

# 04.15

24. Jahrgang  
August 2015  
ISSN 0942-3818  
20565

# altlasten spektrum

Herausgegeben vom  
Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement  
und Flächenrecycling e.V. (ITVA)

[www.ALTLASTENdigital.de](http://www.ALTLASTENdigital.de)



Organ des ITVA

## Inhalt

*H.-U. Bertram*  
Dunkle Wolken oder Silberstreif am Horizont?

*M. Koch*  
Probenahme nach LAGA PN 98: Langzeiterfahrungen mit der Repräsentativität der Proben und statistische Auswertung der Laborergebnisse

*K. Finsterwalder, D. Sager*  
Biologische in situ Sanierung von Deponien und Böden durch Belüftung

*J. Frauenstein*  
AquaConSoil 2015 in Kopenhagen – Forscher und Anwender im Dialog?

*K. Schelle*  
„Boden und Grundwasser – Berufsbilder der Zukunft“ – 3. ITVA-Nachwuchsveranstaltung an der RWTH-Aachen

# Probenahme nach LAGA PN 98: Langzeiterfahrungen mit der Repräsentativität der Proben und statistische Auswertung der Laborergebnisse

Michael Koch

## 1. Anlass und Zielsetzung

Im Rahmen eines geplanten vierspurigen Neubaus einer Bundesstraße in Bayern mussten im Bereich der neu zu bauenden Anschlussstelle mit einem Tunnelportal in offener Bauweise umfangreiche Altlasten rückgebaut werden. Bei den Altlasten handelt es sich einerseits um eine ehemalige Hausmülldeponie und andererseits um industriell und gewerblich genutzte Grundstücke. Die ehemalige Hausmülldeponie nahm eine Fläche von ca. 15.600 m<sup>2</sup> ein und enthielt ca. 90.000 m<sup>3</sup> alten Hausmülls, Industrie- und Gewerbemüll sowie ca. 40.000 m<sup>3</sup> Erdaushub und Bauschutt. Westlich der ehemaligen Hausmülldeponie befanden sich auf einer Fläche von ca. 38.500 m<sup>2</sup> Industrie- und Gewerbegebiete sowie unkontrolliert verfüllte ehemalige Gipsgruben. Die Menge schadstoffbelasteter Böden und Abfallstoffe wurde hier ebenfalls auf ca. 90.000 m<sup>3</sup> geschätzt. Unter anderem befand sich auch ein intensiv genutzter Schrottplatz auf einem Teilbereich des Geländes.

Bei den umfangreichen Rückbau- und Aushubmaßnahmen wurden insgesamt rund 380.000 t Erdreich und Abfall bewegt. Alle Aushubmassen wurden vor Ort zu Haufwerken von 300 m<sup>3</sup> bis 400 m<sup>3</sup> aufgehaldet bzw. zu kleineren, wenn die Separation dies bedingte. Alle Halden wurden nach den Vorgaben der LAGAPN98 [1] bzw. bei Reduzierung der Mindestzahl an Laborproben nach der Deponie-Info 3 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt [2], [3] beprobt. Letztendlich wurde ca. die Hälfte des ausgehobenen Materials off-site in Deponien und Gruben entsorgt, ein Teil davon beseitigt, die andere Hälfte wurde vor Ort im Rahmen des für verbindlich erklärten Sanierungsplanes nach § 13 BBodSchG wieder eingebaut.

Die Probenvorbereitung und die Analytik erfolgte gemäß Vorgaben und Parametern der Deponieverordnung [5] und bzgl. Verwertung von Bodenaushub und Bauschutt nach Bayerischem Eckpunktepapier [6]. Unterschiede in beiden Vorschriften treten dabei nach DepV bei der Vorbereitung der Laborproben (gesamte



Abbildung 1: Blick über den Schrottplatz



Abbildung 2: Ausbildung eines vorseparierten Haufwerkes

Fraktion, Fraktion  $\leq 2$  mm nach Eckpunktepapier bei Erdaushub, um vom Abfallrecht weg einen Bezug zur BBodSchV [4] zu erhalten; siehe auch Ausführungen zum „Tongrubenurteil“) und der zu analysierenden Parameter auf. Im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen wurden über 500 Haufwerke beprobt, analysiert und deklariert. Dabei sind bei vielen Haufwerken parallel Probenvorbereitungen und Analysen nach beiden Vorschriften durchgeführt worden. Des Weiteren wurde nach längeren parallelen Untersuchungsphasen und mit Probenmindestzahlen nach LAGAPN 98 durchgeführten Haufwerksuntersuchungen bei den meisten Haufwerken später unter Anwendung der Deponie-Info 3 die Mindestanzahl der Laborproben je Haufwerk reduziert.

Der folgende Beitrag stellt die Auswertung mehrerer hundert Laborproben auf die Haufwerke und auf die unterschiedlichen Analysevorschriften bezogen vergleichend dar. Er kann damit vielleicht u. a. Hinweise auf die Regelungen in der zukünftigen Ersatzbaustoffverordnung und anderer Regeln geben.

## 2. Charakteristik der zu entsorgenden Haufwerke

Bereits während der Aushubmaßnahmen wurden vom Aushub grobe Fremdstoffe wie Gummireifen, Autowrackteile, Fässer, Holz, soweit möglich Kunststoffolie usw. aussortiert. Ein Teil des Hausmüllaus-hubes wurde über eine Aufbereitungsanlage mit verschiedenen Anlagenteilen separiert und fraktioniert. Die danach entstandenen trapezförmigen Haufwerke konnten in weiten Bereichen als homogen eingestuft werden, da die gesamte Matrix eines Haufwerkes eine in sich homogene Masse darstellte, auch wenn

die Größe der Fraktionen relativ unterschiedlich sein konnte.

