

– Bodenbelastungen auf Wurfscheiben-Schießanlagen –

**Untersuchungsmöglichkeiten und Bewertung von
Bodenbelastungen durch Bleischrote zur Beurteilung
des Wirkungspfades Boden-Grundwasser
am Beispiel der Wurfscheiben-Schießanlage in Heede**

Dr. Andreas Zeddel, Dr. Nicole Bädjer (LANU)

Unter Verwendung der Daten von:

T. Nack, E. Bender, Dr. G. Rünger (LL)

Dr. H. Wetzel (CAU)

Dr. J. Gerth (TU-Hamburg-Harburg)

Unter Mitwirkung bzw. Unterstützung von:

B. Hielscher (MLUR)

T. Riedel, T. Schröder, B. Burbaum, M. Gieske (LANU)

Hr. Grosch, Wurfscheiben-Schießanlage Heede (LJV)

Forstamtsdirektor H.-A. Hewicker, Forstamt Rantzau

Flintbek

Mai 2005

Inhalt

Zusammenfassung und Ausblick.....	4
Anhänge.....	5
Anhang 1: Übersicht und Anlagendaten Heede.....	6
Anhang 2: 1:5000 mit Schussweiten des Trap-, Skeet- und Jungjägerstandes.....	6
Anhang 3: Bodenaufbau und Stoffbestände der untersuchten Böden .	6
Anhang 4: Bodenkundliche Aufnahme / Verteilung des pH-Wertes und Grundwasserflurabstandes.....	6
Anhang 5: Fotodokumentation.....	6
Anhang 6: Bohrprofile und Ausbaupläne der Grundwassermessstellen .	6
Anhang 7: Hinweise auf Kosten einzelner Untersuchungsschritte von Wurfscheiben-Schießanlagen nach LfU, Bayern.....	6
1 Anlass der Untersuchungen.....	9
2 Ziel und Konzeption der Untersuchungen.....	10
3 Auswertung verfügbaren Daten- und Kartenmaterials und Ortsbegehung sowie Auswahl des Mess- und Referenzstandortes	14
4 Beschreibung des Bodens und seiner physikochemischen Eigenschaften	17
5 Untersuchungen zur Schadstoff-Freisetzung in der Quellschicht.....	18
6 Untersuchungen des Sickerwassers.....	21
7 Perkolationsuntersuchungen.....	27
8 Durchführung vereinfachter Extraktionsexperimente.....	34
9 Untersuchungen des Grundwassers.....	39
10 Einrichten einer Grundwassermessstelle im Depositionszentrum....	40
11 Empfehlung	42
12 Kosten.....	46
13 Literatur.....	49
... wobei sie sich von den Bleischroten offensichtlich nicht gestört fühlen:.....	50
Anhänge.....	51
Anhang 1: Übersicht und Anlagendaten Heede.....	51
Anhang 2: 1:5000 mit Schussweiten des Trap-, Skeet- und Jungjägerstandes.....	51
Anhang 3: Bodenaufbau und Stoffbestände der untersuchten Böden	51
Anhang 4: Bodenkundliche Aufnahme / Verteilung des pH-Wertes und Grundwasserflurabstandes.....	51
Anhang 5: Fotodokumentation.....	51
Anhang 6: Bohrprofile und Ausbaupläne der Grundwassermessstellen	51

**Anhang 7: Hinweise auf Kosten einzelner Untersuchungsschritte von
Wurfscheiben-Schießanlagen nach LfU, Bayern.....51**

Abbildungen

Abbildung 1: Untersuchungsmöglichkeiten zur Sickerwasserprognose 10

**Abbildung 2: Auf Grundlage der typischen Deposition von Bleischrotten
und auf Grund der Ortsbegehung abgeschätzte Bleiverteilung auf
der Wurfscheiben-Schießanlage Heede.....14**

**Abbildung 3: Herstellung eines Bodensättigungsextraktes –
Aufschlammung des Bodens in einem Zentrifugenglas bis zur
Fließgrenze
(Fotos mit freundlicher Genehmigung von Thorsten Nack, LL).....19**

**Abbildung 4: Elution von Bodensäulen der oberen bleibelasteten
Bodenschicht.....19**

**Die Kerzen wurden wie auf Abbildung 5 dargestellt diagonal eingebaut.
.....22**

**Abbildung 6: Bleikonzentrationen im Sickerwasser der Saugkerzen 1-7
im Hauptdepositionsbereich der WSSA Heede (Jungjägerstand) im
Zeitraum Mai 2002 – Mai 2004.....23**

**Abbildung 7: Alle Einzelwerte der Bleikonzentrationen im Sickerwasser
der Saugkerzen 1-7 im Hauptdepositionsbereich der WSSA Heede
(Jungjägerstand) im Zeitraum Mai 2002 – Mai 2004 mit Bezug der
Bleikonzentration zum entnommenen Probenvolumen.....24**

**Abbildung 8: Nachbildung des Sickerwasserdurchgangs durch
verschiedene Bodenschichten (Tiefe I, II, III...) durch
Perkolationsversuche.....27**

**Abbildung 9: Probenahme ungestörter Bodenzylinder auf der WSSA
Heede28**

**Abbildung 10: Bleikonzentrationen in den Perkolat-Lösungen (vier
parallele Ansätze) mit den durch die Standzeiten bedingten
Konzentrationssprüngen; rechts als geglättete Mittelwerte in zwei
Tiefenstufen jeweils mit den Ausgangskonzentrationen der
Perkolationslösung und dem Perkolat-Mittelwert aus allen
Parallelansätzen.....31**

**Für den Treposol des Schießplatzes Heede ist eine Bleikonzentration
nahe oder unterhalb der Nachweisgrenze nach Perkolation von drei
Porenvolumina mit Reinstwasser weitestgehend erreicht worden
(Abbildung 11).32**

**Abbildung 12: Vergleich der Retardationsleistungen der Bodensäulen-
Experimente (Perkolation) nach Kapitel 7.5 und den Kaskaden-**

Experimenten (Batch) für Blei, Arsen und Antimon für Boden der WSSA Heede.....	34
Abbildung 13: Blei-Sorptionsisothermen für zwei Tiefen der WSSA Heede	
- Anpassungsmodell nach Langmuir. Der Bereich mit kleineren Konzentrationen ist (mit veränderten Größenordnungen !) links extra dargestellt. Die blaue Gerade entspricht der linearen Isotherme im Lösungsbereich bis 1 mg/l.....	36
Abbildung 14: Vorbereitung einer Bohrung für eine Grundwassermessstelle.....	39
Abbildung 15: Grundwassergang am Brunnen GWM B3 im Zentrum des Depositionsbereiches.....	41

Tabellen

Tabelle 1: Konzentrationen an eluierbarem Blei, Arsen und Antimon in der visuell belasteten Bodenschicht der WSSA Heede.....	15
Tabelle 2: Schadstoffkonzentrationen in verschiedenen Eluaten der oberen schrotkornbefruchteten Bodenschicht im Hauptdepositionsbereich des Jungjägerstandes auf der WSSA Heede.....	18
Tabelle 3: Vorversuche im Landeslabor Schleswig-Holstein zur Auswahl von Saugkerzen.....	21
Tabelle 4: Mittelwerte und prozentuale Standardabweichungen der Blei-, Arsen- und Antimonkonzentrationen der Perkolate während der Belastungsphase (B) für die Horizonte des Treposols der WSSA Heede.....	31
Tabelle 5: Zeitspanne, die benötigt wurde, um 90 % des Endwertes (quasi Gleichgewichtszustand) zu erreichen (A90-Wert) für Blei, Arsen und Antimon einer repräsentativen Probe der WSSA Heede.	37
Tabelle 6: Untersuchungen des Grundwassers im Umfeld und auf der WSSA Heede, alle Angaben in [µg/l]	40

Abkürzungen

BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung (1999)
BoSE	Bodensättigungsextrakt
CAU	Christian-Albrechts-Universität Kiel
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANU	Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek
LJV	Landesjagdverband Schleswig-Holstein e.V., Flintbek

LL	Landeslabor Schleswig-Holstein
MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, ehem. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft
S4-Extrakt	Extraktion nach DIN 38414-4: 10.84 (Deutsches Einheitsverfahren DEV S4)
UMK	Umweltministerkonferenz
WSSA	Wurfscheiben-Schießanlage

Anhänge

[Anhang 1: Übersicht und Anlagendaten Heede](#)

[Anhang 2: 1:5000 mit Schussweiten des Trap-, Skeet- und Jungjägerstandes](#)

[Anhang 3: Bodenaufbau und Stoffbestände der untersuchten Böden](#)

[Anhang 4: Bodenkundliche Aufnahme / Verteilung des pH-Wertes und Grundwasserflurabstandes](#)

[Anhang 5: Fotodokumentation](#)

[Anhang 6: Bohrprofile und Ausbaupläne der Grundwassermessstellen](#)

[Anhang 7: Hinweise auf Kosten einzelner Untersuchungsschritte von Wurfscheiben-Schießanlagen nach LfU, Bayern](#)

Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Wurfscheiben-Schießanlage Heede im Kreis Pinneberg wurden vom Landesamt für Natur und Umwelt Boden-, Sickerwasser- und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt bzw. in Auftrag gegeben.

Ziel war es festzustellen, ob hinsichtlich des Boden- und Grundwasserschutzes Handlungsbedarf besteht, und welche Methoden bei der Gefährdungsabschätzung grundsätzlich geeignet sind und zukünftig empfohlen werden können. Dazu wurden verschiedene Untersuchungsmöglichkeiten getestet und miteinander verglichen:

Neben einer Bestandsaufnahme der Befrachtung der Fläche der Wurfscheiben-Schießanlage mit (Blei-)Schrot und der Bodeneigenschaften gehörten dazu die Ermittlung des Freisetzungs- und Rückhaltevermögens des Bodens gegenüber diesen Schadstoffen, die Entnahme von Sickerwasserproben aus dem Boden und Untersuchungen zum Schadstofftransport durch den Boden. Es wurden auch Grundwasseruntersuchungen durchgeführt, um eine ggf. schon bestehende Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen (insbesondere Blei, Arsen und Antimon) durch den Eintrag von Schrot in den Boden festzustellen.

Damit wurde das Spektrum möglicher Untersuchungsmethoden, wie sie in der in Vorbereitung befindlichen DIN 19740 zum „Umweltgerechten Bau und Betrieb von Schießstätten“, insbesondere im Teil 3 „Untersuchungsstrategien“ beschrieben werden, abgedeckt. Folgende Ergebnisse wurden erhalten:

Bei dem Boden der Wurfscheiben-Schießanlage Heede handelt es sich nach der bodenkundlichen Aufnahme um einen Tiefumbruchboden aus Braunerde-Podsol (Trep-sol). Dieser zeichnet sich durch einen tiefgründig humosen Bodenbereich bis ca. 65 cm aus, der gleichzeitig durch Meliorationsdüngung eine angehobene Bodenreaktion besitzt. Dieser Aufbau ist sehr gut geeignet, die aus dem Bleischrot gelösten Schadstoffe Blei, Arsen und Antimon aktuell zu binden. Da andere Bodeneigenschaften auf große Bioporen hinweisen, besteht dennoch die erhöhte Gefahr des (lokalen) Stoffaustrags in das Grundwasser.

Aus den oberen Dezimetern kann im Hauptdepositionsbereich der Schrote der Wurf-scheiben-Schießanlage Heede Blei in einer Größenordnung von ca. 300 µg/l bis über 1000 µg/l gelöst und mit dem Sickerwasser abtransportiert werden (sogenannter Quellterm). Wie zu erwarten, liegt beim Eluat der mit Blei belasteten Schicht damit eine deutliche Überschreitung von Prüfwerten für den Pfad Boden-Grundwasser vor. Auch die Eluatkonzentrationen bei Arsen und Antimon sind sehr hoch, bei Antimon wird der Prüfwert der BBodSchV ebenfalls deutlich überschritten, bei Arsen teilweise. Auf Grund der Handhabung und der Kosten wird das S4-Eluat zur Abschätzung der Quelltermkonzentration für die Bodentiefe 0-30 cm als geeignet empfohlen soweit die Schrotkörner als eigentliche Schadstoffquelle in der Bodenmatrix verbleiben.

Die Untersuchungen des Sickerwassers mittels Saugkerzen über zwei Jahre ergaben bei Blei und Antimon einzelne Überschreitungen der Prüfwerte, jedoch weisen die Ergebnisse im Ganzen nicht auf eine momentane Gefahr für das Grundwasser hin.

Bei der Simulation eines worst-case-Szenarios durch die kaskadenartige Perkolation von belasteten Wässern zeigte sich, dass die Sorptionsleistung des Treposols für Blei und Arsen ausreichend ist. Die entsprechenden Konzentrationen in den Eluaten unterschreiten die Prüfwerte ab einer Tiefe von 30-50 cm.

In Teilbereichen mit hohen Anteilen an Grob- und Makroporen kann jedoch ein schneller Transport bis in die Tiefe weiterhin nicht ausgeschlossen werden.

Für Antimon kann eine solche Entlastung nicht festgestellt werden. Hier liegen die Konzentrationen in den Eluaten auch nach 60 cm noch deutlich über dem Prüfwert. Nach den Befunden des Perkolationsexperimentes ist daher für den Schießplatz Heede vor allem ein Risiko der Antimonverlagerung aus den oberen Bodenhorizonten in tiefere, weniger sorbierende Unterbodenbereiche und den darauf folgenden Grundwasserleiter gegeben.

Bei den Grundwasseruntersuchungen wurde festgestellt, dass das Grundwasser am Standort Heede zwar durch Schadstoffe aus den Bleischroten beeinflusst wird, jedoch die derzeitige Belastung des Grundwassers als geringfügig einzuschätzen ist. Ein Grundwasserschaden liegt nach den bisherigen Daten nicht vor; eine Überschreitung der Prüfwerte der BBodSchV am Übergangsbereich der ungesättigten in die gesättigte Zone findet aktuell mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht statt.

Eine zukünftige Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen, die vom Boden in das Grundwasser verlagert werden können, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden bzw. ist insbesondere bei Betrachtung längerer Zeiträume eher wahrscheinlich. Regelmäßige Kontrollmaßnahmen (Grundwasseruntersuchungen, ggf. wiederkehrende Bodenuntersuchungen) daher wären geeignet und empfehlenswert, um so eine Gefährdung des Grundwasser zu erkennen.

Nach den hier und in anderen Bundesländern gesammelten Erfahrungen wird ein Kostenrahmen von 10.000.-€ – 20.000.-€ für eine vergleichbare Einschätzung der Grundwassergefährdung in vielen Fällen notwendig sein, wenn nicht durch einfache Methoden - bzw. frühzeitig - eine deutliche Entlastung der Anlage (sehr niedrige Schadstoffkonzentrationen schon im Eluat der Quelle) oder auch ein Grundwasserschaden festgestellt wird.

Hinsichtlich zukünftig zu wählender Untersuchungsmethoden bleibt festzuhalten, dass die Entscheidung, welche Untersuchungsmethode(n) für welchen Schießplatz gewählt wird, eine Einzelfallentscheidung ist und von der Belastungssituation, den Bodeneigenschaften und der Hydrogeologie abhängt. **Die Ergebnisse des Projektes Heede sind nur bedingt auf andere Wurfscheiben-Schießanlagen übertragbar (s. S. 43).**

1 Anlass der Untersuchungen

Die Wurfscheiben-Schießanlage Heede im Kreis Pinneberg besteht aus einer kombinierten Trap- und Skeetanlage, einer separaten Trap-Anlage sowie einem Jungjägerstand (Geradeaus-Taube) und einem Rollhasenstand (siehe Fotodokumentation im [Anhang 5](#)).

Die Anlage wurde im Jahr 2000 durch Dipl. Ing. J.H. Voss im Auftrag des LJV beschrieben und untersucht. Es wurde festgestellt, dass in der Vergangenheit über einen Zeitraum von 22 Jahren erhebliche Mengen umweltrelevanter Schadstoffe, insbesondere von Blei bzw. Bleiverbindungen auf einer Fläche von 2,5 ca. ha eingetragen worden waren. Auf dieser Fläche sind ca. 60 t Schrot niedergegangen, wobei sich der größte Anteil auf den Bereich vor und auf den angrenzenden Fichtenforst konzentriert. Die mittlere Schrotbefrachtung beträgt ca. 2,4 kg/m². Die im Gutachten Voss gravimetrisch ermittelten Schrotgehalte in der Flächenmischprobe der organischen Auflage unter Mischwald (ca. 130 m Entfernung zum Jungjägerstand) zeigen eine Streubreite von 1,3 bis 3,2 kg/m². Gemäß dem von der UMK 1998 vorgeschlagenen Minimalprogramm wurden zur ersten Gefährdungsabschätzung für den Pfad Boden-Grundwasser Bodenproben des visuell belasteten und unbelasteten Bodens analysiert. In erster Einschätzung war danach eine Gefährdung des Grundwassers nicht zu erwarten, jedoch sollten die Auswirkungen aus dem Schießbetrieb mittelfristig kontrolliert und regelmäßig untersucht werden. Nicht betrachtet wurden bei dieser ersten Untersuchung die Größenordnung der Freisetzung von Schadstoffen (Blei, Arsen und Antimon) aus der Bleischrot-belasteten Schicht sowie Verlagerungsmöglichkeiten und die Eigenschaften des Sickerwassers. Die Vorgehensweise der BBodSchV von 1999 konnte auf Grund des Bezugs zu den vor In-Kraft-Treten der Verordnung ausgesprochenen UMK-Empfehlungen ebenfalls nicht berücksichtigt werden.

Auf Grund des erwarteten geringen Grundwasserflurabstandes, des sandigen Untergrunds und der Lage der WSSA im Wasserschutzgebiet sollten weitere Untersuchungen zur Absicherung der Aussagen und Klärung der Grundwassergefährdung durchgeführt werden. In Absprache mit dem LL, dem MLUR und dem LJV wurden Boden(material)-, Sickerwasser- und Grundwasseruntersuchungen sowie Perkolationsexperimente zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser geplant und über einen Zeitraum von 2 Jahren durchgeführt. Es sollten einerseits die aktuelle Situation der Schadstoffkonzentration im Sickerwasser erfasst und andererseits die für eine Prognose der zukünftig zu erwartenden Schadstoffbelastung/ -verlagerung notwendigen Größen ermittelt werden.

