

Schadstoffbelastung der Böden und des Aufwuchses im Bereich von Wurftauben-Schießanlagen

**Umweltministerium
Baden-Württemberg**

**Luft
Boden
Abfall**



Heft 38



Bodenschutzfachinformation im WWW

IMPRESSUM

Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg

Kernerplatz 9

70182 Stuttgart

Basierend auf einer im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg von R. Kohlmann durchgeführten Erhebung
UM-17-95 September 1995

**Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage.
Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt.
Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind - auch auszugsweise- nur für
eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.**

Schadstoffbelastungen der Böden und des Aufwuchses im Bereich von Wurftau- ben-Schießanlagen

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	2
1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	3
2 UNTERSUCHUNGSOBJEKTE UND -METHODEN	5
2.1 UNTERSUCHUNGSOBJEKTE.....	5
2.2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN	7
2.2.1 <i>Beprobung der Profilgruben</i>	7
2.2.2 <i>Entnahme der Flächenproben</i>	8
2.2.3 <i>Entnahme der Pflanzenproben</i>	9
2.2.4 <i>Labormethoden: Aufbereitung und chemische Analysen der Boden- und Pflanzenproben</i>	10
3 ERGEBNISSE	12
3.1 POSITIONIERUNG DER PROFILGRUBEN.....	12
3.2 GEHALTE ANORGANISCHER SCHADSTOFFE IN DEN BÖDEN DER ANLAGEN	15
3.3 ANORGANISCHE SCHADSTOFFE IN PFLANZEN.....	21
3.4 ORGANISCHE SCHADSTOFFE (PAK) IN BÖDEN	22
4 FAZIT UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	24
5 ZUSAMMENFASSUNG	30
6 LITERATUR	31
INDEXVERZEICHNIS	32
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	33
TABELLENVERZEICHNIS	33

Vorwort

Die vorliegende Untersuchung von Böden und Pflanzen an ausgewählten Wurftaubenschießanlagen in Baden-Württemberg zeigt, daß im Bereich solcher Anlagen die Böden durch Schadstoffe beeinträchtigt werden. Das durch den Schießbetrieb eingetragene Bleischrot korrodiert und verwittert je nach Standortverhältnissen unterschiedlich schnell, wodurch - entgegen der bisher verbreiteten Auffassung - Blei sowie weitere Schadstoffe im Boden freigesetzt werden. Diese Schadstoffe können in Pflanzen, in das Sicker- und in das Grundwasser übergehen oder die Bodenorganismen schädigen.

Dies ist ein entscheidendes Ergebnis der vorliegenden Untersuchung. Auch wurden bereits Kontaminationen landwirtschaftlicher Flächen und von Gewässersedimenten in der Nachbarschaft von Wurftaubenschießanlagen durch unbeabsichtigten Schadstoffeintrag festgestellt. Langfristig müssen wir deshalb von nachhaltigen Beeinträchtigungen anderer Schutzgüter durch die Bodenkontaminationen im Bereich der Schießanlagen ausgehen.

Diese Ergebnisse machen deutlich, daß erhebliche Anstrengungen erforderlich sind, um die von den vorhandenen Kontaminationen ausgehenden Gefahren zu minimieren und um gleichzeitig durch technische Vorkehrungen neue Schadstoffeinträge bei der Ausübung des Schießsports zu vermeiden. Es gilt den Schutz unserer Böden und ihrer mannigfachen Funktionen im Naturhaushalt sicherzustellen.

In diesem Sinne appelliere ich an die Betreiber und Nutzer der Wurftaubenschießanlagen sowie an die Industrie, neue Strategien zur Gestaltung umweltverträglicher Wurftaubenschießanlagen voranzutreiben und darüber hinaus bereits eingetretene Bodenbelastungen im gemeinsamen Bemühen mit der Bodenschutzverwaltung zu sichern und wo möglich zu sanieren.

Harald B. Schäfer
Umweltminister des Landes Baden-Württemberg

1 Einleitung und Fragestellung

In Baden-Württemberg existieren nach Betreiberangaben anlässlich einer Umfrage des Umweltbundesamtes (UBA) 89 Trap- (Tauben fliegen in eine Richtung) und/ oder Skeet-Anlagen (Tauben fliegen in verschiedene Richtungen) sehr unterschiedlicher Frequentierung. Der Umfrage aus dem Jahr 1989 zufolge wurden auf diesen Anlagen jährlich zwischen 1.000 und 400.000 Schuß je Anlage abgegeben. Die dabei auf bzw. in die Böden gelangten Schrotmengen verteilen sich je nach Art des Schießbetriebs auf kleinere, z. B. bei Trap-Anlagen ca. 1,2 ha große, oder auf größere, z. B. bei Skeet-Anlagen ca. 2,3 ha große Flächen. Die größten je Schießbahn eingetragenen Schrotmengen wurden jedoch nicht auf der Anlage mit der maximalen Schußzahl (auf insgesamt vier Schießständen) vorgefunden, sondern auf einer mit 150.000 Schuß betriebenen Anlage mit nur einem Schießstand. Mit ca. 28 g Bleischrot je Schuß ergibt sich somit eine jährliche Verteilung von 28 - 11.200 kg Schrot in die Fläche.

Mit der im Mittel aus

92 Gew.-% Blei (Pb),
2 Gew.-% Antimon (Sb),
0,6 Gew.-% Arsen (As) und
0,02 Gew.-% Kupfer (Cu)

zusammengesetzten Legierung des Bleischrots gelangen dann

26 - 10.304 kg metallisches Pb,
0,56 - 224 kg Sb,
0,17 - 67 kg As und
0,056 - ca. 22 kg metallisches Cu

je Anlage und Jahr auf bzw. in die Böden und werden dort über lange Zeit (in der Regel mehrere Jahrzehnte) akkumuliert oder im Laufe der Zeit als Korrosionsprodukte dieser Schwermetall- und Arsen-Anreicherungen im Boden mobilisiert.

Werden 1,5 abgegebene Schuß für jede Wurftaube zugrunde gelegt, so kann von einem Verbrauch von 670 bis 270.000 Wurftauben pro Anlage und Jahr ausgegangen werden. Bei einem Wurftaubengewicht von 110 g entspricht dies einer Menge von 73 - 29.700 kg Taubenscherben. Die größeren Scherben werden auf fast allen Anlagen - zumindest im Hauptaufschlagbereich - aufgesammelt.

In der Vergangenheit wurde oft die Auffassung vertreten, daß sich auf den an der Bodenoberfläche oder im Boden liegenden Schrotkugeln im Laufe der Zeit eine Oxidschicht bildet, die die Schrotkugeln vor weiterer Oxydation, Korrosion und Verwitterung schützt und der Bleischrot im Boden damit quasi-inert(isiert) würde. Dadurch wird verständlich, daß viele Schrotschießplätze in der Nähe oder innerhalb von Wasserschutzgebieten liegen und sogar Wasserschutzgebiete trotz bestehender und betriebener Schießplätze ausgewiesen wurden. Spätestens die Untersuchungen von HAHN (1986), des Bayerischen Geologischen Landesamts, des Bayeri-

schen Landesamts für Umweltschutz und des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft (1988) sowie die Erhebungen von CRÖSSMANN et al. (1989) ließen Zweifel an der Richtigkeit der Inert(isierungs)-Hypothese aufkommen. Die Ergebnisse dieser Studien weisen vielmehr darauf hin, daß die Oxidschicht auf den Bleischrotkügelchen immer wieder schuppenförmig abplatzt (CRÖSSMANN et al.), wo-durch die chemisch reaktive Oberfläche der Restpartikel vergrößert und die Verwitterung des Bleischrots intensiviert wird.

In einem Eluiversuch mit H₂O dest. zeigten CRÖSSMANN et al. mit oxidiertem (gealtertem) gegenüber frischem Bleischrot steigende Lösungskonzentrationen an Pb und Sb mit sinkendem pH-Wert. Schon bei pH 7,0 ist Pb und ab pH 5,5 auch Sb im Eluat nachweisbar.

Die Ausbreitung und Verteilung des Bleischrots in die Fläche wird bestimmt durch die Art des Schießens (Trap- oder Skeet-), die Größe der verwendeten Schrotkörner (die Schußweite in m entspricht etwa dem Durchmesser des Schrots in mm x 100), die Geländeform und die Schießrichtung. Gegenüber einem in einer Ebene liegenden Schießplatz wird der Bleischrot also auf eine wesentlich kleinere Fläche verteilt, wenn in einen Hang hinein- und auf eine größere Fläche, wenn aus erhöhter Position aus einem Hang geschossen wird. Wieviel Bleischrot je Flächeneinheit gefunden wird, hängt weiter vom Alter und von der Frequentierung der Anlage ab.

Ob und inwieweit die Erfüllung verschiedener Bodenfunktionen, insbesondere als Filter und Puffer für Schadstoffe, gefährdet ist, wird weitgehend durch die natürliche Ausstattung des Standorts (Boden, Gestein, Relief, Klima) bestimmt. Die Auswirkungen auf die einzelnen Ökosystemkomponenten (Böden, Pflanzen, Gewässer) sind wegen deren ungleichmäßigen Verteilung und Unterschiedlichkeit kaum, höchstens in Einzelfällen von einem auf ein anderes Objekt übertragbar.

Ziel der Studie ist es deshalb, neben der Bewertung der Ergebnisse anhand der 3. Verwaltungsvorschrift zum Bodenschutzgesetz B.-W. über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden ("VwV Anorganische Schadstoffe"), die wesentlichen Einflußgrößen zu quantifizieren. Daraus können Anlagen ähnlichen Kontaminationsrisikos in Gefährdungsklassen zusammengefaßt werden, um damit Beurteilungshilfen für den Verwaltungsvollzug zu erhalten. Weiteres Ziel ist dann die Beantwortung der Frage nach den Risiken einer Kontamination der Böden, des Aufwuchses und der Gewässer (Sicker-, Hangzug-, Grund- und Oberflächenwasser) mit Pb, As, Sb, Cd und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) infolge des Schießbetriebs auf Wurf taubenschießplätzen.

Hierzu wurden von den 89 Wurf taubenanlagen in Baden-Württemberg - nach einer Vorauswahl aufgrund der Umfrageergebnisse und geologischer Karten - die Böden von zwanzig Anlagen in einer Bohrstockbeprobung sondiert und bodenkundlich angesprochen (AG BODENKUNDE 1982). Anhand der Ergebnisse dieser Standortansprache und nach den vorgenannten Kriterien wurden dann zehn Anlagen eingehend untersucht.

2 Untersuchungsobjekte und -methoden

2.1 Untersuchungsobjekte

Zur Untersuchung der Kontaminationsrisiken und ihrer Abhängigkeit von der natürlichen bzw. der nutzungsspezifischen Ausstattung der Standorte, wurden solche Standorte ausgewählt, die sich in der Art der Böden und der darauf wachsenden Pflanzen, im Wasserhaushalt der Böden, ihrer Position in der Landschaft sowie nach dem Nutzungsalter als Schießplatz und der Intensität des Schießbetriebs unterscheiden.

