

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen

Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß § 9 BBodSchG

erstellt im Auftrag des

**Landkreis Osterholz,
Kreisabfallwirtschaft**

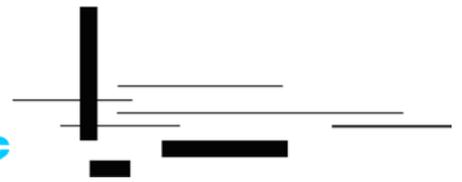
durch

**Umtec
Prof. Biener | Sasse | Konertz
Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB**

im Februar 2021

Partner
**Dipl.-Ing. Torsten Sasse
Dr. Klaus Konertz
Dipl.-Geol. Christoph Meyer
Dr. Tobias von Mücke**

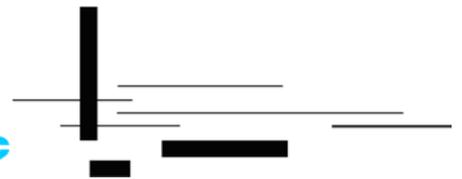
Haferwende 7
28357 Bremen
Telefon
0421 20 75 9-0
Telefax
0421 20 75 9-999
info@umtec-partner.de
www.umtec-partner.de



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
1	Vorgang	1
2	Projektbeteiligte	2
3	Beschreibung der Standortsituation	3
3.1	Lage und Nutzungsverhältnisse	3
3.2	Geologischer und hydrogeologischer Überblick	4
3.3	Bisher bekannte Belastungssituation	5
3.4	Bisherige Sanierungsmaßnahmen	7
3.5	Defizitanalyse	8
4	Darstellung und Begründung Untersuchungskonzept	9
5	Beschreibung der durchgeführten Arbeiten	10
5.1	Untersuchungsprogramm	10
5.1.1	Bodenprobenentnahmen	11
5.1.2	Wasserprobenentnahmen	19
5.1.2.1	Wasser aus den Torfen	20
5.1.2.2	Wasser aus Auffüllungen im Sanierungsbereich	20
5.1.2.3	Grundwasser	20
5.1.2.4	Dränagewasser	20
5.1.2.5	Wasser aus dem Sicherungsbauwerk	21
5.1.2.6	Oberflächengewässer	21
5.1.3	Sedimentprobenentnahmen	21
5.1.4	Chemische Untersuchungen	21
5.1.4.1	Feststoff- und Eluatanalysen	22
5.1.4.2	Wasseranalysen	28
5.1.4.3	Sedimente	29
5.1.5	Arbeitsschutz	29
5.1.6	Vorbereitung, Koordination, Begleitung und Überwachung der Leistungen vor Ort	29
6	Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse	30
6.1	Geologische und hydrogeologische Standortverhältnisse	30



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

6.1.1	Untergrundaufbau	30
6.2	Hydrogeologische Standortverhältnisse	34
6.3	Belastungssituation	35
6.3.1	Bewertungskriterien	35
6.3.2	Boden	38
6.3.2.1	Schwermetalle und Arsen	38
6.3.2.2	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	53
6.3.2.3	pH-Werte	55
6.3.2.4	Carbonat	57
6.3.2.5	Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	59
6.3.2.6	Sanierungsbereich	59
6.3.3	Wasser	62
6.3.3.1	Wasser aus den Torfen	62
6.3.3.2	Wasser aus Auffüllungen im Sanierungsbereich	64
6.3.3.3	Grundwasser	65
6.3.3.4	Dränagewasser	66
6.3.3.5	Wasser im Sicherungsbauwerk	67
6.3.3.6	Oberflächengewässer	68
6.3.4	Sedimente	72
6.4	Sicherungsbauwerk	77
6.5	Gesamtbewertung der Belastungssituation	78
7	Gefährdungsabschätzung	78
7.1	Schadstoffeigenschaften	80
7.2	Beurteilung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse	83
7.3	Volumen- und Mengenabschätzung	83
7.4	Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe	89
7.5	Exposition von Schutzgütern auf relevanten Wirkungspfaden	91
7.5.1	Wirkungspfad Boden – Mensch (direkter Kontakt)	92
7.5.2	Wirkungspfad Boden - Bodenluft – (Innenraumluft) - Mensch	92
7.5.3	Wirkungspfad Boden – Nahrungs-/ Futterpflanze –Tier - Mensch	93
7.5.4	Wirkungspfad Boden – (Sickerwasser -) Grundwasser (-Trinkwasser – Mensch)	93
7.5.5	Wirkungspfad Boden – (Sickerwasser) – (Grundwasser) – Oberflächengewässer – (Mensch)	94
7.6	Zusammenfassende Beurteilung der Altlast	95
7.6.1	Gefahren- und Schadensfeststellung	95

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

7.7	Zusammenfassende Risikobeurteilung	97
7.8	Vorläufige Sanierungsziele	98
8	Vorschläge zum weiteren Vorgehen	99
9	Unterlagen	105
10	Literaturverzeichnis	114

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlagen

Anlage 1

Abbilder

- Abbild 1: Übersichtslageplan, M 1 : 1.000
- Abbild 2: Belastungen durch Blei im Boden (Maximalwerte im Feststoff), M 1 : 1.000
- Abbild 3: Belastungen durch Blei im Boden (Maximalwerte im Eluat), M 1 : 1.000
- Abbild 4: Belastungen durch Blei im Wasser (Grundwasser, Stauwasser, Wasser in den Torfen und Oberflächengewässer), M 1 : 1.000
- Abbild 5: Belastungen durch Arsen im Boden (Maximalwerte im Feststoff), M 1 : 1.000
- Abbild 6: Belastungen durch Arsen im Boden (Maximalwerte im Eluat), M 1 : 1.000
- Abbild 7: Belastungen durch Arsen im Wasser (Grundwasser, Stauwasser, Wasser in den Torfen und Oberflächengewässer), M 1 : 1.000
- Abbild 8: Belastungen durch Antimon im Boden (Maximalwerte im Feststoff), M 1 : 1.000
- Abbild 9: Belastungen durch Antimon im Boden (Maximalwerte im Eluat), M 1 : 1.000
- Abbild 10: Belastungen durch Antimon im Wasser (Grundwasser, Stauwasser, Wasser in den Torfen und Oberflächengewässer), M 1 : 1.000
- Abbild 11: Belastungen durch Cadmium im Wasser (Grundwasser, Stauwasser, Wasser in den Torfen und Oberflächengewässer), M 1 : 1.000
- Abbild 12: Schematischer Profilschnitt A – A' mit Darstellung der Bleiverteilung im Boden und im Wasser, M.d.L. 1 :500, M. d. H. 1 : 50
- Abbild 13: Schematischer Profilschnitt B – B' mit Darstellung der Bleiverteilung im Boden und im Wasser, M.d.L. 1 :500, M. d. H. 1 : 50

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- Abbild 14: Schematischer Profilschnitt C – C' mit Darstellung der Bleiverteilung im Boden und im Wasser, M.d.L. 1 :500, M. d. H. 1 : 50
- Abbild 15: Schematischer Profilschnitt D – D' mit Darstellung der Bleiverteilung im Boden und im Wasser, M.d.L. 1 :500, M. d. H. 1 : 50
- Abbild 16: Schematischer Profilschnitt E – E' mit Darstellung der Bleiverteilung im Boden und im Wasser, M.d.L. 1 :500, M. d. H. 1 : 50
- Abbild 17: Übersicht Belastungsbereiche Boden; M 1 : 1.000

Anlage 2

Tabellen

- Tabelle 1: Zusammenstellung der Boden-, Auffüllungs- und Sedimentprobenentnahmen
- Tabelle 1.1: Zusammenstellung des chemischen Untersuchungsumfangs der Boden-, Auffüllungs- und Sedimentproben
- Tabelle 1.2: Zusammenstellung des chemischen Untersuchungsumfangs der Wasserproben (Grundwasser, Stauwasser, Wasser aus den Torfen und Oberflächengewässer)
- Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse der chemischen Analysen (Feststoff / Eluat)
- Tabelle 2.1: Zusammenstellung der Ergebnisse der chemischen Analysen (Sanierungsbereich)
- Tabelle 2.1.1: Tiefenzionierte Darstellung der Analyseergebnisse für den Parameter Blei im Boden (Eluat)
- Tabelle 2.1.2: Tiefenzionierte Darstellung der Analyseergebnisse für den Parameter Arsen im Boden (Eluat)
- Tabelle 2.1.3: Tiefenzionierte Darstellung der Analyseergebnisse für den Parameter Molybdän im Boden (Eluat)
- Tabelle 2.1.4: Tiefenzionierte Darstellung der Analyseergebnisse für den Parameter Kupfer im Boden (Eluat)

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Tabelle 2.1.5:	Tiefenzonierte Darstellung der Analyseergebnisse für den Parameter Nickel im Boden (Eluat)
Tabelle 3:	Zusammenstellung der Ergebnisse der hydrochemischen Analysen (Grundwasser, Stauwasser, Wasser aus den Torfen und Oberflächengewässer)
Tabelle 4:	Zusammenstellung der Ergebnisse der vermessungstechnischen Aufnahme

Anlage 3 Sondierprofile, Schichtenverzeichnisse und Ausbauezeichnungen

Anlage 3.1	Sondierprofile und Schichtenverzeichnisse der Rammkernbohrungen (RKB) [Umtec, 2020]
Anlage 3.2	Bodenprofile der Eijkelkamp-Bohrungen (BSS, ZMZ, SSZ, NB, HSR, RF und REF) [Umtec, 2020]
Anlage 3.3	Bohrprofile und Ausbauezeichnungen der Rammkernsondierungen BS 1 bis BS 6 und Grundwassermessstellen GMS 1 und GMS 2 [Umtec, 2020]
Anlage 3.4	Bohrprofile und Ausbauezeichnungen der Kleinrammbohrungen KB-1 bis KB-11 und Sondierprofile der schweren Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-4 [Umtec, 2018]
Anlage 3.5	Bohrprofile und Ausbauezeichnungen der Grundwassermessstellen P4 bis P6 [R&R, 2019]

Anlage 4 Probennahmeprotokolle

Anlage 4.1	Probennahmeprotokolle „Grund- und Stauwasser sowie Oberflächengewässer“
Anlage 4.2	Probennahmeprotokolle „Direct-Push-Grundwasserentnahmen“

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- Anlage 5 Analysenergebnisse**
- Nur der digitalen Fassung des Gutachtens beigefügt -
- Anlage 5.1 Prüfberichte „Feststoff- / Eluatanalysen“
Anlage 5.2 Prüfberichte „Hydrochemische Analysen“
- Anlage 6 Fotodokumentation**
- Anlage 7 Gefahrstoffdatenblätter**
- Nur der digitalen Fassung des Gutachtens beigefügt -
- Anlage 8 Digitale Fassung**

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 1

Abbilder



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 2

Tabellen



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3

Sondierprofile, Schichtenverzeichnisse und Ausbauezeichnungen



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3.1

**Sondierprofile und Schichtenverzeichnisse
der Rammkernbohrungen (RKB) [Umtec, 2020]**



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3.2

**Bodenprofile der Eijkelkamp-Bohrungen
(BSS, ZMZ, SSZ, NB, HSR, RF und REF) [Umtec, 2020]**

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3.3

**Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der Rammkernsondierungen BS 1 bis BS 6
und Grundwassermessstellen GMS 1 bis GMS 3 [Umtec, 1996]**

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3.4

**Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der Kleinrammbohrungen KB-1 bis KB-11
und Sondierprofile der schweren Rammsondierungen DPH-1 bis DPH-4
[Umtec, 2018]**



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 3.5

**Bohrprofile und Ausbauzeichnungen
der Grundwassermessstellen P4 bis P6 [R&R, 2019]**



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 4

Probennahmeprotokolle



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 4.1

Probennahmeprotokolle „Grund- und Stauwasser sowie Oberflächengewässer“



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 4.2

Probennahmeprotokolle „Direct-Push-Grundwasserentnahmen“



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 5

Analysenergebnisse

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 5.1

Prüfberichte „Feststoff- / Eluatanalysen“

- nur der digitalen Fassung des Gutachtens beigelegt -

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 5.2

Prüfberichte „Hydrochemische Analysen“

- nur der digitalen Fassung des Gutachtens beigelegt -



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 6

Fotodokumentation

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 7

Gefahrstoffdatenblätter

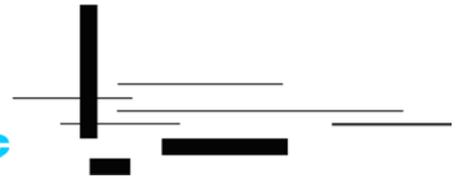
- nur der digitalen Fassung des Gutachtens beigelegt -



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlage 8

Digitale Fassung



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

1 Vorgang

Die Schießsportanlage Waakhausen wird seit 1974 in der Gemeinde Worpsswede, Ortschaft Waakhausen, in Niedersachsen betrieben.

Bereits im Jahr 2006 wurde für den Schießplatz entsprechend § 6 und Anhang 3 der BBodSchV /2/¹ ein Sanierungsplan erstellt. Auf dieser Grundlage erfolgte in den Jahren 2006 / 2007 eine Sanierung der Anlage.

Dennoch wurden beim nachfolgenden Monitoring im direkten Umfeld der Anlage unter anderem steigende Bleiwerte in den Grabensedimenten festgestellt.

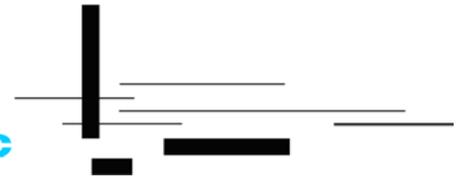
Auf Basis eines Angebotes vom 2. März 2020 beauftragte der Landkreis Osterholz mit Schreiben vom 30. März 2020 die Umtec Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB, mit der Durchführung einer Gefährdungsabschätzung für das Grundstück Schießsportanlage Waakhausen in der Gemeinde Worpsswede.

Ziel der beauftragten Leistungen ist eine Gefährdungsabschätzung gemäß § 9 BBodSchG /1/. Dazu müssen Schutzgüter, Schadstoffquellen und Wirkungspfade (Transferpfade, Stoffausbreitungspfade) quantitativ beschrieben werden. Hierfür sind genauere Kenntnisse des Untergrundaufbaus, der hydrogeologischen Standortverhältnisse, der Schadstoffverteilung sowie deren zeitlichen Veränderungen, der möglichen Emissionspfade sowie der toxikologischen Relevanz der Schadstoffe notwendig. Die Erbringung der Leistungen erfolgte in gestufter Vorgehensweise.

Die Ergebnisse der Einarbeitung und Grundlagenermittlung sowie das daraus abgeleitete und mit der zuständigen Fachbehörde abgestimmte Untersuchungsprogramm für die Detailuntersuchung wurden in Form eines Berichtes im April 2020 [103]² dargestellt.

¹ Die in Schrägstriche gesetzten Ziffern, wie z. B. /1/, beziehen sich auf das Literaturverzeichnis in Kapitel 10.

² Die in eckigen Klammern stehenden Zahlen, wie z. B. [103], beziehen sich die in Kapitel 9 genannten Unterlagen.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

In dem vorliegenden Gutachten zur Gefährdungsabschätzung werden die Ergebnisse der Detailuntersuchung im Einzelnen dargestellt und bewertet. Eine zusammenfassende Darstellung der relevanten Kontaminationen befindet sich in Kapitel 6. Die Gefährdungsabschätzung erfolgt in Kapitel 7. Entsprechende Vorschläge zum weiteren Vorgehen werden in Kapitel 8 gegeben.

2 Projektbeteiligte

- **Auftraggeber (AG) / zuständige Fachbehörde:**

Landkreis Osterholz
Umweltamt
Osterholzer Straße 23
27711 Osterholz-Scharmbeck

- **Nachunternehmer:**

Direct-Push-Sondierungen zur tiefenzonierten Grundwasserbeprobung,
Probenentnahmen aus Grund- und Stauwassermessstellen sowie Oberflächen-
gewässern:

Geotechnik Rommeis & Schmoll GmbH
Im Saal 2
24145 Kiel

Chemische Untersuchungen:

Agrolab Agrar und Umwelt GmbH
Dr.-Hell-Str. 6
24107 Kiel

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

3 Beschreibung der Standortsituation

3.1 Lage und Nutzungsverhältnisse

Die Schießsportanlage liegt in der Gemeinde Worpswede, Ortschaft Waakhausen, in Niedersachsen. Die Anlage befindet sich ca. 5 km südwestlich von Worpswede in einem ausgedehnten Hochmoorgebiet (vgl. hierzu auch nachfolgendes Bild 1).



Bild 1: Großräumige Lage Schießsportanlage Waakhausen (roter Kreis), Quelle: www.openstreetmap.de.

Der ca. 22 ha umfassende Anlagenstandort besteht aus den Flurstücken 69/1, 63/3, 71/1, 72/1, 1/3, 52/2, 60/3, 62/2, 63/2, 65/1, 66/2, 68/1 und 73/1.

Im Südwesten schließt unmittelbar als Vorflut der Landwehrgraben an. Die umliegenden Flächen werden landwirtschaftlich genutzt (z. B. nordwestlich der Schießsportanlage, u. a. Flurstück 60/2, und südlich des Landwehrgrabens) bzw. sind Ödland oder Wald (z. B. nordöstlich der Schießsportanlage die Waldfläche „Westheide“).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Am Standort befinden sich drei Anlagen für Skeet- und Trapschießen (Beschuss mit Bleischrot; seit Mai 2019 nicht in Betrieb), drei Kugelstände (Laufender Keiler, Kurzwaffenstand und 100m-Kugelbahn; derzeit alle in Betrieb) und ein weiterer Schießstand der sogenannte „Kippphase“ (Beschuss mit Bleischrot; seit längerem Zeitraum nicht in Betrieb).

Laut Betreiber wurden in den Anlagen für Skeet- und Trapschießen seit über 10 Jahren PAK-freie Wurfscheiben verwendet.

Einen Überblick über den Standort vermittelt das Abbild 1 in Anlage 1.

3.2 Geologischer und hydrogeologischer Überblick

Die Schießsportanlage Waakhausen liegt, wie bereits beschrieben, in einem durch Hochmoor gekennzeichneten Naturraum im Norden der Wümmeniederung bzw. im Osten der Hammeniederung.

Die mittlere Torfmächtigkeit beträgt ca. 2 m. In den oberen Abschnitten handelt es sich um einen schwach bis mittel stark zersetzten Weißtorf. Die unteren Abschnitte werden durch einen mittel bis stark zersetzten Schwarztorf gebildet.

In einem Teilbereich wurden im Zuge einer Bodensanierung (2006 / 2007) [35] die bleischrothaltigen Torfe oberflächennah (im Mittel bis ca. 30 cm) gegen bauschutthaltige Sande ersetzt (s. Kapitel 3.4).

Unterhalb des Torfes stehen ab ca. 2 m bis 4 m Tiefe unter GOK sandige Ablagerungen an. Diese pleistozänen, glazifluviatilen, teils schwach feinkiesigen Fein- bis Grobsande weisen eine Mächtigkeit von ca. 10 m auf und bilden im Untersuchungsgebiet den oberen Grundwasserleiter.

Die Grundwassersohlschicht besteht gemäß der Aufschlussbohrung DBF29L Worswede [2] aus einem Drenthe-zeitlichen, ca. 5,5 m mächtigen Geschiebelehm.