Die organoleptisch ohne Fremdstoffe angetroffenen Verfüllungen aus Erdaushub mit keinen oder geringen Anteilen an Bauschutt wurden direkt auf dem Zwischenlager aufgehaldet. Auch diese konnten als homogen betrachtet werden.

## 3. Beprobung der Haufwerke

Die Beprobung der Haufwerke erfolgte grundsätzlich nach LAGAPN 98. Das Haufwerk wurde vor Ort gemäß seiner Größe (meist  $300 \text{ m}^3$  bis  $400 \text{ m}^3$ ) wie in der LAGAPN 98 vorgegeben in Sektoren eingeteilt (siehe *Abbildung 3*), die der Mindestlaborprobenanzahl entsprach. Mit einem Bagger wurden Gräben in die einzelnen Sektoren eingebracht (siehe auch *Abbildung 2*) und diese dann mit Handschaufel mit mindestens vier Einstichen beprobt.

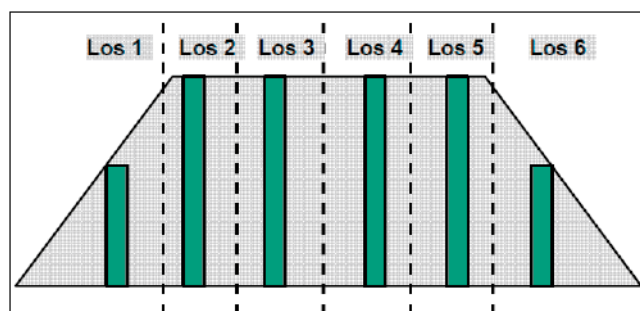


Abbildung 3: Anlage der Schürfschlitz bei trapezförmigen Haufwerken in einzelnen Sektoren (Quelle: [1])

Bei ca. 25 % der Haufwerke wurde die komplette Anzahl der Laborproben entnommen und analysiert, also 4 Laborproben bei Haufwerken bis 150 m<sup>3</sup> und bis zu 9 Laborproben bei Haufwerken bis 500 m<sup>3</sup>. Aufgrund der dabei gewonnenen Erkenntnisse bzgl. Homogenität und Varianz der Ergebnisse je Haufwerk, wurde später gemäß Deponie-Info 3 ([2] und [3]) die Anzahl der Laborproben reduziert. Die folgende Tabelle gibt die reduzierte Anzahl der Laborproben nach Deponie-Info 3 wieder:

Tabelle 1: Mindestens notwendige Laborprobenzahl bei homogenen Haufwerken (Quelle: in Anlehnung an [3])

Volumen der Grundmenge m <sup>3</sup>	Einzelproben (EP)	Anzahl Mischproben <sup>s</sup> (MP) und Laborproben (LP)	Anzahl Laborproben (LP) im begründeten Einzelfall (nach Nr. 3)
bis 30	8	2	2
bis 60	12	3	2
bis 100	16	4	2
bis 150	20	5	2
bis 200	24	6	2
bis 300	28	7	2
bis 400	32	8	2
bis 500	36	9	2
bis 600	40	10	3
bis 700	44	11	3

#### 4. Abfallanalytik

Zur Bildung der Haufwerke wurde bereits während des Aushubs der anfallende Erdaushub bzw. der zersetzte hausmüllähnliche Abfall nach organoleptischen Kriterien getrennt aufgehaldet. Zu Beginn der Maßnahme wurden Haufwerke bestehend aus Erdaushub mit z.T. geringen Beimischungen aus Bauschutt nur nach Eckpunktepapier [2] in der Fraktion ≤ 2 mm analysiert (sog. *Stufe-1-Analytik*). War eine Verwertung auf Grund der Analysenergebnisse in Gruben und Brüchen nicht möglich, wurde die Analyse nach DepV [5] nachgeschoben, um eine Deklaration nach DepV zu ermöglichen (sog. *Stufe-2-Analytik*). Aushub aus dem ehemaligen Hausmüllbereich wurde gleich nach DepV analysiert und deklariert.

Im Rahmen des engen zeitlichen Ablaufes der Sanierungsmaßnahme stellte sich heraus, dass die 2-stufige Analytik z.T. zu langen Lagerzeiten der Haufwerke und somit zu Behinderungen im Bauablauf führen könnte, so dass daraufhin die Erdaushubhaufwerke gleich der zweistufigen Analytik unterzogen wurden. Aus diesem Grund resultieren in den folgenden Auswertungen die z.T. unterschiedlichen ausgewerteten Probenanzahlen.

Da von vorneherein klar war, dass die TOC-Werte die Zuordnungswerte nach Tabelle 2 Anh. 3 DepV für die Deponieklassen (DK) II und III überschreiten

würden, wurde gleich die Atmungsaktivität (AT<sub>4</sub>) und der Brennwert (H<sub>0</sub>) analysiert, um nach Anh. 3 Abs. 2 Satz 9 der DepV mit Zustimmung der zuständigen Behörde Überschreitungen zuzulassen.

Im folgenden Kapitel 5 werden verschiedene statistische Auswertungen bezogen auf die Ergebnisse aus den beiden Stufen der Analytik dargestellt. Dabei sind folgende wesentliche Unterschiede in der Probenaufbereitung zu nennen:

- Stufe 1: Analyse der Fraktion ≤ 2 mm gem. [6]
- Stufe 2: Gesamtfraktion nach ggf. vorherigem Brechen und Mahlen gem. DepV. Anh. 4 Pkt. 3.3.1

Ausgewertet werden in diesem Beitrag lediglich die organischen Parameter TOC, MKW, PAK und PCB sowie beispielhaft auch andere organische Stoffe, da diese die häufigsten einstufigsrelevanten Parameter darstellten. Z.T. waren auch extrahierbare lipophile Stoffe, Sulfat (ehemalige Gipsgrube) und Schwermetalle einstufigsrelevant. Auf die Diskussion dieser und anderer Parameter wird hier verzichtet.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Varianz bei unterschiedlichen Korngrößenfraktionen

Begründet auf der Tatsache, dass vorgehensbedingt bei einer Vielzahl von Haufwerken die Laborproben in der Gesamtfraktion und gleichzeitig in der Feinfraktion ≤ 2 mm untersucht wurden, sollen im Folgenden die ausgewählten, meistens deklarationsrelevanten Parameter TOC, MKW, PAK und PCB beispielhaft statistisch ausgewertet werden.