Zwischenzeitlich wurde im Auftrag der LABO durch eine Arbeitsgruppe beim DIN ein Normentwurf (DIN 19740) erarbeitet, der 2005 fertig gestellt werden soll. Teil 3 des Normentwurfs behandelt die Thematik der Untersuchungsstrategien für Bodenbelastungen auf Schießplätzen.

Die Bearbeitung des Teiles 3 des Normentwurfs der DIN wurde 2004 weitgehend abgeschlossen. Hieran war das LANU über die LABO aktiv beteiligt.

Die Untersuchungen der WSSA Heede wurden bis 2004 schrittweise erweitert und dem bundesweiten Diskussionsstand auch dieser DIN-Arbeitsgruppe angepasst.

2 Ziel und Konzeption der Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen ist es, gemäß der Zielsetzung der BBodSchV bei der Gefährdungsabschätzung des Pfades Boden-Grundwasser am Ort der Beurteilung (Übergang von der ungesättigten in die wassergesättigte Bodenzone) die derzeitige bzw. künftig zu erwartende Konzentration vor allem an Blei, Arsen und Antimon zu ermitteln bzw. zu prognostizieren.

Da am Ort der Beurteilung die Stoffkonzentration im Sickerwasser in der Regel nicht direkt gemessen werden kann, muss diese Konzentration nach Anhang 1 der BBodSchV abgeschätzt werden. Diese Abschätzung kann annäherungsweise

1. durch Rückschlüsse oder Rückrechnungen aus Untersuchungen im Grundwasserabstrom unter Berücksichtigung der Stoffkonzentration im Grundwasseranstrom, der Verdünnung, des Schadstoffverhaltens in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone sowie des Schadstoffinventars im Boden,
2. auf der Grundlage von In-situ-Untersuchungen oder
3. auf der Grundlage von Materialuntersuchungen im Labor (Elution, Extraktion), bei anorganischen Stoffen insbesondere der Elution mit Wasser,

auch unter Anwendung von Stofftransportmodellen erfolgen.

Abbildung 1 verdeutlicht die unterschiedlichen Untersuchungsmöglichkeiten und weist auf relevante Prozesse hin, die bei der Abschätzung zu berücksichtigen sind.

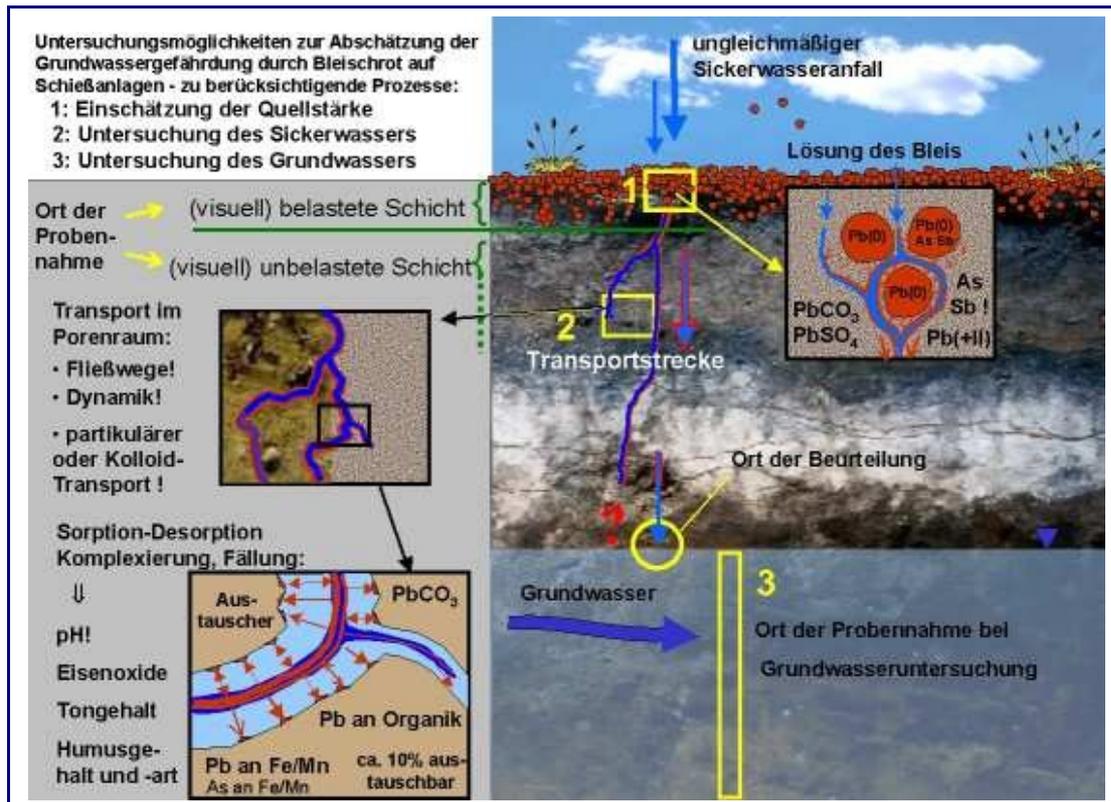


Abbildung 1: Untersuchungsmöglichkeiten zur Sickerwasserprognose

Für jede dieser Abschätzungsmöglichkeiten wurden auf der WSSA in Heede Untersuchungen durchgeführt.

Bei den Untersuchungen ist bezüglich ihrer Aussagekraft grundsätzlich zu beachten:

- ◆ Bodenmaterial- und In-situ-Untersuchungen der ungesättigten Zone sind dem Ort der Beurteilung vorgelagert. Sie bedürfen zur Abschätzung des Stoffeintrages am Ort der Beurteilung einer Transportprognose, die die Rückhalt-, Abbau- und Umbauprozesse in der ungesättigten Zone berücksichtigt.
- ◆ Eine Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Grundwasseruntersuchungen, also Untersuchungen der gesättigten Zone wie auch ggf. durchgeführte Untersuchungen am Ort der Beurteilung sind der Transportstrecke nachgelagert. Sie bedürfen ergänzender Betrachtungen der möglicherweise zukünftigen Schadstoffeinträge über die Transportstrecke in das Grundwasser.

Für alle Untersuchungen gilt daher gleichermaßen, dass Stoffbestand und Stoffverteilung der Quelle sowie Grundinformationen über Rückhalt- und Abbauprozesse der ungesättigten Zone bei der Sickerwasserprognose zu berücksichtigen sind.

Die abschließende Abschätzung der Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung kann ggf. unter Zuhilfenahme von einfachen Berechnungsmethoden erfolgen, jedoch ist der Einsatz von Stofftransportmodellen i.d.R. nicht zielführend, da die notwendigen Parameter und deren Spannweite meist nicht bekannt bzw. schwer zu bestimmen sind. Als Ergebnis einer Sickerwasserprognose ist daher häufig keine ‚exakte‘ An-

gabe von Sickerwasserkonzentrationen möglich – vielmehr müssen die verschiedenen bestimmenden Standortfaktoren (z. B. Bodeneigenschaften, hydrogeologische Situation) miteinander verglichen, abgewogen und daraus die **Wahrscheinlichkeit** einer Grundwassergefährdung abgeschätzt werden. Dies wird als **verbal-argumentative Abschätzung** bezeichnet.

Bei einer verbal-argumentativen Abschätzung werden alle Prozesse von Freisetzung, Transport und Eintrag in das Grundwasser möglichst umfassend beschrieben und die zu diesen Prozessen gehörenden Parameter ermittelt bzw. abgeschätzt. Erkenntnisse von vergleichbaren Standorten können einbezogen werden. Das Ergebnis soll eine in sich schlüssige und nachvollziehbare Abschätzung sein, ob am Ort der Beurteilung eine Prüfwertüberschreitung derzeit oder zukünftig zu erwarten ist.

In Anlehnung an das Vorgehen bei einer orientierenden Untersuchung führt das Ausmaß der **Wahrscheinlichkeit einer Prüfwertüberschreitung** ggf. zu weiteren Untersuchungs- oder auch Monitoringmaßnahmen; ggf. kommen Sanierungs- oder Umgestaltungsmaßnahmen der WSSA in Frage, die die Wahrscheinlichkeit weiterer Einträge von Schadstoffen in das Grundwasser reduzieren.

Es wurde folgende **konzeptionelle Grundannahme** bei der Wahl der Untersuchungsfläche getroffen:

Bei der Prüfung der Grundwassergefährdung ist die Wahrscheinlichkeit einer Verlagerung und eines Eintrags von Schadstoffen in das Grundwasser im Hauptdepositions-bereich der Bleischrote am größten – dort wiederum im Bereich der größten Bleischrotansammlungen. Weiter bestimmen die Geländemorphologie (Grundwasserflurabstand) und die Verteilung bestimmter Bodeneigenschaften (z.B. pH-Wert) die Wahrscheinlichkeit dieses Eintrags.

Aus diesen Informationen wird ein repräsentativer bzw. belastungsrelevanter Untersuchungsbereich im Hauptdepositionsbereich gewählt. Ist auf Grund der verschiedenen Untersuchungen eine Grundwasserbelastung auf dieser (gewählten) Teilfläche derzeit oder zukünftig nicht zu erwarten, ist bei gleichen Bodeneigenschaften auch für die übrigen Bereiche der WSSA eine ‚Entlastung‘ anzunehmen. Andernfalls sind weitere Untersuchungen oder Aussagen über das (flächenmäßige) Ausmaß der möglichen Einträge nötig.

Um die Wahrscheinlichkeit einer Prüfwertüberschreitung abzuschätzen, wurden die folgenden Erhebungen und Untersuchungen durchgeführt:

1. Ermittlung von Bodeneigenschaften und deren Verbreitung
2. Ermittlung der Quellstärke der bleischrotbefrachteten Schicht im Hauptdepositions-bereich
3. Bestimmung von Blei, Antimon und Arsen in Sickerwässern

4. Durchführung von Perkolationsexperimenten, die Aufschluss über die Verlagerung bzw. den Rückhalt des Bleis, Antimons und Arsens im Boden geben
5. Ergänzende Untersuchung des Grundwassers
6. Durchführung vereinfachter Extraktionsexperimente (Kaskadenversuche)

Die einzelnen Untersuchungen wurden von den folgenden Überlegungen geleitet:

- Die Bodenmaterialproben aus dem Hauptdepositionsbereich wurden auf ihren Stoffbestand und insbesondere auf die aus der oberen Bodenschicht / Auflage eluierbaren Bleigehalte (Bodensättigungsextrakt (BoSE) und ihre Eluierbarkeit mit Wasser (S4)) hin untersucht. Im Gegensatz zu den Empfehlungen im UMK-Bericht (vergl. Fußnote S. 5) wurden bei den Eluatuntersuchungen die Schrotkörner in der Probe belassen, da dies realitätsnähere Ergebnisse liefert, denn die Schrotkörner stellen die Schadstoffquelle dar und sind somit für den Quellterm entscheidend. Daneben wurden auch Bodenmaterialproben von einem Standort außerhalb der WSSA entnommen und ebenfalls auf Stoffbestand und -konzentrationen hin untersucht, um Informationen über die Hintergrundbelastung der Böden im Umfeld der WSSA zu erhalten.
- Mit Hilfe von Saugkerzen wurden Sickerwasserproben aus der ungesättigten Bodenzone entnommen und diese auf ihre Schadstoffkonzentrationen hin untersucht. Dies soll unter natürlichen Bedingungen Hinweise auf Freisetzung und Festlegung von Schadstoffen in der oberen Bodenschicht erbringen.
- Es wurden direkte Untersuchungen des Grundwassers durchgeführt, um einen ggf. schon eingetretenen Grundwasserschaden zu erkennen.
- Von der CAU wurden Perkolationsversuche durchgeführt, um das Rückhaltevermögen des Bodens für Schadstoffe v.a. unter „worst case“-Bedingungen zu ermitteln. Diese dienen als Vergleichsuntersuchung zu den Saugkerzenuntersuchungen. Weiter sollte geprüft werden, ob die langwierigen Untersuchungen mit Saugkerzen durch schnell durchzuführende Versuche bei vergleichbarer Aussagekraft ersetzt werden können.

Da in Schleswig-Holstein bislang keine Erfahrungen bei der Gefährdungsabschätzung auf Wurfscheiben-Schießanlagen bezüglich des Pfades Boden-Grundwasser unter Berücksichtigung der BBodSchV vorlagen, sind diese unterschiedlichen Bausteine zur Ermittlung des aktuellen bzw. potentiellen Gefährdungspotentials zunächst parallel und nicht aufeinander aufbauend durchgeführt worden.

Die Untersuchungen entsprechen dem Normentwurf (DIN 19740), Teil 3, der die Thematik der Untersuchungsstrategien für Bodenbelastungen auf Schießplätzen behan-

delt (s.o.). Der Normentwurf sieht vor, nicht ausschließlich eine Untersuchungsmethode zur Gefährdungsabschätzung anzugeben. Vielmehr sind mehrere Untersuchungsteilschritte in Form von Modulen, die je nach Untersuchungsziel (Feststellung der aktuellen oder der potentiellen Gefährdung, Ausmaß der Gefährdung) aufeinander aufbauend oder parallel in Kombination durchgeführt werden, möglich.

Die im Normentwurf des DIN genannten Module entsprechen im Wesentlichen den Teilschritten, die auch im Rahmen der Bearbeitung der WSSA in Heede durchgeführt wurden. Erfahrungen aus dem Projekt Heede in Schleswig-Holstein, v.a. auch zu den zu wählenden Untersuchungsmethoden, zur Probenvorbehandlung und zu den Analysen sind auch in den Normentwurf mit eingeflossen.

3 Auswertung verfügbaren Daten- und Kartenmaterials und Ortsbegehung sowie Auswahl des Mess- und Referenzstandortes

Es wurden für die Wurfscheiben-Schießanlage Heede

- verfügbares Daten-, Karten- und sonstiges Informationsmaterial gesichtet und ausgewertet. Die Anlage wurde vor Ort besichtigt, insbesondere um mögliche Immissionen in ihrem Ausmaß festzustellen und einzugrenzen.
- eine bodenkundliche Kartierung des Depositionsbereiches und eines Referenzstandortes durchgeführt, um eine Beurteilung und Risikoabschätzung der von den Schadstoffbelastungen ausgehenden Gefahren zu ermöglichen. Dazu wurden Informationen zur Bodenart, zum pH-Wert, zur Wasserleitfähigkeit, zum Stoffbestand des Bodens, zum Grundwasserstand und zu evt. vorhandenen Makroporen oder anderen präferentiellen Fließwegen erfasst.

Bei der Ortsbegehung konnten die Bereiche mit oberflächlich auffälligen Schrotkornanteilen identifiziert werden (siehe **Abbildung 2**, die Kreissegmente nach UMK-Bericht sind im [Anhang 2](#) einem Befliegungsfoto überlagert). Stark erhöhte Schrotkornaufgaben wurden in Schussrichtung des Jungjägerstandes vorgefunden. Insbesondere im Bereich von Fichten konnten durch den Auskämmeffekt der Bäume lokal bodendeckende Bleischrotauflagen beobachtet werden.

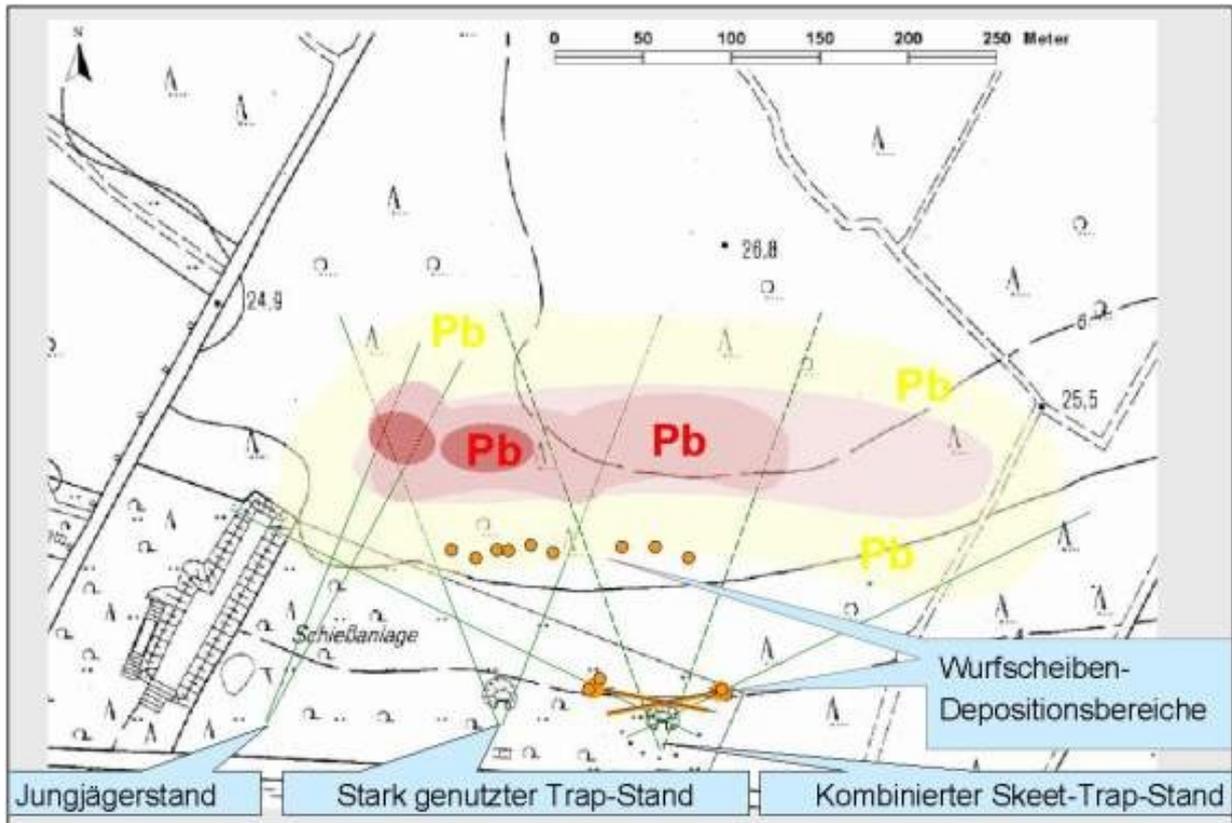


Abbildung 2: Auf Grundlage der typischen Deposition von Bleischrotten und auf Grund der Ortsbegehung abgeschätzte Bleiverteilung auf der Wurf-scheiben-Schießanlage Heede

Zur Festlegung des Standortes für die Sickerwasser- und weiteren Untersuchungen wurden die Bleigehalte an drei Stellen vergleichend bestimmt:

- Hauptdepositionsbereich in der Schußrichtung des Jungjägerstandes mit sichtbaren Schrotkugeln vor dem Fichtenbestand in der Bodentiefe 0-10 cm, 10-15 cm und 15-25 cm.
- Hauptdepositionsbereich in der Schussrichtung des Jungjägerstandes im Fichtenbestand in der Bodentiefe 3-10 cm und 10-25 cm (die obere Bodenaufgabe aus Fichtenstreu und Bleikugeln wurde entfernt)
- Referenzprobe ca. 60 m vom Parkplatz in südlicher Richtung zum Schießplatz in der Bodentiefe 0-20 cm

Die Bodenproben wurden bei 40°C getrocknet und durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 3,35 mm gesiebt, so dass die in der Bodenprobe enthaltenen Schrotkugeln in die Analysenprobe gelangen konnten.