Das Liegende dieses Geschiebelehmes bilden sandig-schluffige Lockersedimente des Tertiärs (Pliozän, Miozän), deren Mächtigkeit nach [2], [3] bei ca. 75 m liegt.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Bedingt durch die nahezu flächendeckend vorhandenen Torfe ist der Standort als staunass einzustufen und der Wasserstand reicht witterungsabhängig bis zur Geländeoberkante. Das eigentliche Grundwasser steht teilgespannt in den Sanden an.

Bei einem sehr geringen hydraulischen Gefälle und geringer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit ($v_a \leq 8$ m/a) ist von einer westlichen bis südwestlichen Grundwasserfließrichtung auszugehen.

Als lokale Vorflut für das Grundwasser / Stauwasser fungiert nach derzeitigem Kenntnisstand der Landwehrgraben.

3.3 Bisher bekannte Belastungssituation

Die vor Durchführung der Detailuntersuchung bekannte Belastungssituation im Bereich der Schießsportanlage Waakhausen lässt sich auf Grundlage der vorhandenen Unterlagen (s. Kapitel 9) wie folgt zusammenfassen:

In den oberflächennahen Bodenmaterialien wurden insbesondere in den Schussfeldern der Schießsportanlage Beeinträchtigungen durch Bleischrot festgestellt. Bleischrot besteht gemäß /3/ zu etwa 95% aus Blei und jeweils zu 2-3% aus den Legierungszusätzen Arsen und Antimon. Grundsätzlich war auch bei den früheren Untersuchungsbereichen eine vertikale Verschleppung über den Pfad Wasser durch eine Lösung des Bleischrots (saurer Milieu) erkennbar.

In den Jahren 2006 / 2007 erfolgte in einem Teilbereich ein oberflächennaher Bodenaustausch von mit Bleischrot kontaminiertem Boden gegen Sande / Bauschutt (s. Anlage 1 und Kapitel 3.4) [35].

Der mit Bleischrot belastete Boden wurde am Standort in ein Sicherungsbauwerk eingebaut (sog. „Wurst“; s. auch Kapitel 3.4) [35].

Bei in den Jahren 2017 / 2018 durchgeführten Erkundungen [88] wurden die Sande mit den Bauschuttanteilen zu Vergleichszwecken gemäß LAGA /5/, /6/ als teilweise $> Z 1.1$ und $\leq Z 2$ sowie $> Z 2$ eingestuft.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Seit dem vorgenannten Bodenaustausch erfolgt ein jährliches Monitoring für das Grundwasser, das Oberflächenwasser, die Sedimente und das Sicherungsbauwerk. Im Sediment des Landwehrgrabens wurden im Rahmen des Monitorings zuletzt steigende Bleiwerte festgestellt.

Die Ergebnisse der in den Jahren 2018 / 2019 durchgeführten Untersuchungen [87], [90] - [92], [94] lassen sich wie folgt zusammenfassen:

	Blei	Arsen	Antimon
Oberflächenwasser	bis 672 µg/L** GW-1*:144 µg/L GW-2*:40 µg/L GW-3*:17 µg/L GW-4*:7 µg/L	bis 73 µg/L	bis 29 µg/L
Grabensedimente	bis 2.500 mg/kg GS-1*: 87 mg/kg GS-2*:1.538 mg/kg GS-3*:382 mg/kg GS-4*:134 mg/kg	bis 79 mg/kg	bis 31 mg/kg
Grundwasser	bis 20 µg/L	bis 37 µg/L	bis 66 µg/L
Stauwasser im Sicherungsbauwerk	unbekannt	unbekannt	unbekannt
Wasser aus Endschacht des Sicherungsbauwerkes (W3) [92]	bis 5.700 µg/L	bis 3.600 µg/L	bis 230 µg/L
Wasser aus der Dränschicht des Sicherungsbauwerkes (W Ablauf Deponie) [92]	bis 58 µg/L	bis 24 µg/L	bis 3 µg/L
Oberflächenwasser am nordöstlichen Böschungsfuß des Sicherungsbauwerkes (W1, W2) [92]	bis 160 µg/L	bis 19 µg/L	bis 3,6 µg/L
Boden „Mulde vor Sicherungsbauwerk“ (Nordostrand Sicherungsbauwerk“ [94]	bis 460 mg/kg	bis 52 µg/L	

* Mittelwerte 2014 – 2019; ** unfiltrierte Probe

Hinweis: Gemäß Oberflächengewässerverordnung (OGewO) /8/ sind Wasserproben aus einem Oberflächengewässer vorab mit 45 µm zu filtrieren.

Tabelle 1: Zusammenfassung Belastungssituation

Die Lage der bisherigen Entnahmestellen Grundwasser, Oberflächenwasser und Grabensedimente ist aus Abbild 1 der Anlage 1 ersichtlich.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

3.4 Bisherige Sanierungsmaßnahmen

Auf Grundlage eines Sanierungsplans wurde 2006 / 2007 ein Teilbereich der Schießsportanlage Waakhausen saniert [19], [28], [35]. Der Sanierungsbereich ist in Abbild 1 der Anlage 1 dargestellt.

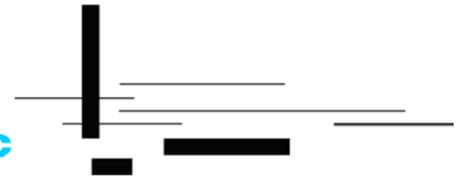
Seinerzeit wurde im Hauptdepositionsbereich der Bleischrote der kontaminierte Boden (Fläche: ca. 250 m x ca. 80 m bzw. ca. 20.000 m²; Aushubtiefe: ca. 30 cm im Mittel; Aushubmenge: ca. 6.000 m³) abgeschoben und in einem Sicherungsbauwerk (Länge: ca. 240 m; Breite: ca. 17 m Höhe: ca. 4 m) komplett mit 2 mm Kunststoffdichtungsbahn umschlossen; Abdeckung mit Vlies und Boden) auf dem Standort selbst gesichert.

Zur Überwachung der Entwicklung der Wasserstände und Schadstoffbelastungen in dem gesicherten Boden wurden 6 Peilrohre in das Sicherungsbauwerk eingebaut (P1 bis P6, s. hierzu auch Abbild 1 in Anlage 1).

Einen Überblick des generellen Aufbaus des Sicherungsbauwerkes vermittelt das Bild 2 auf der nächsten Seite.

Nach Aushub des kontaminierten Bodens wurde in diesem Bereich an der Basis ein Trennvlies ausgelegt und die Fläche mit Sand aufgefüllt. Die Fahrwege wurden dabei mit Bauschutt befestigt. Abschließend wurde ein PE-Monofilgewebe verlegt, um ein Eindringen von Schrotkugeln in den Boden zu verhindern und eine Bergung der Kugeln zu ermöglichen.

Das PE-Monofilgewebe ist mittlerweile stark bewachsen, wodurch eine Bergung der Schrote erheblich erschwert wird.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

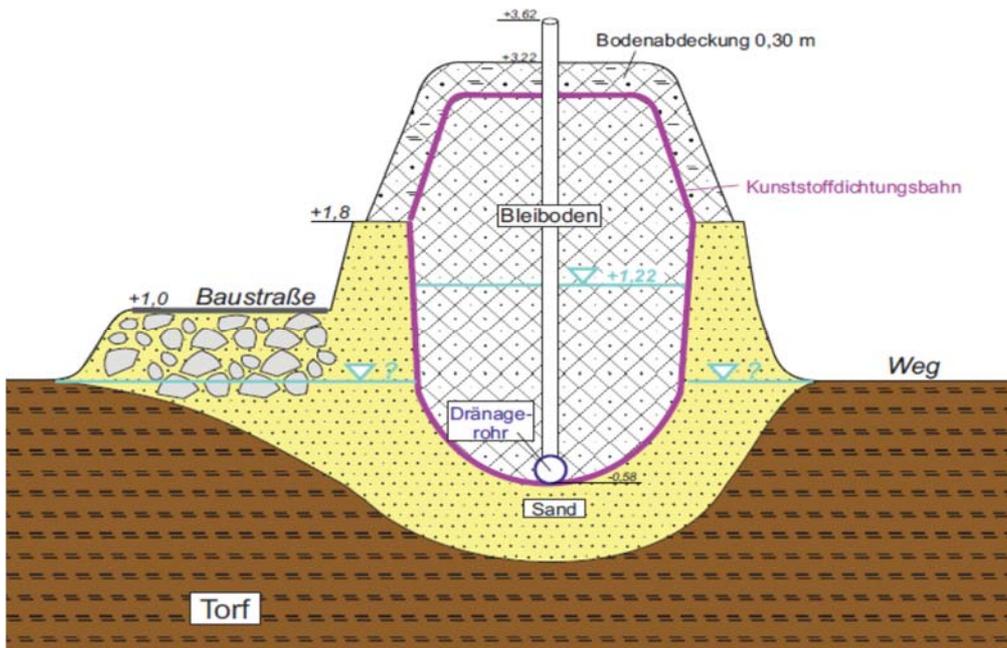
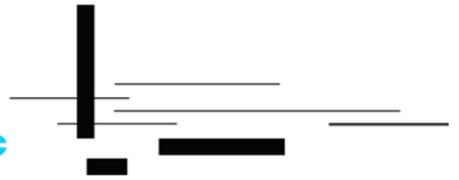


Bild 2: Schematisches Querprofil des Sicherungsbauwerkes (Ausschnitt aus [98])

3.5 Defizitanalyse

Für die Schießsportanlage Waakhausen wurden im Bericht zur Einarbeitung und Grundlagenermittlung [103] folgende Kenntnisdefizite abgeleitet:

- Wie ist die aktuelle Belastungssituation im Boden, im Grundwasser und in den Oberflächengewässern?
- Gewährleistet der aktuelle Zustand des Sicherungsbauwerkes noch eine ausreichende Funktionalität?
- Welche Gefährdung ist durch die aktuelle Belastungssituation gegeben und welcher Handlungsbedarf lässt sich daraus ableiten? (Ziel: Gefährdungsabschätzung gemäß § 9 BBodSchG /1/).



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

4 Darstellung und Begründung Untersuchungskonzept

Für die Schießsportanlage Waakhausen soll der aktuelle Zustand der Schießsportanlage anhand einer Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG /1/ ermittelt werden.

Dazu ist es erforderlich, die Belastungssituation auf dem Standort der Schießsportanlage (Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer) sowie dessen Umfeld (Grundwasser sowie Oberflächengewässer und deren Sedimente) unter Berücksichtigung bereits vorhandener Untersuchungsergebnisse und der gesetzlichen Vorgaben zu erfassen und zu bewerten. Als wesentliche Gefährdungspfade sind zu nennen:

- Boden – Grundwasser
- Boden (– Grundwasser) – Gewässer
- Boden – Mensch / Tier / Pflanze

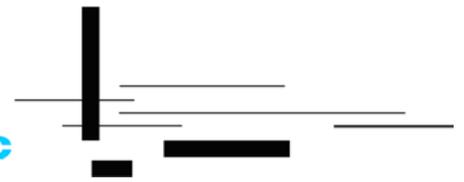
In diesem Rahmen wurde nach einer Einarbeitung und der bereits genannten Grundlagenermittlung ein Untersuchungskonzept für eine Detailuntersuchung [103] der Schießsportanlage Waakhausen ausgearbeitet und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchung bilden die Datengrundlage für eine Gefährdungsabschätzung. Die Detailuntersuchung dient insbesondere der Feststellung

von Menge und räumlicher Verteilung der Schadstoffe,
ihrer mobilen oder mobilisierbaren Anteile,
ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten in Boden, Grundwasser und Gewässer sowie
der Möglichkeit ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen.

Darüber hinaus war festzustellen, ob sich aus räumlich begrenzten Schadstoffanreicherungen Gefahren ergeben und ob und wie eine Abgrenzung von nicht belasteten Flächen geboten ist.

Die Ergebnisse der Detailuntersuchung sollten darüber hinaus unter Beachtung der Gegebenheiten des vorliegenden Falls Aufschluss darüber geben, inwieweit Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich werden.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

In der vorliegenden Gefährdungsabschätzung werden auch Aussagen zu einem künftigen Schießbetrieb getroffen und die Auswirkungen bei einer möglichen Umstellung auf Eisenschrot bewertet.

Des Weiteren werden Aussagen zum Zustand und zur Dichtigkeit des auf der Schießsportanlage befindlichen Sicherungsbauwerks gemacht.

5 Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

5.1 Untersuchungsprogramm

Das Untersuchungsprogramm zur Detailuntersuchung [103], wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, gliedert sich in die folgenden generellen Leistungen:

- Bodenprobenentnahmen (Auffüllungen, Torfe, Sande, Sedimente „Oberflächengewässer“, Aushub Gräben)
- Wasserprobenentnahmen (Wasser aus den Torfen, Grundwasser, Wasser „Sicherungsbauwerk“ und Oberflächengewässer)
- Chemische Untersuchungen

Die vorgenannten generellen Leistungen wurden flächen- und flurstücksbezogen im Zeitraum 29. Juni 2020 bis 22. September 2020 durchgeführt. Der Leistungsumfang stellt sich zusammenfassend wie folgt dar (vgl. hierzu auch die Tabellen 1, 1.1, 1.2 und 4 in Anlage 2):

- 86 Probenahmepunkte (580 Bohrungen, s. hierzu auch Kapitel 5.1.1)
- Erstellen von 416 Mischproben (s. hierzu auch Kapitel 5.1.1)
- 21 Bohrungen zur oberflächennahen, tiefenzonierten Grundwasserentnahme aus den Torfen, wobei in 9 Bohrungen jeweils ein ausreichender Wasserandrang für die Entnahme einer Wasserprobe gegeben war (s. hierzu Kapitel 5.1.2.1)
- 1 Wasserprobenentnahme aus dem Stauwasser im Sanierungsbereich (s. hierzu Kapitel 5.1.2.1)

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

- 19 tiefenzonierte Grundwasserprobennahmen aus den Sanden im Direct-Push-Verfahren (s. hierzu auch Kapitel 5.1.2.3)
- 6 Grundwasserprobennahmen aus den bestehenden Messstellen (s. hierzu Kapitel 5.1.2.3)
- 6 Stauwasserprobennahmen aus den bestehenden Messstellen des Sicherungsbauwerkes (s. hierzu Kapitel 5.1.2.5)
- 10 Oberflächenwasserprobennahmen (davon 3 Proben aus dem Dränagewasser der Schießsportanlage) und 16 Sedimentprobennahmen; s. hierzu Kapitel 5.1.2.4, 5.1.2.6 und 5.1.3)
- Chemische Analysen (Boden / Sedimente im Feststoff / Eluat; Grund- und Oberflächenwasser; s. hierzu Kapitel 5.1.4)

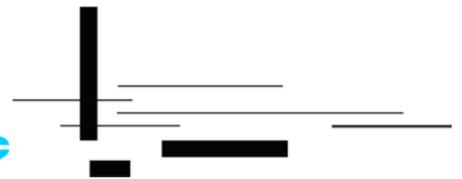
Im Zuge der Erkundungsarbeiten wurde das ursprünglich projektierte Untersuchungsprogramm [103] unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten und unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Ergebnisse in Abstimmung mit dem Auftraggeber ergebnisorientiert angepasst.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist im Folgenden der jeweils ursprünglich gemäß [103] vorgesehene Untersuchungsumfang ergänzend auch in Klammern aufgeführt.

Die einzelnen Leistungen der Detailuntersuchung werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt und erläutert.

5.1.1 Bodenprobenentnahmen

Die Bodenprobenentnahmen erfolgen in Anlehnung an die in /3/ und /20/ dargestellte Probennahmestrategie auf Schießständen.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Unter Berücksichtigung, dass die Öffnungswinkel der drei Anlagen für Skeet- und Trapschießen sich teilweise überlagern und in der Vergangenheit auch vermutlich davon abweichende generelle Schießrichtungen vorlagen, wurde eine rasterartige Probenentnahmestrategie umgesetzt.

Dazu wurde für die Bodenprobennahmepunkte ein ca. 30 m x ca. 30 m Raster über die mutmaßlichen Niederschlagsbereiche (NB) bzw. Depositionsbereiche gelegt, wobei ein maximaler Abstand zu den Schießständen von ca. 200 m berücksichtigt wurde.

Im Bereich des PE-Monofilgewebes, in dem bereits eine Sanierung stattgefunden hat (s. Kapitel 3.4), ist aus altlastentechnischer Sicht weniger das Schrot auf dem Gewebe, sondern vielmehr die seinerzeit eingebauten Sandmaterialien mit Bauschuttanteilen relevant. Die Standfläche des Sicherungsbauwerkes wurde ausgelassen, weil hier ein Zugang zu der früheren Geländeoberfläche nicht mehr gegeben ist.

Ebenso wurden die Schießanlagen „Laufender Keiler“ (LK), „Kurzwaffenstand“ (KWS), „100m-Kugelstand“ (KS) und ehemaliger „Kipphase“ (KH) beprobt.

Südlich der Schießstände, wo kein Schroteintrag stattgefunden haben kann, wurden insgesamt 3 Referenzproben (REF) entnommen.

Weitere Bodenprobennahmepunkte (RF) wurden rasterartig auf den Flurstücken 62/1 „Wellbrock“, 68/1, 71/1, 71/2 und 1/3 und in den restlichen Flächen verteilt, um die gesamte Fläche der Schießsportanlage Waakhausen untersuchungstechnisch zu erfassen.

Die Lage sämtlicher realisierten Bodenprobennahmepunkte ist aus Abbild 1 in Anlage 1 ersichtlich.

Vorgehensweise Bodenprobenentnahmen

Bei der Probennahme wurden um jeden Probennahmepunkt (NB, REF, HSR und RF) auf einer Kreisfläche von ca. 20 m² (Radius) etwa sieben Einzelbohrungen (Einstiche) von 50 mm Durchmesser und 50 cm Länge durchgeführt.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Ausgewählte Probennahmepunkte wurden bis 70 cm unter GOK ausgeführt, weil sich im Zuge der Erkundungen bestätigte, dass relevante Belastungen durch Blei im Eluat teilweise auch in tieferen Abschnitten zu vermuten waren.

An jedem Probennahmepunkt wurde das Bodenprofil in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung /16/ bis in 1 m Tiefe aufgenommen. Außerdem wurde an 24 ausgewählten Probennahmepunkten jeweils die UK der Torfe erfasst (12 Eijkelkampbohrungen bis max. 3,7 m unter GOK und 12 Rammkernbohrungen bis Bohrtiefe bis max. 6 m unter GOK; s. auch Abbild 1 in Anlage 1 und Tabelle 1 in Anlage 2). Hierbei wurden organoleptische Auffälligkeiten (Farbe, Konsistenz, Geruch, etc.) dokumentiert.

Alle Bohrlöcher wurden nach der Beprobung mit Quellton verschlossen, um Neukontaminationen tieferer Bodenschichten zu vermeiden.

Nach Entfernung der organischen Auflage bei Waldböden oder des Wurzelfilzes bei Grünlandböden wurden die oberen Bodenbereiche aus den Bohrungen, in denen sichtbar Schrot enthalten war, überwiegend in 5 cm-Intervallen bzw. teilweise in 10-cm-Intervallen zu je einer Mischprobe vereinigt, so dass sich eine Gesamtprobenmenge von mindestens ca. 1 kg je Probennahmeintervall ergab.