Die Böden der Anlagen unterscheiden sich entsprechend des bodenbildenden Ausgangsgesteins (Petro- und Stratigraphie) in der Bodenform, im Bodentyp und in ihren Bodeneigenschaften. In die Untersuchung einbezogen wurden Anlagen mit gegenüber den eingebrachten Schadstoffen unterschiedlich belastbaren Böden und daher mit unterschiedlichen Risiken der Kontamination von Pflanzen und Gewässern.

In TABELLE 2.1 sind die charakteristischen Standort-Daten der untersuchten Anlagen zusammengestellt. Darin finden sich auch Angaben zur Bodenform, zu den Tongehaltsgruppen der Böden und zu den Boden-pH-Werten, die zur Interpretation der Ergebnisse entsprechend den Vorgaben der 3. VwV BodSchG erforderlich sind. Alle Angaben in der Tabelle sind für die Beurteilung des Einzelfalls von wesentlicher Bedeutung und müssen deshalb in künftigen Untersuchungen von Schrotschießplätzen als obligatorische Grunddaten generell erhoben werden.

Sechs der zehn untersuchten Anlagen liegen in Forsten, davon drei in zumindest fachtechnisch abgegrenzten Wasserschutzgebietszonen III b bzw. III. Zwei Anlagen sind 1,4 bzw. 4 km vom nächsten Wasserschutzgebiet entfernt. Zudem grenzen vier der sechs Anlagen im Forst direkt an Oberflächengewässer oder Tümpel, kleinere Vorfluter befinden sich innerhalb der Anlage bzw. durchfließen sie. Eine der Anlagen im Forst (S km4 STst-Be) wird von einem verdolten Bach unterquert. Von den übrigen vier Anlagen außerhalb der Forsten stehen zwei unter Acker- nutzung, eine wird als Grünland und Wiese genutzt, und eine Anlage (Sö jwKst-kBe, Wachhol- derheide) wird extensiv, zeitweilig als Schafweide genutzt. Letztere liegt innerhalb der Schutz- zone III eines Wasserschutzgebiets.

Tabelle 2.1 Schießplatzstandorte und -böden unter verschiedener Nutzung sowie Lage zu Wasserschutzgebieten, Oberflächengewässern und zum Grundwasser von verschieden alten und frequentierten Schrotschießanlagen in Baden-Württemberg.

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Vegetation	Nutzung	WSG-Zone oder Entfernung	Oberflächen-Gewässer Entfernung	Grundwasser	Ton	pH im Boden Bleischrot mit/ohne
F	smcl Sst-Po	41	8.000	Fichten	Forst	k.A.	direkt (Tümpel)	k.A.	T2	3,7 / 3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	Fichten	Forst	IIIb	direkt (Vorflut)	k.A.	T2,3	4,0 / 3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	Buche, Eiche	Forst	1,4 km	Bach verdolt	k.A.	T2,3	4,0 / 4,2
I	DünS-Be	k.A.	k.A.	Kiefer, Birke	Forst	IIIb	k.A.	k.A.	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	Wachholderheide	zeitweilig Schafsweide	III	k.A.	k.A.	T4	6,0 / 6,0
N	L-Be	23	120.000	Sommerung	Acker	k.A.	1,5 km	k.A.	T4	6,6 / 6,2
W	fISKi-AB	19	15.000	Brache	Acker	k.A.	ca. 1 km	< 1 m u. GOF	T3	5,3 5,4
K	Nm	26	48.000	Bruchwald	Forst	fachtechn. III	Entwässerungsgräben	< 0,6 m u. GOF	T2,3	5,1 4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	Wiese	Grünland	0,2 km	k.A.	k.A.	T4	6,4 / 6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	Fichte	Forst	ca. 4 km	direkt (Vorflut)	k.A.	T3	5,2 / 4,2

smc1 = Mittlerer Buntsandstein fISKi = fluviatile Sande u. Kiese Kst = Kalkstein Tf = Terra fusca k.A. = keine Angabe
 jw = weißer Jura DünS = Dünen sand AB = Auftragsboden Nm = Niedermoor WSG = Wasserschutzgebiet
 km4 = Stubensandstein Sst = Sandstein Be = Braunerde PO = Podsol
 L = Löß STst = Sand-Tonstein kBe = kolluviale Braunerde u.GOF = unter Geländeoberfläche

Risiken des Aus- oder Abtrags von Schadstoffen ergeben sich durch

1. Hangzugwasser
2. Sickerung
3. Erosion.

Damit besteht die Gefahr des Schadstoffeintrags

- in das Grundwasser (a oder b)
- in Oberflächengewässer (a oder c)

oder auf benachbarte Flächen (c, eingeschränkt auch a) mit entsprechenden Auswirkungen auf die Vegetation und die künftige Nutzbarkeit der Flächen und Gewässer.

2.2 Untersuchungsmethoden

2.2.1 Beprobung der Profilgruben

Die Lage und Größe der Hauptaufschlagbereiche hängen von der Betriebsdauer und Frequenzierung der Anlage sowie insbesondere von der Position der Schießbahn in der Landschaft ab. Diese Bereiche wurden auf den für detaillierte Untersuchungen ausgewählten Anlagen anhand der Betreiberangaben, der lokalen Gegebenheiten vorort (TABELLE 2.1) und von Erkundungen im Gelände näherungsweise abgegrenzt. Die vornehmlich von Bleischrot beaufschlagten Flächen müssen zunächst anhand von Geländebefunden lokalisiert werden (Spatenproben), der von Wurfscheiben beaufschlagte Bereich ist i. d. R. anhand der Dichte und flächigen Verteilung der Scherben im Gelände gut erkennbar.

Mit der Hauptbeaufschlagung durch Wurfscheibenscherben ist in einer Entfernung von <100 m vom Schießstand in einem Öffnungswinkel von etwa 90 - 150° je nach Art und Anzahl der Wurfmaschinen, mit der maximalen Schrotbeaufschlagung in 80 - 180 m zu rechnen, wobei letztere stark durch die Geländedeposition der Schießbahn(en) beeinflusst wird. Mit einem nachweisbaren Eintrag von Bleischrot muß je nach Einzelfall noch in >200 m Entfernung vom Schießstand sowie in seitlich an die Schießanlage angrenzende Grundstücke gerechnet werden.

Zur Durchführung der bodenkundlichen Grunduntersuchungen im Gelände sowie zur Untersuchung der Tiefenverteilung eingetragener Schadstoffe sind Profilgruben anzulegen. Die bodenkundlichen Grunduntersuchungen (SCHLICHTING & BLUME 1966; AG BODENKUNDE 1982) umfassen die Bestimmung von:

Horizontmächtigkeit, Bodenart, Bodenfarbe, Steingehalt, pH-Wert (0,01m CaCl₂), Karbonatgehalt, aktuelle Feuchte, Gefügestabilität, Lagerungsdichte, Durchwurzelungsintensität und - wenn möglich - Grundwasserstand.

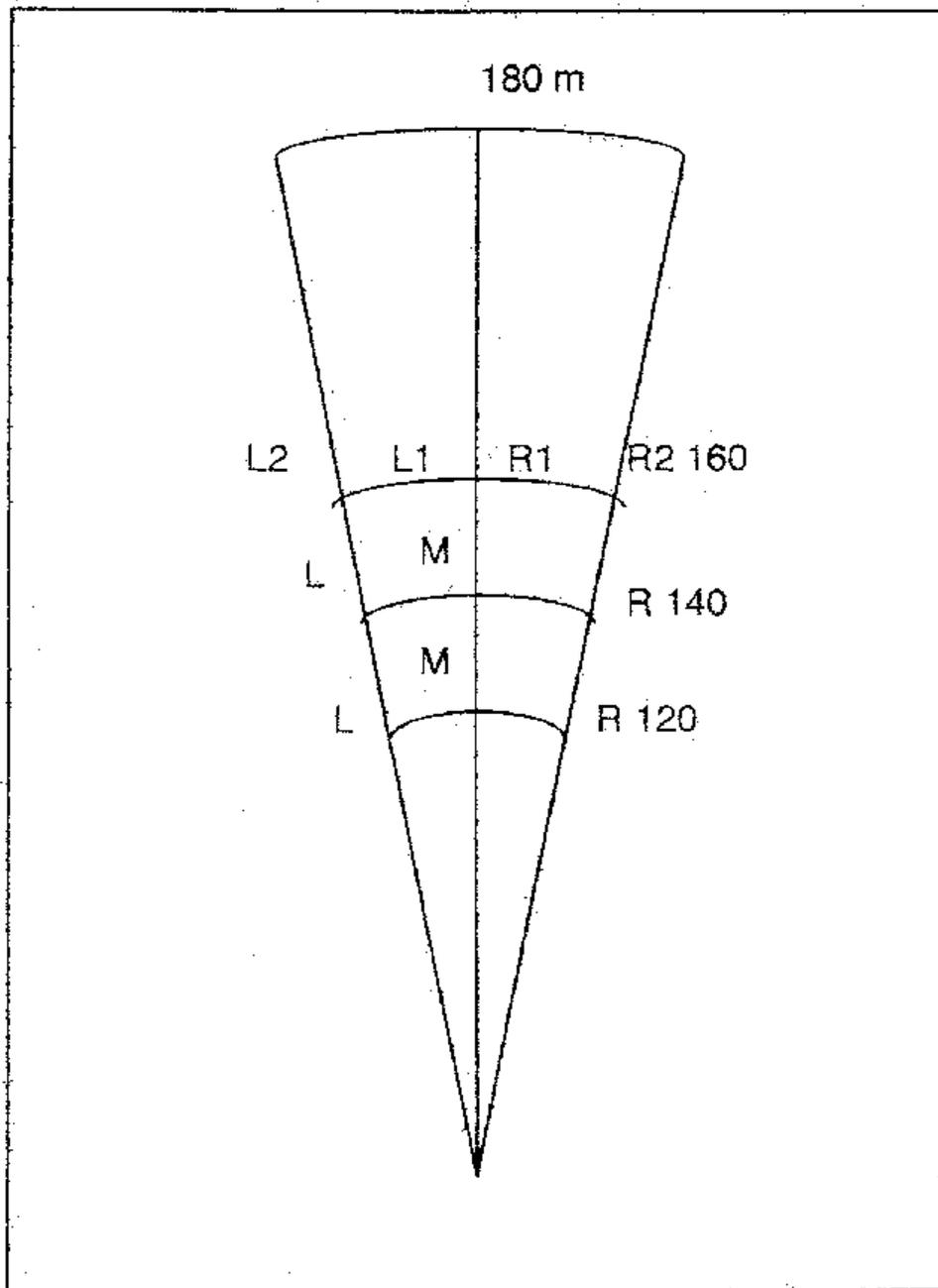
Zur Untersuchung der hier behandelten Standorte wurde jeweils mindestens eine Profilgrube in den Hauptaufschlagbereichen des Bleischrots (SM), der Wurftaubenscherben (PAK) und im vom Schießbetrieb nicht betroffenen Bereich angelegt und beprobt (Vergleichsprofile auf möglichst gleichen Böden mit vergleichbarer Vegetation). Die Profilgruben wurden in der Regel 1 m tief bzw. bis zum anstehenden Gestein angelegt. Danach wurden die sauber abgestochenen Profilwände horizontweise beprobt. Dadurch werden bei der Probennahme Stauchungen des Bodenmaterials und Verschleppungen von Bleischrot in der Probe, wie sie bei einer Beprobung des Bodenprofils mit dem Bohrstock auftreten können, vermieden.