Durch Vorversuche wurden die Elutionsverfahren BoSE und S4 –Extrakt mit diesem schrotkugelhaltigen Material erprobt.

Ergebnis dieser Vorversuche war u.a., dass der S-4 Extrakt, der nur mit 6500 g zentrifugiert wurde, einen Gehalt von 5 mg/l Blei aufwies. Nach einer Zentrifugation mit 50000 g wurden nur noch Gehalte von 1,5 mg/l Blei gefunden. Bei Arsen und Antimon wurde eine solche Reduzierung nicht beobachtet. Anscheinend ist das Blei zu etwa 70 % partikulär (0,45 µm – 0,1 µm) gebunden.

Die Eluatherstellung wurde analog der BBodSchV durchgeführt.

Entgegen der DIN - Vorschrift zeigte sich, dass in den Lösungen des BoSE Verbindungen der Elemente Arsen, Blei und Antimon vorliegen, die nicht ohne Aufschluss korrekt zu messen sind. Nachdem ein geeigneter Aufschluss getestet wurde, wurden die BoSE erneut hergestellt und gemessen.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

BoSE und S4-Eluate	Tiefe cm	pH-Wert	Konzentrationen in ppb									
			Eluat	As	Pb	Sb	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	
Jungjägerstand vor den Fichten	0-10	5,2	BoSE	40 ± 6,6	1500 ± 42	366 ± 36						
			S4	168 ± 22	2950 ± 92	97 ± 39	3,1 ± 0,4	< 2,5	< 2,5	31,3 ± 3,9	2,5 ± 1,1	
	10-15	5,1	BoSE	9,7	688	176						
			S4	183	1960	974	3,6	< 2,5	< 2,5	21,8	< 2,5	
	15-25	5,2	BoSE	< 2,5	30 ± 5,7	23 ± 0,1						
			S4	13,2 ± 4	73 ± 30	75 ± 61	< 2,5	0,3 ± 0,1	< 2,5	19,3 ± 1,5	1,8 ± 0,2	
Jungjägerstand im Fichtenbestand	3-10	5,1	BoSE	3,6 ± 1,5	1185 ± 11	122 ± 20						
			S4	86,5 ± 61	800 ± 256	292 ± 201	1,8 ± 1,5	0,5 ± 0,1	< 2,5	17,6 ± 3,4	2,0 ± 0,3	
	10-25	5,2	BoSE	< 2,5	29,7	13,5						
			S4	< 2,5	19,3	< 5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	23,3	< 2,5	
Referenzprobe	0-20	5,0	BoSE	< 2,5	<5	<5						
			S4	< 2,5	4,1	< 5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	29,4	< 5	

Tabelle 1: Konzentrationen an eluierbarem Blei, Arsen und Antimon in der visuell belasteten Bodenschicht der WSSA Heede

Die Proben zeigten schon optisch eine starke Inhomogenität, sodass diese Proben mehrfach eluiert werden mussten. Dies ist erkennbar, wenn eine Spannweite bei den Daten angegeben wird. Bei einigen Proben konnte wegen geringer Probenmenge keine Mehrfachbestimmung erfolgen.

Bei jeder Probe wurde sowohl der S4-Extrakt als auch der BoSE bestimmt. Das Boden-Wasser-Verhältnis betrug bei den BoSe-Extraktionen zwischen 1:2,5 und 1:3,4.

Werte, die mit kleiner als (<) angegeben wurden, liegen unterhalb der entsprechenden Bestimmungsgrenze.

Als Untersuchungsfläche wurde der Hauptdepositionsbereich des Jungjägerstandes vor den Fichten gewählt (gelb markierter Bereich im [Anhang 2](#)). Die folgenden Kapitel beziehen sich auf Untersuchungen dieses Standortes.

4 Beschreibung des Bodens und seiner physikochemischen Eigenschaften

Die Ergebnisse zu den physikochemischen Eigenschaften wie des untersuchten Bodens der o.g. Fläche sind in [Anhang 3](#) zusammengefasst. Die Ergebnisse weisen den Standort als mittelsandig, stark humos und leicht versauert aus.

Dem Boden wird nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Bodentyp ‚Tiefumbruchboden aus Braunerde-Podsol‘ (Trepasol) zugewiesen.

Dabei ist der durch Tiefpflügen tiefgründig humose Bodenbereich (65 cm mächtig), der gleichzeitig durch die Meliorationsdüngung eine angehobene Bodenreaktion besitzt, besonders zu erwähnen. Die nur leicht saure Bodenreaktion drückt sich gleichfalls in der hohen Basensättigung (BS) und der effektiven Kationenaustauschkapazität (KA-Keff) aus. Die höchsten Werte der effektiven Kationenaustauschkapazität sind in den beiden ersten Beprobungstiefen (R-Ap und R+Bsh) anzutreffen. Die Werte sind, typisch für sandige Substrate, eher als gering einzustufen.

Die sich aus den Bohrungen ergebenden Erkenntnisse über den Bodenaufbau sind in [Anhang 4](#) aufgeführt. Bis zur erbohrten Endtiefe von 7 m bzw. 8 m wurden schwach mittelsandige, vereinzelt kiesige Feinsande vorgefunden. Ein Grundwasserstauer wurde nicht erbohrt.

Die gesättigten Wasserleitfähigkeiten der untersuchten Bodensäulen zeigen mit Werten von 1 bis 40 m/Tag hohe bis sehr hohe Wasserleitfähigkeiten wie sie typisch sind für sandige Substrate (Tab. 4). Wasserleitfähigkeiten von 38 und 40 m/Tag wie sie für einzelne Bodensäulen der beiden obersten Horizonte (R-Ap, R+Bsh) des Trepasols gefunden wurden, sind ein **eindeutiger Hinweis auf große Bioporen**, die von Regenwürmern (s. a. Bodenreaktion) und abgestorbenen Wurzeln herrühren können. Sehr hohe Gesamtporenvolumina in den durch Tiefpflügen veränderten obersten Horizonten sind dabei nicht nur auf die weiten Grobporen zurückzuführen, wie dies die Werte für die Luftkapazität zeigen, sondern auch im Bereich der Feldkapazität (0,2-50 µm) zu finden. Die vereinzelt vorgefundenen hohen gesättigten Wasserleitfähigkeiten der beiden obersten Horizonte zeigen daher, dass nicht die Kapazität der weiten Grobporen entscheidend ist, sondern im Extrem eine kontinuierliche Grobpore ausreichend sein kann, den gesamten gesättigten Stofffluss zu bestimmen. Mit dieser scheinbaren Diskrepanz zwischen der Kapazität und den tatsächlich wirksamen Poren ergibt sich auch eine sehr starke Reduktion der reaktiven Oberflächen. Damit ist auch eine Reduktion der Pufferfähigkeit des Systems gegenüber Schadstoffeinträgen und eine **erhöhte Gefahr des Stoffaustrags** verbunden. Es besteht die Gefahr von schnellen Transportvorgängen, die den Sorptionskörper des Bodens nicht vollständig (zeitlich und räumlich) mit der Bodenlösung ins Gleichgewicht setzen lassen. **Die chemischen Bodeneigenschaften dieses Standortes sind dagegen** aufgrund der Bodenreaktion, der gleichförmigeren und tiefreichenderen Verteilung der organischen Substanz und der pedogenen Eisengehalte **als geeignet einzustufen, die genannten Schadstoffe aktuell zu binden.**

5 Untersuchungen zur Schadstoff-Freisetzung in der Quellschicht

Das Oberboden-Material der o.g. Untersuchungsfläche wurde durch verschiedene Elutionsverfahren auf die maximale Schadstoff-Freisetzung hin untersucht. Die in Kap. 3 aufgeführten Elutionsuntersuchungen mittels BoSE und S-4 wurden vom Landeslabor Schleswig-Holstein durchgeführt.

Die **TU-Hamburg-Harburg** untersuchte im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens Sickerwasserprognose das **Teilprojekt ,Entwicklung eines Verfahrens zur experimentellen Quantifizierung der Schadstoff-Quellstärke für Lockermaterial: CO₂-beeinflusste Mobilisierung anorganischer Schadstoffe'**¹. Ziel war die Entwicklung einer Methode zur realistischen Abschätzung der Schadstoff-Quellstärke. Mit Säulenversuchen unter wasserungesättigten Verhältnissen wird die größtmögliche Annäherung an natürliche Bedingungen erreicht. Geringe Berechnungsraten bedingen ein naturnahes, sehr enges Wasser/Feststoff-Verhältnis. Der luftgefüllte Porenraum wird mit Gas definierter Zusammensetzung durchströmt. Die Versuche erfordern einen Zeitrahmen von mehreren Monaten bis zur Einstellung stabiler Eluatkonzentrationen, lassen sich aber durch zunächst erhöhte Berechnungsraten auf ca. 6 Wochen verkürzen. Als ein ganz wesentlicher, die Eluatkonzentration bestimmender Faktor erwies sich die elektrische Leitfähigkeit. Selbst geringe Veränderungen, etwa durch einen Wechsel der Berechnungsrate, wirken sich aus. Starke Veränderungen ergeben sich durch Variation der Höhe der Bodensäule oder Sickerstrecke. Im Hinblick auf die beiden Faktoren Berechnungsrate und Säulenhöhe muss ein Säulenelutionsverfahren genau definiert werden. Die Wirkung der elektrischen Leitfähigkeit beruht auf einer Beeinflussung des Grenzflächenpotentials der Feststoffoberflächen durch die Elektrolytkonzentration. Eine Erhöhung führt auf den überwiegend negativ geladenen Oberflächen der Feststoffe zu einem verstärkten Rückhalt spezifisch sorbierender anionischer Schadstoffe, wie z.B. Arsen und Antimon. Kationische Schadstoffe werden dagegen verstärkt mobilisiert.

Bei der Probenvorbereitung ist zu beachten, dass die Proben nach Trocknung (40°C) durch ein 3,35 mm Sieb gesiebt wurden, sodass die Schrotkugeln mit einem Durchmesser von kleiner 3,35 mm in der zu eluierenden Probe verbleiben. Diese Probenvorbereitung ist zur Ermittlung des Quellterms notwendig; eine Siebung < 2 mm gemäß BBodSchV würde zu einer Verfälschung führen, da hierdurch nicht nur (im Sinne der BBodSchV) Inertmaterial, sondern die eigentliche Schadstoffquelle aus der Probe entfernt werden würde. Diese Art der Aufarbeitung und damit ein Abweichen von den Vorgaben der BBodSchV sind daher bei dieser Art von Proben fachlich geboten.

Eluate aus < 2 mm gesiebten Proben stellen keine naturnahe Ausgangskonzentration dar und sind nicht interpretationsfähig.

¹ Schlussbericht vom Dezember 2003, Förderkennzeichen 02WP0082

Die Größenordnungen des Quellterms sind bei drei verwendeten Elutionsmethoden im Mittel bei verschiedenen an benachbarten Standorten entnommenen Proben vergleichbar:

[µg/l]	Blei	Arsen	Antimon
Bodensättigungsextrakt:	1200-1500	4-40	120-370
S4-Extrakt: (Landeslabor)	800-3000	90-170	100-290
(Uni Kiel)	750-1000	50	360
Säulenversuche unter un-			
gesättigten Bedingungen durch			
die TU-Hamburg-Harburg: (20 °C)	400-1200	<1 - 10	75-110
(5 °C)	300 - 500	1,5 - 8	50-100
Größenordnung	300-1500	5-50	50-150

Tabelle 2: Schadstoffkonzentrationen in verschiedenen Eluaten der oberen schrotkornbefruchteten Bodenschicht im Hauptdepositionsbereich des Jungjägerstandes auf der WSSA Heede

Zusammenfassend ist festzustellen:

Aus dem oberen Dezimeter kann im Hauptdepositionsbereich der Schrote der WSSA Heede Blei in einer Größenordnung von ca. 300 µg/l bis über 1000 µg/l gelöst und mit dem Sickerwasser abtransportiert werden (sogenannter Quellterm).

Wie zu erwarten, liegt beim Eluat der mit Blei belasteten Schicht damit eine deutliche Überschreitung von Prüfwerten für den Pfad Boden-Grundwasser vor.

Auch die Eluatkonzentrationen bei Arsen und Antimon sind sehr hoch, bei Antimon wird der Prüfwert der BBodSchV ebenfalls deutlich überschritten, bei Arsen teilweise.

Abbildungen zur Quelltermbestimmung:



Abbildung 3: Herstellung eines Bodensättigungsextraktes – Aufschlammung des Bodens in einem Zentrifugenglas bis zur Fließgrenze (Fotos mit freundlicher Genehmigung von Thorsten Nack, LL)

Ungesättigte Säulenversuche (TU Hamburg-Harburg):

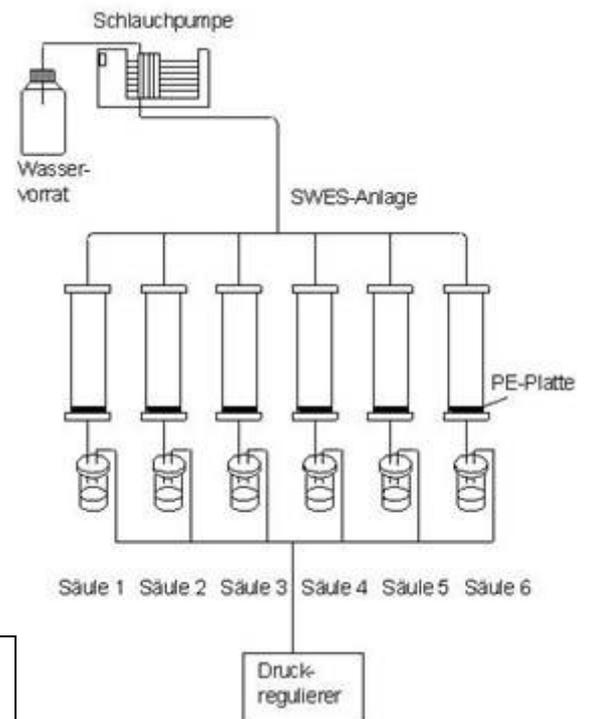


Abbildung 4: Elution von Bodensäulen der oberen bleibelasteten Bodenschicht

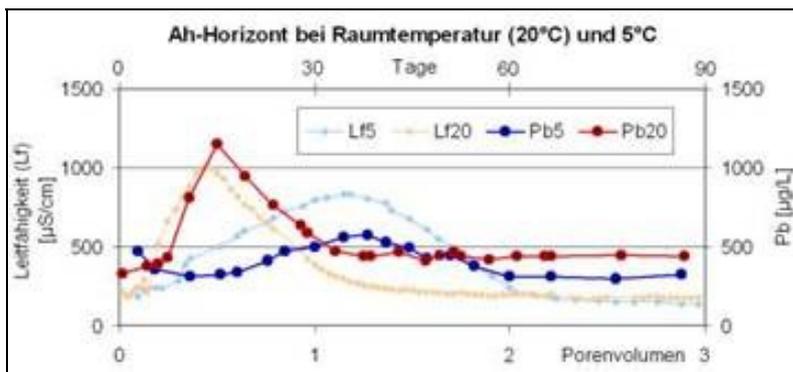


Foto und Abbildungen mit freundlicher Genehmigung von Dr. J. Gerth, TUHH

6 Untersuchungen des Sickerwassers

Die Untersuchung von Sickerwasser auf Wurfscheiben-Schießanlagen mittels Saugkerzen wurde verschiedentlich bereits durchgeführt (z. B. UBA 1989, Firma Dr. Kerth + Lampe 2001). Dabei wurden teilweise neg. Erfahrungen (insbesondere bezüglich der Materialeigenschaften des gewählten Kerzenmaterials), teilweise positive Erfahrungen gemacht (Koch 1993, s.a. ahu texte 2001). Unter Beachtung methodenbedingter Einschränkungen können durch solche Untersuchungen die realen standörtlichen Gegebenheiten in ihrer räumlichen und zeitlichen Heterogenität wiedergegeben werden.