Aus den nachfolgenden, visuell nicht mit Schrot befrachteten Bodenbereichen (Bezugshorizonte) wurden in gleicher Weise jeweils Mischproben aus den drei sich anschließenden 10-cm-Intervallen entnommen. Die Lage der Bohrungen zur Entnahme der Einzelproben für die Erstellung der Flächenmischproben ist nachfolgend beispielhaft dargestellt:

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

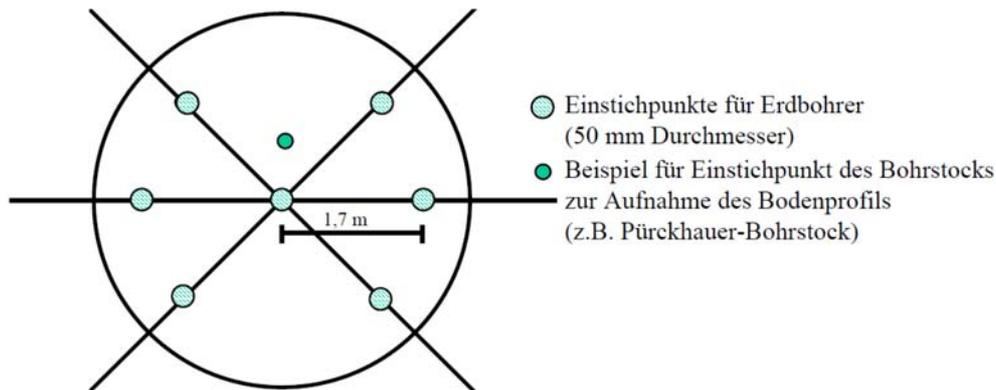


Bild 3: Beispielhaft dargestellte Lage der Bohrpunkte zur Entnahme der Flächenmischproben (aus: /3/).

Zur separaten Beprobung der organischen Auflage des Waldbodens (mit sichtbaren Schrotkugeln) wurde einmalig aus einer Fläche von 25 cm x 25 cm die organische Auflage vorsichtig mittels Schaufel (ohne Verluste an Schrot) entnommen (NB 20/14-MP7; s. auch Tabellen 1 und 2 in Anlage 2) und anschließend im Labor auf die Parameter Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (Feststoff und Eluat), pH-Wert, CaCO₃-Gehalt, TOC und Massenanteil Bleischrot untersucht.

Aufgrund des Ergebnisses bestand aus gutachterlicher Sicht allerdings nicht das Erfordernis, noch weitere organische Auflagen zu beproben, weil sich im Vergleich der Ergebnisse der Probe „Organische Auflage“ mit der unmittelbar unterlagernden Bodenprobe kein wesentlicher Kenntniserwerb ergab. Bereits bei der Entnahme der Bodenproben wurde visuell eine stark heterogene Verteilung des Bleischrots festgestellt, die eine repräsentative statistische Erfassung nahezu unmöglich macht.

In der Wurfscheibensplitterzone (SSZ) wurden fünf Beprobungen durchgeführt. Auch hier wurden die Beprobungstiefen in Abhängigkeit der visuellen Befrachtung mit Wurfscheibenscherben festgelegt (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, 30 - 40 cm und 40 - 50 cm). Die Probenahmen in der SSZ erfolgten gemäß der bereits oben für die Bodenproben aus dem Hauptauftrittsbereich des Bleischrots beschriebenen Vorgehensweise.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Im Bereich der Schützenstände (BSS) und in der Zwischenmittelzone (ZMZ) wurden jeweils 10 Einzelbohrungen über die gesamte Fläche des jeweiligen Bereiches bzw. der jeweiligen Zone verteilt niedergebracht. Dabei wurden jeweils drei Mischproben (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm) entnommen.

Eine schematisierte graphische Darstellung für die Beprobung des Bereichs der Schützenstände, der Zwischenmittel- und der Wurfscheibensplitterzone findet sich im nachfolgenden Bild 4. Der dazugehörige Untersuchungsmodus ist in den Bildern 5 und 6 dargestellt. Sämtliche Probennahmepunkte ZMS und SSZ sind aus Abbild 1 in Anlage 1 ersichtlich.

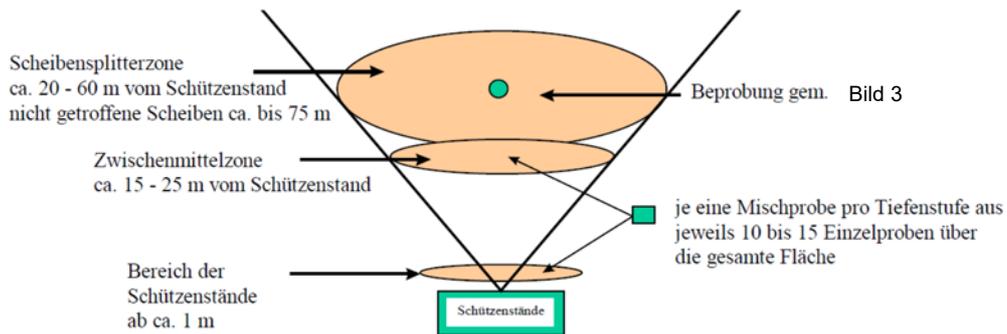


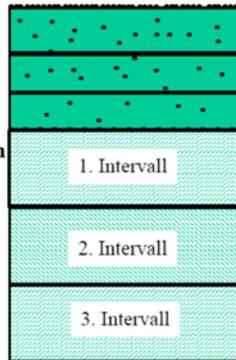
Bild 4: Schematische Darstellung der Untersuchung vom Bereich der Schützenstände sowie Zwischenmittel- und Wurfscheibensplitterzone (aus: /3/)

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Beprobungsmodus

Visuell mit Schrot- und
Wurfscheibenresten
befruchtete Schichten
Beprobung im 5 cm-Intervall
Sieben

Visuell unbefruchtete Schichten
Beprobung im 10 cm-Intervall



Untersuchungsmodus

Nach Absieben jedes Intervall evtl. im Original
gemäß Kapitel 5.2.1.3 /3/

- Sanierung
- Hintergrundwerte-Vergleich
- Belastungspotential abschätzen

Eluatuntersuchung

Bei Prüfwertüberschreitungen im Eluat
des 1. Intervalls, Untersuchung des
folgenden Intervalls etc.

Gesamtgehaltsbestimmung nach Einzelfall-
entscheidung, z. B. Verwertung/Beseitigung,
Plausibilitätsbewertung

Bild 5: Beprobungs- und Untersuchungsmodus für den Niederschlagsbereich der Bleischrote und die Wurf-
scheibensplitterzone (aus: /3/)

Beprobungsmodus

Untersuchungsmodus

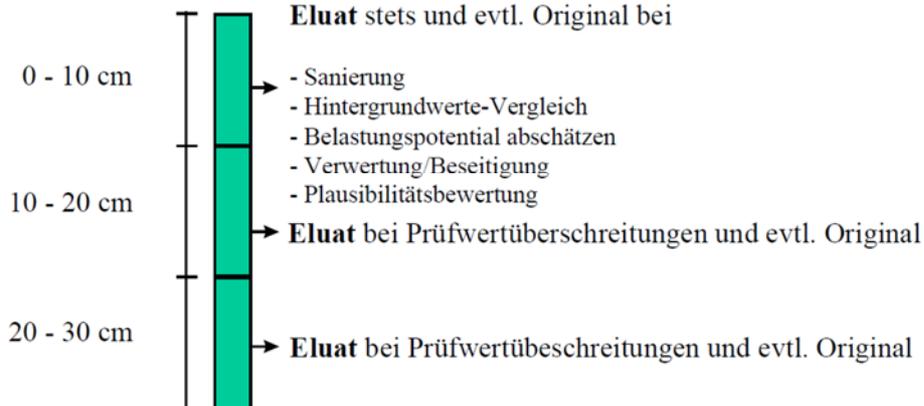


Bild 6: Beprobungs- und Untersuchungsmodus für den Bereich der Schützenstände und die Zwischenmit-
telzone (aus: /3/)

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

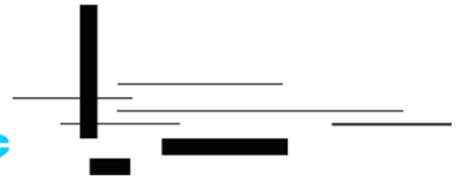
Außerdem wurden im Bereich der Schießanlagen „Laufender Keiler“ (LK), „Kurzwaffenstand“ (KWS), „100m-Kugelstand“ (KS) und ehemaliger „Kipphase“ (KH) in insgesamt 19 Teilflächen jeweils 5 (LK, KWS und KH) bzw. 8 (KS) Einzelbohrungen zu tiefenzonierten (0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm) Mischproben zusammengeführt.

Aus den Mischproben wurden im Hinblick auf eine chemische Analytik der Fraktion < 2mm durch Siebung mit einer Maschenweite von 2 mm die Bleischrot-/Wurfscheibenreste separiert.

An zwei Mischproben (NB 20/01-MP1 und NB 20/10-MP1) wurde nach Siebung mit einer Maschenweite von 2 mm der Anteil an Bleischrot bestimmt. Wie auch bei der bereits beschriebenen Bleischrotseparation im Waldboden, ergab sich auch bei den Mischproben aufgrund der stark heterogenen Verteilung des Bleischrotes im Boden kein wesentlicher Kenntniserwerb, so dass auf die Bestimmung des Anteils an Bleischrot im Weiteren verzichtet wurde.

Aus der vorgenannten Vorgehensweise ergab sich für die Schießsportanlage folgender Umfang an Probennahmepunkten „Boden“ (vgl. hierzu auch Abbild 1 in Anlage 1 und Tabelle 1 in Anlage 2):

Anlagenbereiche	Anzahl Probennahmepunkte	Anzahl der Bohrungen	Anzahl Mischproben
Auftreffbereich der Schrotkugeln (Niederschlagsbereich)	24 * (29) *	168 (203)	136 (203) + 3 Einzelproben
Referenzpunkte (ohne Schroteintrag)	3 * (3) *	21 (21)	11 (21) + 9 Einzelproben
Rückstellproben „Hauptschussrichtung“ (in ca. 210 m Entfernung)	3 * (8) *	21 (56)	19 (56)
Auftreffbereich der Wurfscheibenscherben (Scheibensplitterzone)	5 * (5) *	35 (35)	25 (35)
Auftreffbereich der Zwischenmittel (Zwischenmittelzone)	3 ** (3) **	30 (30)	9 (9)
Bereich der Schützenstände	3 ** (3) **	30 (30)	9 (9)



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlagenbereiche	Anzahl Probennahmepunkte	Anzahl der Bohrungen	Anzahl Mischproben
Flurstück 62/1 „Wellbrock“	4 * (4) *	28 (28)	20 (28)
„Laufender Keiler“ (LK)	6	30	18
„Kurzwaffenstand“ (KWS)	4	20	12
„100m-Kugelstand“ (KS)	5	40	15
Ehemaliger „Kipphase“ (KH)	4	13	10
Restliche Flächen im Bereich der Schießsportanlage	22 * (22) *	144 (154)	132 (154)
Anzahl, gesamt	86 (77)	580 (557)	416 (515) + 12 Einzelproben

In Klammern sind ergänzend die zunächst abgeschätzten Anzahlen gemäß dem Untersuchungsprogramm im Bericht zur Einarbeitung und Grundlagenermittlung [103] aufgeführt.

Die Tiefenstufen der Probennahmepunkte im Einzelnen sind der Tabelle 1 in Anlage 2 zu entnehmen.

* je Probennahmepunkt: jeweils 7 Bohrungen; eine Mischprobe aus jeweils 7 Einzelproben pro Tiefenstufe; die organische Auflage ist mittels Stechrahmen zu beproben.

** je eine Mischprobe pro Tiefenstufe aus jeweils 10 Einzelproben über die gesamte Fläche

Die Tiefenstufen der Probennahmepunkte im Einzelnen sind der Tabelle 1 in Anlage 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Umfang „Probennahmepunkte“

Den in Kapitel 6 dargestellten und bewerteten Untersuchungsergebnisse vorweggenommen sei bereits an dieser Stelle der Hinweis gegeben, dass sich im Zuge der Erkundungsarbeiten zeigte, dass neben den zunächst definierten Niederschlagsbereichen (NB) auch der mit PE-Monofilgewebe abgedeckte Sanierungsbereich (SB), der Bereich Hauptschussrichtung (HSR) und auch die Bereiche Restflächen (RF) größtenteils durch Niederschlag von Bleischrot gekennzeichnet sind.

Des Weiteren wurde im Bereich des durch Bodenaustausch sanierten und mit PE-Monofilgewebe abgedeckten Bereiches eine Beprobung für die eingebauten bauschutthaltigen Sandmaterialien durchgeführt. Oberhalb des Gewebes war gemäß Untersuchungskonzept keine Beprobung vorgesehen.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Zur Untersuchung der im sanierten Bereich eingebauten Materialien wurde dieser Bereich in 12 Teilflächen unterteilt (jeweils ca. 40 m x ca. 40 m). Stichprobenartig wurden in den Teilflächen Schürfe mittels Spaten und Spitzhacke ausgeführt und 27 horizont- und schurfbezogene Mischproben aus den Auffüllungen entnommen.

Aufgrund der sehr dichten Lagerung der aufgefüllten Materialien und der erheblichen Bauschuttanteile wurde von der ursprünglich gemäß [103] angedachten rasterartigen Erkundung (ca. 10 m x ca. 10 m; Entnahme von ca. 243 Einzelproben und Erstellen von 12 Mischproben) aus Verhältnismäßigkeitsgründen verzichtet. Eine entsprechende Erkundung wäre nur unter Einsatz eines Mobilbaggers und unter teilweiser Zerstörung des PE-Monofilgewebes möglich gewesen.

Sämtliche entnommenen Feststoffproben wurden gekühlt und lichtgeschützt gelagert sowie zeitnah dem Labor übergeben.

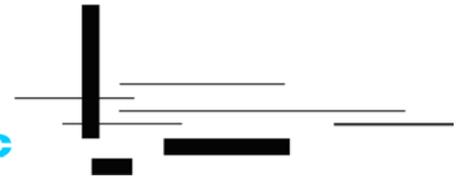
5.1.2 Wasserprobenentnahmen

Zur Verifizierung etwaiger Belastungen im Wasser wurden aus den wassergesättigten Torfen, dem Sanierungsbereich, dem Sicherungsbauwerk, den unterlagernden, grundwasserführenden Sanden und den Oberflächengewässern entsprechende Wasserproben entnommen (s. hierzu auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

Die Wasserproben wurden für die Schwermetallanalytik in der Regel über Membranfilter (Porengröße: 0,45 µm) gefiltert (s. hierzu auch die Probennahmeprotokolle in den Anlagen 4.1 und 4.2).

Im Zuge der jeweiligen Wasserprobenentnahme wurden auch die Vor-Ort-Parameter (Färbung, Trübung, Geruch, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential) erfasst.

Die entnommenen Wasserproben wurden im Hinblick auf die im Labor zu untersuchenden Parameter (s. Kapitel 5.1.4.2) im Feld fachgerecht stabilisiert sowie gekühlt und lichtgeschützt in das Labor zur zeitnahen Analytik transportiert.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Die Entnahmestellen wurden auf Basis der Erkenntnisse aus der Grundlagenermittlung [103] und der Ergebnisse der aktuellen Bodenprobenentnahmen konkretisiert und mit dem AG vorlaufend abgestimmt.

5.1.2.1 Wasser aus den Torfen

Zur Entnahme des Wassers aus den Torfen wurden 21 Bohrungen mittels Eijkelkamp-Bohrer bis maximal 1,5 m unter GOK abgeteuft, so dass aus dem Bohrloch eine Entnahme von Wasserproben für eine anschließende chemische Untersuchung (s. Kapitel 5.1.4.2) möglich war. Allerdings war witterungsbedingt (Trockenphase) nur in 9 Bohrungen ein ausreichender Wasserandrang für die Entnahme einer Wasserprobe gegeben (s. hierzu auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

5.1.2.2 Wasser aus Auffüllungen im Sanierungsbereich

Das Wasser aus den Auffüllungen im sanierten Bereich wurde einmalig (SB 20/04-W1) beprobt (s. auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

5.1.2.3 Grundwasser

Die Entnahme der Wasserproben aus dem Hauptgrundwasserleiter (Sande) erfolgte einerseits über die bestehenden sechs Messstellen (P-3 bis P-6, GMS 1 und GMS 2) und andererseits mit Hilfe von 19 Grundwasserentnahmen (DP 20/01 bis DP 20/08 und DP 20/10 bis DP 20/20) im sogenannten Direct-Push-Verfahren aus den unterhalb der Torfe anstehenden Sanden (im Mittel ca. 4 m unter GOK; s. hierzu auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

5.1.2.4 Dränagewasser

Das Dränagewasser aus der Schießsportanlage wurde über drei Entnahmestellen (3 Entwässerungsgräben mit Einlauf jeweils in den Landwehrgräben; GW 20/02, GW 20/03 und W 6/1) beprobt (s. auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

5.1.2.5 Wasser aus dem Sicherungsbauwerk

Das Wasser aus dem Sicherungsbauwerk wurde über sechs bestehende Pegel (P 1 bis P 6) beprobt (s. auch Tabelle 1.2 in Anlage 2).

5.1.2.6 Oberflächengewässer

Die Oberflächengewässer (Gräben, inkl. Aufweitungsbereiche und Teich) wurden über sieben Entnahmestellen (GW-1 bis GW 4, W 5/2, GW 20/01 und Teich) beprobt.

5.1.3 Sedimentprobenentnahmen

Im Zuge der Beprobungen der Oberflächengewässer wurden an 11 Entnahmestellen auch Sedimentproben (GS-1 bis GS 4, W 6/1, W 5/2, GW 20/01 bis GS 20/04 und Teich; 0 – 5 cm unter Gewässersohle; jeweils 5 Einzelproben zu einer Mischprobe homogenisiert) entnommen. Die Proben wurden ebenfalls gekühlt und lichtgeschützt zeitnah dem Labor zur Analytik übergeben.

In der Vergangenheit wurden die Oberflächengewässer (Gräben) unregelmäßig unterhalten. Bei der letzten Räumung wurde ein Mähkorb verwendet, der wie ein Rechen zur Entnahme von Grobstoffen geeignet ist. Die Aushubmaterialien wurden seitlich gelagert. Für diese Materialien wurden ebenfalls fünf repräsentative Mischproben erstellt (GS 20/05 – GS 20/09; jeweils 10 Einzelproben). Die Festlegung der Entnahmestellen erfolgt in Rücksprache mit dem Auftraggeber.

5.1.4 Chemische Untersuchungen

Die zu erbringenden analytischen Leistungen erfolgen durch ein akkreditiertes Prüflabor (s. auch Kapitel 2).

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
 Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

5.1.4.1 Feststoff- und Eluatanalysen

Die entnommenen Bodenproben wurden unter Berücksichtigung der Ausführungen in /3/ und /20/ einer Analytik im Feststoff und im Eluat zugeführt.

Im Hauptdepositionsbereich der Wurfscheibenscherben (Wurfscheibensplitterzone) können darüber hinaus auch Schwermetall- und PAK-Belastungen durch Farbanstriche und Bindemittel von Wurfscheiben auftreten, was bei der Auswahl der Proben für die chemische Analytik entsprechend berücksichtigt wurde.

