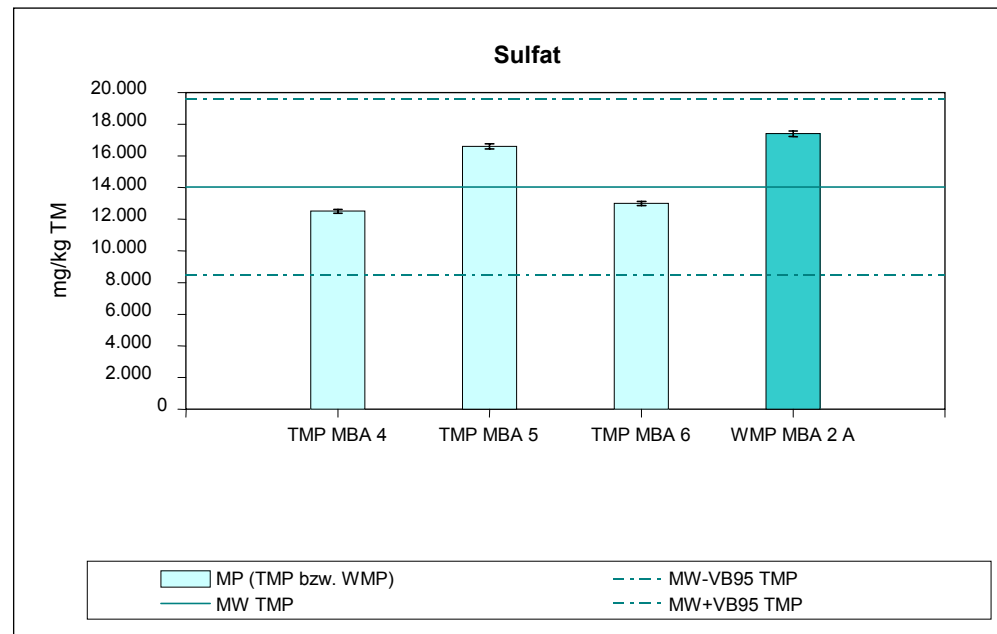


Abbildung 92: Vergleich TMP mit WMP – Sulfat.

#### Sulfat:

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

**Sämtliche Ergebnisse liegen unterhalb des grenzwertnahen Bereiches.<sup>77</sup>**

<sup>77</sup> Der grenzwertnahe Bereich ist der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

#### 4.4.8 Chrom gesamt

Der derzeit zur Diskussion stehende Grenzwert für Chrom gesamt im Eluat für die Annahme von Abfällen auf Massenabfalldeponien (Neufassung der Deponieverordnung) beträgt 70 mg/kg TM.

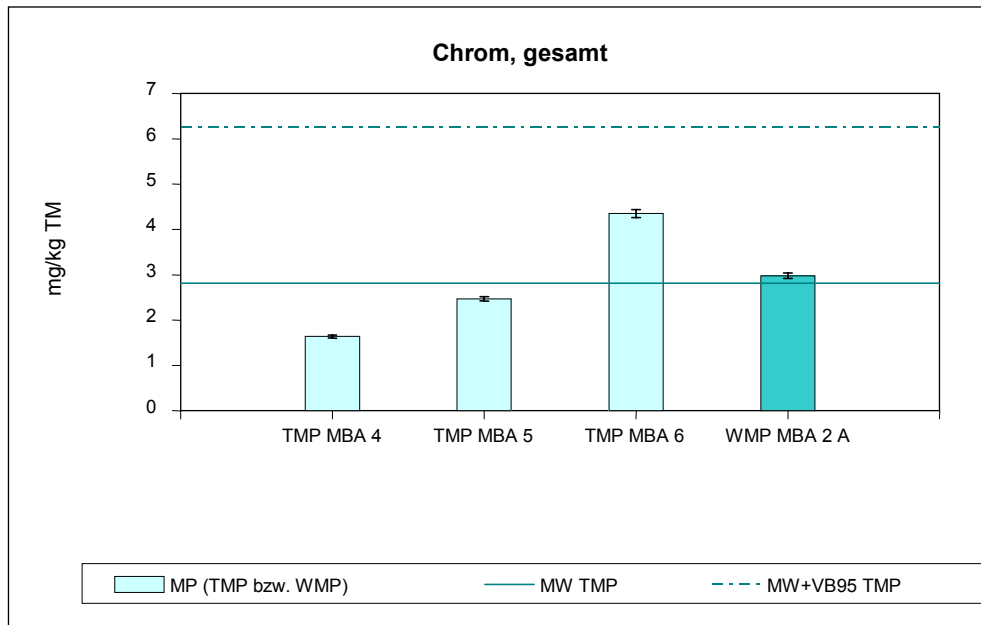


Abbildung 93: Vergleich TMP mit WMP – Chrom gesamt.

#### Chrom gesamt:

Die Wochenmischprobe liegt im Bereich des 95 % Konfidenzintervalles für den berechneten Mittelwert der Tagesmischprobe.

**Vergleich  
MW TMP mit WMP**

**Sämtliche Ergebnisse liegen unterhalb des grenzwertnahen Bereiches.<sup>78</sup>**

<sup>78</sup> Der grenzwertnahe Bereich ist der Bereich zwischen 80 % des Grenzwertes und dem Grenzwert.

#### 4.4.9 Beurteilung der Eluatanalysen

Die Beurteilung der Eluatanalysen wurde für drei Tagesäquivalente (zu Wochenäquivalent Nr. 3) und sämtliche drei Wochenäquivalente (WÄQ 1, WÄQ 3, WÄQ 5) durchgeführt.

*Tabelle 116: Zuordnung der Tages- und Wochenmischproben zu betreffenden Wochenäquivalenten.*

<b>Subpopulation</b>	<b>Tagesmischprobe</b>	<b>Wochenmischprobe</b>
WÄQ 1	TMP MBA 1 bis 3	WMP MBA 1
	TMP Stat 1 bis 3	WMP Stat 1
WÄQ 3	TMP MBA 4 bis 6	WMP MBA 2
	TMP Stat 4 bis 6	WMP Stat 2
WÄQ 5	TMP MBA 7 bis 9	WMP MBA 3
	TMP Stat 7 bis 9	WMP Stat 3

Das Ergebnis der Untersuchung eines Tagesäquivalentes (Mengenbezug 72 t) entspricht dem Tagesmittelwert. Aus den drei Ergebnissen der Tagesmittelwerte für ein Wochenäquivalent (Mengenbezug rd. 360 t) wird für die Leitparameter ein Wochenbeurteilungswert als arithmetischer Mittelwert der Tagesmittelwerte gebildet.

#### **Grenzwert-einhaltung**

Der Grenzwert gilt bei der ersten Beurteilung der grundlegenden Charakterisierung für einen Parameter als eingehalten, wenn der Wochenbeurteilungswert den Grenzwert nicht überschreitet und kein Tagesbeurteilungswert um mehr als den Toleranzwert über dem Grenzwert liegt.

Tabelle 117: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Tagesmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet).

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Bezeichnung/Einheit	WÄQ i	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
<b>Grenzwert Massenabfalldeponie</b>		–	<b>6,0 bis 13,0</b>	–	<b>100.000</b>	– <sup>79</sup>	<b>10.000</b>	<b>25.000</b>	<b>70</b>
TMP MBA 4	WÄQ 3	92	7,7	430	40.000	5.500	450	13.000	1,6
TMP MBA 5	WÄQ 3	90	7,5	530	52.000	5.800	620	17.000	2,5
TMP MBA 6	WÄQ 3	88	7,5	440	42.000	4.600	660	13.000	4,4

<sup>79</sup> Der im Entwurf der Neufassung für die Massenabfalldeponie angeführte Grenzwert für den TOC im Eluat in der Höhe von 2.500 mg/kg TM ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung nicht anzuwenden.

Tabelle 118: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Tagesmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet).

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Bezeichnung/Einheit	WÄQ i	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
<b>Grenzwert Massenabfalldeponie</b>		–	<b>6,0 bis 13,0</b>	–	<b>100.000</b>	– <sup>80</sup>	<b>10.000</b>	<b>25.000</b>	<b>70</b>
MW TMP MBA (4–6)	WÄQ 3	90	7,6	460	45.000	5.300	570	14.000	2,8
Stabw. TMP		2,0		58	6.200	640	110	2.200	1,4
% RSD TMP		2,3		13	14	12	20	16	49
VB <sub>MW(P = 95, f = 2)</sub> TMP		5,1		140	15.000	1.600	280	5.600	3
% VB <sub>MW(P = 95, f = 2)</sub> TMP		5,6		31	34	30	49	40	120
MW – VB95 TMP MBA (4 bis 6)		85		320	30.000	3.700	290	8.500	0
MW + VB95 TMP MBA (4 bis 6)		95		610	60.000	6.900	860	20.000	6,3

<sup>80</sup>Der im Entwurf der Neufassung für die Massenabfalldeponie angeführte Grenzwert für den TOC im Eluat in der Höhe von 2.500 mg/kg TM ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung nicht anzuwenden.





#### 4.4.10 Diskussion der Ergebnisse – Tagesäquivalente

Die Ergebnisse der Tagesmittelwerte und der arithmetische Mittelwert (Beurteilungswert) werden in Tabelle 117: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Tagesmischproben dargestellt.

**Beurteilungswert  
Tagesmittelwerte**

Sämtliche Ergebnisse der Eluatanalysen der gegenständlichen Studie passen gut zu den im Zuge der Vorerhebungen ermittelten Gehalten (siehe Abbildung 86 bis Abbildung 93).

##### **Beurteilungswert > Grenzwert**

Der Beurteilungswert für den organischen Summenparameter TOC im Eluat liegt über dem zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Projektes diskutierten Grenzwert (Beurteilungswert, bezogen auf den Grenzwert: 212 %). Im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung ist kein Grenzwert für TOC im Eluat vorgesehen.

##### **Beurteilungswert > 10 % des Grenzwertes**

Die Beurteilungswerte für den Abdampfrückstand und Sulfat liegen bei 45 % des Grenzwertes (ADR) bzw. bei 56 % des Grenzwertes (Sulfat). Kein Einzelergebnis (Tagesmittelwert) überschreitet den Grenzwert.

##### **Beurteilungswert < 10 % des Grenzwertes**

Die Beurteilungswerte für Chrom gesamt und Ammonium-Stickstoff liegen unter 10 % des Grenzwertes.

Der pH-Wert liegt innerhalb des Grenzwertbereiches.<sup>81</sup>

---

<sup>81</sup>NELLES et al. (2000) haben auf Basis ihrer Literaturstudie festgestellt, dass der pH-Wert im Eluat aus mechanisch-biologisch behandelten Restabfällen nach Abschluss der Behandlung ausschließlich über 7 liegt. Sie kommen daher zum Schluss, dass als Grenzwert für die Deponierungsfähigkeit von mechanisch-biologisch behandeltem Material ein pH-Wert im Eluat von 7 ungeeignet erscheint, da er keinerlei Auskunft über die biologische Stabilität gibt.

Tabelle 119: Gehalte im Eluat – Leitparameter in den Wochenmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet).

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom gesamt
Bezeichnung/Einheit	WÄQ	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
<b>Grenzwert Massenabfalldeponie</b>		–	<b>6,0 bis 13,0</b>	–	<b>100.000</b>	– <sup>82</sup>	<b>10.000</b>	<b>25.000</b>	<b>70</b>
WMP MBA 1A <sup>83</sup>	WÄQ 1	86	7,5	510	50.000	5.900	890	18.000	2,7
WMP MBA 2A	WÄQ 3	85	7,5	530	51.000	4.200	670	17.000	3,0
WMP MBA 3A	WÄQ 5	84	7,5	550	52.000	6.000	890	17.000	4,5

<sup>82</sup>Der im Entwurf der Neufassung für die Massenabfalldeponie angeführte Grenzwert für den TOC im Eluat in der Höhe von 2.500 mg/kg TM ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung nicht anzuwenden.

<sup>83</sup>Hier Mittelwert aus zwei Bestimmungen.

Tabelle 120: Gehalte im Eluat – Statistische Kenngrößen der Leitparameter in den Wochenmischproben (auf 2 sign. Stellen gerundet).