Dabei ist zu beachten:

1. Das Kerzenmaterial darf keine Schwermetalle sorbieren. Einige Materialien eignen sich daher für mit Schwermetallen belastetes Sickerwasser erfahrungsgemäß nicht. Dazu zählen insbesondere die häufig verwendeten Keramikkerzen. Als möglicherweise geeignet werden Kerzenmaterialien aus Nylon/PE, Teflon/Glas und Borosilikat genannt.
2. Die Beeinflussung des Sickerwassers durch das Schlauchmaterial ist zu minimieren, d.h. es dürfen keine Schlauchmaterialien verwendet werden, die Stoffe enthalten oder binden, hinsichtlich derer die Sickerwasserproben analysiert werden sollen.
3. Die Porengröße des verwendeten Kerzenmaterials beeinflusst die Qualität des Sickerwassers.
4. Ein guter Porenkontakt zwischen Kerze und Boden ist zu gewährleisten. Dazu kann je nach Bodenart eine Einschlämmung der Kerze in ein Bohrloch mit Boden- oder Standardmaterial dienen. Ist eine Einschlämmung nicht möglich oder nicht erfolgreich ist von Konditionierungszeiten über mehrere Monate auszugehen, bis ein Anschluss der Saugkerze an den Sickerwasserfluss eintritt.
5. Da durch die Saugkerzen bevorzugt leicht bewegliches Sickerwasser gewonnen werden soll, ist kerzen- und bodenartabhängig ein eher geringer Unterdruck ausreichend. Die Saugkerzen in Heede wurden kontinuierlich bei – 300 mbar betrieben.
6. Der Einbau der Saugkerzen kann waagrecht, senkrecht oder diagonal (aus einer Profilgrube heraus) erfolgen. Ein senkrechter Einbau ist nicht zu empfehlen, da oberflächlich infiltrierendes stark schadstoffbefrachtetes Wasser schnell an den Kerzen abwärts transportiert werden kann, ohne dass es zu Sorptionsvorgängen kommen kann. Damit würden in der Tiefe unrealistisch hohe Werte erzeugt.
7. Die Saugkerzen müssen in mehreren Parallelen eingebaut werden, da erfahrungsgemäß die Einbindung der Kerzen in den Bereich der Sickerwassertransportbahnen sehr unterschiedlich erfolgt. Regelmäßig sind daher bei mehreren Parallelen auch Kerzen mit nur geringem oder ohne Sickerwasseranfall dabei.

8. Das Sickerwasser ist regelmäßig zu entnehmen. Die zeitlichen Abstände hängen neben Gefäßgröße und Unterdruck von der Niederschlagsverteilung und vom maximalen Sickerwasseranfall einer Kerze ab. Bei der WSSA Heede war ein zwei- bis vierwöchiger Rhythmus ausreichend. Soll eine zeitlich differenziertere Auflösung der Konzentrationen im Sickerwasser erzielt werden, müssen entsprechend häufiger Proben entnommen werden.
9. Die Saugkerzen müssen vor ihrem Einsatz konditioniert werden.
10. Die Hintergrundkonzentration der untersuchten Schadstoffe im Boden, Sicker- und Grundwasser ist zu berücksichtigen.

In Vorversuchen des Landeslabors wurden insgesamt fünf verschiedene Saugkerzen einbezogen, die in der nachfolgenden Tabelle charakterisiert sind. Mit den Saugkerzen wurden im Anschluss an die Konditionierung drei Versuchsserien durchgeführt:

- 1) Durchsaugen von hochreinem Wasser zur Blindwert-Feststellung
- 2) Durchsaugen einer Bleilösung im Spurenbereich (3µg/l)
- 3) Durchsaugen einer verdünnten (1/10) Bodenlösung der WSSA Heede

Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 3: Vorversuche im Landeslabor Schleswig-Holstein zur Auswahl von Saugkerzen

Aus den Voruntersuchungen ergab sich, dass für den Spurenbereich keine der Kerzen

Saugkerz Nr.	Hersteller	Material	Vorversuche mit :	Blindwert [µg/l]	Pb = 3 [µg/l]	Pb = 250 [µg/l]
			Ausgangslösung:	<0,2	3	235
1	SPE 20 Kunststoff-Saugkerze Porengröße 0,45 µm	Polyamid, Polyethylen (Plexiglasrohr) (speziell für PSM)		<0,2	0,6 / 0,8	232 / 230
2	Prenart Super Quartz Porengröße 2 µm	Teflon/Quarz (PVC-Rohr) lt. Hersteller die ersten 2 bis 3 Liter Bodenlösung verwerfen, danach gebrauchsfähig		<0,2	<0,2 / <0,2	18 / 30
3	ecoTech, Bonn Glas-Saugkerze Porengröße 1 µm (Glas-SK 110)	Borosilikatglas [SiO ₂ (ca. 80%), Al ₂ O ₃ (ca. 2%)], Anschluß für 2 mm PTFE-Schlauch (speziell für organische Schadstoffe)		<0,2	<0,2 / <0,2	226 / 220
4	ecoTech, Bonn Keramik-Saugkerze Porengröße 1 µm (P80)	Keramik [Al ₂ O ₃ (81-100%)], Anschluß für 4 mm Polyamid-Schlauch (speziell für Anionen wie Nitrat, Chlorid, Bromid, ungeeignet für PSM, SM und Phosphat)		<0,2	<0,2 / <0,2	4 / 3
5	ecoTech, Bonn Kunststoff-Saugkerze Porengröße 0,45 µm* (KU-SK110)	Polyamid Membran, poröses Polyethylen , Anschluss für 1,6 mm Polyethylen-Schlauch (speziell für Metalle und Phosphat)		<0,2	<0,2 / 0,2	234 / 234

geeignet ist. Die Kerzen 2 und 4 sind auch im kontaminierten Bereich nicht einsetzbar.

Für den Konzentrationbereich des Blei-Prüfwertes lagen Vorversuchs-Ergebnisse der Firma Ecotech für deren Kunststoff-Saugkerze vor. Danach wurden bei einer Blei-Ausgangslösung von 19 µg/l in der Saugkerzenlösung nur ca. 47 % wiedergefunden, bei einer Blei-Ausgangslösung von 41 µg/l ca. 60 %.

Zusammenfassend ist festzustellen: Je höher die Bleikonzentration im Sickerwasser, desto zuverlässiger ist das Messergebnis. Mit sinkender Bleikonzentration im Sickerwasser (und damit mit steigender Bodentiefe) in die Größenordnung des Blei-Prüfwertes sinkt auch die materialbedingte Wiederfindungsrate. Damit steigt die Gefahr, die tatsächliche Bleikonzentration im Sickerwasser zu unterschätzen. Im Bereich des Blei-Prüfwertes ist die Messung mit den Saugkerzen nach dem momentanen Stand nicht zuverlässig. Die Berechnung einer zu vermutenden Sickerwasserkonzentration aus dem Messergebnis durch Multiplikation mit einem empirisch ermittelten Faktor ist auf Grund möglicher Sättigungseffekte des Materials für Blei nicht abgesichert. Die Unsicherheiten sind bei der Bewertung von Konzentrationen in mittels Saugkerzen entnommenen Sickerwasserproben zu berücksichtigen.

Die Kerzen wurden wie auf Abbildung 5 dargestellt diagonal eingebaut.



Abbildung 5: Einbau der Saugkerzen auf der WSSA Heede

Es wurde auf Grund der geringfügig besseren Nachweise von Blei im Spurenbereich die Kunststoff-Saugkerze SPE 20 mit der Porengröße 0,45 µm verwendet.

Die mittleren (geometrischer Mittelwert mit blauem Balken), minimalen und maximalen Bleikonzentrationen im Sickerwasser der einzelnen Saugkerzen sind in Abbildung 6, die Einzelwerte in Abbildung 7 dargestellt.

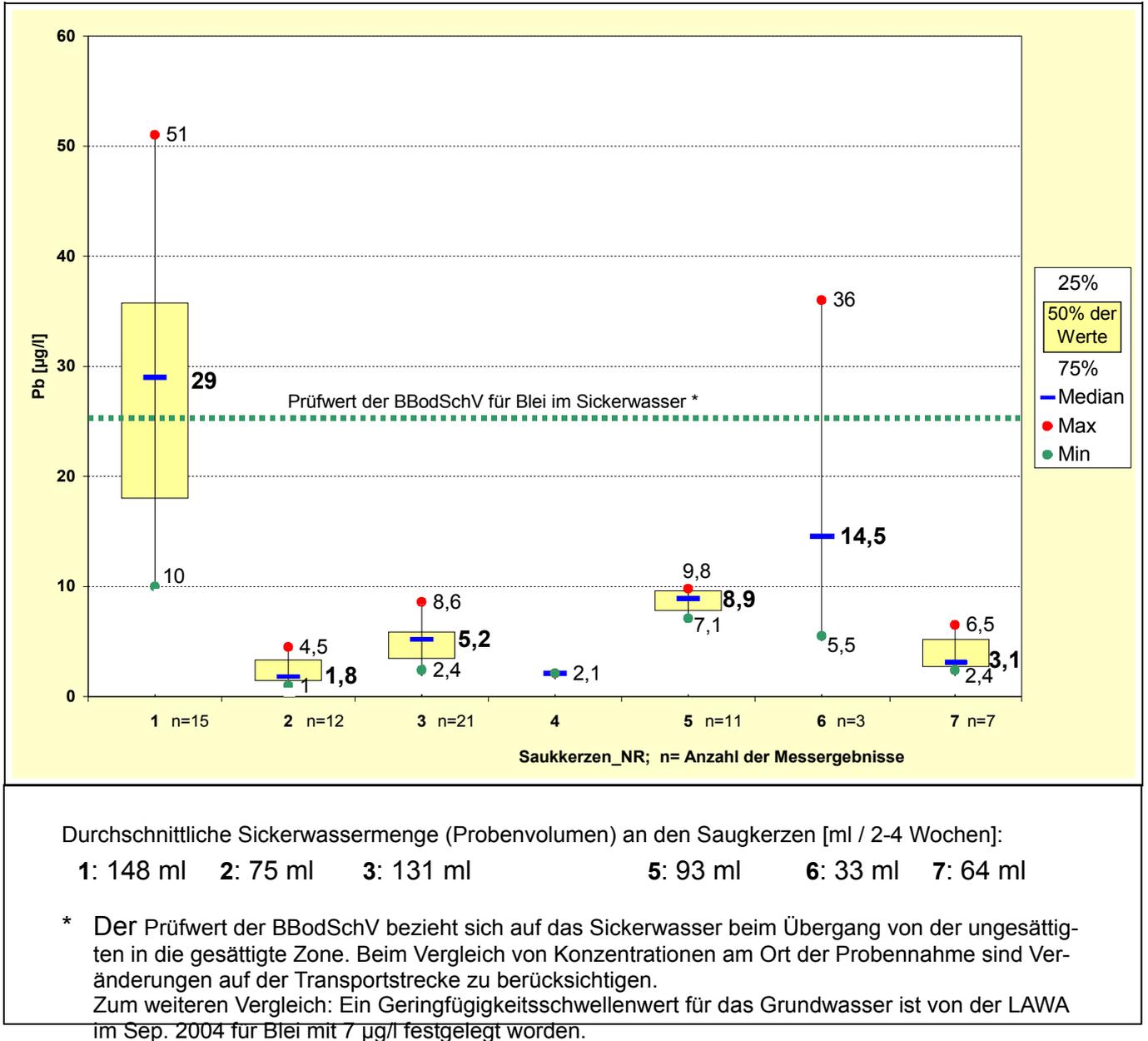


Abbildung 6: Bleikonzentrationen im Sickerwasser der Saugkerzen 1-7 im Hauptdepositionsbereich der WSSA Heede (Jungjägerstand) im Zeitraum Mai 2002 – Mai 2004

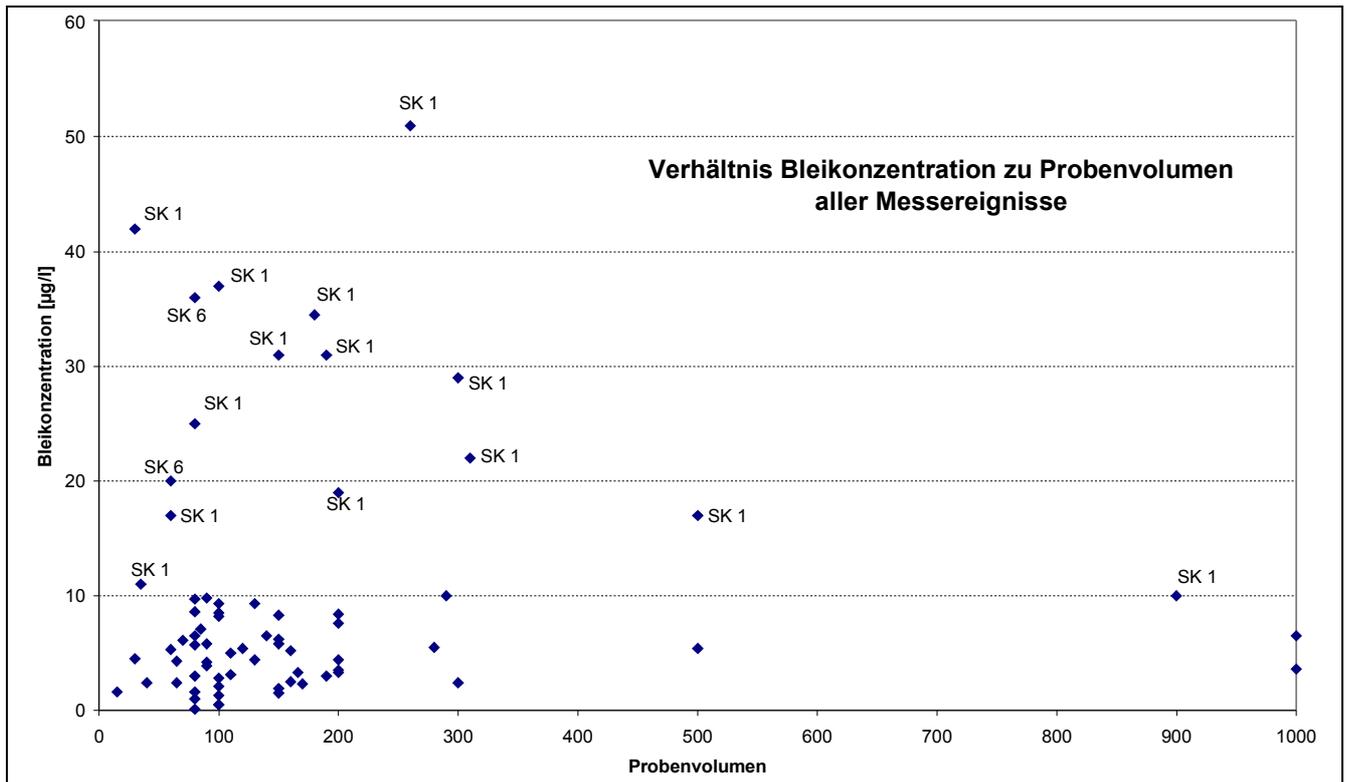


Abbildung 7: Alle Einzelwerte der Bleikonzentrationen im Sickerwasser der Saugkerzen 1-7 im Hauptdepositionsbereich der WSSA Heede (Jungjägerstand) im Zeitraum Mai 2002 – Mai 2004 mit Bezug der Bleikonzentration zum entnommenen Probenvolumen

Es konnte über zwei Jahre regelmäßiger Probenentnahme am Standort Heede folgendes festgestellt werden:

- An den Saugkerzen werden unterschiedliche Sickerwassermengen aufgefangen. Auch wenn an einer Saugkerze natürlicherweise Schwankungen der Sickerwassermenge auftreten, so wiesen in der Tendenz die Saugkerzen 1 und 3 immer deutlich höhere Mengen auf als die Saugkerzen 2, 5 und 7. Auf Grund der geringen Menge konnten die Saugkerze 6 nur selten, die Saugkerze 4 nur einmal beprobt werden. Dies zeigt die grundsätzlichen Unterschiede der Kerzen bei der Einbindung in die wasserführenden Bereiche des Bodens trotz gleicher Tiefe des Einbaus.
- Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Sickerwassermenge und der Bleikonzentration. Weder beim Vergleich der Mittelwerte noch im Plot der Einzelwerte ist eine Zuordnung dieser Parameter möglich. Sehr hohe Probenvolumina wiesen zwar eher geringe Bleikonzentrationen auf, jedoch war dies auch für den Großteil der Einzel-Messergebnisse mit niedrigen Probenvolumina so.

- Es gibt keinen erkennbaren Zusammenhang der Bleikonzentrationen mit dem pH-Wert (im Sickerwasser bei pH 6,4-6,8) und anderen chemischen Inhaltsstoffen.
- Die Schwankungen der Bleigehalte an einer Saugkerze sind teilweise erstaunlich gering. Während die Sickerwassermenge deutlich schwankt, zeigen insbesondere die Saugkerzen 2, 3, 5 und 7 gleichbleibend niedrige Bleikonzentrationen. Dies muss jedoch nicht auf die realen Blei-Konzentrationen im Sickerwasser zutreffen, da in diesem Konzentrationsbereich die beschriebene geringe Zuverlässigkeit des Messverfahrens zu berücksichtigen ist. **Bei den Saugkerzen 2-5 und 7 kann daher nur mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass der Prüfwert von 25 µg/l unterschritten wurde.**
- **Die Saugkerze 1 weist als einzige der eingebauten Saugkerzen auf eine dauerhafte Überschreitung des Prüfwertes im Sickerwasser in 70 cm unter GOK hin.** Angesichts der materialbedingt geringen Wiederfindungsraten im Bereich unterhalb des Prüfwertes ist zu vermuten, dass die realen Blei-Konzentrationen im Sickerwasser des Nahbereiches dieser Kerze nahezu regelmäßig über dem Prüfwert liegen. Als Begründung für diese Unterschiede können die Inhomogenität der wasserführenden Bodenbereiche wie auch die unregelmäßige Schrotkornverteilung auf der Oberfläche angenommen werden. Eine lokale Überschreitung des Prüfwertes ist möglich und nicht überraschend. Bedingt durch Wurzel- und Tiergänge – wie in Heede ggf. auch durch lokale Wegsamkeiten auf Grund des Pflügens – kann eine lokale schnelle Perkolation von Regen- bzw. Sickerwasser durch den humosen Oberboden hindurch in tiefere Bodenbereiche bei viele Böden angenommen werden. Das Vorhandensein sog. präferentieller Fließwege ist durch die Ergebnisse der Saugkerze 1 auf der WSSA Heede für den untersuchten Bodenbereich bis 70 cm anzunehmen. Das Ausmaß der Überschreitung des Prüfwertes entspricht jedoch nicht dem am schlimmsten anzunehmenden Fall – angesichts der Blei-Konzentrationen im Quellterm wären auch deutlich höhere Sickerwasserkonzentrationen möglich. Diese Aussage steht unter dem Vorbehalt der verringerten Zuverlässigkeit chemischer Analysen im betrachteten Konzentrationsbereich. Aus den Ergebnissen der Sickerwasseruntersuchung insbesondere dieser Kerze wurde die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen des Grundwassers abgeleitet.
- Arsen und Antimon konnten im Sickerwasser der Saugkerzen nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Die höchste gemessene Arsen-Konzentration betrug 1,2 µg/l, im Regelfall lag die Konzentration unter der Nachweisgrenze von 0,2 µg/l. Die Interpretation der Antimonbestimmung wird dadurch erschwert, dass die Bestimmungsgrenze von 10 µg/l mit dem Prüfwert zusammenfiel. Meist konnte kein Antimon im Sickerwasser nachgewiesen werden. Nur in der **Saugkerze 6** konnte Antimon zweimal mit 24 µg/l und 11,5 µg/l bestimmt werden. Da das dabei untersuchte Sickerwasser gleichzeitig erhöhte Blei- und Arsengehalte aufwies, sind

die Ergebnisse in sich schlüssig. Obwohl an der Saugkerze 6 regelmäßig nur geringe Sickerwassermengen aufgefangen wurden, scheint die Qualität dieses Sickerwassers dem der Saugkerze 1 zu entsprechen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Untersuchungen des Sickerwassers mittels Saugkerzen über zwei Jahre einerseits bei Blei und Antimon einzelne Überschreitungen der Prüfwerte gezeigt haben, jedoch die Ergebnisse im Ganzen nicht auf eine momentane Gefahr für das Grundwasser hindeuten.