Der Parameterumfang stellt sich hiernach wie folgt dar:

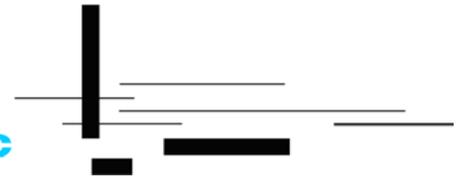
Anlagenbereiche	Parameter
Bereich der Schützenstände der drei Anlagen Skeet- und Trapschießen	Blei, pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Auftreffbereich der Zwischenmittel (Zwischenmittelzone)	Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Auftreffbereich der Wurfscheibenscherben (Wurfscheibensplitterzone)	Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, Cadmium, Chrom PAK (Summe der 16 EPA-PAK), pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Auftreffbereich der Schrotkugeln (Niederschlagsbereich)	Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Restfläche	Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Bereiche Kugelstände Laufender Keiler, Kurzwaffenstand, 100m-Kugelbahn) und ehemaliger Kipphase)	Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC

Tabelle 3: Untersuchungsparameter für die Bodenproben aus den einzelnen Schießstandbereichen (aus: /3/)

Sämtliche Parameter wurden gemäß /3/ bzw. /20/ in der abgeseibten Fraktion (< 2mm; ohne Schrot- und Wurfscheibenreste) der Bodenproben bestimmt.

Bei der PAK-Bestimmung wurden die Untersuchungen an luftgetrocknetem, ebenfalls auf < 2 mm gesiebttem Bodenmaterial durchgeführt.

Des Weiteren erfolgte die Bestimmung des Trockenrückstandes der Proben, um die Ergebnisse auf die Trockensubstanz beziehen zu können.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Bei der Untersuchung wurde grundsätzlich unterschieden zwischen den Mischproben, die sichtbar Bleischrot bzw. Wurfscheibenscherben enthielten, und solchen, die aus tieferen Abschnitten stammten und visuell keine Befruchtungen aufwiesen:

- a) Die Untersuchung der visuell befruchteten Proben lieferte bereits Informationen über die Anreicherung des Bodens mit Schrot bzw. Wurfscheibenscherben und deren Mengen, die Korrosions-/ Elutionsvorgängen unterliegen können.

In den horizontbezogenen Mischproben aus jeweils 7 Bohrungen wurden im Labor durch Siebung mit einer Maschenweite von 2 mm die Bleischrot-/ Wurfscheibenreste separiert. Durch die Siebung wurde angestrebt, dass möglichst keine Schrot-/ Wurfscheibenreste in der abgeseibten Fraktion zurückblieben. Die Bestimmung des Massenanteils des abgeseibten Bleischrotanteils erfolgte exemplarisch an ausgewählten Proben (vgl. hierzu auch die diesbezüglichen Ausführungen in Kapitel 5.1.1). Im Regelfall wurde der Befund vor Ort (Bleischrot- / Wurfscheibenreste vorhanden oder nicht) als ausreichend bewertet.

- b) Die Untersuchung der visuell unbefruchteten Proben gab Auskunft darüber, ob bereits eine Verlagerung von Schadstoffen in tiefere Bodenschichten stattgefunden hat und war vor allem hinsichtlich des Wirkungspfades Boden - Grundwasser von Bedeutung. Hierzu wurde eine Prognose von Stoffgehalten im Sickerwasser von Böden durchgeführt. Die Prognose der Stoffgehalte im Sickerwasser wurde auf der Grundlage folgender Untersuchungen vorgenommen:

- Untersuchung von Bodenmaterialien anhand von Feststoff- und insbesondere Eluatanalysen.
- Untersuchungen des Wassers in den Torfen.
- Untersuchungen des Grundwassers.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Mit der chemischen Analytik der Proben (Feststoff- und Eluat) wurde im obersten Beprobungsintervall begonnen. Wurden Überschreitungen der BBodSchV-Prüfwerte /2/ für den Wirkungspfad Boden-Mensch festgestellt, wurde in gleicher Weise auch das nächsttiefere Beprobungsintervall untersucht.

Eine graphische Darstellung der gestaffelten Analysenstrategie der visuell befrachteten und der visuell unbefrachteten Schichten findet sich in den nachfolgenden Bildern 7 und 8:

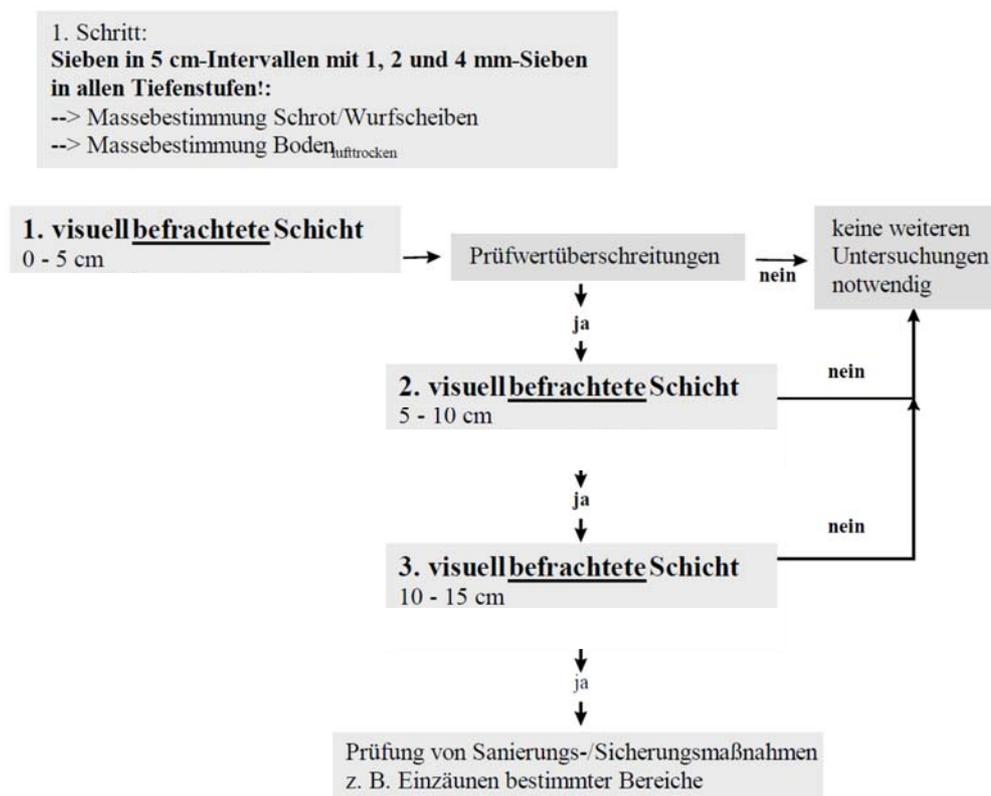
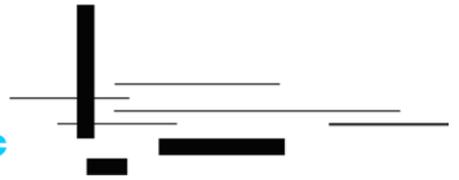


Bild 7: Gestaffelte Analysenstrategie der visuell befrachteten Schichten (aus: /3/)



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

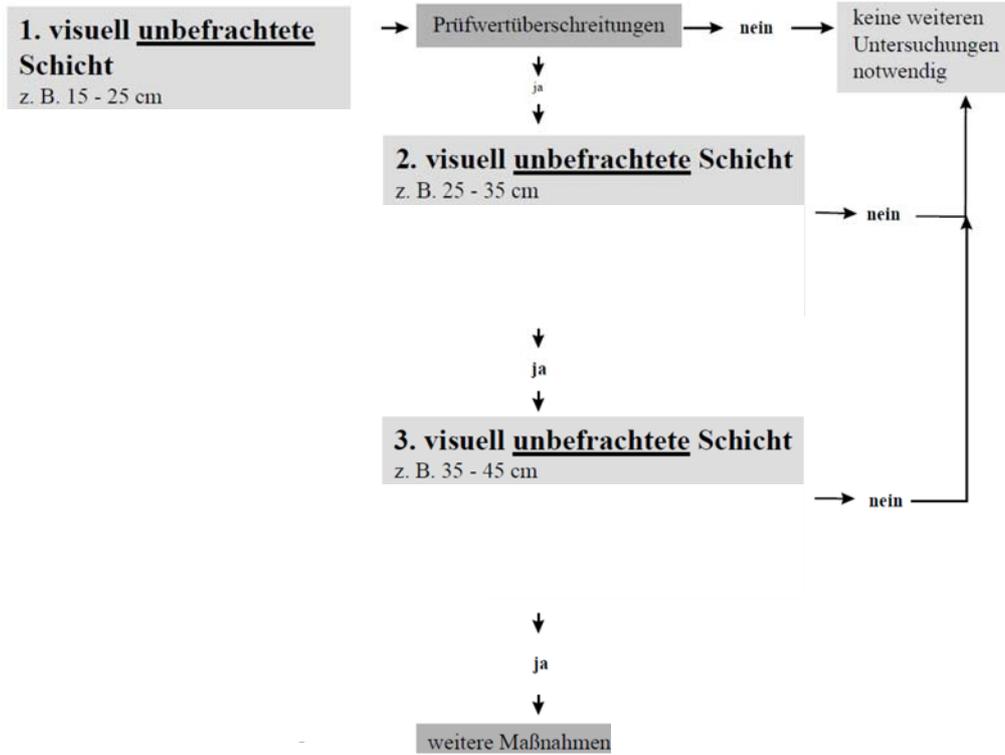
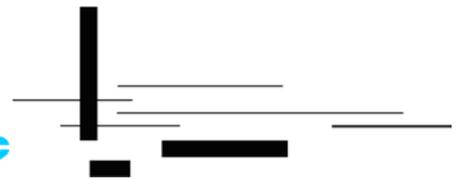


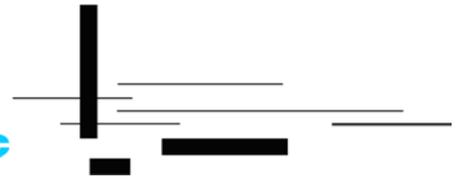
Bild 8: Gestaffelte Analysenstrategie der visuell unbefrachteten Schichten (aus: /3/)



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Aus der vorgenannten Vorgehensweise ergab sich im Einzelnen folgender Untersuchungsumfang (vgl. hierzu auch Abbild 1 in Anlage 1 sowie Tabellen 1 und 1.1 in Anlage 2):

Anlagenbereiche	Anzahl Proben- nahme- punkte	Anzahl der laboranaly- tisch untersuch- ten Proben *	Parameter
Bereich der Schützen- stände	3 (3)	9 (6) **	9 (6) x Blei (Feststoff / Eluat), pH-Wert, CaCO ₃ - Gehalt, TOC
Auftreffbereich der Zwischenmittel (Zwischenmittelzone)	3 (3)	9 (6) **	9 (6) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat), pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Auftreffbereich der Wurf- scheibenscherben (Wurfscheibensplitter- zone)	3 (5)	25 (20) *	10 (10) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, Cadmium, Chrom (alle Feststoff / Eluat; visuell überwiegend befrachtete Zone); 15 (10) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel, Cadmium, Chrom; (nur im Eluat; visuell unbefrachtete Zone); 25 (20) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC; 25 (10) x PAK (Summe der 16 EPA) im Feststoff
Auftreffbereich der Schrotkugeln (Niederschlagsbereich)	24 (29)	109 (116) *	49 (58) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat; visuell überwiegend be- frachtete Zone); 60 (58) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat; visuell unbefrachtete Zone); 95 (116) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Referenzpunkte (in denen kein Schroteintrag statt- gefunden haben kann; REF)	3 (3)	13 (12) *	7 (6) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat); 6 (6) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat); 13 (12) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Rückstellproben „Haupt- schussrichtung“ (in ca. 210 m Entfernung; HSR)	3 (8)	15 (0) *	6 (0) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat; visuell überwiegend be- frachtete Zone); 9 (0) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat; visuell unbefrachtete Zone); 5 (0) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anlagenbereiche	Anzahl Proben- nahme- punkte	Anzahl der laboranaly- tisch untersuch- ten Proben *	Parameter
Flurstück 62/1 „Well- brock“	4 (4)	20 (16) *	8 (8) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat; visuell überwiegend be- frachtete Zone); 12 (8) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat; visuell unbefruchtete Zone); 20 (16) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Restliche Flächen im Be- reich der Schießsportan- lage	22 (22)	110 (88) *	45 (44) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat; visuell befrachtete Zone); 65 (44) x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat; visuell unbefruchtete Zone); 110 (88) x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Bereiche Kugelstände Laufender Keiler, Kurz- waffenstand, 100m-Ku- gelbahn) und ehemaliger Kippphase)	19	47	19 x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat); 28 x Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel; (nur im Eluat); 19 x pH-Wert, CaCO ₃ -Gehalt, TOC
Anzahl, gesamt	86 (77)	357 (264)	

In Klammern sind ergänzend die zunächst abgeschätzten Anzahlen gemäß dem Untersuchungsprogramm im Bericht zur Einarbeitung und Grundlagenermittlung [103] aufgeführt.

* Ansatz gemäß [103]: jeweils 2 Analysen im Feststoff / Eluat (visuell befrachtete Zone) und jeweils 2 Analysen im Eluat (visuell unbefruchtete Zone)

** Ansatz gemäß [103]: zunächst nur die beiden oberen Abschnitte

Tabelle 4: Untersuchungsumfang für die Bodenproben aus den einzelnen Schießstandbereichen (aus: /1/)

Außerdem wurden aus den Rammkernbohrungen zur Erkundung der Unterkante der Torfe insgesamt 16 Feststoffproben einer chemischen Analytik im Labor zugeführt (1 Probe auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer und Nickel (Feststoff / Eluat), pH-Wert, CaCO₃-Gehalt und TOC; 15 Proben auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer und Nickel, nur im Eluat).

Des Weiteren wurden von den in der Sanierungsfläche eingebauten Materialien einerseits 13 Mischproben laboranalytisch gemäß Parameterumfang nach LAGA TR Boden /5/, Tabellen II.1.2-4 (Feststoff) und II.1.2-5 (Eluat) und andererseits 13 weitere Mischproben auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer und Nickel (Feststoff / Eluat) untersucht (s. auch Abbild 1 in Anlage 1 und Tabelle 2.1 in Anlage 2).

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

In Ergänzung wird darauf hingewiesen, dass seitens des Labors, sofern die Analytik einer Probe auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer und Nickel vorgesehen war, verfahrensbedingt zusätzlich und kostenneutral auch die Parameter Cadmium und Chrom analysiert wurden.

5.1.4.2 Wasseranalysen

Die im Zuge der Detailuntersuchung am Standort der Schießsportanlage Waakhausen aus dem Grundwasser, dem Sicherungsbauwerk, den Dränageleitungen und den Oberflächengewässern entnommenen Proben werden laboranalytisch nach Filtration wie folgt untersucht:

	Anzahl	Parameter
Wasserproben aus den Torfen	9 (20) Proben: NB 20/07, NB 20/10, NB 20/13, NB 20/15, NB 20/16, RF 20/07, RF 20/11, SSZ 20/01 und SSZ 20/05	51 (72) x Blei, Nickel, Kupfer, Chrom, Arsen, Antimon und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK); 5 (5) ausgewählte Grundwasserproben auf Pflanzenschutzmittel gemäß MU Niedersachsen vom 11. Oktober 2012
Grundwasserproben (Direct-Push-Entnahmen)	19 (20) Proben: DP 20/01 bis DP 20/08 und DP 20/10 bis DP 20/20	
Grundwasserproben (Messstellen)	6 (9) Proben: P-3 bis P-6, GMS 1 und GMS 2	
Wasser aus dem Sicherungsbauwerk	6 (6) Proben: P 1 bis P 6	
Wasser aus Auffüllung "Sanierungsbereich"	1 (0) Proben: SB 20/04-W1	
Dränagewasser	3 (5) Proben: GW 20/02, GW 20/03 und W 6/1	
Oberflächengewässer	11 (12) Proben: GW-1 bis GW-4, W 6/1, W 5/2, GW 20/01 bis GS 20/04 und Teich	

In Klammern sind ergänzend die zunächst abgeschätzten Anzahlen gemäß dem Untersuchungsprogramm im Bericht zur Einarbeitung und Grundlagenermittlung [103] aufgeführt.

Tabelle 5: Zusammenstellung Wasseranalysen

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Neben den nutzungsrelevanten Parametern wurden darüber hinaus fünf ausgewählte Grundwasserproben auf den Verdachtsparameter „Pflanzenschutzmittel“ untersucht, da am Standort der Einsatz entsprechender Mittel zur „Unkrautvernichtung“ nicht gänzlich ausgeschlossen werden konnte.

5.1.4.3 Sedimente

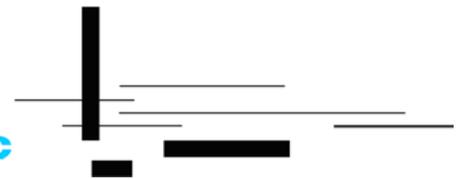
Die aus den Sohlen der Oberflächengewässer entnommenen elf Sedimentproben (GS-1 bis GS-4, W6/1, W 5/2, GS 20/01 bis GS 20/04 und Teich) sowie die fünf aus den Gräben ausgehobenen und unmittelbar seitlich gelagerten Sedimenten der Entschlammung stammenden Proben wurden laboranalytisch jeweils auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat) und PAK (Summe der 16 EPA; nur im Feststoff) untersucht.

5.1.5 Arbeitsschutz

Bei der Ausführung der Feldarbeiten wurde berücksichtigt, dass sämtliche Beprobungen an einem Standort mit Belastungen durch die in den Kapiteln 3.3 und 5.1.4 genannten Schadstoffe durchgeführt wurden. Diesbezügliche Arbeitsschutzmaßnahmen sowie die allgemeinen bei Aufschluss- und Beprobungsarbeiten generell erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen wurden berücksichtigt und eigenverantwortlich durchgeführt.