Parameter	Subpopulation	TM 105 °C < 10 mm	pH	LF	ADR	TOC	Ammonium- N	Sulfat	Chrom gesamt
Bezeichnung/Einheit	WÄQ	%	[ ]	mS/m	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
<b>Grenzwert Massenabfalldeponie</b>		–	<b>6,0 bis 13,0</b>	–	<b>100.000</b>	– <sup>84</sup>	<b>10.000</b>	<b>25.000</b>	<b>70</b>
Mittelwert WMP		85	7,6	530	51.000	5.300	810	17.000	3,4
Stabw. WMP		0,85		19	1.000	1.000	130	550	1,0
% RSD WMP		1,0		3,6	2,0	19	16	3,2	29
VB <sub>MW(p = 95, f = 2)</sub> WMP		2,1		48	2.600	2.500	310	1.400	2,4
% VB <sub>MW(p = 95, f = 2)</sub> WMP		2,5		9,0	5,0	48	39	7,9	71
MW – VB95 WMP		83		480	49.000	2.800	500	16.000	1,0
MW + VB95 WMP		87		580	54.000	7.900	1.100	19.000	5,8

<sup>84</sup>Der im Entwurf der Neufassung für die Massenabfalldeponie angeführte Grenzwert für den TOC im Eluat in der Höhe von 2.500 mg/kg TM ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung nicht anzuwenden.

#### 4.4.11 Diskussion der Ergebnisse – Wochenäquivalente

Bei der Untersuchung einer Sammelprobe für das Beurteilungsäquivalent (hier: Wochenmischprobe) entspricht der Wochenbeurteilungswert dem Ergebnis aus dieser Sammelprobe. Jedes Wochenäquivalent ist getrennt zu bewerten. Der Wochenbeurteilungswert darf den Grenzwert nicht überschreiten und – sofern eine Untersuchung von Tagesäquivalenten erfolgte – kein Einzelergebnis des untersuchten Parameters (Tagesbeurteilungswert) darf mehr als einen Toleranzwert über dem Grenzwert liegen (betreffend Bewertung der Tagesäquivalente zu Wochenäquivalenten „WMP MBA 2A“ siehe Kapitel 4.4.10).

##### Beurteilungswert für den organischen Summenparameter TOC im Eluat

Die einzelnen Beurteilungswerte für den organischen Summenparameter TOC im Eluat (Bezeichnung: „WMP MBA 1A“, „WMP MBA 2A“, „WMP MBA 3A“) betragen 5.850 mg/kg TM, 4.200 mg/kg TM und 6.000 mg/kg TM.

In Österreich ist der im Entwurf der Neufassung für die Massenabfalldeponie angeführte Grenzwert für den TOC im Eluat in der Höhe von 2.500 mg/kg TM für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung nicht anzuwenden.<sup>85</sup>

Nach Angaben in einer Veröffentlichung zu „Stand und Perspektiven der biologischen Abfallverwertung und -behandlung in Deutschland“ (FRICKE & TURK 2000) sollte die Einhaltung eines TOC im Eluat von 100 mg C/l (rd. 1.000 mg/kg TM) prinzipiell möglich sein, jedoch wären dafür Rottezeiten von 5 bis 12 Monaten und länger erforderlich. Die Autoren fassen zusammen, dass bereits ein Wert von 200 mg/l TOC im Eluat (2.000 mg/kg TM) als Ausschlusskriterium für MBA-Verfahren anzusehen wären, da dieser Wert sicher nicht einhaltbar wäre.

Die Auswertungen der Gesamtdaten zu MBA-Anlagen und die Erkenntnisse der gegenständlichen Studie bestätigen die obige Aussage – die Forderung eines TOC im Eluat von 2.000 mg/kg TM wäre aus derzeitiger Sicht für die MBA-Anlagen problematisch.

##### Beurteilungswert > 10 % des Grenzwertes

Die drei Beurteilungswerte (Bezeichnung: „WMP MBA 1A“, „WMP MBA 2A“, „WMP MBA 3A“) für den Abdampfdruckstand und Sulfat liegen im Bereich von 50–52 % des Grenzwertes (ADR) bzw. im Bereich von rd. 68–71 % des Grenzwertes (Sulfat).

##### Beurteilungswert < 10 % des Grenzwertes

Die Beurteilungswerte (Bezeichnung: „WMP MBA 1A“, „WMP MBA 2A“, „WMP MBA 3A“) für Chrom gesamt und Ammonium-Stickstoff liegen unter 10 % des Grenzwertes.

Die pH-Werte der Wochenäquivalente liegen innerhalb des Grenzwertbereiches.

---

<sup>85</sup>In Deutschland betrug der Grenzwert für den TOC im Eluat 200 mg/l (2.000 mg/kg TM) und wurde mittlerweile auf 300 mg/l (3.000 mg/kg TM) angepasst.



## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

### 5.1 Allgemeines

#### Durchführung der Probenahme

Die Probenahme von Haufwerk stellt vielfach den Regelfall bei der Gesamtbeurteilung von MBA-Materialien zur Deponierung auf der Massenabfalldeponie dar. Um möglichst abfallcharakterisierende Ergebnisse zu erhalten, ist daher eine aufwändige Beprobung von Teilmengen des Haufwerks erforderlich und der Einsatz von Großgeräten eine unabdingbare Voraussetzung, damit auch Bereiche innerhalb des Haufwerks abgedeckt werden können.

Bei der Beprobung von lediglich leicht zugänglichen Stellen des Haufwerks durch die Ausrüstung mit Handschaufel und Kübel werden systematische Fehler der Probenahme begangen, die im Zuge des Untersuchungsprogrammes nicht mehr wettgemacht werden können.

Da im Zuge der Umlagerung der MBA-Deponieoutputfraktionen die Zugänglichkeit von abfallcharakterisierenden Proben vereinfacht wird, sollte der befugten Fachanstalt die Möglichkeit eingeräumt werden, die Probenahme entsprechend den Gegebenheiten vor Ort entsprechend anzupassen (z. B. Beprobung vom Bandabwurf, Nutzung von automatischen Probenahmeinrichtungen, Beprobung beim Be- oder Entladen)<sup>86</sup>.

Es sei des Weiteren auf die Eigenüberwachung im Zuge von Be- und Entladetätigkeiten hingewiesen, die eine sehr gute Möglichkeit zur laufenden Überwachung der grenzwertrelevanten Parameter ist. In der Praxis werden von den Anlagenbetrieblabors vielfach Brennwertbestimmungen durchgeführt – diese Bestimmungen sollten bei Vorliegen gewisser Qualitätskriterien für die Probenahme zur Erhebung von Vorinformationen betreffend mittel- und langfristiger Variabilitäten genutzt werden können.

#### Erhebung der Variabilität innerhalb der Tagesmischprobe

Wie in vorliegender Studie gezeigt werden konnte, ist bei der Auswertung der Variabilität besonderes Augenmerk auf die Erhebung der Ursache von höheren Gehalten zu lenken.

**Nicht jeder hohe Einzelwert (insbesondere bei Metallen) ist auf ein Nichteinhalten eines Vermischungsverbotes zurückzuführen und hohe Standardabweichungen sind nicht generell durch eine erhöhte Stichprobenanzahl im Zuge der Probenahme für die Herstellung einer Sammelprobe auszugleichen.**<sup>87</sup>

---

<sup>86</sup>Im Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung wurde die Möglichkeit eingeräumt, dass die Probenahme auch vom Förderband oder Abwurf erfolgen kann, sofern sichergestellt ist, dass die Probenahme nach dem letzten Behandlungsschritt erfolgt und dass der Beurteilungsmaßstab eingehalten wird.

<sup>87</sup>Die Zusammenfassung mehrerer Stichproben zu einer Sammelprobe ist zum Ausgleichen von z. B. räumlichen oder temporären Variabilitäten sinnvoll – die (stoffliche) Heterogenität eines Materials kann durch die Herstellung von Mischproben nicht verringert werden!

## 5.2 Stabilitätsparameter

### 5.2.1 Argumente und Untersuchungen zur Vorbelüftung

Die ÖNORMEN (sowohl für Atmungsaktivität als auch für die anaeroben Tests  $GS_{21}$  bzw.  $GB_{21}$ ) gehen auf eventuell auftretende Minderbefunde durch lag-Phasen (Adaptionsphasen) ein und schreiben bei Auftreten von lag-Phasen vor, diese rechnerisch zu kompensieren. Dazu wird die Versuchsdauer um die lag-Phase verlängert und der Messwert bei Ende der lag-Phase vom Wert bei Versuchsende abgezogen. Aber nicht nur Adaptionsphasen können zu Minderbefunden führen. So wurde beispielsweise bei der Untersuchung eines 20 Wochen behandelten gemischten Siedlungsabfalles (BINNER 2004) eine Abweichung der Atmungsaktivität vom erwarteten Ergebnis festgestellt (siehe Abbildung 94). Die gepunktete Kurve zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität der Originalprobe ( $AT_4 = 5,8 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ). Über die Versuchsdauer von elf Tagen ergab sich kein Hinweis auf Vorliegen einer lag-Phase.

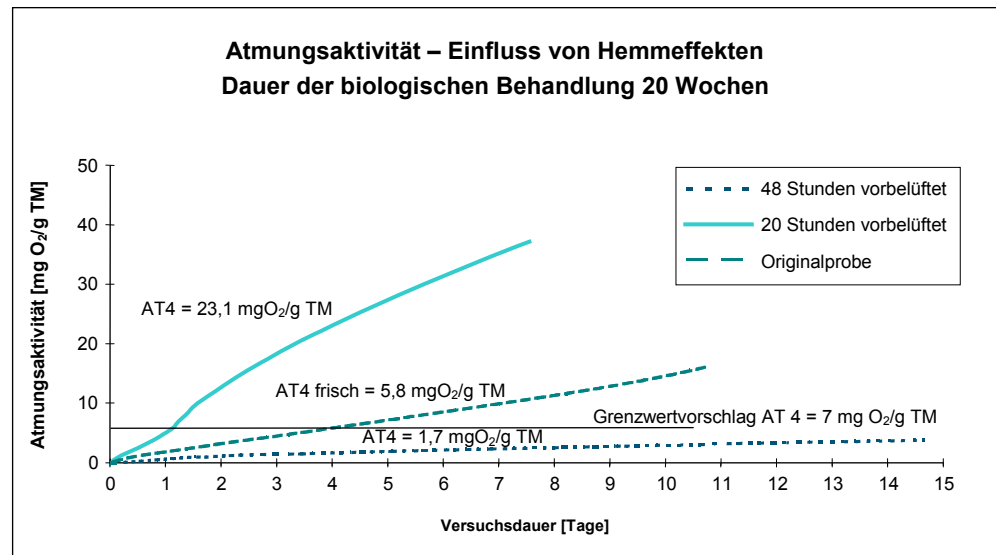


Abbildung 94: Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 20 Wochen) (BINNER 2004).

Da das oben beschriebene im Labor eingelangte Material relativ trocken war ( $WG = 26 \%$ ), wurde eine Trockenstabilisierung des Materials während der Behandlung vermutet<sup>88</sup>. Um die Milieubedingungen für aerobe Mikroorganismen zu verbessern, wurde das Material auf einen günstigen Wassergehalt befeuchtet, in eine Aluminiumtasse gefüllt und durch Stehenlassen an der Raumluft über einen Zeitraum von 20 Stunden "vorbelüftet" (bei Bedarf wurde das Material zwischendurch nachbefeuchtet).

<sup>88</sup>Aus den Untersuchungen von WIDERIN (1996) ist bekannt, dass ein im Zuge der Probenaufbereitung durchgeführtes Trocknen (sowohl bei  $105^\circ\text{C}$ -Trocknung als auch bei Lufttrocknung) zu deutlichen Minderbefunden führt.

Die derart vorbelüftete Probe (volle Kurve) zeigt eine gegenüber der Originalprobe deutlich gesteigerte Atmungsaktivität ( $AT_4 = 23,1 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ). Ein erneutes Austrocknen bei einer Vorbelüftungsdauer von 48 Stunden (punktierte Kurve) führt (trotz Wiederbefeuchtens vor dem Versuchsstart) erwartungsgemäß zu noch geringerer Atmungsaktivität ( $AT_4 = 1,7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ) als bei der Originalprobe (siehe Abbildung 94).

Zur Abschätzung des Einflusses der Vorbelüftung auf die Sauerstoffverbrauchsrate im Sapromat wurden weitere Analysen durchgeführt. Vergleichend wurde kurz behandelte gemischter Siedlungsabfall (drei Wochen belüftete Rotteplatte) und ausreichend stabilisierter gemischter Siedlungsabfall (13 Wochen Behandlungsdauer in derselben Anlage) getestet. Als Dauer der Vorbelüftung wurden 2 bis 24 Stunden gewählt.

