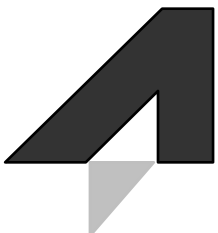




Projekt zur externen Qualitätssicherung bei der Probenahme von Böden



Impressum

Titel der Druckschrift

Projekt zur externen Qualitätssicherung bei der Probenahme von Böden

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 73, Dr. Martin Schmid

Klaus Bücherl, Frank Küchler
Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA)
Lehrter Str. 46
10557 Berlin

Mitarbeiter aus dem ITVA-Fachausschusses F 2 "Probenahme":

Dr. Axel Baermann, Dr. Björn Bahrig, Dipl.-Geol. Klaus Bücherl (Obmann), Dipl.-Mineral. Peter Götzelmann, Dipl.-Geol. Dieter Horchler, Dr. Norbert Klaas, Dipl.-Geol. Klaus Keese, Dipl.-Ök. Frank Küchler, Dr. Rainer Scheibke, Dr. Thorsten Spirgath
LfU, Dr. Martin Schmid

Redaktion:

Klaus Bücherl, Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA), Lehrter Str. 46,
10557 Berlin
LfU, Referat 73, Dr. Martin Schmid

Bildnachweis:

LfU, Abb. 4, Abb. 8, Abb. 9;

Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA), Lehrter Str. 46, 10557 Berlin,
Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7, Abb. 10, Abb. 11, Abb. 12, Abb. 13

Stand:

November 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	6
2	Aufgabenstellung	7
3	Einleitung und Problemstellung	7
4	Aufbau des Versuchsfeldes	8
4.1	Vorüberlegungen	8
4.2	Verwendete Bodenmaterialien	9
4.3	Säulenaufbau	11
4.4	Herstellung der Säulen	12
5	Rahmenbedingungen der Probenahmen	14
5.1	Auswahl der Teilnehmer	14
5.2	Abwicklung vor Ort	14
5.2.1	Vorbereitung der Probenahme	14
5.2.2	Ablauf der Probenahme	14
5.3	Wiederholstandardabweichung und Geräteeinfluss	15
5.4	Probenhandling und Analytik	15
6	Ausführung und Dokumentation durch die Teilnehmer	16
6.1	Ausführung der Probenahme	16
6.2	Erfassung der Schichtgrenzen und –mächtigkeiten	19
6.3	Bodenansprache, Anwendung der KA5	25
6.3.1	Anwendung der bodenkundlichen Bodenansprache	25
6.3.2	Ansprache der Feinbodenart	27
6.3.3	Ansprache der Grobbodenart	32
6.3.4	Weitere Bodenmerkmale	33
7	Auswertung der Laborergebnisse	33
7.1	Auswerteansatz	33
7.2	Chemisch-physikalische Charakterisierung der verwendeten Materialien	35
7.3	Beurteilung der Datenqualität	36
7.4	Streubreiten der Daten	36
7.5	Zielwertermittlung	37

8	Statistische Bewertung der gewonnenen Daten	39
8.1	Labordaten	39
8.2	Schichtmächtigkeiten	43
8.3	Gesamtbetrachtung der Begutachtungs- und Auswerteergebnisse	45
9	Abschlussbetrachtung	47
9.1	Ergebnisse und Folgerungen	47
9.2	Ausblick	48

Vorwort

In Deutschland werden etwa 360.000 Flächen als Altlasten oder Altlastenverdachtsflächen geführt. Deren Untersuchung ist für die Ermittlung möglicher Gefahren für Mensch und Umwelt erforderlich. Mit In-Kraft-Treten des Bundesbodenschutzgesetzes und nachgeordneter Länderregelungen führen diese Untersuchungen im gesetzlichen Vollzug Sachverständige und Untersuchungsstellen aus, die einen Kompetenznachweis vorlegen können und von staatlichen Stellen zugelassen sind.

Das Ausmaß der Beeinträchtigung einer Fläche wird im Wesentlichen auf Grundlage von Laboruntersuchungen, die an einzelnen Proben durchgeführt wurden, abgeschätzt. Diese Ergebnisse unterliegen einer Unschärfe, die zum einen in den angewandten Laborverfahren und zum anderen an der Qualität der gewonnenen Proben liegt. Dabei wird der Anteil der Probenahme an der Ergebnisunsicherheit mit Faktor zwei bis drei über dem Laboranteil angenommen.

Derzeit wird nur die Leistung der zugelassenen Untersuchungslabore durch Ringversuche vergleichend untersucht und so eine gleichmäßig hohe Analysenqualität sichergestellt. Für Probenehmer liegt bislang kein entsprechendes Qualitätssicherungsinstrument vor.

Das bayerische Landesamt für Umwelt hat deshalb gemeinsam mit dem Ingenieurtechnischen Verband Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA) ein Projekt initiiert, mit dem ermittelt werden sollte, ob auch für Probenehmer Vergleichsuntersuchungen durchgeführt werden können, die in Aus- und Bewertung den gleichen Maßstäben entsprechen wie sie für Laboringversuche gelten.

Der vorliegende Projektbericht zeigt am Beispiel der Bodenprobenahme mit Hilfe von Kleinrammbohrung, dass solche Vergleichsuntersuchungen möglich sind. Es wird dargelegt, wie die praktische Durchführung erfolgen und die Aus- und Bewertung vorgenommen werden kann. Damit ist eine Grundlage für weitere Untersuchungen mit anderen Probenahmeverfahren und den Aufbau eines Qualitätssicherungssystems für Probenehmer geschaffen.

Dem Länderfinanzierungsprogramm Boden für die Bereitstellung der erforderlichen Mittel und den beteiligten Untersuchungsstellen sowie den mitwirkenden Fachleuten des Fachausschusses Probenahme des ITVA für ihre verdienstvolle Mitarbeit sei an dieser Stelle gedankt.



Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle
Präsident

1 Kurzfassung

In Zusammenarbeit mit dem Fachausschuss Probenahme des Ingenieurtechnischen Verbandes für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA) und dem bayerischen Landesamts für Umwelt wurde unter Finanzierung durch das Länderfinanzierungsprogramms Wasser und Boden 2008 ein Projekt zur externen Qualitätssicherung bei der Probenahme von Böden durchgeführt.

Die vorliegende Studie zeigt eine Möglichkeit auf, wie externe Qualitätssicherungsmaßnahmen ähnlich laboranalytischen Ringversuchen für Probenehmer durchgeführt werden können. Die Vorgehensweise ist ebenso geeignet um die Leistungsfähigkeit einer Probenahmetechnik im Sinne eines Validierungsringversuchs zu ermitteln.

Für die Untersuchung wurden standardisierte künstliche Bodenprofile hergestellt, die mittels Kleinrammbohrung aufgeschlossen und fachgerecht unter den Gesichtspunkten einer Altlastuntersuchung beprobt werden mussten.

26 Untersuchungsstellen, die in Bayern nach § 18 BBodSchG für Feststoffprobenahmen im Rahmen von Altlastuntersuchungen zugelassen sind, entnahmen unabhängig voneinander mit ihrem eigenen Equipment nach einem vorgegebenen Szenarium Proben. Die Ansprache gemäß bodenkundlicher Kartieranleitung erfolgte auf vorgegebenen Protokollformularen.

Die Homogenität des Versuchsaufbaus und der verwendeten Materialien wurde durch aufwändige Referenzmessungen überprüft, die Präzision der zugelassenen Probenahmetechnik durch die Bestimmung der Wiederholstandardabweichung ermittelt.

Die Probenehmer wurden bei der Durchführung entsprechend den Vorgaben der DIN EN ISO 17025 und der Bundesbodenschutzverordnung begutachtet und die Beobachtungen standardisiert protokolliert.

Die Begutachtungsabweichungen und die von den Teilnehmern in ihren Probenahmeprotokollen angegebenen Daten zur Bodenansprache im Hinblick auf die Anwendung der 5. bodenkundlichen Kartieranleitung erfasst und ausgewertet.

Die gewonnenen Feststoffproben wurden am Zentrallabor des bayerischen Landesamts für Umwelt mittels Röntgenfluoreszenzmessung analysiert. Sowohl die gewonnenen Daten der laboranalytischen Untersuchungen als auch der Schichtdickenermittlung wurden unter Anwendung eines robusten Auswertalgorithmus wie er auch bei Laborvergleichsuntersuchungen im Umweltbereich üblich ist, ausgewertet.

Wesentliche Ergebnisse dieser Untersuchung waren zum einen die großen systematischen Schwankungen beim Ermitteln der Schichtmächtigkeiten auf Basis von Kleinrammbohrungen. Zum anderen sind die Bodenansprachen nach bodenkundlicher Kartieranleitung nicht zufriedenstellend. Ursachen hierfür liegen Großteils in den unpräzisen Vorgaben für deren Anwendung bei der Altlasterkundung und der fehlende Praxis mangels Nachfrage im Vollzug.

2 Aufgabenstellung

Satzungsgemäß gehört die

- Beratung zu allgemeinen, wissenschaftlichen, wirtschaftlichen, technischen, rechtlichen und organisatorischen Belangen der Altlastenbearbeitung
- Mitwirkung bei der Erarbeitung von Regelwerken, Normen und gemeinsamen Handlungsempfehlungen und deren Fortschreibung zur Qualitätssicherung und Unterstützung des Sachverständigenwesens in den Fachgebieten Altlasten, Bodenschutz und Liegenschaftsrecycling
- Zusammenarbeit mit Körperschaften des öffentlichen Rechts, Städten und Gemeinden, Verbänden, Unternehmen, wissenschaftlich-technischen Einrichtungen und Einzelpersonen, die auf den Gebieten der Altlasten, des Bodenschutzes und des Liegenschaftsrecyclings sowie angrenzender Fachgebiete tätig oder an Fachfragen interessiert sind,

zu den Aufgaben des Ingenieurtechnischen Verbandes für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA). Die vielfältigen Fragestellungen werden in den Fachausschüssen des Verbandes bearbeitet.

Mit Vertrag vom 01.10.2008 beauftragte der Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Landesamt für Umwelt den Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA) mit der Durchführung des Vorhabens „Projekt zur externen Qualitätssicherung bei der Probenahme von Boden“ des Länderfinanzierungsprogramms Wasser und Boden 2008.

Die Arbeiten wurden vertragsgemäß in enger Abstimmung mit dem Bayer. Landesamt für Umwelt durchgeführt. Die Federführung lag beim Referat 73 (Anorganische Basisanalytik). Außerdem waren die Referate 71 (AQS-Stelle), 92 (Grundwasserschutz), 76 (Stoffbewertung) sowie das für die Analytik verantwortliche Referat 72 am Projekt beteiligt.

3 Einleitung und Problemstellung

Im gesetzlich geregelten Umweltbereich müssen Untersuchungsstellen an externen Qualitätssicherungsprogrammen teilnehmen, um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse sicherzustellen. Während sich bei der Analytik zur Qualitätssicherung Ringversuche bzw. Laborvergleichsuntersuchungen bereits seit Jahren bewährt haben, ist für die Probenahme insbesondere im Feststoffbereich bislang kein adäquates Instrument verfügbar.

Für die Probenahme von Ackerböden wurde eine Vergleichsuntersuchung der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Rostock durchgeführt. Für die Flächenbeprobung wurde ermittelt, dass der Beitrag der Probenahme auf die Ergebnisunsicherheit bei der Bestimmung von Inhaltsstoffen der Laboranalytik um Faktor zwei bis drei übersteigt [36].

Da auch auf Verdachtsflächen und Altstandorten gerade bei der Probenahme die größten Unsicherheiten und Fehler auftreten, ist für diesen wesentlichen Schritt die Entwicklung eines dem analytischen Bereich vergleichbaren Qualitätssicherungsprogrammes besonders wichtig.

Die Durchführung einer Vergleichsuntersuchung für die Probenahme ist mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. So ist sicherzustellen, dass alle Teilnehmer gleiche örtliche Gegebenheiten und Rahmenbedingungen vorfinden und die Probenahmen eigenverantwortlich ohne Möglichkeit zum Austausch zwischen den Teilnehmern durchgeführt werden. Die Teilnehmerzahl muss dabei so hoch sein, dass eine gesicherte Bewertung vorgenommen werden kann.

Weiterhin sind die Bewertungsparameter so zu wählen, dass diese möglichst wenig durch die Inhomogenität des beprobten Materials und die laboranalytische Streuung beeinflusst werden. Die Beiträge der Materialinhomogenität und der versuchsaufbaubedingten Streuung zur Gesamtstreuung müssen bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Ziel des Projekts ist es, eine Maßnahme zur Qualitätssicherung zu entwickeln, die in Zukunft auch für die Probenahme eine externe Überprüfung der Untersuchungsstellen analog den laboranalytischen Ringversuchen ermöglicht. Hierzu soll eine Vergleichsuntersuchung zur Bodenprobengewinnung durch Kleinrammbohrungen („Rammkernsondierungen“) durchgeführt und die Anwendungsmöglichkeit üblicher Ringversuchsaus- und -bewertemethoden eruiert werden.

Erste Erfahrungen mit einer vergleichenden Probenahme mit Kleinrammbohrungen in künstlichen Bodensäulen waren bei einem Projekt des ITVA-Fachausschusses Probenahme 2005 gesammelt worden [1].

4 Aufbau des Versuchsfeldes

4.1 Vorüberlegungen

Bei einer ringversuchsähnlichen Vergleichsuntersuchung von Kleinrammbohrungen sollten neben der Bodenansprache und der Erfassung der Schichtgrenzen und Schichtmächtigkeiten auch mögliche Schadstoffverschleppungen vergleichend untersucht werden. Dazu musste ein Material eingebaut werden, das sich von den chemischen Eigenschaften her signifikant von den übrigen Schichten unterscheidet. Die „kontaminierte“ Schicht musste dazu im oberen Bereich des Schichtprofils, über einer unbelasteten Schichtenfolge eingebaut werden.

Bei der Diskussion der Ergebnisse des ITVA-Projektes von 2005 [1] war die Frage aufgetaucht, ob der im Vergleich mit dem Bohrdurchmesser (50 mm) vergleichsweise geringe Säulendurchmesser von 150 mm Auswirkungen auf die Stauchung des Bohrkernes haben könnte. Erste Überlegungen zur Gestaltung eines ähnlichen Versuches gingen daher dahin, anstelle der in Rohren eingebauten Bodensäulen ein künstliches Bodenprofil in Form einer grabenförmigen Aufschüttung anzulegen. Gegen diesen Versuchsaufbau sprach zum Einen, dass dazu erheblich größere Mengen an kontaminiertem Material beschafft und entsorgt werden müssten. Zum Anderen wären aufwändigere Sicherungsmaßnahmen gegen das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung durch den Einbau des Materials erforderlich geworden. Auch die Vermeidung von Verschleppungen beim Einbau und der zentimetergenaue Einbau der Schichten wäre technisch schwieriger gewesen.

Die Wahl fiel schließlich auf die Herstellung künstlicher Bodensäulen mit einem möglichst großen Durchmesser. Für diesen Zweck waren KG-Rohre mit einem Durchmesser von 300 mm von der Verfügbarkeit und von den Kosten her optimal.

Die Länge der Säulen sollte mehr als einen Meter betragen, damit die Versuchsteilnehmer mindestens einmal die Bohrsonde neu ansetzen mussten. Da auf dem Versuchsstandort der mittlere Grundwasserflurabstand nur 1,7 m bis 1,8 m beträgt und die Säulen nicht ins Grundwasser reichen durften, war die Säulenlänge auf 1,7 m begrenzt.

Die KG-Rohre wurden auf diese Länge zugeschnitten und unten mit einem Deckel mit Gummidichtung verschlossen und zusätzlich mit Silikon verklebt (Abb. 1 und Abb. 2).



Abb. 1: KG-Rohr, 1,7 m, DN 300



Abb. 2: KG-Rohr DN 300, am Fuß mit Deckel verschlossen

Diese Rohre wurden im leeren Zustand in einen Graben so eingebaut, dass die Oberkante des Rohres geländegleich abschloss.



Abb. 3:
In Graben eingebaute Rohre, zum Schutz vor Niederschlägen vor dem Versuch abgedeckt

4.2 Verwendete Bodenmaterialien

Für die unterste Schicht der künstlichen Bodensäule wurde ein Mergel ausgewählt, der aus einer Grube bei Bruckbach/Wolnzach im bayerischen Tertiärhügelland stammt. Das Material für den Säulenbau wurde mit Unterstützung des LfU beschafft (Abb. 4 und Abb. 5).



Abb. 4: Mergel, anstehend,



Abb. 5: Mergel vor dem Einbau mit Ausrollprobe

Für den Sand, der unterhalb der kontaminierten Schicht eingebaut werden sollte, wurde ein pleistozäner Schmelzwassersand aus einer Sandgrube zwischen Huglfing und Oberhausen (südlich von Weilheim/Obb.) ausgewählt (Abb. 6 und Abb. 7).



Abb. 6: Sand aus der Kiesgrube Rohrbach bei Huglfing



Abb. 7: Sand, Nahaufnahme

Für die „kontaminierte Schicht“ wurde ein Stabilisat aus Biomasse-Aschen-Filterstaub ausgewählt, das aus einem anderen Forschungsprojekt des Bayerischen Landesamtes für Umwelt LfU stammte und in Augsburg in einem Container lagerte. Dieses Stabilisat weist insbesondere gegenüber geogenen Gehalten signifikant erhöhte Gehalte an Zink, Blei, Eisen und Kalium auf (Tab. 15, Seite 35 sowie Abb. 8 und Abb. 9).



Abb. 8: Stabilisat aus Biomasse-Aschen-Filterstaub im Container



Abb. 9: Stabilisat aus Biomasse-Aschen-Filterstaub, Nahaufnahme

4.3 Säulenaufbau

Als unterste Schicht wurde der Mergel mit einer Mächtigkeit von 0,2 m eingebaut. Diese Mergelschicht sollte bei der Probenahme erreicht, aber nicht durchteuft werden. Darüber folgt eine 0,9 m mächtige Sandschicht, über der das Stabilisat mit einer Schichtstärke von 0,3 m eingebaut wurde. Den oberen Abschluss bildete der Oberboden, der vor Einbau der Säulen abgeschoben worden war und neben der Säulenreihe lagerte (Tab. 1 und Abb. 10).

Schicht	von-bis [m]	Mächtigkeit [m]
Oberboden vom Standort	0-0,3	0,3
Stabilisat	0,3-0,6	0,3
Sand	0,6-1,5	0,9
Mergel	1,5-1,7	0,2
		1,7

Tab. 1:
Säulenaufbau



Abb. 10:
Fertige Mustersäule; im Hintergrund das Testfeld

4.4 Herstellung der Säulen

Die Materialien wurden in Lagen von 0,1 m bis 0,2 m eingebaut und mit Hilfe eines stempelartigen Stampfers, dessen Durchmesser nur geringfügig kleiner war als der Innendurchmesser der Rohre, verdichtet (Abb. 11). Das verwendete Material wurde gewogen und dann mit dem Stampfer so lange verdichtet, bis mit dem Meterstab keine Höhenänderung mehr festzustellen war. Die so erzielten Lagerungsdichten sind etwas geringer als die Lagerungsdichten ungestörter Böden, liegen aber in einer Größenordnung, mit der erfahrungsgemäß in künstlichen Auffüllungen zu rechnen ist (Tab. 2).

Schicht Nr.	Art	Lagerungsdichte [g/cm ³]
4	Oberboden vom Standort	1,80
3	Stabilisat	1,18
2	Sand	1,74
1	Mergel	2,05

Tab. 2:
Lagerungsdichte der eingebauten Schichten

Zur Vermeidung von Verschleppungen wurden zunächst in allen Säulen der Mergel, danach in allen Säulen die Sandschicht und dann das Stabilisat eingebaut. Zur Verdichtung der letzten Schicht wurde der Stampfer nicht mehr verwendet. Die Verdichtung erfolgte hier durch Feststampfen mit den Stiefeln und einem Fäustling.



Abb. 11:
Verdichtungsstempel, Stampfer



Abb. 12: Lagenweises Einfüllen des Sandes



Abb. 13: Lagenweises Verdichten des Sandes

Auf diese Weise wurden 35 identische Bodensäulen erstellt, die als Probenahmestellen in einer Reihe angeordnet für die Vergleichsuntersuchung zur Verfügung standen.