5.1.6 Vorbereitung, Koordination, Begleitung und Überwachung der Leistungen vor Ort

Sämtliche vor Ort erbrachten Leistungen (Bohrarbeiten, Probenentnahmen, Chemische Untersuchungen und Arbeitsschutz; s. Kapitel 5.1.1 bis 5.1.5) wurden durch einen erfahrenen Diplom-Geologen vorbereitet, stichprobenartig begleitet, koordiniert und überwacht.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

6 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

6.1 Geologische und hydrogeologische Standortverhältnisse

6.1.1 *Untergrundaufbau*

Der generelle Aufbau des oberflächennahen Untergrundes von oben nach unten im Bereich der Schießsportanlage kann auf Basis der Ergebnisse der aktuellen und auch der früheren Erkundungen (gemäß den in Kapitel 9 genannten Unterlagen) wie folgt zusammengefasst werden (vgl. hierzu insbesondere das Abbild 1 und auch die schematischen Profilschnitte der Abbilder 12 bis 16 in Anlage 1 und die Anlage 3):

- **Geländeoberfläche**

- **Flächen mit Waldbestand** (Nadel- und Laubbäume) mit organischer Auflage (Tannennadeln und -zapfen und Blätter) sowie teilweise Strauchbewuchs und Kleingehölze:
 - Flurstück 1/3
 - Flurstück 62/1 („Wellbrock“)
 - Flurstücke 72/1 und 73/1 (Umfeld Teich)
 - Dreiecksfläche zwischen Flurstück 62/1, Sicherungsbauwerk und Sanierungsbereich
 - westlicher und nordwestlicher Teil des Grundstückes der Schießsportanlage;
- **Flächen mit Grasbewuchs** sowie teilweise Strauchbewuchs und Kleingehölze:
 - zwischen Schützenständen „Skeet- und Trapautomat“, „Skeetanlage“ und „Trapautomat“, Zwischenmittelzonen, Scheibensplitterzonen und angrenzender Niederschlagsbereich (bis ca. 100 m Entfernung zu den Schützenständen)
 - Bereiche „100 m-Kugelbahn“, „Kurzwaffenstand“, „Laufender Keiler“ und „ehemaliger Kipphase“
- **Fläche mit PE-Monofilgewebe** (Sanierungsbereich): Niederschlagsbereich (ca. 100 m bis ca. 180 m entfernt zu den Schützenständen)
- **Fläche Sanierungsbauwerk:** „Erdwall“ mit Kunststoffdichtungsbahn (KDB), sog. „Wurst“; ca. 220 m x ca. 25 m

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

- **Versiegelte Flächen** (Schützenhaus, Schießstände, Zufahrtswege und sonstige Bestandsgebäude);

Die Geländeoberfläche von den Schützenständen ausgehend ist ab der Zwischenmittelzone über die Scheibensplitterzone bis in eine Entfernung von 230 m durch sichtbare Niederschläge von kugelförmigen Bleischrot gekennzeichnet. In der Zwischenmittelzone und der Scheibensplitterzone sind diese erwartungsgemäß geringer. Die höchsten Niederschlagsmengen lassen sich im Niederschlagsbereich zwischen ca. 70 m bis ca. 210 m Abstand zu den Schützenständen festzustellen.

Im Bereich des PE-Monofilgewebes liegt das Bleischrot entsprechend dem Gewebe größtenteils auf. Im Bereich von Fehlstellen ist das Bleischrot allerdings bis zur Oberfläche der darunter liegenden Auffüllungen vorgedrungen.

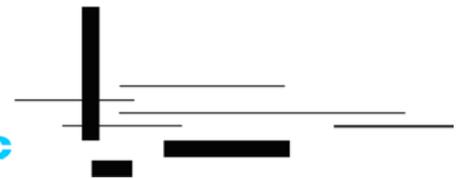
Im Bereich ab ca. 210 m Entfernung von den Schützenständen bis zur Grundstücksgrenze der Schießsportanlage (u.a. Bereich Flurstücke 62/1 „Wellbrock“ und 3/1) lässt sich Bleischrot an der Oberfläche ebenfalls, wenn auch in deutlich geringeren Mengen bzw. nur vereinzelt, visuell feststellen.

- **Auffüllungsmaterialien** (nur teilweise vorhanden)
- **Sanierungsbereich (SB):**
Fein- bis Mittelsande mit geringen Bauschuttbeimengungen sowie teilweise mit humosen, schluffigen und kiesigen Anteilen (SB 20/03; SB 20/04 (oberer Abschnitt), SB 20/10, SB 20/11 (oberer Abschnitt) und SB 20/12;
Bauschutt (Rotstein, Beton, Keramik, Pflastersteine) mit variierenden sandigen Anteilen (SB 20/01, SB 20/02, SB 20/04 (unterer Abschnitt), SB 20/05 bis SB 20/09; SB 20/11 (unterer Abschnitt)); bis maximal ca. 1,5 m unter GOK (KB-3 und KB 11 [88]); im Mittel bis ca. 0,8 m unter GOK; im Bereich SB 20/08 an der Basis (ca. 0,85 m unter GOK): Geotextil;

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Möglicherweise sind die bauschutthaltigen Auffüllungen auf die Baustraßen, die im Zusammenhang mit der Sanierung des Bleischrotdepositionsbereiches erstellt wurden, zurückzuführen, wobei die teilweise angetroffenen Materialien zum Teil wenig typisch für Baustraßen sind (SB 20/01 und SB 20/04; s. auch Fotos 17 bis 19 in Anlage 6 und Tabelle 2.1 in Anlage 2); Bleischrot wurde in den Auffüllungsmaterialien im Sanierungsbereich allenfalls unmittelbar oberflächennah festgestellt;

- **Referenzbereiche** südlich der Schützenstände (REF):
Aufgefüllte Sande mit humosen Anteilen und vereinzelt Bauschuttbeimengungen (vorwiegend Rotstein); Bleischrot wurde nicht festgestellt; ca. 0,4 m (REF 20/03) bis 0,9 m unter GOK (REF 20/01);
Ergänzender Hinweis: Gemäß /20/ ist bei den Referenzpunkten auf gleichartige Eigenschaften des Bodens im Vergleich zu den Depositionsflächen zu achten. Dies war im vorliegenden Fall allerdings nicht möglich, weil entsprechende Referenzpunkte mit Torf, wo eine Deposition vollständig auszuschließen war, allesamt außerhalb der Untersuchungsfläche lagen und in den unter Berücksichtigung der vermuteten Depositionsflächen gewählten Referenzpunkten bei den aktuellen Erkundungen Sande angetroffen wurden. Daher können die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen für die Referenzpunkte und die Depositionsflächenpunkte (s. Kapitel 6.3.2) nur alleinig ohne Berücksichtigung der Bodeneigenschaften miteinander verglichen werden.
- **Bereich Schützenstände (BSS):**
Aufgefüllte Sande mit humosen Anteilen; Bleischrot wurde nicht angetroffen; mindestens 0,3 m mächtig (BSS 20/01 bis BSS 20/03);
- **Bereich Zwischenmittelzone (ZMZ):**
Aufgefüllte Sande mit humosen Anteilen; mindestens 0,3 m mächtig (ZMZ 20/01 bis ZMZ 20/03); an der Oberfläche: vereinzelt Schrotbecher (Plastik), Tonscheibensplitter und Bleischrot;
- **Scheibensplitterzone (SSZ):**
Unmittelbar den oberflächennah anstehenden Torfen liegen Tonscheibensplitter und auch Schrotbecher (Plastik) teilweise massiv und flächendeckend auf; vereinzelt wurde auch Bleischrot gefunden.
- **Niederschlagsbereiche (NB):**
Unmittelbar den oberflächennah anstehenden Torfen oder sandigen Böden liegt Bleischrot in stark variierenden Mengen auf.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Zu den Niederschlagsbereichen sind neben den mit PE-Monofilgewebe abgedeckten, bereits o. g. Sanierungsbereich (SB), den Bereich Hauptschussrichtung (HSR) auch größtenteils die Bereiche Restflächen (RF) zu zählen, nachdem auch hier Bleischrot organoleptisch vor Ort festgestellt bzw. laboranalytisch nachgewiesen wurde.

- **Torfe** (größtenteils oberflächennah anstehend)

Stark setzungsempfindlich; mit zunehmender Tiefe tritt ein höherer Zersetzungsgrad auf; in den oberen Bereichen Weißtorf, schwacher bis mittlerer Zersetzungsstufe, darunterliegend um mittel bis stark zersetzter Schwarztorf; bis in Tiefen zwischen ca. 1,5 m (GMS 2 und GMS 3 [4]) und ca. 4,7 m unter GOK (KB-4 [88]); an der Basis teilweise ca. 0,1 (BS 2, BS 2 und BS 6 [4]) bis ca. 0,6 m (KB-4 [88]) mächtige organische Schluffe von weicher Konsistenz.

In den oberen Abschnitten der Torfe (bis ca. 20 cm unter GOK) tritt in den Niederschlagsbereichen (ausgenommen dem o. g. Sanierungsbereich) in variierenden, aber vergleichsweise geringen Anteilen Bleischrot auf. Das Bleischrot weist durch Oxidationsprozesse in der Regel eine weißliche Färbung auf. Mit zunehmender Tiefe lässt sich des Weiteren feststellen, dass die Bleischrotkugeln kleiner werden. Es wird davon ausgegangen, dass das Bleischrot unter Berücksichtigung der in den Torfen vorliegenden „sauren“ pH-Werte und den versickernden Niederschlagswasser bzw. dem in der Regel vorhandenen Stauwasser mit der Zeit in Lösung geht. In Tiefen > 20 cm unter GOK wurden in den Torfen nur noch vereinzelt visuelle Hinweise auf Bleischrot festgestellt.

- **Sande**

Mittelsande mit variierenden Fein- und Grobsandanteilen; ab zwischen ca. 1,5 m und ca. 4,6 m unter GOK; in den oberen Abschnitten lokal auch schluffige Feinsande, teils reich an Pflanzenresten (KB-3, KB-4, KB-9 und KB-10 [88]), und Schluffe (RKB NB 20/18, P 4 [89] und GMS 3 [4]); gemäß den Sondierungen DPH 1 bis DPH 4 [88] sowie auch den Ausführungen in [2], [3] und im NIBIS-Kartenserver (<https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>) dürften diese Sande bis ≥ 15 m unter GOK reichen bzw. deren Mächtigkeit ≥ 10 m betragen.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Unterlagert werden die Sande von einem bindig ausgebildeten Geschiebelehm, der den vorgenannten Unterlagen [2], [3] zufolge als Grundwassersohlschicht fungiert (s. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.2).

Neben den bereits oben genannten visuell erkennbaren anthropogenen Beimengungen (Bleischrot) wurden vor Ort und auch bei der Probeneingangsprüfung im bodenmechanischen Labor der Umtec keine weiteren organoleptischen Auffälligkeiten festgestellt.

Die Untersuchungsfläche war zum Zeitpunkt der Aufschlussarbeiten vergleichsweise trocken. Bei früheren Untersuchungen (z.B. [4] und [88]) was das Gelände durch Stau- nässe gekennzeichnet.

6.2 Hydrogeologische Standortverhältnisse

Die im Zuge der Eijkelkamp-Bohrungen erfassten Wasserstände lagen in Abhängigkeit des jeweiligen Höhenniveaus am Bohransatzpunkt zwischen ca. 0,45 m unter GOK (SB 20/04) und ca. 1,30 m unter GOK (REF 20/01), was insbesondere auf die zum Zeitpunkt der Erkundungen vergleichsweise trockenen Witterungsverhältnisse zurückzuführen ist. Bei früheren Erkundungen, z.B. im Jahr 2018 [88], und auch bei einer am 21. Oktober 2019 durchgeführten Standortbesichtigung, war das Wasser teilweise auf Geländeniveau. Damals waren jeweils deutliche feuchtere Witterungsverhältnisse gegeben.

Die anstehenden Torfe führen Niederschläge aufgrund der hohen Grundwasserstände nur schlecht ab, sodass sich nach niederschlagsreichen Zeiten Staunässe auf der Untersuchungsfläche ausbildet (Stau- bzw. Sickerwasser) und der Untergrund dann mehr oder weniger ab GOK wassergesättigt ist.

Der Oberflächenabfluss wurde nicht untersucht, dürfte aber aufgrund der vergleichsweise ebenen Geländemorphologie, der vorhandenen Torfe und der weitestgehend vorhandenen Vegetationsdecke eher untergeordnet sein. Es ist zu vermuten, dass das Wasser im Wesentlichen über die Torfe in die Entwässerungsgräben abgeführt wird.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Die am 6. August 2020 in den sechs noch vorhandenen Grundwassermessstellen (GMS 1, GMS 2, P-3 bis P-6) mittels Lichtlot erfassten Wasserstände (s. Anlage 4.1) variieren zwischen ca. 0,60 m unter GOK (GMS 2) und ca. 2,03 m unter GOK (GMS 1) und bestätigen auch weitestgehend die Ergebnisse aus den Kleinrammbohrungen (s. auch Anlage 3.1).

Am Standort ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Geländehöhe von Grundwasserständen von nur wenigen Dezimetern unter GOK bis zu ca. 2,0 m unter GOK auszugehen. Das Grundwasser steht im Untersuchungsgebiet unterhalb der Torfe in den Sanden in der Regel gespannt an.

Wie bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, ist gemäß den „Altdaten“ bei einem sehr geringen hydraulischen Gefälle und geringer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit (≤ 8 m/a) von einer westlichen bis südwestlichen Grundwasserfließrichtung auszugehen [19]. Eine erneute Verifizierung der Grundwasserfließrichtung erfolgte gemäß dem abgestimmten Untersuchungsprogramm nicht. Als lokale Vorflut für das Grundwasser / Stauwasser fungiert vermutlich der Landwehrgraben.

Für die am Standort vorhandenen Torfe ist aufgrund des mit zunehmender Tiefe höheren Zersetzungsgrades auch mit einer entsprechenden Zunahme der Funktionalität als hydraulische Barriere auszugehen.

6.3 Belastungssituation

6.3.1 Bewertungskriterien

Die Bewertung der Belastungssituation auf dem Gelände der Schießsportanlage Waakhausen erfolgte u. a. unter Berücksichtigung folgender Gesetze, Verordnungen und Regelwerke:

- Gesetz zum Schutz von schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten - Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) /1/
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) /2/

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- DIN19740-2: Bodenbeschaffenheit – Umweltrelevante Anforderungen an den Bau und Betrieb von zivilen Schießstätte – Teil 2 Untersuchungen /20/
- Bodenbelastungen auf Schießplätzen (UMK-Arbeitsgruppe) /3/
- LAGA M 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln“; Allgemeiner Teil /4/, TR Boden /5/ und Bau-schutt /6/
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - Ableitung von Geringfügigkeits-schwellenwerten für das Grundwasser /7/
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG) /13/
- Oberflächengewässerverordnung (OGewO) /8/
- Grundwasserverordnung (GrwV) /10/
- Trinkwasserverordnung (TrinkwV) /9/

Gemäß BBodSchV /2/ liegen konkrete Anhaltspunkte, die den hinreichenden Ver-dacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast begründen (§ 9 Abs. 2 Satz 1 BBodSchG /1/), in der Regel dann vor, wenn Untersuchungen eine Überschreitung von Prüfwerten ergeben. Entsprechende Anhaltspunkte liefern im vorliegenden Fall die großflächigen Bleidepositionen.

Hinsichtlich der Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch in Niedersachsen wurde das Schreiben des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz vom 24. Oktober 2016 berücksichtigt /12/. Der Verdacht auf PAK ergab sich am Standort insbesondere aus den angetroffenen Scheibensplitterresten.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Maßgeblich für die Einstufung von Böden mit > 10 % Fremdbestandteilen (sog. Gemische) im Fall von Erdbewegungen bzw. eines Aushubs ist in Niedersachsen ein Schreiben des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz vom 2. November 2020 /14/ und der anliegenden Handreichung Qualifizierter Umgang mit mineralischen Abfällen und Ausbaustoffen im Straßenbau (September 2019 – Fassung 11/2020) /15/, wonach Bodenaushub mit mineralischen Fremdbestandteilen mit mehr als 10 Volumenprozent Bodenanteil bei unspezifischen Verdacht auf Grundlage des Mindestuntersuchungsprogramms der Technischen Regel Boden der LAGA Mitteilung 20 /5/ zu untersuchen und auch zu bewerten ist.

Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser /7/ wird definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden. Eine GFS-Überschreitung entspricht somit einer nachteiligen Veränderung des Grundwassers.

Außerdem wird in /7/ darauf hingewiesen, dass Oberflächengewässer vielfach aus dem Grundwasser gespeist werden. Deshalb sind deren Qualitätskriterien in der Regel auch für das Grundwasser anwendbar. Dies wird auch durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) bekräftigt.

Der Schwellenwert der GrwV (Grundwasserverordnung) /10/ ist die Konzentration eines Schadstoffes, einer Schadstoffgruppe oder der Wert eines Verschmutzungsindikators im Grundwasser, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt festgelegt werden.

Neben den vorgenannten GFS-Werten /7/ wurde zur Beurteilung der Oberflächengewässer auch die Oberflächengewässerverordnung (OGewO) /8/ herangezogen. Darin werden in Anlage 6 Umweltqualitätsnormen für flussgebietsspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials benannt. Die Einhaltung der Umweltqualitätsnormen wird dabei anhand von Jahresdurchschnittswerten (JD-UQN) und anhand von zulässigen Höchstkonzentration (ZHK-UQN) überprüft.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

6.3.2 Boden

Die Belastungssituation des oberflächennahen Untergrundes (Auffüllungsmaterialien und natürlich anstehende Lockersedimente) im Bereich der Schießsportanlage stellt sich wie folgt dar. Der 2006 / 2007 durch einen Bodenaustausch sanierte Bereich (s. Kapitel 3.4) wird separat in Kapitel 6.3.2.6 betrachtet.

6.3.2.1 Schwermetalle und Arsen

Insgesamt wurden aktuell 390 Feststoffproben hinsichtlich Schwermetalle und Arsen wie folgt untersucht (vgl. hierzu auch die Ausführungen im Kapitel 5.1.4.1):

Parameter	Analytik im Feststoff	Analytik im Eluat
Blei, Arsen, Antimon, Kupfer und Nickel	153 x	356 x
Cadmium und Chrom *	10 x	25 x
Blei **	9 x	9 x

* Zusätzlich in der Wurfscheibensplitterzone

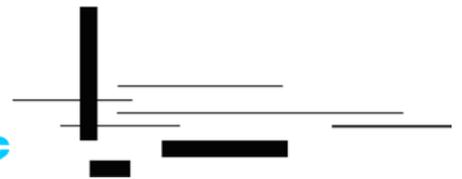
** Im Bereich der Schützenstände wurde ausschließlich Blei untersucht

Tabelle 6: Übersicht Analytik Feststoffproben im Feststoff und im Eluat

Blei

Der Parameter Blei ist im vorliegenden Fall als sogenannter Leitparameter für nutzungsbedingte Einträge durch die Verwendung von Bleischrot am Standort zu verstehen. Der Bleigehalt steht maßgeblich in Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge an Blei(-schrot) im jeweiligen Bereich der Schießsportanlage.