Es wird für die verschiedenen Parameter jeweils der Vergleich der Ergebnisse in der Fraktion ≤ 2 mm (Stufe 1) und der Gesamtfraktion (Stufe 2) diskutiert.

#### 5.1.1 TOC: Anzahl der ausgewerteten Ergebnispaare: n = 231

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Ergebnisse der TOC-Analysen. Wie deutlich zu erkennen ist, werden in der Fraktion ≤ 2 mm die höheren Gehalte gemessen. In der nach DepV relevanten Gesamtfraktion liegen die häufigsten Analysen bei durchschnittlich 1 % TOC. In der folgenden Abbildung 5 sind die Proben nach steigenden Konzentrationen des TOC in der Analytik der Gesamtfraktion (Stufe 2, blaue Linie) aufgereiht. Die rote Linie stellt die jeweilige Konzentration des TOC in der gleichen Probe der Stufe-1-Analytik dar. Es wird deutlich, dass in fast allen Fällen die Konzentration in der Fraktion ≤ 2 mm höher als in der Gesamtfraktion analysiert wurde. Das arithmetische Mittel des TOC über alle Proben der Stufe 1 beträgt 3,7 %, aller Proben der Stufe 2 2,6 %. Der Median liegt in der Stufe 1-Analytik bei 2,8 %, in der Stufe 2 bei 1,8 %. Die Korrelation beider Stufen zeigt für den TOC sowohl nach Spearman wie auch nach Pearson eine Signifikanz von ≥ 99,9 % (siehe Abbildung 6).