5 Rahmenbedingungen der Probenahmen

5.1 Auswahl der Teilnehmer

Das Projekt sollte die Möglichkeit externer Qualitätssicherungsmaßnahmen für Untersuchungsstellen gemäß §18 BBodSchG aufzeigen. Die Probenahmen wurden deshalb ausschließlich von qualifizierten Untersuchungsstellen mit Zulassung für die Gewinnung von Bodenproben durchgeführt.

Von den 26 teilnehmenden Untersuchungsstellen besaßen 14 eine Kompetenzbestätigung über die Einhaltung der Anforderungen des Fachmodul Bodens bzw. der VSU Boden und Altlasten in Bayern [2] von einer DAR-Akkreditierungsstelle. 12 Untersuchungsstellen hatten eine solche Kompetenzbestätigung der AQS-Stelle des Bayerischen Landesamts für Umwelt.

Alle 53 in Bayern zum Projektzeitpunkt gemäß §18 BBodSchG für die Probenahme von Boden zugelassenen Untersuchungsstellen wurden von der AQS-Stelle Bayern über die Maßnahme zur externen Qualitätssicherung informiert und um Mitteilung eines Wunschtermins in einer vorgegebenen Kalenderwoche gebeten. Die Teilnehmer wurden darüber informiert, dass ihre Ergebnisse im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung, die vom Länderfinanzierungsprogramm finanziert wird, einfließen und keine Bewertung im Sinne „bestanden – nicht bestanden“ erfolgt. Aus den Rückmeldungen wurden aus Kapazitätsgründen 26 Untersuchungsstellen zur Teilnahme ausgewählt. Die Teilnehmer wurden proportional nach Standort ausgewählt und reichten von der kleinen 1-Mann-Untersuchungsstelle mit externem Qualitätsmanagementbeauftragtem bis zum international tätigen Großunternehmen. Die Teilnahme war für die Untersuchungsstellen kostenlos.

5.2 Abwicklung vor Ort

5.2.1 Vorbereitung der Probenahme

Den Probenehmern wurde folgendes Szenario vorgegeben. Die Mächtigkeit einer künstlichen Auffüllung mit umweltrelevanten, anorganischen Inhaltsstoffen auf einer Grünfläche sollte durch Aufschluss mittels Rammkernsondierung bis zum anstehenden Mergel ermittelt werden. Dabei sollten die anstehenden Materialien nach der bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 [4] und der Arbeitshilfe zu deren Anwendung im vor- und nachsorgenden Bodenschutz [31] angesprochen und beprobt werden. Als Endteufe wurde 1,6 m vorgegeben. Auf die Notwendigkeit sauberen Arbeitens im ökologisch sensiblen Bereich (Fischteiche) wurde besonders hingewiesen.

Zur Protokollierung vor Ort wurde ein Formular vorgegeben, das den Teilnehmern 3 Wochen vor der Kampagne zur Verfügung gestellt wurde. Dies sollte die Möglichkeit der vergleichenden Auswertung sicherstellen. Die Teilnehmer waren aufgefordert, sich mit dem Vorgabeprotokoll (s. Anlage 3, Probenahmeprotokollvorgabe) auseinanderzusetzen. Das Vorgabeprotokoll entspricht Anforderungen, die von Untersuchungsstellen nach §18 BBodSchG erfüllt werden müssen und basiert auf der KA 5 und der DIN 19682-2. Als Hinweis zum Ausfüllen wurde die ITVA-Arbeitshilfe-F2-3 [34] genannt.

5.2.2 Ablauf der Probenahme

In der Vergleichsprobenahmekampagne wurden 25 Teilnehmer, 5 je Tag, vom 03. - 07.11.2008 zwischen 9:00 und 16:30 Uhr nacheinander zum LfU-Standort Wielenbach bestellt. Die Abstände zwischen den Probenahmen betragen 90 Minuten, so dass keine parallelen Probenahmen mit der Möglichkeit des Erfahrungsaustauschs vor Ort erfolgten. Das Wetter war für alle 25 Teilnehmer trocken und schön. Die Lufttemperaturen lagen zwischen 5 °C (morgens) und 20 °C. Die tatsächlich benötigte Zeit der Teilnehmer am Probenahmeort war 60 bis 100 Minuten.

Die Probenehmer wurden an der Pforte der LfU-Dienststelle empfangen und über das Betriebsgelände zum Probenahmeort geleitet.

Die einzelne Probenahmestelle wählten die Teilnehmer im Losverfahren aus. Daraufhin wurde deren Abdeckung abgenommen und die Probenehmer richteten ihren Arbeitsplatz ein. Die Probenahmen wurden von den Untersuchungsstellen mit eigener Ausrüstung einschließlich Stromaggregat durchgeführt. Als Sondendurchmesser wurde für den ersten Sondiermeter 60 mm vorgegeben.

Wie auch bei Kompetenzüberprüfungen im Rahmen von Akkreditierungs- und Zulassungsverfahren wurden das fachgerechte Einrichten der Probenahmestelle wie der Umgang mit den Geräten und sauberes Arbeiten mit bewertet.

Die Probenehmer hatten alle angetroffenen Materialien zu beschreiben und zu beproben. Die Proben wurden am Probenahmeort dem LfU übergeben, das Protokoll vor Verlassen des Betriebsgeländes kopiert und das Original einbehalten.

Um sicherzustellen, dass alle Teilnehmer gleich bewertet werden, war ein Begutachter während der gesamten Probenahmekampagne vor Ort. Der Begutachter ist im gemeinsamen Begutachterpool der Akkreditierstellen und der Länder und seit vielen Jahren für die DAP als Fach- und leitender Begutachter für Probe nehmende Untersuchungsstellen nach Anforderungen der OFD BAM und des Fachmodul Bodens tätig. Er wurde von wechselnden Fachbegutachtern des LfU unterstützt.

Die Begutachter dokumentierten die Probenahmen mit Hilfe einer standardisierten Checkliste. Die Zusammenstellung bei der Dokumentation festgestellten Abweichungen aller Teilnehmer beinhaltet die Anlage 2. Darüber hinaus wurden alle Probenahmen, gewonnenen Profile, die verwendeten Geräte und Probenahmefahrzeuge fotografisch dokumentiert.

5.3 Wiederholstandardabweichung und Geräteinfluss

Bei chemisch analytischen Laborringversuchen wird vor dem Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Teilnehmer ermittelt, wie die Ergebnisse schwanken, wenn ein Labor Mehrfachbestimmungen durchführt. Dies erfolgt immer dann, wenn das angewandte Analysenverfahren nicht standardisiert bzw. die hierdurch zu ermittelnde Wiederholstandardabweichung unbekannt ist.

Da auch für die Rammkernsondierung im gewählten Versuchsdesign keine Wiederholstandardabweichung bekannt war, wurde diese durch einen erfahrenen und mit den Anforderungen vertrauten Probenehmer (Teilnehmer 26) am 13.11.2009 durch Wiederholprobenahmen ermittelt. Der Probenehmer führte 6 vorgabekonforme Sondierungen (Säulen 7, 12, 13, 19, 26, 34) durch. Wegen eintretender Dunkelheit wurden davon nur 5 vollständig beprobt.

Um den Einfluss des gewählten Sondiergeräts auf Stauchung und Kernverlust zu überprüfen, wurden von diesem Teilnehmer 7 weitere Sondierungen mit Hand- und Raupensondiergerät in den Rohren und dem gewachsenen Boden der Versuchsfläche bis einem Meter Endteufe vorgenommen.

5.4 Probenhandling und Analytik

Die Proben wurden in 250ml Weithalsflaschen abgefüllt, die den Teilnehmern in beliebiger Zahl vom LfU zur Verfügung gestellt wurden. Die einzelnen Teilnehmer gewannen 3 bis 6 verschiedene Proben.

Die Proben wurden am LfU anonymisiert und zur Homogenisierung, Trocknung und Mahlung an ein kompetentes, nach der VSU Boden und Altlasten zur Probenvorbereitung zugelassenes Privatlabor

vergeben. Die analytischen Bestimmungen wurden am Zentrallabor des Bayerischen Landesamts für Umwelt in Augsburg durchgeführt.

Die Proben sollten weniger auf genaue Schadstoffgehalte als vielmehr hinsichtlich möglicher Verschleppungen untersucht werden. Sie wurden deshalb mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), die sehr genaue Relativmessungen für Elemente ab der Ordnungszahl 39 (Kalium) ermöglicht, auf ihre Elementgehalte analysiert.

Für die Einzelbestimmungen wurden jeweils 4,00 g eingewogen und mit 0,90 g Wachs versetzt.

6 Ausführung und Dokumentation durch die Teilnehmer

6.1 Ausführung der Probenahme

Bei der Durchführung der Bohrungen und der Probenahme wurden die Teilnehmer möglichst genau beobachtet, um Einflüsse, die sich ergebnisrelevant auswirken können, zu erfassen. Diese Beobachtungen erfolgten wie bei Begutachtungen durch die Notifizierungs- bzw. Akkreditierungsstellen durch benannte Fachbegutachter, ohne in das Geschehen einzugreifen und ohne abschließende Bewertung. Die Anzahl der pro Teilnehmer festgestellten Abweichungen unterschied sich erwartungsgemäß erheblich. Während bei einem Teilnehmer nur zwei Abweichungen verzeichnet wurden, traten bei sechs Teilnehmern 10 und mehr Abweichungen auf. Alle bedeutenden Abweichungen sind nach der jeweiligen Nummer der Bohrstelle in Anlage 2 aufgelistet.

Die dokumentierten Abweichungen konnten in 6 Gruppen zusammengefasst werden:

Abweichungsgruppe: Querkontamination

Einen Schwerpunkt der Abweichungen bildeten Querkontaminationsmöglichkeiten beim Transport auf den Fahrzeugladeflächen. Es wurden z. B. Sonden, Probenahmegefäße, Ausbaumaterial, Steigrohre und Schöpfer gemeinsam mit treibstoffführenden Behältnissen und Aggregaten transportiert. Es kam auch vor, dass Aggregate mitten zwischen den mit Proben in Berührung kommenden Geräten und Gefäßen auf der Ladefläche betrieben wurden. An diesen Beispielen zeigt sich bei einigen Firmen die Kluft zwischen Begutachtungen durch die Behörden bzw. die Akkreditierungsstelle und realem Handeln in der Praxis.

Weitere Fehler waren Verschleppungen von belastetem Bohrgut in den Sonden durch Längs-Abstreifen und Probenahme vom Sondenrand. Auch der unachtsame Umgang mit kontaminiertem Bohrgut (Hantieren ohne Folienunterlage) kann dieser Fehlergruppe zugerechnet werden. Von einigen Teilnehmern wurde keine Folie mitgebracht, mit der der Boden gegen herunterfallendes Bohrgut geschützt werden muss. Weiterhin kam es nicht selten vor, dass das auf die Folie gefallene Bohrgut heruntergetreten oder in einem Fall absichtlich heruntergeschüttelt wurde. Dieses unsensible Vorgehen scheint bei einigen Firmen Routine zu sein, da man nicht einmal unter behördlicher Aufsicht auf den Umweltschutz achtete.

Die Problematik der Windrichtung bei Abgas aus den Stromaggregaten wurde von acht Teilnehmern nicht beachtet.

Abweichungsgruppe: Gerätschaften

Elf der Teilnehmer verwendeten stumpfe und teilweise beschädigte Sonden. Das kann zu Stauchungen, aber zumindest bei festeren Böden zu einem schlechten Bohrfortschritt führen.

Acht Trupps rückten mit verschmutzten Sonden an. Die meisten Verschmutzungen durch Bodenanhafungen befanden sich im Vollrohrbereich. Bedenklich war auch, dass nur wenig geeignetes Reinigungsgerät für die Sonden vorhanden war. Zum Teil wurden die Sonden erst vor Ort über dem ungeschützten Boden gereinigt. In einem Fall wurden sogar verschmutzte Gerätschaften mit Wasser abgespült, was dann auf den Boden lief.

Bei einigen Trupps war auch die mitgeführte Ausrüstung unvollständig. So hatten 13 der Teilnehmer kein Aceton für die Sondenreinigung dabei. Vereinzelt wurden ungeeignete Gerätschaften verwendet (Probenstecher mit Farbanstrich).

Abweichungsgruppe: Methoden

Zehn Teilnehmer führten die einschlägigen Standard-Arbeitsanweisungen nicht mit sich. Vereinzelt fehlte die bodenkundliche Kartieranleitung oder die Farbtafel. Vier Trupps verwendeten bei der Protokollierung einen Bleistift, arbeiteten also nicht dokumentenecht. Bei einem Probenahmetrupp fehlte ein Sachkundiger für die Bodenansprache. Vor Ort wurden nur die Schichtgrenzen aufgenommen. Die Bodenansprache erfolgte später im Büro.

Zwei der Teilnehmer verfügen nicht über eigene Bohrtechnik, und arbeiten grundsätzlich mit Subunternehmern. In Bayern wird das nicht als Abweichung gewertet, wenn der Subunternehmer in der Notifizierung der Untersuchungsstelle eingeschlossen ist.

Abweichungsgruppe: Stauchungen, Kernverlust, Nachfall

Von elf Teilnehmern wurden die Stauchungen nicht beschrieben. Bei einigen bestand auch Unsicherheit beim Erkennen von Nachfall und bei der Unterscheidung zwischen Kernverlust und Stauchung.

Abweichungsgruppe: Bodenansprache

Häufige Defizite zeigten sich bei der Bodenansprache. Die geforderte bodenkundliche Bodenansprache wurde häufig nicht oder nicht richtig angewandt. Deutlich erkennbar hatten die meisten der Teilnehmer keine Routine in der Anwendung dieser Methode. Siehe hierzu auch Kap. 6.3.

Abweichungsgruppe Sicherheit

Die Alleinarbeit stellt ebenfalls eine Unregelmäßigkeit beim Arbeiten in kontaminierten Bereichen dar. Hier ist Alleinarbeit nach den Regeln der Berufsgenossenschaft nicht gestattet. Zwei der Teilnehmer rückten alleine zur Vergleichsprobenahme an.

Die prozentualen Anteile der beobachteten Abweichungen der einzelnen Abweichungsgruppen ist in Abb. 14 dargestellt.

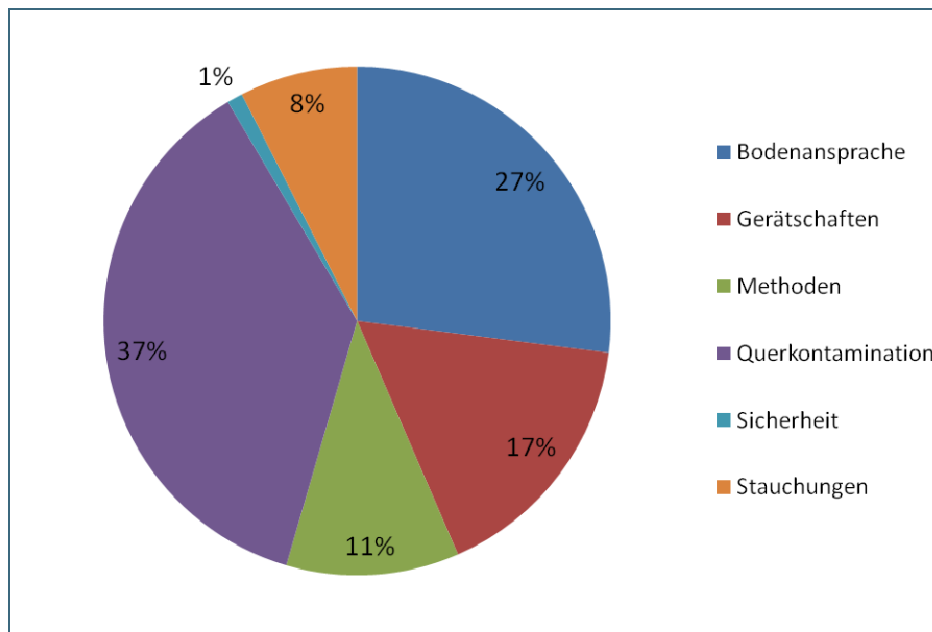


Abb. 14:
Bei der
Vergleichsprobenahme
aufgetretene
Abweichungen nach
Gruppen
(prozentualer Anteil der
Nennungen)

Die Anzahl der Abweichungen der einzelnen Teilnehmer, geordnet nach der Reihenfolge der Bearbeitung zeigt die nachfolgende Abb. 15.

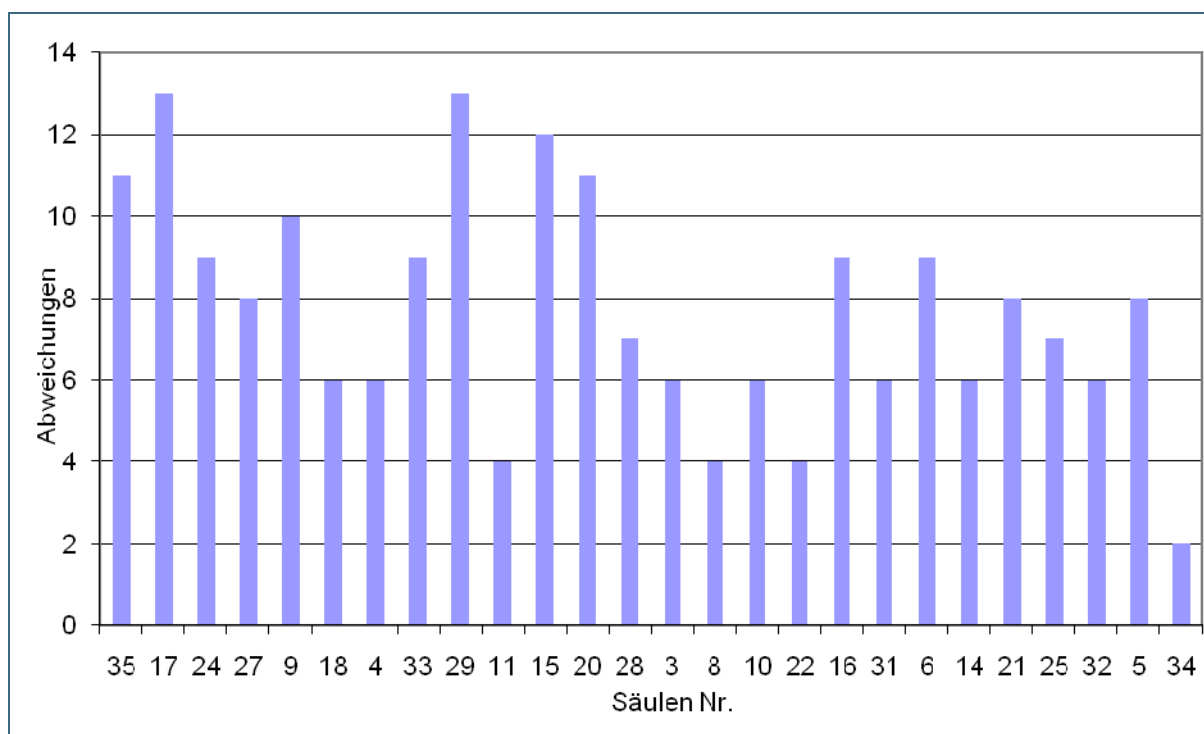


Abb. 15: Anzahl der bei der Begutachtung der Teilnehmer festgestellten Abweichungen

Die detaillierte Zusammenstellung aller bedeutenden Abweichungen der einzelnen Probenahmestellen und ihre Gruppenzuordnung sind der Anlage 2 zu entnehmen.

6.2 Erfassung der Schichtgrenzen und –mächtigkeiten

Die Teilnehmer mussten die Mächtigkeit der angetroffenen Schichten bestimmen. Die dabei erfassten Schichtgrenzen sind in Tab. 3 zusammengefasst und in Abb. 16 graphisch dargestellt.