Die Spannbreiten der aktuell laboranalytisch ermittelten Gehalte an Blei (Feststoff / Eluat) in den untersuchten Feststoffproben sind nachfolgend flächenbezogen zusammengefasst (vgl. hierzu auch die Tabelle 2 in Anlage 2):



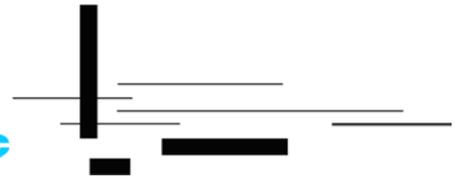
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Blei				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Referenzbereiche (REF)				
7	0 – 50 cm	40 mg/kg	88 mg/kg	65 mg/kg
10	0 – 60 cm	< 0,007 mg/L	0,025 mg/L	0,012 mg/L
3	60 – 170 cm	< 0,007 mg/L	0,026 mg/L	0,012 mg/L
Schützenstände (BSS)				
3	0 – 10 cm	106 mg/kg	123 mg/kg	114 mg/kg
3	10 – 20 cm	49 mg/kg	64 mg/kg	55 mg/kg
3	20 – 30 cm	35 mg/kg	78 mg/kg	62 mg/kg
3	0 – 10 cm	<0,007 mg/L	0,013 mg/L	0,007 mg/L
3	10 – 20 cm	<0,007 mg/L	0,010 mg/L	0,003 mg/L
3	30 – 30 cm	<0,007 mg/L	0,010 mg/L	0,006 mg/L
Zwischenmittelzone (ZMZ)				
3	0 – 10 cm	329 mg/kg	3.040 mg/kg	1.460 mg/kg
3	10 – 20 cm	236 mg/kg	436 mg/kg	326 mg/kg
3	20 – 30 cm	80 mg/kg	185 mg/kg	121 mg/kg
3	0 – 10 cm	0,028 mg/L	0,040 mg/L	0,034 mg/L
3	10 – 20 cm	0,020 mg/L	0,026 mg/L	0,023 mg/L
3	20 – 30 cm	0,008 mg/L	0,014 mg/L	0,012 mg/L
Scheibensplitterzone (SSZ)				
5	0 – 10 cm	6.380 mg/kg	37.200 mg/kg	17.256 mg/kg
5	10 – 20 cm	2.920 mg/kg	18.600 mg/kg	10.674 mg/kg
5	0 – 10 cm	0,014 mg/L	1,430 mg/L	0,657 mg/L
5	10 – 20 cm	0,157 mg/L	0,618 mg/L	0,294 mg/L
5	20 – 30 cm	0,022 mg/L	0,135 mg/L	0,073 mg/L
5	30 – 40 cm	0,016 mg/L	0,144 mg/L	0,073 mg/L
5	40 – 50 cm	0,014 mg/L	1,410 mg/L	0,372 mg/L
Niederschlagsbereich (NB, HSR, RF)				
48	0 – 10 cm	98 mg/kg	136.000 mg/kg	39.194 mg/kg
14	10 – 20 cm	88 mg/kg	94.600 mg/kg	17.930 mg/kg
3	20 – 30 cm	19.000 mg/kg	62.700 mg/kg	46.267 mg/kg
48	0 – 10 cm	<0,007 mg/L	18,200 mg/L	3,080 mg/L
28	10 – 20 cm	<0,007 mg/L	10,500 mg/L	1,233 mg/L
27	20 – 30 cm	<0,007 mg/L	5,760 mg/L	0,617 mg/L
16	30 – 40 cm	0,050 mg/L	29,200 mg/L	2,516 mg/L
15	40 – 50 cm	0,008 mg/L	1,100 mg/L	0,195 mg/L
17	> 0,5 m Torfe	<0,007 mg/L	0,971 mg/L	0,111 mg/L
9	> 2 m Sande	<0,007 mg/L	0,043 mg/L	0,007 mg/L



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Blei				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (RF 20/01 bis RF 20/04)				
8	0-10 cm	133 mg/kg	1.000 mg/kg	492 mg/kg
8	0 – 10 cm	0,068 mg/L	0,389 mg/L	0,155 mg/L
4	10 – 20 cm	<0,007 mg/L	0,227 mg/L	0,101 mg/L
4	20 – 30 cm	0,053 mg/L	0,427 mg/L	0,172 mg/L
4	30 – 40 cm	0,051 mg/L	0,263 mg/L	0,113 mg/L
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche südöstlich Schützenhaus und Schießanlagen)				
2	0 – 10 cm	193 mg/kg	366 mg/kg	280 mg/kg
2	10 – 20 cm	87 mg/kg	184 mg/kg	136 mg/kg
2	0 – 10 cm	0,029 mg/L	0,029 mg/L	0,029 mg/L
2	10 – 20 cm	0,017 mg/L	0,045 mg/L	0,031 mg/L
2	20 – 30 cm	0,024 mg/L	0,052 mg/L	0,024 mg/L
2	40 – 50 cm	0,008 mg/L	0,018 mg/L	0,013 mg/L
2	60 – 70 cm	<0,007 mg/L	<0,007 mg/L	<0,007 mg/L
Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage)				
20	0 – 10 cm	85 mg/kg	18.900 mg/kg	2.876 mg/kg
6	10 – 20 cm	105 mg/kg	5.090 mg/kg	1.777 mg/kg
20	0 – 10 cm	0,019 mg/L	4,69 mg/L	0,613 mg/L
13	10 – 20 cm	0,033 mg/L	2,180 mg/L	0,352 mg/L
13	20 – 30 cm	0,025 mg/L	3,030 mg/L	0,547 mg/L
8	30 – 40 cm	0,036 mg/L	2,070 mg/L	0,528 mg/L
6	40 – 50 cm	0,018 mg/L	1,040 mg/L	0,220 mg/L
5	60 – 70 cm	0,026 mg/L	0,049 mg/L	0,035 mg/L
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)				
6	0 – 10 cm	454 mg/kg	3.190 mg/kg	1.610,17 mg/kg
6	0 – 10 cm	0,024 mg/L	0,131 mg/L	0,065 mg/L
4	10 – 20 cm	0,023 mg/L	0,048 mg/L	0,033 mg/L
4	20 – 30 cm	0,012 mg/L	0,058 mg/L	0,030 mg/L
Schießanlage „Kurzgewehrstand“ (KWS)				
4	0 – 10 cm	738 mg/kg	12.600 mg/kg	4.487 mg/kg
4	0 – 10 cm	0,027 mg/L	0,235 mg/L	0,115 mg/L
4	10 – 20 cm	0,028 mg/L	0,164 mg/L	0,099 mg/L
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)				
5	0 – 10 cm	85 mg/kg	5.790 mg/kg	1.832,40 mg/kg
5	0 – 10 cm	0,007 mg/L	0,267 mg/L	0,121 mg/L
5	10 – 20 cm	0,008 mg/L	0,103 mg/L	0,045 mg/L
5	20 – 30 cm	<0,007 mg/L	0,180 mg/L	0,080 mg/L



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Blei				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ehemalige Schießanlage „Kippphase“ (KH)				
3	0 – 10 cm	118 mg/kg	15.700 mg/kg	5.604,33 mg/kg
1	Verwallung	20.600 mg/kg	20.600 mg/kg	20.600 mg/kg
3	0 – 10 cm	0,011 mg/L	0,436 mg/L	0,161 mg/L
3	10 – 20 cm	<0,007 mg/L	0,237 mg/L	0,086 mg/L
3	20 – 30 cm	0,015 mg/L	0,275 mg/L	0,109 mg/L
1	Verwallung	0,283 mg/L	0,283 mg/L	0,283 mg/L

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Blei (1.000 mg/kg) /2/**

> *BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser für Blei (0,025 mg/L) /2/*

Tabelle 7: Zusammenfassung der Bleigehalte im Feststoff / Eluat in den untersuchten Bodenproben.

Einen visuellen Eindruck über die Verteilung von Blei im Boden vermitteln die Abbilder 2 (Blei im Feststoff; Maximalwerte) und 3 (Blei im Eluat; Maximalwerte) in Anlage 1.

Erhöhte Bleigehalte im Boden, die den zugehörigen BBodSchV-Prüfwert von 1.000 mg/kg für Park- und Freizeitanlagen /2/ bzw. den vergleichsweise herangezogenen BBodSchV-Prüfwert von 0,025 mg/L (Blei im Eluat) /2/ teilweise signifikant überschreiten, liegen in folgenden Bereichen vor:

Scheibensplitterzone:	bis 37.200 mg/kg im Feststoff bzw. 1,430 mg/L im Eluat
Niederschlagsbereiche (NB, HSR, RF):	bis 136.000 mg/kg im Feststoff bzw. 18,200 mg/L im Eluat
Zwischenmittelzone:	bis 3.040 mg/kg im Feststoff bzw. 0,040 mg/L im Eluat
Flurstück 62/1 „Wellbrock“:	bis 1.000 mg/kg im Feststoff bzw. 0,427 mg/L im Eluat)
Flurstück 1/3 „Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage“:	bis 18.900 mg/kg im Feststoff bzw. 4,69 mg/L im Eluat
Schießanlage „Laufender Keiler“:	bis 3.190 mg/kg im Feststoff, untergeordnet bis 0,131 mg/L im Eluat
Kurzwaffenstand:	bis 12.600 mg/kg im Feststoff bzw. 0,235 mg/L im Eluat
100m Kugelbahn:	bis 5.790 mg/kg im Feststoff bzw. 0,267 mg/L im Eluat
ehemalige Schießanlage „Kippphase“:	bis 20.600 mg/kg im Feststoff bzw. 0,436 mg/L im Eluat

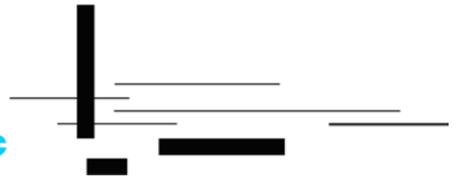
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Die Betrachtung der tiefenzonierten Verteilung des Bleis im Boden zeigt (vgl. hierzu die Tabellen 2 und 2.1.1 in Anlage 1 sowie die Abbilder 12 bis 16), dass in der Regel die höchsten Bleigehalte im Boden in den oberen Abschnitten vorliegen und die Gehalte mit zunehmender Tiefe abnehmen.

Bleikonzentrationen > 0,2 mg/L im Eluat wurden großräumig in den Niederschlagsbereichen und der Scheibensplitterzone bis in Tiefen von mindestens 40 cm nachgewiesen. Es ist zu vermuten, dass Bleikonzentrationen > 0,2 mg/L im Eluat, aber auch in tieferen Abschnitten (> 40 cm unter GOK), großräumig in den Niederschlagsbereichen und der Scheibensplitterzone vorliegen, was sich insbesondere auf Grundlage der Ergebnisse folgender Tiefenprofile (s. auch Tabelle 2.1.1 in Anlage 2) ableiten lässt:

Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)	Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)
NB 20/11-MP1	17.07.2020	0	10	A	0,963	NB 20/13-MP1	15.07.20	0	10	A	6,350
NB 20/11-MP2		10	20	A	0,587	NB 20/13-MP2		10	20	A	0,631
NB 20/11-MP3		20	30	A	0,478	NB 20/13-MP3		20	30	A	1,470
NB 20/11-MP5		40	50	A	0,232	NB 20/13-MP5		40	50	A	0,259
NB 20/11-MP6		50	60	A	0,156	NB 20/13-MP6		50	60	A	0,161
NB 20/11-MP7		60	70	A	0,291	NB 20/13-MP7		60	70	A	0,393
RKB NB 20/11-04		400	440	H	<0,007						
RKB NB 20/11-05	440	500	S	0,022							

Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)	Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)
NB 20/15-MP1	16.07.20	0	10	H/S	3,17	NB 20/21-MP1	16.07.20	0	10	H/S	0,046
NB 20/15-MP2		10	20	H/S	2,03	NB 20/21-MP2		10	20	H/S	0,691
NB 20/15-MP4		30	40	H	0,191	NB 20/21-MP3		20	30	H	0,51
NB 20/15-MP6		50	60	H	0,292	NB 20/21-MP5		40	50	H	0,219
NB 20/15-MP7		60	70	H	0,257	NB 20/21-MP7		60	70	H	0,122



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)	Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Hauptbodenart	Blei (mg/L)
NB 20/22-MP1	30.06.20	0	10	S	1,960	NB 20/23-MP1	16.07.20	0	10	H/S	1,99
NB 20/22-MP2		10	20	S	1,090	NB 20/23-MP2		10	20	H/S	0,653
NB 20/22-MP3		20	30	H	0,605	NB 20/23-MP3		20	30	H	0,859
NB 20/22-MP4		30	40	H	0,188	NB 20/23-MP5		40	50	H	1,100
NB 20/22-MP5		40	50	H	0,285	NB 20/23-MP7		60	70	H	0,971
RKB NB 20/22-02		100	240	H	0,074						
RKB NB 20/22-03	240	300	S	<0,007							

> GFS-Wert [2016] (>0,0012 mg/L Pb) > BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser (>0,025 mg/L Pb)

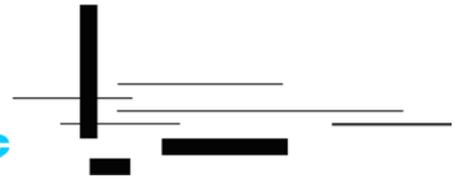
> Z2-Wert LAGA TR Boden (> 0,2 mg/L Pb) extrem signifikante Belastungen (>1 mg/L Pb)

Tabelle 8: Tiefenzionierte Darstellung der Bleikonzentrationen im Eluat (Ausgewählte Tiefenprofile)

Das nachweisliche Auftreten von Blei im Eluat in den tieferen Abschnitten lässt vermuten, dass in großen Teilen des Untersuchungsgebietes eine Verlagerung von Blei über den Sickerwasserpfad erfolgt. Das gelöste Blei wird dabei von den oberflächennahen Abschnitten der Torfe vermutlich bis in die grundwasserführenden unterlagernde Sande transportiert, wenn auch das vergleichsweise hohe Adsorptionsvermögen der Torfe und an deren Basis teilweise auftretenden Schluffen mit deren Retardationsvermögen den Transport deutlich einschränkt und zeitlich verzögert (s. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.3.3).

Arsen

Laboranalytisch wurden aktuell Gehalte an Arsen (Feststoff / Eluat) in den untersuchten Feststoffproben in folgenden Spannbreiten nachgewiesen (vgl. hierzu auch die Tabelle 2 in Anlage 2):



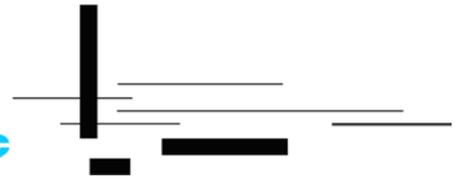
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Arsen				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Referenzbereiche (REF)				
7	0 – 50 cm	2 mg/kg	6 mg/kg	3,43 mg/kg
10	0 – 60 cm	< 0,001 mg/L	0,003 mg/L	0,0014 mg/L
3	60 – 170 cm	< 0,001 mg/L	0,007 mg/L	0,0033 mg/L
Zwischenmittelzone (ZMZ)				
3	0 – 10 cm	3 mg/kg	12 mg/kg	6,67 mg/kg
3	10 – 20 cm	2 mg/kg	6 mg/kg	3,67 mg/kg
3	20 – 30 cm	2 mg/kg	4 mg/kg	2,67 mg/kg
3	0 – 10 cm	0,002 mg/L	0,005 mg/L	0,003 mg/L
3	10 – 20 cm	0,001 mg/L	0,003 mg/L	0,002 mg/L
3	20 – 30 cm	0,001 mg/L	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Scheibensplitterzone (SSZ)				
5	0 – 10 cm	23 mg/kg	140 mg/kg	66,60 mg/kg
5	10 – 20 cm	13 mg/kg	72 mg/kg	38,40 mg/kg
5	0 – 10 cm	0,005 mg/L	<i>0,075 mg/L</i>	<i>0,025 mg/L</i>
5	10 – 20 cm	0,006 mg/L	<i>0,038 mg/L</i>	<i>0,019 mg/L</i>
5	20 – 30 cm	0,007 mg/L	<i>0,042 mg/L</i>	<i>0,019 mg/L</i>
5	30 – 40 cm	0,003 mg/L	<i>0,036 mg/L</i>	<i>0,013 mg/L</i>
5	40 – 50 cm	0,007 mg/L	<i>0,040 mg/L</i>	<i>0,022 mg/L</i>
Niederschlagsbereich (NB, HSR, RF)				
48	0 – 10 cm	3 mg/kg	1.500 mg/kg	251,98 mg/kg
14	10 – 20 cm	2 mg/kg	1.080 mg/kg	119,86 mg/kg
3	20 – 30 cm	90 mg/kg	364 mg/kg	262 mg/kg
48	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	<i>0,510 mg/L</i>	0,101 mg/L
28	10 – 20 cm	<0,001 mg/L	<i>0,402 mg/L</i>	0,086 mg/L
27	20 – 30 cm	<0,001 mg/L	<i>0,493 mg/L</i>	0,063 mg/L
16	30 – 40 cm	<0,001 mg/L	<i>2,940 mg/L</i>	0,269 mg/L
15	40 – 50 cm	0,002 mg/L	<i>0,333 mg/L</i>	0,052 mg/L
17	> 0,5 m Torfe	<0,001 mg/L	<i>0,210 mg/L</i>	0,029 mg/L
9	> 2 m Sande	<0,001 mg/L	0,002 mg/L	< 0,001 mg/L
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (RF 20/01 bis RF 20/04)				
8	0-10 cm	3 mg/kg	23 mg/kg	7,50 mg/kg
8	0 – 10 cm	0,002 mg/L	<i>0,037 mg/L</i>	<i>0,011 mg/L</i>
4	10 – 20 cm	0,001 mg/L	<i>0,023 mg/L</i>	0,010 mg/L
4	20 – 30 cm	0,002 mg/L	<i>0,021 mg/L</i>	0,009 mg/L
4	30 – 40 cm	0,002 mg/L	<i>0,020 mg/L</i>	0,009 mg/L



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Arsen				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche südöstlich Schützenhaus und Schießanlagen)				
2	0 – 10 cm	4 mg/kg	7 mg/kg	5,5 mg/kg
2	10 – 20 cm	2 mg/kg	3 mg/kg	2,5 mg/kg
2	0 – 10 cm	0,003 mg/L	0,007 mg/L	0,005 mg/L
2	10 – 20 cm	0,003 mg/L	0,008 mg/L	0,006 mg/L
2	20 – 30 cm	0,002 mg/L	0,009 mg/L	0,006 mg/L
2	40 – 50 cm	0,005 mg/L	0,011 mg/L	0,008 mg/L
2	60 – 70 cm	0,004 mg/L	0,010 mg/L	0,007 mg/L
Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage)				
20	0 – 10 cm	3 mg/kg	204 mg/kg	22,90 mg/kg
6	10 – 20 cm	4 mg/kg	13 mg/kg	7,83 mg/kg
20	0 – 10 cm	0,001 mg/L	<i>1,010 mg/L</i>	<i>0,078 mg/L</i>
13	10 – 20 cm	0,002 mg/L	<i>0,289 mg/L</i>	<i>0,037 mg/L</i>
13	20 – 30 cm	0,001 mg/L	<i>0,266 mg/L</i>	<i>0,050 mg/L</i>
8	30 – 40 cm	0,015 mg/L	<i>0,562 mg/L</i>	<i>0,096 mg/L</i>
6	40 – 50 cm	0,002 mg/L	<i>0,078 mg/L</i>	<i>0,021 mg/L</i>
5	60 – 70 cm	0,003 mg/L	<i>0,048 mg/L</i>	<i>0,017 mg/L</i>
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)				
6	0 – 10 cm	3 mg/kg	9 mg/kg	4,83 mg/kg
6	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L
4	10 – 20 cm	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L
4	20 – 30 cm	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L
Schießanlage „Kurzaffenstand“ (KWS)				
4	0 – 10 cm	3 mg/kg	4 mg/kg	3,5 mg/kg
4	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L
4	10 – 20 cm	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L	<0,001 mg/L
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)				
5	0 – 10 cm	2 mg/kg	13 mg/kg	6,2 mg/kg
5	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	<i>0,015 mg/L</i>	0,0027 mg/L
5	10 – 20 cm	<0,001 mg/L	0,005 mg/L	0,0016 mg/L
5	20 – 30 cm	<0,001 mg/L	0,0015 mg/L	0,0052 mg/L



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Arsen				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ehemalige Schießanlage „Kippphase“ (KH)				
3	0 – 10 cm	2 mg/kg	109 mg/kg	39 mg/kg
1	Verwallung	150 mg/kg	150 mg/kg	150 mg/kg
3	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	0,007 mg/L	0,003 mg/L
3	10 – 20 cm	<0,001 mg/L	0,005 mg/L	0,002 mg/L
3	20 – 30 cm	<0,001 mg/L	0,005 mg/L	0,002 mg/L
1	Verwallung	0,010 mg/L	0,010 mg/L	0,010 mg/L

Hinweis: Der Bereich Schützenstände wurde entsprechend dem Untersuchungskonzept [103] nicht auf den Parameter Arsen untersucht.

