

Blei- und Antimonbelastung bei Schiessanlagen

Fallbeispiel Luzerner Allmend



Semesterarbeit im Rahmen des Vertiefungsblocks G7 Bodenschutz
(WS 01/02)

Pia Oswald
Isabelle Rytz
Pascal Sydler

Unter der Leitung von: Dr. Gerhard Furrer

Betreuung durch: A. Grünwald, W. Attinger, U. Wingenfelder, A. Birkefeld

Zürich, Februar 2002

Blei- und Antimonbelastung bei Schiessanlagen

Fallbeispiel Luzerner Allmend

Bild links: Einschusslöcher des Kugelfangs B
Bild rechts: Probenahme mit Humax-Gerät

Zürich, Februar 2002

Vorwort

In den über 2'000 Schiessanlagen der Schweiz werden jährlich mehrere hundert Tonnen Projektile verschossen. Als Folge davon sind die Böden des Schiessgeländes, vor allem aber die Kugelfänge, stark mit Schwermetallen belastet. In früheren Untersuchungen von Schiessanlagen wurde hauptsächlich auf die Bleibelastung und deren Auswirkungen auf die Umwelt eingegangen. Seit gut zwei Jahren ist man sich bewusst, dass auch Antimon ein Problem darstellen könnte. Sowohl über das Verhalten von Antimon in Böden als auch die Auswirkungen auf die Umwelt ist wenig bekannt, was nach entsprechenden Untersuchungen verlangt.

Das Institut für terrestrische Ökologie (ITÖ) hat uns daher für unsere Semesterarbeit im Fachbereich Bodenschutz die Aufgabe gestellt, die Belastungs- und Gefährdungssituation der Schiessanlage auf der Luzerner Allmend bezüglich Schwermetallen mit Schwerpunkt Antimon zu beurteilen.

Der Bericht soll als Information für Ämter, Gemeinden und die interessierte Öffentlichkeit dienen. Personen, die sich mit der Untersuchung und Sanierung von Schiessanlagen befassen, finden Hinweise über die zu erwartende Schwermetallbelastung, die daraus resultierende Gefährdung und mögliche Sanierungsmassnahmen.

Für die fachliche Unterstützung, für die Organisation der zahlreichen interessanten Vorträge aus der Praxis und dafür, dass diese Semesterarbeit überhaupt zustande gekommen ist, möchten wir Herrn Dr. Gerhard Furrer und den beiden Assistenten Ulla Wingenfelder und Andreas Birkefeld ganz herzlich danken. Sie haben es verstanden, unsere Neugierde für die Problematik der Kontamination von Böden und die Frage nach dem "Wie weiter?" in Interesse und Motivation zu wandeln. Dank gebührt ebenfalls Anna Grünwald und Werner Attinger, die uns im Feld und im Labor tatkräftig unterstützt haben. Herrn Matthias Achermann und Frau Judith Burri vom Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern und Herrn Stefan Herfort vom Umweltschutz Stadt Luzern möchten wir danken, dass sie uns zahlreiche Informationen und Datengrundlagen zur Situation der Luzerner Allmend zur Verfügung gestellt haben. Ein weiteres Dankeswort geht an Herrn Dr. Franz Borer vom Amt für Umwelt des Kantons Solothurn für das interessante und informative Gespräch.

Pia Oschwald, Isabelle Rytz, Pascal Sydler
Zürich, im Februar 2002

Zusammenfassung

Bereits in verschiedenen Arbeiten von kantonalen Umweltschutzämtern und privaten Ingenieurbüros wurde die Problematik von Schiessanlagen behandelt. Abgesehen vom Lärm stellt auch die zum Teil massive Bodenbelastung durch Schwermetalle ein Problem dar. Während für Blei bereits gute Kenntnisse über das Umweltverhalten und seine Toxizität vorhanden sind, fehlen diese für Antimon weitgehend.

In dieser Semesterarbeit soll die Schwermetallbelastung anhand zweier Schiessanlagen auf der Luzerner Allmend aufgezeigt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Elementen Blei und Antimon. Damit soll ein weiterer Mosaikstein in das Bild der noch wenig erforschten Schwermetallproblematik von Schiessanlagen gesetzt werden.

Um das Ausmass der Gesamtbelastung des Schiessgeländes abschätzen zu können, wurden an verschiedenen Stellen Humax-, Flächen- und Transektproben genommen und auf deren Totalgehalt an Blei (Pb), Kupfer (Cu) und Antimon (Sb) untersucht. Bei allen Proben wurden die Totalgehalte für Pb, Cu und Sb gemäss VBBo (HNO_3 -Extraktion) bestimmt. Zusätzlich wurde bei allen Proben ein Antimon Aufschluss mit der Oxalat-Extraktion vorgenommen. Mit diesem Aufschluss können bessere Aussagen über den Totalgehalt gemacht werden. Der lösliche Schwermetallanteil wurde mittels NaNO_3 -Extraktion gemäss VBBo aufgeschlossen.

Die HNO_3 -Extraktion nach VBBo und die Oxalat-Extraktion für Antimon zeigen sehr unterschiedliche Resultate. Das resultierende Konzentrationsverhältnis zwischen den beiden Extraktionsmethoden variiert zwischen 0.3 und 170, wobei mit dem Oxalataufschluss grundsätzlich höhere Konzentrationen gemessen wurden. Dies führt zur Schlussfolgerung, dass diese Methode den totalen Antimongehalt im Boden besser repräsentiert.

Blei weist bezüglich dem totalen Schwermetallgehalt die höchsten Werte auf. Die angetroffene Schwermetallverteilung widerspiegelt ein ähnliches Bild, wie es auch auf anderen Schiessanlagen angetroffen worden ist:

- erhöhte Belastung um das Schützenhaus, vermutlich durch die Staubemission bei der Schussabgabe
- schwachbelastetes Zwischengelände, wobei der Einfluss der seitlich angelegten Tontaubenschiessanlage (erhöhte Bleibelastung) erkennbar ist
- Kugelfangmaterial, welches die Sanierungswerte für Blei und Kupfer nach VBBo um ein Mehrfaches überschreitet. Dieses birgt ein immenses Reservoir an Schwermetallen
- abnehmende Belastung hinter dem Kugelfang (Irrläufer)

Bestimmender Faktor für die Verlagerung von Schwermetallen ist der pH-Wert. Im neutralen Milieu weisen die erhöhten Antimonkonzentrationen in den unteren Probenhälften auf eine Verlagerung in die Tiefe hin. Hingegen ist die Löslichkeit von Blei stark eingeschränkt. Der lösliche Bleigehalt nimmt erst mit sinkendem pH-Wert stark zu. Blei ist unter dieser Bedingung verlagerbar und pflanzenverfügbar. Die Anreicherung von Antimon in der obersten Bodenschicht (0-12.5 cm) weist auf eine geringe Löslichkeit hin.

Das Gefahrenpotential der Schiessanlagen hängt grundsätzlich davon ab, in welchem Umfang die Schwermetalle aus dem kontaminierten Bereich über die Wirkungspfade Boden, Wasser und Luft zu einem Schutzgut gelangen können. Um diesbezüglich Aussagen machen zu können, muss neben den Stoffeigenschaften auch das Freisetzung- und Ausbreitungsverhalten untersucht werden. Die aktuellen Nutzungen des Areals bestimmen schliesslich die massgeblichen Ausbreitungs- und Wirkungspfade. Für die Stände Zihlmatt und B auf der Allmend lässt sich aufgrund der Untersuchungen und Analysen folgende Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit ableiten:

- Nach Altlastenverordnung besteht für den Kugelfang bezüglich Grundwasser kein Sanierungsbedarf. Aufgrund hoher Konzentrationenwerte aus Eluattests von Vergleichsstandorten wird für die Allmend eine Überwachungsbedürftigkeit abgeleitet. Weitergehende Untersuchungen sind empfehlenswert.
- Eine Gefährdungsbeurteilung für das Oberflächengewässer ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.
- Das Bodenmaterial der Schiessstände Zihlmatt und B zeigt im Bereich der Kugelfänge und in deren Nahbereich eine starke Überschreitung des Sanierungswerts für Blei. Eine Sanierung des Standorts ist notwendig.

Zur Sanierung eines belasteten Standorts unterscheidet die Altlastenverordnung Schutz- respektive Beschränkungsmassnahmen, Sicherungsverfahren und Dekontaminationsverfahren. Für die Schiessanlagen auf der Allmend in Luzern sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Dabei ist zu unterscheiden, ob der Schiessbetrieb aufrecht erhalten bleibt oder ob die Anlagen stillgelegt werden.

In ersten Fall sollten folgende Massnahmen ergriffen werden:

- Umzäunung des Kugelfangs
- Überarbeitung des bestehenden Nutzungsplans
- Einbau von künstlichen Kugelfangsystemen

Wird die Anlage stillgelegt, sollte das am stärksten belastete Material, insbesondere die Kugelfänge, dekontaminiert werden. Das Gelände zwischen den Schützenhäusern und den Kugelfängen muss nicht aufgehoben werden. Der Nutzungsplan sollte aber seine Gültigkeit beibehalten und auch bei einer Stilllegung der Schiessanlagen durchgesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Problemanalyse.....	1
1.3	Aufgabenstellung.....	1
2	Situationsanalyse	3
2.1	Untersuchungsgebiet Luzerner Allmend.....	3
2.2	Schwermetalleintrag durch Schiessbetrieb.....	4
3	Grundlagen	6
3.1	Gesetzgebung	6
3.1.1	Militärgesetz.....	6
3.1.2	Umweltschutzgesetzgebung.....	6
3.2	Schwermetalle	7
3.2.1	Einführung	7
3.2.2	Relevante Schwermetalle bei Schiessanlagen.....	7
4	Probenahme und Methodik	9
4.1	Probenahme und Aufbereitung.....	9
4.2	Analysenprogramm	10
5	Resultate und Diskussion	11
5.1	Aufbau der Kugelfänge	11
5.2	pH-Werte	12
5.3	Organische Substanz	12
5.4	Schwermetalle	13
5.4.1	Methodenvergleich bezüglich Antimon.....	13
5.4.2	Totaler Schwermetallgehalt in Schiessrichtung.....	13
5.4.3	Löslicher Schwermetallgehalt in Schiessrichtung	15
5.4.4	Vergleich des totalen mit dem löslichen Schwermetallgehalt in Schiessrichtung.....	16
5.4.5	Vertikale Schwermetallverteilung im Kugelfang	18
5.4.6	Löslicher Schwermetallgehalt.....	19
5.5	Fehlerabschätzung	20

6	Interpretation	21
6.1	Organische Substanz	21
6.2	pH und Carbonatgehalt.....	21
6.3	Schwermetallverteilung auf dem Schiessgelände	21
6.4	Verlagerung der Schwermetalle	22
6.4.1	Neutrales Milieu.....	22
6.4.2	Saures Milieu	22
6.4.3	Kugelfang	23
6.4.4	Blei/Antimon-Verhältnis.....	24
7	Gefährdungsabschätzung	26
7.1	Beurteilung nach Altlastenverordnung.....	26
7.1.1	Schadstoffpotential.....	26
7.1.2	Freisetzungspotential	26
7.1.3	Exposition und Bedeutung der Schutzgüter	27
7.1.4	Fazit der Beurteilung nach Altlastenverordnung	28
7.2	Szenarien für Risikoabschätzung Boden	29
7.2.1	Szenario: spielendes Kind auf dem Kugelfang	29
7.2.2	Szenario: weidendes Schaf.....	30
8	Sanierungsmassnahmen	32
8.1	Einführung.....	32
8.2	Beschrieb der Sanierungsmassnahmen.....	32
8.2.1	Schutz- und Beschränkungsmassnahmen	32
8.2.2	Sicherungsverfahren.....	32
8.2.3	Dekontaminationsverfahren	33
8.2.4	Vergleich der Massnahmen.....	34
8.3	Massnahmen für die Allmend	35
8.3.1	Weiterführung des Schiessbetriebs	35
8.3.2	Schiessanlage wird stillgelegt	36
9	Schwierigkeiten	37
10	Ausblick	38
11	Literaturverzeichnis	39

Anhänge

A	Situation	A-1
B	Grundlagen	B-1
C	Methodik	C-1
D	Resultate	D-1
E	Gefährdungsabschätzung	E-1
F	Abkürzungen, Glossar	F-1

1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der Schweiz sind die Gemeinden durch das Militärgesetz verpflichtet, eine Möglichkeit für das Absolvieren der obligatorischen Dienstpflicht zu stellen. Gesamtschweizerisch gibt es daher rund 2'170 300 m-Schiessanlagen. Diese Anlagen werden jedoch in erster Linie von den privaten Schiessvereinen und erst in zweiter Linie für das obligatorische Schiessen benutzt. Viele dieser Schiessanlagen stehen heute in der Nähe von Siedlungsgebieten und stellen für die Bevölkerung eine erhebliche Lärmbelastung dar. Dort, wo die Grenzwerte überschritten werden, müssen die Anlagen gestützt auf die Lärmschutzverordnung bis Ende März 2002 saniert werden. Ist die Lärmbelastung zu gross oder der finanzielle Aufwand für die Sanierung unverhältnismässig, so wird die Anlage stillgelegt. Mit der Stilllegung stellt sich die Frage nach der Umnutzung der Anlage oder der Wiederherstellung des ursprünglichen Umgebungszustands.

1.2 Problemanalyse

Verschiedene Arbeiten von kantonalen Umweltschutzämtern und privaten Büros haben gezeigt, dass, abgesehen vom Lärm, auch eine massive Bodenbelastung durch Schwermetalle vorliegt. Dies ist vor allem im Bereich der Schützenhäuser und der Kugelfänge der Fall. Die gesetzlichen Grenzwerte für einzelne Schwermetalle werden um ein Mehrfaches überschritten.

Es besteht die Gefahr, dass diese Schwermetalle über die Wirkungspfade Boden und Grundwasser in die Nahrungskette gelangen. Problematisch sind vor allem Blei und Antimon, da sie für Pflanzen, Tiere und Menschen nicht lebensnotwendig sind. In erhöhten Konzentrationen wirken sie toxisch.

Während für Blei bereits gute Kenntnisse über das Umweltverhalten und seine Toxizität vorhanden sind, fehlen diese für Antimon weitgehend. Der Schwerpunkt früherer Untersuchungen von Schiessanlagen lag auf der Erkundung der Bleibelastung. Auf Antimon hingegen wurde bisher kaum eingegangen.

1.3 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Semesterarbeit im Fachbereich Bodenschutz, betreut vom Institut für terrestrische Ökologie an der ETH Zürich, sollen anhand zweier Schiessanlagen auf der Luzerner Allmend folgende Schwerpunkte behandelt werden:

- Erkundung und Diskussion der durch den Schiessbetrieb verursachten Belastungen durch Blei und Antimon
- Beurteilung des Verlagerungsrisikos von Blei und Antimon
- Abschätzung der Gefährdung von Schutzgütern
- Darstellung und Vergleich möglicher Sicherungs- und Sanierungsmassnahmen

Das Vorgehen dieser vierzehnwöchigen Arbeit lässt sich in drei Schritte gliedern: Im ersten Schritt wurden auf dem Areal der beiden Schiessstände Zihlmatt und B Boden- und Kugelfangproben genommen. Die Proben wurden anschliessend im Labor auf verschiedene Parameter analysiert. Das Literaturstudium und ein Seminar zum aktuellen Thema erfolgten parallel dazu. Im Seminar stellten Leute aus der Forschung und der Praxis ihre Sicht dieser Problematik dar. Basierend auf den Analyseresultaten, den Erkenntnissen aus dem Literaturstudium und diversen Gesprächen entstand in einem dritten Schritt der vorliegende Bericht.

2

Situationsanalyse

2.1 Untersuchungsgebiet Luzerner Allmend

Im Kanton Luzern gibt es 106 300 m-Schiessanlagen, von denen bereits 30 stillgelegt und vier totalsaniert worden sind. Die grösste noch in Betrieb stehende Anlage liegt auf der Luzerner Allmend zwischen Stadtzentrum und Horw, südlich des Sportplatzes. Raumplanerisch ist dieser Teil der Allmend einer Zone für Sport- und Freizeitanlagen zugeteilt.

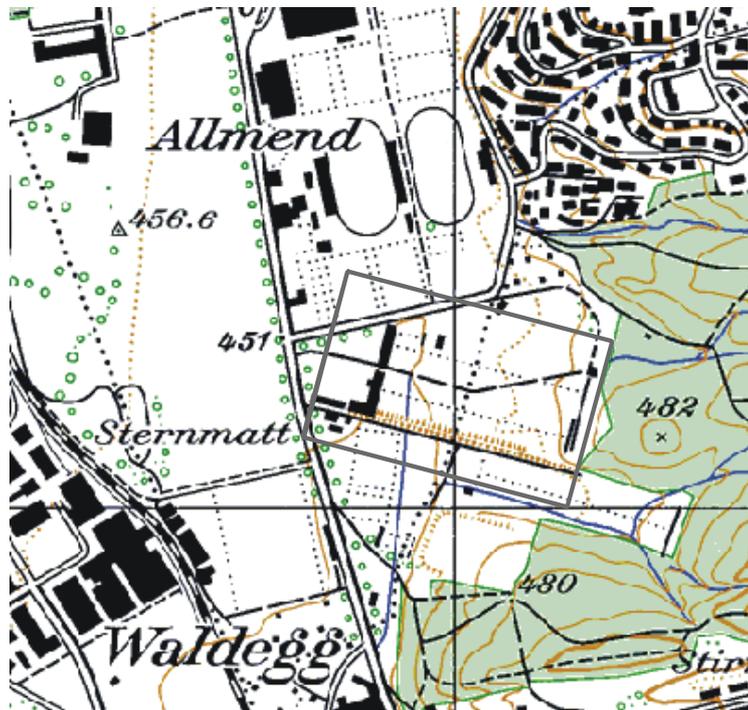


Abbildung 2-1 betrachtete Schiessanlagen auf der Luzerner Allmend (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (BA013944))

Geologie Der geologische Untergrund besteht vorwiegend aus tertiären granitischen Sandsteinen und grauen und bunten Mergeln, die von rezenten Alluvionen und Alluviallehm überdeckt sind.

Hydrogeologie Das Schützenhaus und der grösste Teil des Zwischengeländes liegen im Gewässerschutzbereich A und befinden sich über einem Grundwasservorkommen. Der Kugelfang dagegen liegt im Gewässerschutzbereich B. Im Abstand von 500 m in südwestlicher Richtung des Schützenhauses befindet sich eine Grundwasserfassung mit einer Förderate von 1000-5000 l/min. (vgl. Abbildung a-1 im Anhang A)

Luzerner Allmend Insgesamt befinden sich auf der Luzerner Allmend neun Schiessanlagen. In unserer Arbeit befassen wir uns ausschliesslich mit den 300 m-Schiessständen Zihlmatt und B. Der Stand Zihlmatt steht im Einflussbereich der Tontaubenschiessanlage. (vgl. Abbildung a-2 im Anhang A)

Zwischen den Schützenhäusern und den Kugelfängen fliesst ein kleiner Bach quer durch das Gelände, der bei Trockenwetter nur wenig Wasser führt, bei Niederschlägen jedoch in kurzer Zeit stark anschwel-

len kann. Die künstlich aufgeschütteten Kugelfänge liegen leicht erhöht zehn Meter hinter den Scheiben. Dahinter grenzt der Wald an.

weitere Nutzungen

Abgesehen vom Schiessbetrieb wird das Gelände zwischen den Schützenhäusern und den Kugelfängen noch anderweitig genutzt. So weiden dort vom Frühjahr bis in den Herbst hinein Schafe. Während grossen Anlässen (Sportveranstaltungen, Ausstellungen) dient ein Teil des Zwischengeländes als Parkplatz. Etwas abseits steht seit Anfang 2001 eine Kompostieranlage, in der das auf dem Areal geschnittene, stark belastete Gras direkt kompostiert wird. Ein Teil des Geländes dient als ökologische Ausgleichsfläche.

Pflege- und Unterhaltsmassnahmenplan

In den vergangenen Jahren wurden vom Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern auf der Allmend Bodenproben genommen. Gestützt auf diese Resultate wurde im Sommer 2001 ein Pflege- und Unterhaltsmassnahmenplan ausgearbeitet, der aufzeigt, wo welcher Unterhalt nötig und erlaubt ist. (siehe Abbildung a-7 im Anhang A)

Seit dem Sommer 2001 ist eine Person beauftragt, die verschiedenen Interessen und Nutzungsansprüche an die Luzerner Allmend zu koordinieren. Gemäss Herrn Herfort vom Umweltschutzamt der Stadt Luzern besteht die Tendenz, dass der Schiessbetrieb zukünftig aufgegeben und eine andere Nutzung angestrebt wird.

2.2 Schwermetalleintrag durch Schiessbetrieb

Schweiz

Gemäss VBS wurden im Jahr 2001 auf den 2'170 Schiessanlagen der Schweiz knapp 50 Millionen Projektilen verschossen. Der Beitrag der Schiessvereine beträgt 40 Millionen Patronen, derjenige der Armeeangehörigen rund 8 Millionen¹.

Die Projektilen bestehen aus einem Stahlmantel mit Kupfer-Nickel-Plattierung und einem Kern aus Hartblei. Dieser Kern besteht aus 98% Blei und 2% Antimon sowie Verunreinigungen wie Cadmium, Kupfer, Zinn und Arsen im Promillbereich.

Untenstehende Tabelle zeigt die Blei- und Antimoneinträge in die Kugelfänge für das Jahr 2001 auf. Es wird angenommen, dass noch ein Fünftel der Schützen mit dem alten Sturmgewehr Stgw 57 ausgerüstet ist.

Tabelle 2-1 Gesamtmenge an verschossenem Blei und Antimon

Anzahl 300 m-Schiessanlagen	2'170	
verschossene Patronen pro Jahr	ca. 50 Mio.	
Blei- resp. Antimongehalt GP 11 (Stgw 57) ⁱ	8.38 g Pb	0.17 g Sb
Blei- resp. Antimongehalt Gw Pat 9 ⁱ	2.99 g Pb	0.06 g Sb
Blei- resp. Antimoneintrag pro Jahr	ca. 285 t Pb	ca. 6 t Sb

i. [EMD/ BUWAL, 1997]

1. 320'000 Armeeangehörige, 80'000 schießen das obligatorische Programm freiwillig, 20 Schuss pro Programm (2001)

Luzerner Allmend Für den Stand Zihlmatt und den Stand B lassen sich die Einträge seit Inbetriebnahme der Anlagen aufgrund der jährlichen Schussfrequenzen und der Projektilzusammensetzung wie folgt abschätzen:

Tabelle 2-2 Zahlen zum Schiessbetrieb auf der Allmend

	Stand Zihlmatt	Stand B	gesamthaft
Inbetriebnahme	1935	1966	
Anzahl Scheiben	13	19	32
Schüsse / Jahr	168'000	205'500	373'500
t Blei / Jahr	0.840	1.028	1.868
Schüsse über die Betriebszeit	7'056'000	5'548'500	12'604'500
t Blei über die Betriebszeit	35.3	27.7	63.0
t Antimon über die Betriebszeit	0.7	0.6	1.3

[Achermann, 2001]

3

Grundlagen

3.1 Gesetzgebung

Verschiedene Gesetze und Verordnungen sind im Zusammenhang mit dem Betrieb von Schiessanlagen massgebend. Dabei sind vor allem das Militärgesetz und die Umweltschutzgesetzgebung relevant.

3.1.1 Militärgesetz

Nach Artikel 63 des Militärgesetzes vom 3. Februar 1995 müssen Wehrpflichtige während der Dauer ihrer Dienstpflicht jährlich eine ausserdienstliche Schiessübung absolvieren. Die Schiessanlagen, die für diese Schiessübung und entsprechende Tätigkeiten der Schiessvereine benötigt werden, müssen von den Gemeinden gemäss Art. 133 Abs. 1 unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden.

Das Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) ist zuständig für den Erlass von Vorschriften über Lage, Bau und Betrieb von Schiessanlagen für das Schiesswesen ausser Dienst sowie über die zulasten der Schiessvereine gehenden Einrichtungen. Es berücksichtigt dabei die Bedürfnisse der Sicherheit, des Umweltschutzes sowie des Natur- und Heimatschutzes (Art. 133 Abs. 2).

3.1.2 Umweltschutzgesetzgebung

Die Umweltschutzgesetzgebung soll Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen und die Fruchtbarkeit des Bodens erhalten (Art. 1 Abs. 1 USG). Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden können, sind im Sinne der Vorsorge frühzeitig zu begrenzen (Art. 1 Abs. 2 USG). Die Vollzugskompetenz im Umweltschutzbereich obliegt gemäss Art. 36 USG den Kantonen, sofern sie nicht gemäss Art. 41 USG dem Bund übertragen wird.