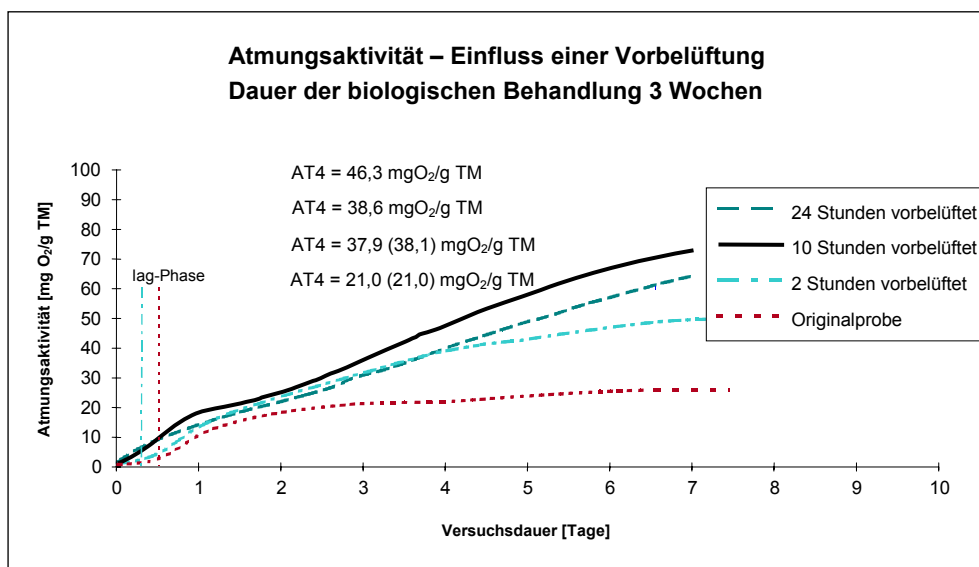


Abbildung 95: Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 3 Wochen) (BINNER 2004).

Während die Vorbelüftung beim kurz behandelten Material großen Einfluss auf die Atmungsaktivität hat (siehe Abbildung 95), zeigt sich beim stabilen Material kein positiver, aber auch kein negativer Einfluss (siehe Abbildung 96). Beim kurz behandelten Material zeigen bereits 2 Stunden Vorbelüftungsdauer (strichpunktierte Kurve) einen Anstieg der Atmungsaktivität von  $AT_4 = 21 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  (Originalprobe = punktierte Kurve) auf  $AT_4 = 38 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$  (siehe Abbildung 95).

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass ein rechnerisches Kompensieren der lag-Phasen bei beiden Ansätzen keine Veränderung des  $AT_4$ -Wertes bewirkt (die Klammerwerte in Abbildung 95 sind jene ohne Kompensieren der lag-Phase). Grund dafür ist, daß die Aktivität bereits nach vier Tagen stark abnimmt. Als Ursache für die Abnahme der Aktivität wird eine Hemmung der Mikroorganismen durch Stoffwechselprodukte vermutet (siehe dazu auch Ausführungen zu Abbildung 97).

Durch Anheben der Vorbelüftungsdauer auf zehn Stunden (volle Kurve) werden lag-Phasen vermieden bzw. der Rückgang der Aktivität zumindest auf einen Zeitpunkt größer sieben Tage verschoben. Dass ein Vorbelüften über zehn Stunden keine Verfälschung der Analyseergebnisse (Minderbefunde) bewirkt, ist an dem 13 Wochen biologisch behandelten Material zu sehen (siehe Abbildung 96). Die Ori-

nalprobe (punktiertere Kurve) zeigt keinerlei Hemmeffekte. Die Vorbelüftung verringert die Atmungsaktivität nicht (bei 24 Stunden Vorbelüftung – siehe strichlierte Kurve – sind leichte Tendenzen zu einer Verringerung der Aktivität zu sehen). Eine Vorbelüftung sollte daher nicht länger als 8 bis 10 Stunden dauern. Ein Austrocknen des Materials während der Vorbelüftung ist unbedingt zu verhindern.

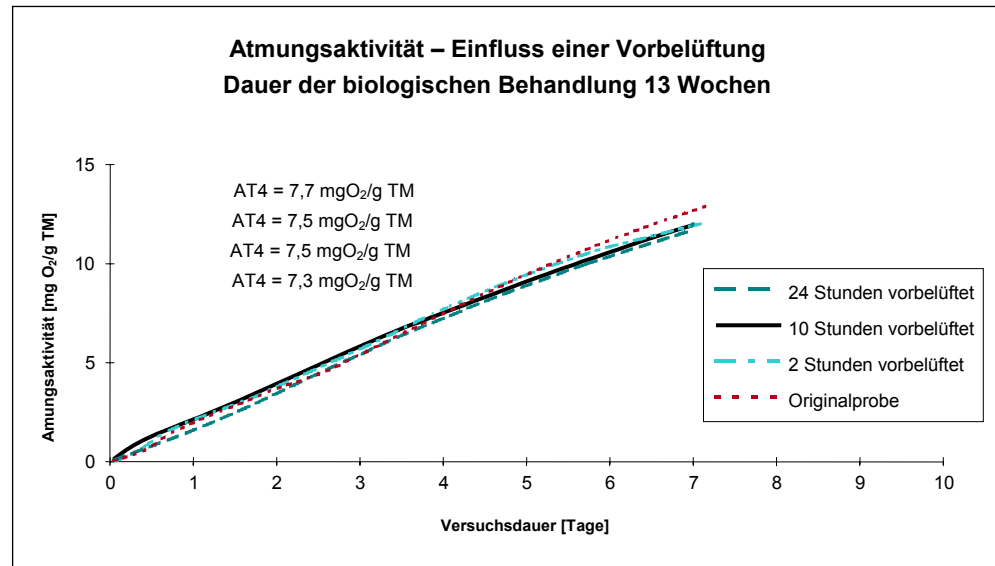


Abbildung 96: Einfluss einer Probenvorbelüftung auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung eines nicht durch Hemmeffekte gestörten MBA-Materials (Behandlungsdauer 13 Wochen) (BINNER 2004).

Abbildung 97 zeigt den Verlauf der Atmungsaktivität eines Inputmaterials in eine Bioabfallkompostierungsanlage (BINNER 2004). Nach zwei Tagen Versuchsdauer kommt der aerobe Abbau im Probengefäß zum Erliegen. Da ein über der maximalen Nachlieferungsrate des Sapromat liegender Sauerstoffbedarf ausgeschlossen werden konnte, wurde auf ungünstige Milieubedingungen im Untersuchungsmaterial geschlossen. Aus diesem Grund wurde das Reaktionsgefäß geöffnet und zehn Minuten mittels Druckbelüftung gespült. Mit dem Luftstrom wurden die als Ursache der Hemmung vermuteten Stoffwechselprodukte ausgetrieben. Da durch das Druckbelüften auch Wasser aus dem System ausgetragen wird, wurde die Probe bei Bedarf vorsichtig nachbefeuchtet. Nach dem Wiederverschließen stieg die Atmungsaktivität für ca. 14 Stunden stark an. Wie sich zeigte, kann durch das Druckbelüften die Aktivität nur kurzfristig angehoben werden. Aus diesem Grund wurde die maximal mögliche Atmungsaktivität (unter der Annahme der am dritten Tag beobachteten Maximalaktivität über den ganzen Versuchszeitraum) abgeschätzt (siehe rote Kurve in Abbildung 97). Dann war offensichtlich wieder eine zu hohe Konzentration an hemmenden Stoffwechselprodukten erreicht, die durch neuerliche Druckbelüftung beseitigt werden musste.



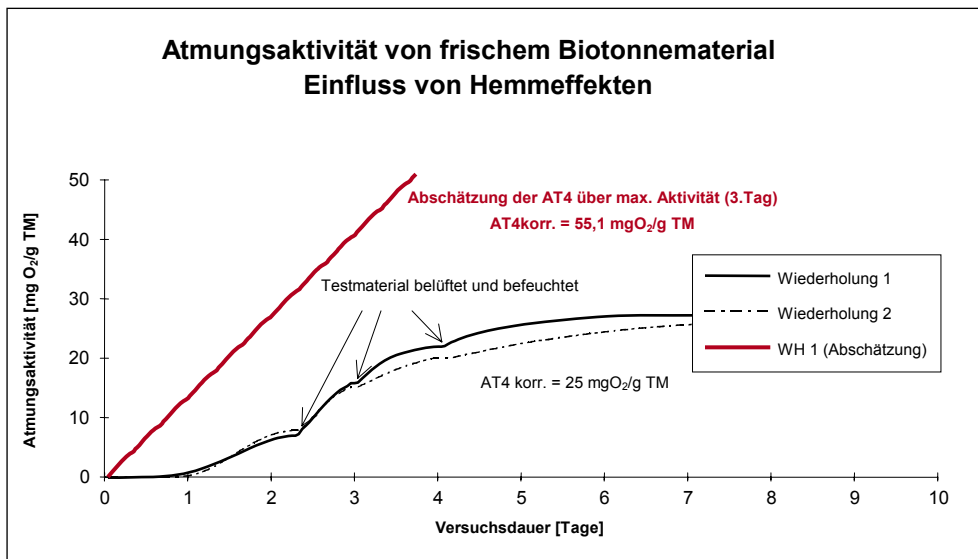


Abbildung 97: Einfluss ungünstiger Milieubedingungen auf das Messergebnis der Atmungsaktivitätsbestimmung von frischem Bioabfall (BINNER 2004).

## 5.2.2 Zusammenhang zwischen Gasbildung und Atmungsaktivität

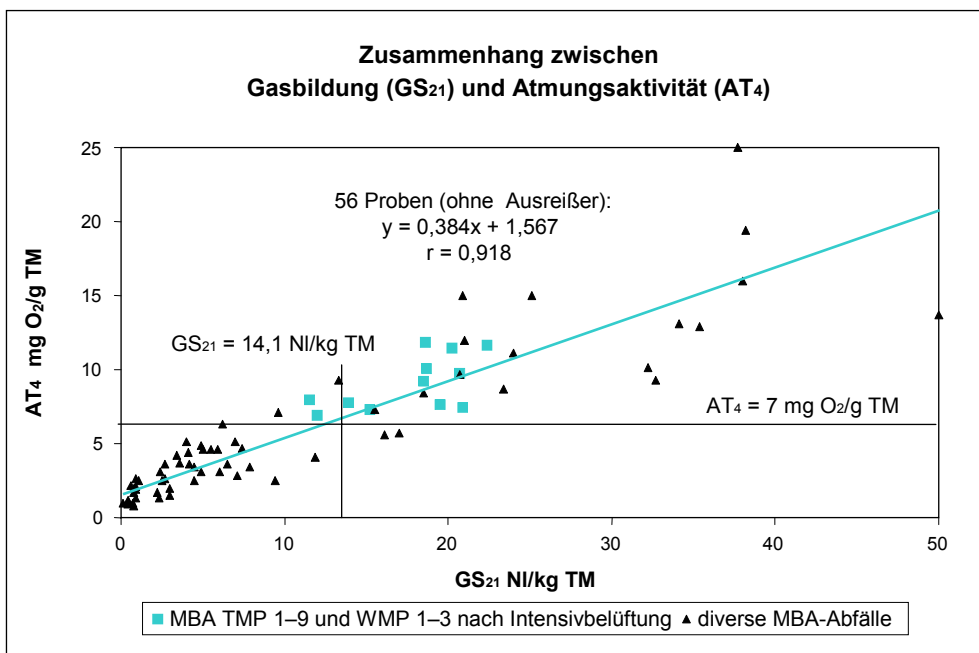


Abbildung 98: Zusammenhang zwischen Gasbildung und Atmungsaktivität (ABF-BOKU).

Abbildung 98 zeigt den Zusammenhang zwischen Atmungsaktivität und Gasbildung aller bisher am ABF-BOKU vorliegenden Analysenergebnisse von MBA-Materialien. Von 145 Proben wurden zunächst jene mit einer Reaktivität in der Größenordnung der jeweiligen Grenzwerte ( $GS_{21} < 50$  NI/kg TM) ausgewählt (in Summe waren das 74 Proben). Anschließend wurden 22 Materialproben, bei denen der Grund für größere Abweichungen von der erwarteten Korrelation bekannt war (z. B. Austrock-

nung des Rottegutes bzw. ungünstige Milieubedingungen während der biologischen Behandlung) als Ausreißer ausgeschieden. Die verbleibenden 56 Analysenpaare ergeben einen Korrelationskoeffizient von  $r = 0,918$ .

**Nach der gefundenen Korrelation entspricht dem Grenzwert  $AT_4 = 7\text{mg O}_2/\text{g TM}$  eine Gasspendensumme von  $14,1\text{ NI}/\text{kg TM}$ .**

Die im gegenständlichen Projekt analysierten „Halbenrainproben“ (diese sind in den 56 für die Berechnung der Korrelation der verwendeten Proben nicht enthalten) sind als rote Quadrate dargestellt. Die Analysenwerte von Atmungsaktivität und Gasspendensumme der „Halbenrainproben“ liegen im erwarteten Verhältnis zueinander.