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Arsen (125 mg/kg) /2/**

> *BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser für Arsen (0,01 mg/L) /2/*

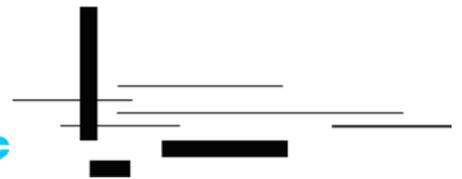
Tabelle 9: Zusammenfassung der Arsengehalte im Feststoff / Eluat in den untersuchten Bodenproben.

Erhöhte Gehalte an Arsen im Boden treten demnach im Wesentlichen in den Niederschlagsbereichen (NB, HSR, RF; bis 1.500 mg/kg im Feststoff bzw. 2,940 mg/L im Eluat) auf, die den zugehörigen BBodSchV-Prüfwert von 125 mg/kg für Park- und Freizeitanlagen /2/ bzw. den vergleichsweise herangezogenen BBodSchV-Prüfwert Boden-Grundwasser von 0,01 mg/L (Arsen im Eluat) /2/ teilweise signifikant überschreiten.

Des Weiteren kommen erhöhte Arsengehalte in der Scheibensplitterzone (bis 140 mg/kg im Feststoff bzw. bis 0,075 mg/L im Eluat), auf dem Flurstück 1/3 „Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage“ (bis 204 mg/kg im Feststoff bzw. bis 1,01 mg/L im Eluat) und dem Bereich Fangwall der ehemaligen Schießanlage „Kippphase“ (bis 150 mg/kg im Feststoff des Fangwalls selbst und bis 174 mg/kg im unmittelbar nördlich angrenzenden Bereich (RF20/23)) vor.

Die Verteilung von Arsen im Boden ist in den Abbildern 5 und 6 in Anlage 1 dargestellt.

Wie bereits für Blei festgestellt, treten auch bei Arsen die höchsten Gehalte im Boden in den oberen Abschnitten auf und werden mit zunehmender Tiefe geringer (vgl. hierzu die Tabellen 2 und 2.1.2 in Anlage 1).



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

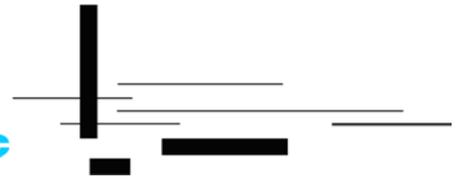
Für die Niederschlagsbereiche ist anzunehmen, dass Arsen in erhöhten Konzentrationen > 0,01 mg/L im Eluat zumindest punktuell tiefer als 50 cm unter GOK bis mindestens ca. 80 cm unter GOK im Boden auftritt:

NB 20/11-MP7 (Auffüllung; 60 – 70 cm unter GOK):	0,028 mg/L
NB 20/13-MP7 (Auffüllung; 60 – 70 cm unter GOK):	0,092 mg/L
NB 20/15-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,068 mg/L
NB 20/21-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,012 mg/L
RKB NB 20/22-02 (Torfe; 100 – 240 cm unter GOK):	0,057 mg/L
NB 20/23-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,333 mg/L
RF 20/13-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,048 mg/L
RF 20/16-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,013 mg/L
RF 20/17-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,018 mg/L
SB 20/01-MP3 (Torfe; 60 – 80 cm unter GOK):	0,067 mg/L
SB 20/03-MP2 (Torfe; 80 – 100 cm unter GOK):	0,019 mg/L
SB 20/10-MP2 (Torfe; 50 – 75 cm unter GOK):	0,287 mg/L

Auch für Arsen ist davon auszugehen, dass zumindest in Teilen des untersuchten Geländes eine Verfrachtung von Arsen über das Sickerwasser bis in unterlagernden grundwasserführenden Sande stattfindet (s. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.3.3).

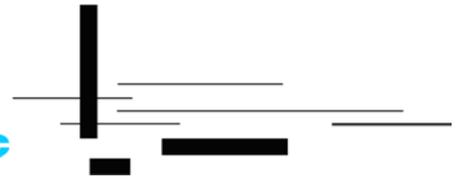
Antimon

Vergleichbar mit den Parametern Blei und Arsen kann auch für den Parameter Antimon festgestellt werden, dass in den aktuell untersuchten Feststoffproben Gehalte (Feststoff / Eluat) vorliegen, die den orientierend Prüfwert von 250 mg/kg für Park- und Freizeitanlagen im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV /19/ bzw. den vergleichsweise herangezogenen Prüfwert der BBodSchV für Boden-Grundwasser von 0,01 mg/L (Antimon im Eluat) /2/ teilweise signifikant überschreiten (vgl. hierzu auch die Tabelle 2 in Anlage 2):



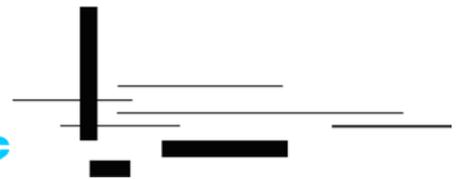
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Antimon				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Referenzbereiche (REF)				
7	0 – 50 cm	<2 mg/kg	28 mg/kg	8,14 mg/kg
10	0 – 60 cm	<0,001 mg/L	0,013 mg/L	0,003 mg/L
3	60 – 170 cm	0,001 mg/L	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Zwischenmittelzone (ZMZ)				
3	0 – 10 cm	4 mg/kg	71 mg/kg	30,33 mg/kg
3	10 – 20 cm	3 mg/kg	9 mg/kg	6,00 mg/kg
3	20 – 30 cm	2 mg/kg	3 mg/kg	2,67 mg/kg
3	0 – 10 cm	0,013 mg/L	0,043 mg/L	0,031 mg/L
3	10 – 20 cm	0,013 mg/L	0,03 mg/L	0,018 mg/L
3	20 – 30 cm	0,006 mg/L	0,008 mg/L	0,007 mg/L
Scheibensplitterzone (SSZ)				
5	0 – 10 cm	93 mg/kg	688 mg/kg	263,2 mg/kg
5	10 – 20 cm	51 mg/kg	289 mg/kg	161,4 mg/kg
5	0 – 10 cm	0,037 mg/L	0,160 mg/L	0,087 mg/L
5	10 – 20 cm	0,030 mg/L	0,094 mg/L	0,056 mg/L
5	20 – 30 cm	0,002 mg/L	0,068 mg/L	0,019 mg/L
5	30 – 40 cm	0,002 mg/L	0,021 mg/L	0,010 mg/L
5	40 – 50 cm	0,002 mg/L	0,069 mg/L	0,026 mg/L
Niederschlagsbereiche (NB, HSR, RF)				
48	0 – 10 cm	<2 mg/kg	7.400 mg/kg	1.500,60 mg/kg
14	10 – 20 cm	<2 mg/kg	5.390 mg/kg	554,79 mg/kg
3	20 – 30 cm	201 mg/kg	3.280 mg/kg	1.560,33 mg/kg
48	0 – 10 cm	<0,001 mg/L	0,388 mg/L	0,067 mg/L
28	10 – 20 cm	0,001 mg/L	0,436 mg/L	0,063 mg/L
27	20 – 30 cm	0,001 mg/L	0,272 mg/L	0,033 mg/L
16	30 – 40 cm	0,001 mg/L	0,141 mg/L	0,032 mg/L
15	40 – 50 cm	<0,001 mg/L	0,301 mg/L	0,034 mg/L
17	> 0,5 m Torfe	<0,001 mg/L	0,118 mg/L	0,012 mg/L
9	> 2 m Sande	<0,001 mg/L	0,002 mg/L	<0,001 mg/L
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (RF 20/01 bis RF 20/04)				
8	0-10 cm	3 mg/kg	101 mg/kg	24,63 mg/kg
8	0 – 10 cm	0,003 mg/L	0,021 mg/L	0,008 mg/L
4	10 – 20 cm	0,003 mg/L	0,008 mg/L	0,005 mg/L
4	20 – 30 cm	0,002 mg/L	0,015 mg/L	0,007 mg/L
4	30 – 40 cm	0,003 mg/L	0,011 mg/L	0,006 mg/L



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Antimon				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche südöstlich Schützenhaus und Schießanlagen)				
2	0 – 10 cm	4 mg/kg	4 mg/kg	4 mg/kg
2	10 – 20 cm	<2 mg/kg	<2 mg/kg	<2 mg/kg
2	0 – 10 cm	0,001 mg/L	0,002 mg/L	0,002 mg/L
2	10 – 20 cm	0,002 mg/L	0,003 mg/L	0,003 mg/L
2	20 – 30 cm	0,003 mg/L	0,004 mg/L	0,004 mg/L
2	40 – 50 cm	<0,001 mg/L	0,002 mg/L	0,001 mg/L
2	60 – 70 cm	<0,001 mg/L	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage)				
20	0 – 10 cm	<2 mg/kg	538 mg/kg	94,7 mg/kg
6	10 – 20 cm	3 mg/kg	83 mg/kg	36 mg/kg
20	0 – 10 cm	0,001 mg/L	<i>0,160 mg/L</i>	<i>0,022 mg/L</i>
13	10 – 20 cm	0,001 mg/L	<i>0,169 mg/L</i>	<i>0,021 mg/L</i>
13	20 – 30 cm	0,002 mg/L	<i>0,131 mg/L</i>	<i>0,021 mg/L</i>
8	30 – 40 cm	0,003 mg/L	<i>0,091 mg/L</i>	<i>0,023 mg/L</i>
6	40 – 50 cm	0,002 mg/L	<i>0,017 mg/L</i>	0,006 mg/L
5	60 – 70 cm	0,002 mg/L	0,008 mg/L	0,004 mg/L
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)				
6	0 – 10 cm	4 mg/kg	56 mg/kg	25,17 mg/kg
6	0 – 10 cm	0,003 mg/L	<i>0,040 mg/L</i>	<i>0,018 mg/L</i>
4	10 – 20 cm	0,010 mg/L	<i>0,034 mg/L</i>	<i>0,019 mg/L</i>
4	20 – 30 cm	0,009 mg/L	<i>0,029 mg/L</i>	<i>0,016 mg/L</i>
Schießanlage „Kurzgewehrstand“ (KWS)				
4	0 – 10 cm	13 mg/kg	179 mg/kg	64 mg/kg
4	0 – 10 cm	0,012 mg/L	<i>0,086 mg/L</i>	<i>0,041 mg/L</i>
4	10 – 20 cm	0,011 mg/L	<i>0,076 mg/L</i>	<i>0,038 mg/L</i>
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)				
5	0 – 10 cm	3 mg/kg	133 mg/kg	33,80 mg/kg
5	0 – 10 cm	0,005 mg/L	<i>0,089 mg/L</i>	<i>0,029 mg/L</i>
5	10 – 20 cm	0,002 mg/L	<i>0,052 mg/L</i>	<i>0,017 mg/L</i>
5	20 – 30 cm	0,002 mg/L	<i>0,074 mg/L</i>	<i>0,029 mg/L</i>



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Antimon				
Probenanzahl	Beprobungstiefen	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ehemalige Schießanlage „Kipphase“ (KH)				
3	0 – 10 cm	<2 mg/kg	356 mg/kg	122,67 mg/kg
1	Verwallung	600 mg/kg	600 mg/kg	600 mg/kg
3	0 – 10 cm	0,002 mg/L	0,129 mg/L	0,047 mg/L
3	10 – 20 cm	0,003 mg/L	0,089 mg/L	0,033 mg/L
3	20 – 30 cm	0,006 mg/L	0,113 mg/L	0,043 mg/L
1	Verwallung	0,209 mg/L	0,209 mg/L	0,209 mg/L

Hinweis: Der Bereich Schützenstände wurde entsprechend dem Untersuchungskonzept [103] nicht auf den Parameter Antimon untersucht.

> **Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Antimon im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV (250 mg/kg) /19/**

> *BBodSchV-Prüfwert Boden Grundwasser für Antimon (0,01 mg/L) /2/*

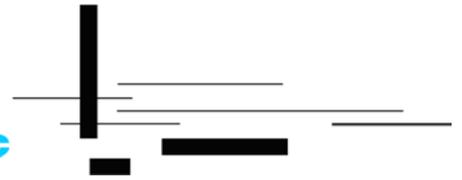
Tabelle 10: Zusammenfassung der Antimongehalte im Feststoff /Eluat in den untersuchten Bodenproben.

Gemäß voranstehender tabellarischen Zusammenfassung treten erhöhte Antimon-Gehalte (> Prüfwert von 250 mg/kg für Park- und Freizeitanlagen im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV /19/) bzw. > BBodSchV-Prüfwert von 0,01 mg/L für Boden-Grundwasser /2/) insbesondere in der Scheibensplitterzone (bis 688 mg/kg im Feststoff bzw. 0,16 mg/L im Eluat) und in den Niederschlagsbereichen (NB, HSR, RF; 7.400 mg/kg im Feststoff bzw. 0,436 mg/L im Eluat) auf.

Untergeordnet wurden erhöhte Gehalte an Antimon in der Zwischenmittelzone (bis 0,043 mg/L im Eluat), den Flurstücken 62/1 „Wellbrock“ (bis 0,021 mg/L im Eluat) und 1/3 „Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage“ (bis 538 mg/kg im Feststoff bzw. 0,169 mg/L im Eluat), den Schießanlagen „Laufender Keiler“ (bis 0,040 mg/L im Eluat), Kurzwaffenstand“ (bis 0,086 mg/L im Eluat), 100m Kugelbahn (bis 0,089 mg/L im Eluat) und der ehemaligen Schießanlage „Kipphase“ (bis 600 mg/kg im Feststoff bzw. 0,129 mg/L im Eluat) gemessen.

Die Verteilung von Antimon im Boden ist aus den Abbildern 8 und 9 in Anlage 1 ersichtlich.

Auch bei Antimon, wie bereits zuvor für Blei und Arsen beschrieben, lässt sich mit zunehmender Tiefe eine Abnahme der Gehalte im Boden feststellen (vgl. hierzu die Tabellen 2 und 2.1.3 in Anlage 2).



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

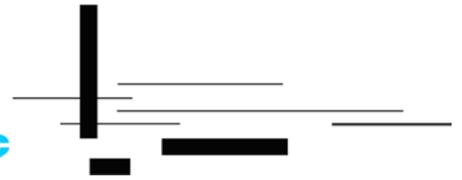
Auch Antimon wurde in erhöhten Konzentrationen ($> 0,01$ mg/L im Eluat) in der Scheibensplitterzone und den Niederschlagsbereichen bis mindestens 50 cm unter GOK nachgewiesen. Aber auch in den tieferen Abschnitten der Auffüllungen / Torfe wurden erhöhte Antimonkonzentrationen ($>0,01$ mg/L im Eluat), zumindest punktuell, nachgewiesen:

NB 20/11-MP7 (Auffüllung; 60 – 70 cm unter GOK):	0,020 mg/L
NB 20/13-MP7 (Auffüllung; 60 – 70 cm unter GOK):	0,037 mg/L
RKB 20/22-02 (Torfe; 100 – 240 cm unter GOK):	0,014 mg/L
NB 20/23-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,118 mg/L
RF 20/17-MP7 (Torfe; 60 – 70 cm unter GOK):	0,018 mg/L
SB 20/10-MP2 (Auffüllung; 50 – 75 cm unter GOK):	0,022 mg/L

Es lässt sich somit auch für Antimon eine Mobilisierbarkeit feststellen, die eine entsprechende Verfrachtung über den Sickerwasserpfad bis in die grundwasserführenden, unterlagernden Sande vermuten lässt (s. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.3.3).

Cadmium, Kupfer, Nickel und Chrom

Von den entnommenen Bodenproben wurden insgesamt 195 im Feststoff und 406 im Eluat im Labor einer chemischen Analytik jeweils auf die Parameter Cadmium, Kupfer, Nickel und Chrom zugeführt, die gemäß /3/ auch in Wurfscheiben enthalten sind. Die Ergebnisse dieser Analysen lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. hierzu auch die Tabellen 2, 2.1.4 und 2.1.5 in Anlage 2):



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Feststoff					
Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen /2/	Überschreitungen des Prüfwertes
Cadmium	< 0,06 mg/kg	2,25 mg/kg	0,44 mg/kg	50 mg/kg	keine
Kupfer	< 2,0 mg/kg	439,0 mg/kg	28,3 mg/kg	-	
Nickel	< 2,0 mg/kg	675,0 mg/kg	18,9 mg/kg	350 mg/kg	2 Proben: NB 20/23-MP1 (0 – 10 cm unter GOK): 675 mg/kg NB 20/23-MP2 (10 – 20 cm unter GOK): 475 mg/kg
Chrom	< 2,0 mg/kg	306,0 mg/kg	14,4 mg/kg	1.000 mg/kg	keine
Eluat					
Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	BBodSchV-Prüfwert Boden-Grundwasser /2/	Überschreitungen des Prüfwertes
Cadmium	< 0,0005 mg/L	0,0017 mg/L	0,001 mg/L	0,005 mg/L	keine
Kupfer	< 0,014 mg/L	0,060	0,043 mg/L	0,050 mg/L	3 Proben: HSR 20/03-MP5 (40 – 50 cm unter GOK): <i>0,052 mg/L</i> KWS 20/04-MP1 (0 – 10 cm unter GOK): <i>0,060 mg/L</i> KB 20/02-MP1 (0 – 10 cm unter GOK): <i>0,059 mg/L</i>
Nickel	< 0,014 mg/L	0,066	0,019 mg/L	0,050 mg/L	3 Proben: NB 20/23-MP1 (0 – 10 cm unter GOK): <i>0,061 mg/L</i> NB 20/23-MP3 (20 – 30 cm unter GOK): <i>0,053 mg/L</i> RKB NB 20/11-05 (440 – 500 cm unter GOK): <i>0,066 mg/L</i>
Chrom	< 0,005 mg/L	0,014	0,005 mg/L	0,050 mg/L	keine

Hinweis: In der BBodSchV /2/ sind keine Prüfwerte für Wirkungspfad Boden – Mensch angegeben, weshalb an dieser Stelle zu vergleichszwecken der Z1-Wert gemäß LAGA TR Boden /5/ für Kupfer von 120 mg/kg benannt wird.

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen /2/**

> *BBodSchV-Prüfwert Boden Grundwasser /2/*

Tabelle 11: Zusammenfassung der Ergebnisse der auf Cadmium, Kupfer, Nickel und Chrom untersuchten Bodenproben (Feststoff / Eluat).

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Insgesamt lässt sich für vorgenannte Parameter feststellen, dass in den untersuchten Bodenproben sowohl im Feststoff als auch im Eluat, sofern überhaupt nachgewiesen, nur vergleichsweise geringe Gehalte an Cadmium, Kupfer, Nickel und Chrom vorliegen, die die jeweils zugehörigen BBodSchV-Prüfwerte /2/ in der Regel deutlich unterschritten. Nur vereinzelt (6 von 61 untersuchten Proben) wurden geringfügige Überschreitungen des jeweiligen Prüfwertes der BBodSchV /2/ festgestellt.