Tab. 3: Ergebnisse der Schichtgrenzenbestimmung

Proben- stelle	Schichtgrenzen			Schichtmächtigkeit		
	Oberboden Untergrenze in m u.GOK	Stabilisat Unter- grenze in m u.GOK	Sand Unter- grenze in m u.GOK	Oberboden [m]	Stabilisat [m]	Sand [m]
Vorga- bewert	-0,3	-0,6	-1,5	0,3	0,3	0,9
3	-0,42	-0,67	-1,5	0,44	0,26	0,85
4	-0,55	-0,75	-1,6	0,4	0,3	0,8
5	-0,4	-0,6	-1,42	0,5	0,25	0,75
6	-0,4	-0,65	-1,6	0,3	0,3	0,9
8	-0,24	-0,76	-1,5	0,35	0,25	0,87
9	-0,18	-0,35	-1,57	0,24	0,52	0,74
10	-0,4	-0,7	-1,5	0,38	0,2	0,97
11	-0,35	-0,6	-1,5	0,3	0,45	0,75
14	-0,47	-0,65	-1,48	0,3	0,25	0,95
15	-0,3	-0,75	-1,5	0,47	0,2	0,84
16	-0,47	-0,67	-1,51	0,51	0,2	0,81
17	-0,35	-0,6	-1,5	0,55	0,2	0,85
18	-0,4	-0,65	-1,55	0,18	0,17	1,22
20	-0,44	-0,7	-1,55	0,35	0,25	0,9
21	-0,35	-0,6	-1,47	0,27	0,28	0,95
22	-0,38	-0,58	-1,55	0,3	0,3	0,9
24	-0,3	-0,6	-1,5	0,4	0,2	0,82
25	-0,51	-0,71	-1,52	0,4	0,2	0,9
27	-0,6	-0,8	-1,5	0,4	0,25	0,95
28	-0,3	-0,6	-1,5	0,4	0,25	0,9
29	-0,3	-0,55	-1,5	0,47	0,18	0,83
31	-0,27	-0,55	-1,5	0,6	0,2	0,7
32	-0,4	-0,6	-1,5	0,4	0,32	0,78
33	-0,4	-0,72	-1,5	0,35	0,25	0,9
35	-0,5	-0,75	-1,5	0,42	0,25	0,83
Probenstellen Wiederholprobenahmen						
34	-0,5	-0,7	-1,6	0,5	0,2	0,9
26	-0,37	-0,62	-1,5	0,37	0,25	0,88
19	-0,4	-0,65	-1,5	0,4	0,25	0,85
12	-0,41	-0,67	-1,51	0,41	0,26	0,84
7	-0,4	-0,66	-1,45	0,4	0,26	0,79
13	-0,47	-0,7	-1,53	0,47	0,23	0,83

Die Endteufe der Bohrungen betrug entsprechend des vorgegebenen Szenarios 1,6 m(s. Kap. 5.2.1).

Ein Teilnehmer verwendete – entgegen der Vorgabe – für den ersten Sondiermeter eine 80 mm Sonde statt der vorgegebenen 60 mm. Der zweite Sondiermeter wurde meist mit einer zweiten Sonde durchgeführt. Hier verwendeten 10 Teilnehmer eine 50 mm Sonde.

Die folgende Darstellung und statistische Auswertung der erfassten Schichtmächtigkeiten (Tab. 4) verdeutlicht die Auswirkung von Fehlern bei der Ermittlung der teufenbezogenen Schichtgrenzen.

Tab. 4: statistische Auswertung der erfassten Schichtmächtigkeiten

Säule	Oberboden in m	Stabilisat in m	Sand in m	Mergel in m
0 (Soll)	0,30	0,30	0,90	0,10
Minimalwert	0,18	0,17	0,70	0,00
Durchschnitt	0,39	0,26	0,86	0,09
Maximalwert	0,60	0,52	1,22	0,18
Spanne	0,42	0,35	0,52	0,18
Standardabw.	0,09	0,07	0,09	0,04
35	0,42	0,25	0,83	0,10
17	0,55	0,20	0,85	0,00
24	0,40	0,20	0,82	0,18
27	0,40	0,25	0,95	0,00
9	0,24	0,52	0,74	0,10
18	0,18	0,17	1,22	0,03
4	0,40	0,30	0,80	0,10
33	0,35	0,25	0,90	0,10
29	0,47	0,18	0,83	0,12
11	0,30	0,45	0,75	0,10
15	0,47	0,20	0,84	0,09
20	0,35	0,25	0,90	0,10
28	0,40	0,25	0,90	0,05
3	0,44	0,26	0,85	0,05
8	0,35	0,25	0,87	0,13
10	0,38	0,20	0,97	0,05
22	0,30	0,30	0,90	0,10
16	0,51	0,20	0,81	0,08
31	0,60	0,20	0,70	0,10
6	0,30	0,30	0,90	0,10
14	0,30	0,25	0,95	0,10
21	0,27	0,28	0,95	0,10
25	0,40	0,20	0,90	0,10
32	0,40	0,32	0,78	0,10
5	0,50	0,25	0,75	0,10
Probenstellen Wiederholprobenahmen				
34	0,50	0,20	0,90	0,00
26	0,37	0,25	0,88	0,10
19	0,40	0,25	0,85	0,10
12	0,41	0,26	0,84	0,09
7	0,40	0,26	0,79	0,15
13	0,47	0,23	0,83	0,07

Die durchschnittlichen Schichtmächtigkeiten kamen der Realität relativ nah. Die Oberbodenschicht wurde um 9 cm zu mächtig, das Stabilisat um 4 cm zu gering und der Sand um 4 cm zu gering angesprochen. Bei der Bewertung der Erfassung der Mergelmächtigkeit ist zu bedenken, dass dieser entsprechend dem vorgegebenen Szenario nicht durchbohrt werden sollte. Bei richtiger Profilaufnahme hätten 10 cm des insgesamt 20 cm mächtigen Mergels erfasst werden müssen. Die Spannen zwischen minimaler und maximaler Schichtmächtigkeitsansprache korrelieren, wie die durchschnittliche Schichtmächtigkeit, mit der eingebauten Schichtmächtigkeit.

In der folgenden Abb. 16 ist graphisch das Ergebnis der ermittelten Schichtgrenzen in Metern unter Geländeoberkante (Teufe in m u. GOK) dargestellt.

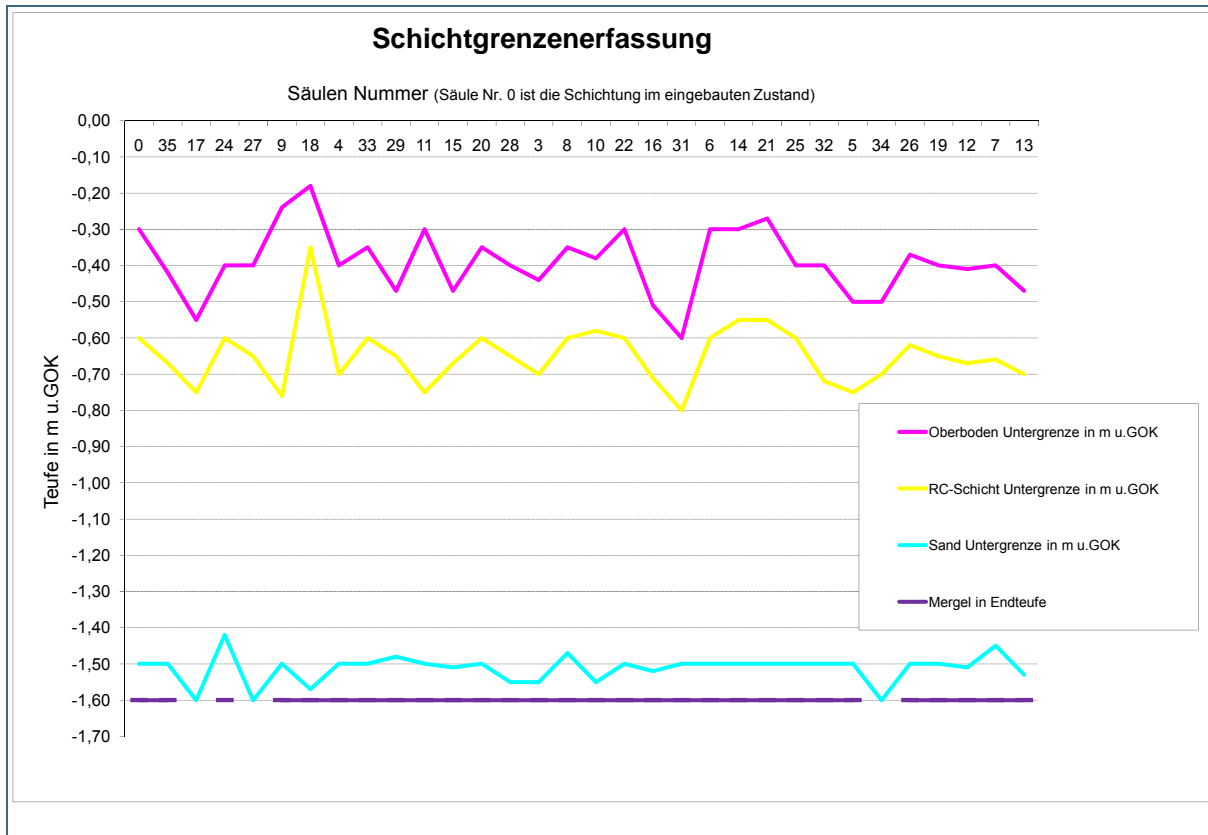


Abb. 16: Schichtgrenzenerfassung in chronologischer Reihenfolge. Bei den Säulen 17, 27 und 34 wurde in der in 1,6 m Tiefe anstehende Mergel nicht aufgeschlossen, obwohl die Sonde - entsprechend den Vorgaben - jeweils bis 1,6 m eingeschlagen worden war.

Die Säule 0 stellt die Schichtgrenzen im eingebauten Zustand dar ("Sollwert").

Die Säulen 34, 26, 19, 12, 7 und 13 wurden zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung von einer Firma bearbeitet (s. Kap. 5.3).

Die Spannen bei der Ermittlung der Schichtgrenzen sind vorwiegend auf Stauchungen des Bohrgutes zurückzuführen, die von den Teams nicht beachtet oder auf die Schichten bezogen nicht umgerechnet wurden bzw. umgerechnet werden konnten. In der folgenden Tabelle werden der Einbauwert der Schichtuntergrenze (Sollwert), der oberste Fund (Minimalwert), der durchschnittliche Wert (Durchschnitt), der unterste Fund (Maximalwert) und die Spanne dargestellt. Die Fehler der Schichtgrenzbestimmung werden zum Teil von Schicht zu Schicht und schlussendlich mit der vorgegebenen Endteufe zum Teil wieder aufgehoben.

	Oberboden	Stabilisat	Sand
Sollwert	-0,30	-0,60	-1,50
Minimalwert	-0,18	-0,35	-1,42
Durchschnitt	-0,39	-0,65	-1,51
Maximalwert	-0,6	-0,8	-1,6
Spanne	0,42	0,45	0,18
Standardabw.	0,09	0,08	0,04

Tab. 5: Streubreite der von den Teilnehmern ermittelten Schichtgrenzen [m]

In der folgenden Tab. 6 sind die Fehler bei der Schichtgrenzenbestimmung dargestellt und der Fehler-summe nach sortiert.

Tab. 6: Fehler bei der Ermittlung der Schichtgrenzen aller Bohrungen, sortiert nach Fehlersumme

Lfd. Nr. / Reihenfolge	Säule Nr.	Oberboden Fehler in m	Stabilisat Fehler in m	Sand Fehler in m	Mergel Fehler in m	Summe Fehler in m
18	22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	14	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
9	33	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
13	20	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05
23	21	0,03	0,05	0,00	0,00	0,08
16	8	0,05	0,00	0,03	0,00	0,08
28	26	0,07	0,02	0,00	0,00	0,09
24	25	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
11	11	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15
17	10	0,08	0,02	0,05	0,00	0,15
29	19	0,10	0,05	0,00	0,00	0,15
4	24	0,10	0,00	0,08	0,00	0,18
2	35	0,12	0,07	0,00	0,00	0,19
30	12	0,11	0,07	0,01	0,00	0,19
8	4	0,10	0,10	0,00	0,00	0,20
14	28	0,10	0,05	0,05	0,00	0,20
31	7	0,10	0,06	0,05	0,00	0,21
6	9	0,06	0,16	0,00	0,00	0,22
25	32	0,10	0,12	0,00	0,00	0,22
10	29	0,17	0,05	0,02	0,00	0,24
12	15	0,17	0,07	0,01	0,00	0,25
15	3	0,14	0,10	0,05	0,00	0,29
32	13	0,17	0,10	0,03	0,00	0,30
19	16	0,21	0,11	0,02	0,00	0,34
5	27	0,10	0,05	0,10	0,10	0,35
26	5	0,20	0,15	0,00	0,00	0,35
7	18	0,12	0,25	0,07	0,00	0,44
20	31	0,30	0,20	0,00	0,00	0,50
27	34	0,20	0,10	0,10	0,10	0,50
3	17	0,25	0,15	0,10	0,10	0,60

Die folgende Abb. 17 zeigt die Fehler bei der Schichtgrenzenbestimmung als Säulendiagramm. Nur zwei Firmen haben alle Schichtgrenzen exakt bestimmt. Drei Firmen haben keine Schichtgrenze richtig angesprochen.

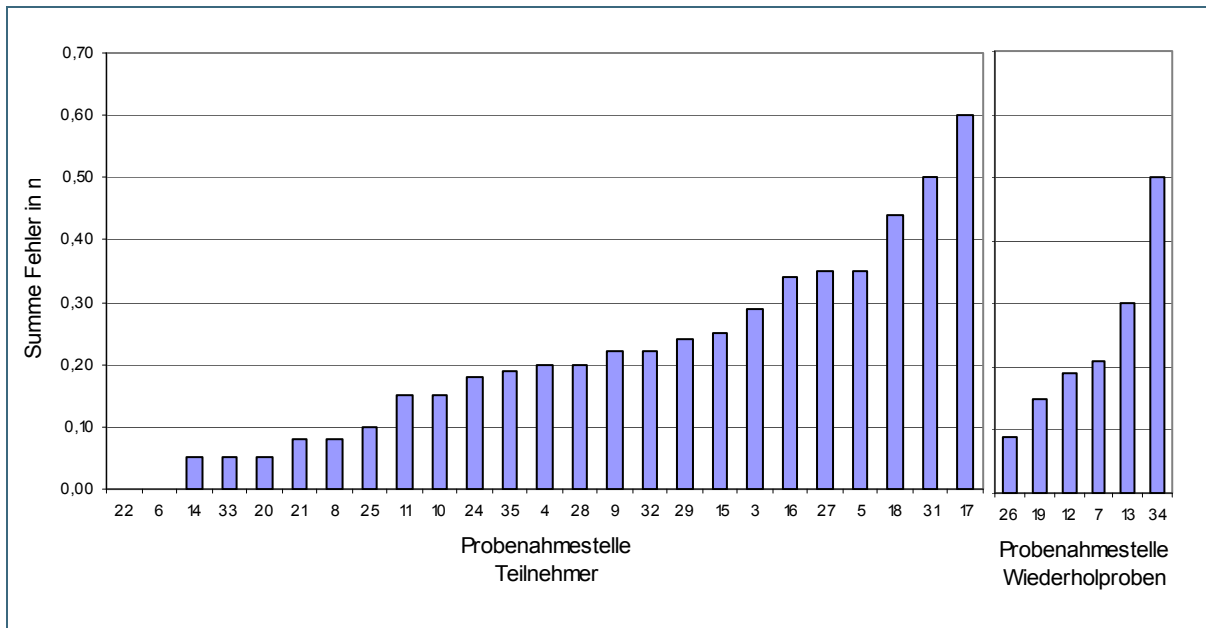


Abb. 17: Grafische Darstellung der Fehlersummen in der Ermittlung der Schichtgrenzen, siehe auch Tab. 6

Die größten Fehler wurden bei der auch unter natürlichen Verhältnissen zumeist lockerer gelagerter Oberbodenschicht festgestellt. Hier wurde die Stauchung falsch eingeschätzt oder einfach nicht umgerechnet. So wurden Schichtenverzeichnisse abgegeben, wo die Stauchung als oberste Schicht eingetragen war. Im Verhältnis zur Schichtmächtigkeit lag der geringste Fehler im Bereich der Sandschicht. Hier wurde teilweise Nachfall nicht erkannt und mit zur Schicht gerechnet.

Bei den sechs Säulen, die zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung von einer Firma bearbeitet wurden ergab sich ein durchschnittlicher Gesamtfehler von 0,24 m (s. o.), der Schichtdickenfehler der Teilnehmer lag im Mittel bei 0,22 m (s. Tab. 7).

Tab. 7: Mittlere Abweichung der ermittelten Schichtgrenzen vom wahren Wert (Fehler in [m])

Teilnehmergruppe	Oberboden	Stabilisat	Sand	Mergel	Summe
Wiederholprobenahme (n = 6)	0,13	0,07	0,03	0,02	0,24
Alle Teilnehmer (n = 26)	0,11	0,07	0,02	0,01	0,22

Von Teilnehmern wurden verschiedene Typen von Bohrhämmern eingesetzt. Bei allen verwendeten Gerätetypen wurde das Gestänge gerammt. Erhebliche Unterschiede zeigten sich aber in der Schlagzahl und der Schlagenergie. Die Daten der eingesetzten Geräte sind zum Teil nicht veröffentlicht und wurden nicht erfasst. Tendenziell lässt sich aber sagen, dass Elektrohämmer typischerweise höhere Schlagzahlen und niedrigere Schlagenergien aufweisen als Hydraulikhämmer. Bei den zum Teil eingesetzten Rammsondiergeräten mit einem 50 kg Fallgewicht ist die Schlagzahl am geringsten, die Schlagenergie am höchsten.

In der folgenden Tab. 8 sind die Fehlersummen der einzelnen Sondierungen den Bohrgeräten gegenübergestellt und der Fehlergröße nach sortiert.

Tab. 8: Fehler der Schichtgrenzenermittlung und Bohrtechnik

Lfd. Nr. / Reihenfolge	Säule Nr.	Summe Fehler in m	Bohrtechnik
18	22	0,00	Elektrohammer klein
21	6	0,00	Hydraulikhammer
22	14	0,05	Elektrohammer klein
9	33	0,05	Elektrohammer
13	20	0,05	Elektrohammer klein
23	21	0,08	Elektrohammer
16	8	0,08	Elektrohammer
28	26	0,09	Elektrohammer
24	25	0,10	Elektrohammer
11	11	0,15	Elektrohammer
29	19	0,15	Elektrohammer
17	10	0,15	Rammsondiergerät 50 kg Gewicht
4	24	0,18	Elektrohammer klein
30	12	0,19	Elektrohammer
2	35	0,19	Hydraulikhammer
14	28	0,20	Elektrohammer
8	4	0,20	Rammsondiergerät 50 kg Gewicht
31	7	0,21	Elektrohammer
25	32	0,22	Elektrohammer
6	9	0,22	Elektrohammer klein
10	29	0,24	Elektrohammer
12	15	0,25	Elektrohammer
15	3	0,29	Elektrohammer niedrige Schlagzahl
32	13	0,30	Rammsondiergerät 50 kg Gewicht
19	16	0,34	Elektrohammer
5	27	0,35	Elektrohammer
26	5	0,35	Elektrohammer
7	18	0,44	Rammsondiergerät 50 kg Gewicht
27	34	0,50	Elektrohammer
20	31	0,50	Elektrohammer klein
3	17	0,60	Rammsondiergerät 50 kg Gewicht

In der nachfolgenden Tabelle sind die durchschnittlichen Fehlersummen und die realen Stauchungen der Bohrtechnik gegenübergestellt. Es zeigt sich deutlich, dass Rammsondiertechnik für den Vortrieb von Rammkernsonden im vorliegenden Fall am ungünstigsten war.

Tab. 9: Gegenüberstellung von mittlerem Fehler in Schichtgrenzenermittlung und mittlerer Stauchungen in Abhängigkeit von der Bohrtechnik

Bohrtechnik	Stauchung in m	Summe Fehler in m
Elektrohammer niedrige Schlagzahl (1)	0,26	0,29
Elektrohammer (17)	0,29	0,21
Hydraulikhammer (2)	0,31	0,10
Elektrohammer klein (5)	0,32	0,17
Rammsondiergerät 50 kg Gewicht (5)	0,43	0,34

Die Gegenüberstellung der Fehler der Schichtgrenzenermittlung und der Stauchung zeigen keine eindeutige Korrelation (Abb. 18).