Auflage- ($O_{f/h}$) und die obersten Mineralbodenhorizonte (A_h) wurden wegen der inhomogenen Verteilung der Schrotkugeln mit einem 50 x 50 cm-Stechrahmen flächig beprobt. Aus den Mineralbodenhorizonten mit mehr als 5 cm Mächtigkeit wurden mit 100 ml-Stechzylindern jeweils Volumenproben von insgesamt 500 ml entnommen.

2.2.2 Entnahme der Flächenproben

Zur Ermittlung des Schadstoffeintrags in die Fläche wurden - sofern möglich - zehn Proben mit dem Flächenbohrstock (80 mm \varnothing) aus 0-20 cm Tiefe gezogen. Hierbei wurde nach dem in Abb. 1 dargestellten Schema vorgegangen. Die Lage der Proben richtet sich - neben den Geländegegebenheiten - nach der Entfernung vom Schießstand (i. d. R. 100 - 160 m). Die Probenbezeichnung Y 160 R 1 gibt z. B. an, daß es sich um eine Probe des Standorts Y in einer Entfernung von 160 m vom Schießstand und 20 m rechts von der gedachten Mittellinie handelt. L1 und L2 stehen für 20 m und 40 m links von der gedachten Mittellinie der Schießbahn (Abb. 1).

Anhand der Analyseergebnisse der Flächenproben kann überprüft werden, inwieweit die Lage der Profilgruben jeweils repräsentativ für die Hauptaufschlagbereiche der Anlagen ist.

Abb.1 Schematische Darstellung der Probenahmepunkte der Flächenproben

2.2.3 Entnahme der Pflanzenproben

Um Hinweise auf pflanzenverfügbares Blei im Boden zu erhalten, wurden die Blei-Konzentrationen in Pflanzen untersucht. Da Blei in Pflanzen allerdings i. d. R. nicht sehr beweglich ist, nach der Aufnahme in die Wurzel also nicht in größerem Umfang in den Sproß verlagert wird, wurden Pflanzenproben an solchen Standorten entnommen, an denen aufgrund niedriger Boden-pH-Werte mit einer hohen Mobilität des Bleis zu rechnen war. Zudem wurden die Pflanzen getrennt nach Sproß und Wurzel untersucht. Hierbei wurden - wie bei

den Bodenproben - Pflanzen innerhalb und außerhalb (Vergleichsstandorte) des Aufschlagbereichs von Bleischrot in der Nähe der Profilgruben beprobt. Die Flächen waren mit drei Ausnahmen nicht landwirtschaftlich genutzt. Wegen der uneinheitlichen Vegetation konnten nur wenige Proben derselben Pflanzenart untersucht werden.

2.2.4 Labormethoden: Aufbereitung und chemische Analysen der Boden- und Pflanzenproben

Da aus verschiedenen Untersuchungen deutliche Hinweise auf die Korrosion von Bleischrot im (am) Boden und dadurch zunehmende Mobilisierbarkeit vorliegen, sollte mit den Untersuchungen sowohl der Anteil des Bleischrot erfaßt werden, der nach dem Eintrag in (auf) den Boden dort bislang als (verkrustete) Schrotkügelchen verblieben ist, als auch der Schadstoffanteil, der aus dem Schrot bereits in die Feinkornfraktion der Böden übergegangen und dort wiederzufinden sind. Darüber hinaus sollte die aktuelle Mobilität des bereits in der Bodenfraktion enthaltenen Schrotbleis geprüft werden.

Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Untersuchung der Schwerpunkt auf eine Korngrößenfraktionierte Untersuchung der Bodenproben gelegt, obwohl unter realen Bedingungen die gesamte in den Böden enthaltene Bleimenge (einschließlich Schrot) den Verwitterungseinflüssen ausgesetzt ist und grundsätzlich (langfristig) auch in den (Schad)Stoffhaushalt der Böden eingehen kann. Durch diese Vorgehensweise wurde zudem sichergestellt, daß bei den chemischen Untersuchungen der Böden zusätzlich zum gegebenen Grundgehalt das aus dem Bleischrot stammende Blei in der Feinbodenfraktion erfaßt wird.

Probenaufbereitung

- 2.2.4.1 Aufbereitung der Flächenproben aus der Mooschicht oder aus dem organischen Auflagehorizont (50 x 50 cm-Stechrahmen):
 - 2.2.4.1.1 Gesamtprobe bei 40°C trocknen
 - 2.2.4.1.2 Gesamtprobe wägen: Netto-Trockengewicht
 - 2.2.4.1.3 Schrot quantitativ abtrennen
 - 2.2.4.1.4 Schrot wägen: Netto-Schrotgewicht
 - 2.2.4.1.5 Restprobe ohne Schrot homogenisieren
 - 2.2.4.1.6 an einem Aliquot Restwassergehalt bestimmen
 - 2.2.4.1.7 ein Aliquot der Restprobe mahlen: Analysenprobe (wenigstens 200 g Probenmaterial).
- 2.2.4.2 Aufbereitung der Volumenproben (500 ml mit Stechzylindern):
 - 2.2.4.2.1 Probe quantitativ aus PE-Beutel in geeignete Schale überführen und bei 105°C trocknen
 - 2.2.4.2.2 wägen: Netto-Trockengewicht
 - 2.2.4.2.3 evtl. zerkleinern (nur Aggregate), sieben (< 2 mm)

- 2.2.4.2.4 Feinerde und Steine wägen
 - 2.2.4.3 Aufbereitung der Bodenproben aus den Mineralbodenhorizonten
 - 2.2.4.3.1 Gesamtprobe bei 40°C trocknen
 - 2.2.4.3.2 Gesamtprobe wägen: Netto-Trockengewicht
 - 2.2.4.3.3 Schrot quantitativ abtrennen
 - 2.2.4.3.4 Restprobe ohne Schrot homogenisieren
 - 2.2.4.3.5 an einem Aliquot Restwassergehalt bestimmen
 - 2.2.4.3.6 ein Aliquot der Restprobe mahlen: Analysenprobe (wenigstens 300 g Probenmaterial).
 - 2.2.4.4 Aufbereitung der Pflanzenproben
 - 2.2.4.4.1 Feldfrische Pflanze dreimal mit destilliertem Wasser waschen
 - 2.2.4.4.2 Trocknen der Pflanze
 - 2.2.4.4.3 Mahlen der Probe: Analysenprobe
- chemische Analysen
- 2.2.4.5 Aufschluß der Analysenproben mit Königswasser nach DIN 38 414 Teil 7 (AbfKlärV, 1992), jeweils in Duplikaten mit 1 Blindwert je Serie.
 - 2.2.4.6 Extraktion der Analysenproben mit einer 1 molaren NH_4NO_3 -Lösung nach DIN V 19 730 (Boden:Lösung 1:2,5 über 2 Stunden)
 - 2.2.4.7 Analytik: Messung von As, Cd, Pb, und Sb in den Aufschlüssen und in den Extrakten der Analysenproben mit Flammen-, Graphitrohr- oder Hydridsystem-AAS
 - 2.2.4.8 Bestimmung von PAK (16 nach EPA-Liste 610) durch Kaltextraktion der feldfrischen mit Natriumsulfat verriebenen Bodenprobe, 5 g, mit 25 ml Isopropanol kalt über Nacht geschüttelt, zentrifugiert, und 10 ml des Überstands in 250 ml H_2O dest. langsam über C18-Säule angereichert, eluiert mit Methylenchlorid, unter N_2 langsam eingeeengt, in Acetonitril aufgenommen und im HPLC gemessen.

3 Ergebnisse

3.1 Positionierung der Profilgruben

Anhand der Analysenergebnisse der Flächenproben wurde die gewünschte Positionierung der Profilgruben überprüft. Die Ergebnisse für 6 Anlagen sind in den Tabellen 3.1 - 3.6 zusammengestellt. Es handelt sich dabei um Blei-Gesamtgehalte in der Feinfraktion (< 2 mm) von nicht nach Horizonten gegliederten, 20 cm mächtigen Bodenproben, d. h. um die Gehalte nach Aussieben des Bleischrots. Die Bleigehalte einschließlich Bleischrot und damit die tatsächlich den Einwirkungen der Verwitterung ausgesetzten und mit der Zeit zum Stoffbestand der Böden beitragenden Gehalte sind weit höher (vgl. TABELLE 3.7).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß mit den Profilgruben nicht immer die realen Hauptaufschlagbereiche repräsentiert werden. Die Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3 zeigen beispielhaft die Ergebnisse für diejenigen Standorte, an denen die Hauptaufschlagbereiche durch die Profilgruben repräsentiert sind. Die Daten in den Tabellen 3.1 und 3.2 weisen auch darauf hin, daß der abgelagerte Bleischrot infolge der an diesen Standorten ausgeprägten Hängigkeit kleinräumig stark konzentriert wurde. Aufgrund der niedrigen Boden-pH-Werte ist hier zudem von einer verstärkten Korrosion des konzentrierten Bleischrots auszugehen.

An den Objekten in den TABELLE 3.4, 3.5 und 3.6 werden die Hauptaufschlagbereiche mit der Lage der Profilgruben nicht repräsentiert. In diesen drei Fällen werden die höchsten Bleiwerte in den Bodenproben gefunden, die weiter vom Schützenstand entfernt waren als die Profilgrube. Insbesondere werden die Maxima der Gesamtbleigehalte auch in 200 m Entfernung von der Abschußstelle noch nicht erreicht, was bei Standort 3.4 (**Wi** jwKst-Tf) damit zu erklären ist, daß hier von einer erhöhten Geländedeposition auf einen flachen Hang "hinabgeschossen" wird. Durch die landwirtschaftliche Nutzung der Böden dieser Standorte wurde zum einen Bleischrot durch Bodenbearbeitung eingemischt und zum anderen durch Kalkung die Folgen der Korrosion des Bleischrots vermindert.

Die Abgrenzung der Hauptaufschlagbereiche an diesen Standorten bedarf somit weiterer Untersuchungen. Die in der vorliegenden Studie gestellten Fragen nach der Nachweisbarkeit der Risiken einer Bodenbelastung durch Bleischrot in Abhängigkeit von den landschaftsgebundenen (z. B. Bodeneigenschaften) und lokalen Gegebenheiten (z. B. Alter, Intensität des Schießbetriebs, etc.) können jedoch durchaus beantwortet werden.