Verschiedene Gesetze und Verordnungen sollen das Erreichen dieser Ziele sicherstellen. Sie werden hier nur stichwortartig aufgezählt und im Anhang B-1 genauer erläutert.

- Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998
- Altlastenverordnung (AltIV) vom 26. August 1998
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990
- Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA) vom 5. April 2000
- Gewässerschutzgesetz (GschG vom 24. Januar 1991)
- Gewässerschutzverordnung (GschV vom 28. Oktober 1998)
- Lärmschutzverordnung (LSV) vom 16. Dezember 1985
- Raumplanungsgesetz (RPG) vom 22. Juni 1979

3.2 Schwermetalle

3.2.1 Einführung

Als Schwermetalle werden jene metallischen Elemente bezeichnet, welche eine Dichte von mehr als 5.6 g/cm^3 aufweisen. Einige dieser Elemente (z.B. Eisen, Kupfer, Zink) sind essentiell für Pflanzen und/oder Tiere, wirken in zu hohen Konzentrationen aber toxisch. Andere Schwermetalle wie Antimon und Blei können schon in geringsten Konzentrationen schädliche Effekte haben.

chemische Prozesse im Boden

Gelangen Schadstoffe in den Boden, so können verschiedene Reaktionen stattfinden, welche die Verteilung der Schadstoffe auf die mobile und die immobile Phase bestimmen. Im Falle von Schwermetallen sind hauptsächlich Adsorptions-, Fällungs- und Auflösungsprozesse entscheidend für diese Verteilung. Die Adsorptionskapazität eines Bodens ist von dessen Gehalt an Huminstoffen, Tonmineralien, Eisen- und Aluminiumoxiden und -hydroxiden und dem pH-Wert abhängig. Ob eine Reaktion stattfindet, ist aber auch von den chemischen Eigenschaften und der Konzentration des Metalls abhängig. Die in Lösung verbleibenden Schadstoffe können von den Pflanzen aufgenommen oder ins Grundwasser ausgewaschen werden [Gisi et al., 1997].

3.2.2 Relevante Schwermetalle bei Schiessanlagen

Wie bereits erwähnt, werden durch den Schiessbetrieb verschiedene Schwermetalle in die Umwelt freigesetzt, hauptsächlich Blei, Antimon und Kupfer. Anhang B-2 gibt einen Überblick über die Eigenschaften und das Verhalten dieser drei Elemente. Da vor allem Blei und Antimon als kritisch angesehen werden, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf diese beiden Elemente.

Blei

Wird Blei (Pb) in den Boden eingetragen, laufen verschiedene Prozesse ab. Sie werden vom pH, der Zusammensetzung der Böden und den Redoxbedingungen beeinflusst. Blei ist im Boden sehr immobil und weist bei pH-Werten über 5 in der Regel eine sehr geringe Löslichkeit auf. Erst bei pH-Werten unter 4-4.5 nimmt die Löslichkeit und damit auch die Verlagerbarkeit und Pflanzenverfügbarkeit deutlich zu.

Bindung im Boden

Die Bindung von Blei im Boden erfolgt meist durch spezifische Adsorptionsprozesse – insbesondere Eisen-, Aluminium- und Manganoxide weisen eine hohe Bindungskapazität für Blei auf. Die organische Substanz kann in zweierlei Weise die Spezierung beeinflussen: einerseits kann Blei durch organische Substanz durch die Bildung unlöslicher, sehr stabiler metallorganischer Komplexe gebunden werden, andererseits können lösliche organische Komplexbildner auch eine Mobilisierung von Blei bewirken [Scheffer et al., 1998].

Aufnahme durch Pflanze und Tiere

Blei kann prinzipiell auf zwei Wegen in die Pflanze und damit in die Nahrungskette gelangen:

- Aufnahme über die Wurzeln
- Absorption von abgelagerten Stoffen über die Spaltöffnungen

Durch den Verzehr von belasteten Pflanzen gelangt das Blei in die Tiere. Stark belastetes Erdmaterial, das von den Tieren zusammen mit dem Futter aufgenommen wird, kann einen erheblichen Teil der Belastung ausmachen. Der Anteil der Erde kann zum Beispiel beim weidenden Schaf bis zu 30 % betragen [Kessler, 1993].

Antimon

Spezifizierung Antimon (Sb) kommt natürlicherweise in den drei Oxidationszuständen (0), (III) und (V) vor. Unter den Redoxverhältnissen in Böden ist Sb(0) nicht stabil. Es wird je nach Redoxpotential des Bodens zur dreiwertigen (eher anaerobe Verhältnisse) oder fünfwertigen Form (bei aeroben Bedingungen) oxidiert. In wässrigen Lösungen werden diese Ionen sehr schnell hydrolysiert. Aufgrund der Bedingungen in Böden sind die vorherrschenden Spezies Verbindungen mit fünfwertigem Antimon, insbesondere Sb(OH)_6^- . Neben dieser Form existieren in sauren Böden die Verbindungen Sb(OH)_2^+ , Sb(OH)_3 bzw. Sb(OH)_5 , bei alkalischen Verhältnissen Sb(OH)_4^- . [zusammengestellt aus Blay, 2000, Alloway, 1999, Boyle und Jonasson, 1984].

Bindungen im Boden Für die Adsorption und damit auch Mobilität von Antimon im Boden sind dessen Redoxpotential, pH-Wert und Bodenbestandteile entscheidend. Die Bindung erfolgt hauptsächlich an Eisen- und Manganhydroxide, während Tonminerale nur eine geringe Adsorptionsfähigkeit besitzen [Blay, 2000].

Sb(OH)_6^- geht im Boden mit verschiedenen Kationen Bindungen ein, wobei Eisen und Blei bevorzugte Bindungspartner sind. Bei Schiessanlagen könnte dabei insbesondere die Verbindung mit Blei, das relativ unlösliche Mineral Bindheimit PbSb_2O_6 , von Interesse sein.

4

Probenahme und Methodik

4.1 Probenahme und Aufbereitung

Probenahme Die Beprobung der Schiessstände Zihlmatt und B fand am 31. Oktober 2001 unter trockenen Wetterverhältnissen statt. Es wurden folgende Boden- und Kugelfangproben entnommen:

- 12 Humax-Bohrkerne à 25 cm Länge
- 2 Humax-Bohrkerne à 75 cm Länge
- 9 Flächenproben (16 Einstiche auf 25 m²)
- 2 Transektproben (16 Einstiche alle 2 m)

Um eine bessere Repräsentativität zu erreichen, wurden bei den Humax-Proben jeweils drei Einstiche in 20 cm Abstand voneinander gestochen. Die Flächen- und Transektproben wurden von Matthias Achermann und Stefan Herfort genommen.



Abbildung 4-1 Probenahme mit Humax-Gerät

Ein Übersichtsplan der Probenahmestandorte und weitere Bilder zur Beprobung befinden sich im Anhang C-1 und im Anhang C-2.

Probenaufbereitung

Die 25 cm langen Humax-Bohrkerne wurden im Labor in einen oberen (o) und einen unteren (u) Teil geteilt und die drei Hälften eines Probestandorts je zu einer Mischprobe zusammengefügt. Bei den 75 cm-Bohrkernen des Tiefenprofils wurde ähnlich vorgegangen, nur dass hier die Proben sechsgeteilt und von 1 (oben) bis 6 (unten) durchnummeriert wurden. Das von Hand zerkleinerte Bodenmaterial wurde in Aluminiumschalen bei 40°C während einer Woche getrocknet. Die vollständig getrockneten Proben wurden anschliessend mit einem

Kunststoffsieb auf die Kornfraktion von < 2 mm (=Feinerde) abgeseibt. Gemäss VBB0 wird für die Analytik nur die Feinerde verwendet.

4.2 Analysenprogramm

Grundsätzlich wurden zur Untersuchung der Feinfraktion der Proben die in Tabelle 4-1 aufgeführten Analysemethoden angewendet. Die einzelnen Methoden sind im Anhang C-3 genauer beschrieben und mit Bildern verdeutlicht. Aus zeitlichen Gründen konnten nicht alle Proben auf alle Parameter untersucht werden.

Tabelle 4-1 Analysemethoden

Parameter	Methode	Messzweck
pH	pH-Elektrodenmessung	Bindekapazität bzw. Mobilität der Schwermetalle
Carbonatgehalt	Passon Methode	Pufferkapazität Pufferzeit für pH-Wert
organische Substanz (oxidativ)	Veraschung mit H_2O_2	Bindefestigkeit für Schwermetalle, Potential für reduzierende Bedingungen, Verwitterung/Oxidation von Blei
Korngrösse	Pipettmethode	Korngrössenverteilung Bindekapazität für Schwermetalle
totaler Schwermetallgehalt	HNO_3 -Extraktion (VBB0)	Schwermetallgesamtbelastung
löslicher Schwermetallgehalt	$NaNO_3$ -Extraktion (VBB0)	bioverfügbarer Anteil der Schwermetallbelastung
totaler Antimongehalt	Oxalat-Extraktion	Grossteil der Antimonbelastung

Die Antimongesamtbelastung wird anhand der HNO_3 -Extraktion (VBB0) und der Oxalat-Extraktion ermittelt. Ein Vergleich der beiden Methoden soll deren Repräsentativität bezüglich der Gesamtbelastung beurteilt werden.

5 Resultate und Diskussion

Die folgende Darstellung der Messergebnisse beschränkt sich auf die Proben des Schiessstands Zihlmatt und des Kugelfangs B. Es wird hier nur auf die Parameter pH-Wert, organische Substanz und Schwermetallgehalte eingegangen. Die Messwerte zu allen Parametern finden sich im Anhang D-1.

5.1 Aufbau der Kugelfänge

Sowohl der Kugelfang Zihlmatt wie auch der Kugelfang B sind künstlich aufgeschüttet und grenzen an den Wald.

Kugelfang Zihlmatt

Der Untergrund des Kugelfangs Zihlmatt besteht aus hellem sandigen Material. Darüber folgt eine schwarze Schlackeschicht. Der Kugelfang ist mit einer teilweise zersetzten Holzschnitzelaufgabe abgedeckt. Projektile konnten bis zu einem halben Meter Tiefe gefunden werden (vgl. Abbildung 5-1). Die Verteilung der Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton über die Tiefe ist in Abbildung d-2 im Anhang D-3 aufgezeigt.

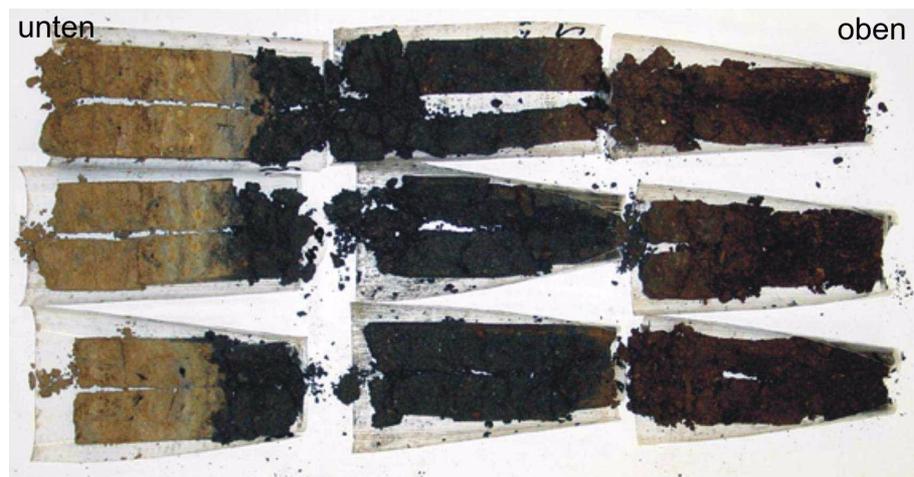


Abbildung 5-1 Tiefenprofil AZ4 im Kugelfang Zihlmatt

Kugelfang B

Im Kugelfang B fehlt die Schlackeschicht und die Holzschnitzelaufgabe. Die graue sandige Aufschüttung geht ab einem halben Meter in eine rostbraune Sandschicht über. Bis zur Tiefe von 50 cm konnten zahlreiche Rostflecken (Projektile) festgestellt werden (vgl. Abbildung d-4 im Anhang D-3).

5.2 pH-Werte

Die Humax-Proben zwischen dem Schützenhaus und dem Kugelfang (AZ0-AZ2) weisen Werte um pH 7 auf, wohingegen bei den Flächenproben F25 bis F30 ein durchschnittliches pH von 5.3 gemessen wurde.

Kugelfang Zihlmatt Das Material des Kugelfangs Zihlmatt hat einen neutralen pH-Wert, der bis zur Tiefe von 50 cm geringfügig zunimmt (pH 7.4 in der Probe AZ4). Beim Schichtwechsel von Schlacke zu Sand nimmt es um rund eine Einheit auf pH 6.5 ab. Hinter dem Kugelfang im Wald sinkt das pH bis 3.7 ab (AZ10) (vgl. Abbildung d-3 im Anhang D-3).

Kugelfang B Im Kugelfangmaterial des Stands B (AB1) wurden über die gesamte Tiefe pH-Werte im neutralen Bereich gemessen.

5.3 Organische Substanz

Nur die Proben AZ4 und AZ5 des Kugelfangs Zihlmatt wurden bezüglich organischer Substanz untersucht.

Kugelfang Zihlmatt Der Gehalt an organischer Substanz ist mit über 30 Gew.-% in der Kugelfangauflage zwischen 0 und 12.5 cm Tiefe sehr hoch. Bis zur Tiefe von 75 cm nimmt er sehr stark ab und erreicht in der Sandschicht lediglich noch 0.4 Gew.-% (Abbildung 5-2).

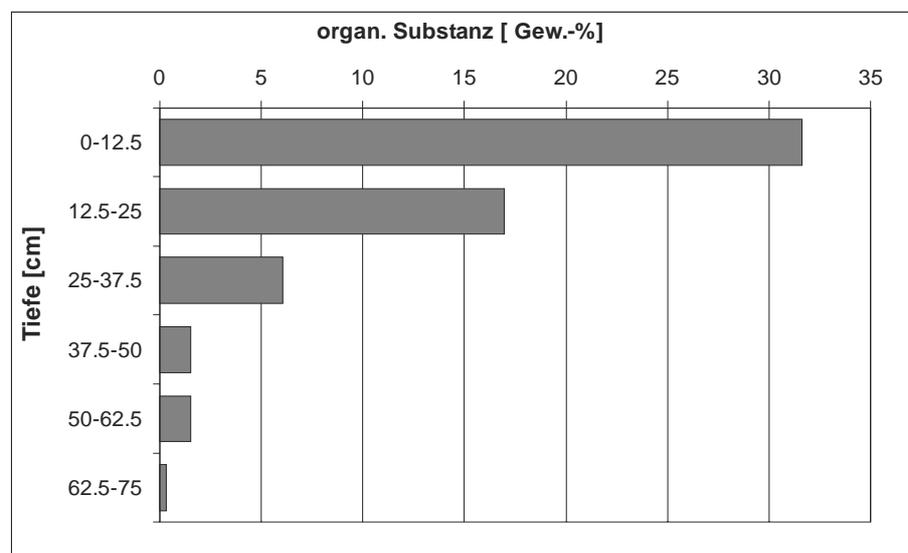


Abbildung 5-2 organische Substanz im Tiefenprofil Zihlmatt (AZ4)

5.4 Schwermetalle

Bei der folgenden Betrachtung liegt der Schwerpunkt auf den Elementen Blei und Antimon. Kupfer wird dort hinzugezogen, wo ein Vergleich angebracht ist. Das untersuchte Gebiet wurde aufgrund der Belastung in folgende Teilflächen eingeteilt: Nahbereich Schützenhaus, Zwischengelände I bis III, Kugelfang und Wald I und II (vgl. Abbildung d-1 im Anhang D-2).

Grenzwerte nach VBBo

Zur Verdeutlichung der Messresultate werden die folgenden Verordnungswerte nach VBBo als Vergleichswerte hinzugezogen¹:

Tabelle 5-1 Verordnungswerte für Schwermetalle nach VBBo [mg/kg]

Schwermetall	Richtwert		Prüfwert ⁱ		Sanierungswert ⁱⁱ	
	Total-gehalt	lösl. Gehalt	Total-gehalt	lösl. Gehalt	Total-gehalt	lösl. Gehalt
Blei	50	-	200	-	2000	-
Kupfer	40	0.7	150	0.7	1000	4

i. für Nahrungs- und Futterpflanzenanbau

ii. für Landwirtschaft und Gartenbau

Die VBBo nennt keine Grenzwerte für Antimon. Gemäss Kloke (1979) sind 5 mg Sb pro kg lufttrockenem Boden tolerierbar. Dieser Orientierungswert wurde bereits in diversen Publikationen genannt (sog. Kloke-Wert).

5.4.1 Methodenvergleich bezüglich Antimon

Die HNO₃-Extraktion nach VBBo und die Oxalat-Extraktion für Antimon zeigen sehr unterschiedliche Resultate. Der mit Oxalat extrahierte Antimongehalt im Kugelfang Zihlmatt (AZ5, AZ7) ist bis zu 75 mal, im Kugelfang B (AB2) sogar bis zu 170 mal höher als die Werte aus der HNO₃-Analyse. Der Vergleich zeigt aber keine Regelmässigkeiten auf: Das Konzentrationsverhältnis zwischen der Oxalat-Extraktion und der HNO₃-Extraktion aller Messergebnisse variiert zwischen 0.3 und 170 (Abbildung d-10 im Anhang D-3).

In der folgenden Darstellung und Diskussion der Resultate wird für den Totalgehalt von Antimon der Oxalataufschluss beigezogen, da dieser den totalen Gehalt im Boden besser repräsentiert.

5.4.2 Totaler Schwermetallgehalt in Schiessrichtung

Die mittlere totale Schwermetallbelastung bis 25 cm Tiefe ist in Tabelle 5-2 und in Abbildung 5-3 zusammengefasst.

Die grössten Konzentrationen wurden für Blei gemessen. Sowohl der Richtwert für Blei als auch der Orientierungswert für Antimon werden im ganzen untersuchten Gebiet an allen Probestellen überschritten, mit wenigen Ausnahmen (AZ0, AZ1, AZ10) ebenfalls der Richtwert für Kupfer (Abbildung d-7 bis Abbildung d-9 im Anhang D-3).

Die tatsächlichen Totalgehalte dürften jedoch wesentlich höher sein, da ganze Geschosse oder Geschossfragmente, die grösser als 2 mm waren, ausgesiebt und bei der Analyse nicht berücksichtigt wurden.

1. Obwohl die VBBo für Böden mit einem Humusgehalt über 15 % Grenzwerte in mg/dm³ vorsieht, werden hier für alle Proben die Werte in mg/kg hinzugezogen.

Tabelle 5-2 mittlere totale Schwermetallbelastung

Standort	mittlere Belastung		
	Pb	Sb	Cu
Stand Zihlmatt			
Nahbereich Schützenhaus	374	14	4
Zwischengelände I	225	21	47
Zwischengelände II	803	19	46
Zwischengelände III	8'752	77	169
Kugelfang	247'797	4'062	3'628
Wald I	4'297	100	69
Wald II	1'098	52	2
Stand B			
Kugelfang	233'240	4'331	3'995

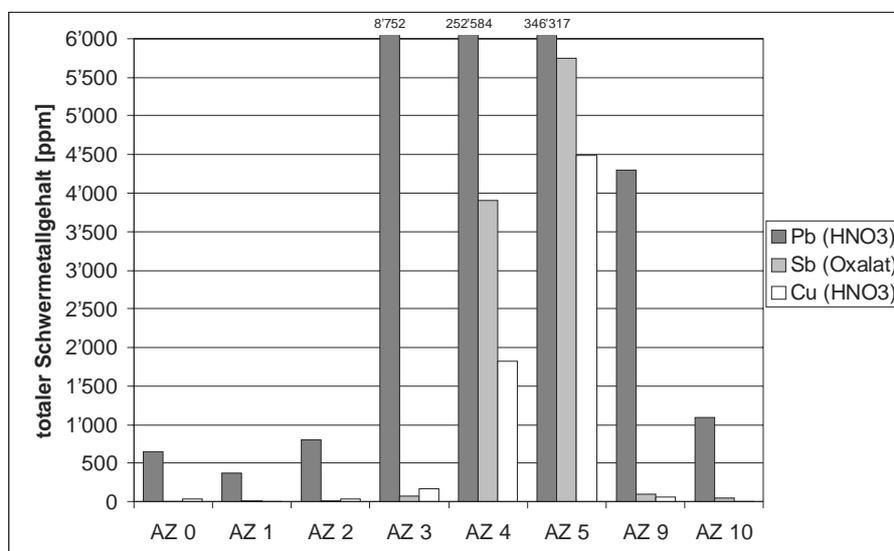


Abbildung 5-3 totale Schwermetallgehalte in Schiessrichtung, Stand Zihlmatt

Blei

Nahbereich Schützenhaus und Zwischengelände

Im Nahbereich um das Schützenhaus Zihlmatt wurden über 350 ppm Blei im Oberboden gemessen. Im Zwischengelände I, das nicht durch Staubimmissionen (Schussabgabe) respektive nicht durch den Tontaubenschiessbetrieb beeinflusst wird, steigt der Totalgehalt der Transekt- und Flächenproben dagegen nicht über 238 ppm hinaus. Der Bleigehalt der Probe AZ2, welche im Einflussbereich des Tontaubenschiessstandes genommen worden ist (Zwischengelände II), steigt auf 800 ppm an (Abbildung d-11 im Anhang D-3). Eine tendentielle Bleiakkumulation in der oberen oder unteren Probenhälfte kann im Gelände vor dem Scheibenstand nicht festgestellt werden. Im Zwischengelände III wird mit über 8'700 ppm der Sanierungswert überschritten. Dabei beträgt der Bleigehalt in der oberen Probenhälfte rund 50 mal mehr als in der unteren (17'144 resp. 360 ppm).

Kugelfang Zihlmatt

Die Bleibelastung im Kugelfang Zihlmatt ist massiv: In der starkfrequentierten Mitte (AZ5) erreicht der Totalgehalt in der oberen Schicht nahezu 350'000 ppm, was einer 175-fachen Überschreitung des Sanierungswertes entspricht. Auch der Totalgehalt an der weniger frequentierten Einschussstelle (AZ7) bewegt sich in der gleichen

Grössenordnung. Nur die Probe AZ8 am nördlichen Kugelfangende, die als Referenzprobe für das Kugelfangmaterial genommen worden ist, weist etwa einen Drittel weniger Blei auf (103'615 ppm), was aber immer noch einer 50-fachen Überschreitung des Sanierungswerts entspricht.

Wald Im Wald hinter dem Kugelfang Zihlmatt nimmt der Totalgehalt wieder ab und erreicht im Abstand von 20 m von den Zielscheiben noch rund 1'000 ppm. Es konnte eine deutliche Bleiakkumulation in der oberen Probenhälfte festgestellt werden (6-8 mal mehr).

Kugelfang B Die Proben aus dem Kugelfang B (AB1, AB2) weisen im Vergleich zum Kugelfang Zihlmatt geringfügig niedrigere Bleikonzentrationen auf. Die höchste Belastung (AB2: 238'261 ppm) wurde auch hier in einer Einschussstelle gemessen. Sogar die Referenzprobe (AB3) am südlichen Ende des Kugelfangs weist einen ähnlich hohen Bleigehalt auf.

Antimon

Nahbereich Schützenhaus und Zwischengelände Der Antimongehalt nimmt vom Schützenhaus (14 ppm) bis zum Scheibenstand stetig zu und erreicht im Zwischengelände III 77 ppm (Abbildung d-12 im Anhang D-3). Im Gegensatz zu Blei kann bei Antimon im Nahbereich des Schützenhauses und im Zwischengelände I und II eine Tendenz zur Antimonanreicherung im unteren Teil der Humax-Proben (12.5-25 cm) festgestellt werden (2-6 mal mehr).

Kugelfänge Der Antimon-Totalgehalt in den beiden Kugelfängen Zihlmatt und B ist etwa gleich gross. Er ist mit 4'000-6'000 ppm etwa 50-70 mal tiefer als der Bleigehalt und erreicht etwa ähnlich hohe Konzentrationen wie Kupfer.