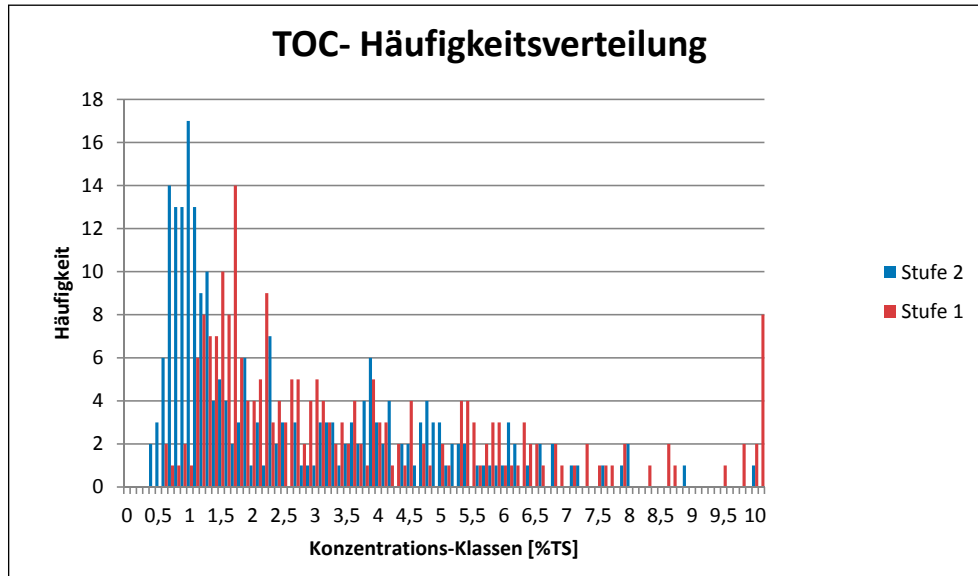


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der TOC-Analysenergebnisse

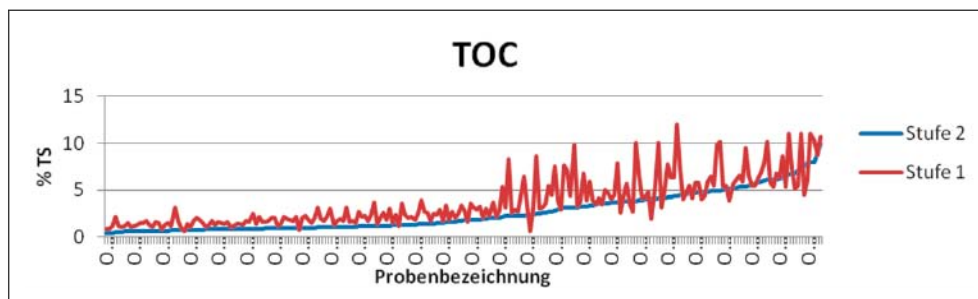


Abbildung 5: Vergleich Konzentration TOC Stufe 1 zu Stufe 2

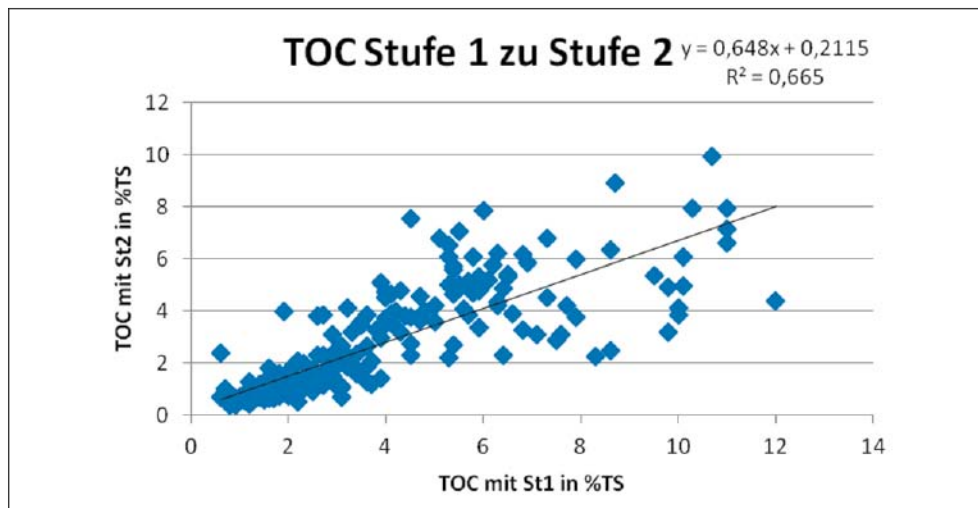


Abbildung 6: Korrelation der TOC-Ergebnisse aus Stufe 1 und Stufe 2

5.1.2 MKW: Anzahl der ausgewerteten Ergebnispaa-re:  
n = 210

Nicht ganz so deutlich ist die Verschiebung bei den Mineralölkohlenwasserstoffen (C<sub>10</sub> bis C<sub>40</sub>) in der Feinfraktion zu den höheren Konzentrationen (siehe Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 9).

Das arithmetische Mittel der MKW über alle Proben der Stufe 1 beträgt 460 mg/kg, aller Proben der Stufe 2 335 mg/kg. Der Median liegt in der Stufe 1-Analytik bei 250 mg/kg, in der Stufe 2 bei 180 mg/kg.

Die Korrelation beider Stufen zeigt für MKW sowohl nach Spearman wie auch nach Pearson eine Signifikanz von  $\geq 99,9\%$

5.1.3 PAK: Anzahl der ausgewerteten Ergebnispaa-re:  
n = 225

Der Vergleich der Konzentrationslinien zeigt bei den PAK (Summe der 16 EPA-PAK) in der Stufe 2-Analytik bei eher niedrigen Konzentrationen in der Tendenz deutlich höhere Messwerte in der Feinfraktion. Diese