### 5.2.3 Zusammenfassung

In Deutschland und Österreich ist die Deponierung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen ähnlich geregelt. Wesentlichster Unterschied ist, dass in Deutschland der Anlagenbetreiber zum Nachweis der biologischen Stabilität optional Atmungsaktivität oder Gasbildung untersuchen kann, während in Österreich beide Parameter zu bestimmen sind. Dass der nach österreichischer Rechtslage vorgeschriebene Mehraufwand durchaus sinnvoll ist, zeigen die oben beschriebenen Untersuchungen, bei denen die Atmungsaktivitätsbestimmung Minderbefunde lieferte.

Bei ausreichend stabilisiertem gemischtem Siedlungsabfall treten in der Regel keine Minderbefunde auf. Bei Mängeln im Verlauf der biologischer Behandlung – z. B. Austrocknen des Materials durch zu intensive Belüftung, mangelhafte Sauerstoffversorgung – können lag-Phasen oder Hemmeffekte (durch Zugabe von leicht verfügbarem Kohlenstoff (z. B. Glukose) können Hemmeffekte erkannt werden) gravierende Minderbefunde hervorrufen. Da eventuell auftretende Mängel während der Behandlung dem Analytiker/der Analytikerin nicht bekannt sind, müssen bei „unbekannten“ Materialien aerobe und anaerobe Tests parallel durchgeführt werden. Durch geeignete Probenaufbereitung (Vorbelüften des Untersuchungsmaterials) können derartige Effekte zwar vermindert, aber nicht 100 %ig ausgeschlossen werden.

### 5.2.4 Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben

Aufgrund der im Rahmen der Studie erhobenen Daten zu Tagesmischproben und Wochenmischproben und der Ergebnisse der Vergleiche der Mittelwerte der getrennt analysierten Tagesmischproben mit den Analysenergebnissen der Wochenmischprobe (Mischprobe bestehend aus zugehörigen drei Tagesmischproben) kann abgeleitet werden, dass die im Entwurf zur Neufassung der Deponieverordnung geplante Vorgehensweise zur Bestimmung der Wochenbeurteilungswerten aus den Wochenmischproben (Analyse der Tagesmischproben nicht erforderlich) ausreichend zur Beurteilung der Ablagerbarkeit ist. Insbesondere im Hinblick auf den hohen Zeitbedarf für die Durchführung der Untersuchungen und die zumeist verfügbaren knappen Lagerkapazitäten für die Zwischenlagerung der Proben (Tiefkühlen) ist diese Vorgehensweise praxisgerecht.



Der Vergleich der getrennt aufbereiteten und analysierten Tagesmischproben mit den Ergebnissen der Wochenmischproben lieferte nachfolgendes Ergebnis:

**Für die Stabilitätsparameter lag in jeweils drei von drei Fällen das Ergebnis der Wochenmischprobe (n = 2) im 95 % Vertrauensbereich der durch getrennte Analyse der drei zugehörigen Tagesmischproben gebildeten Mittelwerte (n = 3).**

Die mittlere Wiederholstandardabweichung in einem Labor liegt im Bereich von 7 % (1–20 %) für AT<sub>4</sub> und im Bereich von 5 % (1–11 %) für GS<sub>21</sub>.

Bei der Analyse der Mittelwerte aus sämtlichen Tagesmischproben wurde eine Gesamtstandardabweichung von 18 % für AT<sub>4</sub> (innerhalb WMP 15 %, zwischen WMP 11 %) und 20 % für GS<sub>21</sub> (innerhalb WMP 21 %, zwischen WMP 10 %) erhalten.

Die Standardabweichung zwischen den Wochenäquivalenten und innerhalb der Wochenäquivalente unterscheidet sich nur zufällig und beide sind Schätzwerte der gleichen Varianz.

## 5.3 Brennwert (oberer Heizwert)

### 5.3.1 Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben

Die Ergebnisse des MBA-Modells sind mit den Ergebnissen des Stat-Modells sehr gut vergleichbar. Bei vergleichbaren Abfällen und Kornverteilungen wie beim gegenständig untersuchten Material sollte der befugten Fachanstalt die Möglichkeit eingeräumt werden, die Probenmengen entsprechend anzupassen.

Der Gehalt für den Brennwert kann mit geringen Schwankungen bestimmt werden, liegt jedoch erwartungsgemäß stets sehr nahe am Grenzwert

Zur Absicherung der Ergebnisse wird eine Aufarbeitung von Parallelproben (ab der Probenahme) und die Durchführung von jeweils zwei Bestimmungen pro Analysenprobe vorgeschlagen.

Insbesondere bei der Feinvermahlung mit Benzoesäure ist darauf zu achten, dass keine zusätzlichen Fehler durch Segregation resultieren.

## 5.4 Gesamtgehalte im Feststoff

### 5.4.1 Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben

Die Ergebnisse des MBA-Modells sind mit den Ergebnissen des Stat-Modells im Rahmen der Vertrauensbereiche (95 %) gut vergleichbar. Es konnten keine eindeutig statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten des MBA-Modells und des Stat-Modells festgestellt werden.

Vereinzelt treten sowohl bei der Analyse der qualifizierten Stichproben, der Tagesmischproben und auch bei Wochenmischproben deutlich erhöhte Schwermetallgehalte auf. Die Wochenbeurteilungswerte lagen unterhalb der grenzwertnahen Bereiche.

Im Zuge der Varianzanalysen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Variationen innerhalb der Wochenmischproben und zwischen den Wochenmischproben festgestellt werden.

Die Metallgehalte in den Proben streuen vereinzelt durch die heterogene Zusammensetzung der Proben sehr stark (< 0,25 mm Korngröße).

Da die wesentlichen Einflussgrößen für die Streuung der Ergebnisse der Gesamtgehalte im Feststoff in der Probenaufarbeitung liegen, sollten Mehrfachbestimmungen aus der aufbereiteten Probe durchgeführt werden (mindestens  $n = 2$  getrennte Einwaagen für den Aufschluss – eine Wiederholanalyse in der fertigen Aufschluslösung ist üblicherweise nicht notwendig).

Da der thermische Aufschluss unter Rückfluss im Vergleich zum Mikrowellenaufschluss die Möglichkeit zur erhöhten Probeneinwaage (1–10 g) bietet, ist der thermische Aufschluss für die Bestimmung der Gesamtgehalte im Feststoff besonders zu empfehlen.

Die Gesamtgehalte im Feststoff können in den Proben für die Brennwertbestimmung analysiert werden – erhöhte Probenmengen im Zuge der Probenahme sind nicht erforderlich, da die wesentlichen Einflussgrößen in den Stufen der Probenvorbereitung liegen und die Gesamtgehalte (Wochenbeurteilungswerte) deutlich unterhalb der grenzwertrelevanten Bereiche angesiedelt sind (kein Ausreißer lag im Bereich des Grenzwertes).

## 5.5 Eluatanalysen

### 5.5.1 Abfallannahmeverfahren – Beurteilung von Wochenmischproben

Die einzelnen Beurteilungswerte für den organischen Summenparameter TOC im Eluat (Bezeichnung: „WMP MBA 1A“, „WMP MBA 2A“, „WMP MBA 3A“) betragen 5.850 mg/kg TM, 4.200 mg/kg TM und 6.000 mg/kg TM und liegen im Bereich der für die verschiedenen Anlagen erhobenen Daten (Bereich für die Gehalte an TOC im Eluat der ausgewerteten Gesamtbeurteilungen: 830–6.600 mg/kg).

Im Gegensatz zu den Anforderungen der deutschen Abfallablagerungsverordnung<sup>89</sup> ist für Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung in Österreich laut Entwurf der Neufassung der Deponieverordnung kein Grenzwert für TOC im Eluat für die Massenabfalldeponie vorgesehen.

Nach den Erkenntnissen von FRICKE & TURK (2000) wäre die Einhaltung eines TOC im Eluat von rd. 1.000 mg/kg TM prinzipiell möglich, jedoch nur nach Rottezeiten von 5 bis 12 Monaten und länger erreichbar.

Die durchgeführten Auswertungen der Gesamtdaten zu verschiedenen österreichischen MBA-Anlagen und die Erkenntnisse der gegenständlichen Studie bestätigen die obige Aussage – die Forderung eines TOC im Eluat von 2.000 mg/kg TM oder auch 3.000 mg/kg TM wäre aus derzeitiger Sicht für die MBA-Anlagen problematisch.

---

<sup>89</sup>In Deutschland betrug der Grenzwert für den TOC im Eluat 200 mg/l (2.000 mg/kg TM) und wurde mittlerweile auf 300 mg/l (3.000 mg/kg TM) angepasst.



## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- BINNER, E. (2004): Bestimmung von Atmungsaktivität und Gasbildungspotential – Neueste Erkenntnisse betreffend Fehlinterpretationen, Tagungsband zu den Abfallforschungstagen 2004. Cuvillier Verlag, Göttingen. S. 63–77.
- BINNER, E.; ZACH, A.; WIEDERIN, M. et al. (1998): Auswahl und Anwendbarkeit von Parametern zur Charakterisierung der Endprodukte aus mechanisch-biologischen Restmüllbehandlungsverfahren. Teil 2: Vorgangsweise bei der Probenahme. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Veröffentlicht in der Schriftenreihe des BMLFUW (Band 9/1998).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2002): Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen. Wien.
- BRINKMANN, U. et al. (1996): Emissionsverhalten von unbehandeltem und mechanisch vorbehandeltem Restmüll unter Deponiebedingungen. In: Müll und Abfall. 2/1996.
- DENNER, M. (2005): Bericht zu Lokalaugenschein vom 29. September 2005. Probenahmeplanung – Mengenanpassung für Herstellung von Wochen- und Tagesmischproben.
- Final Report zum „Inter-Laboratory Test for Validation of CEN/TC 292/WG 3/Draft Standards“. European Communities, 2000.
- FRICKE, K. & TURK, T. (2000) : Stand und Perspektiven der biologischen Abfallverwertung und -behandlung in Deutschland. In: TA-Datenbank-Nachrichten Nr. 1, 9. Jahrgang, März 2000.
- HARANT, M.; NELLES, M.; HOFER, M. et al. (1999): Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband – 2. Projektphase: Stoffstromanalyse. Durchgeführt im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Veröffentlicht in der Schriftenreihe des BMLFUW (Band 15/1999).
- HARTUNG, J. et al. (1985): Modellkatalog Varianzkomponenten. DFG-Projektgruppe „Varianzkomponenten“: Schätzen von Variationsanteilen bei der Datenanalyse. Dortmund.
- HARTUNG, J.; ELPELT, B. & KLÖSENER, K.H. (1989): Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 7., durchgesehene Auflage. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- HÖFLINGER, W. (1995): Mechanische Verfahrenstechnik I, Manuskript zur gleichnamigen Vorlesung, Kap I.3: Darstellung von Mengenverteilungen.
- IGW – Ingeniergemeinschaft Witzenhausen (2004): Ringversuch für die Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Endbericht. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft unter Zusammenarbeit mit Fa. Statcon und TU Braunschweig. Witzenhausen, Januar 2004.
- LORBER, K.E.; MÜLLER, P.; NOVAK, J. & RABER, G. (2004): Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband. Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen – Modelldeponie Allerheiligen. Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE), Montanuniversität Leoben. Durchgeführt im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Leoben, November 2004

- NELLES, M.; RANINGER, B.; HOFER, M. et al. (2000): Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband – 2. Projektphase: Deponieverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Endbericht Teil I: Literaturstudie. Erstellt am Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE), Montanuniversität Leoben. Durchgeführt im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Leoben, September 2000.
- NEUBAUER, C. & ÖHLINGER, A. (2006): Ist-Stand der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich. Zustandsbericht 2006. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Dezember 2006.
- Referenzmaterial Report EUR 16892 EN. The certification of the total contents of Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn and the aqua regia soluble contents of Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn in a sewage sludge from industrial origin. CRM 146 R.
- SCHEIDL, K. (2000): Endbericht zum Projekt Bestimmung des oberen Heizwertes laut Deponieverordnung an mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Dezember 2000.
- Unterlagen zum ÖNORM Seminar vom 02. Februar 2005, Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen
- VAN DER SLOOT, H.A.; RIETRA, R.P.J.J. & HOEDE, D. (2000): Evaluation of leaching behaviour of selected wastes designated as hazardous by means of basic characterization tests. Netherlands Energy Research Foundation (ECN). The Netherlands.
- WEGSCHEIDER, W. (1994): Proper Sampling : A Precondition for Accurate Analyses. In: Accreditation and Quality Assurance in Analytical Chemistry. Günzler, H. (Ed.), Springer Verlag.
- WIDERIN, M. (1996): Ergebnisse von Atmungsaktivitätsmessungen mittels Sapromat, in: Methoden zur Charakterisierung der biochemischen Stabilität von organischer Substanz. P. Lechner (Hg.). Waste Reports Nr. 4. S. 34–43.