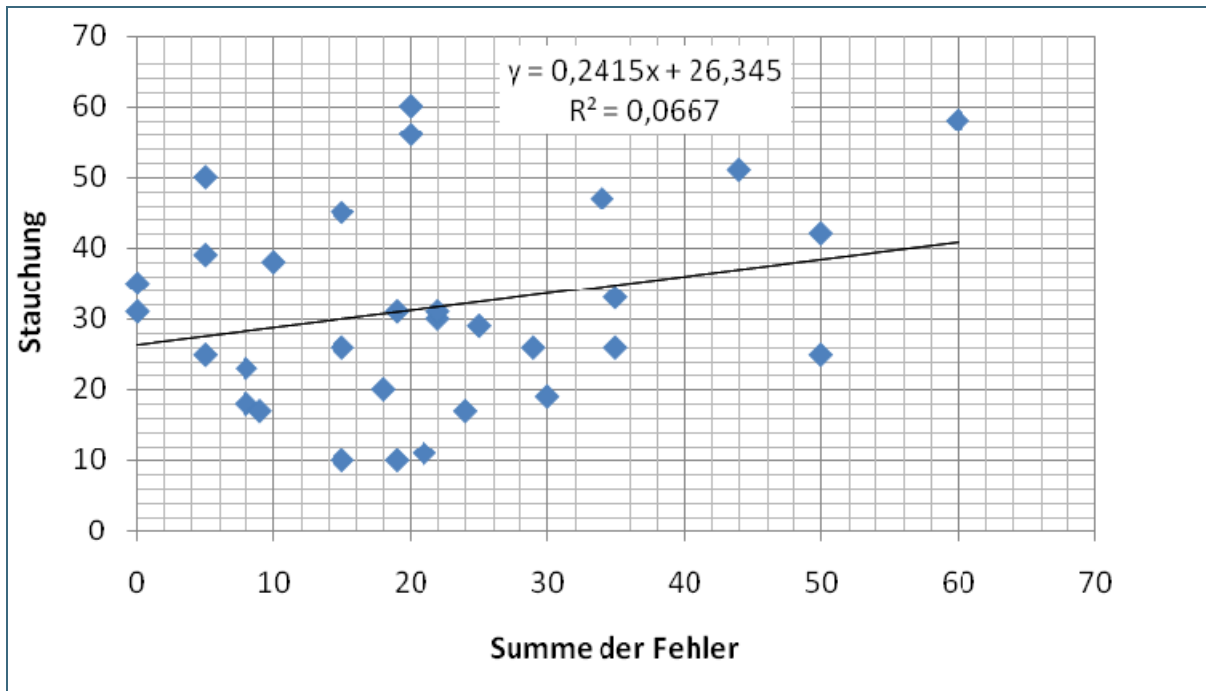


Abb. 18: Zusammenhang zwischen Stauchung und Schichtgrenzefehlersumme

Eine Korrelation von Schlagenergie und Schlagzahl mit der Stauchung bei unterschiedlichen Hammer-typen konnte nicht festgestellt werden. Signifikant größer erscheint die Stauchung durch Verwendung von Rammsondiergeräten. Eine Bewertung der verwendeten Bohrgeräte ist aufgrund zu weniger Ausgangsdaten statistisch nicht abgesichert und ohne weitere Untersuchungen nicht verallgemeinerbar. Im gewachsenen, dicht gelagerten Boden kann das Ergebnis völlig anders ausfallen.

6.3 Bodenansprache, Anwendung der KA5

6.3.1 Anwendung der bodenkundlichen Bodenansprache

Die teilnehmenden Untersuchungsstellen erhielten die Vorgabe, den Boden in einer vereinfachten Form nach KA5 [4] entsprechend einer Anwendung im nachsorgenden Bodenschutz [31] anzusprechen. Die Dokumentation sollte in einem vom ITVA entwickelten Formblatt für die Bodenansprache erfolgen [34].

In Tabelle 10 sind die von den Teilnehmern ermittelten Schichtgrenzen, sowie die Beurteilung der Arbeitweisen hinsichtlich der Stauchung, Grobbodenangabe, Bodenansprache nach KA5 und Baugrundnorm, Verwendung der Munsell-Farbtabelle und deren Bewertung zusammengefasst.

Die meisten der Teilnehmer wandten die bodenkundliche Bodenansprache nicht, unvollständig oder falsch an. Nur sechs der Untersuchungsstellen wendeten die KA5 prinzipiell richtig (23,1 %) an, wobei das noch nicht heißt, dass auch die Bodenart richtig erkannt wird (Tab. 12). Vier weitere wendeten sie teilweise richtig an (15,4 %). Dagegen arbeiteten 16 Teams vorwiegend nach der baugrundorientierten DIN-Bodenansprache (61,5 %). Von acht Teams wurde die Farbtabelle nicht eingesetzt (30,77 %), nur ein Probenehmer ging bei der Farbansprache richtig vor. Neun Teams haben den Grobbodenanteil nicht und drei Teams nicht eindeutig beschrieben (46,2%). Es traten bei allen Bohrungen Stauchungen auf, die von 15 Teams im Schichtenverzeichnis vermerkt wurden (57,75%). Vereinzelt wurden Schichten getrennt und Nachfall als Schicht oder Bänderung angesprochen. Es wurde in vier Fällen nicht dokumentenecht protokolliert (15,4%).

Tab. 10: Angaben der ermittelten Schichtgrenzen, Feststellungen und Bemerkungen

SäuleNr.	Oberboden Untergrenze in m u.GOK	Stabilisat Untergrenze in m u.GOK	Sand Untergrenze in m u.GOK	Mergel/et Untergrenze in m u.GOK	Stauchung beschrieben	Angabe Grobbo-denanteil	KA5 Bodenart-ansprache	Munsell Farbtafel eingesetzt	Ansprache nach Bau-grundnorm	Bemerkungen und Abweichungen
0	-0,30	-0,60	-1,50	-1,60						Mustersäule
35	-0,42	-0,67	-1,50	-1,60	5	5	2	2		
17	-0,55	-0,75	-1,60		5	5	4	5	2	
24	-0,40	-0,60	-1,42	-1,60	5	5	4	2	2	
27	-0,40	-0,65	-1,60		5	5	2	2		
9	-0,24	-0,76	-1,50	-1,60	5	5	4	5	2	Stabilisat- Schicht als 2 Schichten angesprochen
18	-0,18	-0,35	-1,57	-1,60	1	1	1	2		
4	-0,40	-0,70	-1,50	-1,60	5	5	1	2		
33	-0,35	-0,60	-1,50	-1,60	1	1	4	3	2	Farbe bei einer Schicht vergessen
29	-0,47	-0,65	-1,48	-1,60	1	5	4	5	2	nicht dokumentenecht
11	-0,30	-0,75	-1,50	-1,60	5	1	4	1	2	Stabilisat- Schicht als 2 Schichten angesprochen
15	-0,47	-0,67	-1,51	-1,60	5	1	4	2	2	In Sandschicht ein Schluffband gefunden, Farbe der RC-Schicht nicht bestimmt
20	-0,35	-0,60	-1,50	-1,60	5	1	4	5	2	Carbonat nicht bestimmt, Sandschicht wegen Feuchteunterschied getrennt
28	-0,40	-0,65	-1,55	-1,60	5	1	4	2	2	
3	-0,44	-0,70	-1,55	-1,60	1	1	4	2	2	
8	-0,35	-0,60	-1,47	-1,60	1	5	3	2	3	Stauchung mit Kernverlust verwechselt
10	-0,38	-0,58	-1,55	-1,60	1	1	1	2		Oberboden als zwei Schichten
22	-0,30	-0,60	-1,50	-1,60	1	1	1	2		nicht dokumentenecht
16	-0,51	-0,71	-1,52	-1,60	1	5	4	2	2	
31	-0,60	-0,80	-1,50	-1,60	1	3	4	2	2	
6	-0,30	-0,60	-1,50	-1,60	5	3	4	2	2	
14	-0,30	-0,55	-1,50	-1,60	1	3	3	5	2	nicht dokumentenecht
21	-0,27	-0,55	-1,50	-1,60	1	1	1	2		
25	-0,40	-0,60	-1,50	-1,60	1	1	4	5	2	nicht dokumentenecht
32	-0,40	-0,72	-1,50	-1,60	1	1	4	5	2	
5	-0,50	-0,75	-1,50	-1,60	1	1	4	5	2	im Sand zwei Schichten – vermutlich Nachfall als eigene Schicht angesprochen
Wiederholprobenahmen										
34	-0,50	-0,70	-1,60		1	1	1	2		Nachfall benannt
26	-0,37	-0,62	-1,50	-1,60	5	1	1	2		Sand als zwei Schichten angesprochen
19	-0,40	-0,65	-1,50	-1,60	1	1	1	2		Sand als zwei Schichten angesprochen
12	-0,41	-0,67	-1,51	-1,60	1	1	1	2		Sand als zwei Schichten angesprochen
7	-0,40	-0,66	-1,45	-1,60	1	1	1	2		Sand als zwei Schichten angesprochen
13	-0,47	-0,70	-1,53	-1,60	1	1	1	2		Sand als zwei Schichten angesprochen

Die Bewertung erfolgt von 1 "sehr gut" bis 5 "ungenügend , nicht vorhanden

6.3.2 Ansprache der Feinbodenart

Die Feinbodenart war laut vorgegebenem Schichtenverzeichnisvordruck nach KA5 anzusprechen. Zur genauen Ermittlung der Feinbodenarten wurde eine Sieb-/Schlamm-Analyse am Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführt, deren Ergebnis in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt ist.

Tab. 11: Verteilung der Korngrößenfraktionen und Feinbodenarten nach KA5 in den eingesetzten Materialien

	Oberboden	Stabilisat	Sand	Mergel
S [%]	14,5	63,4	71,6	11,6
gS [%]	0,4	11,1	20,1	1,4
mS [%]	1,1	26	38,4	4,9
fS [%]	13	26,3	12,7	5,4
U [%]	74,9	26,8	1,9	53,4
T [%]	9,9	5,5	0,4	28,9
Nach KA5	Ut2	Su3	mSgs	Tu3

Die aus der Siebung bestimmten Feinbodenarten sind in der ersten Zeile der folgenden Tabelle dargestellt. Darauf folgen die Anspracheergebnisse von 30 Säulen. Eine Bohrung wurde wegen einbrechender Dunkelheit nicht abschließend angesprochen. Es handelte sich um eine der sechs Säulen, die von einer Firma bearbeitet wurden (Wiederholprobenahme). Die Kürzel entsprechen den Aufzeichnungen in den Schichtenverzeichnissen. Da nur die handschriftlichen Geländeprotokolle ausgewertet wurden, sind einzelne Übertragungsfehler aufgrund schlechter Lesbarkeit nicht ganz auszuschließen.

Tab. 12: Bodenansprachen der Teilnehmer (Feinbodenart), „wahrer Wert“: Einstufung nach Sieb- und Schlamm-analyse, Übereinstimmungen sind grün markiert

Säule Nr.	1. Oberboden	2. Stabilisat	3. Sand	4. Mergel	In Grafiken Abb. 19 bis Abb. 22 verwendet ¹ q
wahrer Wert	Ut2	Su3	mSgs	Tu3	
35	Sl2	SU2	mSgs	TI	1,2,3,4
17	A(U,s)	A(U,s)	S,u'		
24	U,fs2,gs1	U3,fs2,ms1	mS,fs2,gs1	U5,fs2,gs1,t1	
27	Uls	Su4	mSfs	Lts	1,2,3,4
9	U,fs,t'	U,Fs,t	mS,fs	U,t,fs'	3
18	Ls3	Ls2	mSgs	LTI	1,2,3
4	Ut2	Uls	Ss (mSgs)	Tu2	1,2,3,4
33	U,fs3,t1	fS.u3	mS,fs2,u1	U,t2,s1	
29	U,fs,t'	fsU	S	tL	4
11	A:(U,t'')	A:(U,fs',fg')	A:(mS,fs,u',fg-fg')	T,u',s'',fg''	
15	mU (Us)	fU,mu	Ut2	Tu3	1,3,4
20	U,t'	T,u-		Tu-	
28	Slu	Lu	fSgs	TU4	1,2,3,4
3	Ufs2	fSu4	fSms3	U	2,3
8	Ut2	Ts2	fSmS	TI	1,2,3,4
10	Sl3	Su2	Ss (mSgs)	Uls	1,2,3,4
22	Su4	Slu	Ss	TI	1,2,3,4

¹ 1 = Oberboden, 2 = Stabilisat, 3 = Sand, 4 = Mergel

16	Us	fSms	mS	Lu	1,2,3,4
31	fs,u	fs,u	Fs	T	1,2
6	U,t (Ut4)	U,s,t,fG (LU)	S,u	T,u	2,3,4
14	Us bis Ls	A(Slu)	mS	Lt3	1,2,3
21	Us	Us	fS-mS	fT-gT	
25	U,fs	fS,u*	S,q'	T,u',fs',g'	
32	A(Uls)	A(fSu2)	A(mS-fS)	A(lts)	
5	A(ut)	A(U+fS)	A(mS+fS)	A(Tu)	
Wiederholprobenahmen					
34	SI3	Su3	Ss		1,2,3
26	SI3	SI4	Ss	Lt2	1,2,3,4
19	SI3	SI3	Ss	Lt2	1,2,3,4
12	SI4	SI3	Ss	Lt2	1,2,3,4
7	SI3	SI3	Ss	Ls3	1,2,3,4

Bemerkenswert hierbei ist, dass der Wiederholprobennehmer jede Ansprache nacheinander gewissenhaft ohne Berücksichtigung seiner vorangegangenen Ansprachen durchgeführt hat. Die Streubreite seiner Ansprachen kann somit näherungsweise als Systemanteil im Sinne von Kapitel 6.1 betrachtet werden.

Die angegebenen Bodenarten entsprechen häufig nicht genau den Kürzeln, die in der KA5 vorgegeben sind, dennoch lässt sich zum Teil ableiten, wie das Verhältnis von Sand, Ton und Schluff beurteilt wurde, bzw. welche Bodenart nach KA5 „gemeint war“. In der Tabelle 12 ist in der rechten Spalte angegeben, welche Angaben zur Bodenart bei der grafischen Auswertung (Abbildung 14 bis Abbildung 17) der Streubreite der Bodenansprache verwendet wurden.

Den Oberboden haben zwei Teams richtig angesprochen. Insgesamt wurde tendenziell der Sandanteil überschätzt (Abb. 19).

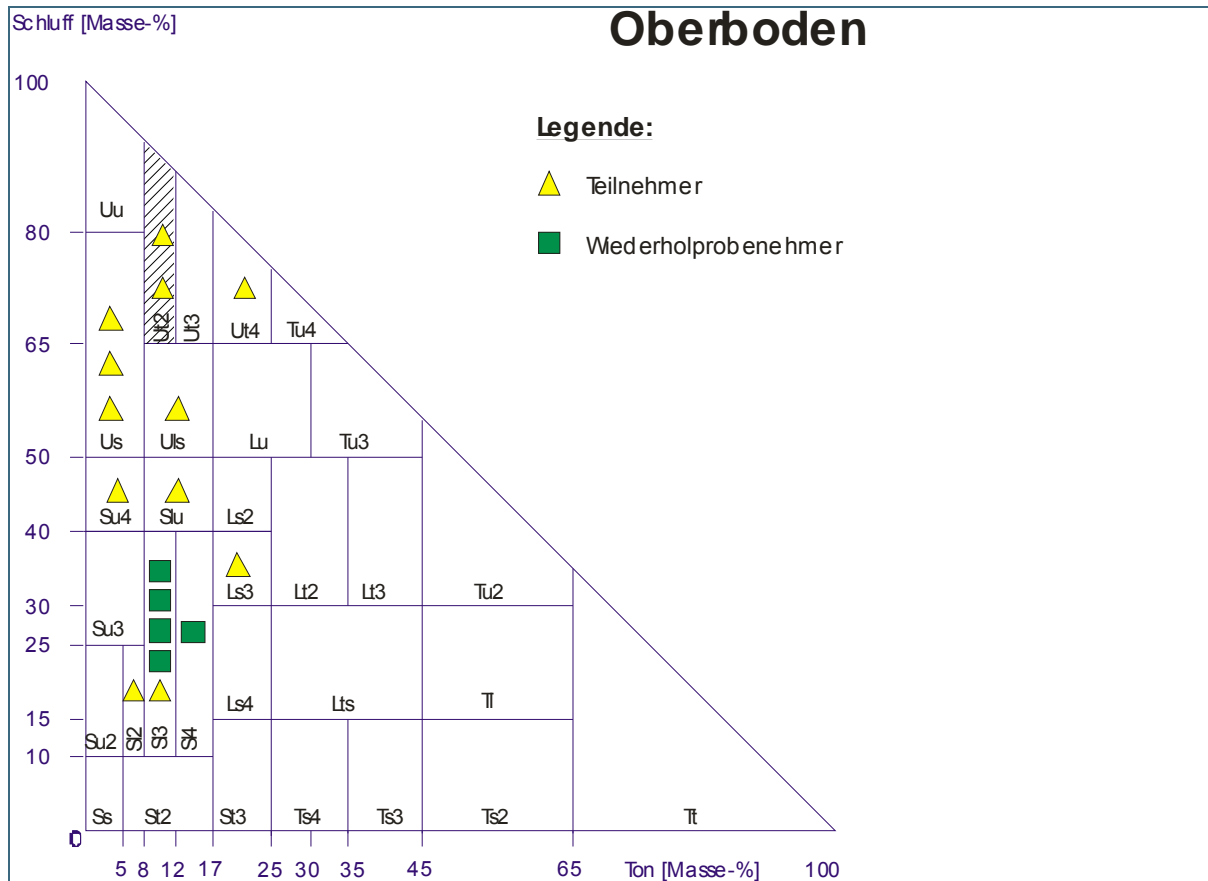


Abb. 19: Darstellung der Streubreite der durchgeführten Ansprachen im Oberboden auf Grundlage des Feinbodenartendiagramm der KA5, Abb. 17, schraffiertes Feld: Bodenart nach Kornverteilung („wahrer Wert“) (Verwendete Bodenansprachen siehe Tab. 12, rechte Spalte)

Eine Firma hat die Feinbodenart des technogenen Substrats „Stabilisat“ richtig erkannt. Bei den anderen Teilnehmern zeigt sich eine schwache Tendenz zur Unterschätzung des Sandanteils zugunsten der Schlufffraktion (Abb. 20).