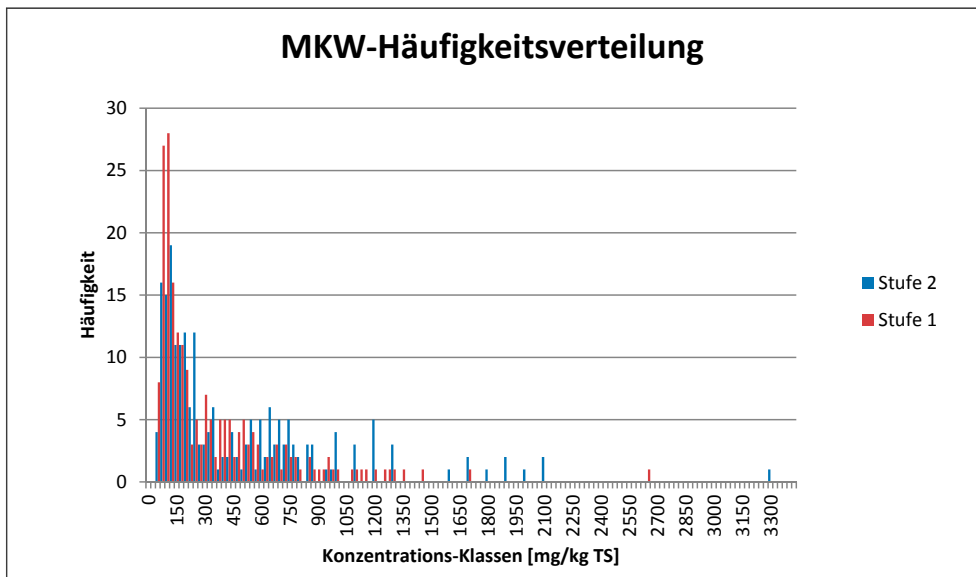


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der MKW-Analysenergebnisse

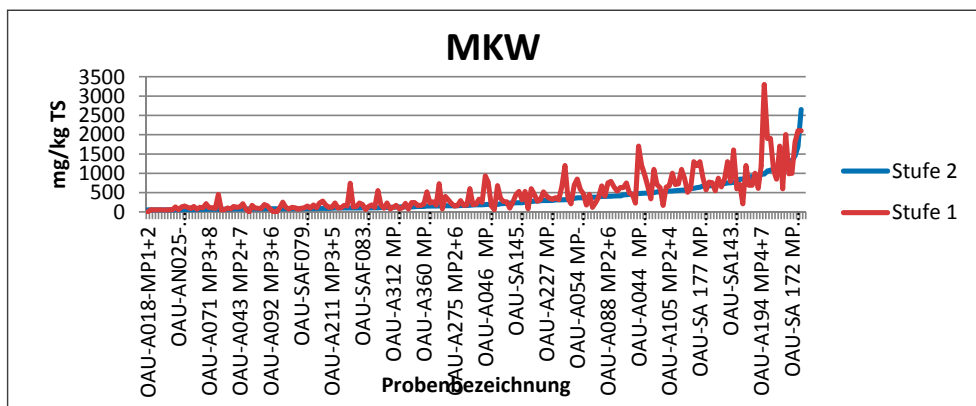


Abbildung 8: Vergleich Konzentration MKW Stufe 1 zu Stufe 2

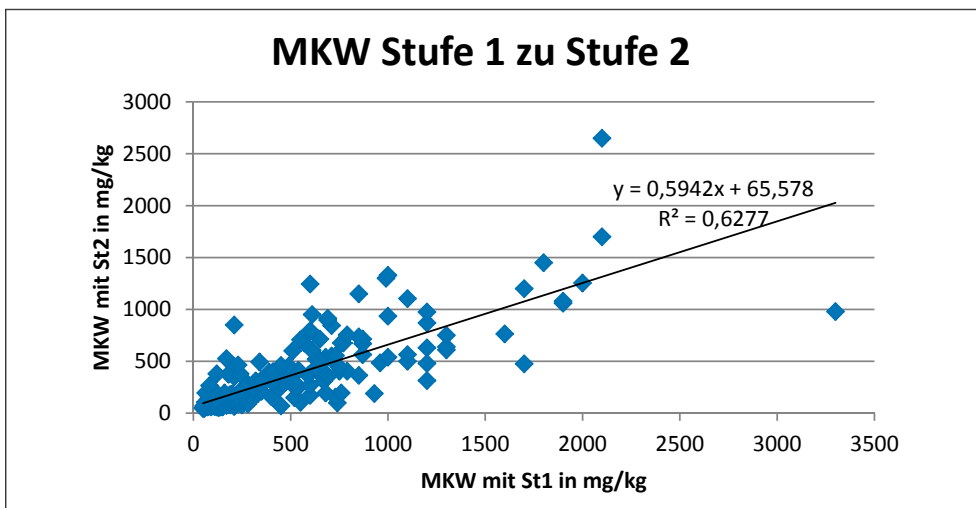


Abbildung 9: Korrelation der MKW-Ergebnisse aus Stufe 1 und Stufe 2

Tendenz verschwindet jedoch bei den höheren Konzentrationen ab ca. 20 mg/kg (siehe Abbildung 10). Dieses uneinheitliche Bild spiegelt sich auch in dem niedrigen Korrelationskoeffizienten von 0,23 im Vergleich der Stufe 1 zur Stufe 2-Analytik wider. Für die PAK ist ein Zusammenhang mit der analysierten Korngröße zumindest bei höheren Konzentrationen

nicht zu erkennen. Dies mag daran liegen, dass PAK-Belastungen auch in den größeren Bestandteilen des belasteten Bodenaushubs (z. B. Asphaltbröckchen, Schlacken, Aschen) vorliegen (Abbildung 11). Das arithmetische Mittel der PAK über alle Proben der Stufe 1 beträgt 16 mg/kg, aller Proben der Stufe 2