### **Rechtsnormen**

- Deponieverordnung (DeponieVO; BGBl. Nr. 164/96 i.d.F. Novelle 2004): Verordnung des Bundesministeriums für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen.
- DIN 38404-5 (1985): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Bestimmung der Sulfat-Ionen (D5).
- DIN 51900-1 (2004): Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes – Teil 1: Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren.
- DIN 51900-3 (2005): Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes – Teil 3: Verfahren mit adiabatischem Mantel.
- DIN 53804-1 (1981): Statistische Auswertungen. Messbare (kontinuierliche) Merkmale. September 1981.



- DIN EN ISO 17294-2 (2005): Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von 62 Elementen (ISO 17294-2: 2003).
- ÖNORM EN 11885 (1998): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ISO 11885: 1996).
- ÖNORM EN 12457-4 (2003): Charakterisierung von Abfällen – Auslaugung – Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen – Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung).
- ÖNORM EN 13657 (2002): Charakterisierung von Abfällen – Aufschluss zur anschließenden Bestimmung des in Königswasser löslichen Anteils an Elementen in Abfällen.
- ÖNORM EN 1483 (1997): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber.
- ÖNORM EN 1484 (1997): Wasseranalytik – Anleitung zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC).
- ÖNORM EN 14899 (2006): Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen – Rahmen für die Erstellung und Anwendung eines Probenahmeplans. Ausgabe 2006-02-01.
- ÖNORM EN 15216 (2005): Charakterisierung von Abfällen – Bestimmung des Gesamtgehaltes an gelösten Feststoffen (TDS) in Wasser und Eluaten. Normentwurf.
- ÖNORM EN 27888 (1993): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888: 1985).
- ÖNORM EN ISO 10304-2 (1996): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der gelösten Anionen mittels Ionenchromatographie – Teil 2: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Ortho-Phosphat und Sulfat in Abwasser (ISO 10304-2: 1995).
- ÖNORM ISO 7150-1 (1987): Wasseruntersuchung; Bestimmung von Ammonium; manuelle spektrophotometrische Methode.
- ÖNORM S 2027-1 (2004): Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 1: Atmungsaktivität (AT<sub>4</sub>), Vornorm, Ausgabe 2004-09-01.
- ÖNORM S 2027-2 (2004): Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 2: Gasspendensumme im Inkubationstest (GS<sub>21</sub>), Vornorm, Ausgabe 2004-09-01.
- ÖNORM S 2027-3 (2004): Stabilitätsparameter zur Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen. Teil 3: Gasbildung im Gärtest (GB<sub>21</sub>), Vornorm, Ausgabe 2004-09-01.
- ÖNORM S 2118-1 (2001): Probenahme und Probenaufbereitung von festen Abfällen für die Bestimmung des Brennwertes – Bestimmung des Brennwertes (Ho) von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen und vergleichbaren Materialien, Ausgabe 2001-07-01.
- ÖNORM S 2123-1 (2003): Probenahmepläne für Abfälle – Teil 1: Beprobung von Haufen. Ausgabe 2003-11-01.
- prCEN/TR 15310-1 (E): Probenahme – Teil 1: Anleitungen zur Auswahl und Anwendung von Kriterien für die Probenahme unter verschiedenen Bedingungen. Oktober 2005.
- Richtlinie 1999/31/EG vom 19. Dezember 2002.

## 7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

(Alphabetisch geordnet)

- ADR ..... Abdampfrückstand.
- AMBA ..... Evaluierung des **Abfallannahmeverfahrens** für **mechanisch-biologisch behandelte Abfälle** zur Deponierung.
- AT<sub>4</sub> ..... Die Atmungsaktivität ist ein Parameter zur Beurteilung der biologischen Reaktivität bzw. des Rottegrades von Abfällen unter aeroben Bedingungen und stellt eine Maßzahl für die massebezogene Menge an Sauerstoff dar, die über eine bestimmte Zeitspanne (z. B. 4 Tage = AT<sub>4</sub>) durch mikrobielle Umsetzung verbraucht wird (Vornorm ÖNORM S 2027-1).
- AT<sub>7</sub> ..... Maßzahl für die massebezogene Menge an Sauerstoff, die über 7 Tage durch mikrobielle Umsetzung verbraucht wird (Vornorm ÖNORM S 2027-1).
- C/N-Verhältnis .. Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis.
- D<sub>05</sub> ..... nominelles Kleinstkorn. 5-Perzentil der Verteilungssummenfunktion (Partikel).
- D<sub>95</sub> ..... nominelles Größtkorn. 95-Perzentil der Verteilungssummenfunktion (Partikel).
- FM ..... Feuchtmasse.
- GB<sub>21</sub> ..... Die Bestimmung der Gasbildung im Gärtest über 21 Tage (Test im Flüssigmilieu mit Zusatz von Impfschlamm) ist ein Verfahren zur Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen und stellt eine Maßzahl für die massebezogene Menge an Gas dar, das über eine bestimmte Zeitspanne im Inkubationstest (z. B. 21 Tage = GB<sub>21</sub>) durch mikrobielle Umsetzung gebildet wird (Vornorm ÖNORM S 2027-3).
- GS<sub>21</sub> ..... Die Bestimmung der Gasspendensumme im Inkubationstest über 21 Tage (Test im Feststoffmilieu ohne Impfen) ist ein Verfahren zur Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen und stellt eine Maßzahl für die massebezogene Menge an Gas dar, das über eine bestimmte Zeitspanne im Inkubationstest (z. B. 21 Tage = GS<sub>21</sub>) durch mikrobielle Umsetzung gebildet wird (Vornorm ÖNORM S 2027-2).
- GS<sub>90</sub> ..... Maßzahl für die massebezogene Menge an Gas, das über eine Zeitspanne von 90 Tagen im Inkubationstest durch mikrobielle Umsetzung gebildet wird (Vornorm ÖNORM S 2027-2).
- Ho ..... Oberer Heizwert. Quotient aus der Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung frei wird und der Masse der Probe unter der Annahme, dass die Temperatur des Brennstoffs vor der Verbrennung und seiner Verbrennungserzeugnisse 25 °C beträgt; das vor dem Verbrennen im Brennstoff vorhandene Wasser und das beim Verbrennen der wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffs gebildete Wasser liegen nach der Verbrennung im flüssigen Zustand vor; die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel liegen als Kohlenstoffoxid und Schwefeldioxid im gasförmigen Zustand vor und eine Oxidation des Stickstoffs hat nicht stattgefunden (DIN 51900-1, ÖNORM S 2118-1).
- Lag-Phase ..... Anlaufphase. Zeitintervall zwischen dem Start der Messung und dem Beginn der exponentiell steigenden mikrobiellen Aktivität (gemessen als Sauerstoffverbrauchsrate oder Gasbildungsrate) (Vornorm ÖNORM S 2027-1 bzw. Vornorm ÖNORM S 2027-2).





- LF..... elektrische Leitfähigkeit.
- Max..... Maximum. Größter Wert einer Stichprobe.
- MBA-Anlage..... Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage.
- MBA-Modell ..... Kurzbezeichnung für das Modell zur Durchführung der Probenahme und Berechnungen gemäß Neufassung der Deponieverordnung im Hinblick auf mechanisch-biologische Abfälle. Es werden die Vorgaben für die Anzahl der qualifizierten Stichproben je Tagesäquivalent gemäß ÖNORM S 2123-1 und die Vorgaben für die Mindestmengen je Stichprobe und qualifizierter Stichprobe gemäß ÖNORM S 2027 1–3 berücksichtigt.
- MED..... Median (früher: Zentralwert). Der Median einer Stichprobe ist bei einer ungeraden Anzahl von Einzelwerten der Wert in der Mitte der Rangfolge. Bei einer geraden Anzahl  $n$  von Einzelwerten eines messbaren Merkmals wird der Median durch das arithmetische Mittel der beiden Werte in der Mitte der Rangfolge definiert. Im Gegensatz zum arithmetischen Mittelwert hängt der Median von den Extremwerten der Stichprobe nicht ab (DIN 53804-1).
- Min..... Minimum. Kleinster Wert einer Stichprobe.
- MW..... Arithmetischer Mittelwert. Summe der Einzelwerte der Stichprobe geteilt durch ihre Anzahl  $n$  (DIN 53804-1). Bei Vorliegen einer Abweichung von einer symmetrischen Verteilung (wie z. B. Normalverteilung) durch das Vorliegen von vereinzelt hohen Werten der Stichprobe unterscheiden sich Mittelwert und Median voneinander – im Falle des Vorliegens einer Normalverteilung sind Mittelwert und Median vergleichbar.
- MP..... Mischprobe
- $n$ ..... Anzahl der unabhängigen Datensätze.
- OP..... Originalprobe.
- $q(x)$ ..... Verteilungsdichte als Anteil von 100 [m/m].
- $Q(x)$ ..... Verteilungssumme als Anteil von 100 [m/m].
- QSTP..... Qualifizierte Stichprobe gemäß ÖNORM S 2123.
- RSD..... relative Standardabweichung (auch Variationskoeffizient). Die relative Standardabweichung ist der Quotient aus der Standardabweichung und dem Mittelwert, multipliziert mit 100.
- $s$ ..... Standardabweichung. Die Standardabweichung ist die positive Wurzel aus der Varianz. Sie ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Die Standardabweichung hat die Maßeinheit der Einzelwerte (DIN 53804-1).
- SAM..... Sammelprobe gemäß ÖNORM S 2123 (entspricht dem englischen Begriff „composite sample“).
- SIWA..... Sickerwasser.
- SM 2000..... Schneidmühle (Langsamläufer) mit 750 Umdrehungen pro Minute (UPM).
- Stabw..... Standardabweichung. Die Standardabweichung ist die positive Wurzel aus der Varianz. Sie ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Die Standardabweichung hat die Maßeinheit der Einzelwerte (DIN 53804-1).
- Stat-Modell..... Kurzbezeichnung für das Modell zur Durchführung der Probenahme und Berechnungen gemäß TR 15310-1 und ÖNORM EN 14899.
- STP..... Stichprobe (entspricht dem englischen Begriff increment).



- TÄQ ..... Begriff gemäß Neufassung zur Deponieverordnung: Beurteilungsmaßstab als Masse von Tagesäquivalenten. Das Tagesäquivalent (Menge) wird berechnet, indem die innerhalb eines Jahres erzeugte Masse des mechanisch-biologisch behandelten Abfalls (Jahresproduktion) durch 260 dividiert wird und auf eine ganze Zahl gerundet wird.
- TM ..... Trockenmasse. Trockenrückstand eines Materials, der nach Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtssubstanz verbleibt. Angabe in % Feuchtmasse.
- TMP ..... Tagesmischprobe.
- TMP MBA ..... Tagesmischprobe gemäß den Vorgaben des MBA-Modells. Sammelprobe, die aus qualifizierten Stichproben hergestellt wird und als abfallcharakterisierende Probe für das Tagesäquivalent dient.
- TMP Stat ..... Tagesmischprobe gemäß den Vorgaben des Stat-Modells. Sammelprobe (englisch: composite sample), die aus Stichproben (englisch: increments) hergestellt wird und als abfallcharakterisierende Probe für das Wochenäquivalent dient.
- TOC ..... Total Organic Carbon. Gesamter organischer Kohlenstoff. Maß für den Gehalt des Materials an organischer Substanz. Keine Aussage über die Abbaubarkeit.
- TOC im Eluat .... TOC im Eluat bezieht sich auf den Gesamtgehalt an organischen Kohlenstoff im Eluat nach Zentrifugation (Feststoff-Flüssigkeitstrennschritt).
- TS ..... Trockensubstanz. Trockenrückstand eines Materials, der nach Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtssubstanz verbleibt. Angabe in % Feuchtmasse. Heutzutage wird der Begriff oft durch die Trockenmasse (Abkürzung TM) ersetzt.
- VB95 ..... Vertrauensbereich mit 95 % Aussagesicherheit (Konfidenzintervall) (zweiseitig) für den Erwartungswert. Der Vertrauensbereich wird (hier) aus Mittelwert und Standardabweichung einer Stichprobe (Umfang n) berechnet.
- W ..... Messwert (Einzelmesswert, n = 1).
- WFR ..... Wiederfindungsrate.
- WÄQ ..... Begriff gemäß Neufassung der Deponieverordnung: Beurteilungsmaßstab als Masse von Wochenäquivalenten. Das Wochenäquivalent (Menge) wird berechnet, indem die auf eine ganze Zahl gerundete Masse des Tagesäquivalentes mit fünf multipliziert wird.
- WG ..... Wassergehalt. Wasser eines Materials, das nach Trocknung bei 105 °C bis zur Gewichtssubstanz entfernt wird. Angabe in % Feuchtmasse.
- WMP MBA ..... Wochenmischprobe gemäß den Vorgaben des MBA-Modells. Sammelprobe, die aus Tagesmischproben hergestellt wird und als abfallcharakterisierende Probe für das Wochenäquivalent dient.
- WMP Stat ..... Wochenmischprobe gemäß den Vorgaben des Stat-Modells. Sammelprobe (englisch: composite sample), die aus Stichproben (englisch: increments) hergestellt wird und als abfallcharakterisierende Probe für das Wochenäquivalent dient.
- WMP ..... Wochenmischprobe.