Wald Hinter dem Kugelfang Zihlmatt im Wald nimmt die Konzentration stark ab und erreicht im Abstand von 20 m von den Zielscheiben noch etwa 50 ppm. Es findet eine deutliche Antimon-Anreicherung in den oberen Probenhälften (0-12.5 cm) statt (4-6 mal mehr).

5.4.3 Löslicher Schwermetallgehalt in Schiessrichtung

Die mittlere lösliche Schwermetallbelastung bis 25 cm Tiefe ist in Tabelle 5-3 und Abbildung 5-4 zusammengefasst. Wo der totale Bleigehalt unter 1'000 ppm lag (AZ1, AZ2), wurde mit Ausnahme der Referenzprobe auf die Analyse des löslichen Schwermetallgehalts verzichtet.

Tabelle 5-3 mittlere lösliche Schwermetallbelastung

Standort	mittlere Belastung		
	Pb	Sb	Cu
Stand Zihlmatt			
Nahbereich Schützenhaus	n.g.	n.g.	n.g.
Zwischengelände I	n.g.	n.g.	n.g.
Zwischengelände II	n.g.	n.g.	n.g.
Zwischengelände III	1.2	0.8	0.6
Kugelfang	5.0	3.3	3.0
Wald I	29.6	0.8	0.2
Wald II	18.5	0.3	0.1
Stand B			
Kugelfang	2.6	2.7	1.9

n.g.: nicht gemessen

Der Richtwert für den löslichen Kupfergehalt von 0.7 mg/l wird nur in den beiden Kugelfängen überschritten.

Zwischengelände Mit Ausnahme der Referenzprobe AZ0 wurde keine Probe im Zwischengelände auf deren löslichen Schwermetallgehalt beprobt. Der pflanzenverfügbare Anteil aller untersuchten Schwermetalle für AZ0 ist kleiner als 1 ppm.

Kugelfang Im Kugelfang wurde für alle Schwermetalle eine erhöhte lösliche Schwermetallkonzentration gemessen (3-5 ppm).

Wald Im sauren Waldmilieu 10 m hinter dem Kugelfang Zihlmatt nimmt die Bleikonzentration gegenüber dem Kugelfang um das 6fache zu und erreicht im Abstand von 20 m noch immer knapp 20 ppm. Die löslichen Antimon- und Kupfergehalte hingegen nehmen schnell wieder auf unter 1 ppm ab.

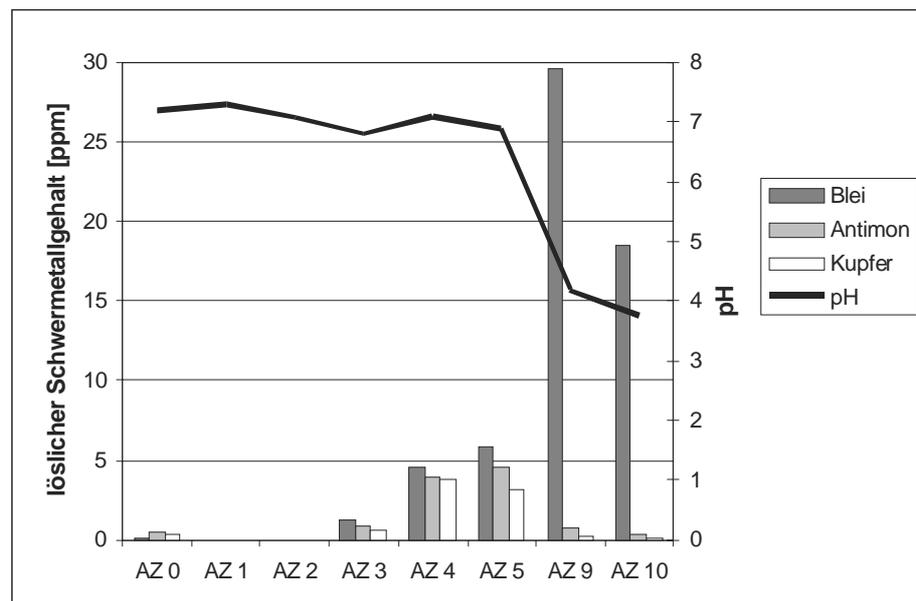


Abbildung 5-4 lösliche Schwermetallgehalte und pH in Schiessrichtung, Stand Zihlmatt

5.4.4 Vergleich des totalen mit dem löslichen Schwermetallgehalt in Schiessrichtung

Die Abbildungen 5-5 und 5-6 stellen den Vergleich zwischen dem totalen und dem löslichen Gehalt für Blei und Antimon dar. Die löslichen Schwermetallgehalte machen in der Regel weniger als 1% der Totalgehalte aus. Im sauren Waldmilieu nimmt der lösliche Anteil bei allen Schwermetallen zu.

Blei Der lösliche Gehalt für Blei (0-25 cm) beträgt maximal 5.7 ppm im Kugelfang Zihlmatt respektive 4.8 ppm im Kugelfang B, was einen verschwindend kleinen Anteil am Totalgehalt darstellt (1-2 Promille). Die höchsten Bleikonzentrationen konnten im Wald hinter dem Kugelfang Zihlmatt festgestellt werden: 10 m hinter den Zielscheiben wurden 30 ppm Blei in pflanzenverfügbarer Form nachgewiesen, was fast 2% des Totalgehalts entspricht.

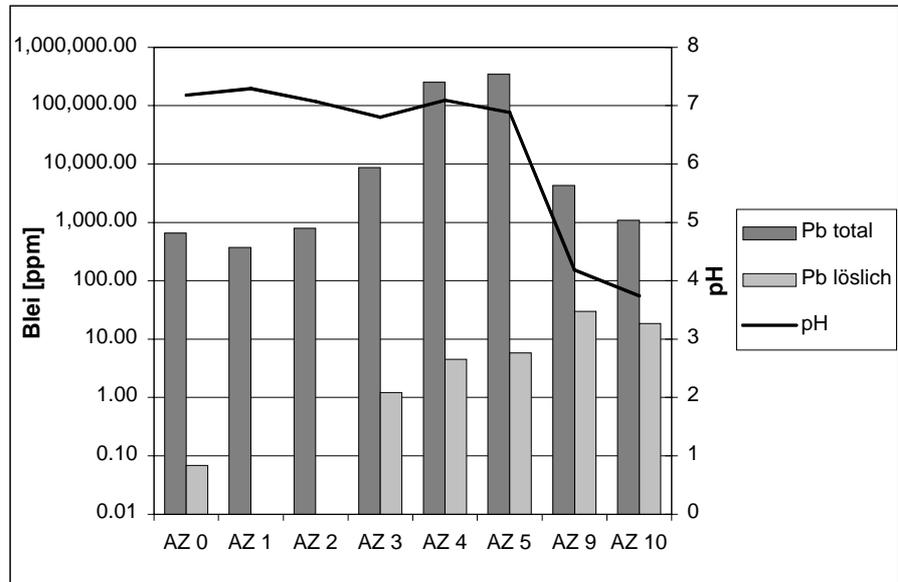


Abbildung 5-5 Vergleich des totalen (HNO₃-Extraktion) mit dem löslichen Bleigehalt

Antimon Bezüglich des löslichen Antimongehalts wurden die höchsten Konzentrationen in den Kugelfängen gemessen (2-4.5 ppm). Der pflanzenverfügbare Anteil übersteigt die 1% nur in der Referenzprobe AZ0 (7%). Im neutralen Kugelfangmaterial ist der lösliche Antimongehalt 20-150 mal höher als bei Blei. Im sauren Waldboden dagegen ist er verglichen mit dem Bleianteil etwa gleich gross.

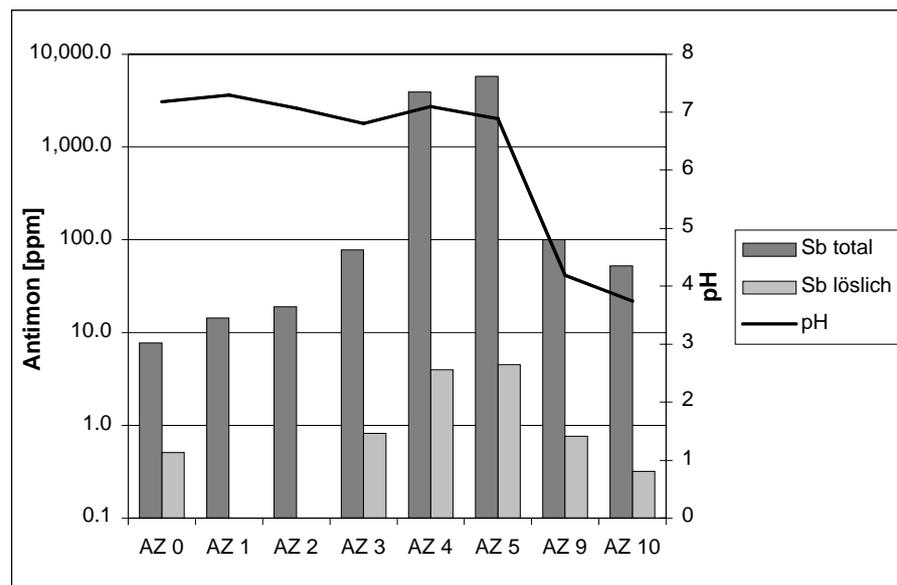


Abbildung 5-6 Vergleich des totalen mit dem löslichen Antimongehalt

5.4.5 Vertikale Schwermetallverteilung im Kugelfang

Totaler Schwermetallgehalt

In Abbildung 5-7 ist die totale Schwermetallbelastung im Kugelfang Zihlmatt gegen die Tiefe aufgetragen.

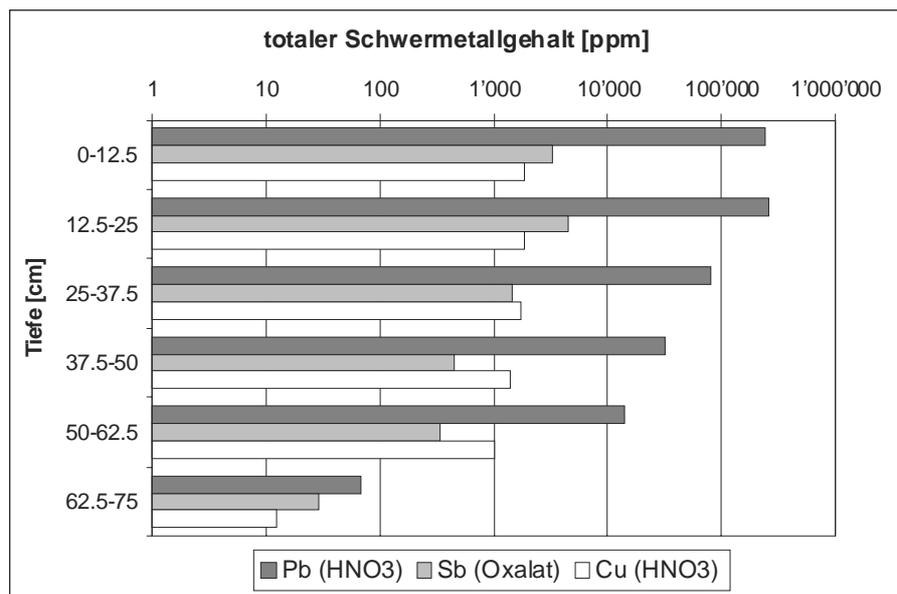


Abbildung 5-7 totale Schwermetallgehalte im Tiefenprofil Zihlmatt (AZ4)

Blei

Kugelfang Zihlmatt

Im Kugelfang Zihlmatt liegen mit Ausnahme der untersten 12.5 cm der Probe die Gehalte aller Schwermetalle über dem Sanierungswert. In der obersten Holzschichtauflage (bis ca. 25 cm) findet durch den Schiessbetrieb eine intensive Durchmischung des Kugelfangmaterials statt. Die mittlere Konzentration dieser Auflage beträgt rund 250'000-300'000 ppm. Darunter nimmt der Bleigehalt rasch ab. In 50 cm Tiefe erreicht die Bleibelastung noch knapp 15% des Gehalts an der Kugelfangoberfläche (31'915 ppm). In der Sandschicht (62.5-75 cm) wurden nur noch rund 70 ppm Blei gemessen, womit hier sowohl der Sanierungswert wie auch der Prüfwert unterschritten werden.

Kugelfang B

Im Kugelfang des Stands B ist bereits innerhalb der obersten 25 cm eine deutliche Abnahme erkennbar (50%). Während beim Stand Zihlmatt in der untersten Schicht der Probe (AZ4(6)) gegenüber der darüberliegenden deutlich weniger Blei gemessen wurde (99.5% weniger als in AZ4(5)), findet bei der Probe AB1 diese sprunghafte Belastungsabnahme nach 50 cm Tiefe statt. Hier werden nur noch 80% des Bleigehalts an der Oberfläche gemessen (vgl. Abbildung d-5 im Anhang D-3).

Antimon

Kugelfang Zihlmatt

Bis zur Tiefe von 62.5 cm nimmt die Konzentration von über 3'000 ppm um eine Größenordnung ab. Der totale Gehalt in der Tiefe von 62.5-75 cm beträgt noch 29 ppm. Antimon erfährt mit der Tiefe eine ähnliche Konzentrationsabnahme wie Blei. Bis zur Tiefe von 50 cm beträgt der Antimongehalt rund 50-70 mal weniger als der Bleigehalt. In der untersten Sandschicht des Profils wurde nur noch doppelt so viel Blei wie Antimon gemessen.

Kugelfang B

Der totale Antimongehalt im Kugelfang B ist genauso hoch wie im

Kugelfang Zihlmatt. Die Abnahme des Antimongehalts mit zunehmender Tiefe ist vergleichbar mit derjenigen von Blei. Der Antimongehalt sinkt im Vergleich zum Profil Zihlmatt über die gesamte Tiefe nie unter 100 ppm (vgl. Abbildung d-5 im Anhang D-3).

Kupfer

Kugelfang Zihlmatt Der totale Kupfergehalt des Kugelfangs Zihlmatt nimmt von rund 1'800 ppm an der Oberfläche bis zur Tiefe von 50 cm nur um knapp 25% ab. Er nimmt also bedeutend weniger stark ab als die entsprechenden Blei- und Antimonkonzentrationen (beide ca. 85%). Im sandigen Kugelfangmaterial wurden noch 12 ppm Cu nachgewiesen, womit der Richtwert nach VBBö erstmals unterschritten wird.

Kugelfang B Im Kugelfang des Stands B ist der totale Kupfergehalt ähnlich hoch wie beim Kugelfang Zihlmatt. Die Abnahme bis zur Tiefe von 50 cm ist jedoch nicht ganz so deutlich erkennbar. Darunter (50-62.5 cm) nimmt der Gehalt von rund 1'700 ppm sprunghaft auf 437 ppm ab und steigt in den untersten 25 cm leicht auf rund 620 ppm an (vgl. Abbildung d-5 im Anhang D-3).

5.4.6 Löslicher Schwermetallgehalt

Kugelfang Zihlmatt Alle Elemente weisen in den oberen 25 cm des Kugelfangs Zihlmatt etwa denselben löslichen Gehalt auf (3-6 ppm), obwohl sich die Totalgehalte um bis zu zwei Grössenordnungen voneinander unterscheiden. Blei und Kupfer nehmen im aufgeschütteten Material mit zunehmender Tiefe schnell ab. Der lösliche Gehalt in der Tiefe von 75 cm bewegt sich noch im Promillbereich. Das lösliche Antimon erfährt bis zur Tiefe von 62.5 cm nur eine leichte Abnahme (vgl. Abbildung 5-8).

Kugelfang B Die löslichen Gehalte sind auch im Tiefenprofil des Kugelfangs B sehr gering (max. 2.5 ppm). Sie nehmen alle bis auf 62.5 cm Tiefe kontinuierlich ab. Die löslichen Gehalte sind bis zu fünfmal kleiner als diejenigen des Profils AZ4, obwohl die Totalgehalte gleich hoch oder sogar höher sind. Die löslichen Anteile der einzelnen Elemente sind trotz sehr unterschiedlicher Totalgehalte gleich gross. Auffallend ist auch, dass der lösliche Antimongehalt über das ganze Profil zwei- bis dreimal höher ist als derjenige der beiden anderen Schwermetalle (vgl. Abbildung d-6 im Anhang D-3).

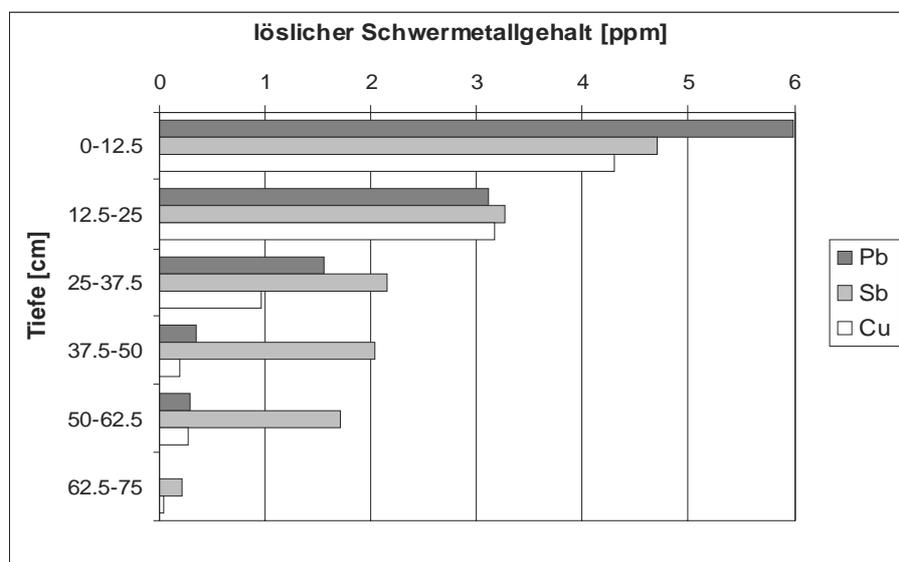


Abbildung 5-8 lösliche Schwermetallgehalte im Tiefenprofil Zihlmatt (AZ4)

5.5 Fehlerabschätzung

Probenahme und Messungen sind immer mit Unsicherheiten behaftet. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die wichtigsten Fehlerquellen, ihre Auswirkungen und die Grösse des möglichen Fehlers bei den von uns durchgeführten Untersuchungen.

Tabelle 5-4 Fehlerquellen und qualitative Fehlergrösse bei Probenahme und -aufbereitung

Prozess	Fehlerquelle	Auswirkung	Fehler
Probenahme	heterogener Boden	eingeschränkte Repräsentativität der Probe	gross
	ungenügende Beprobungstiefe infolge Bodenwiderstands	nicht genügend Bodenmaterial	klein
	Verwechslung der Proben		sehr klein
Probenaufbereitung	verschmutzte Geräte	Beeinflussung durch vorherige Probe	sehr klein
	Zertrümmern von Projektilen	zu grosser Schwermetallgehalt in der Feinfraktion	mittel

Tabelle 5-5 Fehlerquellen und qualitative Fehlergrösse bei der Probenanalyse

Parameter	Fehlerquelle	Auswirkung	Fehler
pH-Wert	ungenau geeichte pH-Elektrode	(gleichgerichtete) Verschiebung der Messwerte	klein
	zu kurze Wartezeit beim Ablesen	stabiles pH wird nicht erreicht	mittel
Carbonatgehalt	Ungenauigkeit beim Ablesen		klein
	Undichtigkeit der Apparatur	zu geringe Carbonatmessung infolge Entweichens von CO ₂	eher klein
organische Substanz	Reaktionsende unklar	organische Substanz nicht vollständig oxidiert	klein bis mittel
Korngrößenverteilung	ungenauere Zeitmessung	Absetzungsdauer zu kurz/lange	mittel
	ungenauere Pipettentnahme (Menge, Tiefe)	nicht exakte Erfassung der Kornfraktion	mittel
Schwermetallgehalte	Arbeiten mit stark variierenden Konzentrationen	Kalibrierung nicht optimal für alle Proben, Extremwerte ungenau erfasst	mittel
	Verschmutzen/ Verstopfen des AAS	Beeinflussung der gemessenen Konzentrationen	klein
generell	ungenaueres Abwägen der Proben	verfälschte Messresultate	eher klein
	verschmutzte Apparaturen	Beeinflussung durch vorherige Probe	klein

Eine Quantifizierung der Messungenauigkeiten ist schwierig. Die Auswirkungen von Fehlern bei Probenahme und -aufbereitung dominieren aber über diejenigen bei der Laborarbeit.

6 Interpretation

6.1 Organische Substanz

Der hohe organische Gehalt in der Auflageschicht des Kugelfangs Zihlmatt (>30 Gew.-%) rührt von der Holzschnitzelabdeckung her. Durch die eindringenden Geschosse findet eine Durchmischung mit der darunterliegenden Schlacke statt. Unterhalb der Eindringtiefe findet eine leichte senkrechte Verlagerung statt, so dass in 40 cm Tiefe noch 1.5 Gew.-% organische Substanz angetroffen werden. Die organische Substanz erhöht die Adsorptionskapazität für Schwermetalle. Die organische Substanz reduziert die Löslichkeit der Schwermetalle, indem metallorganische Komplexe gebildet werden.

6.2 pH und Carbonatgehalt

Die folgenden Folgerungen beziehen sich auf die Resultate der Probe AZ4 aus dem Kugelfang Zihlmatt.

Bis zur Tiefe von 62.5 cm ist ein Carbonatreservoir vorhanden. Dieses puffert das Kugelfangmaterial, so dass das pH nie unter 7 sinkt (Carbonatpuffer). Aufgrund des geringen Carbonatgehalts (< 1%) in der untersten sandigen Schicht der Kugelfangprobe (62.5-75 cm) sinkt das pH in den leicht sauren Bereich.

6.3 Schwermetallverteilung auf dem Schiessgelände

Die angetroffene Schwermetallverteilung auf der Luzerner Allmend widerspiegelt ein ähnliches Bild, wie es auch auf anderen Schiessanlagen angetroffen worden ist:

- erhöhte Belastung um das Schützenhaus, vermutlich durch die Staubemission bei der Schussabgabe
- schwachbelastetes Zwischengelände, wobei der Einfluss der seitlich angelegten Tontaubenschiessanlage (erhöhte Bleibelastung) erkennbar ist (AZ2)
- Kugelfangmaterial, welches die Sanierungswerte für Blei und Kupfer nach VBBo mehrfach überschreitet
- abnehmende Belastung hinter dem Kugelfang (Irrläufer)
- Wahl von Blei als Leitmetall aufgrund des hohen Totalgehalts

Referenzproben Die Referenzprobe AZ0 östlich des Schützenhauses Zihlmatt weist eine erstaunlich hohe Belastung, insbesondere für Blei und Kupfer auf.

Mögliche Ursachen könnten sein:

- Windverfrachtung der Staubemissionen bei der Schiessabgabe
- Hintergrundbelastung
- Umlagerung von vorbelastetem Boden
- Messungenauigkeit
- andere Ursache (z.B. Verkehr)

Die Referenzproben aus den Kugelfängen Zihlmatt und B (AZ8, AB3) geben keinen Hinweis auf eine allfällige Hintergrundbelastung des Kugelfangmaterials, da sie im Einfluss der Tontaubenschiessanlage

stehen. Ausserdem wurden zahlreiche Projektilen (Irrläufer) gefunden.

6.4 Verlagerung der Schwermetalle

Für die Verlagerung von Schwermetallen ist der pH-Bereich meistens der dominierende Faktor. Daher wird im folgenden die Verlagerung unter neutralen und unter leicht sauren Bedingungen unterschieden. Der Kugelfang wird separat behandelt.

Praktisch das gesamte untersuchte Gelände der Luzerner Allmend liegt im neutralen pH-Bereich. Leicht saure und saure Verhältnisse werden nur im Zwischengelände I beziehungsweise im Wald hinter dem Kugelfang angetroffen.

6.4.1 Neutrales Milieu

- Blei* Im Nahbereich des Schützenhauses und im Zwischengelände kann keine Tendenz zur Bleiakкумуляtion in der oberen gegenüber der unteren Probenhälfte festgestellt werden. Das Blei ist relativ gleichmässig verteilt. Die chemischen Verlagerungsprozesse bezüglich Blei spielen im leicht sauren bis neutralen Milieu eine geringe Rolle. Vielmehr führt der Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung und die biologische Aktivität im Boden (Bioturbation) zur gleichmässigen Verteilung.
- Antimon* Bei Antimon hingegen weisen die erhöhten Konzentrationen in den unteren Probenhälften auf eine Verlagerung in die Tiefe hin. Dies ist mit der besseren Löslichkeit von Antimon unter neutralen bis basischen Bedingungen erklärbar. Nichtsdestotrotz lassen sich auf dem gesamten Gelände nur tiefe lösliche Konzentrationen feststellen.