TABELLE 3.1 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/kg~ Boden) im Feinbodenmaterial eines Sandstein-Podsols aus Schutt aus dem mittleren Buntsandstein (F smcl -Sst-Po) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
130 m		9.500	13.720	16.760	
120 m		17.380	11.220	8.940	
110 m	12.140	21.000		19.040 (X)	17.150

(X) Blei- Meßwert 20.000 und Position des Untersuchungsprofils

TABELLE 3.2 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/ kg Boden) im Feinbodenmaterial einer Braunerde aus Sand- und Tonsteinen aus dem Stubensandstein (M km4-STst-Be) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
90 m	14.480	20.100		5.740	8.160
80 m		15.300	10.460 (X)	5.920	
70 m		12.920	21.340	16.660	

(X) Blei- Meßwert 19.770 und Position des Untersuchungsprofils

TABELLE 3.3 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/kg Boden) im Feinbodenmaterial eines Auftragsbodens aus quartären fluviatilen Sanden und Kiesen (W f ISKi-AB) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
150 m	720	800		720	680
140 m		680	1.380	(X) 600	
130 m		500	560	260	

(X) Blei- Meßwert 2.180 und Position des Untersuchungsprofils

TABELLE 3.4 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/kg Boden) im Feinbodenmaterial einer Terra fusca aus Kalksteinen des weißen Jura (Wi jwKst-Tf) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
200 m		900	920	640	
180 m	520	340		460 (X)	420
160 m		240	140	220	

(X) Blei- Meßwert 640 und Position des Untersuchungsprofils

TABELLE 3.5 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/kg Boden) im Feinbodenmaterial einer Braunerde aus Löß (N L-Be) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
150 m	2.620	7.890		4.120	1.520
140 m		4.320	10.500	(X) 3.380	
130 m		3.740	11.300	3.800	

(X) Blei- Meßwert 2.720 und Position des Untersuchungsprofils

TABELLE 3.6 Flächige Verteilung von Bleigehalten (mg Pb/kg Boden) im Feinbodenmaterial eines Niedermoores (K Nm) aus dem Aufschlagbereich nach Aussieben des Bleischrots

	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>	<i>Pb Boden mg/kg</i>
Entfernung vom Schießstand	40 m links von der Mitte	20 m links von der Mitte	Mitte	20 m rechts von der Mitte	40 m rechts von der Mitte
140 m	7.400	7.960		1.160	14.200
130 m		1.520	1.120 (X)	4.300	
120 m		900	380	9.440	

(X) Blei- Meßwert 1.490 und Position des Untersuchungsprofils

3.2 Gehalte anorganischer Schadstoffe in den Böden der Anlagen

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen auf anorganische Schadstoffe sind in den Tabellen 3.7 - 3.9 zusammengefaßt. Die darin enthaltenen Analysedaten wurden entsprechend der Zielsetzung der Arbeit wie folgt gegliedert:

Schrot:	im Hauptaufschlagbereich vorgefundene Schrotmenge;
Pb_{Schrot} :	im Schrot enthaltene Bleimengen (TABELLE 3.7; Arsen u. Antimon in TABELLE 3.8 und 3.9);
Pb_{ges} :	nach Absieben der Schrotkugeln festgestellte Bleimenge bzw. -konzentration (TABELLE 3.10) im Feinboden (< 2 mm; natürlich vorhandenes plus aus dem Schrot durch Korrosion in den "Vorrat" des Bodens übergegangenes Blei);
$Pb_{\text{ges}} \text{ ursprüngl.}$:	geogenes Blei im Bodens (ohne Bleischrot-Eintrag);
Diff Pb_{ges} :	aktuell im Feinboden enthaltenes Blei nach Abzug des natürlichen Anteils;
Diff $Pb_{\text{ges}}/Pb_{\text{Schrot}}$:	Anteil des korrodierten Bleis am insgesamt eingetragenen Schrotblei;
Pb_{mob} :	aktuell mobile Bleimenge bzw. -konzentrationen (TABELLE 3.10) im Feinboden (< 2 mm);
$Pb_{\text{mob}}/Diff \text{ } Pb_{\text{ges}}$:	mobile Anteile des korrodierten Schrotbleis.

Die in den Tabellen 3.7 - 3.9 jeweils angegebenen Schrot- und Stoffmengen sind überwiegend in den obersten Bodenschichten (bis ca. 10 cm Tiefe) konzentriert. In tieferen Horizonten bis ca. 30 cm ist i. d. R. kein Schrot, Blei hingegen noch in deutlich über den natürlichen Hintergrund erhöhten Gehalten vorhanden. In der Mehrzahl der untersuchten Fälle nehmen mit weiter zunehmender Bodentiefe auch die Bleigehalte bis zum natürlichen Hintergrund ab. Wegen der unterschiedlichen Horizontausbildung und -mächtigkeiten an den untersuchten Standorten und wegen des unterschiedlichen Raumgewichts von organischen Auflage- und Mineral-Oberbodenhorizonten wurden die Angaben in den Tabellen auf die einheitliche Flächenbezugsgröße von 1 m² normiert. Sie sind somit direkt untereinander vergleichbar.

Tabelle 3.7 Schrot- und Bleimengen in unterschiedlichen Schießplatzböden (Profilgruben) von verschieden alten und frequentierten Anlagen in Baden-Württemberg sowie die korrodierten Anteile* am Schrot-Blei und die mobilen Anteile ** am korrodierten Blei (jeweils in %).

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Schrot kg/m ²	Pb _{Schrot} kg/m ²	Pb _{ges} g/m ²	Pb _{ges} ursprünglich g/m ²	Diff Pb _{ges} g/m ²	Diff Pb _{Schrot} / Pb _{ges} % ^{o*}	Pb _{mob} mg/m ²	Pb _{mob} / Diff Pb _{ges} % ^{o*}	Ton	Ph im Boden Bleischrot mit/ohne
F	Smc1 Sst-Po	41	8.000	35,0	32,2	2.095	8,3	2.087	65	62.300	30	T2	3,7/3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	32,0	29,4	514	8,6	505	17	16.700	33	T2,3	4,0/3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	27,0	24,8	312	12,0	300	12	28.600	95	T2,3	4,0/4,2
I	DünS-Be	-	-	7,0	6,44	425	16,7	408	63	146.100	358	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	7,0	6,44	229	21,5	207	32	2.650	13	T4	6,0/6,0
N	L-Be	23	120.000	5,0	4,60	890	26,8	863	188	110	0,13	T4	6,6/6,2
W	fiSKi-AB	19	15.000	5,0	4,60	388	10,3	378	82	530	1,4	T3	5,3/5,4
K	Nm	26	48.000	2,0	1,84	74	5,9	6 8	37	1.600	24	T2,3	5,1/4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	0,4	0,37	181	20,7	160	430	240	1,5	T4	6,4/6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	0,37	0,34	38	9,7	28	82	230	8	T3	5,2/4,2

smc1	= Mittlerer Buntsandstein	fiSKi	= fluviatile Sande u. Kiese	Kst	= Kalkstein	Tf	= Terra fusca
jw	= weißer Jura	DünS	= Dünen sand	AB	= Auftragsboden	Nm	= Niedermoor
km4	= Stubensandstein	Sst	= Sandstein	Be	= Braunerde	PO	= Podsol
L	= Löß	STst	= Sand-Tonstein	kBe	= kolluviale Braunerde		

Beispiel: Im Hauptaufschlagbereich des Standorts Sö jw Kst-kBe wurden in einer Bodentiefe von 0 - 25 cm ca. 7 kg Bleischrot je m² gefunden. Diese Schrotmenge enthält ca. 6,4 kg Blei. Der im Feinboden nach Absieben des Bleischrots ermittelte Bleigehalt beträgt 229 g/m², nach Abzug des geogenen Gehalts ergibt sich mit 207 g/m², dies entspricht 32 ‰ des Gesamteintrags an Schrotblei, bereits etwa die zehnfache Menge des natürlichen Gehalts in der Feinboden-Fraktion.

Je m² Boden finden sich 2.650 mg mobiles (extrahierbares) Blei. Der aktuell im Boden mobile Bleianteil beträgt damit 13 ‰ des korrodierten Schrotbleis im Feinboden. Unmittelbar löslich und über größere Tiefenabschnitte im Boden verlagerbar ist in diesem Beispiel also nur ein kleiner Anteil des bereits in die Feinbodenfraktion übergegangenen Schrotbleis. Dennoch liegt die aktuell mobile Bleimenge bereits deutlich oberhalb des natürlichen mobilen Bleimengen solcher Böden (ca. 0,03 ‰, d. h. der Anreicherungsfaktor an mobilen Blei beträgt > 400). Bei geringfügigen Änderungen der Umgebungsbedingungen im Boden (z. B. Durchlüftung, Düngung, pH-Wert-Senkung, etc.) werden erhebliche Anteile des Gesamtbleivorrats im Boden mobilisierbar. Eine derartige Mobilisierung kann zu einer weiteren Erhöhung des mobilen Bleis im Boden um ein Vielfaches beitragen.

Die Daten in den Tabellen 3.7 - 3.9 wurden gegliedert nach den in den Aufschlagbereichen vorgefundenen Schrotmengen. Für die Anreicherung des Schrots im Boden sind neben den erwähnten Effekten (Relief, Position der Schießbahn, etc.) weitere Faktoren wesentlich. So wurden bei der Anlage auf Gneis-Braunerde (B Gneis-Be; ca. 384.000 Schrotschuß in der gesamten Betriebszeit) lediglich 0,37 kg Schrot/m² gefunden wurden, wohingegen bei der Anlage auf Sandstein-Podsol (F smc1-Sst-Po; insgesamt ca. 328.000 Schrotschuß) 35 kg Schrot/m² zu verzeichnen sind. Dies ist u. a. dadurch bedingt, daß die vorgenannte Gneis-Braunerde (B Gneis-Be) stark durchsetzt ist von Grabgängen (Mäuselöcher), die trotz des Schießens auf einen Hang zu einem erheblichen Minderbefund an Bleischrot bei der Untersuchung führten. In TABELLE 3.1 wurde gezeigt, daß das Untersuchungsprofil des Sandstein-Podsols (F smc1-Sst-Po) treffend ausgewählt wurde. Die dort gefundenen 35 kg Schrot/m² müssen gleichsam als "abbauwürdiges Vorkommen" erscheinen.

Die Standorte auf Kalkstein-Terra fusca (Wi Kst-Tf, Grünland) und auf Löß-Braunerde (N L-Be, Acker) werden landwirtschaftlich genutzt. Bei dem Standort W fISKi-AB handelt es sich um einen brachliegenden Acker auf einem Auftragsboden. Die Daten in Tabelle 3.7 weisen auf eine verstärkte Korrosion des Schrotbleis besonders in Ackerböden bzw. ehemaligen Ackerböden hin: Mit 430 ‰ (Wi Kst-Tf), 188 ‰ (N L-Be) sowie immer noch 82 ‰ (W fISKi-AB) finden sich hier deutlich höhere Anteile des korrodierten Bleis am Schrotblei ($\text{Diff Pb}_{\text{ges}}/\text{Pb}_{\text{Schrot}}$) als bei den weiteren Anlagen. Offensichtlich intensiviert das Durchmischen des Bodens bei der Bearbeitung die Korrosion des Bleischrots auch dann, wenn keine besonders niedrigen Boden-pH-Werte vorliegen. Gerade in den landwirtschaftlich genutzten Böden, wahrscheinlich als Folge von Kalkungen, sind die mobilen Anteile des korrodierten Bleis ($\text{Pb}_{\text{mob}}/\text{Diff Pb}_{\text{ges}}$) sowohl relativ wie auch absolut (Pb_{mob}) zunächst gering, da diese Größen in enger Beziehung mit den Tongehalten (hohe Werte bei niedrigen Tongehalten T1 - 3) und den pH-Werten des Bodens (hohe Werte in sauren Böden mit $\text{pH} < 5$) stehen.