Ein Gefährdungspotential ist jedoch insbesondere durch Saugkerze 1 belegt. Die Verteilung und das Ausmaß der Überschreitung der Prüfwerte im Sickerwasser kann durch die vorgenommenen und hier beschriebenen Untersuchungen nicht abgeschätzt werden. Dies schließt das Ausmaß der weiteren Bindung von Blei oder Antimon im Boden unterhalb des humosen Oberbodens ein.

Der Gefahrenverdacht eines (zukünftigen) Schadstoffeintrags in das Grundwasser konnte somit nicht zuverlässig nachgewiesen, aber auch nicht ausgeräumt werden.

7 Perkulationsuntersuchungen

Bei der Prognose von schädlichen Sickerwassereinträgen ins Grundwasser sind räumliche und zeitliche Veränderungen von großer Bedeutung. Räumliche und zeitliche Inhomogenitäten können zu präferentiellen Fließvorgängen durch einige wenige Fließwege und damit zu erhöhten Konzentrationen am „Ort der Beurteilung“ führen. Um dieses einschätzen zu können, wurde der Versuch unternommen, den Sickerwasserpfad in möglichst ungestörter Struktur und Lagerung im Labor im Rahmen von Säulenexperimenten nachzubilden.

Vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der CAU in Zusammenarbeit mit dem LL und dem LJV wurden dazu Perkulationsversuche an störungsfrei entnommenen Proben durchgeführt. Das eigens weiterentwickelte Probenahmegerät ermöglicht es, dass auch ohne die Anlage eines Bodenschurfes Stechzylinderproben aus größerer Tiefe entnommen werden können. Als Ergänzung zu den Perkulationsexperimenten müssen an kleineren Zylindern in ungestörter Lagerung die Charakteristika des betreffenden Porenraumes bestimmt werden. Dazu zählen die Bestimmung des Porenvolumens und der Porengrößenverteilung sowie der gesättigten Wasserleitfähigkeit (Makroporen).

Ziel der durchgeführten Begleituntersuchungen war es, die Bedingungen für eine „worst case“ Situation, einer minimalen Retention des eingetragenen Bleis, Arsens und Antimons zu definieren. Dieses Vorgehen hat den großen Vorteil, dass im Falle einer Entlastung für den Schiessplatzbetreiber ein hohes Maß an Planungssicherheit für die weitere Nutzung des Geländes und für die Belange des Boden- und Grundwasserschutzes eine ebenso hohe Sicherheit erreicht werden kann.

Das Prinzip der Perkulationsuntersuchung verdeutlicht **Abbildung 8**.

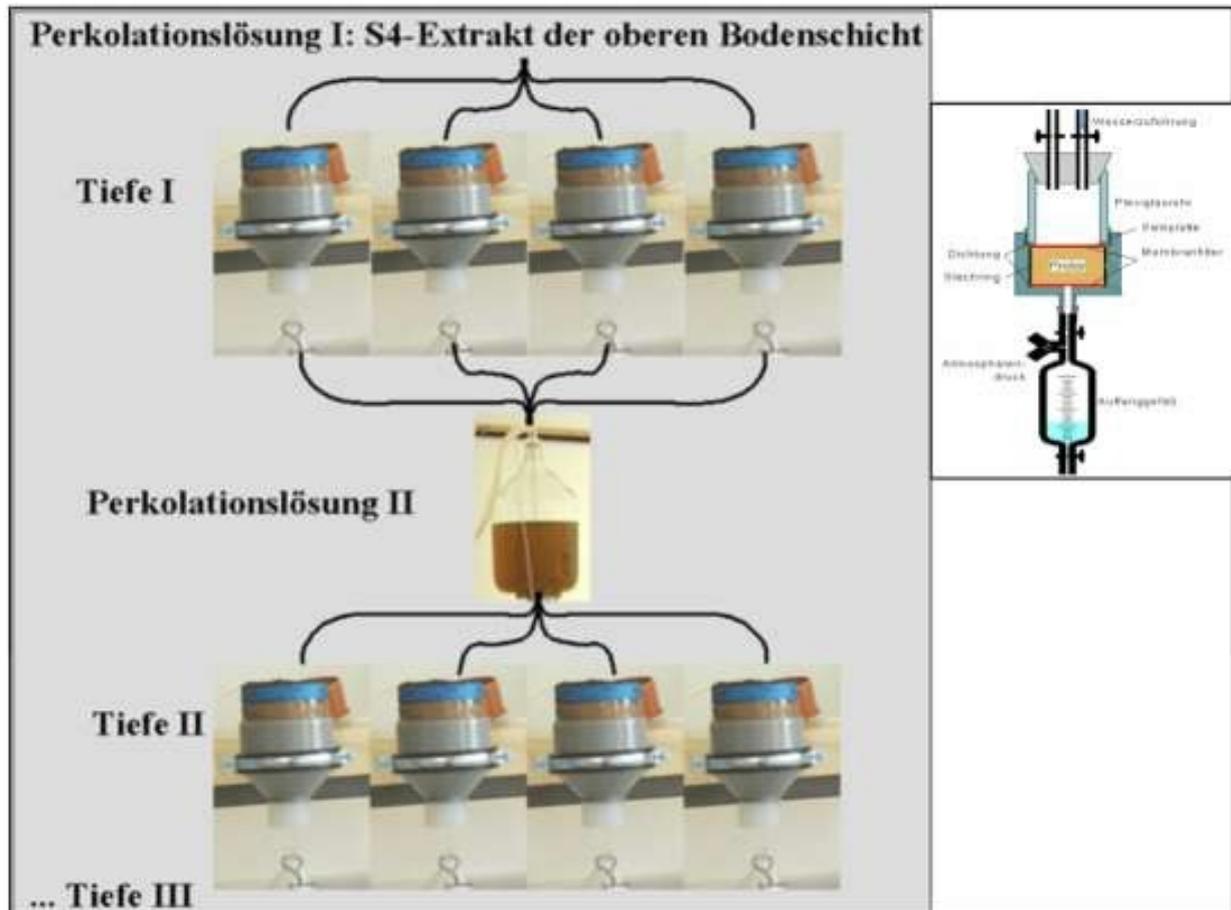


Abbildung 8: Nachbildung des Sickerwasserdurchgangs durch verschiedene Bodenschichten (Tiefe I, II, III...) durch Perkulationsversuche

7.1 Probennahme für die Quelllösung / Herstellung der Quelllösung

Die Probenahme der visuell mit Schrotkugeln belasteten Bodenhorizonte in gestörter Lagerung stellt das Ausgangsmaterial für die Erstellung der sogenannten 1. Quelllösung der Perkolation dar. Die 1. Quelllösung ist die höchstbelastete Lösung für die Perkolation des Gesamtversuches. Am 7. 6. 2002 erfolgte die Beprobung des Standortes Schießplatz Heede. Dabei konnten die obersten 10 cm des R-Ap als visuell mit Schrotkugeln belastete Bodenschicht in gestörter Lagerung für die Erstellung der ersten Quelllösung gewonnen werden.

Ein S4-Auszug wurde aus den gesiebten und homogenisierten, visuell mit Schrot belasteten Bodenhorizonten erstellt. Dazu wurde das Bodenlösungs-Gemisch (Bodenlösungsverhältnis 1:10) in 1 l Polycarbonat-Flaschen nach 24 Stunden Einwirkzeit (Überkopfschüttler) bei 3500 U/min 30 Minuten zentrifugiert und die überstehende Lösung (ab-)dekantiert. Das jeweilige S4-Eluat dient als 1. Quelllösung für die oberste Entnahmetiefe.

Die Quelllösung zur Perkolation der ersten Bodensäulen wies die folgenden Konzentrationen auf: Blei: 820 µg/l, Arsen: 53 µg/l, Antimon: 364 µg/l.

7.2 Probennahme der Bodenzylinder in ungestörter Lagerung

Gleichzeitig mit der Beprobung des gestörten Oberbodenmaterials wurden auch ungestörte, natürlich gelagerte Bodenzylinder aus den darunter liegenden visuell nicht mehr mit Schrotkugeln belasteten Bodenhorizonten entnommen (Abbildung 9).



Abbildung 9: Probenahme ungestörter Bodenzylinder auf der WSSA Heede

Für das Perkolationsexperiment sollten aus vier Tiefen je fünf Bodensäulen mit einem Volumen von jeweils 707 cm³ entnommen werden. Aufgrund der hohen Wurzelichten und Steingehalte konnte nicht aus allen Tiefenstufen die gewünschte Anzahl an Bodensäulen entnommen werden (s. Tab.1).

7.3 Durchführung der Perkolationsexperimente

Die Perkolation der Bodenproben erfolgt in drei Phasen (Abb.3).

Phase A: Perkolation der Bodensäulen mit drei Porenvolumen Reinstwasser.

Diese Phase stellt eine Desorptionsphase dar und dokumentiert den in den einzelnen Bodensäulen desorbierbaren Anteil der untersuchten Elemente Blei, Arsen und Antimon.

Phase B: Perkolation der Bodensäulen mit 11 Porenvolumen der 1. Quelllösung (S4-Extrakt). Die Perkolation mit 11 Porenvolumen entspricht in etwa der jährlichen Sickerwassermenge, die diese Tiefe durchfließt. Alle weiteren Tiefen werden mit Misch-Eluaten (Porenvolumina 3 bis Phase C) der nächsthöheren Tiefenstufe perkoliert. Zur Analyse gelangte ein Anteil von 20 ml aus je 100 ml Eluatvolumen. Damit verringert sich die Perkulationsmenge kontinuierlich.

Phase C: Perkolation der Bodensäulen mit drei Porenvolumen Reinstwasser. Das Ausspülen der Porenräume mit Reinstwasser soll die Möglichkeit zur Bilanzierung der Ein- und Austräge für jede Bodensäule ermöglichen.

Auf Grund der hohen Wasserleitfähigkeiten der Bodensäulen wurden die Verweilzeiten der Quelllösungen in der Bodensäule erhöht und damit den unter natürlichen Bedingungen entsprechenden ungesättigten Flüssen angepasst. Dazu wurde der Fluss durch die Bodensäule durch eine Durchflussbegrenzung abgesenkt und zusätzlich nach jeder erfolgten Beprobung (100 ml) für eine Stunde gänzlich gestoppt. Die stündlichen Einwirkzeiten wurden durch 16 (über Nacht) und 68 Stunden (Wochenende) Einwirkzeiten ergänzt. Aufgrund dieser gestaffelten Verweilzeiten in Kombination mit für alle Bodensäulen identischen Durchflussraten kann die Veränderung der Konzentration an Blei, Arsen und Antimon im Perkolat direkt als zeitabhängige Sorption (Kinetik) interpretiert werden.

Näheres zum Aufbau und zur Durchführung des Perkolationsexperiments ist dem Abschlussbericht der CAU zu entnehmen.

7.4 Ergebnisse der Desorptionsexperimente – Phase A

Bei der Konditionierung der Bodensäule durch Perkolation mit Reinstwasser in Phase A wurde die Desorption der in der Bodensäule befindlichen Kontaminanten bestimmt. Erwartungsgemäß wurde nur ein sehr geringer Teil der sorbierten Schadstoffe wieder freigesetzt. Der Verlauf der Konzentration an Blei in den Eluaten ist bei der Bodensäule des Horizontes R-Ap (16-25 cm) durch eine exponentielle Abnahme gekennzeichnet, die sich von anfänglich 10-20 µgPb/l einem „dauerhaften“ Wert von 5 µgPb/l annähert (siehe CAU-Bericht, Abb.4).

Die Ergebnisse sind annäherungsweise vergleichbar mit Extraktionsexperimenten der visuell nicht befrachteten Schicht, wie sie von Voss (Voss 2001) im Rahmen des genannten Gutachtens im Jahr 2000 durchgeführt wurden. Hier wurden in der Tiefenstufe 10-20 cm Konzentrationen an Blei im S-4 Eluat von ebenfalls 15-18 µg Pb/l festgestellt.

Die Ergebnisse bestätigen die Erwartung, dass Blei nach der Sorption bei gleichbleibenden geochemischen Randbedingungen fest und nachhaltig gebunden wird.

Mit zunehmender Bodentiefe erfolgt die Abnahme der Bleikonzentration bis hin zu Werten unterhalb von 1 µg Pb/l. Dies deutet auf einen Erschöpfungsvorgang hin, der seinerseits eine Funktion der verringerten Vorräte oder der zeitlich (Kinetik) und/oder räumlich (Zugänglichkeit) begrenzten Nachlieferung ist. Auffällig sind weiterhin große Unterschiede zwischen den Parallelen jeder einzelnen Bodentiefe bei den Bleikonzentrationen in den Eluaten zu Beginn der Perkolation. Die anfänglich hohen Unterschiede der Bleikonzentrationen bis über 20 µg Pb/l machen deutlich, dass der hier untersuchte Reaktionsraum auch unter ungestörten Verhältnissen des Standortes eine hohe Variabilität besitzt. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass die Angabe „einer“

Sickerwasserkonzentration im Ort der Beurteilung mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Real ist von einer Bandbreite von Konzentrationen mit klein-, mittel- und großräumigen Schwankungen auszugehen.

Bei Arsen konnten geringere, bei Antimon höhere Konzentrationen als bei den Untersuchungen von Herrn Voss nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu Blei zeigt die Antimon-Auslaugung in Phase A keine Abnahme, sondern ist mit ca. 10 µg Sb/l in der Tiefenstufe 16-25 cm über die 3 Porenvolumina stetig bis eher ansteigend.

Für Antimon zeichnet sich zwar eine abnehmende Beladung des Eluates mit der Bodentiefe ab. Bemerkenswert bleiben jedoch die teilweise deutlich über dem Prüfwert befindlichen Werte im R-Ap-Horizont. Dies belegt, dass der oberste Horizont (0-25 cm) im Bezug auf die Qualität des Sickerwassers seine Funktion als Schadstoffpuffer eingebüßt hat und seinerseits zu einer Quelle von belasteten Sickerwässern geworden ist.

7.5 Ergebnisse der Perkolationsexperimente – Phase B

Aufgrund der zeitlichen Staffelung von Durchfluss- und Verweilzeiten kommt es zu starken Zu- und Abnahmen der Bleikonzentration in den Perkolaten (Abbildung 10). Dabei zeigt sich, dass unter Berücksichtigung dieser Zeitabhängigkeit diese Veränderungen reproduzierbar sind. Werden die Bleikonzentrationen auf einer Zeitachse abgetragen, so zeigen sich bei gleichen Verweilzeiten charakteristische Steigungen unabhängig vom aktuellen Ausgangswert (Abb.10).

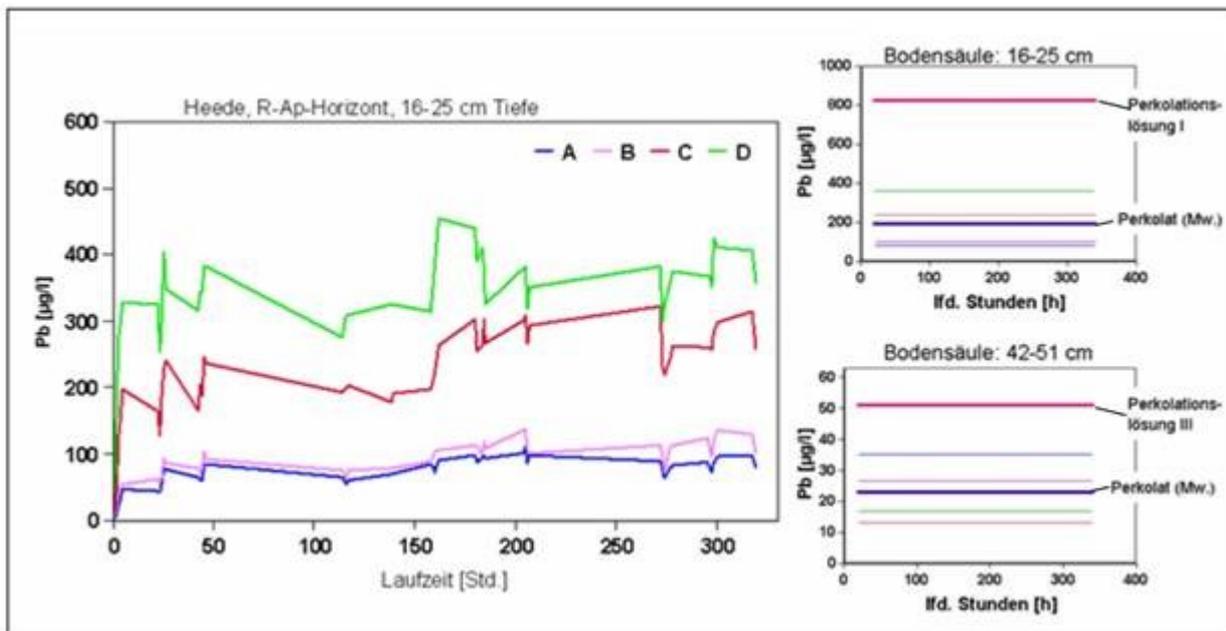
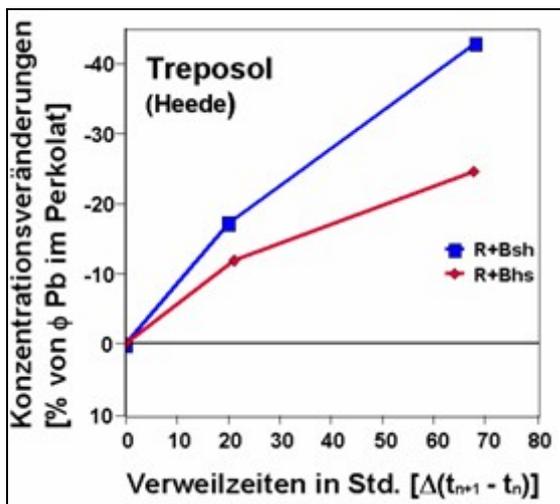


Abbildung 10: Bleikonzentrationen in den Perkolat-Lösungen (vier parallele Ansätze) mit den durch die Standzeiten bedingten Konzentrationssprüngen; rechts als geglättete Mittelwerte in zwei Tiefenstufen jeweils mit den Ausgangskonzentrationen der Perkolationslösung und dem Perkolat-Mittelwert aus allen Parallelansätzen.