Probenahme nach LAGA PN 98: Langzeiterfahrungen und statistische Auswertung

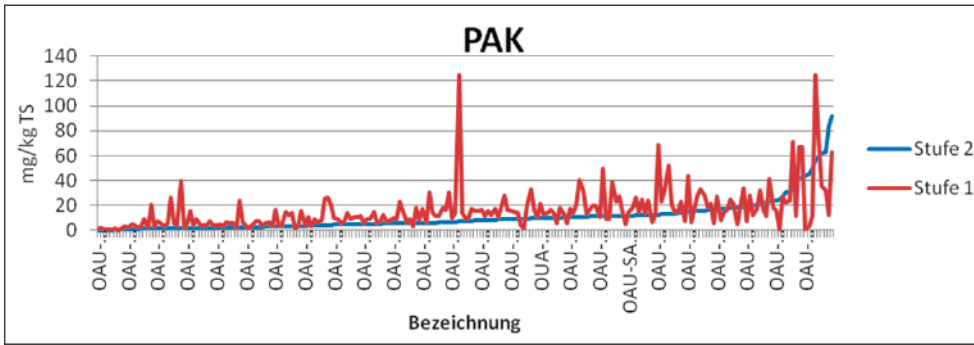


Abbildung 10: Vergleich Konzentration PAK Stufe 1 zu Stufe 2

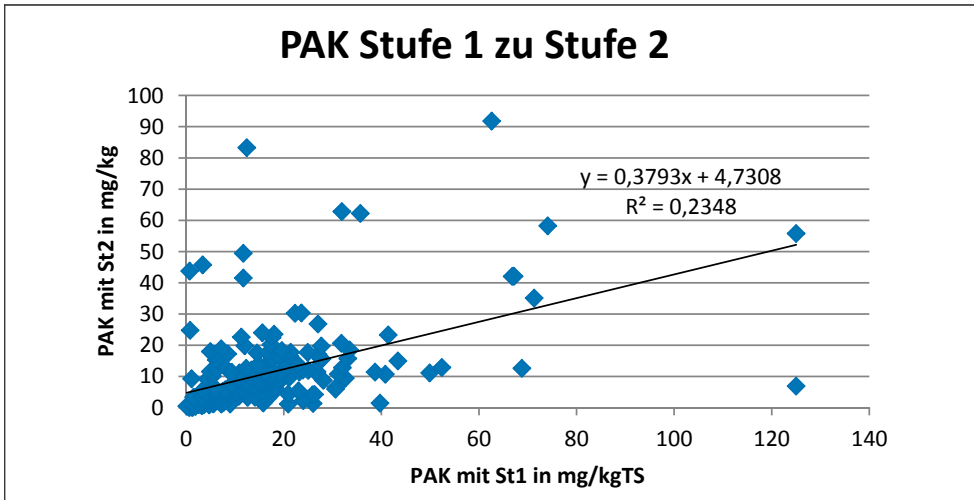


Abbildung 11: Korrelation der PAK-Ergebnisse aus Stufe 1 und Stufe 2

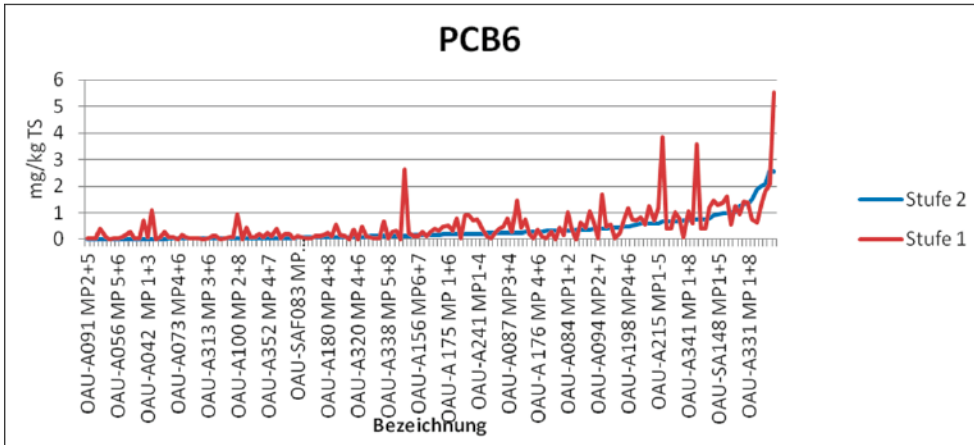


Abbildung 12: Vergleich Konzentration PCB Stufe 1 zu Stufe 2

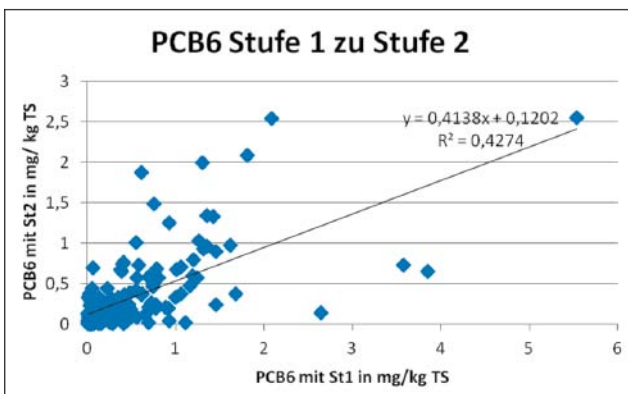


Abbildung 13: Korrelation der PCB-Ergebnisse aus Stufe 1 und Stufe 2

11 mg/kg. Der Median liegt in der Stufe 1-Analytik bei 12 mg/kg, in der Stufe 2 bei 7,5 mg/kg.

5.1.4 PCB: Anzahl der ausgewerteten Ergebnispaa-re:  
n = 160

Ähnlich wie bei den PAK verhält es sich auch bei den PCB. Auch hier sind in den niedrigen Konzentrationsbereichen die Analysenergebnisse in der Feinfraktion eher höher, in den höheren Konzentrationen eher gleich. Auch bei den PCB ist die Korrelation zwischen den Fraktionen nicht hoch.

Das arithmetische Mittel der PCB 6 über alle Proben der Stufe 1 beträgt 0,5 mg/kg, aller Proben der Stufe 2 0,3 mg/kg. Der Median liegt in der Stufe 1-Analytik bei

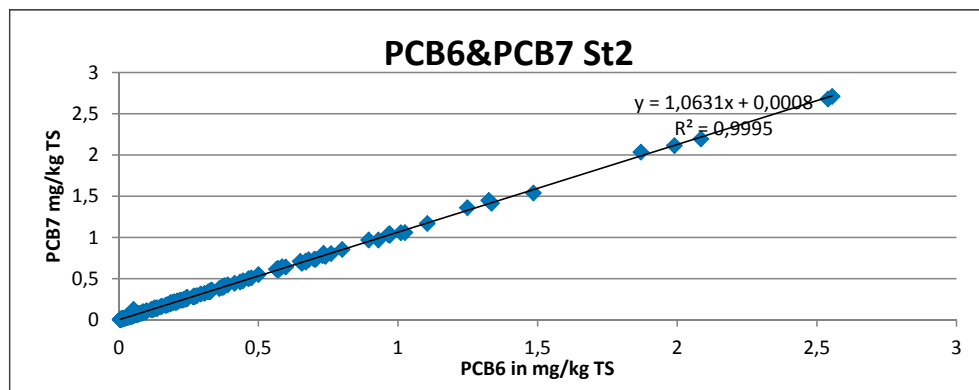


Abbildung 14: Korrelation zwischen PCB 6 und PCB 7

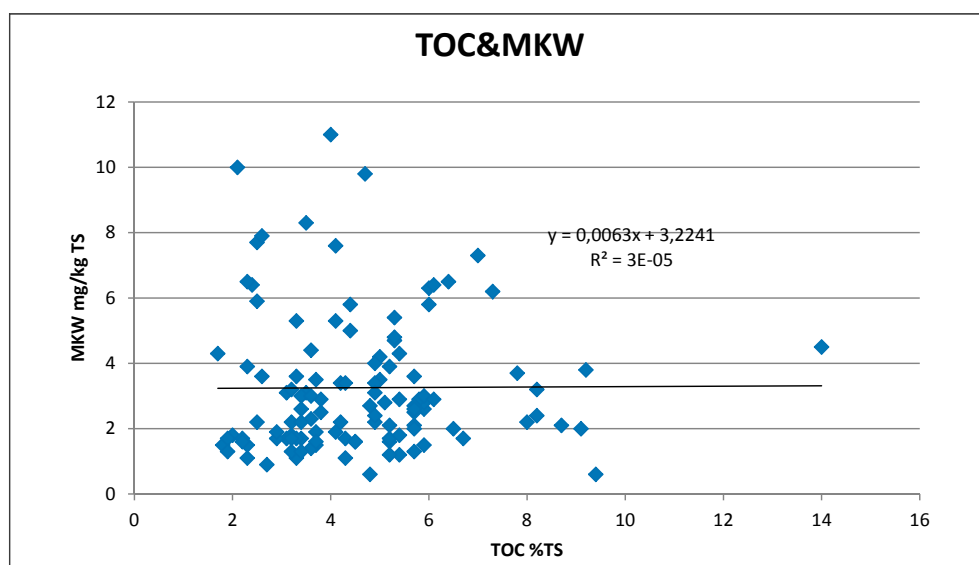


Abbildung 15: Korrelation zwischen TOC und MKW

0,3 mg/kg, in der Stufe 2 bei 0,2 mg/kg. Bei den PCB 7 beträgt der Mittelwert ebenfalls 0,5 mg/kg (Stufe 1) bzw. 0,3 mg/kg (Stufe 2), der Median liegt bei 0,3 mg/kg (Stufe 1) bzw. 0,2 mg/kg (Stufe 2).