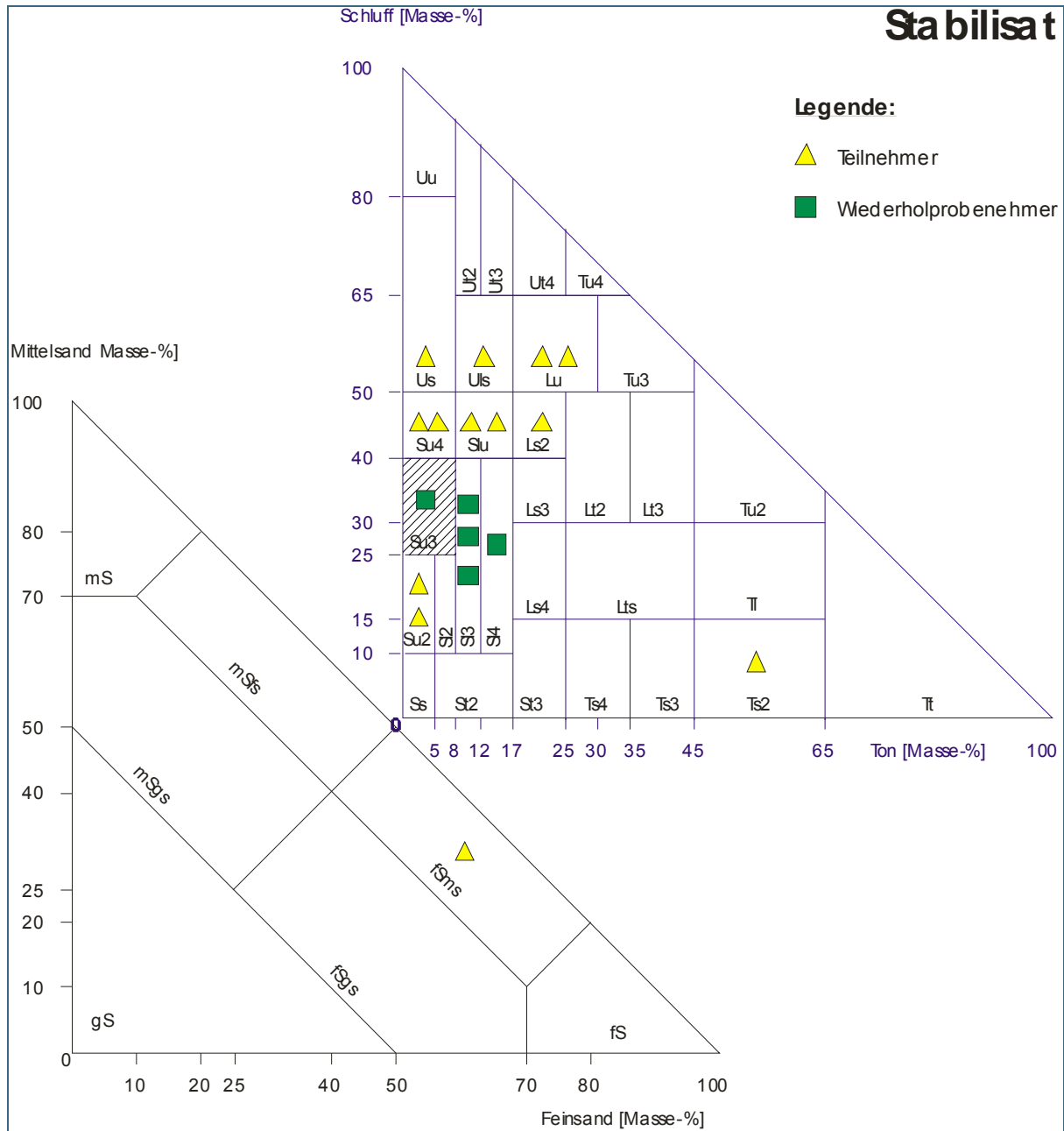


Abb. 20: Darstellung der Streubreite der durchgeführten Ansprachen im Stabilisat auf Grundlage des Feinbodenartendiagramm der KA5, Abb. 17 und der Sandunterteilung Abb. 18 KA5, schraffiertes Feld: Bodenart nach Kornverteilung („wahrer Wert“) (Verwendete Bodenansprachen siehe Tab. 12, rechte Spalte)

Die Sandschicht wurde zweimal richtig angesprochen, wobei zwei Firmen Ss in Klammern mSgs weiter untersetzten. Damit kann man von vier richtigen Schichtansprachen sprechen. Beim Sand wurde von den meisten Teilnehmern der Grobsandanteil unterschätzt. Bei sechs Bodenansprachen wurde nicht zwischen Fein-, Mittel- und Grobsand differenziert (Abb. 21).

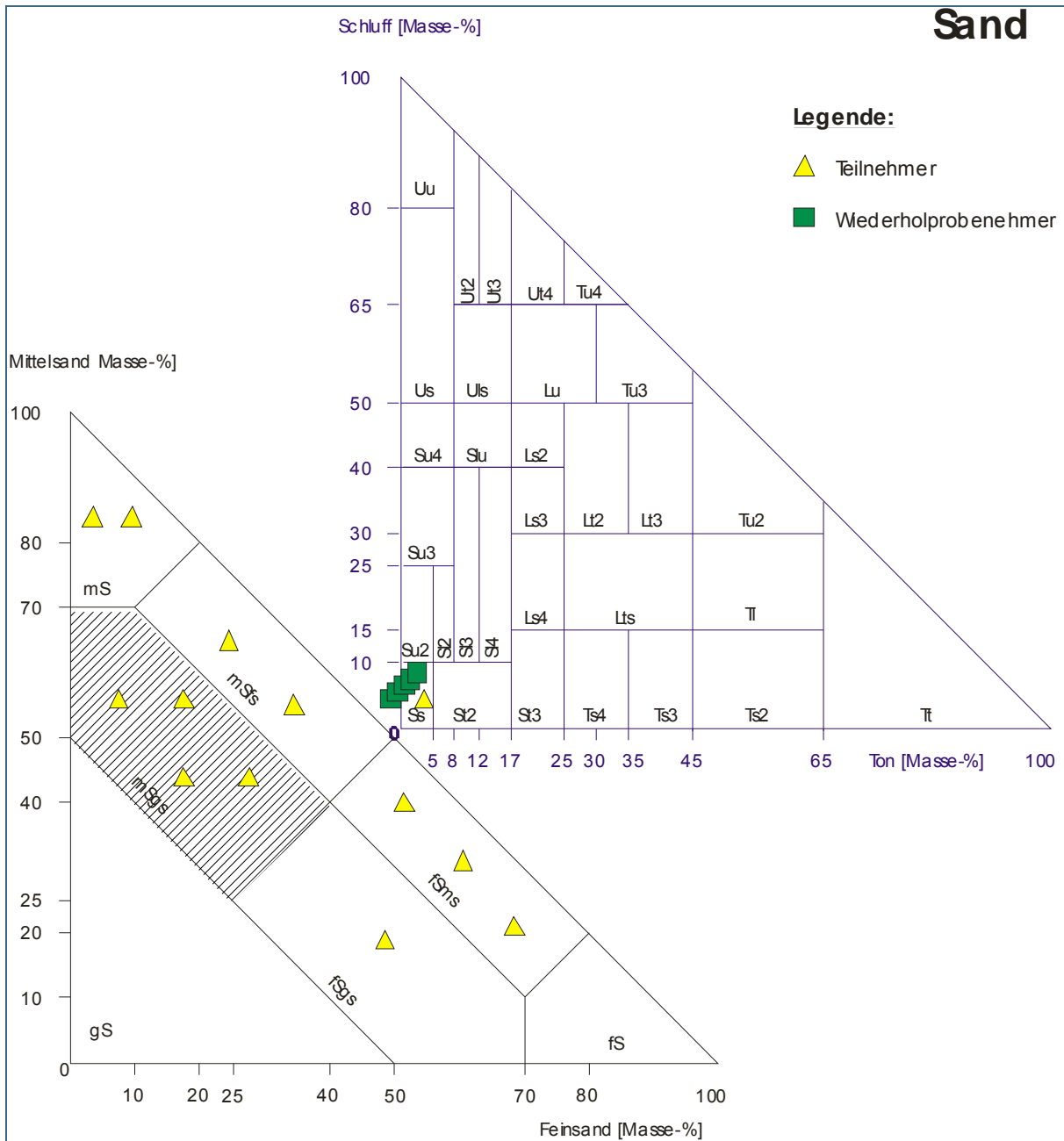


Abb. 21: Darstellung der Streubreite der durchgeführten Ansprachen im Sand auf Grundlage des Feinbodenar- tendiagramm der KA5, Abb. 17 und der Sandunterteilung Abb. 18 KA5, schraffiertes Feld: Bodenart nach Kornverteilung („wahrer Wert“) (Verwendete Bodenansprachen siehe Tab. 12, rechte Spalte)

Der Mergel wurde nur einmal nach KA5 exakt angesprochen. Im Mergel neigen die meisten Teilneh- mer zu einer Überschätzung des Tonanteils (Abb. 22).

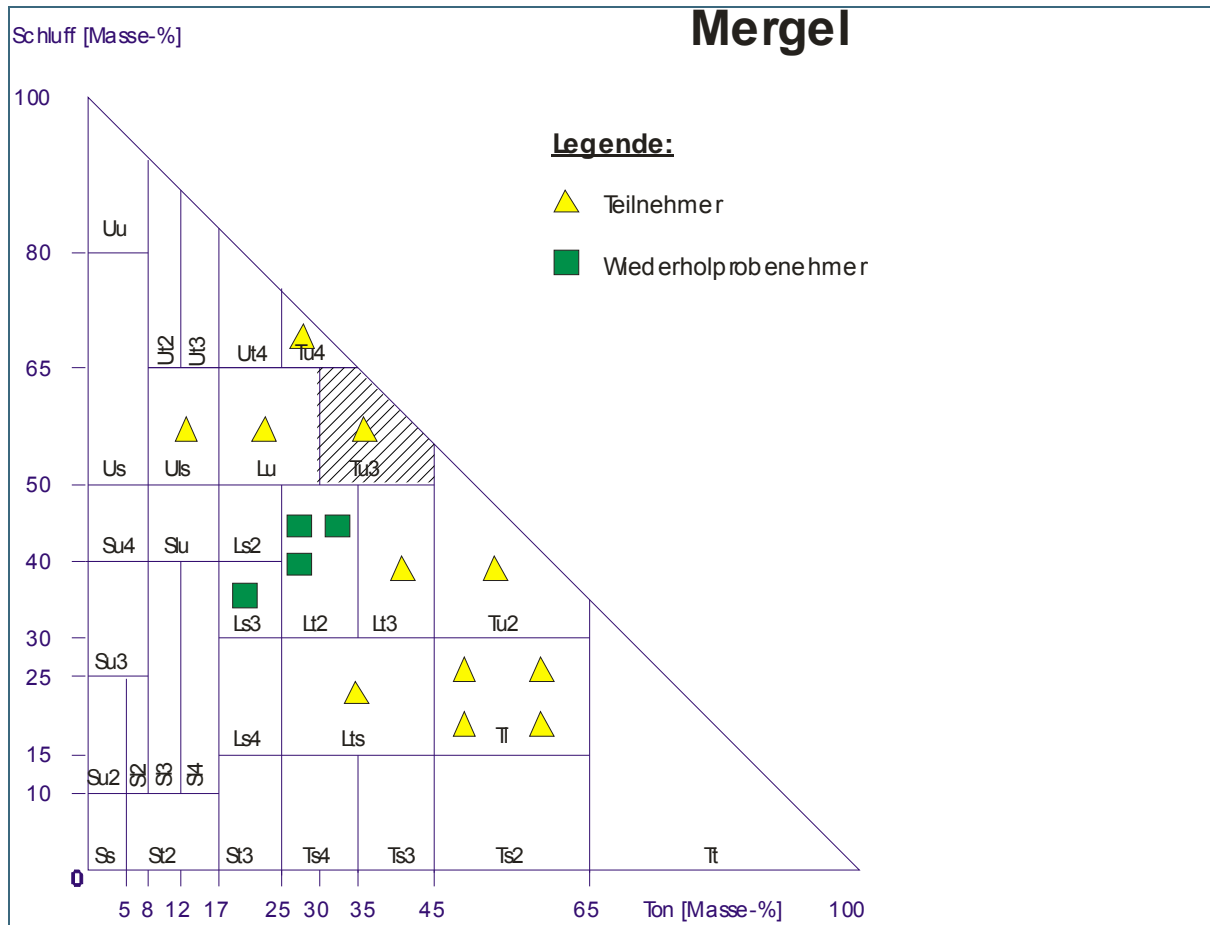


Abb. 22: Darstellung der Streubreite der durchgeführten Ansprachen im Mergel auf Grundlage des Feinbodenartendiagramm der KA5, Abb. 17, schraffiertes Feld: Bodenart nach Kornverteilung („wahrer Wert“) (Verwendete Bodenansprachen siehe Tab. 12, rechte Spalte)

Nur ein Teilnehmer hat zwei Schichten (Oberboden und Sand in Säule Nr. 4) richtig beschrieben. Sechsmal wurde zumindest eine Schicht richtig angesprochen, 23 Teilnehmer haben in keinem Fall die Bodenart exakt bestimmt.

6.3.3 Ansprache der Grobbodenart

Die Ergebnisse der Ansprache der Grobbodenarten sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Siebung wurde nur im Feinkornbereich kleiner 2 mm untersetzt. Damit lässt sich das Ergebnis nicht so detailliert auswerten.

Tab. 13: Bodenansprachen der Teilnehmer (Grobbodenart)

Säule Nr.	Oberboden	Stabilisat	Sand	Mergel
G [%]	0,7	4,2	26,1	6,1
Stufe (KA5)	1	2	4	2
35			fG2	
17	g')	fg')	fg	
24				
27	fg1mg1	fgy1	fg2-3	
9				
18				
4				

33			fg2	fg1
29	fG-mG		fG	
11				
15	f,s'	fs'	mS,gs	Gs
20	fS,ms,fg'	fs	fS.ms-,gs	gs',fg,ms'
28	fG2 mG1	fG1 mG1	fG3	
3	fg2		fg3	
8			fGr	
10	fGr mGr1		fG3	fG2
22	gfG3, mG2	fG1	fG4	fG1
16			fgr	mG, gG
31	mg		fg-mg	
6		fSgs	mSgS(fg)	gS
14			fg	
21	g1		g1	g2-g3
25				
32	fG2			fG1
5		g'		
34		fGr1	fG1	fG3
26	fG2		fG1	fG2
19	fG,mG2		fG1	fG2
12	fG1	fGr1	fG1	fG2
7	fG1	fGr1	fG1	fG2

6.3.4 Weitere Bodenmerkmale

Dort, wo die Farbe nach Munsell angesprochen wurde, kam es in einigen Fällen zu Schreibfehlern, die auf ungeübte Handhabung der Farbtabelle hinweisen. Generell ist bei der Farbensprache die absolute richtige Farbe nicht bestimmbar. Durch die Hauptfehler bei der Farbensprache, wie Ablesen in praller Sonne und ohne Anfeuchten, sowie durch die wechselnde Witterungs- und Tageslichtsituation ergibt sich ein subjektives Bild. Dabei spielt obendrein das persönliche Sehvermögen eine große Rolle. Nur das Team an der Säule 11 hat den Boden angefeuchtet und nicht in der Sonne angesprochen. Diese Ergebnisse könnten zur Orientierung genutzt werden.

Die weiteren Angaben, wie technogene Beimengungen, Bohrfortschritt, Humus, Geruch, Feuchte, Redoxmerkmale und Gefüge wurden zum größten Teil ausgefüllt. Dabei hielt man sich in ähnlicher, schon vorher beschriebener Weise wenig an die KA5 Vorgaben.

7 Auswertung der Laborergebnisse

7.1 Auswerteansatz

Im Projekt sollte ermittelt werden, ob eine vergleichende Bewertung der Ergebnisse unterschiedlicher Probenehmer möglich ist. Die Bewertung sollte anhand herkömmlicher robuster Methoden nach DIN 38402-45 (A45) [30], wie sie für laboranalytische Ringversuche in der Wasseranalytik und den länderübergreifenden Bodenringversuchen gemäß den Fachmodulen Wasser, Boden und Abfall angewandt wird, erfolgen.

Für die Bewertung der Teilnehmer mussten die Anteile, die zur Varianz der Ergebnisse beitragen, bekannt sein.

Die Varianz der Ergebnisse der einzelnen Probenehmer hängt neben dem

1. individuellen Einfluss des einzelnen Probenehmers
- von der
2. Probenahmetechnik bedingten Streuung,
 3. Homogenität der beprobten Materialien,
 4. Variabilität des Probenahmeortes (hier Versuchsaufbau) und
 5. Genauigkeit des verwendeten laboranalytischen Bestimmungsverfahrens

ab (Abb. 23).

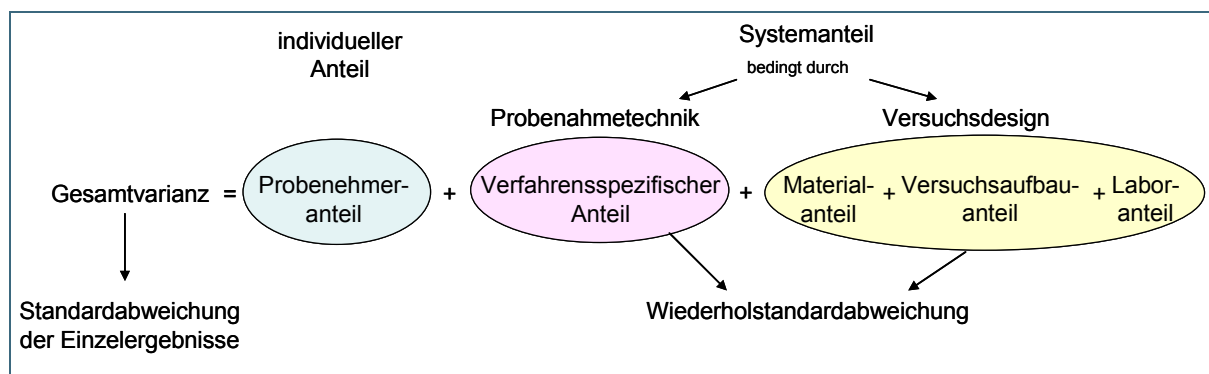


Abb. 23: Zusammensetzung der Ergebnisvarianz

Für eine Probenehmerbewertung sollte der Systemanteil an der Gesamtvarianz zum einen möglichst gering sein. Dies konnte durch

- die Auswahl von Materialien, die in Voruntersuchung eine hohe Homogenität zeigten,
- künstliche Bodenprofile, die standardisiert erstellt wurden, sowie
- Metalle als Zielanalyten und deren
- Bestimmung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse

erreicht werden.

Zum anderen sollte der versuchsdesignspezifische Anteil an der Gesamtvarianz möglichst genau bestimmt werden. Hierfür wurden beim Einbau der jeweiligen Materialien in jede einzelne Probenahmestelle Referenzproben genommen und analysiert.

Weiterhin war zu beachten, dass das anzuwendende Probenahmeverfahren, hier Kleinrammbohrung oder „Rammkernsondierung“ mittels 60 mm Sonde, an sich eine gewisse Ergebnisstreuung mit sich bringt. Diese wurde, durch die Ermittlung der Wiederholstandardabweichung (5 Wiederholungen) durch einen erfahrenen Anwender des vorgegebenen Verfahrens erfasst.

Die Ermittlung der individuellen Wiederholstandardabweichung durch Mehrfachbestimmung jedes einzelnen Probenehmers, wie es bei laboranalytischen Ringversuchen gefordert werden kann, war auf Grund des immensen Aufwands hier nicht möglich.

7.2 Chemisch-physikalische Charakterisierung der verwendeten Materialien

Die Ergebnisse der Sieb-/Schlammanalyse und die Gehalte an organischem Kohlenstoff sind in Tab. 14 aufgelistet.

Tab. 14: Korngrößenanteile und TOC-Gehalte nach Verbrennungsanalyse der verwendeten Materialien

	Ton <2 µm	Schluff 2 - 63 µm	Sand 63 µm - 2 mm	Kies >2mm	TOC (mg/kg)
Oberboden	10	75	15	<1	5,9
Stabilisat	6	27	63	4	17
Sand	<1	2	72	26	< 1,8*
Mergel	29	53	12	6	< 2,6*

* Bestimmungsgrenze abhängig vom Carbonatgehalt

Der hohe TOC-Gehalt im Stabilisat wird durch den Gehalt an elementarem Kohlenstoff verursacht.

Die Elementgehalte der verwendeten Materialien (Mittelwert) und deren relative Standardabweichung sind in Tab. 15 zusammengestellt.