6.4.2 Saures Milieu

- Blei* Der lösliche Bleigehalt nimmt mit sinkendem pH stark zu und erreicht nur im sauren Waldmilieu relevante Werte. Das Blei ist in dieser Form verlagerbar und pflanzenverfügbar. Obwohl der Totalgehalt im Wald viel tiefer ist als im Kugelfang, ist die lösliche Konzentration im Wald um eine Grössenordnung grösser. Dies zeigt, dass die Löslichkeit unter sauren Bedingungen für Blei erhöht ist.
- Antimon* Antimon tendiert zur Anreicherung in der oberen Bodenaufgabe, was auf eine geringere Löslichkeit deutet. Dies wird durch die kleineren löslichen Antimongehalte im Wald gegenüber jenen des neutralen Kugelfangmaterials bestätigt.

Untenstehende Abbildung zeigt die unterschiedliche Verteilung des totalen Blei- und Antimongehalts im neutralen und sauren Milieu auf, wie sie vorher beschrieben worden ist.

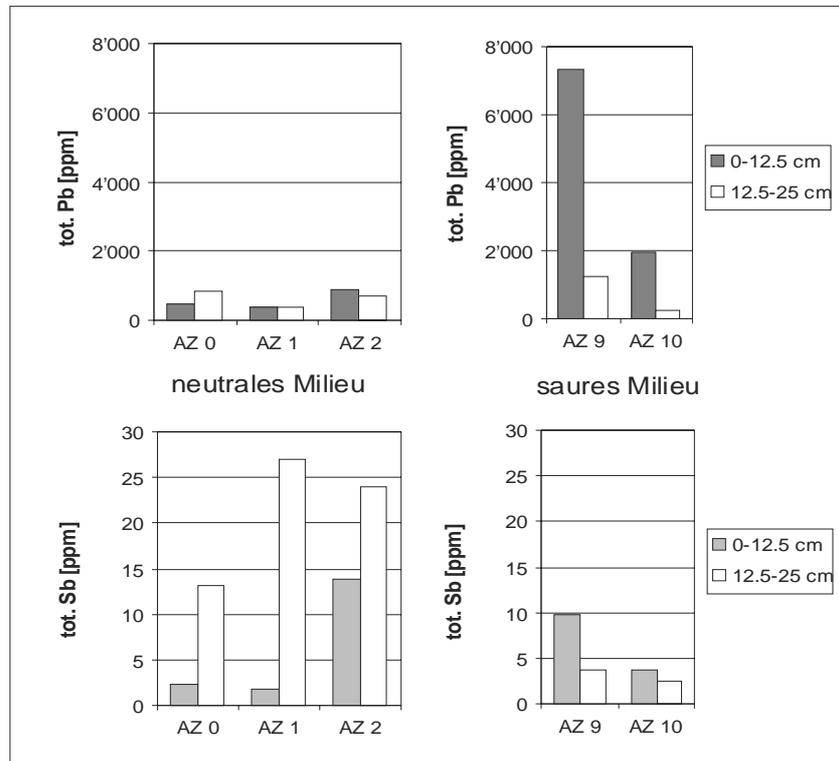


Abbildung 6-1 totaler Blei- und Antimongehalt unter neutralen und sauren Bedingungen

6.4.3 Kugelfang

Der Unterschied der Belastung zwischen der stark frequentierten Mitte und den zum heutigen Zeitpunkt weniger frequentierten Einschusslöchern ist gering.

Einfluss der organischen Substanz

Sowohl ein pH-Wert über 5 als auch ein hoher Anteil organischer Substanz vermindern die Mobilität von Blei und Kupfer. In der Holzschnittzelaufgabe des Kugelfangs Zihlmatt sind beide Voraussetzungen gegeben. Es kann zur Bildung von metallorganischen Komplexen kommen. Abbildung 6-2 zeigt den Zusammenhang zwischen der totalen bzw. löslichen Bleikonzentration und der organischer Substanz. Es scheint, dass insbesondere mit dem löslichen Gehalt eine gute Korrelation besteht. Sie ist aber vermutlich nicht auf Bindungsprozesse zurückzuführen, sondern ist eine Folge des gleichzeitigen Vorhandenseins von hohen Gehalten an organischer Substanz, grosser Schwermetallbelastung und der Durchmischung. Der hohe organische Anteil reicht nicht aus, um alle Schwermetalle zu binden.

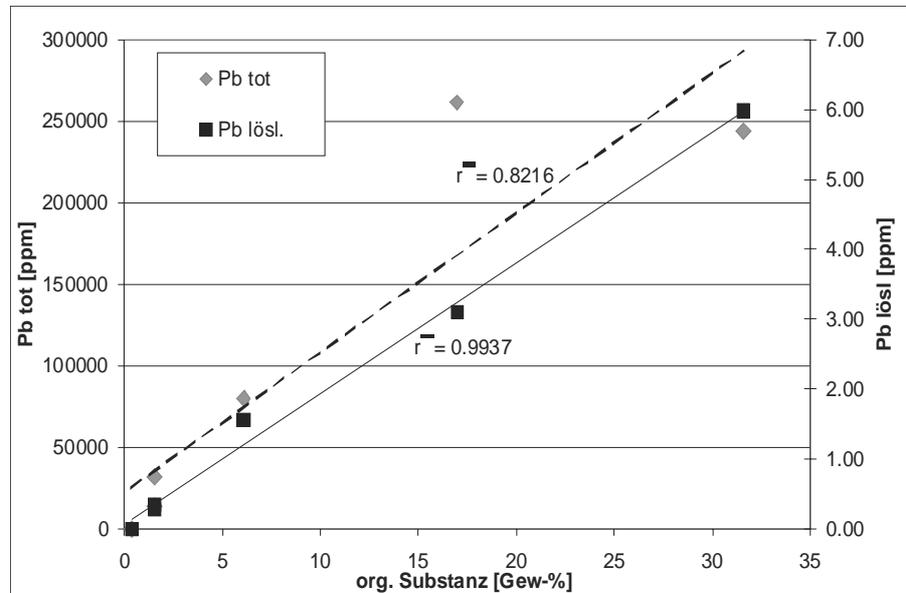


Abbildung 6-2 totale und lösliche Schwermetalle gegen organische Substanz

Tiefenverlagerung

Die Kugelfänge bergen ein immenses Reservoir an Schwermetallen. Das Milieu (hauptsächlich neutrales pH) schränkt die Löslichkeit von Blei und Kupfer stark ein, so dass es nur langsam gelöst und in die Tiefe verlagert wird. Die Zunahme des löslichen Antimonanteils am Totalgehalt mit zunehmender Kugelfangtiefe deutet auf seine bessere Verlagerbarkeit hin.

Im Kugelfang Zihlmatt ist eine Verlagerung aller Schwermetalle bis in die Tiefe von 62.5 cm erkennbar. Die darunterliegende Sandschicht ist nur leicht belastet, es findet also nur ein geringer Transport von der Schlacke in diese Schicht statt. Möglicherweise werden die Schwermetalle durch die Schlacke gebunden und zurückgehalten.

Beim Kugelfang B fehlt eine Holzschnittelaufgabe. Er ist daher der Witterung stärker ausgesetzt. Es findet ebenfalls eine deutliche Verlagerung der Schwermetalle in die Tiefe statt. Trotz abnehmender Konzentration mit zunehmender Tiefe ist die Belastung in 75 cm immer noch hoch.

6.4.4 Blei/Antimon-Verhältnis

Das durchschnittliche Verhältnis von Blei zu Antimon in der verschossenen Munition beträgt rund 50:1. Das heisst, dass ohne äussere Einflüsse (Wetter, chem. Prozesse) im Untergrund 50 mal mehr Blei als Antimon gemessen werden müsste.

Aus den Messwerten der oberen 25 cm der Proben konnten die in Tabelle 6-1 aufgeführten Verhältnisse berechnet werden. Ein Wert über 50 deutet darauf hin, dass

- Blei gegenüber Antimon stärker eingetragen oder
- Antimon vermehrt ausgewaschen worden ist.

Ein Wert unter 50 bedeutet, dass Blei stärker als Antimon ausgewaschen wird.

Tabelle 6-1 Blei-/ Antimonverhältnis

Standort	Bodenmilieu	Schwermetall-belastung	Pb/Sb-Verhältnis
Nahbereich Schützenhaus u. Zwischengelände	neutral	tief	variabel
Kugelfang Zihlmatt	neutral	sehr hoch	≈ 50
Kugelfang B	neutral	sehr hoch	≈ 50
Wald	sauer	erhöht	< 50

Im Zwischengelände bewirkt der Betrieb der Tontaubenschiessanlage einen zusätzlichen Bleieintrag, weshalb hier das Verhältnis variiert. Im Wald dagegen sinkt es unter 50, da Blei wie erwähnt unter den vorherrschenden Bedingungen vermehrt verlagert wird. Im Kugelfang liegt dasjenige Verhältnis vor, das ohne äussere Einflüsse erwartet wird (vgl. Abbildung 6-3).

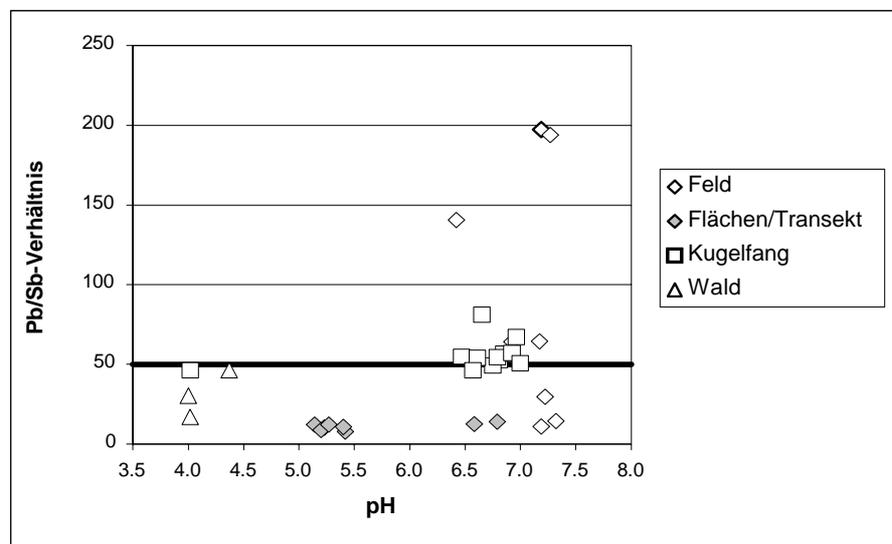


Abbildung 6-3 Blei/ Antimon-Verhältnis in den verschiedenen Bereichen des Schiessgeländes

7

Gefährdungs- abschätzung

7.1 Beurteilung nach Altlastenverordnung

Schiessanlagen gelten aufgrund von Artikel 2 AltIV als belastete Standorte. Besteht die Möglichkeit, dass ein belasteter Standort zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt führt, so muss untersucht werden, ob am Standort Überwachungs- oder Sanierungsmassnahmen nötig sind. Bei Schiessanlagen sind Einwirkungen möglich, daher ist eine entsprechende Untersuchung nötig.

Um die Gefährdung der Umwelt durch einen belasteten Standort abzuschätzen, genügt es nicht, Schadstoffkonzentrationen zu messen und anhand von Grenzwerten zu beurteilen, denn gemäss Altlastenverordnung spielen neben diesen quantitativen Werten auch qualitative Anforderungen eine Rolle. Eine detaillierte Gefährdungsabschätzung berücksichtigt daher neben dem Schadstoffpotential (quantitativ), auch das Freisetzungspotential und die Exposition und Bedeutung der Schutzgüter Wasser, Boden und Luft.

Die folgenden Ausführungen behandeln diese drei Kriterien für die Schiessstände Zihlmatt und B auf der Luzerner Allmend.

7.1.1 Schadstoffpotential

Wie gefährlich sind die Schadstoffe und in welchen Mengen liegen sie vor?

Die Ausführungen in Tabelle b-4 im Anhang B-2 zeigen, dass infolge der Aufnahme sowohl von Blei als auch von Antimon verschiedene akute und chronische Schädigungen bei Pflanzen, Tieren und Menschen auftreten können. Die Untersuchungen auf der Luzerner Allmend haben gezeigt, dass die totalen Konzentrationen von Blei und Antimon insbesondere in den Kugelfängen und den angrenzenden Gebieten stark erhöht sind. Daher konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf diesen Teil des Schiessareals.

7.1.2 Freisetzungspotential

Wie schnell, wie weit und in welchen Mengen werden die Schadstoffe freigesetzt und transportiert?

Im Fall von Schiessanlagen sind zwei Transportprozesse relevant:

- die Verlagerung von gelöstem Schwermetall in die Tiefe
- die Erosion von Kugelfangmaterial bei Niederschlag oder Wind

Ob die Schwermetalle in gelöstem oder kolloidalen, d.h. in verlagerbarem Zustand vorliegen, kann einerseits durch die Bestimmung von löslichen Schwermetallgehalten (NaNO₃-Extraktion), andererseits durch die in der Altlastenverordnung beschriebenen Eluattests (Auslaugungsversuche) abgeschätzt werden.

Beurteilung der Verlagerung aufgrund Messungen nach VBBo

In Kapitel 6.4 wurde bereits eine Abschätzung der Verlagerung von Antimon und Blei aufgrund von Messungen der totalen und löslichen Gehalte vorgenommen. Es wurde gezeigt, dass für Blei im neutralen Milieu nur ein kleiner Anteil des Totalgehaltes in löslicher, d.h. mobi-

ler Form vorliegt. Der Totalgehalt nimmt mit der Tiefe relativ schnell ab. Eine Verlagerung in grosse Tiefen findet kaum statt. Im sauren Waldboden hingegen ist der lösliche Gehalt relativ hoch, so dass ein Verlagerungspotential besteht.

Bei Antimon ist im Kugelfang einerseits der gelöste Anteil höher, andererseits nehmen die Konzentrationen mit der Tiefe weniger stark ab. Es kann daher vermutet werden, dass für Antimon dort ein gewisses Freisetzungspotential besteht. Im sauren Milieu ist die Gefahr einer Antimonauswaschung offenbar kleiner.

Eluattests

Eluattests spiegeln die unter natürlichen Verhältnissen auftretende Auswaschung besser wider als die Bestimmung von löslichen Gehalten nach VBBo, welche eher die Pflanzenverfügbarkeit beschreiben. Sie lassen daher eine bessere Abschätzung des Emissionpotentials eines Schadstoffes und damit einer möglichen Gefährdung, vor allem des Grundwassers, zu. Die Durchführung solcher Tests mit verschiedenen Wasser/Feststoff-Verhältnissen soll Hinweise darauf geben, wie gross das Reservoir an auslaugbaren Schadstoffen im Probematerial ist. Da im Rahmen dieser Untersuchung keine Eluattests durchgeführt worden sind, werden zu Vergleichszwecken Eluattests von Kugelfangmaterial anderer Schiessstände herangezogen (anonymisierte Daten). Dieses Material weist bei ähnlichem pH-Wert tiefere Totalgehalte an Schwermetallen auf (HNO₃-Extraktion).

Die Resultate der Vergleichsstandorte (vgl. Anhang Anhang E-1) lassen folgende Feststellungen zu:

- Der Konzentrationswert für Blei nach AltIV (0.05 mg/l) wird bis knapp fünffach überschritten. Eine eindeutige Korrelation zwischen Totalgehalt und Konzentration im Eluat ist nicht erkennbar.
- Der Konzentrationswert für Antimon nach AltIV (0.01 mg/l) wird in sämtlichen Eluaten überschritten, im stärkstbelasteten Kugelfangmaterial maximal 256fach. Auch hier ist keine eindeutige Korrelation zwischen Totalgehalt und Konzentration im Eluat erkennbar.

Die Daten zeigen, dass Antimon im neutralen pH-Bereich viel leichter als Blei gelöst und ausgewaschen wird. Obwohl die Antimon-Totalgehalte viel kleiner als diejenigen von Blei sind, muss Antimon in Bezug auf die Löslichkeit und Mobilität als Leitmetall herangezogen werden. Da das Reservoir der beiden Schwermetalle gross ist, wird eine Verlagerung über mehrere Jahre hinweg erwartet.

Parallel zu dieser Arbeit wurden im Rahmen einer Diplomarbeit am ITÖ Auswaschversuche mit Nanopurwasser mit Kugelfangmaterial von den Schiessständen Zihlmatt und B durchgeführt. Diese zeigen, dass die Schwermetallkonzentration im Waschwasser auch nach vielen Durchgängen nur sehr langsam abnimmt. Aufgrund dieser Erkenntnisse muss davon ausgegangen werden, dass unter natürlichen Verhältnissen über Jahre hinweg eine relativ konstante Antimonmenge ausgewaschen wird [Mergenthaler und Richner, 2002].

7.1.3 Exposition und Bedeutung der Schutzgüter

Können die Schadstoffe die Schutzgüter Wasser, Boden und Luft überhaupt erreichen? Wie weit sind diese Schutzgüter von Bedeutung?

Bei der Luzerner Allmend ist zu beurteilen, ob die Schwermetalle in Oberflächen- und Grundwasser dringen und ob über den Boden Mensch und Tier gefährdet werden können.

<i>Beurteilung bezüglich Grundwasser</i>	<p>Die totalen Gehalte des Kugelfangs Zihlmatt liegen höher als diejenigen der Vergleichsstandorte. Daher kann angenommen werden, dass die Konzentrationswerte gemäss Altlastenverordnung auch hier überschritten werden. Daraus ergibt sich ein Überwachungsbedarf bezüglich des Grundwassers für das Betriebsgelände. Überwachungs-massnahmen müssen solange durchgeführt werden, bis keine Überwachungsbedürftigkeit mehr besteht (Art. 13 Abs. 1 AltIV).</p> <p>Zur Abklärung der Sanierungsbedürftigkeit eines Standorts muss dieser in Beziehung zu vorhandenen Grundwasservorkommen gestellt werden (Art. 9 AltIV). Die betrachteten Kugelfänge liegen nicht im Gewässerschutzbereich A und unter ihnen liegt kein Grundwasser (vgl. Abbildung a-1 im Anhang A). Um zu beurteilen, ob dennoch verschmutztes Wasser von den Kugelfängen in den etwa 150 m entfernten Grundwasserleiter eindringen kann (insbesondere während oder nach starken Niederschlägen), wären weitergehende Untersuchungen über die Hydrogeologie und die unterirdischen Fliesspfade des Standortes nötig. Die Sanierungsbedürftigkeit lässt sich also mit den vorliegenden Daten nicht nachweisen.</p> <p>Aufgrund des Fließregimes ist nicht zu erwarten, dass Wasser aus der Richtung der Schiessanlage in die nächstgelegene öffentliche Grundwasserfassung dringen kann, diesbezüglich ergibt sich folglich kein Sanierungsbedarf.</p>
<i>Beurteilung bezüglich Oberflächengewässer</i>	<p>Das einzig relevante Oberflächengewässer ist der mitten durch das Zwischengelände fliessende Finsterlochbach. Bei Trockenwetter führt er sehr wenig Wasser, kann aber bei Niederschlägen stark anschwellen. Wie weit dabei Wasser vom belasteten Gelände her in den Bach gelangt und dabei kontaminierter Boden erodiert, ist nicht bekannt.</p>
<i>Beurteilung bezüglich Boden</i>	<p>Für die Beurteilung des Bodens verweist die Altlastenverordnung auf das Umweltschutzgesetz bzw. die Verordnung über die Belastung des Bodens. Die vorliegenden Resultate und frühere Untersuchungen zeigen, dass der Sanierungswert für Blei für die landwirtschaftliche und gartenbauliche Nutzung im Umkreis der Kugelfänge teils stark überschritten ist (vgl. Abbildung a-6 im Anhang A). Ergänzende Grasanalysen des AfU Luzern zeigen im stark belasteten Gebiet für Blei bis neunfache Überschreitungen des erlaubten Höchstgehalts nach Futtermittelbuch (40 mg Pb/kg). Somit ist bei landwirtschaftlicher Nutzung (Futter- und Nahrungspflanzenanbau, Beweidung) eine Gefährdung vorhanden. Sanierungsmassnahmen in Form von Nutzungseinschränkungen oder Dekontamination sind unumgänglich. Die Prüfwertüberschreitungen in Teilen des Zwischengeländes und im Nahbereich des Schützenhauses zeigen, dass hier eine Nutzungsgefährdung möglich ist.</p>
<i>Beurteilung bezüglich Luft</i>	<p>Bei Schiessanlagen ist es unwahrscheinlich, dass vom belasteten Material bedeutende Mengen an Schadstoffen in die Luft emittiert werden. Dieser Wirkungspfad kann demzufolge vernachlässigt werden.</p>

7.1.4 Fazit der Beurteilung nach Altlastenverordnung

Für den Standort Stand Zihlmatt und B auf der Luzerner Allmend lässt sich aufgrund der Untersuchungen und Analysen und den oben aufgeführten Grundlagen bezüglich der Schutzgüter folgende Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit ableiten:

- Nach Altlastenverordnung besteht für den Kugelfang bezüglich Grundwasser kein Sanierungsbedarf. Aufgrund der hohen Konzentrationen in den Eluaten von Vergleichsstandorten besteht aber eine Überwachungsbedürftigkeit. Weitergehende Untersuchungen sind empfehlenswert.

- Eine Gefährdungsbeurteilung für das Oberflächengewässer ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.
- Das Bodenmaterial der Schiessstände Zihlmatt und B zeigt im Bereich der Kugelfänge und in deren Nahbereich eine starke Überschreitung des Sanierungswerts für Blei. Eine Sanierung ist notwendig.

7.2 Szenarien für Risikoabschätzung Boden

Als Ergänzung zur Gefährdungsabschätzung nach Altlastenverordnung werden im folgenden verschiedene Szenarien gerechnet, um zu beurteilen, ob Pflanzen, Tiere und Menschen über die verschiedenen möglichen Wirkungspfade gefährdet werden können. Abbildung 7-1 stellt diejenigen Wirkungspfade dar, die im Zusammenhang mit Schiessanlagen von Bedeutung sind.

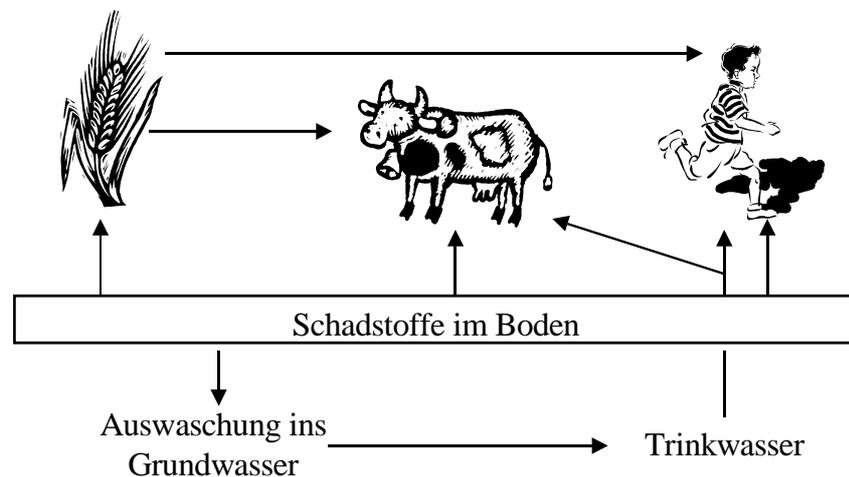


Abbildung 7-1 mögliche Wirkungspfade der Schadstoffe

Szenarien Im folgenden werden drei Szenarien entwickelt, um mögliche Auswirkungen des belasteten Bodens abzuschätzen:

- Ein Kind spielt auf dem Kugelfang und nimmt oral Erde auf.
- Ein Schaf weidet zwischen Scheibenstand und Kugelfang (Erdwall).
- Ein Schaf weidet im Nahbereich des Schützenhauses.

7.2.1 Szenario: spielendes Kind auf dem Kugelfang

Folgende Annahmen werden getroffen:

- Das Kind wiegt 20 kg und nimmt 1 g Erde auf.
- Die Konzentrationen des belasteten Kugelfangs betragen 240'000 ppm Pb und 4'200 ppm Sb (gemittelte Belastung des oberen Kugelfangmaterials).
- Der Resorptionsfaktor für Blei beträgt 0.5 [BUWAL, 1997].
- Andere Aufnahmequellen von Blei und Antimon sind vernachlässigbar.