Die Frage der Reaktionskinetik, die hinter jedem Sorptions- und Desorptionsexperiment steht, kann in Ansätzen daher durch die Variation der Verweilzeiten mit beantwortet werden.



Die zeitabhängige Sorption zeigt mit Werten von 20% bzw. 40% der Erhöhung der Sorptionsleistung nach 68 Stunden die große Bedeutung der Verweilzeit auf mögliche Schadstoffausträge aus den Böden. Am Standort Heede können bei mehrtägiger Verweilzeit des Sickerwassers im Boden hohe Anteile des Bleis sorbiert werden.

Im Vergleich mit anderen Standorten weist Heede im Oberboden hierbei die höchste Sorptionsmöglichkeit auf (s. CAU-Bericht, Abb. 11).

Bezogen auf alle untersuchten Elemente zeigt sich, dass ein starker Rückgang der Elementkonzentrationen sehr oft mit hohen Standardabweichungen einhergeht (Tabelle 4). Sehr deutlich wird dies im Falle des Antimon mit relativ geringen Konzentrationsabnahmen und den sehr geringen prozentualen Standardabweichungen bei allen vier Tiefen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass hohe Sorptionsleistungen (Puffer), wie sie im Falle des Bleis im R-Ap und im Falle des Arsen vor allem im R+Bhs erfolgten, fast immer auf einzelne Bodensäulen mit besonders starker Sorptionsleistung zurück gehen und gleichzeitig weitere Parallelen des gleichen Horizontes diese nicht erbringen können.

Tabelle 4: Mittelwerte und prozentuale Standardabweichungen der Blei-, Arsen- und Antimonkonzentrationen der Perkolate während der Belastungsphase (B) für die Horizonte des Treposols der WSSA Heede

	Blei		Arsen		Antimon	
	Mittelwert	Standard-abw.	Mittelwert	Standard-abw.	Mittelwert	Standard-abw.
	[µg/l]	[%]	[µg/l]	[%]	[µg/l]	[%]
R-Ap	195	66	15.1	72	188	34

R + Bsh	44	31	4.5	18	111	17
R + Bhs	24	41	0.4	75	67	13
R + Bhs/Cv	7.9	82	nn		31	26

Auch bei der Simulation eines worst-case-Szenarios durch die kaskadenartige Perkolations von belasteten Wässern zeigt sich damit, dass die Sorptionsleistung des Treposols für Blei und Arsen ausreichend ist. **Die entsprechenden Konzentrationen in den Eluaten unterschreiten die Prüfwerte ab einer Tiefe von 30-50 cm.**

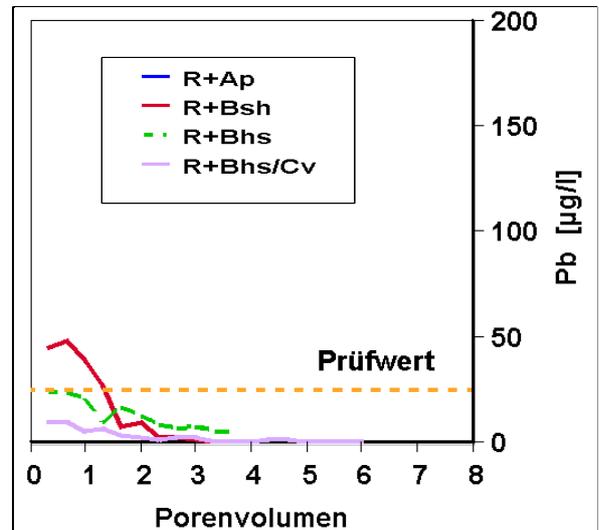
In Teilbereichen mit hohen Anteilen an Grob- und Makroporen kann jedoch ein schneller Transport bis in die Tiefe nicht ausgeschlossen werden.

Für Antimon kann eine solche Entlastung nicht ausgesprochen werden. Hier liegen die Konzentrationen in den Eluaten auch nach 60 cm noch deutlich über dem Prüfwert. Nach den Befunden des Perkolationsexperimentes ist daher für den Schießplatz Heede vor allem ein Risiko der Antimonverlagerung aus den oberen Bodenhorizonten in tiefere weniger sorbierende Unterbodenbereiche und den darauf folgenden Grundwasserleiter gegeben.

7.6 Ergebnisse der Abschluss-Desorptionsexperimente – Phase C

Die Phase C sollte die Charakteristika der Desorption des durch das Perkolationsexperiment zusätzlich belasteten Stoffbestandes beschreibbar machen. Die oberste Tiefe des Treposol (R-Ap-Horizont) konnte auf Grund unvollständiger Analysen nicht in die Auswertung mit einbezogen werden.

Für den Treposol des Schießplatzes Heede ist eine Bleikonzentration nahe oder unterhalb der Nachweisgrenze nach Perkolations von drei Porenvolumina mit Reinstwasser weitestgehend erreicht worden (**Abbildung 11**).



Dies lässt auf eine momentan noch vorhandene Sorptionskapazität schließen, aber auch auf eine **hohe spezifische (irreversible) Bindungskapazität**.

Für die abschließende Würdigung der Perkolationsexperimente wurden auch vergleichende Untersuchungen von zwei weiteren Wurfscheiben-Schießanlagen herangezogen (siehe CAU-Bericht):

Die Ergebnisse des vollständigen Perkolationsversuches (Phasen A-C) dokumentieren deutlich, dass durch Eluationsversuche nur wiedergegeben werden kann, was der Stoffbestand der untersuchten Bodenschicht bereit ist, wieder in Lösung zu bringen.

Eluationsversuche mit Bodenmaterial der Transportstrecke, wie sie für die Bewertung eines Verlagerungsrisikos gemäß dem UMK-Bericht häufig herangezogen werden, bieten aber keine Möglichkeit den aktuellen Verlagerungsprozess wiederzugeben. Dafür sind Perkulationsversuche mit belasteten Lösungen unumgänglich, da nur sie das tatsächliche Wechselspiel zwischen gelöster, austauschbar gebundener und spezifisch sorbierter Phase nachvollziehbar widerspiegeln können. Weiterhin ist dafür Sorge zu tragen, dass Perkulationsversuche mit mindestens drei, besser fünf ungestörten Bodensäulen erfolgen, da es sich zeigte, dass hohe Sorptionsleistungen (Puffer) fast immer auf einzelne Bodensäulen mit besonders starker Sorptionsleistung zurückzuführen sind.

8 Durchführung vereinfachter Extraktionsexperimente

8.1 Kaskadenversuche

Ausgehend von S-4-Eluaten der visuell mit Schrot befrachteten Auflagehorizonte wurden die tieferen Mineralhorizonte entsprechend ihrer Lage im Bodenprofil mit dem S-4-Eluat (1. Horizont) oder mit den daraus erhaltenen Gleichgewichtslösungen (Boden-Lösungs-Verhältnis 1:10) ins erneute Gleichgewicht gebracht. Der Durchgang des Sickerwassers durch den Boden wurde dadurch nicht kontinuierlich, sondern diskontinuierlich (sog. ‚**Batch-Versuch**‘) abgebildet. Dieser Versuchsansatz soll die für die Perkolationsexperimente entwickelte Versuchsdurchführung in vereinfachter Form simulieren. Die Ergebnisse des Kaskadenversuches werden den Ergebnissen der Perkolation gegenübergestellt (s.a. CAU-Abschlussbericht 06/2004). Die Ergebnisse der Perkulationsversuche stellen dabei quasi die Referenz dar.

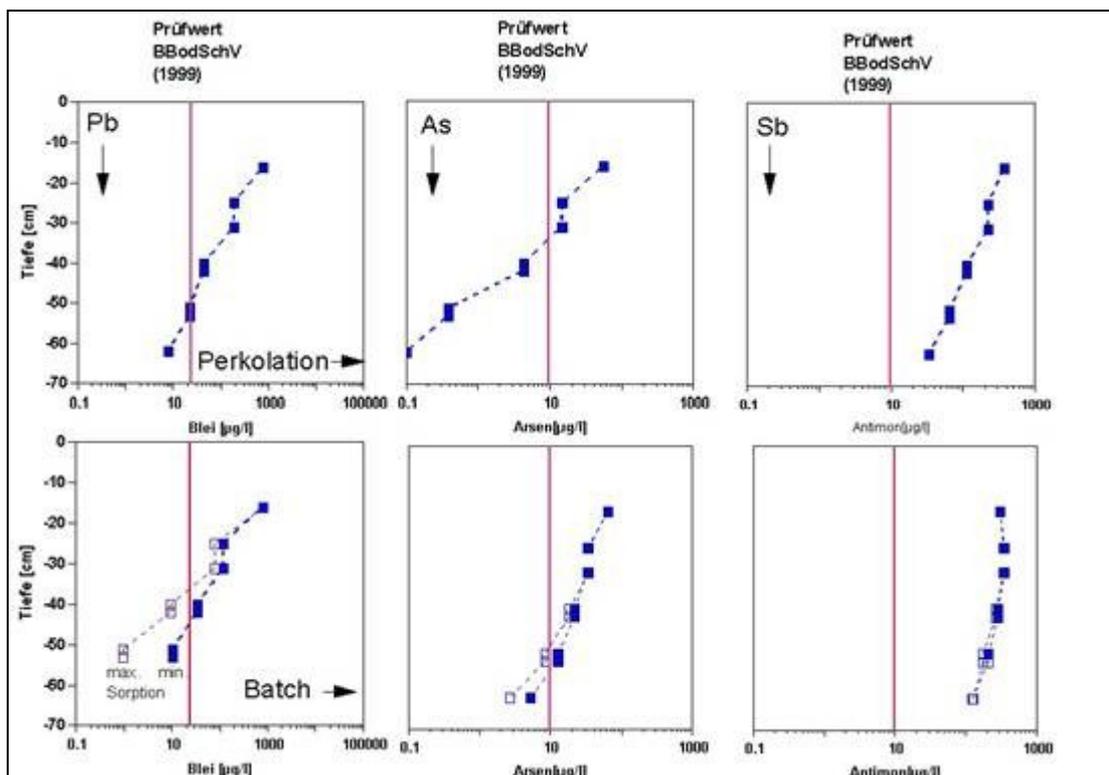


Abbildung 12: Vergleich der Retardationsleistungen der Bodensäulen-Experimente (Perkolation) nach Kapitel 7.5 und den Kaskaden-Experimenten (Batch) für Blei, Arsen und Antimon für Boden der WSSA Heede

Im Vergleich der Darstellung der Retardationsleistungen zwischen den Batch- und den Bodensäulen-Experimenten für Blei zeigt sich, dass der Batch-Versuch die Rückhaltefähigkeit der Stoffbestände überschätzt (Abbildung 12). Dagegen wird bei Arsen die Rückhaltefähigkeit der Stoffbestände im Fall der WSSA Heede deutlich unterschätzt. Bei anderen Standorten konnte dieses Verhältnis von Perkulations- zu Batchergebnissen nicht festgestellt werden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass keine einfachen Ableitungen zwischen den Ergebnissen zum stofflichen Verhalten von gestörten und ungestört lagernden Bodenproben zu treffen sind.

Bei der Interpretation von Batch-Versuchen ist die Mächtigkeit einer Schicht zu berücksichtigen. Je nach Bodenart und Schichtmächtigkeiten ist zu klären, ob die Kontaktzeiten pro Schicht die Einstellung von Gleichgewichtsbedingungen ermöglichen. Ggf. muss bei der Festlegung einer Elutionszeit im Labor die Sickergeschwindigkeit (unge-sättigt) multipliziert mit der Mächtigkeit des betrachteten (einheitlichen) Horizontes herangezogen werden – bei der WSSA Heede war dies auf Grund der Schichtmächtigkeiten nicht notwendig.

Kaskadenversuche sind um Informationen zur Verteilung von Fließgeschwindigkeiten (s. Porenverteilung, Porensysteme) zu ergänzen.

8.2 Gleichgewichts-Batchexperimente mit dotierten Lösungen zur Erstellung von Sorptionsisothermen

Weiter wurden Proben der verschiedenen Mineralbodenhorizonte mit 8 Dotierlösungen unterschiedlicher Blei-, Arsen- und Antimonkonzentrationen bei einem Boden-Lösungsverhältnis von 1:10 16 Stunden ins Gleichgewicht gebracht.

Aus den Daten wurde durch mathematische Parameter-Anpassung eine sog. ‚Sorptionsisotherme‘ entwickelt (s. Abbildung 13, rote Kurve). Diese ermöglicht Aussagen über das Verhältnis der Schadstoffgehalte in der Fest- und der Flüssigphase bei unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen in der Flüssigphase. Der anfangs linear ansteigende ‚Ast‘ der Isotherme stellt bei nur schwach belasteten Bodenmaterialien meist den ökologisch relevanten Bereich der Isotherme dar. Dennoch ist der Sättigungsbereich mit der Annäherung an ein Sorptionsmaximum gerade für sehr stark belastete Standorte immer mit zu erfassen. Beide Bereiche wurden in getrennten Abbildungen (linke Abbildung als Ausschnitt der jeweils rechten Abbildung) dargestellt. Die Sorptionsisothermen für den Standort Heede wurden an zwei Proben aus dem R+Bsh Horizont (31-40cm) und einer Probe aus dem R+Bhs Horizont durchgeführt. Es handelt

sich um die gleichen Proben, die auch für den Kaskadenversuch zur Anwendung gelangten.

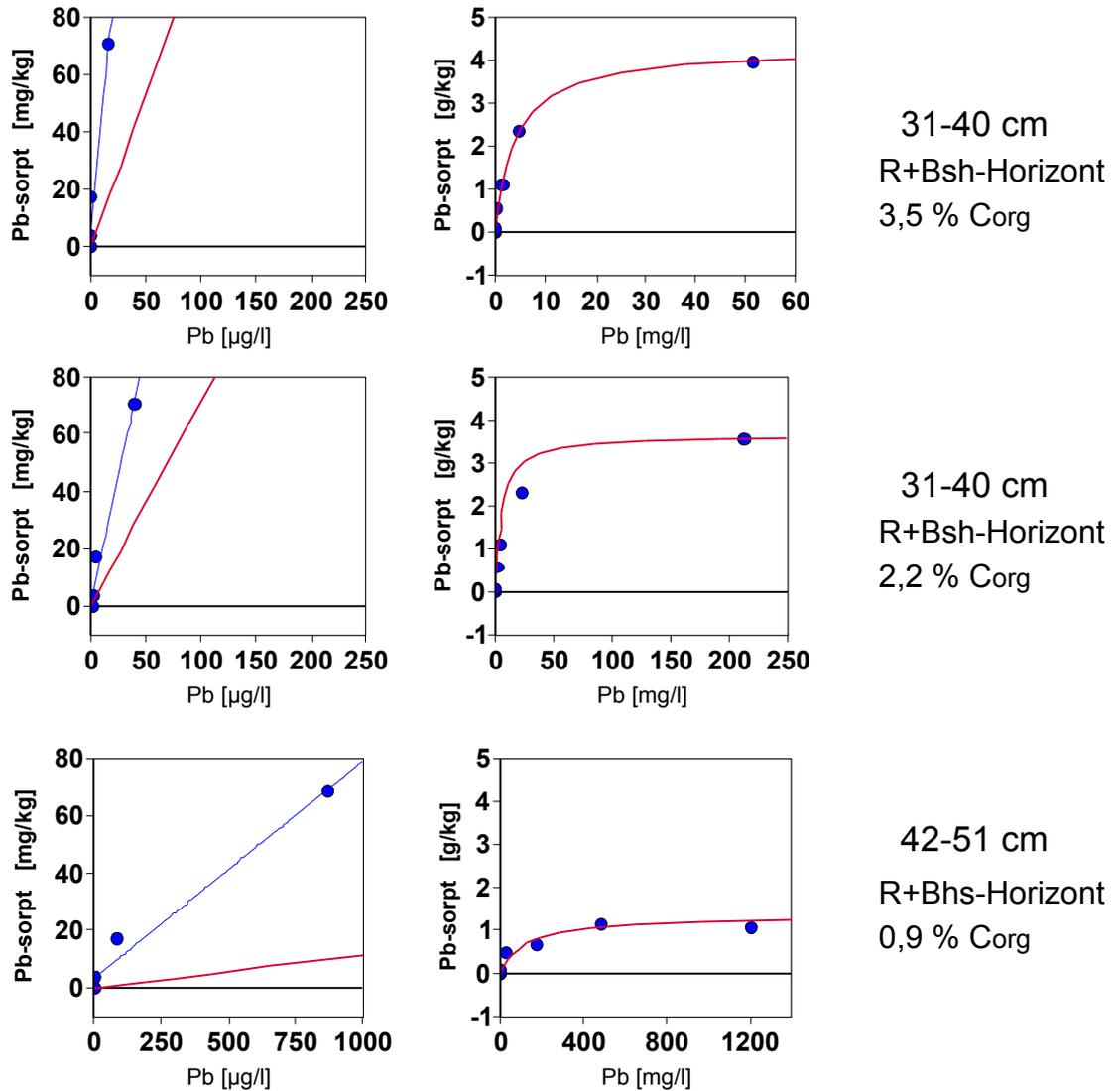


Abbildung 13: Blei-Sorptionsisothermen für zwei Tiefen der WSSA Heede
- Anpassungsmodell nach Langmuir. Der Bereich mit kleineren Konzentrationen ist (mit veränderten Größenordnungen !) links extra dargestellt. Die blaue Gerade entspricht der linearen Isotherme im Lösungsbereich bis 1 mg/l.