## 8 ANHANG

### 8.1 Datentabellen

Nachfolgend werden sämtliche Analysenergebnisse in Form von Datentabellen dargestellt (auf 2 bis 3 signifikante Stellen gerundet). Die Angabe „% lutro“ bezieht sich auf die luftgetrocknete Fraktion.

Tabelle 121: Datentabelle zu TM, WG und Inertanteil.

Labornummer	Parameter	TM lutro	TM 105°C	WG 105°C	Inertstoffe	TM 105°C
	Einheit	% FM	% FM	% FM	%	%
	Bezeichnung					
S 0510 3620	TMP Stat 1	88	83	17	16	95
S 0510 3621	TMP Stat 2	87	82	18	17	95
S 0510 3622	TMP Stat 3	89	83	17	19	96
S 0510 3623 I	TMP Stat 4 I	91	87	13	22	95
S 0510 3623 II	TMP Stat 4 II	–	–	–	–	–
S 0510 3624	TMP Stat 5	91	87	13	20	96
S 0510 3625	TMP Stat 6	89	82	18	25	89
S 0510 3626	TMP Stat 7	88	82	18	19	95
S 0510 3627	TMP Stat 8	88	82	18	20	96
S 0510 3628	TMP Stat 9	88	83	17	19	95
S 0510 3629 A I	TMP MBA 1 I	91	83	17	21	95
S 0510 3629 A II	TMP MBA 1 II	–	–	–	21	–
S 0510 3630 A I	TMP MBA 2 I	90	84	16	20	95
S 0510 3630 A II	TMP MBA 2 II	–	–	–	20	–
S 0510 3631 A I	TMP MBA 3 I	91	84	16	22	95
S 0510 3631 A II	TMP MBA 3 II	–	–	–	22	–
S 0510 3632 A I	TMP MBA 4 I	93	89	11	25	95
S 0510 3632 A II	TMP MBA 4 II	–	–	–	25	–
S 0510 3633 A I	TMP MBA 5 I	92	88	12	25	95
S 0510 3633 A II	TMP MBA 5 II	–	–	–	25	–
S 0510 3634 A I	TMP MBA 6 I	90	86	14	20	95
S 0510 3634 A II	TMP MBA 6 II	–	–	–	20	–
S 0510 3635 A I	TMP MBA 7 I	91	83	17	23	95
S 0510 3635 A II	TMP MBA 7 II	–	–	–	23	–
S 0510 3636 A I	TMP MBA 8 I	89	86	14	19	95
S 0510 3636 A II	TMP MBA 8 II	–	–	–	19	–
S 0510 3637 A I	TMP MBA 9 I	90	85	15	25	95
S 0510 3637 A II	TMP MBA 9 II	–	–	–	25	–
S 0510 3638 A	WMP Stat 1 A	90	84	16	17	96
S 0510 3638 B	WMP Stat 1 B	90	82	18	24	95
S 0510 3639 A	WMP Stat 2 A	91	85	15	19	96
S 0510 3639 B	WMP Stat 2 B	90	85	15	20	96
S 0510 3640 A	WMP Stat 3 A	88	83	17	22	95
S 0510 3640 B	WMP Stat 3 B	91	83	17	24	97
S 0510 3641 A I	WMP MBA 1 A I	96	85	15	21	93
S 0510 3641 A II	WMP MBA 1 A II	–	–	–	21	–
S 0510 3641 B I	WMP MBA 1 B I	96	83	17	22	91
S 0510 3641 B II	WMP MBA 1 B II	–	–	–	22	–
S 0510 3642 A I	WMP MBA 2 A I	97	85	15	23	95
S 0510 3642 A II	WMP MBA 2 A II	–	–	–	23	–
S 0510 3642 B I	WMP MBA 2 B I	96	87	13	21	95
S 0510 3642 B II	WMP MBA 2 B II	–	–	–	21	–
S 0510 3643 A I	WMP MBA 3 A I	95	84	16	22	91
S 0510 3643 A II	WMP MBA 3 A II	–	–	–	22	–
S 0510 3643 B I	WMP MBA 3 B I	96	86	14	23	92
S 0510 3643 B II	WMP MBA 3 B II	–	–	–	23	–
S 0510 3644 A	QSTP 1-2	90	86	14	20	96
S 0510 3645 A	QSTP 1-4	90	86	14	21	95
S 0510 3646 A	QSTP 1-6	89	84	16	20	95
S 0510 3647 A	QSTP 2-2	96	83	17	18	95
S 0510 3648 A	QSTP 2-3	97	82	18	20	92
S 0510 3649 A	QSTP 2-4	95	81	19	20	93



Tabelle 122: Datentabelle zu Stabilitätsparametern und Brennwert.

Labornummer	Parameter	AT <sub>4</sub>	GS <sub>21</sub>	Brennwert Ho	Brennwert Ho
	Einheit	mg O <sub>2</sub> /g TM	NI/kg TM	kJ/kg TM	kJ/kg TM Inertkorr.
	Bezeichnung				
S 0510 3620	TMP Stat 1	–	–	6.580	5.500
S 0510 3621	TMP Stat 2	–	–	6.790	5.630
S 0510 3622	TMP Stat 3	–	–	6.490	5.250
S 0510 3623 I	TMP Stat 4 I	–	–	7.500	5.860
S 0510 3623 II	TMP Stat 4 II	–	–	–	–
S 0510 3624	TMP Stat 5	–	–	7.570	6.030
S 0510 3625	TMP Stat 6	–	–	7.940	5.990
S 0510 3626	TMP Stat 7	–	–	7.940	6.410
S 0510 3627	TMP Stat 8	–	–	6.880	5.530
S 0510 3628	TMP Stat 9	–	–	7.390	6.010
S 0510 3629 A I	TMP MBA 1 I	8,3	11	7.570	5.980
S 0510 3629 A II	TMP MBA 1 II	7,8	12	7.150	5.650
S 0510 3630 A I	TMP MBA 2 I	7,7	1	7.040	5.600
S 0510 3630 A II	TMP MBA 2 II	7,1	15,2	6.790	5.430
S 0510 3631 A I	TMP MBA 3 I	7,2	20	6.850	5.310
S 0510 3631 A II	TMP MBA 3 II	7,5	19	6.700	5.230
S 0510 3632 A I	TMP MBA 4 I	9,0	19	8.040	6.010
S 0510 3632 A II	TMP MBA 4 II	12	19	7.290	5.470
S 0510 3633 A I	TMP MBA 5 I	11	19	8.280	6.220
S 0510 3633 A II	TMP MBA 5 II	12	22	8.350	6.260
S 0510 3634 A I	TMP MBA 6 I	7,2	12	7.560	6.040
S 0510 3634 A II	TMP MBA 6 II	6,8	12	7.440	5.950
S 0510 3635 A I	TMP MBA 7 I	12	18	7.900	6.110
S 0510 3635 A II	TMP MBA 7 II	11	20	7.970	6.140
S 0510 3636 A I	TMP MBA 8 I	9,8	18	7.310	5.890
S 0510 3636 A II	TMP MBA 8 II	8,4	21	6.870	5.560
S 0510 3637 A I	TMP MBA 9 I	9,4	19	7.430	5.580
S 0510 3637 A II	TMP MBA 9 II	9,2	17	7.290	5.470
S 0510 3638 A	WMP Stat 1 A	–	–	7.370	6.150
S 0510 3638 B	WMP Stat 1 B	–	–	7.610	5.810
S 0510 3639 A	WMP Stat 2 A	–	–	7.430	6.000
S 0510 3639 B	WMP Stat 2 B	–	–	7.460	6.000
S 0510 3640 A	WMP Stat 3 A	–	–	7.390	5.790
S 0510 3640 B	WMP Stat 3 B	–	–	7.010	5.330
S 0510 3641 A I	WMP MBA 1 A I	7,7	14	7.290	5.730
S 0510 3641 A II	WMP MBA 1 A II	7,8	14	7.460	5.890
S 0510 3641 B I	WMP MBA 1 B I	–	–	7.920	6.160
S 0510 3641 B II	WMP MBA 1 B II	–	–	7.790	6.080
S 0510 3642 A I	WMP MBA 2 A I	7,5	19	7.320	5.630
S 0510 3642 A II	WMP MBA 2 A II	7,6	21	7.290	5.610
S 0510 3642 B I	WMP MBA 2 B I	–	–	7.520	5.950
S 0510 3642 B II	WMP MBA 2 B II	–	–	7.190	5.680
S 0510 3643 A I	WMP MBA 3 A I	10	19	7.110	5.570
S 0510 3643 A II	WMP MBA 3 A II	10	18	7.010	5.470
S 0510 3643 B I	WMP MBA 3 B I	–	–	7.270	5.580
S 0510 3643 B II	WMP MBA 3 B II	–	–	7.070	5.440
S 0510 3644 A	QSTP 1-2	–	–	7.700	6.160
S 0510 3645 A	QSTP 1-4	–	–	6.990	5.520
S 0510 3646 A	QSTP 1-6	–	–	6.540	5.250
S 0510 3647 A	QSTP 2-2	–	–	7.590	6.200
S 0510 3648 A	QSTP 2-3	–	–	6.380	5.110
S 0510 3649 A	QSTP 2-4	–	–	6.790	5.460

Tabelle 123: Datentabelle zu Gesamtgehalten im Feststoff (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni).

Labornummer	Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel
	Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
	Bezeichnung					
S 0510 3620	TMP Stat 1	590	1,8	700	900	220
S 0510 3621	TMP Stat 2	520	1,2	680	560	380
S 0510 3622	TMP Stat 3	1.500	1,6	430	600	150
S 0510 3623 I	TMP Stat 4 I	330	2,1	680	640	190
S 0510 3623 II	TMP Stat 4 II	310	1,5	700	630	210
S 0510 3624	TMP Stat 5	1.100	1,7	420	1.000	220
S 0510 3625	TMP Stat 6	540	1,3	1.300	540	360
S 0510 3626	TMP Stat 7	560	2,5	440	480	170
S 0510 3627	TMP Stat 8	540	2,2	370	600	160
S 0510 3628	TMP Stat 9	590	2,2	630	1.200	360
S 0510 3629 A I	TMP MBA 1 I	1.700	1,6	1.200	650	510
S 0510 3629 A II	TMP MBA 1 II	2.000	1,7	560	730	190
S 0510 3630 A I	TMP MBA 2 I	3.500	1,1	630	550	670
S 0510 3630 A II	TMP MBA 2 II	2.700	1	540	850	600
S 0510 3631 A I	TMP MBA 3 I	470	0,97	440	630	130
S 0510 3631 A II	TMP MBA 3 II	420	1,1	390	330	120
S 0510 3632 A I	TMP MBA 4 I	600	1,7	650	400	250
S 0510 3632 A II	TMP MBA 4 II	-	-	-	-	-
S 0510 3633 A I	TMP MBA 5 I	630	1,3	510	480	220
S 0510 3633 A II	TMP MBA 5 II	-	-	-	-	-
S 0510 3634 A I	TMP MBA 6 I	930	1,8	1.500	720	520
S 0510 3634 A II	TMP MBA 6 II	-	-	-	-	-
S 0510 3635 A I	TMP MBA 7 I	850	1,6	620	370	280
S 0510 3635 A II	TMP MBA 7 II	-	-	-	-	-
S 0510 3636 A I	TMP MBA 8 I	3.200	1,4	450	490	200
S 0510 3636 A II	TMP MBA 8 II	-	-	-	-	-
S 0510 3637 A I	TMP MBA 9 I	660	2,1	580	1.400	320
S 0510 3637 A II	TMP MBA 9 II	-	-	-	-	-
S 0510 3638 A	WMP Stat 1 A	1.600	1,0	570	950	230
S 0510 3638 B	WMP Stat 1 B	560	3,2	810	470	290
S 0510 3639 A	WMP Stat 2 A	610	4,0	990	420	360
S 0510 3639 B	WMP Stat 2 B	500	1,5	1.000	430	370
S 0510 3640 A	WMP Stat 3 A	1.100	1,3	480	410	210
S 0510 3640 B	WMP Stat 3 B	660	1,5	460	420	230
S 0510 3641 A I	WMP MBA 1 A I	830	1,1	460	590	150
S 0510 3641 A II	WMP MBA 1 A II	680	1,3	490	490	150
S 0510 3641 B I	WMP MBA 1 B I	1.100	1,5	660	470	250
S 0510 3641 B II	WMP MBA 1 B II	-	-	-	-	-
S 0510 3642 A I	WMP MBA 2 A I	730	2,9	850	370	300
S 0510 3642 A II	WMP MBA 2 A II	570	1,8	950	1.200	310
S 0510 3642 B I	WMP MBA 2 B I	680	2,4	880	1.400	290
S 0510 3642 B II	WMP MBA 2 B II	-	-	-	-	-
S 0510 3643 A I	WMP MBA 3 A I	860	1,6	420	3.800	190
S 0510 3643 A II	WMP MBA 3 A II	880	1,4	480	360	220
S 0510 3643 B I	WMP MBA 3 B I	920	1,8	480	370	220
S 0510 3643 B II	WMP MBA 3 B II	-	-	-	-	-
S 0510 3644 A	QSTP 1-2	1400	2,2	1.100	570	260
S 0510 3645 A	QSTP 1-4	460	16	480	500	160
S 0510 3646 A	QSTP 1-6	470	2,1	490	580	160
S 0510 3647 A	QSTP 2-2	470	1,1	580	540	230
S 0510 3648 A	QSTP 2-3	570	4,8	830	650	390
S 0510 3649 A	QSTP 2-4	370	1,6	600	580	210