Tabelle 3.8 Schrot- und Arsenmengen in unterschiedlichen Schießplatzböden, (Profilgruben) von verschiedenen alten und frequentierten Anlagen in Baden-Württemberg sowie die korrodierten Anteile am Schrot-Arsen und die Mobilisierbaren Anteile ** am korrodierten Arsen (jeweils ‰).

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Schrot kg/m ²	As _{Schrot} kg/m ²	As _{ges} g/m ²	As _{ges} ursprünglich g/m ²	Diff As _{ges} g/m ²	Diff As _{ges} /As _{Schrot} (‰*)	As _{mob} mg/m ²	As _{mob} /Diff As _{ges} (‰*)	Ton	ph im Boden Bleischrot mit/ohne
F	Smc1 Sst-Po	41	8.000	35,0	210	43,9	1,3	42,6	203	190	4,3	T2	3,7/3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	32,0	192	22,4	3,1	19,3	101	n.a.	n.a.	T2,3	4,0/3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	27,0	162	5,2	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	T2,3	4,0/4,2
I	DünS-Be	-	-	7,0	42	24,6	n.a.	-	-	49	2,0	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	7,0	42	-	-	-	-	-	-	T4	6,0/6,0
N	L-Be	23	120.000	5,0	30	34,1	37,2	-	-	n.a.	n.a.	T4	6,6/6,2
W	fISKi-AB	19	15.000	5,0	30	6,0	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	T3	5,3/5,4
K	Nm	26	48.000	2,0	12	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	T2,3	5,1/4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	0,4	2,4	9,8	7,0	2,8	1000	n.a.	n.a.	T4	6,4/6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	0,37	2,2	7,1	20,6	-	-	n.a.	n.a.	T3	5,2/4,2

smc1 = Mittlerer Buntsandstein

jw = weißer Jura

km4 = Stubensandstein

L = Löß

fISKi = fluviatile Sande u. Kiese

DünS = Dünensand

Sst = Sandstein

STst = Sand-Tonstein

Kst = Kalkstein

AB = Auftragsboden

Be = Braunerde

kBe = kolluviale Braunerde

Tf = Terra fusca

Nm = Niedermoor

PO = Podsol

n.a. = Nicht angebar

Den Spalten $\text{Diff Pb}_{\text{ges}}$ und Pb_{ges} ursprüngl. der TABELLE 3.7 ist zu entnehmen, wie weit die Bleigehalte des Feinbodens infolge des Eintrags von Bleischrot gegenüber den geogenen Gehalten der Böden erhöht sind. Die resultierenden Anreicherungsfaktoren von 8 (Standort Wi jwKst-Tf) bis 250 (Standort F smc1 Sst-Po) belegen, daß keineswegs von einer chemischen Inertisierung des Bleischrots - auch nicht in pH-neutralen oder alkalischen Böden - ausgegangen werden kann. Die Anteile dieses bereits in den Vorrat des Bodens übergegangenen Bleis tragen auch zu einer signifikanten Zunahme des potentiell mobilisierbaren Bleianteils und damit zu einer erheblichen Zunahme der Kontaminationsgefahr bei, insbesondere für Pflanzen, die den Bleivorrat eines Bodens im Bereich ihrer Wurzeln "aufschließen" können (vgl. Kap. 3.3).

Eine Sonderstellung nimmt der Standort auf einem Niedermoorboden (K Nm) ein. Sein hoher Gehalt an mineralisierbarer und löslicher organischer Substanz sowie die gemessenen und berechneten Werte lassen an diesem Standort die Kontaminationsgefahr für den Boden, das Sickerwasser und die umliegenden Gewässer als besonders gravierend erscheinen. Durch den Gewichtsverlust bei der Mineralisierung der organischen Substanz wird Blei im Boden zusätzlich zum Schroteintrag angereichert. Damit steigt das Kontaminationsrisiko für diesen Boden selbst und zugleich das Risiko, daß dieser Boden seine Funktion als Filter und Puffer für Schadstoffe künftig nicht mehr ausreichend erfüllen kann. Blei-Ionen werden hier von gelöster organischer Substanz, z. B. Fulvosäuren komplexiert und können mit diesen im Profil verlagert werden oder sogar mit dem Abfluß aus dem Niedermoor in Oberflächengewässer, ebenso aber auch in das Grundwasser gelangen.

Die Ergebnisse zeigen, daß Bleischrot im Boden unter dem Einfluß der atmosphärischen Verwitterung korrodiert und zu ganz erheblichen Anteilen in die Feinkornfraktion und damit in den Vorrat des Bodens eintritt. Auch derzeit frisch auf dem Boden liegender Schrot geht somit infolge des i. d. R. langsamen aber stetig fortschreitenden Korrosionsprozesses in die Stoffbilanz dieses Bodens ein (vgl. TABELLE 3.7) und stellt in diesem Sinn eine Gefahr für den Boden dar. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei künftigen Untersuchungen von Schießplatzböden wie folgt vorzugehen:

- die Gesamtbleigehalte der Böden werden nach Absieben des Schrots ermittelt; zusätzlich erfolgt - wie in dieser Studie - eine Bestimmung der in den Proben enthaltenen Bleischrot-Mengen (wägen der Proben vor und nach dem Absieben); anhand der Ergebnisse wird der Anteil des bereits korrodierten Schrotbleis festgestellt;
- mobile Bleigehalte der Böden werden an einem Aliquot der Proben mit dem darin enthaltenen Schrot bestimmt, da z. B. bei Niederschlagsereignissen das insgesamt den Atmosphären ausgesetzte Blei, zwar zu kleinen Anteilen, aber wegen der sehr großen vorhandenen Mengen doch - wie mit den Ergebnissen gezeigt - meßbar zum mobilen Blei beiträgt.

Tabelle 3.9 Schrot- und Antimonmengen in unterschiedlichen Schießplatzböden (Profilgruben) von verschiedenen alten und frequentierten Anlagen in Baden-Württemberg sowie die korrodierten Anteile* am Schrot-Antimon und die mobilen Anteile ** am korrodierten Antimon (‰).

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Schrot kg/m ²	AS _{Schrot} kg/m ²	AS _{ges} g/m ²	AS _{ges} ursprünglich g/m ²	Diff AS _{ges} g/m ²	Diff AS _{ges} /AS _{Schrot} ‰*)	AS _{mob} mg/m ²	AS _{mob} /Diff AS _{ges} ‰*)	Ton	ph im Boden Bleischrot mit/ohne
F	Smc1 Sst-Po	41	8.000	35,0	700	17,2	0,6	16,6	24	40	2,4	T2	3,7/3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	32,0	640	8,4	0,0	8,4	13	72	8,5	T2,3	4,0/3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	27,0	540	2,8	0,0	2,8	5	44	16	T2,3	4,0/4,2
I	DünS-Be	-	-	7,0	140	5,0	4,6	0,4	3	180	450	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	7,0	140	1,8	9,3	-	-	113	-	T4	6,0/6,0
N	L-Be	23	120.000	5,0	100	23,7	1,9	21,8	218	743	34	T4	6,6/6,2
W	flSKi-AB	19	15.000	5,0	100	7,8	0,0	7,8	78	640	82	T3	5,3/5,4
K	Nm	26	48.000	2,0	40	0,9	2,3	-	-	119	-	T2,3	5,1/4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	0,4	8,0	3,6	0,0	3,6	450	102	28	T4	6,4/6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	0,37	7,4	0,19	0,03	0,16	21	31	190	T3	5,2/4,2

smc1 = Mittlerer Buntsandstein

flSKi = fluviatile Sande u. Kiese

Kst = Kalkstein

Tf = Terra fusca

jw = weißer Jura

DünS = Dünensand

AB = Auftragsboden

Nm = Niedermoor

km4 = Stubensandstein

Sst = Sandstein

Be = Braunerde

PO = Podsol

L = Löß

STst = Sand-Tonstein

kBe = kolluviale Braunerde

n.a = Nicht angebar

Die Daten für Arsen (vgl. TABELLE 3.8) blieben unvollständig. Im Rahmen einer Ersterhebung muß zwangsläufig die Methode der Untersuchung von Toposequenzen (verschiedene Probenahmeorte möglichst übereinstimmender Bodenform) anstelle von eigentlich notwendigen Untersuchungen an Chronosequenzen (mehrmalige Untersuchungen, z. B. vor Beginn des Schießbetriebs und jetzt) angewandt werden. Die geringere Aussagefähigkeit der Arsendaten ist u. a. bedingt durch

- die im Vergleich zum Blei heterogenere Verteilung dieses Elements bei insgesamt geringeren Gehalten in natürlichen Böden (d. h. breite Streuung der natürlichen Gehalte) und
- die auf Schießplätzen im Vergleich zu den Einträgen von Blei kleinen Arsen-Einträge.

Die Daten für Antimon (vgl. TABELLE 3.9) bestätigen immerhin tendenziell die stärkere Korrosion des Bleischrots in Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung. Zwar kommt auch Antimon in natürlichen Böden in kaum nennenswertem Umfang vor, jedoch sind die Gehalte weniger variabel als bei Arsen und die Einträge durch Bleischrot höher. Damit ist dieses Element auch analytisch besser nachweisbar.

3.3 Anorganische Schadstoffe in Pflanzen

Um den Grad der Funktionserfüllung der Böden als Filter und Puffer für Schadstoffe zu prüfen, wurden von vier unterschiedlichen Standort- bzw. Flächenpaaren (mit und ohne Einfluß von Bleischrot) Pflanzen entnommen. Aus Anlagen im Forst waren dies Vertreter der Krautvegetation, Heidelbeere und Wald-Frauenfarn, aus dem Niedermoor wurde Pfeifengras und von der Ackerbrache die Acker-Hundskamille analysiert. Da Blei in den meisten Pflanzen kaum aus der Wurzel in den Sproß verlagert wird, wurden sowohl die Wurzeln als auch die Sprosse beprobt. Die Elemente Arsen und Antimon wurden in keiner Pflanzenprobe nachgewiesen. In Tabelle 3.10 werden deshalb nur die Analysedaten für Blei (Pb) dargestellt. Zusätzlich enthält die Tabelle auch die Konzentrationsangaben (TABELLE 3.7 - 3.9 enthielten Mengenangaben) für Blei in verschiedenen Bodenhorizonten, die von den Pflanzen hauptsächlich durchwurzelt werden.