Tab. 15: Ergebnisse der Elementgehaltsbestimmung aus den Referenzproben mittel RFA

	Mittelwert (35 Werte)				relative Standardabweichung (35 Werte)			
	Oberboden	Stabilisat	Sand	Mergel	Oberboden	Stabilisat	Sand	Mergel
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%
Al	25954,29	<15000	<1500	57025,71	15,90	-	-	13,99
As	<5	32,76	<5	15,74	-	21,44	-	27,87
Ba	211,09	518,29	167,82	507,40	20,95	14,08	33,24	18,17
Br	4,24	741,00	2,10	2,00	26,67	5,18	14,73	0,00
Ca	147685,71	215857,14	157914,29	55885,71	8,55	11,64	10,48	20,07
Cl	<500	108525,71	<500	<500	-	17,08	-	-
Co	<50	52,00	<50	62,00	-	-	-	-
Cr	57,91	150,37	41,26	98,00	11,91	26,53	34,07	10,98
Cu	16,17	307,11	7,21	31,80	15,98	6,04	14,54	9,55
Fe	15717,14	34071,43	8879,14	42042,86	9,75	14,54	8,20	7,06
K	8996,00	33357,14	4603,43	19308,57	11,02	13,29	11,64	11,25
Mg	26154,29	3618,13	34571,43	19131,43	10,82	31,78	13,85	9,51
Mn	575,63	427,83	207,83	900,14	10,94	11,30	11,16	16,29
Na	4285,43	41602,94	5306,57	4512,29	15,88	59,97	18,15	15,29
Ni	26,63	125,49	17,00	48,66	12,12	38,49	-	10,68
P	429,73	2440,57	<300	414,18	28,62	19,53	-	18,71
Pb	17,40	1550,00	10,33	27,83	15,97	4,64	4,84	8,56
Rb	49,83	62,46	28,31	113,40	10,97	9,13	4,43	6,21
S	<500	34685,71	<500	<500	-	21,83	-	-
Sb	13,09	221,14	18,00	13,71	18,22	11,14	37,95	26,53
Se	<2	14,91	<2	<2	-	14,76	-	-
Si	128342,86	<20000	66400,00	192914,29	10,61	-	17,82	11,24
Sn	15,33	232,91	14,81	14,53	30,83	10,39	33,37	22,71
Sr	257,60	446,09	192,31	91,17	3,00	6,38	5,00	6,26
Ti	2186,57	1299,38	1098,82	4322,86	9,79	12,31	5,54	10,58
U	10,90	11,12	10,47	10,48	5,97	8,64	11,19	7,18
V	48,51	<20	23,27	125,09	22,92	-	14,75	11,90
W	<10	<10	<10	<10	-	-	-	-
Y	28,37	14,94	20,37	41,94	4,28	5,12	4,78	6,36
Zn	41,91	5868,86	20,96	92,54	14,81	6,45	6,97	7,27
Zr	140,86	35,76	51,23	190,83	18,58	26,96	32,93	17,58

7.3 Beurteilung der Datenqualität

Durch Analyse von Stichproben aus jeder einzelnen der vier eingebauten Schichten aller 35 Probenahmestellen ergaben sich insgesamt 140 Referenzproben. Hohe relative Standardabweichungen traten nur auf bei Elementen niedriger Ordnungszahl, da hier die RFA nicht ideal geeignet ist, und bei Elementen, deren Gehalte nahe der Bestimmungsgrenze liegen.

Alle Datensätze aus den Referenzbestimmungen, den Wiederholbeprobungen und den Teilnehmerwerten erwiesen sich als sehr stabil, es musste kein Einzelwert als Ausreißer von der Auswertung ausgenommen werden.

Der vollständige Datensatz ist in Anlage 1 zusammengestellt.

Die Ergebnisse (Mittelwerte) und relative Standardabweichungen der Referenzwertbestimmung, Wiederholbeprobungen und Teilnehmerprobenahmen sind in Tab. 16 dargestellt.

Tab. 16: Mittelwerte [mg/kg] und relative Standardabweichungen (rel. Stabw.) [%] der Analyseergebnisse der Referenz-, Teilnehmer und Wiederholexperimentproben

	Referenz	Teilnehmer	Wiederholexp.	Referenz	Teilnehmer	Wiederholexp.	Referenz	Teilnehmer	Wiederholexp.	Referenz	Teilnehmer	Wiederholexp.
	Oberboden			Stabilisat			Sand			Mergel		
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Fe	15717	15660	14680	34071	39084	37180	8879	9247	7890	42043	38804	35120
K	8996	9209	8116	33357	25016	20680	4603	4702	4180	19308	17248	16160
Pb	17,4	18,2	16,5	1550,0	1660,0	1660,0	10,3	10,8	10,0	27,8	30,3	80,4
Zn	41,9	49,6	43,2	5868,9	6284,4	5988,0	21,0	24,3	22,5	92,5	88,3	263,4
	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]	rel. Stabw. [%]
Fe	9,75	5,55	5,54	14,54	7,18	4,19	8,20	7,66	7,49	7,06	5,47	6,76
K	11,02	10,28	2,11	13,29	10,84	15,22	11,64	7,99	5,36	11,25	7,65	12,87
Pb	15,97	25,68	18,18	4,64	3,51	4,00	4,84	10,29	0,00	8,56	6,17	1,19
Zn	14,81	32,22	10,27	6,45	5,18	1,65	6,97	20,35	3,14	7,27	7,08	1,73
Mittelwert	13	18	9	10	7	6	8	12	4	9	7	6

Hierbei ist zu beachten, dass 5 Teilnehmer die Sandschicht, die mit dem ersten Sondiermeter und die, die mit dem zweiten Sondiermeter aufgeschlossen wurden, getrennt beprobt haben. Weiterführende Vergleiche zwischen den Teilnehmern erfolgten mit Daten der oberen Sandprobe. Mögliche Verschleppungen aus der über dem Sand eingebauten Stabilisatschicht sollten besonders im oberen Bereich der Sandschicht auftreten. Dies wurde bei keinem dieser 5 Teilnehmer festgestellt.

7.4 Streubreiten der Daten

Für die vergleichende Bewertung der Teilnehmerergebnisse wurden die Gehalte der Elemente Blei, Eisen, Kalium und Zink herangezogen, da diese besonders hohe relative Unterschiede zwischen den eingebauten Materialien aufwiesen.

Die relative Standardabweichung der Referenzdaten als Maß für den systembedingten Anteil an der Schwankung der Gesamtergebnisse betrug für die betrachteten Metalle nur 5 bis 16 %.

Das Ziel eines geringen versuchsdesignspezifischen Anteils der Ergebnisvarianz wurde damit erreicht.

Als ebenso stabil erwies sich der Datensatz, der sich aus der 5-fach-Wiederholung zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung ergab. Hierbei zeigte sich sogar eine geringere Standardabweichung als aus den Referenzwerten.

Die relativen Standardabweichungen der auswerterelevanten Metalle liegen zwischen 3 und 32 % mit Mittelwerten zwischen 4 und 18 %. Damit liegt die Qualität der Datensätze in Bereichen, wie sie für Routine-Ringversuche für Abwasseruntersuchungen erreicht werden.

Die Anwendung der A 45 zur Ringversuchsauswertung ist somit geeignet. Demnach wurde die Vergleichsstandardabweichung, die die Grundlage der Bewertung der Teilnehmer bildet, nach Anwendung der robusten Q-Methode (keine ideale Gaussverteilung der Daten notwendig, Ausreißer müssen nicht eliminiert werden) ermittelt.

7.5 Zielwertermittlung

Als weiterer Schritt wurde geprüft, welcher Zielwert als Basis für eine Ringversuchsbewertung geeignet ist.

Hierfür wurden zunächst die relativen Standardabweichungen der einzelnen Datensätze verglichen (Tab. 15) und auf Plausibilität geprüft.

Entsprechend den Erwartungen an Ringversuche mit erfahrenen Verfahrensanwendern, weisen die Ergebnisse des Wiederholexperiments eine geringere Standardabweichung auf als die Ergebnisse der Teilnehmer.

Entgegen den Erwartungen an laboranalytische Ringversuche ist jedoch die relative Standardabweichung der Referenzwerte größer als die des Wiederholexperiments und teilweise sogar der Teilnehmer. Der Vergleich der Ergebnisse der Referenzwerte und der Teilnehmer ist in Abb. 24 dargestellt.

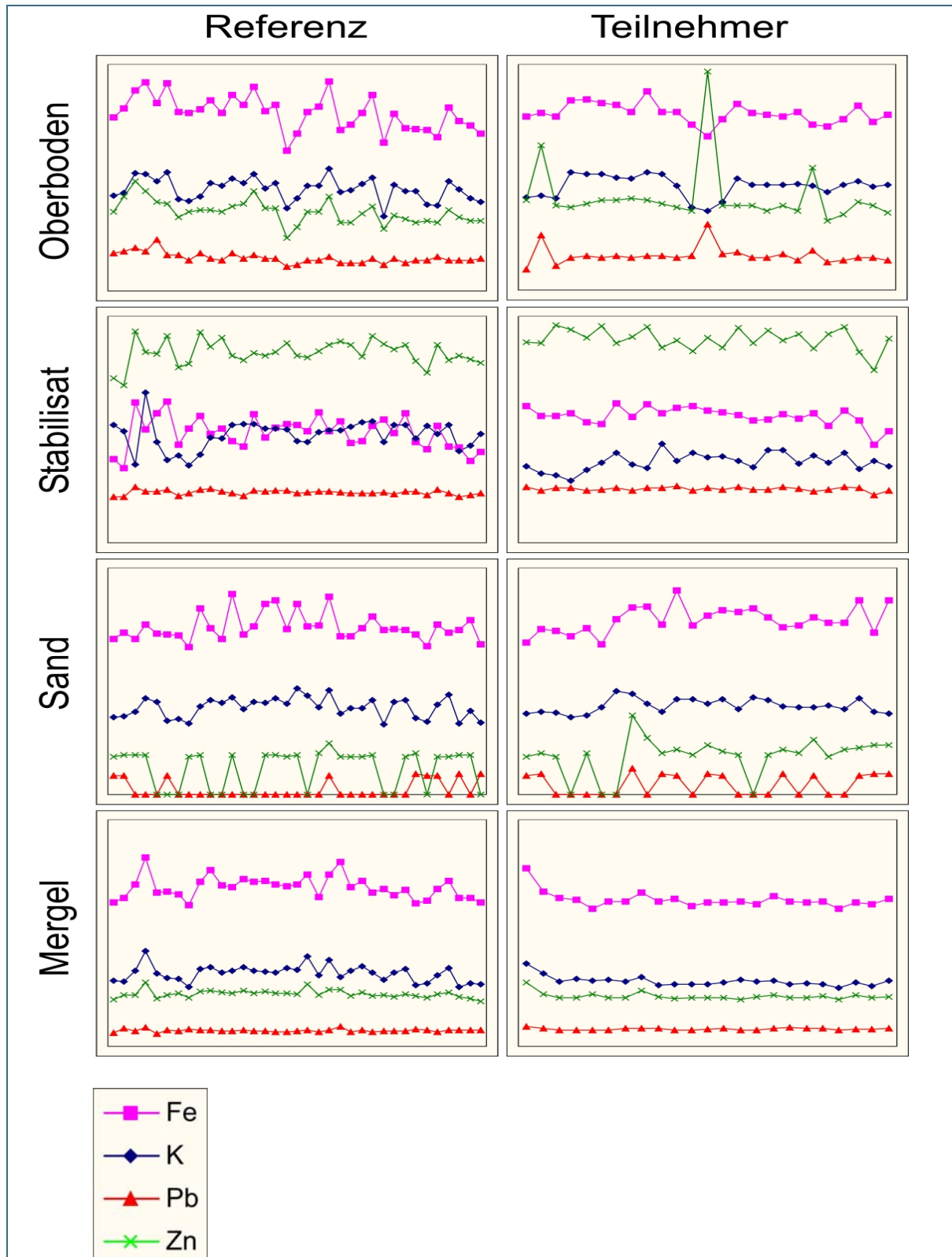


Abb. 24: Vergleich der Analysenergebnisse der Referenzmessungen und der Teilnehmer für die Elemente Eisen, Kalium, Zink, Blei

Die größere relative Standardabweichung der Referenzwerte ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass die Referenzwerte aus Stichproben des in die jeweilige Probenahmestelle eingebauten Materials gewonnen wurden. Von den Teilnehmern und im Wiederholexperiment wurden dagegen jeweils Querschnittsproben der angetroffenen Bodenschicht gewonnen.

Die Mittelwerte aus dem Wiederholexperiment sind trotz deren geringen relativen Standardabweichungen nicht als Zielwerte geeignet. Hierfür müsste der „Wiederholprobenehmer“ den Status eines Referenzlabors besitzen und vorab auf Ausschluss von systematischen Fehlern geprüft sein.

Im Durchschnitt ist die Streuung der Referenzproben (rel. Stabw. = 11 %) qualitativ nicht besser als die der Teilnehmer (rel. Stabw. = 10 %). Da die Wahl des Analysenverfahrens in erster Linie hinsichtlich guter Relativmessungen zur Ermittlung von Verschleppungen gewählt wurde, ist der Mittelwert aus den Referenzmessungen quantitativ nicht besser als der Mittelwert der Teilnehmer.

Die hohe Anzahl der Teilnehmer ermöglicht die Bewertung der Teilnehmer nach der herkömmlichen Methoden laboranalytischer Ringversuche auf Basis eines Zielwertes, der aus den Ergebnissen der Teilnehmer selbst ermittelt wird (Hampelschätzer, DIN 38402-45). Aus der Anwendung des Hampelschätzers ergibt sich der Zielwert aus einem robusten mathematischen Verfahren, bei dem Extremwerte und seitenschiefe Verteilung von Daten besonders berücksichtigt werden.

Aufgrund der Anwendung der robusten Auswertemethoden sind der Zielwert nicht mit dem arithmetischen Mittelwert und die Vergleichsstandardabweichung nicht mit der normalen Standardabweichung identisch.

8 Statistische Bewertung der gewonnenen Daten

Mit den laboranalytischen Ergebnissen wurde zunächst ermittelt, ob bei einzelnen Teilnehmern Verschleppungen aufgetreten sind. Des Weiteren wurden sowohl die laboranalytischen Daten als auch die Probennehmerdaten zur Schichtdickenermittlung einer Ringversuchsauswertung nach der A45 [30] unterzogen.

8.1 Labordaten

Für die Bewertung wurden die Laborergebnisse der Eisen-, Kalium-, Blei- und Zinkgehalte der vier Einbaumaterialien ausgewählt, da diese die größten relativen Unterschiede in den Gehalten der Materialien zeigten.

Sowohl mit den Teilnehmer- als auch den Referenzwerten wurde eine Auswertung nach A45 (Hampelschätzer, Q-Methode) durchgeführt und die Vergleichsstandardabweichungen und Zu-Scores ermittelt.

Die Ergebnisse aller Probenahmestellen sind für die einzelnen Probe-Parameter-Kombinationen in Anlage 1 zusammengefasst.

Die Referenzwerte weisen eine größere Streuung auf als die Werte der Teilnehmer (s. Kap. 7.5, Abb. 24), deshalb sind auch deren Vergleichsstandardabweichungen größer als die der Teilnehmerwerte (Tab. 17):

Tab. 17: Relative Vergleichsstandardabweichungen nach A45 (Hampelschätzer, Q-Methode) der Fe-, K-, Pb- und Zn-Werte der Referenz- und Teilnehmerproben

	Oberboden [%]		Stabilisat [%]		Sand [%]		Mergel [%]	
	Referenz	Teilnehmer	Referenz	Teilnehmer	Referenz	Teilnehmer	Referenz	Teilnehmer***
Fe	10,1	5,5	15,9	6,5	6,3	8,6	7,2	2,8
K	12,1	10,3	10,0	12,5	12,0	9,4	10,1	5,6
Pb	13,9	12,3	4,9	3,3	(0,7)*	(4,2)*	7,0	6,7
Zn	14,7	9,5	6,5	4,9	(3,1)*	(13,2)*	6,7	3,6
Mittelwert	12,7	9,4	9,3	6,8	(9,2)**	(9,0)**	7,0	4,7

* da ein Großteil der Einzelergebnisse < BG ist, ist der Wert nicht belastbar

** Mittelwertberechnung ohne Pb, und Zn-Werte in Sandproben

*** berücksichtigt wurden die 23 abgegebenen Proben

Bei laboranalytischen Ringversuchen entscheidet die Anzahl der Überschreitungen von Toleranzbereichen, die z.B. nach der A 45 ermittelt werden, über Bestehen oder Nichtbestehen eines Ringversuchs. In Ringversuchen nach Fachmodul Wasser und Boden sind zum Bestehen 80 % richtige Werte (Zu < 2) aller abgegebenen Proben-Parameter-Kombinationen erforderlich („80 % - Kriterium“).

In einem ersten Schritt geprüft, wie viele Toleranzbereichsüberschreitungen bei einer Vorgabe von Zu < 2 bei den Teilnehmern auftreten und ob ein signifikanter Unterschied zu den Ergebnissen der Referenzproben erkennbar ist. Hierzu wurden bei jeder Probenahmestelle 14 Proben-Parameter-Kombinationen bewertet. Das Ergebnis ist in Abb. 25 dargestellt.

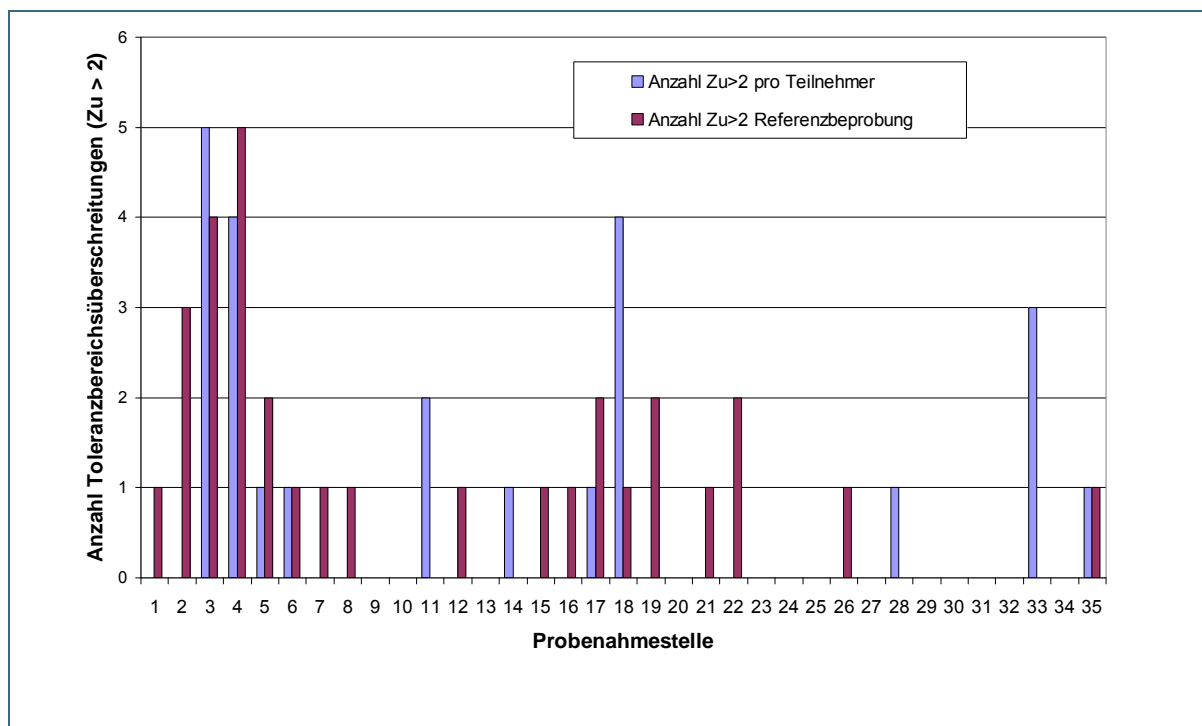


Abb. 25: Anzahl Toleranzbereichsüberschreitungen der ermittelten Proben-Parameter-Kombinationen bei Zu > 2 für Referenzwerte und Teilnehmerergebnisse

Bei 11 von 25 Teilnehmern (44 %) und 18 von 35 Referenzproben (51 %) traten jeweils bis zu 5 Toleranzbereichsüberschreitungen mit Zu > 2 auf.

Die Erweiterung des Toleranzbereichs auf Zu < 3 ergibt Überschreitungen für 5 Teilnehmer aber auch 2 Referenzbeprobungen (Abb. 26).