Tabelle 124: Datentabelle zu Gesamtgehalten im Feststoff (Ag, Zn, As, Hg).

Labornummer	Parameter	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
	Einheit	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
	Bezeichnung				
S 0510 3620	TMP Stat 1	8,1	1.500	7,2	1,1
S 0510 3621	TMP Stat 2	5,2	1.000	7,5	0,93
S 0510 3622	TMP Stat 3	7,0	1.200	7,0	9,7
S 0510 3623 I	TMP Stat 4 I	2,3	900	16	1,0
S 0510 3623 II	TMP Stat 4 II	2,0	800	16	0,87
S 0510 3624	TMP Stat 5	2,5	5.800	8,3	0,88
S 0510 3625	TMP Stat 6	5,2	1.100	6,5	0,81
S 0510 3626	TMP Stat 7	2,8	720	5,3	1,6
S 0510 3627	TMP Stat 8	3,3	1.100	5,5	2,1
S 0510 3628	TMP Stat 9	3,3	1.300	5,5	1,5
S 0510 3629 A I	TMP MBA 1 I	17	1.200	7,3	1,1
S 0510 3629 A II	TMP MBA 1 II	24	1.400	7,9	1,3
S 0510 3630 A I	TMP MBA 2 I	3,9	1.000	9,9	0,94
S 0510 3630 A II	TMP MBA 2 II	3,8	1.100	9,5	0,93
S 0510 3631 A I	TMP MBA 3 I	5,9	1.200	6,7	1,1
S 0510 3631 A II	TMP MBA 3 II	3,1	1.500	7,2	1,2
S 0510 3632 A I	TMP MBA 4 I	21	700	15	1,1
S 0510 3632 A II	TMP MBA 4 II	-	-	-	-
S 0510 3633 A I	TMP MBA 5 I	1,6	780	9,6	0,74
S 0510 3633 A II	TMP MBA 5 II	-	-	-	-
S 0510 3634 A I	TMP MBA 6 I	3,6	1.000	6,4	0,73
S 0510 3634 A II	TMP MBA 6 II	-	-	-	-
S 0510 3635 A I	TMP MBA 7 I	3,5	750	5,3	2,8
S 0510 3635 A II	TMP MBA 7 II	-	-	-	-
S 0510 3636 A I	TMP MBA 8 I	2,9	900	5,4	1,3
S 0510 3636 A II	TMP MBA 8 II	-	-	-	-
S 0510 3637 A I	TMP MBA 9 I	3,8	830	5,9	1,7
S 0510 3637 A II	TMP MBA 9 II	-	-	-	-
S 0510 3638 A	WMP Stat 1 A	4,5	900	6,8	2,4
S 0510 3638 B	WMP Stat 1 B	16	1.300	7,3	2,9
S 0510 3639 A	WMP Stat 2 A	1,7	1.200	8,6	0,65
S 0510 3639 B	WMP Stat 2 B	1,5	930	9,5	0,73
S 0510 3640 A	WMP Stat 3 A	3,8	790	4,8	1,5
S 0510 3640 B	WMP Stat 3 B	4,9	1.900	5,9	2,5
S 0510 3641 A I	WMP MBA 1 A I	5,4	1.100	7,9	0,96
S 0510 3641 A II	WMP MBA 1 A II	4,6	1.100	7,5	0,98
S 0510 3641 B I	WMP MBA 1 B I	4,7	1.400	9,6	1,0
S 0510 3641 B II	WMP MBA 1 B II	-	-	-	-
S 0510 3642 A I	WMP MBA 2 A I	3,9	810	11	0,78
S 0510 3642 A II	WMP MBA 2 A II	7,6	1.200	11	0,77
S 0510 3642 B I	WMP MBA 2 B I	2,0	980	8,7	1,2
S 0510 3642 B II	WMP MBA 2 B II	-	-	-	-
S 0510 3643 A I	WMP MBA 3 A I	3,0	890	5,6	1,4
S 0510 3643 A II	WMP MBA 3 A II	3,1	890	6,0	1,4
S 0510 3643 B I	WMP MBA 3 B I	4,2	880	5,8	1,7
S 0510 3643 B II	WMP MBA 3 B II	-	-	-	-
S 0510 3644 A	QSTP 1-2	6,0	1.100	7,2	0,96
S 0510 3645 A	QSTP 1-4	26	1.200	6,9	1,1
S 0510 3646 A	QSTP 1-6	5,2	1.100	6,7	1,1
S 0510 3647 A	QSTP 2-2	8,1	1.300	6,2	1,0
S 0510 3648 A	QSTP 2-3	5,4	1.400	5,3	1,0
S 0510 3649 A	QSTP 2-4	6,4	1.300	7,6	1,4

Tabelle 125: Datentabelle zu Eluatanalysen – TM 105 °C, pH-Wert, Leitfähigkeit und ADR.

Labornummer	Probenbezeichnung	Parameter->	TM 105 °C	pH	LF	ADR
		<10 mm	%			
S 0510 3632	TMP MBA 4		92	7,7	430	40.000
S 0510 3633	TMP MBA 5		90	7,5	530	52.000
S 0510 3634	TMP MBA 6		88	7,5	440	42.000
S 0510 3641A-I	TMP MBA 1A-I		86	7,5	510	50.000
S 0510 3641A-II	TMP MBA 1A-II		86	7,5	510	50.300
S 0510 3642A	TMP MBA 2A		85	7,5	530	51.000
S 0510 3643A	TMP MBA 3A		84	7,5	550	52.000

Tabelle 126: Datentabelle zu Eluatanalysen – TOC, Ammonium-Stickstoff, Sulfat und Chrom gesamt.

Labornummer	Probenbezeichnung	Parameter->	TOC	Ammonium-N	Sulfat	Chrom, gesamt
		mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	
S 0510 3632	TMP MBA 4		5.500	450	13.000	1,6
S 0510 3633	TMP MBA 5		5.800	620	17.000	2,5
S 0510 3634	TMP MBA 6		4.600	660	13.000	4,4
S 0510 3641A-I	TMP MBA 1A-I		6.100	900	18.000	2,7
S 0510 3641A-II	TMP MBA 1A-II		5.600	870	17.700	2,7
S 0510 3642A	TMP MBA 2A		4.200	670	17.000	3,0
S 0510 3643A	TMP MBA 3A		6.000	890	17.000	4,5

## 8.2 Analyseergebnisse und Wiederfindungsraten der Referenzmaterialien für die Bestimmung der Gesamtgehalte im Feststoff

Nachfolgend werden Analyseergebnisse und Wiederfindungsraten des Referenzmaterials „CRM 146R – Trace elements in Sewage sludge from industrial origin“ dargestellt (Angabe der Ergebnisse erfolgt gerundet auf 2 bis 3 signifikante Stellen).

Das Referenzmaterial wurde gemeinsam mit den aufbereiteten Proben MBA-Deponieoutput mit Königswasser gemäß ÖNORM EN 13657 – thermischer Aufschluss im Rückflusssystem – aufgeschlossen.

Die zertifizierten Gesamtgehalte werden in den betreffenden Zellen für den Sollwert durch Zusatz (z) ausgewiesen. Lediglich informative Vergleichswerte – Zusatz (i) – wurden aus den Angaben laut Referenzmaterial Report EUR 16892 EN und aus dem Final Report zum „Inter-Laboratory Test for Validation of CEN/TC 292/WG 3/Draft Standards (2000)“ entnommen

**Die berechnete Wiederfindungsrate, bezogen auf die zertifizierten Gehalte im Königswasser-Extrakt, lag im Bereich von 93–108 % bei einer relativen Standardabweichung von 1–5 % (angegeben als 1 s; n = 3).**

Tabelle 127: Wiederfindungsraten für Referenzmaterial CRM 146R „trace elements in sewage sludge from industrial origin“ nach Aufschluss mit Königswasser (zur Information Darstellung gerundet auf 2 bis 3 sign. Stellen).

	Parameter	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Silber	Zink	Arsen	Quecksilber
<b>Sollwert</b>										
<b>(Königswasser-Aufschluss)</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>583 (z)</b>	<b>18,5 (z)</b>	<b>174 (z)</b>	<b>831 (z)</b>	<b>65 (z)</b>	<b>199 (i)</b>	<b>3.043 (z)</b>	<b>6,3 (i)</b>	<b>8,39 (z)</b>
<b>Analysenwerte</b>	<b>Einheit</b>									
CRM 146R I	mg/kg TM	639	18,7	185	909	63	223	3.130	7,9	8,4
CRM 146R II	mg/kg TM	621	18,7	180	832	59	221	3.060	7,6	8,1
CRM 146R III	mg/kg TM	623	20,2	179	831	59	228	3.070	7,6	8,1
Mittelwert (n = 3)	mg/kg TM	628	19,2	181	857	60	224	3.090	7,7	8,2
Stabw.	mg/kg TM	10	0,9	3	45	2,1	4	39	0,2	0,2
RSD	%	2	5	2	5	4	2	1	2	2
Wiederfindungsrate	%	108	104	104	103	93	113	101	122	98

(z) Zertifizierter Referenzgehalt CRM 146R (Report EUR 16892 EN).

(i) Informative Vergleichswerte für CRM 146R (Quelle für Arsen: Report EUR 16892 EN table 10.1, page 56; Quelle für Silber: Final Report zum „InterLaboratory Test for Validation of CEN/TC 292/WG 3/Draft Standards“, table 2, page 49).







### 8.3 Histogramme der Tagesmischproben

Nachfolgend werden zur Veranschaulichung die Häufigkeitsverteilungen der Messwerte für die Gesamtgehalte dargestellt. Zur Erhöhung der Aussagekraft der Daten und auf Basis der erhaltenen Ergebnisse wurden in den Darstellungen sämtliche Tagesmischproben aus beiden Modellen (Stat und MBA) zusammengefasst.

Durch die nachfolgenden graphischen Darstellungen können „eher normalverteilte“ Daten im Vergleich zu „eher nicht normalverteilten“ Daten besonders leicht erkannt werden. Bei Vorliegen einer (angenäherten) Normalverteilung liegen die statistischen Kenngrößen wie Mittelwert und Median nahe beieinander.

Je mehr die vorliegende Datenverteilung von der (angenäherten) symmetrischen Normalverteilung abweicht, desto mehr weicht der berechnete Mittelwert vom Median ab. Die Population wird dann besser durch den nicht so stark von Ausreißern beeinflussten Median beschrieben bzw. müssten Ausreißertests durchgeführt werden, um einen möglichst aussagekräftigen Mittelwert für die vorliegende Verteilung zu erhalten. Generell ist zu beachten, dass die auffallenden Extremwerte einzelner Proben aufgrund von partikulären Verteilungen auftreten können – erst wenn mehrere unabhängige Aufschlüsse durchgeführt werden, kann man Trends erkennen, ob es sich nun um Ausreißer handelt (z. B. Beeinflussung beim Aufschlussschritt durch Vorliegen von Metallpartikeln, die zu einem höheren Metallgehalt in der Aufschlusslösung führen – bei deutlich höherer Probeneinwaage hätten Metallpartikel das Gesamtergebnis für den Aufschlussschritt weniger beeinflusst) oder ob weitere unabhängige Aufschlüsse die höheren Gehalte bestätigen.