Es ist auffällig, dass die Variation des Sorptionsmaximums (4.3 und 3.6 g Pb/kg) als auch die Steigung im Anfangsbereich (effektive Pufferleistung) sich entsprechend der Variation im Kohlenstoffgehalt unterscheiden. Der tiefer liegende R+Bsh-Horizont mit wesentlich geringeren Kohlenstoffgehalten zeigt auch die geringere Pufferleistung (Faktor 65 geringer) und ebenfalls deutlich eine geringere maximale Sorptionskapazität. Die drei untersuchten Horizonte weisen eine geringe rechnerische Vorbelastung auf, wobei dies auf die mathematische Anpassung zurückzuführen ist, durch die Werte im hohen Konzentrationsbereich besser wiedergegeben werden als solche im niedrigen Konzentrationsbereich. Auffällig ist jedoch die höhere Vorbelastung im tiefer liegenden Horizont R+Bhs (42-51 cm, Daten im CAU-Bericht Dez. 2004). Sowohl der Belegungsgrad als auch die Gleichgewichtskonzentration sind im Vergleich mit den dar-

über liegenden Horizonten deutlich erhöht. Dies kann bei annähernd gleicher Belastung (in situ) auf die geringere Sorptionskapazität zurückgeführt werden (geringerer Gehalt an organischer Substanz). Damit sinkt der irreversibel gebundene Anteil in Relation zum reversibel gebundenen (desorbierbaren) Anteil. Insgesamt zeigt sich dabei deutlich die Überlastung des humosen Oberbodens bezüglich seiner Bleirückhaltefähigkeit.

Die niedrige Gleichgewichtskonzentration bestimmt für die gesamte homogenisierte Bodenmatrix deutet darauf hin, dass der Verlagerungsprozess für Blei nicht oder zumindest nicht maßgeblich unter Gleichgewichtsbedingungen erfolgt. Ein Umfließen entlang im Gelände nachweislich vorhandener Bioporen (präferentielle Fließwege) stellt daher eine wahrscheinliche Erklärung für diesen Sachverhalt dar.

8.3 Kinetik des Sorptions- und Desorptionsverhaltens für Blei, Antimon und Arsen

Repräsentative Bodenproben aus verschiedenen Bodentiefen wurden in logarithmischen, ansteigenden Zeitabständen (1 min bis 4 Tage) auf ihre Gleichgewichtseinstellung hin analysiert.

Als Maß dieser Gleichgewichtseinstellung dient der A_{90} -Wert. Dieser Wert gibt die Zeit an, die ein System benötigt, um den Endwert (quasi Gleichgewichtszustand) zu 90% zu erreichen.

Näheres zur Modellierung der Gleichgewichtsreaktionen (zu unterscheiden sind schnelle und langsame Reaktion) sind im Abschlussbericht der CAU vom Dez. 2004 enthalten.

Die A_{90} -Werte sind der folgenden Tabelle 5 zu entnehmen.

		Schnelle Reaktion		Langsame Reaktion	
		A_{90}	Reaktionsanteil	A_{90}	Reaktionsanteil
Blei-Sorption	10000 µg/l	0,7 min	95 %	161 min	5 %
Arsen-Sorption	500 µg/l	1,2 min	56 %	37 min	44 %
Antimon-Sorption	2000 µg/l	0,3 min	42 %	11300 min (7,8 Tage)	58 %
Blei -Desorption		0,7 min	43 %	32 min	57 %

Tabelle 5: Zeitspanne, die benötigt wurde, um 90 % des Endwertes (quasi Gleichgewichtszustand) zu erreichen (A_{90} -Wert) für Blei, Arsen und Antimon einer repräsentativen Probe der WSSA Heede.

Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass sowohl bei den Batch-Versuchen als auch bei der Perkolatation von ungestörten Bodensäulen die Gleichgewichtskonzentration für An-

timon nicht erreicht wurde, wohingegen für Arsen und Blei von Gleichgewichtszuständen ausgegangen werden kann, sofern keine schnellen Transportwege (präferentielle Fließwege) eine solche Gleichgewichtseinstellung verhindern (s.o.).

9 Untersuchungen des Grundwassers

Als ergänzende Information wurde die Grundwasserbeschaffenheit untersucht, um festzustellen, ob durch den Schießbetrieb ein Schadstoffeintrag in das Grundwasser bereits stattgefunden hat. Es handelt sich um ergänzende Informationen, da mit Grundwasseruntersuchungen die zukünftig mögliche Verunreinigung des Grundwassers nicht abschätzbar ist.

Die Lage der Grundwassermessstellen (GWM) ist [Anhang 2](#) zu entnehmen.

Auf dem Gelände westlich des Jungjägerstandes und damit im Grundwasserabstrom des Schrot-Depositionsbereiches gemäß der großräumigen Fließrichtung befindet sich ein Feuerlöschbrunnen, aus dem Wasser des oberen Grundwasserleiters gefördert werden kann. Bei einer Beprobung des Kreises Pinneberg vom November 2000 konnte in diesem Brunnen Blei in geringer Konzentration von 3 µg/l festgestellt werden. Diese Konzentration unterschreitet wasserwirtschaftliche Bewertungsmaßstäbe deutlich (LAWA 1994, LAWA 2004).

Neben der Auswertung bestehender Unterlagen zum Untersuchungsgebiet wurden zur Klärung der Grundwasserfließrichtung basierend auf Informationen über bestehende Grundwassermessstellen und die großräumige Grundwasserfließrichtungen zwei Grundwassermessstellen neu eingerichtet.

Eine Messstelle wurde im (vermuteten) Anstrom, die zweite im (vermuteten) Abstrom südlich der Trap-Anlage positioniert. Alle Messstellen befinden sich außerhalb des Depositionsbereiches der Schrote, sodass eine Kontamination des Brunnens aus dem oberen Bodenbereich im Zuge des Brunnenausbaus ausgeschlossen werden kann.

Die erste Stichtagsmessung bestätigt die großräumige Grundwasserfließrichtung mit einem südsüdwestlichen Abstrom (entgegen der Schussrichtung des Jungjägerstandes). Bei der Beprobung der abstromigen neuen Messstelle konnte Blei mit einer Konzentration von 1,7 µg/l nachgewiesen werden.

Im Wasser des Anstrombrunnens waren bei der ersten Probennahme kein Blei, Arsen oder Antimon nachweisbar. Bei den folgenden Probennahmen konnte nur sehr wenig und nur stark getrübbtes Wasser gefördert werden; der Brunnen war in Folge nicht mehr zu beproben.

10 Einrichten einer Grundwassermessstelle im Depositionszentrum

Im zentralen Schrotdepositionsbereich wurde eine Grundwassermessstelle errichtet. Zur Vermeidung der Verschleppung von Schrot in die Tiefe wurden die folgenden Vorkehrungen getroffen (Abbildung 14):

Vor Bohrbeginn wurde der Oberboden um die geplante Messstellenposition abgeräumt. Der für die spätere Betonsockelfüllung zu verwendende Beton-Schacht (60 cm Innendurchmesser) wurde vorweg in folgender Weise eingebaut:

Um sicherzustellen, dass im späteren durchbohrten Boden keine Schrotkörner enthalten sind bzw. in das Bohrloch fallen können, wurde das Loch für den Schacht so ausgehoben, dass vom geplanten Bohrmittelpunkt weg das Bodenmaterial quasi durch Ausformung eines Kegels mit einer Handschaufel zum Rand abgeschoben und dort entnommen wird (siehe [Anhang 5](#), [Fotodokumentation 2](#)).

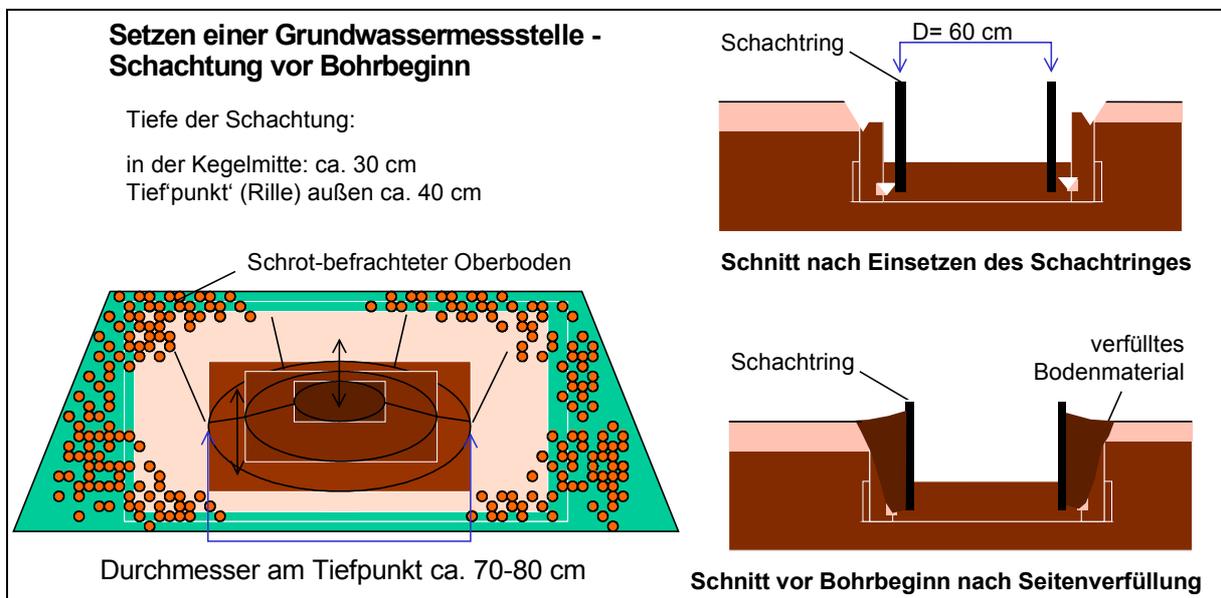


Abbildung 14: Vorbereitung einer Bohrung für eine Grundwassermessstelle

Der Kegeldurchmesser soll mit ca. 70-80 cm größer als der Durchmesser des Schachtringes sein. Nach mittigem Einsetzen des Schachtringes ist so sichergestellt, dass keine Schrotkörner mehr innerhalb des Schachtringes liegen. Dies wird durch Entnahme und Verwahrung einer Bodenprobe (100 g) aus dem zentralen Kegelbereich dokumentiert.

Nach Einsetzen des Schachtringes ist der Seitenbereich um den Betonring mit bindigem sauberem Material zu verfüllen und zu verdichten. Grundwassermessstellen sind so zu verfiltern, dass die erste grundwasserführende Schicht bis zu einer Mächtigkeit von mindestens 5 m (bezogen auf den anzunehmenden Niedrigwasserstand) sowie der Grundwasserschwankungsbereich in vollem Umfang erfasst werden (bis anzunehmendem Höchstwasserstand). Im Bereich zwischen Geländeoberkante (GOK) und ei-

ner Tiefe von mindestens 1,5 m sind Vollrohrstrecken einzubauen, um die Bohrung wirkungsvoll gegen den Zutritt von Oberflächen- und Sickerwasser sichern zu können. Auf Pumpensämpfe ist zu verzichten.

Es ist eine obere Dichtstrecke von mindestens 0-1 m unter GOK mit Tonmaterialien herzustellen, um die Beeinflussung der Messstelle mit Sickerwasser aus dem oberen Bodenbereich auszuschließen.

Die Bohrung und das Schichtenverzeichnis ist in [Anhang 6](#) dokumentiert.

Tabelle 6: Untersuchungen des Grundwassers im Umfeld und auf der WSSA Heede, alle Angaben in [µg/l]

Datum	Nov. 01	Mai 02	Sep. 02	Jul. 03	Dez. 03	Apr. 04
Blei						
Feuerlöschbrunnen	<0,2	0,8	0,3	1,9	<0,2	-
B1	1,7	1,7	0,9	1,7	<0,2	<0,2
B3 (zentral)				1,7	<0,2	0,4
Anstrom	<0,2	<0,2	0,3	keine Probennahme möglich		
Arsen						
Feuerlöschbrunnen		0,2	<0,2	0,2	0,3	-
B1		0,7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
B3 (zentral)				<0,2	0,2	<0,2
Anstrom	<0,2	<0,2	<0,2	keine Probennahme möglich		
Antimon						
Feuerlöschbrunnen	<10	<10	<10	<10	<10	-
B1	<10	<10	<10	<10	<10	<10
B3 (zentral)				<10	<10	<10
Anstrom	<10	<10	<10	keine Probennahme möglich		

Die Ergebnisse der Grundwasserbeprobung ergaben keine Überschreitung wasserwirtschaftlicher Beurteilungsmaßstäbe (LAWA 1994) auch unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser (LAWA 2004).

Diese betragen für **Blei 7 µg/l**, für **Arsen 10 µg/l** und für **Antimon 5 µg/l**. Für Antimon wäre auf Grund der Nachweisgrenze allerdings auch nur eine deutliche Überschreitung der Geringfügigkeitsschwelle feststellbar gewesen.

Die Nachweisgrenzen für Blei im Grundwasser erreichen mit knapp unter 2 µg/l ca. 25% der Geringfügigkeitsschwelle für Blei. Ein Unterschied zwischen dem zentralen Brunnen und den Abstrombrunnen B1 und dem Feuerlöschbrunnen sind nicht erkennbar. Hingegen konnten deutliche Schwankungen festgestellt werden – im Dezember 2003 konnte in keinem der Brunnen Blei nachgewiesen werden, in dieser Zeit trat im

Vergleich zu den anderen Beprobungsterminen der größte Grundwasserflurabstand (niedrigste Grundwasserstand) des Betrachtungszeitraumes auf.

Der pH-Wert im Grundwasser lag im Mittel bei pH 5,3, bei B3 im Zentrum der Fläche mit pH 5,9 leicht höher.

Es konnten keine Auffälligkeiten in der Zusammensetzung der Kationen und Anionen festgestellt werden.

Der Grundwasserflurabstand betrug auf der Fläche bei Brunnen B3 zwischen 4,50 und 5,2 m (siehe Abbildung 15).

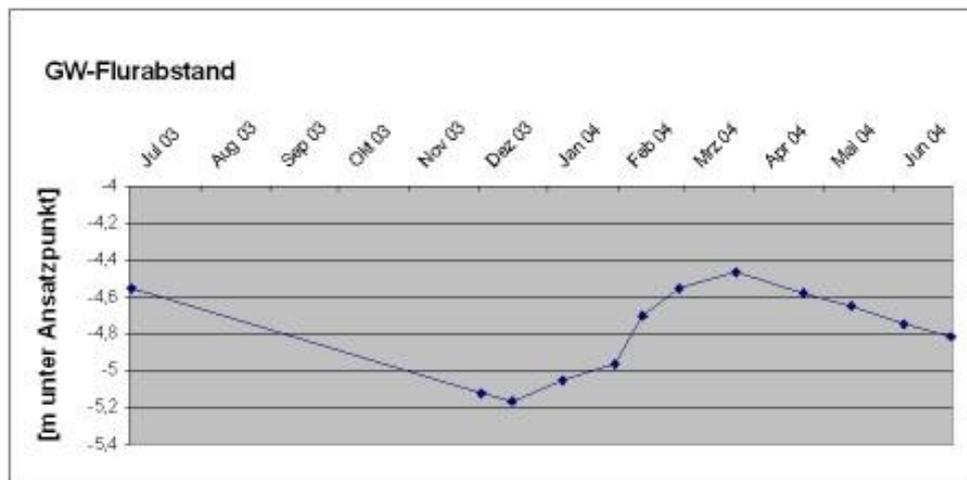


Abbildung 15: Grundwassergang am Brunnen GWM B3 im Zentrum des Depositionsbereiches

11 Empfehlung

Die Untersuchungen haben verschiedene Voreinschätzungen bezüglich der Freisetzung und Verlagerung von Bleischrotinhaltsstoffen bestätigt.

Die Versuche der Herstellung von Eluaten mittels DEV S4, BoSE und wasserungesättigten Säulen weisen übereinstimmend auf eine Größenordnung der Freisetzung aus dem Oberboden hin, die zu Konzentrationen an Blei und Antimon weit über den Prüfwerten der BBodSchV führt. Die Arsenkonzentrationen waren dagegen unerwartet niedrig. Auch wenn die Realitätsnähe der Eluatherstellung bezüglich der Sickerwasserkonzentrationen im Boden in Frage gestellt werden kann², konnten wir kein Verfahren identifizieren, dass realitätsnäher oder praktikabler als ein anderes wäre. Das von der Handhabung einfachste Verfahren – die Elution der belasteten Bodenschicht (mit Schrot) nach DEV S4 – mag für den untersuchten Boden in Heede im Vergleich zu

² Jedes Verfahren führt zu einer Störung des Systems und führt über mechanischen Abrieb der korrodierten Schrotkörner zu einer Oberflächenvergrößerung. Auf der anderen Seite ist durch unrealistisch hohe Wasser-Boden-Verhältnisse eine Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen gegenüber der Vor-Ort-Situation zu vermuten. Eine deutliche Abhängigkeit zwischen Boden-Wasserhältnis und Eluatkonzentrationen konnte jedoch weder bei unseren Untersuchungen noch den Untersuchungen im Rahmen des bayerischen Kooperationsmodells festgestellt werden. Je nach Bodenart und –zusammensetzung weisen entweder S4- oder BoSE-Extrakte höhere Eluatkonzentrationen auf.

den Methoden BoSE und ‚ungesättigte Säulenversuche‘ zu teilweise höheren Konzentrationen geführt haben, **auf Grund der Handhabung und der Kosten ist das S4-Eluat zur Abschätzung der Quelltermkonzentration jedoch geeignet und empfehlenswert.**

Die Freisetzung von Blei (und Antimon / Arsen) aus gealterten, verwitterten Schrotten in Böden außerhalb eines neutralen pH-Wertes ist bei fast allen Wurfscheiben-Schießanlagen in der festgestellten Größenordnung zu erwarten. Somit ist dieser Nachweis bei den meisten Einzelfällen nicht gesondert zu führen.