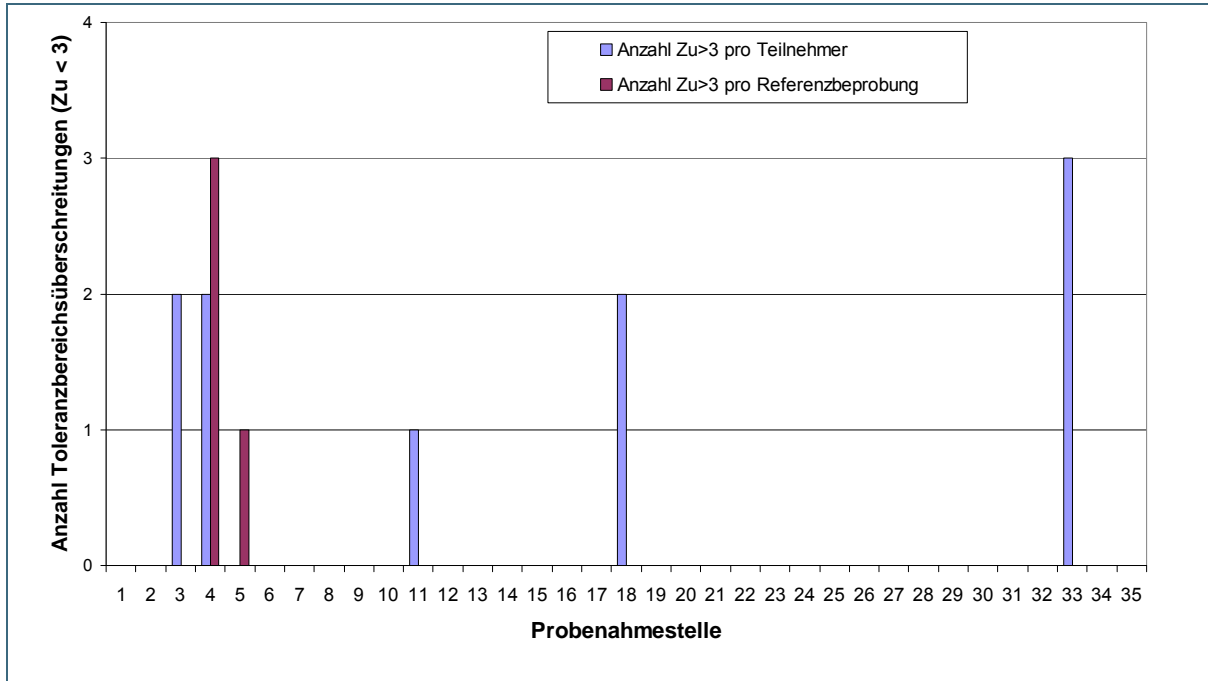


Abb. 26: Anzahl Toleranzbereichsüberschreitungen der ermittelten Proben-Parameter-Kombinationen bei $Zu > 3$ für Referenzwerte und Teilnehmerergebnisse

Dabei wird das 80 %-Kriterium neben einem Teilnehmer aber auch von einer Referenzbeprobung überschritten.

Die geringere Standardabweichung und das gleiche Toleranzbereichsverhalten der Teilnehmerlabor-daten gegenüber den Referenzdaten zeigt, dass die beobachtete Ergebnisstreuung im Bereich der Laborunsicherheit und Materialhomogenität liegt.

Das Versuchsdesign und die individuellen Probenahmen tragen demnach nicht signifikant zur Ergebnisvarianz bei.

Auf Grunde des Versuchsaufbaus sind Querkontaminationen durch das Stabilisat in die anderen Materialien sehr gut erkennbar. In der Stabilisatschicht sind die Gehalte an Blei und Zink mehr als 3 Größenordnungen höher als die der anderen Materialien (s. Tab. 3, Kap V), wobei die Blei- und Zinkgehalte in der Sandschicht bei oder knapp über der Bestimmungsgrenze liegen.

Querkontaminationen und Verschleppungen werden durch gleichzeitig auftretende deutlich positive Zu-Score-Überschreitungen an Zn und Blei angezeigt. Sie werden als Fehler gewertet, wenn für beide Elemente der Toleranzbereich überschritten wird (Tab. 18 und Abb. 27).

Tab. 18: Zu-Scores der Teilnehmer für Blei und Zink in Oberboden

Probenahmestelle	03	04	05	06	08	09	10	11	14	15	16	17	18	20	21	22	23	25	27	28	29	31	32	33	35
Pb	-3,08	5,20	-2,09	-0,10	0,36	-0,10	0,36	-0,10	0,36	0,36	-0,10	0,36	7,84	0,80	1,24	-0,10	-0,10	0,80	-0,59	1,6	-1,09	-0,59	-0,10	-0,10	-0,59
Zn	0,74	7,25	0,07	-0,17	0,29	0,74	0,74	0,97	0,74	0,29	-0,17	-0,67	16,01	0,07	0,07	-0,67	-0,67	0,07	-0,67	4,56	-1,90	-1,16	0,52	0,07	-0,91

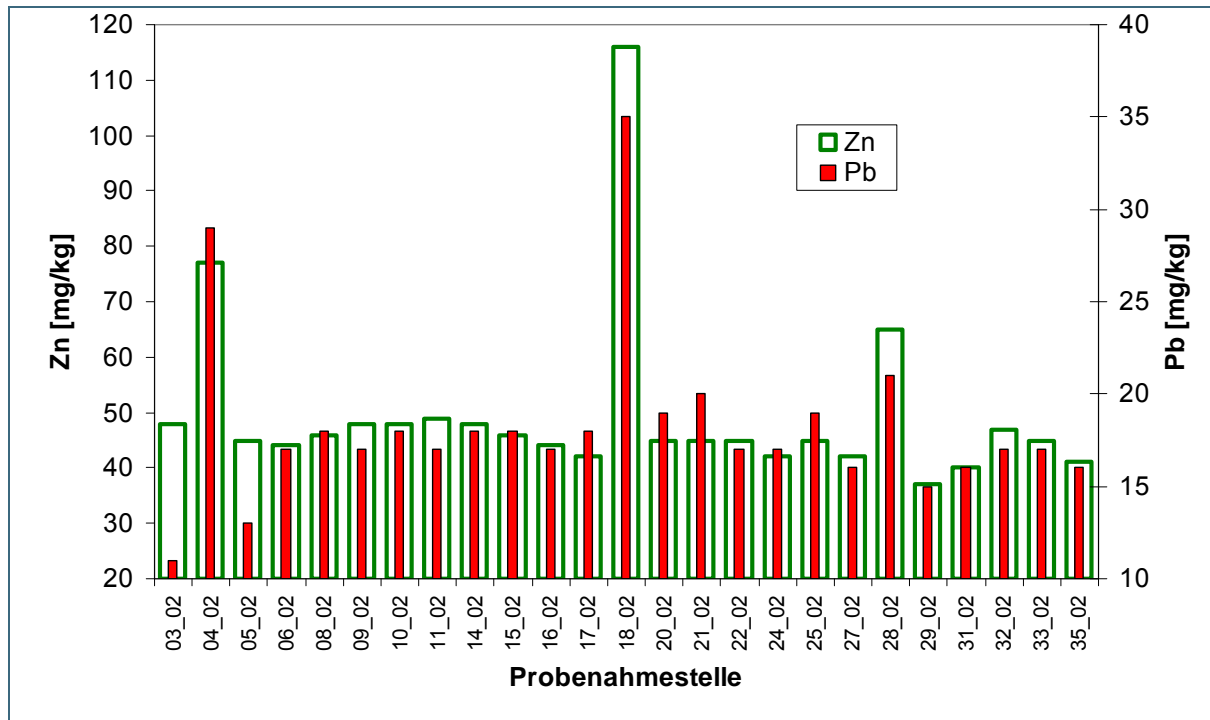


Abb. 27: Gehalten an Zink (BG = 20 mg/kg) und Blei (BG = 10 mg/kg) in den Oberbodenproben der Teilnehmer

Erhöhte Werte wurden für die Probenahmestellen 4, 18 und 28 festgestellt. Eine Überprüfung der Z-score-Werte ergibt gemeinsame signifikante Überschreitungen für Blei und Zink an den Probenahmestellen 4 und 18 (Tab. 18).

In der Sandschicht wurde an der Probenahmestelle 11 gleichzeitig signifikant erhöhte Werte für Blei und Zink festgestellt, die eine Verschleppung anzeigen (Abb. 28)

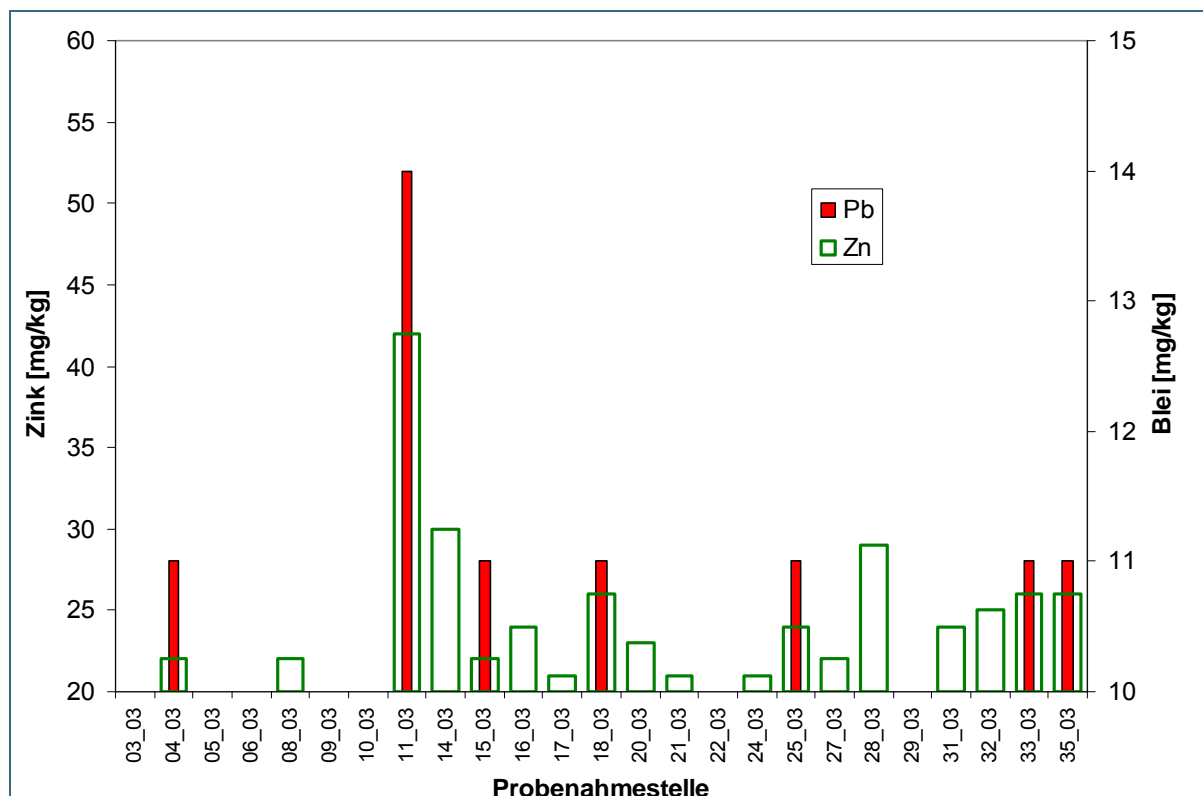


Abb. 28: Gehalte an Zink (BG = 20 mg/kg) und Blei (BG = 10 mg/kg) in den Sandproben der Teilnehmer

Die Zu-Scores bei dieser Probe betragen 8,78 (Blei) und 6,02 (Zink).

Nach Auswertung der Labordaten nach Ringversuchskriterien wären die Probenehmer an den Messstellen 4, 11, und 18 negativ zu bewerten.

8.2 Schichtmächtigkeiten

Die Teilnehmer mussten die Mächtigkeit der angetroffenen Schichten bestimmen. Die hierfür erfassten Schichtgrenzen sind in Tab. 3 zusammengefasst und in Abb. 16 graphisch dargestellt.

Als Endteufe wurde 1,6 m vorgegeben. Die unterste Mergelschicht wäre demnach theoretisch mit 10 cm Mächtigkeit anzusprechen. Die tatsächlich erreichte Endteufe hängt jedoch auch vom verwendeten Gerät ab (z.B. Schlagwirkung des Raupensondiergeräts), so dass meist nur wenige cm erfasst wurden und eine Bewertung der Streuung nicht aussagekräftig möglich ist.

Eine Bewertung wurde deshalb nur für die ersten drei Schichten vorgenommen.

Der große Anzahl von 25 Bestimmungen erlaubt grundsätzlich eine Ringversuchsauswertung nach A 45 auch für die aus den Schichtgrenzen ermittelten Schichtdicken. Die Zielwerte sind hier die Mächtigkeiten der eingebauten Materialschichten. Die Ergebnisse sind in Tab. 19 zusammengefasst.

Tab. 19: Zu-Scores der Schichtdickenergebnisse der Probenehmer nach A 45 (Q-Methode)

Probenahme- stelle	Oberboden- schichtdicke		Stabilisat- schichtdicke		Sand- schichtdicke		Schichtdicken- summe		Anzahl Überschrei- tungen		Bohrgerät*
	[m]	Zu- Score	[m]	Zu- Score	[m]	Zu- Score	[m]	Zu- Score	Zu > 2	Zu > 3	
Zielwert	0,3	0	0,3	0	0,9	0	1,5	0			
3	0,44	1,12	0,26	-0,68	0,85	-0,56	1,55	1,65			nSZ-EH
4	0,40	0,80	0,30	0,00	0,80	-1,12	1,50	0,00			RSG 50 kg
5	0,50	1,60	0,25	-0,85	0,75	-1,69	1,50	0,00			E-Hammer
6	0,30	0,00	0,30	0,00	0,90	0,00	1,50	0,00			Hydraulik-H
8	0,35	0,40	0,25	-0,85	0,87	-0,34	1,47	-1,01			E-Hammer
9	0,24	-0,68	0,52	3,01	0,74	-1,80	1,50	0,00	1	1	klein -EH
10	0,38	0,64	0,20	-1,70	0,97	0,71	1,55	1,65			RSG 50 kg
11	0,30	0,00	0,45	2,05	0,75	-1,69	1,50	0,00	1		E-Hammer
14	0,30	0,00	0,25	-0,85	0,95	0,51	1,50	0,00			klein -EH
15	0,47	1,36	0,20	-1,70	0,84	-0,67	1,51	0,33			E-Hammer
16	0,51	1,68	0,20	-1,70	0,81	-1,01	1,52	0,66			E-Hammer
17	0,55	2,00	0,20	-1,70	0,85	-0,56	1,60	3,30	2	1	RSG 50 kg
18	0,18	-1,35	0,17	-2,20	1,22	3,24	1,57	2,31	3	1	RSG 50 kg
20	0,35	0,40	0,25	-0,85	0,90	0,00	1,50	0,00			klein -EH
21	0,27	-0,34	0,28	-0,34	0,95	0,51	1,50	0,00			E-Hammer
22	0,30	0,00	0,30	0,00	0,90	0,00	1,50	0,00			klein -EH
24	0,40	0,80	0,20	-1,70	0,82	-0,90	1,42	-2,70	1		klein -EH
25	0,40	0,80	0,20	-1,70	0,90	0,00	1,50	0,00			E-Hammer
27	0,40	0,80	0,25	-0,85	0,95	0,51	1,60	3,30	1	1	E-Hammer
28	0,40	0,80	0,25	-0,85	0,90	0,00	1,55	1,65			E-Hammer
29	0,47	1,36	0,18	-2,04	0,83	-0,79	1,48	-0,67	1		E-Hammer
31	0,60	2,40	0,20	-1,70	0,70	-2,25	1,50	0,00	2		klein -EH
32	0,40	0,80	0,32	0,27	0,78	-1,35	1,50	0,00			E-Hammer
33	0,35	0,40	0,25	-0,85	0,90	0,00	1,50	0,00			E-Hammer
35	0,42	0,96	0,25	-0,85	0,83	-0,79	1,50	0,00			Hydraulik-H

*Bohrgeräte: nSZ-EH: Elektrohammer, niedrige Schlagzahl; RSG 50 kg: Rammsondiergerät 50 kg; E-Hammer: Elektrohammer; klein E-H: Elektrohammer klein; Hydraulik-H: Hydraulikhammer

Wird die Bestimmung der Schichtmächtigkeit als eigener „Ringversuch“ betrachtet, sind vier Probe-Parameter-Kombinationen zu ermitteln und zu bewerten. Die Anwendung des 80 % - Kriteriums führt zur Negativbewertung aller Teilnehmer, die den Toleranzbereich einmal überschreiten.

Bei Festlegung des Toleranzbereichs auf $Zu < 2$ würden 8, bei $Zu < 3$ noch 4 Teilnehmer negativ bewertet.

Bereits in früheren Untersuchungen wurden hohe Abweichungen bei der Schichtdickenermittlung aus Kleinrammbohrungen in künstlichen Bodenprofilen beobachtet [1]. Eine statistisch valide Ringversuchsauswertung war hier wegen der geringen Datenzahl nicht möglich.

Um die gewonnen Schichtdickendaten qualitativ beurteilen zu können, wurden die Ergebnisse entsprechend der Vorgehensweise bei den Labordaten mit Ergebnissen von Wiederholprobenahmen eines Teilnehmers verglichen.

Gemäß Kapitel 5.2 betragen die Schichtdickenfehler der Teilnehmer bei Werten zwischen 0,00 bis 0,60 m im Mittel 0,22 m. Im Vergleich hierzu lagen die Schichtdickenfehler der Wiederholprobenah-

men, die einheitlich mit Elektrohammer ausgeführt und dokumentiert wurden, zwischen 0,09 und 0,50 m, bei einem Mittelwert von 0,24 m.

Demnach ist die Streuung der Teilnehmerdaten im Mittel nicht schlechter als die der Wiederholprobenahmen und auch die Extremwerte unterschieden sich von diesen nicht signifikant. Die Ursache der großen Unterschiede zwischen den Teilnehmern ist demnach nicht mit unterschiedlicher Dokumentation und Verwertung der beobachteten Kernverluste zu begründen.

Wie die großen Meterfehlersummen der Wiederholprobenahmen zeigen, ist eine Bewertung der Teilnehmer nach A45 nicht belastbar.

Die erhobenen Daten weisen dagegen auf ein grundsätzliches Problem der Ermittlung von Schichtmächtigkeiten mittels Kleinrammbohrung hin. Ob die großen Streuungen durch das Versuchsdesign mit künstlichem Bodenprofil in Rohren bedingt wurden oder grundsätzlicher Art sind, konnte im Rahmen dieser Vergleichsuntersuchung nicht geklärt werden. Erhebliche Stauchungen, die bei zwei Vergleichs Sondierungen im ungestörten Boden neben den Versuchsrohren auftraten, lassen vermuten, dass ähnliche Phänomene auch bei natürlichen Böden auftreten können.

Die Auswertung der Schichtdickendaten nach der A45 weisen auf Geräteeinflüsse, die an Hand der Schichtdaten bereits in Kapitel 5.2 formuliert wurden, hin. So weisen die Schichtdickendaten aus Rammsondierungen mit Abstand die häufigsten Zu-Score-Überschreitungen auf (Tab. 20).

Tab. 20: Toleranzbereichsüberschreitungen der Teilnehmerdaten in Abhängigkeit der verwendeten Sondiergeräte

Gerät	Anzahl	Zu > 2		Zu > 3		
	Bohrungen	Werte	Anzahl	%	Anzahl	%
Elektrohammer	12	36	2	8,3	1	4,2
Elektrohammer klein	6	18	3	16,7	1	5,6
Rammsondiergerät	4	12	5	41,7	2	16,7
Hydraulik-Hammer	2	6	0	0	0	0
Elektrohammer niedrige Schlagzahl	1	3	0	0	0	0

Für weitergehende valide Aussagen sind die Datenmengen pro Gerätetyp zu gering.

8.3 Gesamtbetrachtung der Begutachtungs- und Auswertergebnisse

Die Probenahmevergleichsuntersuchung lieferte die Grundlagen für die Bewertung von

- analytischen Ergebnissen aus Labordaten,
- Schichterfassung aus Probenahmeprotokollen der Teilnehmer und
- praktischer Probenahmedurchführung aus den Begutachtungsprotokollen des Auditors.