Es zeigt sich deutlich, daß die Wurzeln aller auf den mit Bleischrot bedeckten Böden gewachsenen Pflanzen erheblich mehr Blei enthalten als die Pflanzen von den jeweiligen Vergleichsflächen ohne Bleischrot (TABELLE 3.10). Extrem hohe Gehalte ergeben sich an den Standorten mit stark sauren Böden (vgl. TABELLE 3.7). Ob aus dem Maximalwert von 19.100 mg Pb/kg in den Wurzeln des Wald-Frauenfarns bereits auf eine Dekontaminationsmöglichkeit durch gezielten Anbau dieses Farns geschlossen werden darf, erscheint fragwürdig, zumal die Wurzelernte mit Schwierigkeiten behaftet sein dürfte. Eine starke Bleianreicherung (Faktor > 100) ist jedoch auch an einem Standort mit nur mäßig saurem Boden in den Wurzeln der Acker-Hundskamille festzustellen. Dies weist darauf hin, daß Blei auch in wenig sauren Böden zumindest im Rhizosphären-Bereich der Pflanzen mobilisiert wird, insbesondere, wenn derart hohe Vorräte wie in diesen Böden vorliegen (gegenüber geogenem ca. 40fach erhöhter Gehalt des Feinbodens).

Im Fall des Pfeifengras (Standort K Nm) können andere Kontaminationsquellen als Ursache der hier gefundenen höheren Bleigehalte in der Vergleichsprobe nicht ausgeschlossen werden.

Auch in die Sprosse der Pflanzen gelangt Blei noch in erheblichem Umfang. Die Bleikonzentrationen in Sproßproben der Pflanzen von den Vergleichsflächen sind generell deutlich niedriger als diejenigen in den Pflanzen aus dem Aufschlagbereich oder überhaupt nicht meßbar.

3.4 Organische Schadstoffe (PAK) in Böden

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden in den Wurftaubenscherben in erheblichen Mengen festgestellt. Anhand des Gewichts der Scheiben (ca. 110 g) ergeben sich aus den vorliegenden Daten ca. 80 mg PAK/Scheibe (für die untersuchten 16 Einzelverbindungen). Die Wurftaubenscherben werden zwar in manchen Fällen von Zeit zu Zeit abgeräumt, an unzugänglichen Stellen oder wenn Hilfsgeräte schlecht einsetzbar sind, bleiben sie jedoch oft auf Dauer liegen. Deshalb sei an den in der Einleitung genannten Gesamtverbrauch an Wurftauben erinnert, woraus sich für die fünf Anlagen, bei denen PAK gemessen wurden, jährlich ca. 580 kg bis 13.200 kg Taubenscherben ergeben. Die Größe der beaufschlagten Flächen variiert wie beim Bleischrot je nach Schußposition und Geländere relief. Die Hauptaufschlagbereiche sind anhand der im Gelände deutlich sichtbaren Scheibenreste einfacher abzugrenzen und kleiner als die von Bleischrot bedeckten Flächen. Auf eine Darstellung der PAK-Mengen anhand der vorgefundenen Scherben wird verzichtet, da diese Daten nur einmalig an 5 Untersuchungsobjekten erhoben wurden (vgl. hierzu Tab 4.4).

Tabelle 3.10 Bleigehalte der Böden sowie in Wurzeln und Sprossen verschiedener auf Schrotschießplätzen (X1) und auf von Schrot unbeeinflussten Vergleichsflächen (X0) gewachsener Pflanzen

Bodenform	Standort	Horizont	Pb _{ges} mg/kg	Pb _{mob} µg/kg	Pflanze	Pb im Sproß mg/kg*)	Pb in der Wurzel mg/kg*)
Smc1 Sst-Po	F1	Ofh	39.700	1.626.000	Heidelbeere	191	7.150
		Ahe	20.140	550.000	Vaccinium myrtillus		
		Ae	1.970	249.000			
	FO	Ofh	382	250	Heidelbeere	n.n.	9,2
		Ahe	48	2.510	Vaccinium myrtillus		
		Ae	9	1.020			
km4 STst-Be	M1	Ofh	19.770	280.000	Wald-Frauenfarn	170	19.100
		Ah	18.540	614.000	Athyrium filix-femina		
		Bv1	216	1.760			
	M0	Ofh	n.b.	n.b.	Wald-Frauenfarn	1,9	4,6
		Ah	39	1.940	Athyrium filix-femina		
		Bv1	18	1.430			
Nm	K1	nH1	1.498	1.950	Pfeifengras	7,6	615
		nH7	29	15.388	Molinia coerulea		
	K0	nH1	117	4.025	Pfeifengras	20,4	124
		nH7	29	9.288	Molinia coerulea		
fISKi-AB	W1	Ap	1.359	1.780	Acker-Hundskamille	9,5	530
		Bv	11,7	80	Anthemis arvensis		
	W0	Ap	17,2	n.n.	Acker-Hundskamille	n.n.	4,8
		Bv	15,6	n.n.	Anthemis arvensis		

smc1 = Mittlerer Buntsandstein
 km4 = Stubensandstein
 Nm = Niedermoor
 fISKi = fluviatile Sande u. Kiese

Sst = Sandstein
 STst = Sand-Tonstein
 Po = Podsol
 Be = Braunerde

AB = Auftragsboden
 n.n. = nicht nachweisbar
 n.b. = nicht bestimmt
 *) = Gehalte in der Trockenmasse

4 Fazit und Bewertung der Ergebnisse

Die gewonnenen Ergebnisse wurden anhand der 3. Verwaltungsvorschrift (VwV Anorganische Schadstoffe) zum Bodenschutzgesetz (BodSchG) bewertet (TABELLE 4.1 - 4.3). In der TABELLE 4.1 sind die Blei-Konzentrationen durch eine Umrahmung gekennzeichnet, die schutzgutbezogenen Prüfwerte oder den Belastungswert überschreiten.

Die mit den Prüfwerten der 3. VwV zum Schutz von Bodensickerwasser (P_{mob} Sickerwasser) zu vergleichenden Pb-Konzentrationen wurden als gewichtete Mittelwerte der Proben aus 0-30 cm Bodentiefe, ggf. unter Einbezug der Auflagehorizonte berechnet (o) sowie als gewichtete Mittelwerte von 30 cm bis zur maximalen Solumtiefe (u). Die mit u angegebenen Werte wurden *kursiv gedruckt*, weil es sich dabei um die Werte für einen Ausschnitt des Untergrunds (i. d. R. bis 1 m Tiefe) handelt.

Die Prüfwerte P_{mob} Sickerwasser der VwV (3.500 $\mu\text{g Pb/kg}$ für o und 250 $\mu\text{g Pb/kg}$ für u) werden in stark sauren Böden (pH 3-4) mit Tongehaltsgruppen T 1-3, die ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt werden, zum Teil erheblich überschritten.

Im Oberboden des untersuchten Niedermoores (K Nm, 0-25 cm: 2.155 $\mu\text{g Pb/kg}$) wird zwar der entsprechende P_{mob} -Wert nicht erreicht, dafür wird aber im Unterboden (70 cm Tiefe: 15.390 $\mu\text{g Pb/kg}$) selbst der für den Oberboden geltende, höhere Prüfwert deutlich überschritten. Dies ist wegen des hier hoch anstehenden Grundwassers und der Lage des Schießplatzes in Zone III eines fachtechnisch abgegrenzten Wasserschutzgebiets (vgl. TABELLE 4.1) und somit wegen der erheblichen Kontaminationsgefahren für das Grundwasser von besonderer Bedeutung.

Im Unterboden der Sand-Tonstein Braunerde des Standorts M km4 STst-Be ist dagegen in einer Tiefe unterhalb 22 cm kein mobiles Blei nachweisbar. Dieser Befund bestätigt frühere Meßergebnisse. Vermutlich verdrängt in die obere Schicht des Bodens eindringendes Niederschlagswasser die Bodenlösung, die dann lateral über dem schwerer durchlässigen Unterboden abfließt. Dies ist anhand ereignisbezogener weiterer Untersuchungen an diesem Standort zu überprüfen.

Am Standort auf einer kolluvialen Braunerde aus Kalksteinen des weißen Jura (Sö jwKst-kBe) werden im 5 cm mächtigen, humosen A-Horizont 53.000 $\mu\text{g mobiles Pb/kg Boden}$, in den beiden jeweils 20 cm mächtigen B-Horizonten dagegen kein mobiles Blei gefunden. Der darunter liegende 10 cm mächtige C-Horizont aus verwittertem Kalkstein weist wiederum 4.725 $\mu\text{g mobiles Pb/kg Boden}$ auf. Dieser Befund bedarf auch im Hinblick auf die Einstufung anhand des Belastungswerts der 3. VwV B_{mob} , Futter- u. Nahrungspflanzen sowie des Prüfwerts $P_{\text{ges Mensch}}$ einer weiteren Überprüfung.

Tabelle 4.1 Schrot-, Schrotblei- und Bleimengen sowie Bleigehalte (mg/kg, µg/kg) in unterschiedlichen Schießplatzböden von verschiedenen alten und frequentierten Anlagen in Baden-Württemberg, bewertet nach der 3. VWV zu § 19 Nr. 3 BodSchG

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Schrot kg/m ²	Pb _{Schrot} kg/m ²	Pb _{ges} g/m ²	Pb _{ges} ursprünglich g/m ²	Pb _{mob} mg/m ²	P _{mob} Wasser o 3500 µg/kg u 250 µg/kg µg/kg	P _{mob} Futter- Nahrungspfl. 400 µg/kg B _{mob} Futter- Nahrungspfl. 12.000 µg/kg µg/kg	P _{ges} Mensch 100 mg/kg 500 mg/kg 4000 mg/kg mg/kg	Ton	pH im Boden Bleischrot mit/ohne
F	Smc1 Sst-Po	41	8.000	35,0	32,2	2.095	8,3	62.300	o 238.700* u 1.995*	451.000	20.140	T2	3,7/3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	32,0	29,4	514	8,6	16.700	o 79.340* u 0*	134.000	18.540	T2,3	4,0/3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	27,0	24,8	312	12,0	28.600	o 79720* u 3750*	102.000	15.400	T2,3	4,0/4,2
I	DünS-Be	-	-	7,0	6,44	425	16,7	146.100	o 298.000* u 4.725*	460.000	2.460	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	7,0	6,44	229	21,5	20	(o 53.000)	53.000*	8.020*	T4	6,0/6,0
N	L-Be	23	120.000	5,0	4,6	890	26,8	110	o 275	330	2.720	T4	6,6/6,2
W	fISKi-AB	19	15.000	5,0	4,6	388	10,3	530	o 1.210	1.780*	1.360	T3	5,3/5,4
K	Nm	26	48.000	2,0	1,84	74	5,0	1.600	! u 15.390 !	1.950	1.500	T2,3	5,1/4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	0,4	0,37	181	20,7	240	o 640	810*	640	T4	6,4/6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	0,37	0,34	38	9,7	230	o 1.040	2.300	1.550	T3	5,2/4,2

smc1 = Mittlerer Buntsandstein
 jw = weißer Jura
 km4 = Stubensandstein
 L = Löß

FISKi = fluviatile Sande u. Kiese
 DünS = Dünen sand
 Sst = Sandstein
 STst = Sand-Tonstein

Kst = Kalkstein
 AB = Auftragsboden
 Be = Braunerde
 kBe = kolluviale Braunerde

Tf = Terra fusca
 Nm = Niedermoor
 Po = Podsol

* Überschreitung des Prüf- oder Belastungswerts, Nutzungs- und schutzbezogen

Ebenfalls machen die Prüfwertüberschreitungen P_{mob} , Futter- u. Nahrungspflanzen auf den Schießplätzen W fISKi-AB und Wi jwKst-Tf weiteren Untersuchungsbedarf erforderlich, da nicht ausgeschlossen werden kann, daß die untersuchten Bodenproben aus einem vergleichsweise wenig von Schrot beaufschlagten Teil der Fläche stammen (vgl. TABELLE 3.4, S. 11). Am Standort W fISKi-AB sind deutliche Pflanzenkontaminationen durch Blei anhand der Analysen der Acker-Hundskamille belegbar (vgl. TABELLE 3.10, S. 20). Diese Wildpflanze ist jedoch weder Nahrungs- noch Futterpflanze.