Toxizitätsdaten Für die Schadstoffe Blei und Antimon gelten folgende Toxizitätswerte:

Tabelle 7-1 Toxizitätswerte für Blei

	akute Toxizität	subchronische Toxizität ⁱ	chronische Toxizität ⁱⁱ	normale Exposition
Blei	156 mg pro kg Körpergewicht ⁱⁱⁱ	15 µg/(d,kg Körpergewicht) ⁱⁱⁱ	1.4-7 µg/(d,kg Körpergewicht) ⁱⁱⁱ	50 µg/d ^{iv}
Antimon	25 mg pro kg Körpergewicht ^v		0.1 g/d ^v	3 – 10 µg/d ^{vi}

- i. Subchronische Belastung: Symptome treten nach längerer Expositionszeit auf
- ii. Chronische Belastung: Folgen sind erst nach jahrelanger Einwirkung zu erwarten
- iii. [Schulin, 2000]
- iv. [BUWAL, 1997]
- v. [Alloway, 1996], Werte für Säugetiere, inkl. Resorption
- vi. [Merian, 1984]

Resultat Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Berechnungen für die Aufnahme von 1 g Erde durch das Kind.

Tabelle 7-2 Resultate für das Szenario „spielendes Kind“

	resorbierte Dosis Kind		Überschreitung normaler Exposition	Überschreitung subchronischer Schwellenwert
	[µg/(d,kg Körpergewicht)]	[mg/d]		
Blei	6'000	120	2'400-fach	400-fach
Antimon	210	4.2	400-fach	

Interpretation Bei ungenügender Umzäunung des Kugelfanges besteht die Möglichkeit, dass ein Kind in das Gebiet des Kugelfanges gelangt und mit Blei belastetes Bodenmaterial aufnimmt. Bei wiederholter Exposition besteht die Gefahr einer chronischen Erkrankung. Weitere Berechnungen zeigen, dass ein Kind 26 g Erde aufs Mal aufnehmen muss, um aufgrund der Bodenaufnahme durch Bleivergiftung akut gefährdet zu sein. Eine solche Menge scheint eher gross, ausschliessen lässt sich die Situation aber nicht.

Bei Antimon besteht ebenfalls eine erhöhte Belastung gegenüber der normalen Exposition, allerdings werden keine toxischen Werte erreicht. Dieses Ergebnis ist aufgrund der unsicheren Datengrundlage bezüglich Antimon allerdings mit Vorsicht zu geniessen.

7.2.2 Szenario: weidendes Schaf

Folgende Annahmen werden getroffen:

- Das Schaf wiegt 60 kg und nimmt täglich 1.8 kg Futter auf, davon 30 % (0.4 kg) Erde.
- Die Schwermetallkonzentrationen des Bodens betragen: 17'000 ppm Pb und 2 ppm Sb zwischen Scheibenstand und Kugelfang
350 ppm für Pb und 2 ppm für Sb im Nahbereich Schützenhauses
- Der Resorptionsfaktor für Blei beträgt 0.5 [BUWAL, 1997].
- Der Schwermetallgehalt des Grases und des Trinkwassers sind vernachlässigbar [Gresch und Wettstein, 2002].

Toxizitätswerte Es gelten folgende Toxizitätswerte:
 Blei: Handicapschwelle 15-30 mg/kg TS im Futter [Schulin, 2000]
 Antimon: gleiche Werte wie beim Szenario „spielendes Kind“

Resultat Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Berechnungen für das Szenario weidendes Schaf:

Tabelle 7-3 Resultate der Berechnungen für die Szenarien Schaf

	Blei		Antimon	
	mittlere Futterkonzentration [mg/kg _{TS}]	Überschrei- tung Handicap	Dosis [mg/d]	Unterschreitung chronischer Toxizität
Schaf Schüt- zenhaus	78	> 2-fach	0.8	120-fach
Schaf Erdwall	3700	> 120-fach	10.8	10-fach

Interpretation Auch für das Schaf ist Blei gegenüber Antimon das kritischere Schwermetall. Weidet das Schaf über mehrere Tage im betrachteten Gebiet, kann dies zu Schädigungen führen. Insbesondere beim Szenario Erdwall ist dies aber unwahrscheinlich, da die Schafe beim Weiden den Ort oft wechseln. Dem Szenario Schützenhaus ist höheres Gewicht beizumessen, da im betrachteten Gebiet zeitweise tatsächlich Schafe weiden und die angenommene Belastung vermutlich im ganzen Weidegebiet ähnlich ist. Trotzdem sollte das Szenario nicht überbewertet werden, da der angenommene Erdanteil des Futters hoch ist. Auch hier sind die Ergebnisse bezüglich Antimon aufgrund der Unsicherheit der toxischen Werte mit Vorsicht zu geniessen.

Mit diesem Szenario kann gezeigt werden, dass bei Viehwirtschaft im betrachteten Gebiet ein Risiko besteht.

8

Sanierungs-
massnahmen**8.1 Einführung**

Die Gefährdungsabschätzung liefert Informationen über die Art und das Ausmass der Schadstoffbelastung, über die tatsächlichen und möglichen Einwirkungen auf die Umwelt, über die Lage und Bedeutung der betroffenen Schutzgüter und damit auch über die Sanierungsbedürftigkeit eines Standorts. Durch die Sanierung muss grundsätzlich gewährleistet werden, dass das Ausmass des Schadens für alle Schutzgüter unterhalb der tolerierbaren Gefahrenschwelle zu liegen kommt. Hauptzweck einer Sanierung ist es daher, den Eintrag von Schadstoffen in ein Schutzgut soweit zu verhindern, dass auch langfristig keine Sanierungsbedürftigkeit mehr gegeben ist [BUWAL, 2000].

Die möglichen Sanierungsmassnahmen lassen sich gemäss Art. 16 AltIV wie folgt einteilen:

- Schutz- und Beschränkungsmassnahmen
- Sicherungsverfahren
- Dekontaminationsverfahren

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Sanierungsmassnahmen, die für Schiessanlagen in Frage kommen.

Tabelle 8-1 Sanierungsmassnahmen bei Schiessanlagen

Schutzmassnahmen	Sicherungsverfahren	Dekontaminationsverfahren
- Einschränkung der landwirtschaftlichen Tätigkeit - Weideverbot - Umzäunung	- Immobilisierung - Oberflächenabdichtung - Einkapselung	- Umlagerung - Bodenwäsche

8.2 Beschrieb der Sanierungsmassnahmen**8.2.1 Schutz- und Beschränkungsmassnahmen**

Die Gemeinden sollen bei Schiessanlagen gestützt auf die Wegleitung des BUWALs die Beweidung wo nötig verbieten, die landwirtschaftliche Tätigkeit einschränken und die Umzäunung des Kugelfangs erlassen. Eine langfristige Überwachung und Kontrolle sind unabdingbar und die entsprechenden finanziellen Mittel müssen über längere Zeit bereitgestellt werden [EMD/ BUWAL, 1997].

8.2.2 Sicherungsverfahren*Immobilisierungsverfahren*

Immobilisierungsverfahren bezwecken, dass die Mobilität und Auslaugbarkeit von Schadstoffen durch Zugabe von Immobilisierungsmitteln stark eingeschränkt oder verhindert wird. Im Falle von Schiessanlagen kann durch Beeinflussung des pH-Werts, durch Fällungs- oder Redoxreaktionen eine Fixierung der Schadstoffe in der

Bodenmatrix erreicht werden. Die Schwierigkeit besteht einerseits darin, dasjenige pH zu finden, bei dem sowohl Blei als auch Antimon und Kupfer immobil sind, und andererseits die Binde- oder Fällungsmittel gleichmässig zu verteilen.

Oberflächenabdichtung

Oberflächenabdichtungen vermindern das Auswaschen der Schadstoffe, indem der Eintrag von Regen- und Oberflächenwasser minimiert wird. Gleichzeitig wird der Kontakt des Bodenmaterials mit Menschen und Tieren unterbunden. In der Gemeinde Riehen BS wurde eine solche Massnahme realisiert:

Beispiel Oberflächenabdichtung in der Gemeinde Riehen BS

Im Rahmen der Sanierung der Schiessanlage wurde in der Gemeinde Riehen das stark belastete Kugelfangmaterial ausgehoben und entsorgt. Das weniger stark belastete Material wurde zusammengeschoben und mit einer 1.5 mm dicken Folie abgedeckt. Über die Folie wurde eine 25 cm mächtige Schicht aus Unterbodenmaterial aufgeschüttet, die mit Kompost aufbereitet worden war. Insgesamt wurden somit 250 m³ Erdmaterial unter die Folie gepackt, während nur 145 m³ hochbelastetes Material abgeführt und entsorgt wurden. [Gemeinde Riehen, 2000]

Einkapselung

Bei der Einkapselung wird die Ausbreitung der Schadstoffe in alle Richtungen unterbunden. Somit wird das Eindringen von Oberflächen- oder Niederschlagswasser verhindert und auch das Grundwasser kann von unten nicht in das belastete Gebiet eindringen. Für grosse Kubaturen belasteten Materials ergibt sich ein beträchtlicher baulicher Aufwand.

8.2.3 Dekontaminationsverfahren

Umlagerung

Bei der Umlagerung wird das gesamte kontaminierte Material ausgehoben und auf einen gesicherten Standort (Deponie) gebracht. Dort ist die Gefahr einer weiteren Ausbreitung der Schadstoffe durch den Aufbau der Deponie minimiert. Die Schadstoffe verbleiben aber im Erdmaterial. Zusätzlich muss das ausgehobene Material ersetzt werden.

Bodenwaschverfahren

Bodenwaschverfahren eignen sich prinzipiell für die Sanierung aller Altlastenstandorte. Das Prinzip der Bodenwäsche beruht auf der nassmechanischen Separation von kontaminiertem und sauberem Bodenmaterial. Bodenwaschverfahren gelten insgesamt als umweltverträglich, obwohl die Bodeneigenschaften durch die Abtrennung von Bodenbestandteilen verändert werden. Durch die geschlossene Prozessführung wird eine Ausbreitung der Schadstoffe in die Umwelt verhindert. Die Eberhard Recycling AG bietet ein solches Sanierungsverfahren an:

Bodenwaschverfahren nach Eberhard Recycling AG, Rümlang

In einem Waschprozess werden die Schadstoffe von den Bodenpartikeln abgelöst und in das Waschwasser überführt. Als Produkte erhält man sauberen Kiessand und ein Schadstoffkonzentrat, den sogenannten Filterkuchen. Die gereinigten Kiessandfraktionen werden als Recyclingbaustoffe wiederverwendet, der Filterkuchen wird verwertet oder ordnungsgemäss entsorgt. Im Falle von Schwermetallen, die an die Partikeloberflächen angelagert sind, werden die hochbelasteten Feinstkornfraktionen von den sauberen Kiessandfraktionen getrennt. Dabei ist es häufig möglich, die Schadstoffe durch Extraktion aufzulösen und in der anlageninternen Abwasserbehandlungsanlage wiederzugewinnen. Mittels Bodenwäsche lassen sich alle gängigen Schwermetalle wie Blei, Kupfer, Zink, Cadmium und Quecksilber entfernen.

8.2.4 Vergleich der Massnahmen

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden sowie ihre Anwendbarkeit im Falle von Schiessanlagen werden in der Tabelle 8-2 aufgeführt.

Tabelle 8-2 Vor-, Nachteile und die Anwendbarkeit der Sanierungsmassnahmen

	Ziel	Vorteile	Nachteile	Anwendbarkeit
Beschränkungs- massnahmen	direkte Gefährdung von Menschen und Tieren verhindern	einfach durchführbar (Einschränkung, Verbot) geringer baulicher Aufwand (z.B. Umzäunung) kostengünstig	Schadstoffe verbleiben im Boden Gefahr der Kontamination von Mensch und Tier ist nicht gebannt Fläche kann nicht anderweitig genutzt werden langfristige Überwachung notwendig	Nutzungseinschränkungen in der Wegleitung vorgesehen einfachste Sanierungsmassnahme, die in gewissen Situationen rechtlich ausreichend ist
Sicherungs- massnahmen	- Ausbreitung der Schadstoffe unterbinden	- Material muss nicht ausgehoben werden - vertikale und bei Einkapselung auch horizontale Schadstoffausbreitung verhindert - Nutzung der Fläche wieder möglich - für Immobilisierung und Oberflächenabdeckung sind keine grossen baulichen Vorkehrungen nötig - kostengünstiger als Dekontamination	- Schadstoffproblematik wird nur mit temporärer Wirkung verschoben - Inhomogenitäten resp. Störstellen bewirken eine Schadstoffverschleppung - langfristige Überwachung und Kontrolle schwierig jedoch notwendig	- Immobilisierung aufgrund der Inhomogenitäten des Bodens schwer durchführbar - Oberflächenabdeckung gut realisierbar - Einkapselung mit grösserem Aufwand verbunden und nur in Fällen von Grundwassergefährdung sinnvoll
Dekontaminations- massnahmen	- Entfernung/Zerstörung der Schadstoffe	- Kontamination und somit Gefahr wird vom belasteten Standort entfernt - Im Falle der Bodenwäsche kann das Material teilweise wiederverwendet werden; Schadstoffe vom Material getrennt - keine langfristige Überwachung mehr nötig - Standort kann anderweitig genutzt werden	- bei Umlagerung muss Material deponiert werden können - bei Bodenwäsche Veränderung der Bodentextur - grundsätzlich (sehr) kostenintensiv	- Bodenwäsche optimale Lösung, falls die finanziellen Mittel vorhanden sind - Umlagerung ebenfalls gute Lösung

8.3 Massnahmen für die Allmend

Im folgenden Teil werden wir die Massnahmen diskutieren, die unserer Meinung nach realisierbar sind und angestrebt werden sollten. Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob der Schiessbetrieb aufrecht erhalten bleibt oder ob die Anlage stillgelegt wird.

8.3.1 Weiterführung des Schiessbetriebs

Falls der Schiessbetrieb aufrecht erhalten bleibt, müssen folgende Massnahmen ergriffen werden:

- Umzäunung des Kugelfangs
- Überarbeiten des Nutzungsplans
- in Betrachtziehen künstlicher Kugelfangsysteme

Umzäunung des Kugelfangs

Die Umzäunung des Kugelfangs erachten wir als dringende Massnahme. Sie ist im bestehenden Nutzungsplan bereits vorgesehen, muss jedoch noch realisiert werden.

Überarbeiten des Nutzungsplans

Der Nutzungsplan selbst muss überarbeitet werden. Die Einteilung der einzelnen Zonen erfolgte aufgrund der Wegleitung „Bodenschutz- und Entsorgungsmassnahmen bei 300 m-Schiessanlagen“, die für Blei einen Wert von 300 ppm herbeizieht. Die VBBo hingegen nennt als Prüfwert 200 ppm, bei dessen Überschreitung eine Gefährdung von Mensch und Tier möglich ist. Der Nutzungsplan sollte daher mit Bezug auf diesen Prüfwert und anhand der neuen Wegleitung, die zur Zeit erarbeitet wird, überarbeitet werden. Falls weitere Abklärungen ergeben, dass keine Grundwassergefährdung besteht, so wäre die Anlage nach Durchsetzen dieser Massnahmen rechtlich gesehen saniert. Eine langfristige Überwachung und Überprüfung der Massnahmen über einen langen Zeitraum sind aber unumgänglich.

künstliche Kugelfangsysteme

Ein künstliches Kugelfangsystem könnte den weiteren Schwermetalleintrag in den Boden des bestehenden Kugelfangs weitgehend verringern. Damit die Belastung des Kugelfangs in Zukunft verringert werden kann, schlagen wir ein künstliches Kugelfangsystem vor.

künstliche Kugelfangsysteme zusammengestellt nach RUAG Land Systems

Künstliche Kugelfänge bestehen aus aneinandergereihten Blechkästen, die mit Gummigranulat aus alten Autoreifen gefüllt sind. Die einzelnen Kästen sind einen Meter breit, einen Meter hoch und in einen Rundholzstapel eingebaut. Die Projektile werden somit zum grössten Teil in den Blechkästen zurückgehalten, Fehlschüsse bleiben im Holzstapel stecken oder treffen im dahinterliegenden Terrain auf. Nach ca. 25'000-30'000 Schüssen muss der Kugelfangkasten geleert und das zerschossene Zentrum repariert werden. Dies erfordert jedoch keinen Ausbau aus dem Rundholzstapel. Durch fachgerechte Wiederaufbereitung der Granulatfüllung kann diese mehrmals verwendet und die Geschossteile können recycelt werden. Aufstellen, Auffüllen und Entsorgung können durch die Schützengesellschaften selbst unter fachkundiger Anleitung erfolgen und müssen nicht an eine externe Firma übergeben werden. Die Kosten belaufen sich je nach Kugelfangsystem auf 3'000.- bis 4'000.- pro Kasten (inkl. Montage). Dazu kommen laufende Kosten für die Entsorgung und den Ersatz des Materials, die von der Schussfrequenz abhängig sind.

8.3.2 Schiessanlage wird stillgelegt

Wird die Anlage stillgelegt, so müssten weitere Bodenproben genommen werden, um das Ausmass der Kontamination eingrenzen zu können. Grundsätzlich empfehlen wir eine Dekontamination der beiden Kugelfänge. Das am stärksten belastete Material sollte auf jeden Fall ausgehoben werden, damit das Gebiet ohne grosse Einschränkungen für andere Nutzungen freisteht. Wir sind uns bewusst, dass eine Dekontamination einer solchen Fläche einen grossen finanziellen Aufwand bedeutet. Es ist durchaus denkbar, geringer belastetes Material (z.B. das Gelände zwischen den Scheiben und dem Kugelfang) auf dem Standort selbst unter einer Oberflächenabdeckung zu sichern.

Das Gelände zwischen den Schützenhäusern und den Kugelfängen muss nicht ausgehoben werden. Der Nutzungsplan sollte aber seine Gültigkeit beibehalten und auch bei einer Stilllegung durchgesetzt werden.

Ebenfalls für eine Dekontamination spricht sich die Informationsbroschüre "Altlasten: erfassen, bewerten, sanieren" des BUWALs aus. Gemäss dieser Informationsbroschüre ist eine Dekontamination eines Standorts angezeigt, wenn sich dessen Sanierungsbedürftigkeit unter anderem auf Schwermetalle zurückführen lässt. Sicherungsmassnahmen dagegen sind dort angezeigt, wo man den Standort in Anbetracht der Erkenntnisse über die Schadstoffbelastung und auf Grund des voraussichtlich weitgehenden Abbaus der Schadstoffe nach spätestens ein bis zwei Generationen ohne weitere Behandlungsmassnahmen sich selbst überlassen kann. Dies ist im Falle von Schwermetallen nicht zu erwarten.

9 Schwierigkeiten

Während des Verfassens dieser Semesterarbeit sind wir auf verschiedene Schwierigkeiten gestossen. Einige ergaben sich zwangsläufig aus der zeitlichen Beschränkung dieser Arbeit. In der Folge werden nicht nur die Schwierigkeiten aufgezeigt, sondern auch Anregungen für das Vorgehen bei weiteren Arbeiten gegeben.

Beprobungsschema Im Verlaufe der Arbeit zeigte sich, dass das Beprobungsschema der Fragestellung zu wenig angepasst war. Im Hinblick auf die Verlagerung der Schwermetalle und der Gefährdung von Grundwasser wären mehr Tiefenprofile von Interesse gewesen. Durch Tiefenprofile in verschiedenen Belastungszonen (z.B. Nahbereich Schützenhaus, Kugelfang, Wald) und verschiedenen Milieus (sauer, neutral) wären fundiertere Aussagen über die für die Verlagerung entscheidenden Bedingungen möglich gewesen. Für eine flächendeckende Quantifizierung der Belastung war die Probenanzahl zu gering.

Analysemethode Die standardisierte Analysemethode nach VBBo erwies sich für das Kugelfangmaterial als wenig geeignet. Sie eignet sich für die Bestimmung von Schadstoffen in Böden. Kugelfangmaterial jedoch kann nicht als eigentlicher Boden bezeichnet werden. Die Verwendung der Methode ist zwar insofern gerechtfertigt, als dass sie einen Vergleich mit früheren Untersuchungen von Schiessständen bezüglich Blei ermöglicht, die praktisch alle nach VBBo durchgeführt worden sind. Zudem fehlen in der VBBo Verordnungswerte für Antimon. Es wäre zu empfehlen, Kugelfangmaterial in Zukunft nach Altlastenverordnung, d.h. mittels Eluattests zu untersuchen, was gerade auch im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung von Grund- und Oberflächenwasser klarere Folgerungen ermöglichen würde. Gemäss den neuesten Erläuterungen zur VBBo [BUWAL, 2001] kann sämtlicher Boden, der zu einer Anlage (z.B. Schiessanlage) gehört, nicht nach VBBo bewertet werden.

Antimon Die in der Literatur vorhandenen Grundlagen über Antimon sind sehr spärlich. Es gibt sehr wenig Daten über Verhalten und Toxizität des Elements. Dies erschwerte auch in dieser Arbeit die Beurteilung der gefundenen Belastung im Hinblick auf eine Gefährdung der Schutzgüter.

Trotz all diesen Schwierigkeiten enthält der Bericht hoffentlich wertvolle Hinweise über die Problematik von Antimon und kann als Grundlage für weiterführende Arbeiten dienen.

10 Ausblick

Die Ergebnisse dieses Berichts stellen eine Ergänzung der auf der Luzerner Allmend bereits durchgeführten Schwermetallbelastungen dar. Während die Resultate bezüglich Blei erlauben, die bestehende Abgrenzung der Belastungszonen zu verfeinern, ermöglichen die Antimonmessungen die Betrachtung der Problematik der Schiessanlagen aus einer neuen Perspektive. Es ist hier gezeigt worden, dass sowohl die vorhandene Belastung als auch das Mobilitätsverhalten der beiden Schwermetalle Blei und Antimon sehr unterschiedlich ist.

Folgeuntersuchungen

Um die vom belasteten Gebiet ausgehende Gefährdung des Grundwassers detaillierter beurteilen zu können, wären weitere Untersuchungen empfehlenswert. So sollten im sauren Waldgebiet weitere Abklärungen zur Verlagerung des Bleis in den Untergrund vorgenommen werden. Aufgrund des geologischen Untergrunds ist hier auch in grösseren Tiefen mit einem sauren Milieu zu rechnen, was die Verlagerung und einen allfälligen Eintrag ins Grundwasser begünstigen würde.

In diesem Zusammenhang sollte auch die Hydrogeologie des Standorts genauer abgeklärt werden. Von Interesse wäre hier einerseits der Verlauf der Grenze des Grundwasservorkommens und andererseits genauere Kenntnisse über die Fliesspfade zum Grundwasser.

Eluattests für Antimon im Nahbereich des Schützenhauses würden zeigen, ob hier allenfalls schon heute ein Sanierungsbedarf nach Altlastenverordnung besteht. Dies wäre durchaus denkbar, da bei anderen Untersuchungen mit einer Antimonbelastung in ähnlicher Grössenordnung wie in diesem Nahbereich bereits Überschreitungen der Konzentrationswerte nach Altlastenverordnung festgestellt wurden.

Bei einer allfälligen Sanierung der Schiessanlagen der Luzerner Allmend müssten, wie bereits erwähnt, zusätzlich weitere Bodenproben genommen werden, um die Belastung genau abgrenzen und ein angepasstes Sanierungskonzept erarbeiten zu können.

Forschung

Das Problem der Schwermetallbelastung von Schiessanlagen wird weiterhin ein aktuelles Thema bleiben. So müssen in der Entsorgungstechnik neue Wege für das Kugelfangmaterial gefunden werden. Eine Arbeitsgruppe des BUWALs ist beispielsweise daran, abzuklären, ob eine Wiedergewinnung des Bleis möglich ist.

Ausserdem hat die Problematik eine neue Dimension hinzugewonnen, seit Antimon als kritischer Stoff erkannt worden ist. Die Ergebnisse von Forschungsarbeiten zum Thema, die momentan an verschiedenen Institutionen durchgeführt werden, sollten zukünftig helfen, die Gefährdung, die von Antimon ausgeht, besser beurteilen zu können.

11 Literaturverzeichnis

Achermann, M., 2001, Fallbeispiel: Schiessgelände Luzerner Allmend, Seminar Bodenschutz Fallbeispiele vom 16.11.2001, ETH Zürich

Alloway, B. J., 1999, Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 540 S.