Wie die Labor- und Schichtdickendaten lieferte auch die Dokumentation der Abweichungen mit Hilfe der Begutachtungsprotokolle einen stabilen Datensatz. Die Summe der Abweichungen der einzelnen Teilnehmer war plausibel rechtsschief verteilt, wie es von Daten, die linksseitig limitiert sind (kleinstmögliche Zahl = 0, größtmögliche Zahl = ∞), erwartet wird. Dabei liegen 12 Teilnehmer unter und 13 Teilnehmer oberhalb des Mittelwerts. Es lag somit ein homogenes Teilnehmerfeld vor, die Bewertung ist nicht von Extremwerten beeinflusst (Abb. 29).

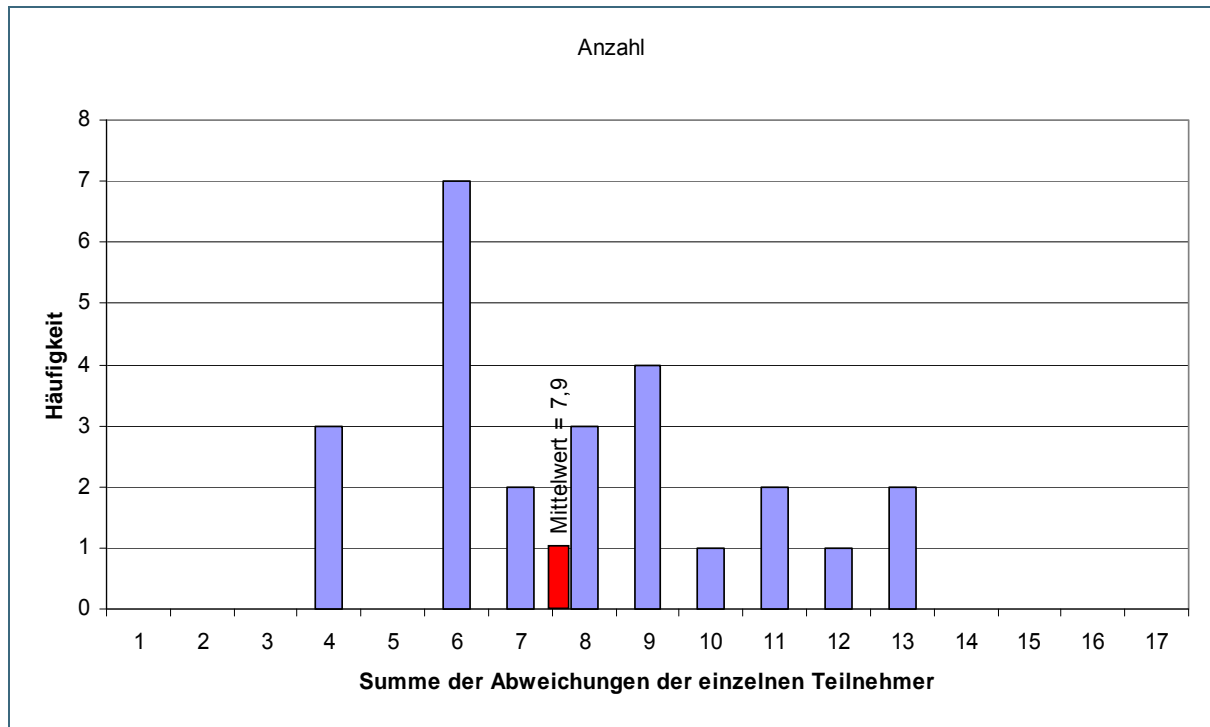


Abb. 29: Häufigkeit des Auftretens der Abweichungssummen der Teilnehmer

Eine Häufung von Fehlern bei der Ermittlung der Schichtgrenzen, Begutachtungsabweichungen und Toleranzbereichsüberschreitungen wurde bei keinem Teilnehmer festgestellt. In Abb. 30 sind die Abweichungssummen und die festgestellten Querkontaminationen graphisch zusammengefasst.

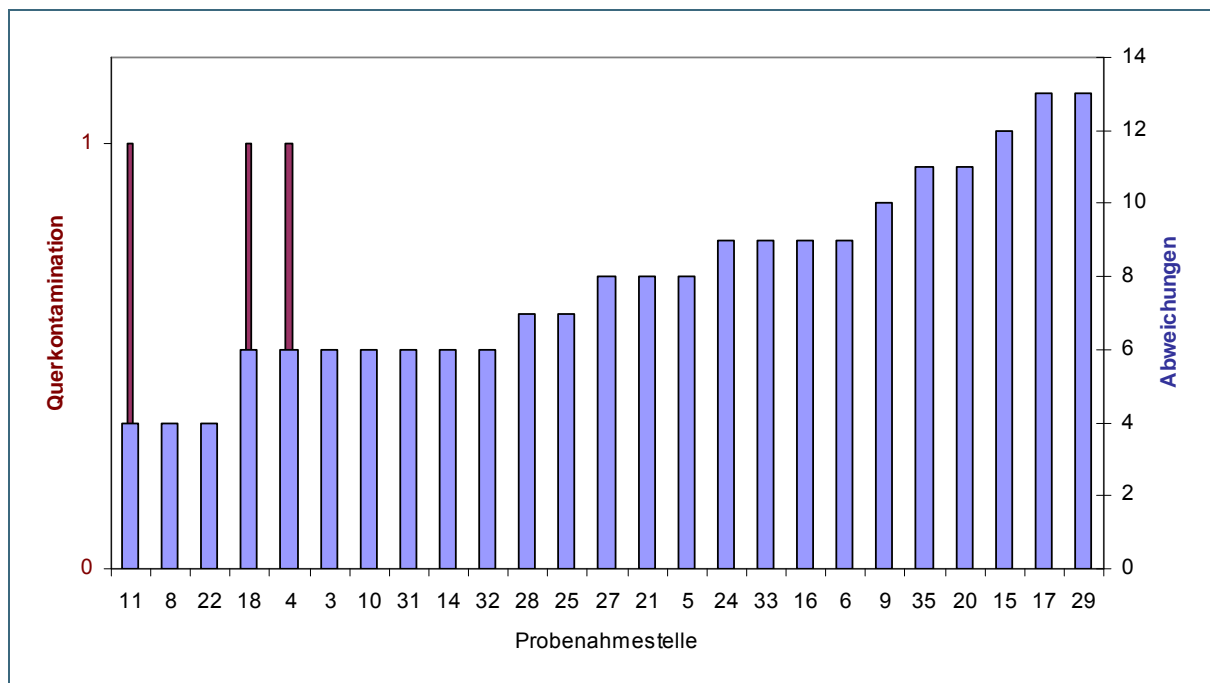


Abb. 30: Querkontaminationen und Summe der Abweichungen der Probennehmer

Das Auftreten des Verschleppungsfehlers bei Probenahmestelle 11 korreliert plausibel mit der Abweichung der Längsabstreifung der Sonde, die Querkontamination bei der Probenahme an der Position

18 mit dem Nichtreinigen der Probenahmespachtel zwischen den Probenahmen und der Beprobung des Sondenrandbereichs. Die auffälligste Abweichung bei der Probenahme an Position 4 war die Verwendung leicht verschmutzter und stumpfer Sonden.

Eine valide Ursachenzuordnung ist jedoch nicht möglich, da andere Teilnehmer, bei denen diese Abweichungen ebenfalls festgestellt wurden, keine Querkontaminationen verursachten.

9 Abschlussbetrachtung

9.1 Ergebnisse und Folgerungen

Die durchgeführte Vergleichsprobenahme hat gezeigt, dass ringversuchsartige externe Qualitätssicherungsmaßnahmen für Probenahmen grundsätzlich möglich sind und wertvolle Erkenntnisse über die Qualität der probenehmenden Untersuchungsstellen liefert. Die Probenahmen lieferten stabile Datensätze, die eine Ringversuchsauswertung nach A45 [30] und die Bewertung der Teilnehmer auf Basis eines Zielwertes ermöglichen.

Die in diesem Projekt praktizierte Vorgehensweise zur Abwicklung, Organisation der Probenahmen, Begutachtung und Datenauswertung hat sich als geeignet erwiesen zur Durchführung von externen Qualitätssicherungsmaßnahmen für Probenehmer und kann für andere Kompartimente und Techniken übernommen werden.

Als besonders wichtig hat sich zum einen die Beobachtung aller Teilnehmer durch einen Auditor erwiesen. So konnten Geräteeinsatz und Arbeitsweisen einheitlich dokumentiert und einer vergleichenden Bewertung unterzogen werden. Zum anderen hat sich gezeigt, dass eine Bewertung von Datensätzen der Teilnehmer nur unter Berücksichtigung der verfahrensbedingten Streuung, die durch einen Wiederholprobenehmer ermittelt werden muss, möglich ist.

Nicht erwartet wurde, dass bei der Vergleichsprobenahme mehr Abweichungen als bei üblichen Akkreditierungs- oder Zulassungsaudits beobachtet werden. Offenbar werden unter den Bedingungen eines Probenahmeszenarios in unbekannter Umgebung mehr Fehler bzw. Abweichungen gemacht als bei Begutachtungen auf bekanntem Terrain. Insofern scheint die Vergleichsprobenahme einen besseren Einblick in die tatsächliche Arbeitsweise der Untersuchungsstellen zu vermitteln.

Das Versuchsdesign und die Auswertemethodik sind neben einer Teilnehmerüberprüfung auch für die Validierung der angewandten Verfahren geeignet. So hat sich zum einen gezeigt, dass die Bodenanfrage nach KA5 und die Schichtdickenermittlung aus Kleinrammbohrungen ohne Verbesserung der Verfahren bzw. Verfahrensvorschriften nicht mit der gewünschten Ergebnisqualität möglich ist. Zum anderen deuten die aufgetretenen Fehler bei der Ermittlung der Schichtmächtigkeiten bzw. Schichtgrenzen eine methodenbedingte Ergebnisunsicherheit an, über die bisher praktisch keine Daten aus anderen Untersuchungen vorliegen. Auf den ersten Blick scheint ein Zusammenhang mit dem Fehler bei der Schichtdickenermittlung und bestimmten Bohrverfahren vorzuliegen. Dies kann aber unter anderen Bedingungen, z.B. in dicht gelagerten natürlichen Böden, auch anders aussehen. Auf diesem Gebiet besteht auf jeden Fall Forschungsbedarf.

Im Gegensatz zur Vergleichsprobenahme 2004 bei VEGAS [1] traten durch die Wahl der anorganischen Zielparameter keine systematischen Schadstoffverschleppungen auf. Die Standardabweichung der Schadstoffgehalte der von den Teilnehmern entnommenen Proben war sogar kleiner als bei den Referenzproben. Einzelne Ausreißerwerte können auf grobe Fehler bei der Probenahme (längs Abstreifen der Rammkernsonde) zurückgeführt werden.

Bedenklich ist die zutage getretene Unkenntnis beziehungsweise offenen Ablehnung bodenkundlicher Bodenansprache. Unabhängig davon ist die Qualität der Bodenansprache im Sinne einer richtigen Einstufung der Bodenart mit einer Trefferquote deutlich unter 10 % gering.

Bemerkenswert ist, dass keiner der Teilnehmer weniger als 60 Minuten für das Abteufen einer Bohrung bis 1,6 m Tiefe einschließlich Probenahme benötigte. Geht man von einem Probenahmetrupp, bestehend aus einem Geowissenschaftler und einem Helfer aus, muss man einen Stundensatz von etwa 110 € veranschlagen. Selbst wenn man die Sondersituation der Probenahme unter Aufsicht eines Begutachters in Rechnung stellt, zeigt dieser Umstand, dass bei sorgfältiger Arbeitsweise die marktüblichen Meterpreise von zum Teil deutlich unter 20 € je Bohrmeter nicht kostendeckend sein können und durch Einbußen bei der Qualität erkaufte werden. Die große Zurückhaltung bei der Umsetzung der – fachlich gebotenen – bodenkundlich orientierten Bodenansprache muss auch in diesem Zusammenhang gesehen werden.

9.2 Ausblick

Die Vergleichsprobenahme kann als Mittel der externen Qualitätssicherung der probenehmenden Untersuchungsstellen ähnlich den Laborringsversuchen etabliert werden. Der Aufwand für eine Vergleichsprobenahme ist zwar höher, als für einen klassischen Laborringsversuch. Mit der gleichzeitigen Auditierung der teilnehmenden Büros sind aber Vorteile verbunden, von denen sowohl die zulassende Stelle, als auch die Untersuchungsstelle profitieren können.

Für eine Bewertung der Teilnehmer im Sinne von bestanden – nicht bestanden und den entsprechenden Auswirkungen auf die Zulassungspraxis besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf zur Ermittlung der prinzipiellen Leistungsfähigkeit der angewandten Verfahren bei der Feststoffprobenahme.

Bei künftigen Vergleichsprobenahmen mittels Kleinrammbohrung sollten in einem nächsten Schritt die Rahmenbedingungen den Gegebenheiten bei ungestörten Böden angenähert werden. So wären zum Beispiel Probenahmen in gewachsenem Boden denkbar, bei dem das tatsächliche (wahre) Profil hinterher durch eine Grabung freigelegt wird. Die Vergleichsprobenahme könnte sich dabei auch auf die Profilaufnahme und Bodenansprache beschränken und muss nicht zwangsläufig mit Schadstoffanalysen verknüpft werden.

Neben der vergleichenden Kleinrammbohrung müssen weitere Konzepte für andere Kompartimente und Probenahmetechniken entwickelt werden.

Literatur:

- [1] A. Baermann, B. Bahrig, K. Bücherl, N. Klaas: ITVA-Vergleichsprobenahme – Ein „Ringversuch“ für Rammkernsondierungen; Altlastenspektrum2/2005 S. 65-69n
- [2] Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Verordnung über Sachverständige und Untersuchungsstellen für den Bodenschutz und die Altlastenbehandlung in Bayern (VSU Boden und Altlasten) vom 3. Dezember 2001, zuletzt geändert am 15.11.2006
- [3] BGR 128/: Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit; BG-Regeln Kontaminierte Bereiche Fachausschuss Tiefbau der BGZ, aktualisierte Fassung Februar 2006, Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- [4] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage (KA5), Hannover 2005
- [5] Bund- / Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO): Fachmodul Boden und Altlasten Bereichsspezifische Anforderungen an die Kompetenz von Untersuchungsstellen im Bereich Boden und Altlasten, Stand: 20. Oktober 2000
- [6] DIN ISO 10381-1, Ausgabe:2003-08, Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen (ISO 10381-1:2002),
- [7] DIN ISO 10381-2, Ausgabe:2003-08, Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren (ISO 10381-2:2002)
- [8] DIN ISO 10381-3, Ausgabe:2002-08, Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 3: Anleitung zur Sicherheit (ISO 10381-3:2001)
- [9] DIN ISO 10381-5, Ausgabe:2007-02, Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 5: Anleitung für die Vorgehensweise bei der Untersuchung von Bodenkontaminationen auf urbanen und industriellen Standorten (ISO 10381-5:2005)
- [10] DIN ISO 11259, Ausgabe:2000-08, Bodenbeschaffenheit – Vereinfachte Bodenbeschreibung (ISO 11259:1998)
- [11] DIN EN ISO 14688, Ausgabe: 2003-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2002); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2002
- [12] DIN EN ISO 14689, Ausgabe: 2004-04, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 14689-1:2003 (Ersatz für: DIN 4022-1:1987-09)
- [13] DIN ISO 15175, Ausgabe: 2005-05, Bodenbeschaffenheit .Ermittlung von Kennwerten des Bodens hinsichtlich des Wirkungspfads Boden . Grundwasser (ISO 15175:2004)
- [14] DIN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien: 2004-02
- [15] DIN 19671-1, Ausgabe: 1964-05, Erdbohrgeräte für den Landeskulturbau; Rillenbohrer, Rohrbohrer
- [16] DIN 19671-2, Ausgabe 1964-11, Erdbohrgeräte für den Landeskulturbau; Gestänge, Flügelbohrer, Bohrschappe, Marschenlöffel, Spiralbohrer

- [17] DIN 19672-1, Ausgabe 1968-04, Bodenentnahmegeräte für den Landeskulturbau; Geräte zur Entnahme von Bodenproben in ungestörter Lagerung
- [18] DIN 19682-1, Ausgabe 2007-11, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 1: Bestimmung der Bodenfarbe
- [19] DIN 19682-2, Ausgabe 2007-11, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 2: Bestimmung der Bodenart
- [20] DIN 19682-5, Ausgabe 2007-11, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 5: Bestimmung des Feuchtezustands des Bodens
- [21] DIN 19682-7, Ausgabe 2007-07, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter
- [22] DIN 19682-8, Ausgabe 2007-07, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 8: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit der Bohrlochmethode
- [23] DIN 19682-9, Ausgabe 2008-09, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 9: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit
- [24] DIN 19682-10, Ausgabe 2007-11, Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges
- [25] DIN 19682-12, Ausgabe 2007-11, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 12: Bestimmung des Zersetzungsgrades der Torfe
- [26] DIN 19682-13, Ausgabe 2009-01, Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 13: Bestimmung der Carbonate, der Sulfide, des pH-Wertes und der Eisen(II)-Ionen
- [27] DIN EN ISO 22475-1, Ausgabe 2007-01, Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006 (Ersatz für DIN 4021 und 4022)
- [28] DIN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien: 2004-02
- [29] DIN 38402-41, Ausgabe: 1984-05
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Allgemeine Angaben (Gruppe A); Ringversuche, Planung und Organisation (A 41)
- [30] DIN 38402-45, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Allgemeine Angaben (Gruppe A), Teil 45: Ringversuche zur externen Qualitätskontrolle von Laboratorien (A45), 2003-09
- [31] Eckelmann, W. (Hrsg.), Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz – Auszug aus der bodenkundlichen Kartieranleitung KA5, E. Schweizerbart Verlag, Hannover 2009
- [32] Immler, L.G., Zahn, M.T.: Die flächenhafte Variabilität bodenphysikalischer Parameter und des Corg-Gehaltes in den Pflugsohlen je eines Ton-, Sand- und Lößstandortes, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 157, 251-257 (1994)
- [33] ITVA-Arbeitshilfe F2-2/95: Aufschlussverfahren zur Feststoffprobengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten

-
- [34] ITVA-Arbeitshilfe F2-3: Beschreibung und Benennung von Bodenproben bei der Verdachtsflächenerkundung
- [35] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA (Hrsg.): AQS-Merkblätter für die Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Merkblatt A 3, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 10. Lieferung, 2001
- [36] Kleinmeier, C., Kuchenbuch, R. O., Kurfürst, U.: Einflußgrößen auf die Messunsicherheit die anteilig auf die Bodenprobenahme entfällt; Bachelorarbeit, Universität Rostock, Agrar und Umweltwissenschaftliche Fakultät – Fachbereich Agrarökologie, Institut für angewandte Pflanzenernährung, Rostock 2007
- [37] Oberfinanzdirektion Hannover (Hrsg.): Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften, 2. aktualisierte Fassung der Anforderungen: Oktober 2008
- [38] Ramsey, M.H, Squire, S., Gardner, M.J.: Synthetic reference sampling target for the estimation of measurement uncertainty, *Analyst*, 1999, 124, 1701-1706
- [39] Siebenborn, G.: Kleinbohrungen nach DIN 4021 – eine (Ge-)Wissensfrage?, *bbr* 5/05, S.: 37-41 (2005)
- [40] Squire, S., Ramsay, M.H., Gardner, M.J.: Collaborative trial in sampling for the spatial delineation of contamination and the estimation of uncertainty, *Analyst*, 2000, 125, 139-145
- [41] Squire, S., Ramsay, M.H., Gardner, M.J., Lister D.: Sampling proficiency test for the estimation of uncertainty in the spatial delineation of contamination, *Analyst*, 2000, 125, 2026-2031
- [42] Squire, S., Ramsay, M.H.: Inter-organisational sampling trials for the uncertainty estimation of landfill gas measurements, *J. Environ. Monit.* 2001, 3, 288-294
- [43] Wagner, G., Desaules, A., Muntau, H. et. al.: Harmonisation and quality assurance in pre-analytical steps of soil contamination studies – conclusions and recommendations of the CEEM soil project, *The science of the total environment* 264, S. 103-117, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 2001