Dargestellt sind die Ergebnisse für die PCB 6 nach Eckpunktepapier. Für die PCB 7 nach DepV stellt sich kein anderes Bild dar. Untereinander korrelieren die PCB 6 mit den PCB 7 (n=230) hochsignifikant (Steigung = 1). Dies sollte als Anlass angesehen werden, die unterschiedlichen Vorschriften in verschiedenen Regelwerken zu vereinheitlichen, ohne in Vollzugsdefizite zu geraten.

#### 5.1.5 Bilanz

Für die in diesem Beitrag betrachteten Schadstoffparameter ist festzuhalten, dass grundsätzlich in der Feinfraktion  $\leq 2$  mm im Schnitt höhere Gehalte analysiert werden, als in der Gesamtfraktion. Bei PCB und PAK unterscheiden sich jedoch beide Fraktionen bei höheren Konzentrationen nicht.

Unter verschiedenen Parametern waren mit Ausnahme der PCB 6 und PCB 7 (siehe *Abbildung 14*) keine signifikanten Korrelationen feststellbar. Als Beispiele seien *Abbildungen 15 und 16* aufgeführt.

Die DepV lässt in Anhang 3 Tabelle 2 zu, dass der TOC und der Glühverlust gleichwertig angewandt werden können. Dabei steht je nach Deponieklasse einem Glühverlust von 3 % ein TOC von 1 % bzw. 5 % zu 3 % und 10 % zu 6 % gegenüber.

Im Prinzip korreliert der Glühverlust signifikant mit dem TOC, wie in *Abbildung 17* erkennbar ist, jedoch nicht linear. Auch die in der DepV aufgeführten Verhältnisse zwischen Glühverlust und TOC stimmen gut überein.

In der Praxis wird bei der Deklaration von Abfallchargen oft der für die Einstufung jeweils ungünstigere oder je nach Sichtweise günstigere Wert hergenommen. Hier sollte man sich in einer zukünftigen Deponieverordnung und anderen Vorschriften auf ein Verfahren festlegen.

#### 5.2 Abweichung bei den Laborproben

Bei „homogenen“ Haufwerken lässt die Deponie-Info 3 ([2] und [3]) eine Reduktion der Laborproben zu. Bei Haufwerken bis zu 500 m<sup>3</sup> darf im begründeten Einzelfall nach dieser Vorgabe die Anzahl der Laborproben auf 2 reduziert werden. Dabei wird die maximal zulässige Abweichung der meisten Parameter auf folgende Kriterien festgelegt (siehe *Tabelle 2*):



Probenahme nach LAGA PN 98: Langzeiterfahrungen und statistische Auswertung

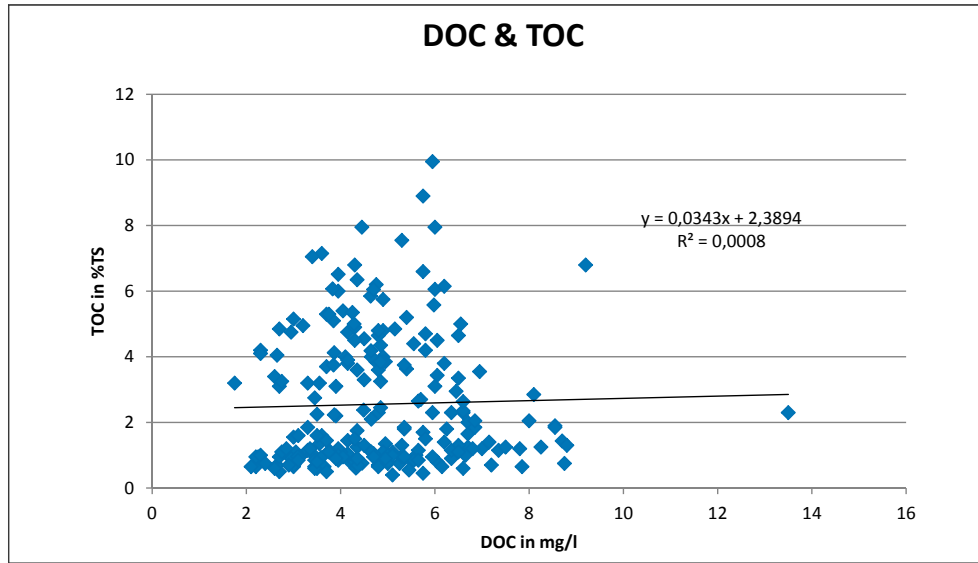


Abbildung 16: Korrelation zwischen DOC und TOC

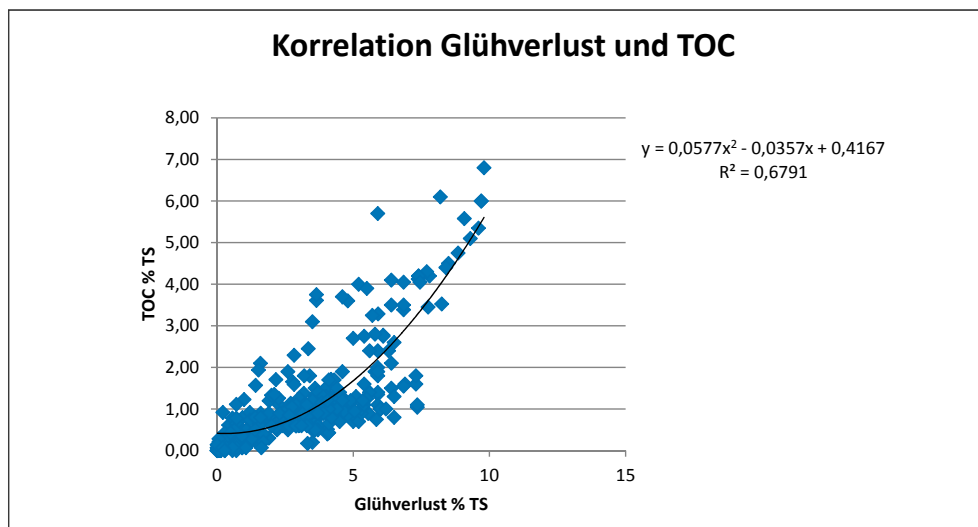


Abbildung 17: Korrelation zwischen TOC und Glühverlust

Tabelle 2: Tabelle aus Anhang 4 Nr. 4 DepV – mögliche Abweichungen Kontrollanalysen (Quelle: in Anlehnung an [3])