Alloway, B. J. und Ayres, D. C., 1996, Schadstoffe in der Umwelt, Spektrum Verlag, Heidelberg, 382 S.

Blay, K., 2000, Sorption wässriger Antimon-Spezies an bodenbildende Festphasen und Remobilisierung durch natürliche Komplexbildner, Dissertation Technische Universität München, 192 S.

Boyle, R. W. und Jonasson, I. R., 1984, The geochemistry of antimony and its use as an indicator element in geochemical exploration prospecting, *Journal of Geochemical Exploration* 20: S.223-302

Brauer, H., 1997, Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik, Band 5: Sanierender Umweltschutz, Springer Verlag, Berlin, 410 S.

BUWAL, 1997, Umwelt-Materialien Nr. 83: Boden, Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden, Bern, 100 S.

BUWAL, 2000, Altlasten: erfassen, bewerten, sanieren, Bern, 39 S.‘

BUWAL, 2001, Erläuterungen zur Verordnung vom 1.Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo), Bern, 30 S.

Eberhard Recycling AG, Bodenwaschanlage zur Reinigung von schadstoffhaltigem Aushub und Bauschutt, Broschüre, Rümlang

EMD/BUWAL, 1997, Wegleitung Bodenschutz- und Entsorgungsmassnahmen bei 300m-Schiessanlagen, 49 S.

Gemeinde Riehen, 2000, Sanierung/Sicherung Schiessanlage am Chrischonaweg, Dokumentation, Basel

Gresch, M. und Wettstein B., 2002, Antimon- und Bleibelastung bei Schiessanlagen, Fallbeispiel Eschenbach SG, Semesterarbeit am Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich

Gisi, U., Schenker, R., Schulin, R., Stadelmann, F. X. und Sticher H., 1997, Bodenökologie, 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 351 S.

Kessler, J., 1993, Schwermetalle in der Tierproduktion, *Landwirtschaft Schweiz*, Band 6(5): S.273-277

Mergenthaler, B. und Richner, T., 2002, Mobilität und geochemisches Verhalten von Antimon im Boden von Schiessanlagen, Diplomarbeit am Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich

Merian, E., 1984, Metalle in der Umwelt: Verteilung, Analytik und biologische Relevanz, Chemie Verlag, Weinheim

RUAG Land Systems, Dokumentationen zu künstlichen Kugelfangsystemen und Lärmschutzsystemen, Thun

Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.H. und Schwertmann, U., 1998, Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Auflage, Verlag Enke, Stuttgart, 494 S.

Schulin, R., 2000, Bodenschutz II, Vorlesungsskript ETH Zürich

Gesetze und Verordnungen

AltIV, 1998, Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlastenverordnung, AltIV), SR 814.680, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

GSchG, 1991, Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG), SR 814.20, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

GSchV, 1998, Gewässerschutzverordnung (GSchV), SR 814.201, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

LSV, 1996, Lärmschutzverordnung (LSV), SR 814.41, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

MG, 1995, Bundesgesetz über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz, MG), SR 510.10, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

RPG, 1979, Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG), SR 700, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

TVA, 1990, Technische Verordnung über Abfälle (TVA), SR 814.600, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

VASA, 2000, Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA), SR 814.681, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

VBBö, 1998, Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö), SR 814.12, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

USG, 1983, Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG), SR 814.01, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern

Kartenmaterial

Gewässerschutzkarte, Blatt 1150 Luzern, 1:25'000

Anhänge

A	Situation	A-1
B	Grundlagen	B-1
C	Methodik	C-1
D	Resultate	D-1
E	Gefährdungsabschätzung	E-1
F	Abkürzungen, Glossar	F-1

A Situation

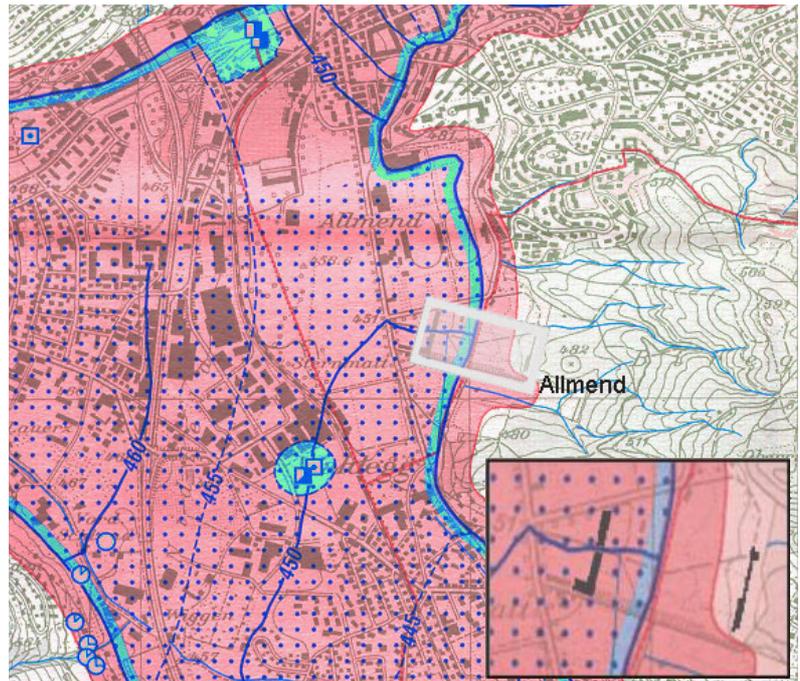


Abbildung a-1 Grundwasserkarte 1:25'000

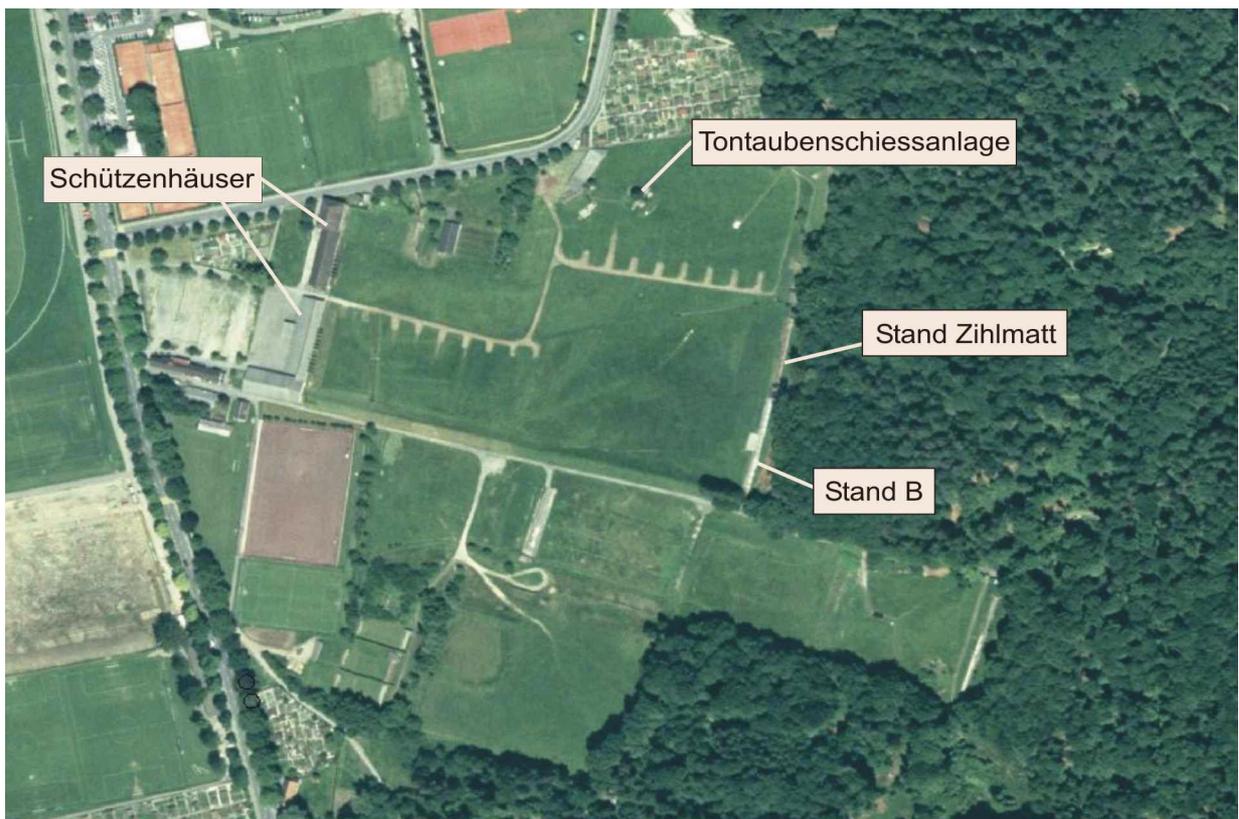


Abbildung a-2 Luftbild Luzerner Allmend



Abbildung a-3 Gesamtansicht Stand B



Abbildung a-4 Blick von den Scheiben zu den Schützenhäusern



Abbildung a-5 weidende Schafe vor dem Schützenhaus Zihlmatt

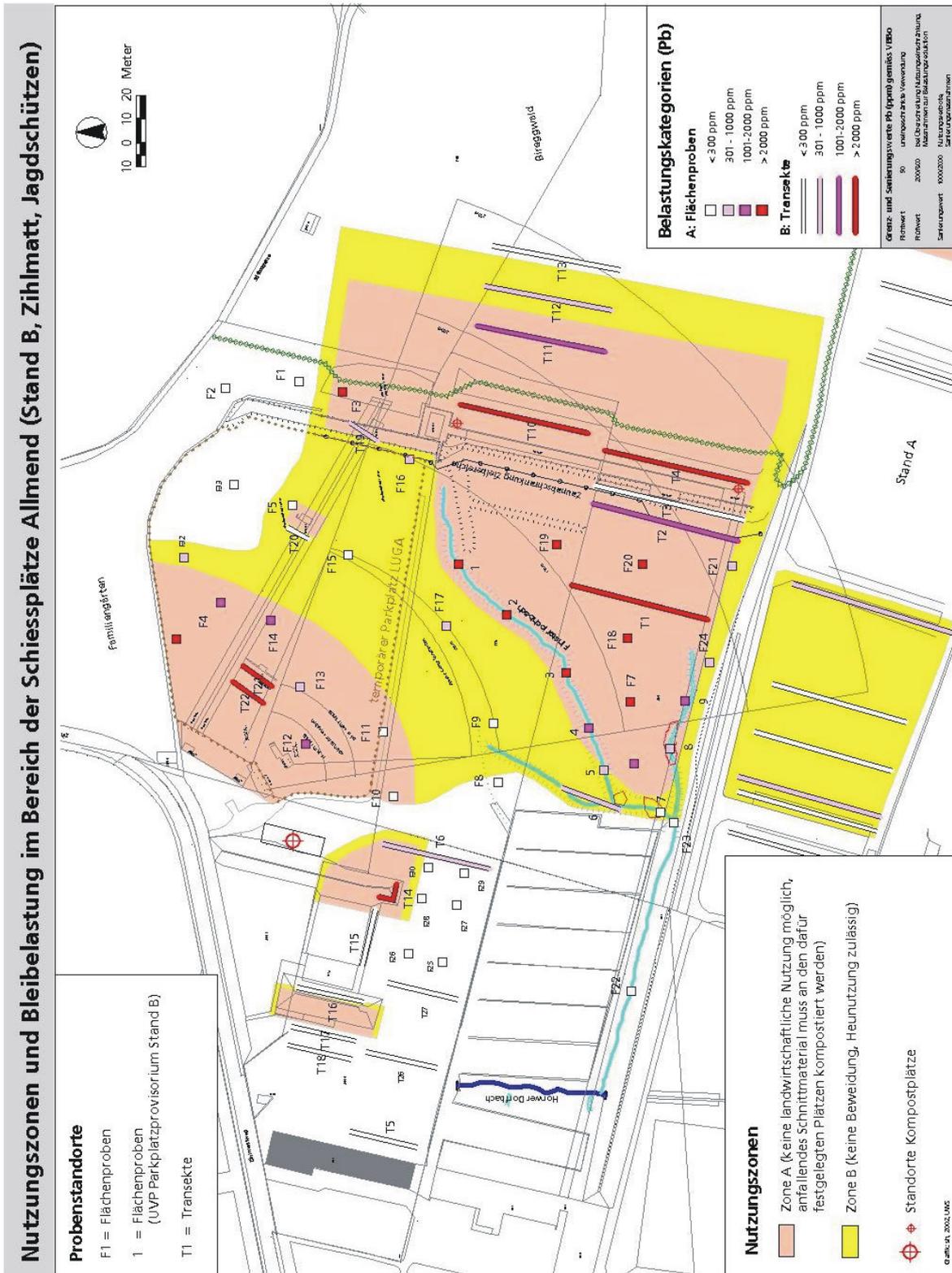


Abbildung a-6 Nutzungszonenplan Luzerner Allmend [AfU Luzern]

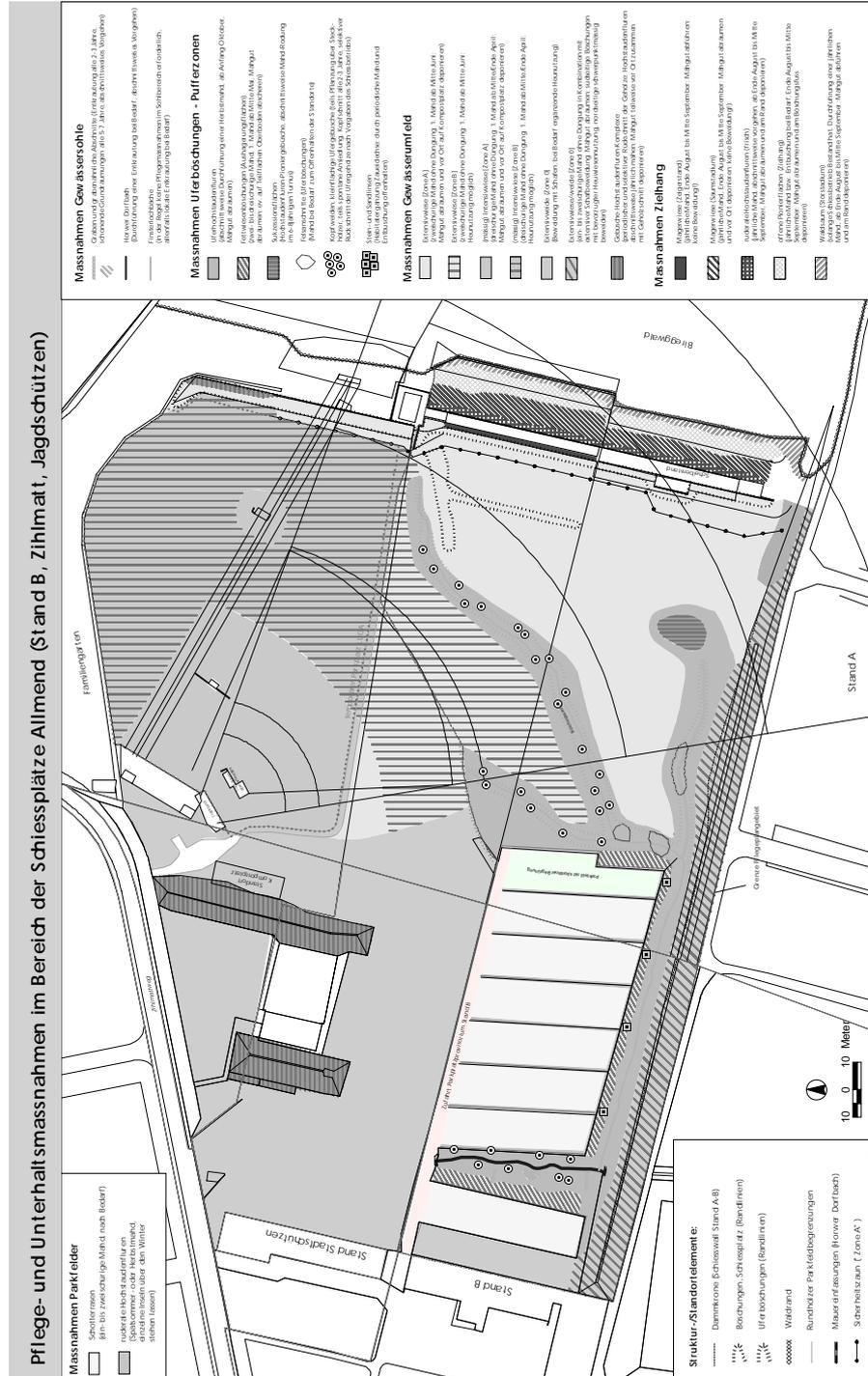


Abbildung a-7 Pflege- und Unterhaltsmassnahmenplan [AfU Luzern]

B Grundlagen

B-1 Gesetze und Verordnungen

B-1.1 Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo)

Das Ziel der Verordnung über die Belastung des Bodens ist die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Um dies zu erreichen, erfasst die Verordnung sowohl physikalische als auch chemische Einwirkungen auf den Boden. Die Beurteilung von mit Schadstoffen belasteten Böden erfolgt mittels Richt-, Prüf- und Sanierungswerten, die für verschiedene organische und anorganische Stoffe in der Verordnung festgelegt werden. Eine Überschreitung des jeweiligen Wertes zieht unterschiedliche Massnahmen nach sich.

- Richtwert: Bei einer Überschreitung ist die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig nicht mehr gewährleistet, es besteht aber keine Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen. Die kantonale Bodenschutzfachstelle muss die Quelle der Belastung abklären und nötigenfalls weitergehende Emissionsbeschränkungen verfügen.
- Prüfwert: Bei einer Überschreitung ist eine Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen möglich. Der Kanton muss im Einzelfall überprüfen, ob eine solche Gefährdung besteht und gegebenenfalls die Nutzung im erforderlichen Mass einschränken.
- Sanierungswert: Bei einer Überschreitung sind bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen nicht mehr möglich, diese sind daher vom Kanton zu verbieten. Soll eine Fläche weiter genutzt werden, so muss sie zuerst saniert werden.

Die Höhe der Prüf- und Sanierungswerte ist zusätzlich von der Nutzungsart (z.B. Nahrungs- oder Futterpflanzenanbau, Nutzung als Hausgarten) abhängig.

Tabelle B-1 gibt einen Überblick über die im Rahmen dieser Arbeit relevanten Werte.

Tabelle b-1 Verordnungswerte für Schwermetalle nach VBBo [mg/kg]

Schwermetall	Richtwert		Prüfwert ⁱ		Sanierungswert ⁱⁱ	
	Total-gehalt	lösl. Gehalt	Total-gehalt	lösl. Gehalt	Total-gehalt	lösl. Gehalt
Blei	50	-	200	-	2000	-
Kupfer	40	0.7	150	0.7	1000	4

i. für Nahrungs- und Futterpflanzenanbau

ii. für Landwirtschaft und Gartenbau

B-1.2 Altlastenverordnung (AltIV)

Die Altlastenverordnung soll sicherstellen, dass ein belasteter Standort saniert wird, sobald er zu einer Altlast wird. Belastet ist ein Standort dann, wenn seine Belastung von Abfällen stammt (Ablagerungs-, Betriebs- oder Unfallstandort), die Ausdehnung der betroffenen Flächen aber beschränkt ist (Art.2). Er wird zu einer Altlast, wenn er zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt führt oder

wenn die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen können (Art.1 Abs.1). Die Verordnung regelt die Altlastenerfassung in einem Kataster, die Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit sowie der Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung von Altlasten und die Festlegung von Untersuchungs-, Überwachungs- und Sanierungsmassnahmen (Art.1 Abs.2).

Fällt ein belasteter Boden unter die Altlastenverordnung, so wird er nach der Bodenschutzgesetzgebung beurteilt (Art.12 AltIV, Art.34 und 35 USG).

Die Beurteilung der Gefährdung von Gewässern erfolgt anhand eines Eluats des Materials des Standorts. Die Altlastenverordnung legt im Anhang Konzentrationswerte für verschiedene Schadstoffe fest. Sind diese überschritten, so ist der Standort überwachungsbedürftig (Art.9 Abs.1 bzw. Art.10 Abs.1). Bei der Entscheidung über die Sanierungsbedürftigkeit eines Standortes spielt zusätzlich die Bedeutung des Schutzgutes (Grund- oder Oberflächenwasser) eine Rolle (Art.9 Abs.2 bzw. Art.10 Abs.2).

Ist eine Sanierung notwendig, so können nach Artikel 16 drei Kategorien von Sanierungsmassnahmen ergriffen werden:

- Dekontamination (Beseitigung der umweltgefährdenen Stoffe)
- Sicherung (langfristige Verhinderung der Schadstoffausbreitung und Überwachung)
- Nutzungseinschränkungen

B-1.3 Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

Das Ziel der technischen Verordnung über Abfälle ist es, die Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen von Abfällen zu schützen bzw. mögliche Einwirkungen frühzeitig zu begrenzen. Neben Vorschriften zur Verminderung und Behandlung von Abfällen sowie zu Abfallverbrennungsanlagen enthält die TVA auch Bestimmungen über das Errichten und den Betrieb von Deponien. Beim Unterhalt und der Sanierung von Schiessanlagen fällt kontaminiertes Material (insbesondere Kugelfangmaterial) an, das entsorgt werden muss. Die TVA verbietet das Vermischen dieses Abfalls mit schwach- oder nicht belastetem Bodenmaterial zur Verdünnung des Schadstoffgehalts (Art.10) und bestimmt die Anforderungen, denen das Material für die Ablagerung auf verschiedenen Deponien genügen muss.

B-1.4 Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA)

Die Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten legt die Abgaben fest, die die Inhaber von Deponien auf die Ablagerung von Abfällen im Inland bzw. die Exporteure von Abfällen ins Ausland entrichten müssen (Art.1 & 2).

Der Abgabesatz (in Fr/t) beträgt gemäss Artikel 3:

Tabelle b-2 Abgaben für das Ablagern von Abfällen [CHF/t]

	Im Inland abgelagert		ins Ausland ausgeführt	
	Reststoffdeponie	Reaktordeponie	Untertage-deponie	andere Deponien
Abgabesatz	15.-	20.-	50.-	Betrag, der im Inland für die Ablagerung in Deponie zu entrichten wäre

Diese Abgabe soll dazu dienen, Beiträge für die Sanierung von Altlasten zu finanzieren, die der Bund in gewissen Fällen (zahlungsunfähiger oder unbekannter Verursacher) leistet. Artikel 9 der Verordnung legt fest, wer zum Bezug solcher Abgeltungen berechtigt ist. Eine Voraussetzung für die Anspruchsberechtigung ist, dass auf die Altlast nach dem 1. Februar 1996 keine Abfälle mehr abgelagert worden sind. Schiessanlagen, die nach diesem Datum noch in Betrieb waren, haben daher keinen Anspruch auf Sanierungsbeiträge.

B-1.5 Gewässerschutzgesetzgebung (GschG und GSchV)

Die Gewässerschutzgesetzgebung ist beizuziehen, falls die Schiessanlage im Einzugsgebiet eines Gewässers liegt.

Ziel des Gesetzes ist der Schutz der ober- und unterirdischen Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen. Um die unterirdischen Gewässer zu schützen, schreibt das Gesetz den Kantonen vor, entsprechend der Gefährdung Gewässerschutzbereiche und -schutzzonen auszuscheiden. Je nach Zonenzuteilung gelten für ein Gebiet unterschiedliche Nutzungsvorschriften

Im Falle von Schiessanlagen geht es mehrheitlich um den Schutz des Grundwassers vor Belastungen. Liegt die Anlage in einem Schutzbereich, so kann dies zu Konflikten führen.

B-1.6 Lärmschutzverordnung (LSV)

Die Lärmschutzverordnung soll vor schädlichem und lästigem Lärm schützen. Sie legt daher Belastungsgrenzwerte für verschiedene Lärmquellen fest. Für Schiessanlagen finden sich die entsprechenden Werte im Anhang 7. Erfüllt eine Schiessanlage die entsprechenden Anforderungen nicht, so ist sie zu sanieren. Der Bund hat hierfür eine Frist bis spätestens zum 31. März 2002 gesetzt. Zuständig für die Sanierungen sind die Gemeinden. Sie sollen zusammen mit den Schützenvereinen dafür sorgen, dass die Vorgaben eingehalten werden. Dem Kanton obliegt die Oberaufsicht.

B-1.7 Raumplanungsgesetz (RPG)

Das Raumplanungsgesetz hat die haushälterische Nutzung des Bodens zum Ziel. Um dies zu erreichen, sind die raumwirksamen Tätigkeiten (zu denen auch das Schiessen gehört) aufeinander abzustimmen.