Mittels Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest<sup>90</sup> (HARTUNG et al. 1989) wurde überprüft, ob die unbekannte Verteilungsfunktion der Daten eine Normalverteilung (mit nicht festgelegtem Mittelwert und Varianz) ist.

*Tabelle 128: Test auf Normalverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest.*

Parameter	Test auf Normalverteilung (NV)
Brennwert	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung muss nicht verworfen werden (NV)
Inertanteil	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung muss nicht verworfen werden (NV)
Blei	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen
Cadmium	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung muss nicht verworfen werden (NV)
Chrom	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen
Kupfer	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen
Nickel	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung muss nicht verworfen werden (NV)
Silber	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen

<sup>90</sup>Für kleine Stichprobenumfänge ist der Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest besser geeignet als der Chi-Quadrat-Test, da Letzterer nur approximativ arbeitet (nähere Informationen zur Testcharakteristik siehe HARTUNG et al. (1989), Seite 183ff).

Tabelle 129: Test auf Normalverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest.

Parameter	Test auf Normalverteilung
Zink	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen
Arsen	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen
Quecksilber	Hypothese auf Vorliegen einer Normalverteilung wird verworfen

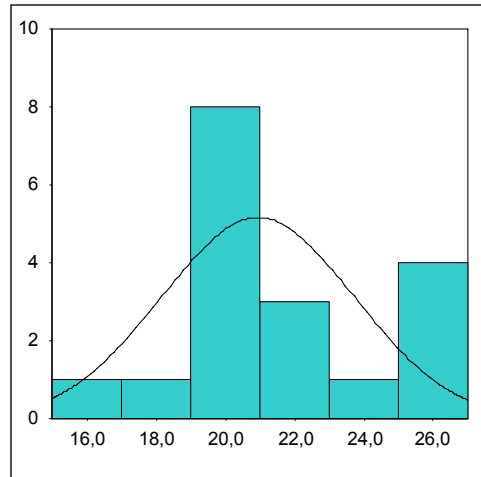


Abbildung 99: Histogramm für Inertanteil in % – Normalverteilung.

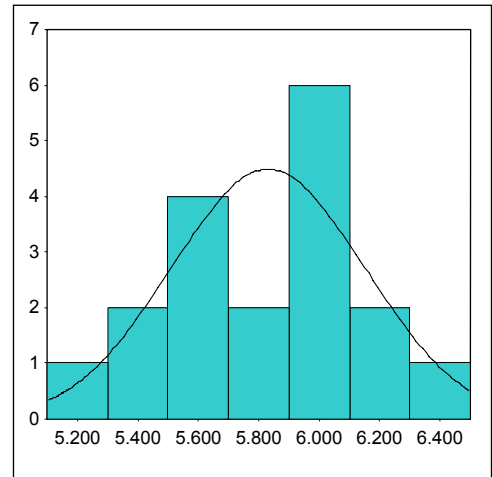


Abbildung 100: Histogramm für Brennwert (Ho) in kJ/kg TM – Normalverteilung.

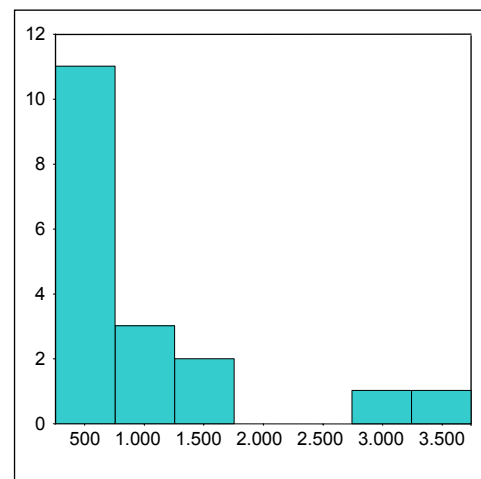


Abbildung 101: Histogramm für Blei in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

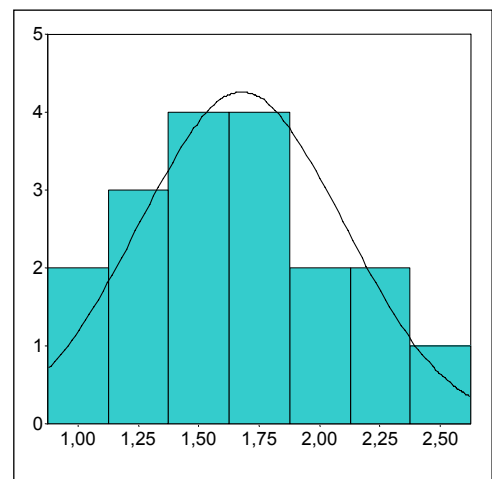


Abbildung 102: Histogramm für Cadmium in mg/kg TM – Normalverteilung.

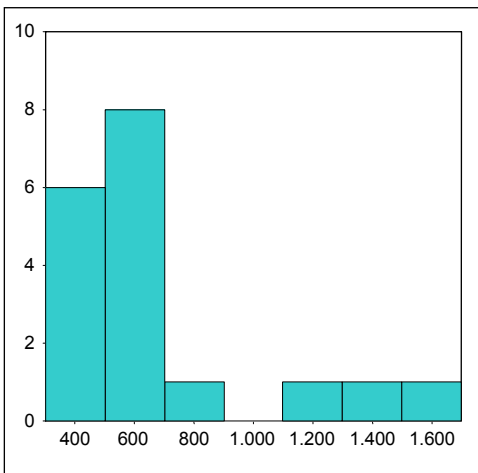


Abbildung 103: Histogramm für Chrom in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

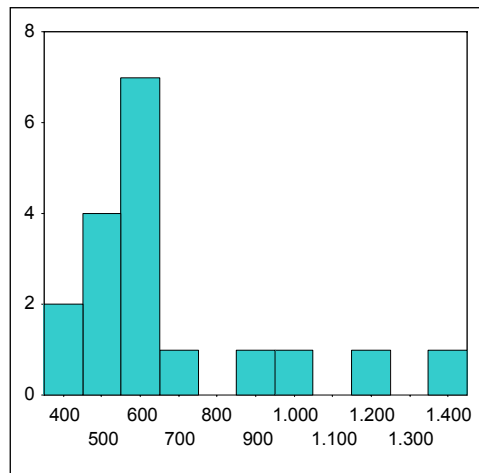


Abbildung 104: Histogramm für Kupfer in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

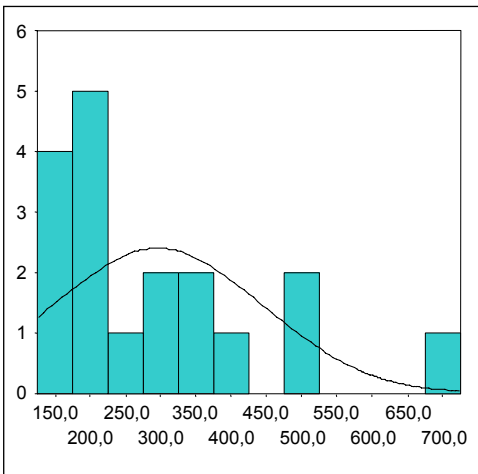


Abbildung 105: Histogramm für Nickel in mg/kg TM – Normalverteilung.

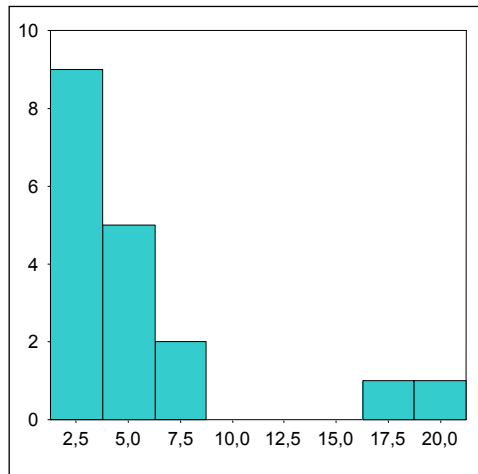


Abbildung 106: Histogramm für Silber in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

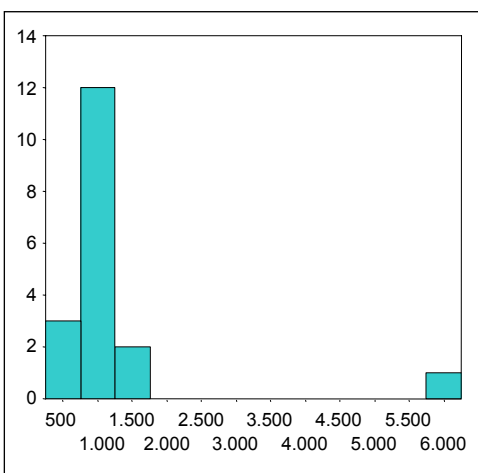


Abbildung 107: Histogramm für Zink in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

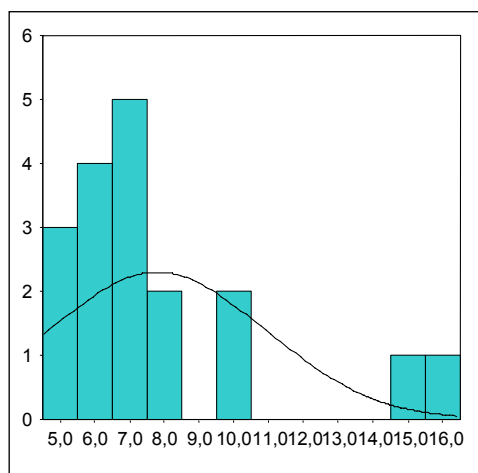


Abbildung 108: Histogramm für Arsen in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

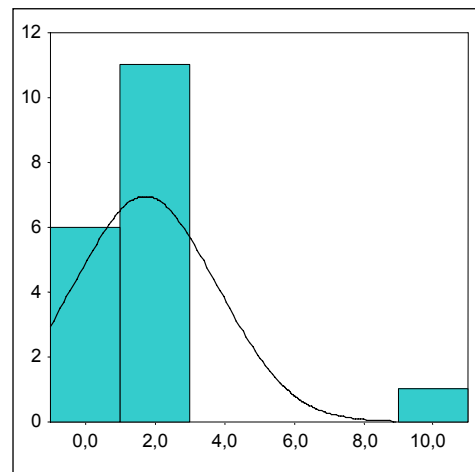


Abbildung 109: Histogramm für Quecksilber in mg/kg TM – keine Normalverteilung.

#### 8.4 Personalaufwand für die Probenahme vor Ort

Der Aufwand zur Abschätzung für die Probenahme und Probenvorbereitungsschritte gemäß MBA-Modell und Stat-Modell auf Basis der im Rahmen der Studie durchgeführten Arbeitsschritte vor Ort beläuft sich auf rd. zwei Personen zu je zwei Tagen.

Randbedingungen: Zur Umsetzung der technischen Ziele wurden insgesamt drei Wochenäquivalente zu je drei Tagesäquivalenten zu je sechs QSTP nach zwei Modellen (Stat-Modell und MBA-Modell) beprobt (162 Stichproben zu je 50 l gemäß MBA-Modell).

#### 8.5 Projektbeteiligte und Abgrenzung der Aufgaben

MBA-Anlagen Halbenrain, Aich Assach, Oberpullendorf, St. Pölten, Allerheiligen, Ort im Innkreis:

- Bereitstellung von vorhandenen Daten zu MBA-Deponieoutput (Gesamtbeurteilungen).

MBA-Anlage Halbenrain:

- Freundliche Unterstützung des Projektes und Bereitstellung des Löffelbaggers für die Probenahme.
- Bereitstellung von vorhandenen Daten zu MBA-Deponieoutput (Gesamtbeurteilungen und Eigenkontrollen).

Universität für Bodenkultur:

- Lokalausweis, Durchführung der Probenahme, Aufarbeitung und Analyse der Stabilitätsparameter  $AT_4$  und  $GS_{21}$ .
- Auswertung der Stabilitätsparameter.

Umweltbundesamt:

- Vorerhebungen, Planung und Konzeption der Studie.
- Lokalausweis, Durchführung der Probenahme, Aufarbeitung und Analyse der Proben für Brennwert, Inertanteil, Gesamtgehalte im Feststoff und Eluatanalysen.
- Statistische Gesamtbewertung, Evaluierung und Darstellung der Daten.