Weiterer Prüfbedarf ergibt sich auch für den Standort N L-Be. Zwar wurde der Prüfwert für Nahrungs- und Futterpflanzen in der Löß-Braunerde unterschritten, die Analysen ergaben jedoch, daß dieses Profil nicht zweifelsfrei im Hauptaufschlagbereich des Bleischrots positioniert war (vgl. TABELLE 3.5, S. 12). Deshalb kann nicht davon ausgegangen werden, daß auch in stärker beaufschlagten Bereichen des Standorts die Prüfwerte der 3. VwV unterschritten werden.

Die Arsen-Daten (TABELLE 4.2) zeigen am Standort F smc1 Sst-Po deutliche Überschreitungen der Prüfwerte P_{mob} Sickerwasser. Überschreitungen auch des Prüfwerts P_{mob} , Futter- u. Nahrungspflanzen betreffen jedoch forstwirtschaftlich genutzte Flächen, auf denen keine Futter- und Nahrungspflanzen angebaut werden. An einigen Standorten, z. B. N L-Be, ist vom Vorliegen geogen erhöhter Arsengehalte im Boden auszugehen (TABELLE 4.2).

Die PAK-Daten (TABELLE 4.3) lassen im Gegensatz zu den Ergebnissen der Studie des UBA erheblich höhere Konzentrationen in den Böden erkennen. Mögliche Gründe hierfür können sein:

- in der UBA-Studie wurden nur 6 PAK-Einzelkomponenten (nach TrinkwV) untersucht, wohingegen die hier durchgeführten Analysen zeigen, daß weitere Komponenten wie PHE, ANT, PYR, BAA und CH z. T. in erheblichen Konzentrationen vorliegen;
- die Aufschlagfläche der Scheiben ist durch die Geländegegebenheiten kleiner als auf Schießplätzen in der Ebene;
- auf den vom UBA untersuchten Schießplätzen wurden Wurftaubenscherben konsequenter abgesammelt.

Tabelle 4.2 Schrot-"Schrotarsen- und Arsenmengen sowie Arsengehalte (mg/kg, µg/kg)in unterschiedlichen Schießplatzböden von verschiedenen alten und frequentierten Anlagen in Baden-Württemberg, bewertet nach der 3. VM/zu § 19 Nr. 3 BodSchG

Standort	Bodenform	Alter Jahre	Schüsse pro Jahr	Schrot kg/m ²	As _{Schrot} kg/m ²	As _{ges} g/m ²	As _{ges} ursprünglich g/m ²	As _{mob} mg/m ²	P _{mob} Wasser o 140 µg/kg u 70 µg/kg µg/kg	P _{mob} Futter-Nahrungspfl. 140 µg/kg µg/kg	P _{ges} Mensch 20 mg/kg 30 mg/kg mg/kg	Ton	ph im Boden Bleischrot mit/ohne
F	Smc1 Sst-Po	41	8.000	35,0	210	43,9	1,3	190	o 574 u 107	2.140	373	T2	3,7/3,1
M	km4 STst-Be	35	150.000	32,0	192	22,4	3,1	n.a.	o 30 u n.a.	270	629	T2,3	4,0/3,7
S	km4 STst-Be	19	150.000	27,0	162	5,2	n.a.	n.a.	o n.a. u n.a.	130	164	T2,3	4,0/4,2
I	DünS-Be	-	-	7,0	42	24,6	n.a.	49	o n.a. u n.a.	330	22	T2,1	3,6 / 3,6
Sö	jwKst-kBe	23	30.000	7,0	42	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0	103	T4	6,0/6,0
N	L-Be	23	120.000	5,0	30	34,1	37,2	n.a.	n.a.	0	36	T4	6,6/6,2
W	fiSKi-AB	19	15.000	5,0	30	6,0	n.a.	n.a.	n.a.	0	1	T3	5,3/5,4
K	Nm	26	48.000	2,0	12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0	18	T2,3	5,1/4,5
Wi	jwKst-Tf	25	50.000	0,4	2,4	9,8	7,0	n.a.	n.a.	0	8	T4	6,4/6,4
B	Gneis-Be	32	12.000	0,37	2,2	7,1	20,6	n.a.	n.a.	60	55	T3	5,2/4,2

smc1 = Mittlerer Buntsandstein
 jw = weißer Jura
 km4 = Stubensandstein
 L = Löß

fiSKi = fluviatile Sande u. Kiese
 DünS = Dünen sand
 Sst = Sandstein
 STst = Sand-Tonstein

Kst = Kalkstein
 AB = Auftragsboden
 Be = Braunerde
 kBe = kolluviale Braunerde

Tf = Terra fusca
 Nm = Niedermoor
 Po = Podsol
 n.a. = Nicht anehebbar

Die hier ermittelten Daten zeigen, daß die PAK-Konzentrationen insbesondere an den stark frequentierten Schießplätzen mit sauren Böden bzw. an Standorten mit Anreicherungen begünstigenden topographischen Gegebenheiten, bei Anwendung des Niederländischen Leitfadens zu einer Sanierungsentscheidung (Überschreitung des sogenannten C-Werts) führen würden. Allerdings wurden bei der Festsetzung dieses C-Werts einige PAK-Einzelkomponenten nicht berücksichtigt, die jedoch auf den hier untersuchten Anlagen mit ca. 32 % an der Summe der PAK beteiligt sind. Deshalb ist es unbedingt erforderlich, daß die in Richt- und Grenzwerttabellen vorgegebenen und die zur Datenerhebung verwandten Analysemethoden übereinstimmen.

Die in Vorbereitung befindliche 4. VwV zum BodSchG (organische Schadstoffe) legt ihren Regelungen die Methodenvorschrift des VDLUFA zur Analyse von PAK in Böden, Klärschlämmen und Komposten zugrunde (VDLUFA Methodenbuch, Band 7). Die im Entwurf der VwV vorgesehenen Prüfwerte sowie - in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle - der Belastungswert (Pflanzen) sind weit überschritten. Weitere Untersuchungen, bzw. die Prüfung, ob Maßnahmen anzuordnen sind (Standorte F smc1 Sst-Po, I DünS-Be, M km4 STst-Be), werden daher dringend erforderlich.

Wenn im Einzelfall gemäß 4.3.2.1 entschieden wurde, daß das Pflanzenwachstum oder die Artenvielfalt durch einen phytotoxisch hohen Gehalt an Arsen beeinträchtigt wurde oder gemäß 4.3.2.2.1, daß der Arsengehalt in der Pflanze nach Prüfung durch die nach Lebensmittelrecht oder Futtermittelrecht zuständige Behörde, diese Pflanze vom Verzehr oder vom Verfüttern ausschließt, so liegt eine Bodenbelastung vor. Ferner liegt eine Bodenbelastung vor, wenn vegetative Sproß(teile) beurteilt nach dem ZEBS-Wert (Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln, festgesetzt von der Zentralen Erfassungs- und Bewertungs-Stelle für Umweltchemikalien des Bundesgesundheitsamtes: Bundesgesundheitsblatt) diesen unter Berücksichtigung des Analysefehlers um das Doppelte überschreitet oder der Bleigehalt von Futterpflanzen von der nach dem Futtermittelrecht zuständigen Behörde als nicht zum Verzehr oder zum Verfüttern geeignet bewertet wurde.

Eine Bodenbelastung liegt auch dann vor, wenn gleichermaßen die Prüfwerte P_{mob} Sickerwasser im Oberboden und im Untergrund überschritten werden und weiterhin die jeweilige Schadstoffkonzentration in der Bodenlösung (Gleichgewichts-Bodenlösung; vgl. Anlage 4 der 2. VwV Bodenproben) die Richt- und Grenzwerte der Trinkwasserverordnung vom 22. Mai 1986 BGBl. I S. 760 (TrinkwV), hilfsweise die Hintergrundwerte für die Wässer der entsprechenden Grundwasserlandschaft überschritten werden.

Tabelle 4.3 PAK-Gehalte in Böden von 5 verschiedenen Schrotschießanlagen in Baden-Württemberg (in mg PAK/kg)

Standort	Bodenform	NAP	ANY	ANE	FLU	PHE	ANT	FLA	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DAH	BGHIP	ICDP	SUMME
F	Smc1 Sst-Po	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6,40	0,70	8,90	7,70	9,00	7,6	3,40	4,30	6,24	<0,05	<0,05	<0,05	54,20
I	DünS-Be	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,30	0,80	6,40	5,50	5,80	5,50	4,40	2,80	4,35	<0,05	<0,05	<0,05	38,85
K	Nm	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	8,50	1,40	11,50	13,20	10,0	14,2	7,60	4,30	8,19	<0,05	<0,05	<0,05	78,89
M	km4 STst-Be	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	282	17,1	252	301	104	134	61,0	39,6	74,5	<0,05	<0,05	<0,05	1.266,50
W	fISki-AB	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,20	0,90	1,20	0,70	1,36	<0,05	0,70	<0,05	6,06
A**	Referenzwerte	<0,01				<0,10	<0,10			<1,00	<0,01			<0,10		<10,0	<10,0	1,00
B	Prüfwerte zum Zweck (genauerer) Untersuchungen	5,00				10,0	10,0	10,0		5,00	5,00			1,00		10,0		20,00
C	Prüfwerte z.Zt. der Entscheidung über eine Sanierung*	50,0				100	100	100		50,0	50,0			10,0		100		200,00

* Niederländischer Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung (1988)

** Referenzwerte (A) bezogen auf einen Standardboden mit 25 % Ton und 10 % organische Substanz

PAK nach EPA-Liste 610

NAP = Naphthalin

ANY = Acenaphthylen

ANE = Acenaphthen

FLU = Fluoren

PHE = Phenanthren

ANT = Anthracen

FLA = Fluoranthen

PYR = Pyren

BAA = Benzo(a)anthracen

CHR = Crysen

BBF = Ben-

BKF = Ben-

BAP = Benzo(a)pyren

DBAH = Dibenzo(a,h)anthracen

BGHI = Benzo(g,h,i)perylene

ICDP = Inde-

5 Zusammenfassung

Ziel der Studie war die Untersuchung des Zusammenhangs der Kontaminationsgefahren für Böden, Pflanzen und Gewässer (und damit letztlich für Menschen) mit der Ausstattung der Böden der untersuchten Standorte und ihrer Position in der Landschaft sowie der Art und des Alters der Nutzung. Die deshalb auf eine möglichst große Bandbreite unterschiedlicher Standortteigenschaften ausgerichtete Auswahl erbrachte sechs unter forstwirtschaftlicher sowie vier unter landwirtschaftlicher Nutzung in verschiedenen Bodenlandschaften stehende Anlagen. Vier Standorte liegen innerhalb von Wasserschutzgebieten, drei in unmittelbarer Nähe hierzu, drei weitere außerhalb, zwei der Anlagen liegen auf Böden mit hohem Grundwasserstand.