Schiessanlagen werden oft in der Landwirtschaftszone errichtet. Nichtlandwirtschaftliche Bauten entsprechen dem Zweck dieser Nutzungszone nicht und dürfen damit nach Artikel 22 grundsätzlich nicht errichtet werden. Bei Schiessanlagen ist aber aufgrund ihrer negativen Standortgebundenheit und dem öffentlichen Interesse an der Landesverteidigung eine Ausnahmegewilligung möglich (Art.24).

Bei der Stilllegung einer Schiessanlage in einer Landwirtschaftszone ist die Standortgebundenheit der Baute nicht mehr gegeben - es muss daher der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt werden, d.h. alle mit dem Betrieb der Anlage verbundenen Elemente (Schützenhaus, Kugelfang, Scheibenstand) müssen prinzipiell rückgebaut werden.

B-2 Schwermetalle Antimon, Blei und Kupfer

Tabelle b-3 Eigenschaften und Vorkommen von Antimon, Blei und Kupfer

	Antimon (Sb)	Blei (Pb)	Kupfer (Cu)
			
Atomgewicht [u]	121.75	207.2	63.55
Dichte [g/cm ³]	6.689	11.34	8.93
Schmelzpunkt [°C]	630.5	327.4	1083
Siedepunkt [°C]	1400	1740	2395
Aussehen	silbrig-weiss, glänzend	blaugrau, weich, dehnbar	rötlich
wichtigste geogene Mineralien	Sb ₂ S ₃ (Antimonglanz), daneben Verbindungen mit Cu, Pb, O, S	PbS (Bleiglanz)	CuS ₂ (Kupferglanz)
wichtigste Lagerstätten	China, Bolivien, Südafrika, Mexiko, Russland	Australien, USA, GUS, Peru, China	USA, Chile, Kanada, Russland, Peru
Weltjahresproduktion [t]	8 x 10 ⁴	5.3 x 10 ⁶	7 x 10 ⁶
dominierende Oxidationszustände	Sb(III), Sb(V)	Pb(II), Pb(IV)	Cu(II)
Hauptverwendung	als Flammschutzmittel, in Akkumulatorbatterien, in Glas-/Keramikindustrie	Bleibatterien, Kraftstoffzusatz, als Legierung mit 10 % Sb (Hartblei)	Elektroindustrie, Leitungsbau für Legierungen
Freisetzung in Umwelt	natürlich: Vulkanausbrüche, Staubverfrachtungen, Waldbrände künstlich: Metallverhüttung, Verbrennung von Kehrlicht und fossilen Brennstoffen	natürlich: Vulkanausbrüche, Staubverfrachtungen künstlich: Metallverhüttung, Abfallbeseitigung, Emissionen Kraftfahrzeugverkehr	natürlich: Gesteinsverwitterung künstlich: Metallverhüttung, Korrosion von Hausinstallationen
geogene Gehalte in Böden [ppm]	0.05-1.5 [selten bis 10]	10 – 20	20 – 30
dominierende Form im Boden	vorwiegend als Sb(V), koordiniert mit Sauerstoff-, Hydroxo-, H ₂ O-Gruppen; gelöst als Antimonat und in Komplexform	in kalkigen Böden: PbCO ₃ ; in kalkfreien Böden: Pb(OH) ₂ , Pb ₃ (PO ₄) ₂ , Pb ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	ionisiert, als Humat (gelöst/ ungelöst) oder Cu(OH) ₂
Mobilität/Löslichkeit	Löslichkeit steigt mit steigendem pH-Wert und ist abhängig von Bodenzusammensetzung (starke Bindung an Fe, Mn, Al)	geringe Löslichkeit, die mit sinkendem pH zunimmt	minimale Löslichkeit bei pH 5-6, steigt mit sinkendem pH
essentiell für Lebensvorgänge	nein	nein	zur Biosynthese von Proteinen und Enzymen (Erwachsene benötigen 1.5 bis 3 mg/d)

Tabelle b-4 Toxizität der Schwermetalle

	Antimon (Sb)	Blei (Pb)	Kupfer (Cu)
Toxikologie			
allg. Bemerkungen	Sb hat ähnlichen Wirkungsmechanismus wie Arsenverbindungen, Vergiftungen sind aber seltener, da Antimonosalze Magen- und Darmwände schwerer durchdringen, Sb(III) ist etwa 10x toxischer als Sb(V)		
Pflanze			
Aufnahmepfade	über Wurzeln	gelöst über die Wurzeln, staubförmig über Spaltöffnungen	gelöst über die Wurzeln
Wirkung		Reaktion mit Enzymen und Proteinen, kaum wachstumshemmend	Schädigung des Wurzelwachstums, Chlorose
Tier			
Aufnahmepfade	Futter	Futter, Erde	Futter, Erde
akute Wirkung	Reizungen der Darmschleimhaut	Koliken, Sehstörungen, Aborte	tödlich nur bei Wiederkäuern
chronische Wirkung	Beeinträchtigung des Herz-Kreislaufsystems, Reproduktionsstörungen	Anämie, Gewichtsverlust, Nierenschädigung, Tod	Schädigung von Leber durch Hepatitis und Blut durch hämolytische Anämie
Mensch			
Aufnahmepfade	Nahrungsmittel (Mensch: 3-10 µg/d)	Atemluft, Nahrungsmittel, Erde (Kinder)	Nahrungsmittel
akute Wirkung	Reizungen von Augen, Haut, Darm bis zu Erbrechen und Durchfall (ähnlich wie Arsenikvergiftung)	Erbrechen, Koliken, Nierenversagen, Störung von Nervensystem und Blutstoffwechsel, in schweren Fällen Tod	gastrointestinale Störungen (Erbrechen, Durchfall)
chronische Wirkung	Entwicklung einer Staublunge, Beeinträchtigung von Herz und Kreislauf bis zum Tod, Leber, Milzschäden, bei Sb ₂ O ₃ kanzerogene Wirkung vermutet	Gewichtsabnahme, Nervosität, Magen-Darbeschwerden, psychische Veränderungen, Übelkeit	Leberzirrhosen bis zum Tod durch Leberversagen

[zusammengestellt aus Merian, 1984 und Alloway, 1999]

C Methodik

C-1 Probenahmestandorte

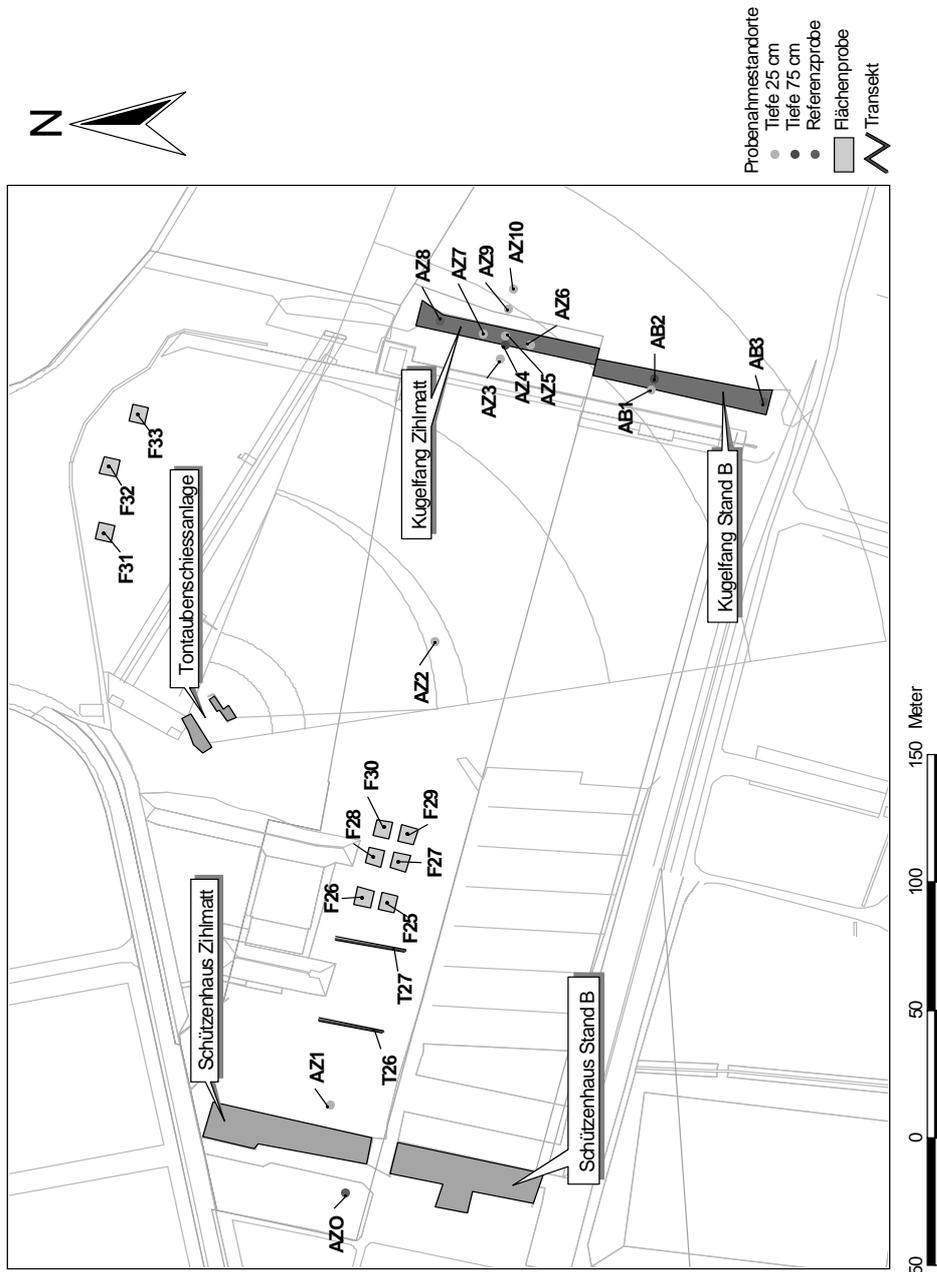


Abbildung c-1 Probenahmestandorte

C-2 Bilder der Probenahme (31. Oktober 2001)



Abbildung c-2 Vermessung des Kugelfangs



Abbildung c-3 Humax-Gerät



Abbildung c-4 Probenahme mit dem 25 cm-Humax-Gerät



Abbildung c-5 ohne Worte

C-3 Methodenbeschreibung

C-3.1 pH-Elektrodenmessung

Als Elektrolytlösung für die Herstellung der Bodensuspension wurde eine 0.01 M Kalziumchlorid-Lösung (CaCl_2) verwendet, welche in etwa der natürlichen Bodenlösung entspricht.

Vorgehen

In drei 50 ml Zentrifugenröhrchen wurde jeweils ein Löffel Feinbodenmaterial gegeben, ca. 30ml 0.01 M CaCl_2 hinzugefügt und geschüttelt. Nach 10 min. und 20 min. wurden die Proben nochmals geschüttelt und danach während weiteren 10 min. stengelassen. Danach wurde die pH-Elektrode in die überstehende klare Lösung eingeführt und einen konstanten pH-Wert abgewartet. Dieses Vorgehen wurde der Reihe nach mit allen drei Röhrchen der gleichen Bodenprobe wiederholt bis sich der pH überall eingependelt hat. Als pH einer Bodenprobe galt der Mittelwert aus den 3 Messungen.



C-3.2 Bestimmung des Carbonatgehaltes nach Passon

Für die qualitative Bestimmung wurde das Carbonat (CaCO_3) in der Bodenprobe mit einem Salzsäureüberschuss (HCl) gemäss folgender stöchiometrischen Gleichung vollständig zersetzt:



Das freigesetzte Kohlendioxid (CO_2) wurde gasvolumetrisch bestimmt. Die Beziehung zwischen Gasmengne und Carbonatgehalt lässt sich mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung für ein ideales Gas herleiten:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- Druck p [Pa] = 960 mbar = $9.6 \cdot 10^4$ Pa
- Volumen V [m³]
- Avogadro'sche Zahl n [mol]
- Temperatur T [K] = 293 K
- Gaskonstante R [JK⁻¹mol⁻¹] = 8.314 JK⁻¹mol⁻¹

1g CaCO_3 , aufgelöst unter den oben genannten Bedingungen, ergibt somit ein Gasvolumen von

$$V = \frac{0.01 \text{ mol} \cdot 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 293 \text{ K}}{9.6 \cdot 10^4 \text{ Pa}} = 254 \text{ ml}$$

Dieser Wert muss später in der Auswertung mitberücksichtigt werden.

Vorgehen Einwaage: 5g Feinboden (getrocknet bei 40°C, <2mm)



Das Entwicklungsgefäss (HCl) wurde langsam geneigt, damit die Säure langsam auf die Probe fließen konnte. Das dabei entstandene CO₂ verdrängte ein entsprechendes Luftvolumen, welches wiederum in das Messgefäss (U-Rohr) hinübertrat. In dem Masse wie sich CO₂ entwickelte, wurde Kochsalzlösung durch Öffnen des Hahns am U-Rohr abfließen gelassen, so dass die Flüssigkeitshöhen in beiden Schenkeln möglichst gleich blieb. Gelegentliches Schwenken des Entwicklungsgefässes sollte die vollständige Auflösung des CaCO₃ fördern. Nach Beendigung der Gasentwicklung wurde das produzierte Gasvolumen (ml) abgelesen.

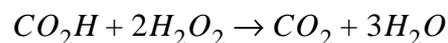
Auswertung Bei der Eichung mit CaCO₃ ergab sich ein Korrekturfaktor von 1.17, der bei der Berechnung der Ergebnisse zu berücksichtigen war. Der Carbonatgehalt (%) der Proben konnte mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$CaCO_3 = \frac{\text{Gasvolumen}}{\text{Einwaage} \cdot 254} \cdot \text{Faktor} \cdot 100$$

C-3.3 Veraschung der organischen Substanz mit Wasserstoffperoxid

Diese Methode diente der Bestimmung der organischen Substanz in der Probe.

Einwaage: 2g Feinboden (getrocknet bei 40°C, <2mm) in PE- Becher
Durch Zugabe von Wasserstoffperoxid (H₂O₂, 32%) wurde die organische Substanz in der Probe in einer stark exothermen Reaktion oxidiert:



Vorgehen H₂O₂ wurde solange beigegeben bis keine Reaktion (Schäumen) mehr beobachtet werden konnte. Anschliessend wurden die Proben im Ofen bei 105°C getrocknet. Aus der Differenz zwischen der Masse der Bodenprobe vor und nach der Veraschung ergab sich der Massenanteil der organischen Substanz.

Die Bodenproben wurden anschliessend für die Pipettmethode zur Bestimmung der Korngrößenverteilung zur Seite gestellt.

C-3.4 Pipettmethode zur Bestimmung der Korngrößenverteilung

Diese Methode diente der Bestimmung der Korngrößenverteilung einer Probe. Dabei wurden die verschiedenen Fallgeschwindigkeiten von Teilchen mit unterschiedlichem Durchmesser zu Nutzen gemacht (Stokes).

Praktisch bedeutet dies, dass aus einer Suspension nach der Zeit t (s) in der Tiefe l (cm) alle Teilchen mit Durchmesser $> d$ verschwunden sind.

Üblicherweise bestimmt man die Fraktionen wie folgt:

Schluff und Ton ($50 \mu\text{m}$) mit $l = 19.0 \text{ cm}$, $t = 84 \text{ s}$

Ton (2 mm) mit $l = 2.6 \text{ cm}$, $t = 2 \text{ h}$

Den Feinsandanteil erhält man durch Differenzrechnung.

Vorgehen 5 g Feinboden wurde in einer 0.2 % Calgonlösung mit Ultraschall dispergiert. Die Suspension wurde anschliessend in einen 500 ml Stehzylinder eingefüllt und mit der gleichen Calgonlösung aufgefüllt.

Nachdem die Pipettiereinrichtung auf die richtige Tiefe eingestellt wurde, wurde die Suspension nochmals geschüttelt und sobald die sichtbare Turbulenz verschwunden war, mit der Zeitmessung begonnen. Nach der Zeit t wurde in der Tiefe l eine Probenmenge von 10 ml entnommen und in eine kleine Porzelschale pipettiert. Dies wurde für die beiden Fraktionen von 50 mm und 2 mm durchgeführt.

Durch Eindampfen des Wassers, Wägen und Abziehen des Calgonanteils (2 %) erhielt man das Gewicht der entnommenen Kornfraktion.



C-3.5 Extraktion von Schwermetallen mit Natriumnitrat-Lösung

Der Natriumnitrataufschluss (NaNO_3) gibt Hinweise auf den löslichen und pflanzenverfügbaren Schwermetallgehalt in einer Probe. Die Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) stützt sich ebenfalls auf diese Methode, wenn der lösliche Schwermetallgehalt bestimmt werden soll.

Vorgehen 20 g Feinboden wurde mit 50 ml 0.1 M Natriumnitrat-Lösung (NaNO_3) gemischt, während 2h bei ca. 120 U/min geschüttelt und danach abzentrifugiert (10min, 1500 rpm). Der überstehende NaNO_3 -Extrakt wurde anschliessend abdekantiert und durch einen Membranfilter (Celluloseacetat $0.45 \mu\text{m}$) gefiltert.

Anschliessend wurden die Schwermetalle Blei, Antimon und Kupfer mit dem Flammen-Atom-Absorptions-Spektrometer (AAS) gemessen.

C-3.6 Extraktion von Schwermetallen mit Salpetersäure

Diese Methode eignet sich zur Bestimmung von Schwermetallen, die durch Verwitterung freigesetzt werden oder nachträglich in den Boden gekommen sind. Sie eignet sich nicht zur Bestimmung des totalen Schwermetallgehaltes im Muttergestein. Die Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) stützt sich auf diese Methode, falls der totale Schwermetallgehalt bestimmt werden soll.

Vorgehen Bei diesem Aufschluss wurde 5 g Feinboden abgewogen und in 50 ml 2 M Salpetersäure (HNO₃) suspendiert. Die Suspension wurde im heissen Wasserbad knapp unter dem Siedepunkt (90°C) während 2h extrahiert. Anschliessen wurde der Extrakt in Plastikflaschen abfiltriert.

Die Messung der Schwermetalle erfolgte mit einem Flammen-Atomabsorptions-Spektrometer (AAS).

C-3.7 Extraktion von Antimon mit Oxalat-Lösung

Die Oxalatextraktion ist der 5. Schritt der sequentiellen Extraktion zur Bestimmung der Schwermetallbindungsformen in Böden nach Zeien und Brümmer. Sie liefert Informationen über die an kristalline Eisenoxide schlecht gebundenen Schwermetalle. Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit dieser Methode nur das Antimon gemessen.

Vorgehen 2 g Feinboden wurden mit 50 ml 0.2 M Ammoniumoxalat gemischt, während 4h im Überkopfschüttler im Dunkeln geschüttelt und danach abzentrifugieren (15min, 2500rpm). Die Lösungen wurden durch Faltenfilter in PE-Flaschen abdekantieren und anschliessend das Antimon mit dem Flammen-Atomabsorptions-Spektrometer (AAS).

D Resultate

D-1 Zusammenstellung der Resultate

Tabelle d-1 organische Substanz, Carbonatgehalt und Korngrößenverteilung

Standort	Probennummer	Tiefe	Abstand vom Schützenhaus	pH	organische Substanz [%]	Carbonatgehalt [%]	Korngrößenverteilung		
		[cm]	[m]				Sand	Schluff	Ton
Stand Zihlmatt	AZ 0	0-12.5	-11	7.19					
		12.5-25	-11	7.17					
	AZ 1	0-12.5	10	7.27					
		12.5-25	10	7.32					
	AZ 2	0-12.5	200	6.92					
		12.5-25	200	7.22					
	AZ 3	0-12.5	307	6.42					
		12.5-25	307	7.19					
	AZ 5	0-12.5	316.5	6.81	25.24	2.76	45.25	40.5	14.25
		12.5-25	316.5	6.96	14.32	5.93	67.35	21	11.65
	AZ 6	0-12.5		6.85					
12.5-25			6.65						
AZ 7	0-12.5		6.75						
	12.5-25		6.92						
AZ 8	0-12.5		6.47						
	12.5-25		7						
AZ 9	0-12.5	332.2	4.37						
	12.5-25	332.2	4						
AZ 10	0-12.5	342.2	3.47						
	12.5-25	342.2	4.02						
AZ 4	0-12.5	314.7	7.06	31.6	3.31	35.65	44.7	19.65	
	12.5-25	314.7	7.13	16.96	2.85	55.7	28.95	15.35	
	25-37.5	314.7	7.33	6.06	2.58	57.35	31.2	11.45	
	37.5-50	314.7	7.43	1.52	3.78	70.1	23	6.9	
	50-62.5	314.7	7.36	1.52	4.1	63.05	25.45	11.5	
62.5-75	314.7	6.49	0.36	0.46	63.3	19.5	17.2		
Stand B	AB 2	0-12.5		6.79					
		12.5-25		4.02					
	AB 3	0-12.5		6.61					
12.5-25			6.57						
AB 1	0-12.5		6.92						
	12.5-25		7.06						
	25-37.5		7.11						
	37.5-50		7.17						
	50-62.5		7.25						
62.5-75		7.25							
Flächenproben und Transekte	F25			5.23					
	F26			5.14					
	F27			5.2					
	F28			5.42					
	F29			5.27					
	F30			5.4					
	F31			5.79					
	F32			4.75					
	F33			5.33					
	T26			6.79					
T27			6.58						