Sollen Kosten gespart werden, kann die gesonderte Untersuchung des Freisetzungspotentials der belasteten Schicht entfallen, wenn von einer Überschreitung der Prüfwerte im Sickerwasser der belasteten Schicht ausgegangen wird und weitere Untersuchungen zum Sorptionsvermögen bzw. zum Stofftransport durch den Boden geplant sind.

Die Bestimmung der Quelltermkonzentration bietet sich an, wenn es auf Grund der physiko-chemischen Eigenschaften des Bodens (insbesondere dem pH-Wert) oder geringer Schusszahlen möglich erscheint, eine Grundwassergefährdung für eine WSSA³ oder für Teilflächen mit einfachen Mitteln auszuschließen. Dies ist bei einer Unterschreitung von Prüfwerten im Eluat der Quelle der Fall.

In allen anderen Fällen wird eine Überschreitung der Prüfwerte im Sickerwasser der belasteten Schicht wie auch die Überschreitung der Vorsorgewerte der BBo-dSchV als sehr wahrscheinliche Ausgangssituation angenommen.

Viel wesentlicher und stark vom Einzelfall abhängig ist die Abschätzung und Untersuchung der Standortbedingungen bezüglich der Verlagerung der Schadstoffe und der Veränderung der Ausgangskonzentrationen bis zum Übergang der ungesättigten in die gesättigte Zone.

Die durchgeführten Methoden der Abschätzung der Konzentrationsänderungen im Zuge der Versickerung lieferten für die WSSA Heede vergleichbare Ergebnisse. Sowohl die Untersuchungen mittels Saugkerzen als auch über Perkulations- und Kaskadenversuche weisen auf eine deutliche Abnahme der Schadstoffkonzentrationen mit der Tiefe hin. Als Ursache werden die auf der WSSA Heede vorhandenen bis ca. 60 cm mächtigen humosen Bodenhorizonte angesehen.

Diese Befunde werden durch die Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen untermauert.

Für die WSSA in Heede wird auf der Grundlage dieser Ergebnisse keine aktuelle Gefährdung für das Grundwasser angenommen.

Eine zukünftige Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen, die vom Boden in das Grundwasser verlagert werden können, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden bzw. ist insbesondere bei Betrachtung sehr langer Zeiträume wahr-

³ Im Hauptdepositionsbereich / dem auf Grund der Standorteigenschaften ungünstigsten Teilbereichen der WSSA.

scheinlich. Regelmäßige Kontrollmaßnahmen (Grundwasseruntersuchungen, ggf. wiederkehrende Bodenuntersuchungen, bzw. die Beprobung des Sickerwassers an den noch im Boden befindlichen Saugkerzen) wären daher geeignet und empfehlenswert, um so eine Gefährdung des Grundwasser zu erkennen.

Die Aussagekraft der Saugkerzen-Untersuchung fiel durch die starke Streuung der Sickerwassermengen und Konzentrationen geringer aus als erwartet. Der Aufwand für regelmäßige Probenahmen und Analysen war angesichts der geringen Aussagesicherheit hingegen sehr groß. Als Standarduntersuchung zur Abschätzung von Sickerwasserkonzentrationen in tieferen Bodenschichten wird einer Untersuchung mittels Saugkerzen daher nicht der Vorzug gegeben.

Bei der Durchführung solcher Untersuchung ist die DIN 19715 zu berücksichtigen.

Nach Auswertung aller angewandter Untersuchungsmethoden hätte aus Bodenschutzsicht hinsichtlich der Überprüfung auf eine aktuelle Grundwassergefährdung durch die WSSA Heede die Beschränkung auf eine Untersuchungsmethode ausgereicht. Hierbei hat sich die Durchführung von Perkolationsexperimenten als besonders aussagekräftig erwiesen, wenn auch der Aufwand höher ist als bei der Reihenextraktion (Kaskadenexperiment).

Ein Übertrag der Erkenntnisse der Untersuchungen der WSSA Heede auf anderen Wurfscheiben-Schießanlagen ist nur bedingt möglich. Bei der Wahl der Untersuchungsmethode sind Bodenarten, Bodentypen, Homo- bzw. Heterogenitäten (Ausprägung repräsentativer möglichst einheitlicher Horizonte und Schichten) und andere Standortbedingungen zu berücksichtigen.

Daher werden hier, wie auch im Rahmen der DIN-Arbeit verschiedene Verfahren gleichberechtigt nebeneinander aufgeführt. Aus der Nennung mehrerer Methoden und dem Fehlen einer abschließenden Empfehlung EINER Methode ist NICHT abzuleiten, dass ALLE Untersuchungen durchzuführen wären. Die Auswahl im Einzelfall hat durch eine/n Sachkundige/n zu erfolgen.

Weiteres wird auf Grundlage dieses Berichtes in einer Empfehlung für Schleswig-Holstein ausgeführt, die sich insbesondere auf die Entwürfe der DIN-Arbeitsgruppe stützen wird.

Die verschiedenen Untersuchungsansätze sind dort im Anhang D der viE DIN 19740 (vorläufige interne Entwurfsversion) in Form von **Modulen** aufgeführt.

Danach kann die Beurteilung der Gefährdung des Grundwassers im Regelfall nur durch hinreichende Kenntnisse über die Depositionsbereiche der Schrote, die eingehende Beschreibung der bodenkundlichen und hydrogeologischen Standorteigenschaften, sowie an Hand chemisch-physikalischer Untersuchungsergebnisse erfolgen.

Als Grundlage für die Gefährdungsabschätzung sind dabei hervorzuheben:

- Modul 1: Begehung und Flächenkartierung.
- Modul 2: Erfassung von relevanten Bodeneigenschaften an Profilen. Auf Teile dieses Grundlagen-Moduls kann dann verzichtet werden, wenn aus sonstigen, insbesondere schon vorliegenden bodenkundlichen Daten oder ggf. schon vorliegenden Grundwasserbelastungen eine eindeutige Bewertung möglich ist oder bereits ein Einvernehmen über Maßnahmen zur Sanierung bzw. zur Vorsorge gegen einen weiteren Schadstoffeintrag besteht.

Alle Untersuchungen zur endgültigen Klärung eines Gefahrenverdacht oder zur Entlastung von Flächen sind auf die Umstände des Einzelfalls hin auszurichten. Folgende chemisch-physikalischen Untersuchungen sind je nach Fragestellung im Hauptdepositionsbereich in Erwägung zu ziehen.

- Modul 3: Untersuchung des mit Bleischrot belasteten Oberbodens (insbesondere auch zur ‚Entlastung‘ der Fläche bei geringem Freisetzungspotenzial).
- Modul 4: Untersuchung tieferer Bodenbereiche bezüglich der Verlagerung schießstättenrelevanter Schadstoffe (auch als wiederkehrende Beobachtungsmessung geeignet) (in der Regel als Feststoffuntersuchung).
- Modul 5: Entnahme von Grundwasser (v.a. zur Ermittlung, ob bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist).
- Modul 6: Probennahme aus Oberflächengewässern und Sedimenten.
- Modul 7: Entnahme von Sickerwasserproben (Sonderuntersuchung mit längerem Zeitbedarf).
- Modul 8: Untersuchung von Bodenproben zum Perkolationsverhalten.

Im Rahmen eines gestuften Vorgehens sollten Untersuchungen aufeinander aufbauen. Diese logische Abfolge ist mit der Numerierung der Module nicht identisch.

12 Kosten

Die im Rahmen der Gefährdungsabschätzung durchzuführenden Untersuchungen wurden durch Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des LANU, des LL sowie durch vom LANU bzw. MLUR beauftragte Dritte ausgeführt. Da es sich bei der Gefährdungsabschätzung auf der WSSA Heede um ein Pilotprojekt handelt und die Eigenkosten des Landes nicht ausgepreist werden können⁴, sind die angefallenen Kosten nicht auf die Untersuchung anderer Wurfscheiben-Schießanlagen übertragbar.

Insbesondere die Einrichtung und Betreuung der Saugkerzenanlage wäre – bei einer angenommenen Beauftragung eines freiberuflichen Unternehmens – mit erheblichem Arbeits- und damit Kostenaufwand verbunden. Wird die Untersuchung eines Schießplatzes durch einen Schießplatzbetreiber in Auftrag gegeben und die Untersuchung i.d.R. durch einen Sachverständigen durchgeführt, sind entsprechende marktübliche Preise zu kalkulieren.

Anhaltspunkte für solche Preise finden sich im Abschlussbericht der LfU ‚Untersuchung und Bewertung von 13 Wurfschießanlagen‘ LfU Bayern August 2001 (siehe Kopie aus diesem Bericht in [Anhang 7](#)).

Kosten für das Projekt Heede sind im wesentlichen durch folgende Teilposten entstanden:

1. Fahrten von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des LANU und MUNL zur WSSA Heede im Rahmen der Ortsbegehung, Absprache mit dem Schießanlagenbetreiber, Kartierung, Einrichtung, Wartung, Kontrolle und Abbau der Saugkerzenanlage, regelmäßige Entnahme der Sickerwasserproben aus den Saugkerzen.
2. Einrichtung von 2 Rammpegeln außerhalb des Depositionsbereiches und einer Grundwassermessstelle im Hauptdepositionsbereich (siehe Kap. 9). Da die im Depositionsbereich befindliche Grundwassermessstelle besonderen Anforderungen entsprechen müssen, sind die Kosten hierfür ggf. geringfügig höher als für entsprechend ausgebaute normale Grundwassermessstellen.
3. Beschaffung und Installation einer Saugkerzenanlage mit insgesamt 7 Saugkerzen
4. Sonderuntersuchungen, die an die Universität Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde (siehe Kap. 7) bzw. die TU Hamburg-Harburg (siehe Kap. 5) vergeben wurden.

⁴ Der Zeit- und Arbeitsaufwand, der mit der Bearbeitung des Projektes für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Landes verbunden war, lässt sich schwer beziffern, da die Bearbeitung im Rahmen der jeweiligen Aufgabenbereiche der betroffenen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen erfolgt ist. Durch die Vergabe durchzuführender Analysen an Boden- oder Sickerwasserproben vom LANU an das Landeslabor und die zwischen den beiden Institutionen bestehenden Abkommen und Zielvereinbarungen konnten die Analysen kostengünstiger durchgeführt werden als dies der Fall wäre, wenn die Analysen durch einen Auftraggeber an ein Labor vergeben würden.

5. Chemische Analysen von Sickerwasserproben aus den Saugkerzen (85 Proben auf Blei und Antimon, sowie 87 Proben auf Arsen), von Grundwasserproben sowie der im Rahmen der Sonderuntersuchungen der Uni Kiel angefallenen Perkolate.
6. Auswertung und Erstellung des Abschlussberichtes durch das LANU incl. begleitende Besprechungen. Diese sind nicht bepreisbar – vergleichbare Aufwendungen und Kosten sind bei anderen Untersuchungen zu berücksichtigen.

Kostenaufstellung für die Bearbeitung des Projektes Heede

Posten	Anzahl	Kosten gesamt
1) Fahrten zum Schießplatz Heede	44	-- (nicht bepreisbar)
2a) Einrichtung von 2 Rammpegeln	2	840.- €
2b) Einrichtung einer Grundwasser- messstelle im Depositionsbereich	1	2.200.- €
3) Anschaffung einer Saugkerzenanlage, incl. 7 Saugkerzen	1	2.860.- €
4a) Perkolationsversuche der Uni Kiel (Heede, Hasenmoor, Baumgarten)	1(3)	(19.000.- € für 3 Bepro- bungspunkte)
4b) Untersuchungen der TU HH zur Er- mittlung der Quellstärke	1	-- (nicht bepreisbar, da im Rahmen eines BMBF-For- schungsvorhabens)
4c) Kaskadenversuche der Uni Kiel (Hee- de, Hasenmoor, Baumgarten)	1(3)	(13.000.- € für 3 Bepro- bungspunkte)
4d) Sonderuntersuchungen, chemische Analysen		
5) Chemische Analysen von Bodenpro- ben und Sickerwasser- und Grundwas- serproben sowie von Perkolaten		Für 4c) + 4d): 4.650.- € -- (sonst nicht bepreisbar) *

* Die Analysen wurden vom Landeslabor Schleswig-Holstein im Rahmen von Zielvereinbarungen durchgeführt, die preislich nicht bezifferbar sind. Laut Gebührenordnung des Landeslabors wären die im Rahmen der Untersuchungen von Schießplätzen häufigsten Untersuchungen folgendermaßen zu beziffern:

sieben auf Korngröße < 3,35 mm	25 €	Bestimmung Sb	20 €
Königswasserauszug	40 €	Herstellung Bodensättigungsextrakt (BoSE)	50 €
pH (CaCl ₂)	15 €	Bestimmung Pb im BoSE	30 €
Bestimmung Pb	20 €	Bestimmung As im BoSE	30 €
Bestimmung As	20 €	Bestimmung Sb im BoSE	30 €

Nach den hier gesammelten Erfahrungen und nach Abgleich mit dem Abschlussbericht der LfU ‚Untersuchung und Bewertung von 13 Wurfscheiben-Schießanlagen‘ wird ein Kostenrahmen von 10.000.-€ – 20.000.-€ für eine Einschätzung der Grundwassergefährdung in vielen Fällen notwendig sein, wenn nicht durch einfache Methoden - bzw. frühzeitig - eine deutliche Entlastung der Anlage (sehr niedrige Schadstoffkonzentrationen schon im Eluat der Quelle) oder auch ein Grundwasserschaden festgestellt wird.

13 Literatur

ahu texte 2001: ULRICH LIESER, BARBARA HUDEC: Messtechnische Erfassung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser über Direktbeprobung als Beitrag zur Sickerwasserprognose

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) (2001): Untersuchung und Bewertung von 13 Wurfschießanlagen, Abschlussbericht

Christian-Albrechts-Universität Kiel (Jan. 2004): *Untersuchungen von Böden und Perkolaten dreier Schießplätze in Schleswig-Holstein „Heede, Baumgarten, Hartenholm“*- Abschlussbericht. Unveröffentlicht sowie: *Ergänzende Untersuchungen zu den Perkolationsexperimenten dreier Schießplätze in Schleswig-Holstein „Heede, Baumgarten, Hartenholm“* – Abschlussbericht (Dez. 2004). Unveröffentlicht, Einsicht LANU

DIN 19715 (in Vorbereitung): "Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Bodenwasser zur Bestimmung der Inhaltsstoffe"

DIN 19740 Bodenbeschaffenheit (in Vorbereitung): „Umweltrelevante Anforderungen an den Bau und Betrieb von zivilen Schießstätten — Teil 3: Untersuchungen“

Diestelhorst, S. (2003): "Entwicklung eines Klassifikationssystems zur Bewertung der Boden- und Grundwassergefährdung auf zivilen Schießplätzen"

Fahrenhorst (1993): Retardation und Mobilität von Blei, Antimon und Arsen im Boden am Fallbeispiel von Schrotschießplätzen, Fachgebiet Bodenkunde der TU Berlin

Koch 1993: Erfassung und Bewertung der Schwermetallmobilität über Sickerwässer aus Böden hoher geogener Anreicherungen und zusätzlicher Belastungen, Dissertation an der Georg-August Universität Göttingen

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA (1994): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeits-schwellenwerten für das Grundwasser

UMK-Bericht (1998): Bodenbelastungen auf Schießplätzen – Bericht der UMK-Arbeitsgruppe als Material für Verwaltungsmaßnahmen (Beschluss der 51. Umweltministerkonferenz am 19./20. November 1998 in Stuttgart – TOP 19.18)

Voss (2001): Erhebung der Belastungssituation der Wurfscheibenanlage Heede / Kreis Pinneberg durch orientierende Untersuchungen – Ergebnisbericht

Danksagung

Den Mitarbeitern des Landeslabores - ehemals Saarbrücken- und Mercatorstr. in Kiel - und der Christian-Albrechts-Universität Kiel sei für die über mehrere Jahre laufende gute Zusammenarbeit mit dem LANU ganz herzlich gedankt, ebenso dem MLUR und dem LJV für die Unterstützung. Herrn Grosch sei Dank für eine Vielzahl von Begleitungen und Bewirtungen vor Ort. Herrn Dr. Gerth danken wir für die Aufgeschlossenheit, das Bodenmaterial aus Heede bei der Erforschung neuer Elutionsverfahren zu berücksichtigen.

Allen Mitwirkenden danken wir für die Diskussionen und Anregungen, den Einsatz, und die Bereitschaft den verschiedenen Schwierigkeiten der Materialien und des Wetters die Stirn zu bieten - bis hin zur Opferung von Haarlocken zur Abwehr von Wildschweinen, die zeitweise ein erstaunliches Interesse an Saugkerzen und deren Zuleitungen bekundeten...



... wobei sie sich von den Bleischrotten offensichtlich nicht gestört fühlen:

(unter den Fichten – Foto: Dr. Holger Wetzels, Christian-Albrechts-Universität Kiel)

Anhänge

[Anhang 1: Übersicht und Anlagendaten Heede](#)

[Anhang 2: 1:5000 mit Schussweiten des Trap-, Skeet- und Jungjägerstandes](#)

[Anhang 3: Bodenaufbau und Stoffbestände der untersuchten Böden](#)

[Anhang 4: Bodenkundliche Aufnahme / Verteilung des pH-Wertes und Grundwasserflurabstandes](#)

[Anhang 5: Fotodokumentation](#)

[Anhang 6: Bohrprofile und Ausbaupläne der Grundwassermessstellen](#)

[Anhang 7: Hinweise auf Kosten einzelner Untersuchungsschritte von Wurfscheiben-Schießanlagen nach LfU, Bayern](#)