Nachgewiesen wurde, daß sich weder das im Bleischrot vorrangig enthaltene Blei noch die weiteren Komponenten Arsen und Antimon in Böden quasi-inert verhalten, sondern durch Korrosion des Bleischrots freigesetzt und bei hoher Filter- und Pufferleistung des betreffenden Bodens in dessen "Vorrat" übergehen. Langfristig ist davon auszugehen, daß Schädigungen der Böden und weiterer Schutzgüter infolge dieser Kontamination eintreten werden.

Bei geringer Filter- und Pufferleistung bestehen mehr oder weniger akute Gefahren für Schutzgüter, da die Schadstoffe rasch an diese vermittelt werden. Daher ist es notwendig, den Eintrag dieser Stoffe in die Umwelt bzw. die Böden vorsorglich zu verhindern oder zu vermindern. Gleiches ist auch für die an fünf Anlagen untersuchten PAK zu fordern.

Die an ausgewählten Fallbeispielen erhobenen Daten der Studie können derzeit noch nicht auf alle Einzelfälle übertragen werden, vielmehr wird aufgezeigt, welche Untersuchungen nach welchen Vorgaben durchzuführen sind, um jeweils abgesicherte Bewertungen zu gewährleisten.

6 Literatur

- /1/ AG BODENKUNDE der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und der geologischen Landesämter der BRD (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung, 3. verbesserte und erweiterte Auflage, 331. S.; Hannover.
- /2/ Bayerisches Geologisches Landesamt, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1988): Schwermetallbelastungen von Wasser, Boden und Bewuchs durch Wurftaubenanlagen. - Schriftenreihe des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz: 28 S.; München.
- /3/ Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg (BodSchG) vom 20. Juni 1991. - Gbl. B.-W. 1991: 434-440.
- /4/ Zweite Verwaltungsvorschrift zu § 19 Nr. 1 u. 2 BodSchG (VwV Bodenproben) vom 24. August 1993. - GABI. B.-W.: 1017-1028, 29. September 1993.
- /5/ Dritte Verwaltungsvorschrift zu § 19 Nr. 3 BodSchG (VwV Anorganische Schadstoffe) vom 24. August 1993. - GABI. B.-W.: 1029-1036, 29. September 1993.
- /6/ CRÖSSMANN, G., C. FAHRENHORST, G. KLÖTHER, M. RENGER, J. SIMON & J. WESS (1989): Die Belastung von Böden auf Sportschießplätzen durch Bleischrot und Wurftauben. - UBA-FB 89 - 100, Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin, Texte 35/89 126 S. und Anhang; E. Schmidt Berlin.
- /7/ HAHN, R. (1986): Bleibelastung von Boden und Grundwasser durch Wurftaubenschießanlagen. - Wasser + Boden, 1: 32-36.
- /8/ Niederländischer Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung (1988) nach: Leidraad Bodensanering Deel II. - Technisch-Inhoudelijk Deel Afl. 4, '88, Sdu uitgeverij; 'S-Gravenhage 1988.
- /9/ SCHLICHTING, E. & BLUME, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. - Verlag Paul Parey; Hamburg, Berlin.
- /10/ Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung - TrinkWV), novellierte Fassung. - GBl. vom 12.12.1990: 2612-2632; Bonn.
- /11/ Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums über die Festsetzung von Wasserschutzgebieten (VwV-WSG) vom 14. November 1994. - GABI. B.-W.: 881-895, 19.12.1994.
- /12/ VDLUFA (1994): Bestimmung von PAK in Böden, Klärschlämmen und Komposten. - LUFAMethodenbuch Band 7.
- /13/ Zentrale Erfassung- und Bewertungsstelle (ZEBS) des Bundesgesundheitsamts (1994): Richtwerte für Schadstoffe in Lebensmitteln. - Bundesgesundhbl. 5/94: 230-231.

Indexverzeichnis

A

anorganische Schadstoffe	
Wurftauben-Schießanlage	15
anorganische Schadstoffe in Pflanzen	
Wurftauben-Schießanlage	21
Arsengehalte	
Schießplatzböden	27

B

Bleigehalte	
Schießplatzböden	25
Blei-Gesamtgehalte	
Wurftauben-Schießanlage	12
Bleischrot.....	1, 3
Ausbreitung und Verteilung	4

K

Kontamination des Bodens	
im Bereich von Wurftauben-Schießanlagen.....	1

P

PAK	
Gehalte bei Wurftauben-Schießanlagen.....	29
Wurftauben-Schießanlage	22
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	
Gehalte bei Wurftauben-Schießanlagen.....	29
Wurftauben-Schießanlage	22

S

Schadstoffbelastung	
im Bereich von Wurftauben-Schießanlagen.....	1
Schießanlage	1
Schießplatz	

Wasserschutzgebiet.....	3
Schießplatzböden	
Arsengehalte	27
Bleigehalte	25
Schrotarsenmengen.....	27
Schrotbleimengen.....	25
Schrotarsenmengen	
Schießplatzböden	27
Schrotbleimengen	
Schießplatzböden	25
Schrotkugel.....	3
Schrotschießanlage	1
Skeet-Anlage.....	3

T

Trap-Anlage	3
-------------------	---

W

Wasserschutzgebiet	
Schießplatz.....	3
Wurftauben-Schießanlage	1, 3
anorganische Schadstoffe	15
anorganische Schadstoffe in Pflanzen	21
Beprobung von Profilvergräben.....	7
Blei-Gesamtgehalte.....	12
chemische Analysen	11
Entnahme von Flächenproben	8
Entnahme von Pflanzenproben	9
Hauptaufschlagbereiche	7
PAK-Gehalte.....	29
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe ..	22
Probenaufbereitung.....	10

Abbildungsverzeichnis

ABB.1	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER PROBEHAHMEPUNKTE DER FLÄCHENPROBEN.....	9
-------	--	---

Tabellenverzeichnis

TABELLE 2.1	SCHIEßPLATZSTANDORTE UND -BÖDEN UNTER VERSCHIEDENER NUTZUNG SOWIE LAGE ZU WASSERSCHUTZGEBIETEN, OBERFLÄCHENGEWÄSSERN UND ZUM GRUNDWASSER VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN SCHROTSCHIEßANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG.....	6
TABELLE 3.1	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/K~ BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINES SANDSTEIN-PODSOLS AUS SCHUTT AUS DEM MITTLEREN BUNTSANDSTEIN (F SMCL -SST-PO) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS.....	13
TABELLE 3.2	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/ KG BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINER BRAUNERDE AUS SAND- UND TONSTEINEN AUS DEM STUBENSANDSTEIN (M KM4-STST-BE) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS.....	13
TABELLE 3.3	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/KG BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINES AUFTRAGSBODENS AUS QUARTÄREN FLUVIATILEN SANDEN UND KIESEN (W F ISKI-AB) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS.....	13
TABELLE 3.4	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/KG BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINER TERRA FUSCA AUS KALKSTEINEN DES WEIßEN JURA (WI JW KST-Tf) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS.....	14
TABELLE 3.5	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/KG BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINER BRAUNERDE AUS LÖB (N L-BE) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS	14
TABELLE 3.6	FLÄCHIGE VERTEILUNG VON BLEIGEHALTEN (MG Pb/KG BODEN) IM FEINBODENMATERIAL EINES NIEDERMOORS (K NM) AUS DEM AUFSCHLAGBEREICH NACH AUSSIEBEN DES BLEISCHROTS.....	14
TABELLE 3.7	SCHROT- . UND BLEIMENGEN IN UNTERSCHIEDLICHEN SCHIEßPLATZBÖDEN (PROFILGRUBEN) VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN ANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG SOWIE DIE KORRODIERTEN ANTEILE* AM SCHROT-BLEI UND DIE MOBILEN ANTEILE ** AM KORRODIERTEN BLEI (JEWEILS IN %).	16
TABELLE 3.8	SCHROT- UND ARSENMENGEN IN UNTERSCHIEDLICHEN SCHIEßPLATZBÖDEN, (PROFILGRUBEN) VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN ANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG SOWIE DIE KORRODIERTEN ANTEILE) AM SCHROT-ARSEN UND DIE MOBILEN ANTEILE ** AM KORRODIERTEN ARSEN (JEWEILS %).	18
TABELLE 3.9	SCHROT- UND ANTIMONMENGEN IN UNTERSCHIEDLICHEN SCHIEßPLATZBÖDEN (PROFILGRUBEN) VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN ANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG SOWIE DIE KORRODIERTEN ANTEILE* AM SCHROT-ANTIMON UND DIE MOBILEN ANTEILE ** AM KORRODIERTEN ANTIMON (%).	20
TABELLE 3.10	BLEIGEHALTE DER BÖDEN SOWIE IN WURZELN UND SPROSSEN VERSCHIEDENER AUF SCHROTSCHIEßPLÄTZEN (X1) UND AUF VON SCHROT UNBEEINFLUßTEN VERGLEICHSFLÄCHEN (X0) GEWACHSENER PFLANZEN	23
TABELLE 4.1	SCHROT-, SCHROTBLEI- UND BLEIMENGEN SOWIE BLEIGEHALTE (MG/KG, PG/KG) IN UNTERSCHIEDLICHEN SCHIEßPLATZBÖDEN VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN ANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG, BEWERTET NACH DER 3. VWV ZU § 19 NR. 3 BODSCHG.....	25
TABELLE 4.2	SCHROT-"SCHROTARSEN- UND ARSENMENGEN SOWIE ARSENGEHALTE (MG/KG, µG/KG) IN UNTERSCHIEDLICHEN SCHIEßPLATZBÖDEN VON VERSCHIEDEN ALTEN UND FREQUENTIERTEN ANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG, BEWERTET NACH DER 3. VM/ZU § 19 NR. 3 BODSCHG.....	27
TABELLE 4.3	PAK-GEHALTE IN BÖDEN VON 5 VERSCHIEDENEN SCHROTSCHIEßANLAGEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG (IN MG PAK/KG).....	29