Tabelle d-2 totale und lösliche Schwermetallgehalte

Standort	Probenummer	Tiefe [cm]	Schwermetalle						
			Cu [ppm]	Cu lösli [ppm]	Pb [ppm]	Pb lösli. [ppm]	Sb [ppm]	Sb (oxalat) [ppm]	Sb lösli. [ppm]
Stand Zihlmatt	AZ 0	0-12.5	51	0.31	460	n.n.	6	2	0.60
		12.5-25	30	0.23	843	0.14	8	13	0.41
	AZ 1	0-12.5	n.n.	n.g.	358	n.g.	6	2	n.g.
		12.5-25	8	n.g.	389	n.g.	5	27	n.g.
	AZ 2	0-12.5	n.n.	n.g.	890	n.g.	3	14	n.g.
		12.5-25	93	n.g.	715	n.g.	7	24	n.g.
	AZ 3	0-12.5	331	1.10	17144	2.33	27	122	0.76
		12.5-25	7	0.10	360	0.10	4	33	0.88
	AZ 5	0-12.5		4.34	286357	8.17	405	5425	5.48
		12.5-25	4489	1.98	406277	3.55	80	6062	3.53
	AZ 6	0-12.5	3472	4.09	195404	4.88	457	3443	2.81
		12.5-25	3320	2.11	380976	6.39	454	4686	3.05
	AZ 7	0-12.5	4522	4.15	229098	5.36	351	4636	2.42
12.5-25		5929	1.22	267460	2.15	63	4692	2.97	
AZ 8	0-12.5	3628	2.66	151145	9.21	251	2759	1.77	
	12.5-25	2783	1.61	56086	1.14	153	1103	2.55	
AZ 9	0-12.5	117	0.33	7334	24.58	10	158	0.87	
	12.5-25	22	0.15	1260	34.64	4	41	0.65	
AZ 10	0-12.5	n.n.	0.11	1964	33.02	4	91	0.11	
	12.5-25	4	0.09	232	3.89	3	14	0.53	
AZ 4	0-12.5	1818	4.30	243974	5.98	542	3312	4.70	
	12.5-25	1836	3.17	261193	3.11	281	4499	3.25	
	25-37.5	1732	0.97	80093	1.56	302	1463	2.15	
	37.5-50	1389	0.18	31915	0.35	157	451	2.04	
	50-62.5	1013	0.27	14029	0.29	43	339	1.70	
	62.5-75	12	0.04	68	0.00	4	29	0.20	
Stand B	AB 2	0-12.5	6814	0.90	299865	1.68	32	5515	3.61
		12.5-25	4871	1.25	176657	2.70	64	3809	4.26
	AB 3	0-12.5	5072	4.18	259230	5.31	40	4799	1.82
		12.5-25	3542	3.26	201987	4.31	90	4345	2.16
	AB 1	0-12.5	1846	0.96	309571	1.07	32	4666	2.52
		12.5-25	1827	0.71	152134	0.75	74	2850	1.84
25-37.5		1566	0.35	39341	0.79	47	721	1.28	
37.5-50		1679	0.36	21698	0.65	27	558	1.19	
50-62.5	437	0.10	4432	0.19	7	139	0.30		
62.5-75	618	0.10	6909	0.25	6	119	0.79		
Flächenproben und Transekte	F25		32		219		2	21	
	F26		46		208		3	17	
	F27		33		232		2	26	
	F28		88		224		2	29	
	F29		38		224		2	18	
	F30		39		238		6	22	
	F31		81		3858		4	88	
	F32		19		955		3	20	
	F33		49		154		2	22	
	T26		59		233		3	17	
T27		44		224		3	18		

n.g.: nicht gemessen
n.n.: nicht nachweisbar

D-2 Übersicht über die Belastungszonen

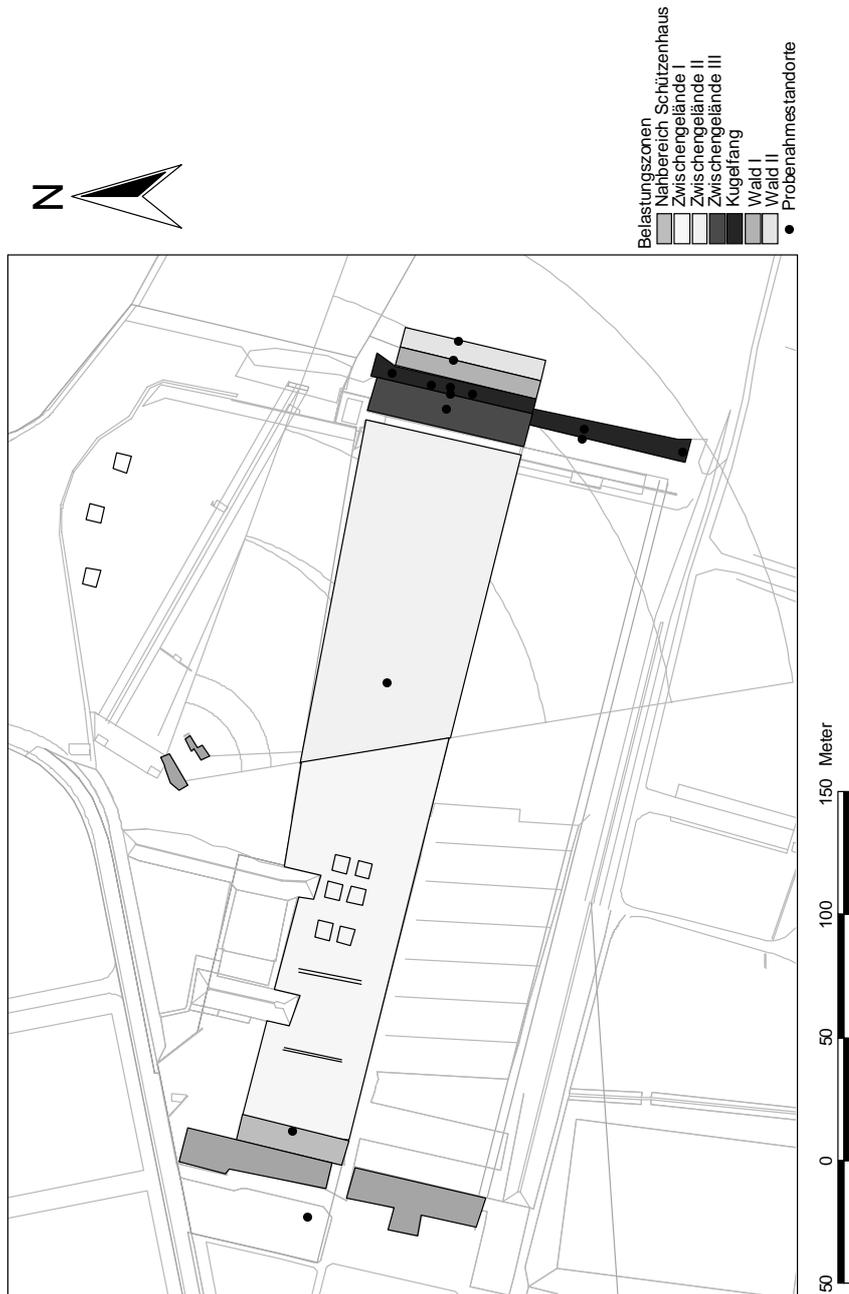


Abbildung d-1 Einteilung der Belastungszonen

D-3 Zusammenstellung weiterer Diagramme

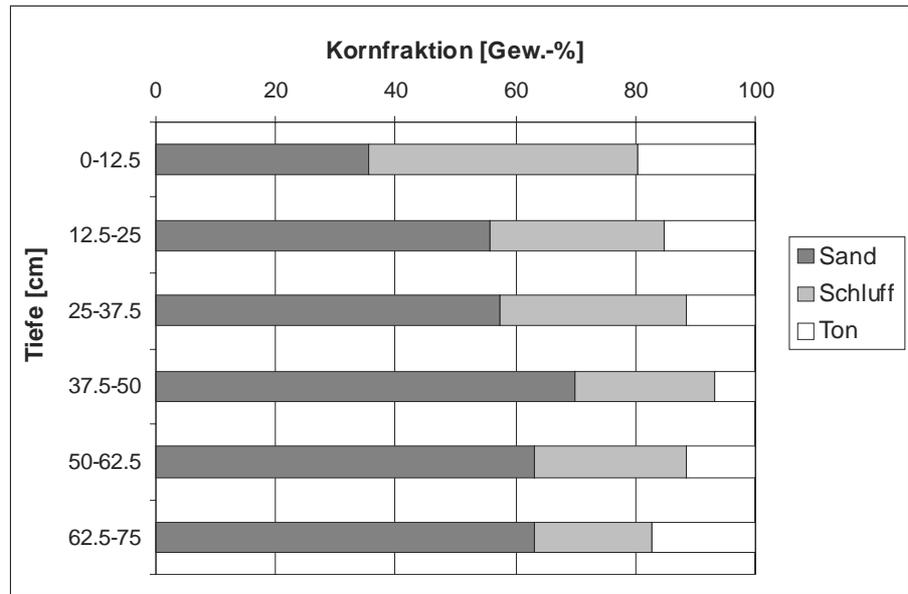


Abbildung d-2 Verteilung der Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton im Tiefenprofil Zihlmatt (AZ4)

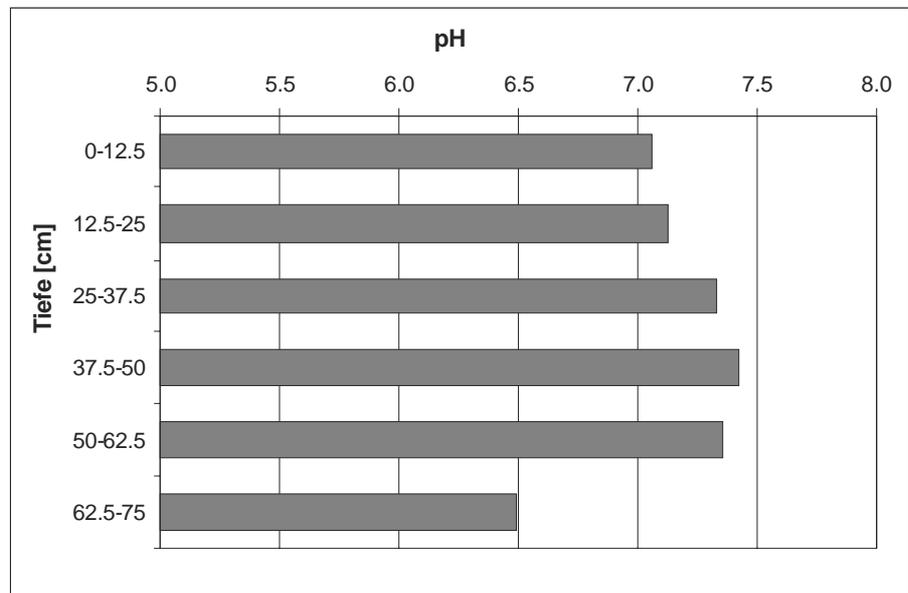


Abbildung d-3 pH-Wert im Tiefenprofil Zihlmatt (AZ4)



Abbildung d-4 Tiefenprofil AB1 im Kugelfang B

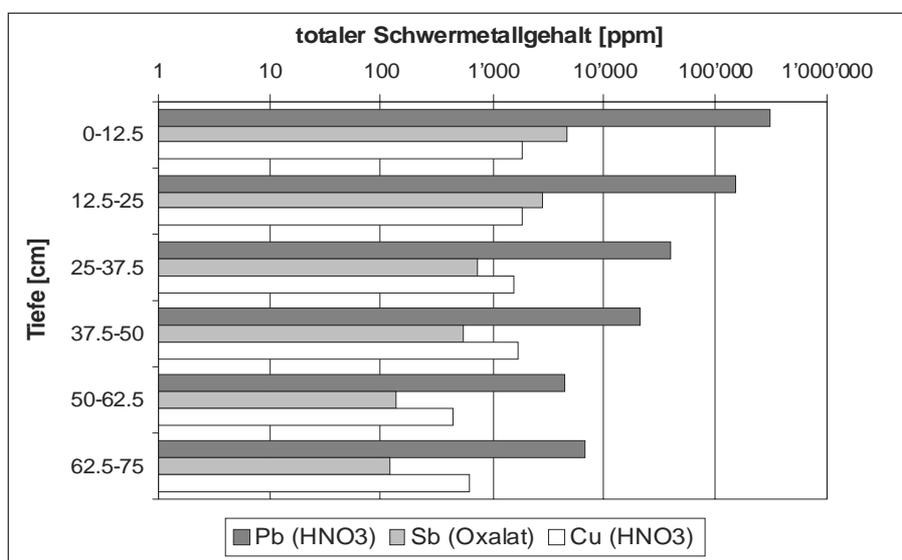


Abbildung d-5 totale Schwermetallgehalte im Tiefenprofil B (AB1)

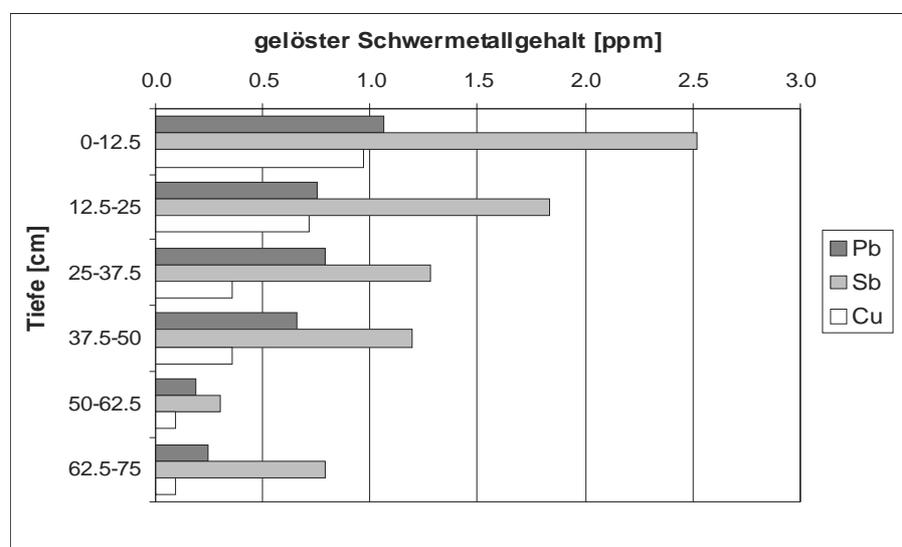


Abbildung d-6 gelöste Schwermetallgehalte im Tiefenprofil B (AB1)

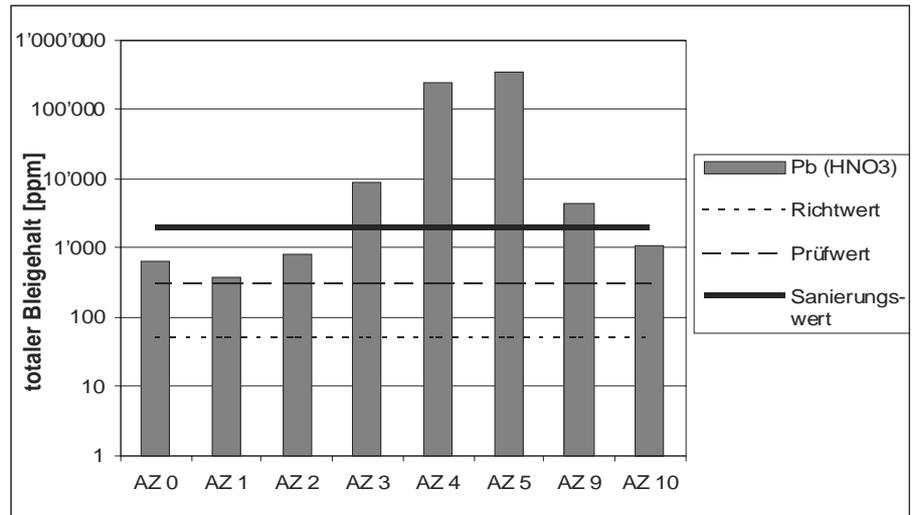


Abbildung d-7 Totalgehalt für Blei

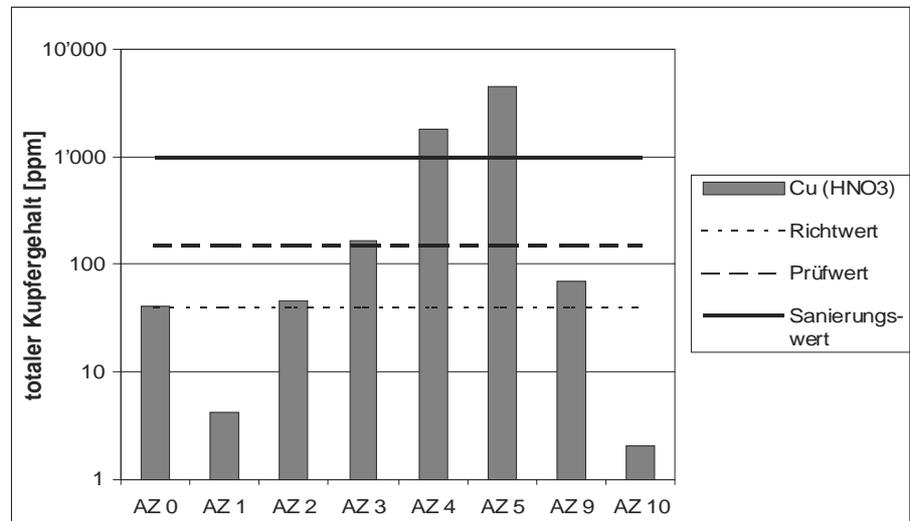


Abbildung d-8 Totalgehalt für Kupfer

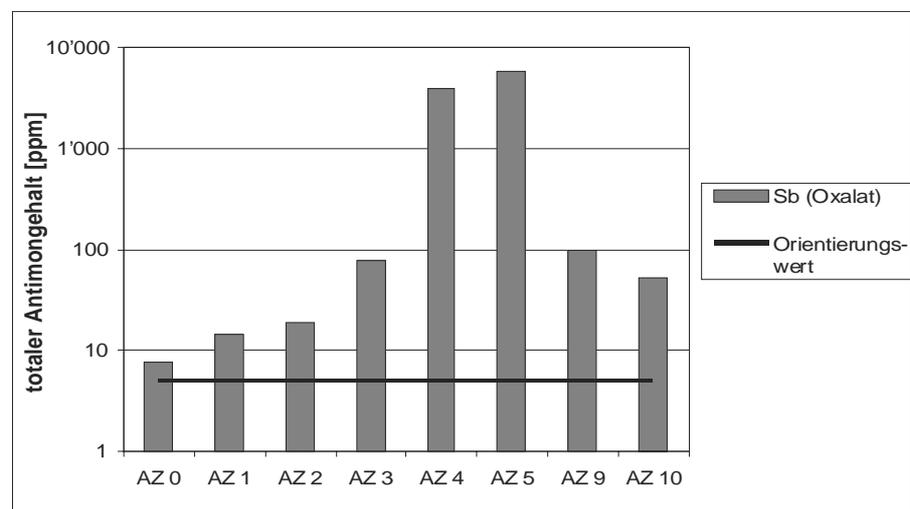


Abbildung d-9 Totalgehalt für Antimon

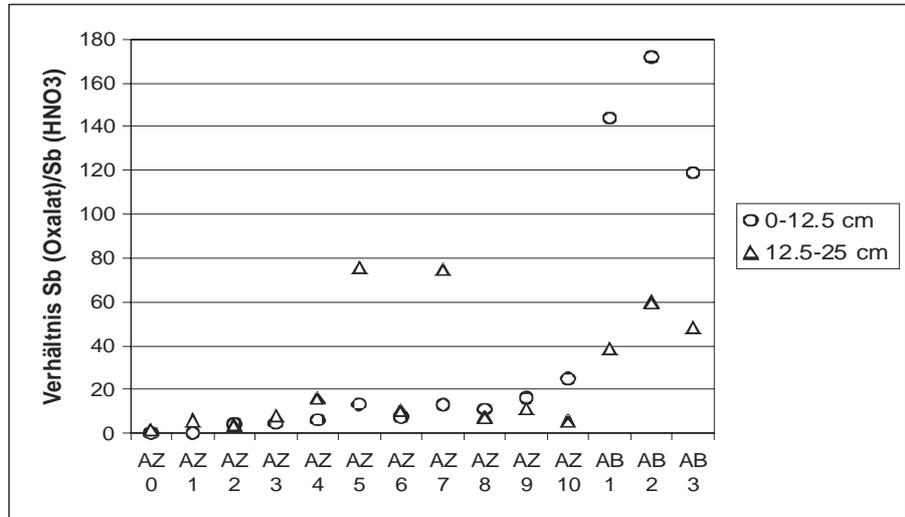


Abbildung d-10 Vergleich der Oxalat- mit der HNO₃-Methode

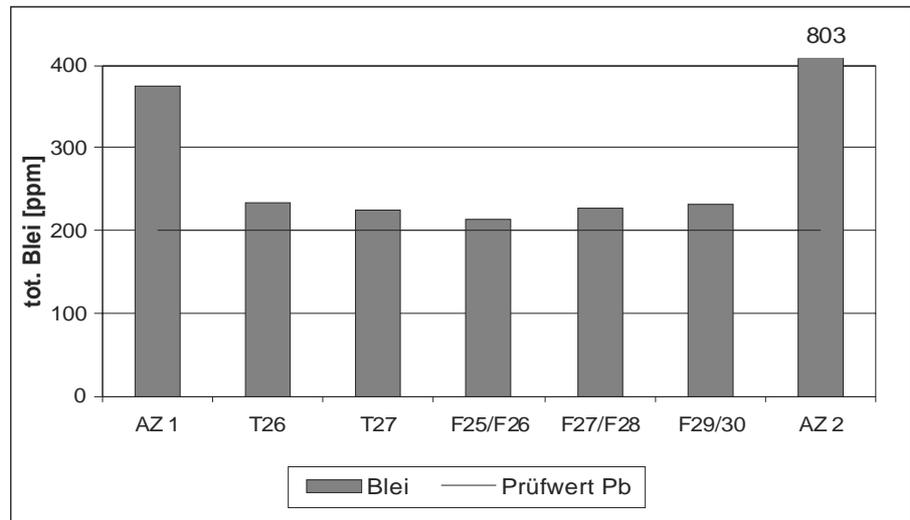


Abbildung d-11 Bleibelastung im Zwischengelände

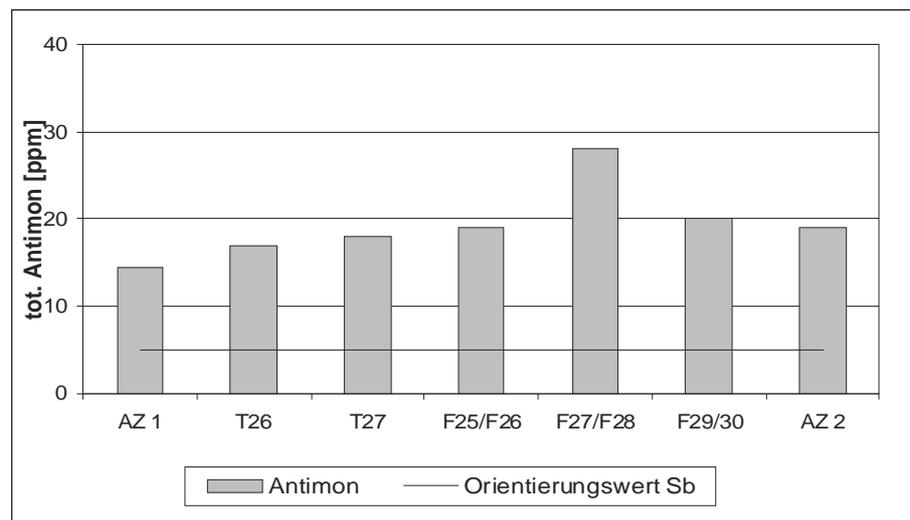


Abbildung d-12 Antimonbelastung im Zwischengelände

E Gefährdungsabschätzung

E-1 Resultate von Eluattests

Tabelle e-1 Totalgehalte der Kugelfangproben

	Totalgehalt (HNO ₃ -Extraktion)		pH
	Blei	Antimon	
	[mg/kg]	[mg/kg]	
Standort A	3220	14	7-8
Standort B	85200	267	7.62
	22600	18.9	7.49
Standort C	1894		
	29900		
	6760		

Tabelle e-2 Resultate der Eluattests

Blei	Eluattest Wasser/Feststoff: 0.25			Eluattest Wasser/Feststoff: 3			Eluattest Wasser/Feststoff: 6		
	[mg/l]	Eluat/KW(Pb)**	% von Pb(tot)	[mg/l]	Eluat/KW(Pb)**	% von Pb(tot)	[mg/l]	Eluat/KW(Pb)**	% von Pb(tot)
Standort A	<0.005		<1.6E-04	<0.005		<1.6E-04			
Standort B	0.110	2.2	1.3E-04	0.190	3.8	2.2E-04	0.200	4	2.3E-04
	0.013	0.26	5.8E-05	0.159	3.18	7.0E-04	0.241	4.82	1.1E-03
Standort C	0.002	0.04	1.1E-04	0.122	2.44	6.4E-03	0.016	0.32	8.4E-04
	0.017	0.34	5.7E-05	0.107	2.14	3.6E-04	0.126	2.52	4.2E-04
	0.002	0.04	3.0E-05	0.010	0.2	1.5E-04	0.003	0.06	4.4E-05

*KW(Pb) = Konzentrationswert für Blei nach AltIV, Anh. 1 (0.05mg/l)

Antimon	Eluattest Wasser/Feststoff: 0.25			Eluattest Wasser/Feststoff: 3			Eluattest Wasser/Feststoff: 6		
	[mg/l]	Eluat/KW(Sb)**	% von Sb(tot)	[mg/l]	Eluat/KW(Sb)**	% von Sb(tot)	[mg/l]	Eluat/KW(Sb)**	% von Sb(tot)
Standort A	0.320	32	2.29	0.016	2	0.11			
Standort B	2.560	256	0.96	2.360	236	0.88	1.700	170	0.64
	0.944	94	4.99	0.832	83	4.40	0.338	34	1.79
Standort C	0.359	36		0.137	14		0.065	7	
	2.590	259		2.770	277		2.540	254	
	0.202	20		0.269	27		0.285	29	

**KW(Sb) = Konzentrationswert für Antimon nach AltIV, Anh. 1 (0.01mg/l)

[anonymisierte Daten der Bodenschutzfachstelle Solothurn]

F Abkürzungen, Glossar

AAS	Atomabsorptionsspektrometer
AB	Probenbezeichnung für Schiessstand B
AfU	Amt für Umweltschutz
AltIV	Altlastenverordnung
AZ	Probenbezeichnung für Schiessstand Zihlmatt
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Cu	Kupfer
EMD	Eidgenössisches Militärdepartement
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
Gew.-%	Gewichtsprozent
GP 11	Gewehrpatrone 11
Gw Pat 90	Gewehrpatrone 90
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
HNO ₃	Salpetersäure
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
ItÖ	Institut für terrestrische Ökologie
LSV	Lärmschutzverordnung
MG	Militärgesetz
NaNO ₃	Natriumnitrat
Pb	Blei
pH	Mass für den Säuregrad des Wassers bzw. Bodens
ppm	parts per million (z.B. mg/kg)
RPG	Raumplanungsgesetz
Sb	Antimon
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
USG	Umweltschutzgesetz
VASA	Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten
VBBö	Verordnung über die Belastung des Bodens
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerung und Sport