Parameter nach Anhang 3 Nummer 2	maximal zulässige Abweichung
Glühverlust	100 Prozent
TOC	100 Prozent
Brennwert (H <sub>0</sub> )	1.000 kJ/kg
sonstige Feststoffkriterien	jeweils 100 Prozent
ph-Wert	1,0 pH-Einheit
Eluatkriterien	jeweils 100 Prozent
weitere Parameter: Eluatkriterien Feststoffgesamtgehalte	jeweils 100 Prozent
AT <sub>4</sub> und GB <sub>21</sub>	jeweils 100 Prozent

Im Folgenden werden die Analysen von Haufwerken, aus denen jeweils 2 Laborproben untersucht wurden, hinsichtlich ihrer Abweichungen > 100 % ausgewertet.

Für die Berechnungen der Abweichungen wurden folgende Parameter der Haufwerke herangezogen: TOC, extrahierbare lipophile Stoffe, Kohlenwasserstoffe, Summe PAK (EPA), Summe PCB (7), DOC und pH-Wert. In Tabelle 3, wird die prozentuale Abweichung der oben genannten Werte der gesamten Haufwerke dar-

Tabelle 3: Abweichung der Messergebnisse bei reduzierter Probenzahl nach [3]

Parameter	TOC	E. 1.*	MKW	PAK	PCB	DOC
Anzahl der Haufwerke	259	209	220	255	171	259
> 100 % Abweichung	3	18	19	37	11	1
% zur Haufwerkszahl	1,2	7,0	7,3	14,2	4,2	0,4
% der Messergebnisse	1,2	8,6	8,6	14,5	6,4	0,4

\* Extrahierbare lipophile Substanzen

gestellt. Pro Parameter ist die Anzahl der ausgewerteten Messergebnisse und die Anzahl der davon über 100 Prozent Abweichung reichenden Proben aufgelistet. Darunter ist jeweils die Prozentzahl der Abweichung zur Haufwerkszahl und zur Anzahl der Messergebnisse errechnet.

Die Werte der Auflistung zeigen, dass die Prozentsätze der Abweichungen von > 100 % sehr niedrig sind. Die Abweichungen sind m.E. so gering, dass sie vernachlässigbar sein sollten. In diesem Zusammenhang wäre es begrüßenswert, dass zur Ersparnis der z. T. enormen Analysekosten auf die Analytik der Laborprobenzahlen nach LAGAPN98 zugunsten einer Reduzierung gemäß Deponie-Info 3 verzichtet wird.

Die LAGAPN98, die nach Anh. 4 DepV zur Probenahme von Abfall vorgeschrieben ist, basiert auf von mathematisch-statistischen Grundlagen abgeleiteten Probenmemodellen, die eine „repräsentative Probe“ für die Analytik ermöglichen sollen. Aber auch empirische Kenntnisse der Grundmenge des Abfalls und deren Teilchargen werden als Erfüllung der Anforderung nach „repräsentativer Beprobung“ aufgeführt. Bei der Sanierung von Altlasten ist meist mit großen Mengen zunächst inhomogener Aushubmaterialien umzugehen.

Hier ist es jedoch Aufgabe und gängige Praxis der erfahrenen Fachbauleitung, bereits während des Aushubs organoleptisch unterschiedliche Materialien entsprechend zu trennen und aufzuhalden, so dass „homogene“ Haufwerke entstehen. Dementsprechend plädiere ich für die Reduzierung des Zeit- und Kostenaufwandes bei der Deklaration von Haufwerken im Zusammenhang mit Altlastensanierungen durch begründete und sinnvolle Verminderung der zu untersuchenden Probenanzahl je Haufwerk. Des Weiteren

ist eine Vereinheitlichung der Probenahme- und Analysevorschriften in verschiedenen Regelwerken unabdingbar, um Kosten, Zeit und Verwirrung bei allen Beteiligten zu minimieren. Diesbezüglich stellt die – bisher nur in Bayern eingeführte – Deponie-Info 3 [3] eine sinnvolle und nach Auswertung umfangreicher Analysenergebnisse begründete Basis dar.

#### Literatur

- [1] LAGA Mitteilung 32 – LAGAPN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen, 2002
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Deponie-Info 3 – Hinweise zur erforderlichen Probenzahl nach PN 98 bei Haufwerken, 2011
- [3] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Deponie-Info 3 – Hinweise zur erforderlichen Probenzahl nach PN 98 bei Haufwerken, Stand: Fortschreibung April 2015
- [4] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 17. Juni 1999 (BGBl. S 1554)
- [5] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900) zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 28 G zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24.2.2012 (BGBl. I S. 212)
- [6] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz: Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen in der Fassung vom 09.12.2005 – Leitfaden zu den Eckpunkten (Eckpunkt Papier) mit den folgenden Fortschreibungen

#### Anschrift des Autors:

Dr. Michael Koch  
BFM Umwelt GMBH  
Zehentstadelweg 7  
81247 München  
E-Mail: michael.koch@bfm-umwelt.de