6.3.2.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

In der Vergangenheit wurden auf der Schießsportanlage PAK-haltige Wurfscheiben verwendet. Vor über 10 Jahren erfolgte gemäß den Angaben des Betreibers eine Umstellung auf PAK-freie Scheiben (s. auch Kapitel 3.1 und 5.1.4.1).

Vor diesem Hintergrund wurden insgesamt 25 Proben aus dem Auftreffbereich der Wurfscheibenscherben (Scheibensplitterzone; SSZ) auch auf den Summenparameter PAK untersucht (vgl. hierzu auch Tabelle 2 in Anlage 2):

Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Summe PAK (nach EPA) (mg/kg)	Naphthalin (mg/kg)	Benzo(a)pyren (mg/kg)
SSZ 20/01-MP1	29.06.20	0	10	239,30	<5,0	25
SSZ 20/01-MP2	29.06.20	10	20	356,10	<2,5	37
SSZ 20/01-MP3	29.06.20	20	30	23,60	<0,25	2,1
SSZ 20/01-MP4	29.06.20	30	40	7,08	<0,50	0,67
SSZ 20/01-MP5	29.06.20	40	50	97,90	<2,5	9,7
SSZ 20/02-MP1	29.06.20	0	10	218,80	<5,0	23
SSZ 20/02-MP2	29.06.20	10	20	779,00	<5,0	62
SSZ 20/02-MP3	29.06.20	20	30	22,30	6,5	1,8
SSZ 20/02-MP4	29.06.20	30	40	4,06	<0,50	0,53
SSZ 20/02-MP5	29.06.20	40	50	14,70	<0,50	1,4
SSZ 20/03-MP1	29.06.20	0	10	58,40	<1,0	6,3
SSZ 20/03-MP2	29.06.20	10	20	7,62	<0,10	0,78
SSZ 20/03-MP3	29.06.20	20	30	0,55	<0,30	<0,30



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Probe	Datum	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Naphthalin (mg/kg)	Benzo(a)pyren (mg/kg)	Summe PAK (nach EPA) (mg/kg)
SSZ 20/03-MP4	29.06.20	30	40	<0,25	<0,25	n.b.
SSZ 20/03-MP5	29.06.20	40	50	<0,25	1,8	17,36
SSZ 20/04-MP1	30.06.20	0	10	<5,0	17	162,20
SSZ 20/04-MP2	30.06.20	10	20	<1,0	3	29,50
SSZ 20/04-MP3	30.06.20	20	30	<0,30	1,8	19,18
SSZ 20/04-MP4	30.06.20	30	40	<0,30	2,7	27,72
SSZ 20/04-MP5	30.06.20	40	50	<0,50	4,3	47,37
SSZ 20/05-MP1	30.06.20	0	10	12	56	630,60
SSZ 20/05-MP2	30.06.20	10	20	7,5	180	1.892,50
SSZ 20/05-MP3	30.06.20	20	30	<5,0	130	1.329,40
SSZ 20/05-MP4	30.06.20	30	40	<5,0	76	744,80
SSZ 20/05-MP5	30.06.20	40	50	<5,0	140	1.443,00

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Benzo(a)pyren (1 mg/kg) /2/**

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse, der auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersuchten Feststoffproben aus der Scheibensplitterzone.

Im Bereich der Scheibensplitterzone wurden PAK in 24 von 25 Feststoffproben bis maximal 1.892,50 mg/kg (SSZ 20/05-MP2; 10 – 20 cm unter GOK) nachgewiesen.

Die PAK-Gehalte treten in den fünf untersuchten Tiefenabschnitten in stark variierenden Spannbreiten auf, die im Wesentlichen auf den jeweiligen Anteil an Scheibensplittern in der abgeseibten Fraktion < 2mm der gesamten Feststoffprobe zurückzuführen sein dürfte:

Tiefenabschnitt [cm unter GOK]	Datum	Summe PAK [Minimum]	Summe PAK [Maximum]	Summe PAK [Mittelwert]
0 – 10	29.06.20	58,4	630,6	261,9
10 – 20	29.06.20	7,6	1.892,5	612,9
20 – 30	29.06.20	0,55	1.329,4	279,0
30 – 40	29.06.20	4,1	744,8	195,9
40 – 50	29.06.20	14,7	1.443,0	324,0

Zum Vergleich: In der LAGA TR Boden /5/ ist der Z2-Wert Summe PAK mit 30 mg/kg angegeben.

Tabelle 13: Tiefenzonierte Zusammenfassung der Ergebnisse der PAK-Analysen in der Scheibensplitterzone.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Der als „Leitsubstanz“ fungierende PAK-Einzelstoff Benzo(a)pyren wurden in 20 von 25 untersuchten Feststoffproben in Gehalten zwischen 1,4 mg/kg (SSZ20/02-MP5) und 180 mg/kg (SSZ 20/05-MP2) festgestellt, die den zugehörigen BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen /2/ für Benzo(a)pyren von 1 mg/kg teilweise signifikant überschreiten.

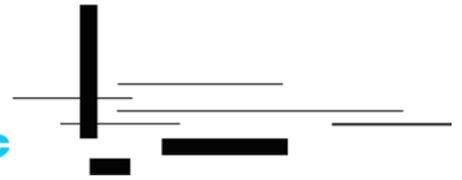
Der vergleichsweise mobile PAK-Einzelstoff Naphthalin wurde in 3 der 25 untersuchten Feststoffproben in geringen Gehalten nachgewiesen (bis maximal 12 mg/kg: SSZ 20/05-MP1).

6.3.2.3 pH-Werte

Den stärksten Einfluss auf die Löslichkeit von Schwermetallen im Boden besitzt der pH-Wert. Dabei verringern höhere pH-Werte die Schwermetallverfügbarkeit und bei steigenden pH-Werten nimmt die Schwermetallmobilität in der Reihenfolge Cadmium > Zink > Nickel > Kupfer > Blei ab. Eine zunehmende Versauerung des Bodens bewirkt eine zum Teil erhebliche Schwermetallmobilisierung. Cadmium und Zink werden bereits bei pH-Werten < 7 verstärkt freigesetzt. Die äußerst unbeweglichen Parameter Blei, Cobalt und Chrom gehen erst bei niedrigeren pH-Werten (< 5) in die wässrige Phase über.

Vor diesem Hintergrund wurden an insgesamt 338 Feststoffproben die pH-Werte im Labor gemessen (vgl. hierzu auch Tabelle 2 in Anlage 2):

Bereich	Anzahl der Proben	Material	pH-Wert [Min]	pH-Wert [Max]	Entnahmetiefe [cm unter GOK]
Referenzbereiche (REF)	13	H/S	< 4,0	7,3	0 - 170
Schützenstände (BSS)	9	S	5,2	6,7	0 - 30
Zwischenmittelzone (ZMZ)	9	S	6,1	6,9	0 - 30
Scheibensplitterzone (SSZ)	25	H	< 4,0	6,8	0 - 50
Niederschlagsbereiche (NB, HSR, RF)	129	H/S	< 4,0	4,5	0 - 70
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (RF 20/01 bis RF 20/04)	20	H	< 4,0 *		0 - 40
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche südöstlich Schützenhaus und Schießanlagen)	10	H	< 4,0		0 - 70



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Bereich	Anzahl der Proben	Material	pH-Wert [Min]	pH-Wert [Max]	Entnahmetiefe [cm unter GOK]
Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage)	65	H	< 4,0		0 – 70
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)	6	S	4,2	6,3	0 - 10
Schießanlage „Kurzaffenstand“ (KWS)	4	S	5,7	6,2	0 – 10
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)	5	H	4,6	5,7	0 – 10
Ehemalige Schießanlage „Kippphase“ (KH)	14	H/S	< 4,0	6,3	0 – 10
Sanierungsbereich	23 **	S/Bau	6,6	9,4	0 - 90

H: Torf; S: Sand; Bau: Bauschutt; * einmalig 7,2 (Sand); ** ohne Torfe (3 Proben)

Tabelle 14: Zusammenfassung der pH-Werte im oberflächennahen Untergrund.

Den Ergebnissen zufolge liegen in den Torfen die pH-Werte in der Regel unter 4 und somit im sauren Bereich.

In den aufgefüllten Materialien variieren die pH-Werte in vergleichsweise großer Spannbreite zwischen < 4 und 9,4. Dabei kommen die „sauren“ pH-Werte in den Organik-reicheren und die „basischen“ in den Organik-ärmeren und Bauschutt-haltigeren Materialien vor.

Für den Bereich der Tonscheibensplitterzone (SSZ 20/01 bis SSZ 20/05) lässt sich mit zunehmender Tiefe eine Abnahme der pH-Werte in den oberflächennah anstehenden Torfen feststellen, die vermutlich in Zusammenhang mit den hier an der Oberfläche bereichsweise massiv lagernden Tonscheibensplittern und den darin enthaltenen Carbonaten steht (s. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.4):

Entnahmetiefe [cm unter GOK]	SSZ 20/01	SSZ 20/02	SSZ 20/03	SSZ 20/04	SSZ 20/05
0 – 10	6,3	6,0	4,3	5,4	6,8
10 – 20	5,5	4,6	4,3	4,4	6,6
20 – 30	4,1	< 4,0	< 4,0	< 4,0	6,1
30 – 40	4,1	< 4,0	< 4,0	< 4,0	5,6
40 - 50	< 4,0	< 4,0	4,7	< 4,0	5,1

Tabelle 15: Zusammenstellung der pH-Werte im Boden der Scheibensplitterzone.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

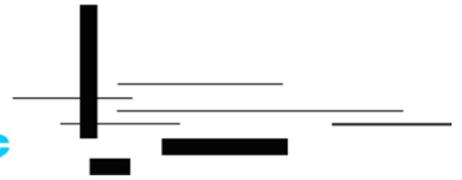
Zusammenfassend lässt sich für die Flächen der Schießsportanlage mit überwiegend torfigen Ablagerungen feststellen, dass aufgrund der dort in der Regel im sauren Bereich liegenden pH-Werte grundsätzlich von einer erheblichen Schwermetallmobilisierung auszugehen ist. In den Flächen Schützenstände, Zwischenmittelzone, Schießanlage „Laufender Keiler“, Schießanlage „Kurzwaffenstand“ (KWS) und Sanierungsbereich, wo oberflächennah überwiegend sandige Materialien vorhanden sind, ist hingegen von einer deutlich geringeren Mobilisierung von Schwermetallen auszugehen.

6.3.2.4 Carbonat

Carbonate fungieren als Puffersubstanzen, die in Böden den pH-Wert bei sauer wirkenden Einträgen (z. B. Huminsäuren) nahezu konstant halten. Infolge der Wasserlöslichkeit der Carbonate in sauren Medien werden diese über den Sickerwasserpfad „nach unten“ verlagert bzw. in das Grundwasser „ausgewaschen“. Diese Effekte tragen zur natürlichen Versauerung von Böden bei. Bei ausreichendem Carbonat im Boden würde also ein Abfallen der pH-Werte und somit eine deutliche Mobilisierung von Schwermetallen unterbunden.

Bei den aktuellen Erkundungen wurden insgesamt 325 Feststoffproben bezüglich ihres Carbonatgehaltes gemäß Scheibler untersucht:

Carbonat nach Scheibler (Gew.-%)	Einstufung	Anzahl der Proben	Anmerkung
0 – 2	carbonatfrei bis carbonatarm	303	
2 – 10	carbonathaltig	20	6 x Scheibensplitterzone (SSZ) 2 x Zwischenmittelzone (ZMS) 7 x Niederschlagsbereiche (NB, HSR, RF) 2 x Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage); 1 x Referenzbereich (REF) 1 x Sanierungsbereich (SB) 1 x Kurzwaffenstand (KWS)



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Carbonat nach Scheibler (Gew.-%)	Einstufung	Anzahl der Proben	Anmerkung
10 - 25	carbonatreich	1	SSZ 20/05-MP2 (10 – 20 cm unter GOK): 16 Gew.-%
25 - 50	sehr carbonatreich	1	SSZ 20/05-MP1 (0 -10 cm unter GOK): 27 Gew.-%
Probenanzahl insgesamt		325	

Tabelle 16: Zusammenfassende Einstufung der Untersuchungsergebnisse „Carbonat nach Scheibler“ im Boden.

Die im Bereich der Schießsportanlage untersuchten Feststoffproben sind den aktuellen Ergebnissen zufolge überwiegend carbonatfrei bis carbonatarm (< 2 Gew.-%; 303 von 325 Proben). Ausgenommen von den insgesamt 325 Proben sind 22 Proben, wovon 20 Proben als carbonathaltig (2 – 10 Gew.-%) sowie jeweils 1 Probe als carbonatreich (10 – 25 Gew.-%) und 1 Probe als sehr carbonatreich (25 – 50 Gew.-%) einzustufen sind.

Die carbonathaltigen Feststoffproben stammen im Wesentlichen aus der Scheibensplitterzone und den Niederschlagsbereichen (NB, HSR, RF und Flurstück 1/3). Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass die Carbonate in Zusammenhang mit den Tonscheibenscherben stehen könnten.

Diese Vermutung deckt sich auch mit den Ergebnissen der pH-Wert-Messungen im Bereich der Scheibensplitterzone (vgl. auch Kapitel 6.3.2.3), die eine Abnahme der pH-Werte erst mit zunehmender Tiefe belegen.

Für die Scheibensplitterzone lässt sich somit ableiten, dass die hier nachgewiesenen carbonathaltigen Materialien oberflächennah eine Pufferfunktion übernehmen, die die Mobilisierung von Schwermetallen einschränkt (vgl. hierzu insbesondere auch die Ergebnisse der Feststoff- und Eluatanalysen für Blei).

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

6.3.2.5 Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)

Im Zuge der Detailuntersuchungen wurde an insgesamt 335 Feststoffproben der Anteil an gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) bestimmt. Die dabei festgestellte TOC-Spannbreite von < 0,1 % bis 51,0 % und die daraus vereinfacht abgeleiteten Humusgehalte (TOC x 2 = Humusgehalt) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

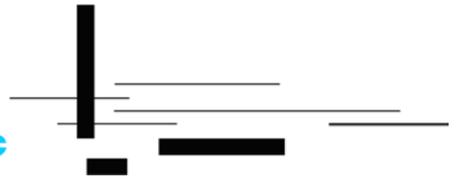
Material	Spannbreite TOC	Mittelwert TOC	Humusgehalte	Anzahl der Proben
Organische Auflage	32,0 – 45,0 %	38,0 %	ca. 64 % - ca. 90 %	3
Auffüllungen (Sande / Bauschutt)	0,2 % – 7,2 %	1,7 %	ca. 0,4 % - ca. 14 %	29
Sande	0,2 % - 12,0 %	2,5 %	ca. 0,4% - ca. 24%	63
Torfe	14,0 – 51,0 %	38,3 %	ca. 28,0 % - ca. 100 %	240
Probenanzahl insgesamt				335

Tabelle 17: Zusammenfassung der TOC-Anteile in den Feststoffproben.

Erwartungsgemäß wurden in den Torfen sehr hohe TOC-Anteile gemessen. Unter Berücksichtigung der in den Torfen in der Regel vorliegenden pH-Werten von < 4 (s. Kapitel 6.3.2.3) und der Carbonat-Armut (s. Kapitel 6.3.2.4) wird nochmals das in den Torfen gegebene Versauerungspotential durch $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ (Kohlensäure) und die daraus resultierende Voraussetzung für eine Mobilisierung von Schwermetallen bestätigt.

6.3.2.6 Sanierungsbereich

Neben den zuvor in den Kapiteln 6.3.2.1 bis 6.3.2.5 beschriebenen Ergebnissen der Feststoff- und Eluatanalysen von Proben aus den Bereichen der unsanierten Schießsportanlage erfolgten aktuell auch gezielte Erkundungen des 2006 / 2007 sanierten Bereiches (s. Kapitel 3.4).



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Bereits bei früheren Erkundungen [88] im sanierten Bereich wurden teils erhöhte Schadstoffgehalte hinsichtlich der eingebauten Materialien (Sande / Bauschutt) festgestellt. Auch wurden die Auffüllungen teilweise bis in ca. 1,5 m Tiefe angetroffen. Es war zu vermuten, dass im Zuge der Sanierung die Auffüllungsmaterialien zumindest in Teilbereichen mit mehr als 0,3 m Mächtigkeit im Mittel [52] eingebaut wurden.

Bei den aktuellen Erkundungen wurde der ca. 20.000 m² umfassende Sanierungsbereich in 12 Teilflächen mit jeweils ca. 1.700 m² unterteilt. In jeder Teilfläche erfolgte eine Handschachtung mittels Spaten und Spitzhacke in den Auffüllungsmaterialien (SB 20/01 bis SB 20/12; vgl. hierzu auch Tabelle 3 in Anlage 2). Soweit möglich wurden die Handschachtungen bis zur Oberkante der unterlagernden Torfe ausgeführt. Teilweise mussten die Schachtungen allerdings vorzeitig abgebrochen werden, entweder aufgrund massiver Bauschuttanteile (SB 20/02, SB 20/06, SB 20/07, SB 20/09, SB 20/11 und SB 10/12), Schichtenwasserzutritt (SB 20/04) oder einem Trennvlies (SB 20/08).

Den Erkenntnissen der aktuellen Handschachtungen zufolge ist von einer mittleren Mächtigkeit der eingebauten Auffüllungen (Sande / Bauschutt) von mindestens ca. 80 cm auszugehen. Daraus lässt sich ableiten, dass seinerzeit vermutlich ca. 16.000 m³ Auffüllungsmaterialien eingebaut wurden.

Die Materialien im Sanierungsbereich wurden beprobt und einer Analytik im Labor zugeführt (vgl. hierzu Tabelle 3 in Anlage 2):

- 13 Proben aus den Auffüllungsmaterialien gemäß Parameterumfang nach LAGA TR Boden /5/
- 13 Proben aus den oberflächennahen Auffüllungen und unterlagernden Torfen auf Blei, Arsen, Antimon, Cadmium, Chrom, Kupfer und Nickel (Feststoff / Eluat)

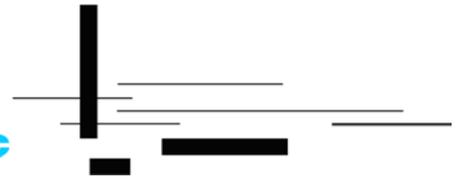
Den Ergebnissen der bisherigen chemischen Analysen wurden in folgenden vier Proben vergleichsweise geringfügige Überschreitungen des BBodSchV-Prüfwertes für Park- und Freizeitanlagen von 1 mg/kg für Benzo(a)pyren bzw. von 1.000 mg/kg für Blei /2/, /14/, /15/ festgestellt:

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

SB 20/02-MP2 (Auffüllung; Bauschutt mit sandigen Anteilen; ca. 20 – 55 cm unter GOK):	2,3 mg/kg Benzo(a)pyren 43 mg/kg Summe PAK
SB 20/05-MP1 (Auffüllung; Sande mit geringen humosen und Bau- schuttanteilen; ca. 0– 5 cm unter GOK):	1.030 mg/kg Blei
SB 20/06-MP2 (Auffüllung; Bauschutt mit sandigen Anteilen; ca. 15 – 60 cm unter GOK):	1,1 mg/kg Benzo(a)pyren 11 mg/kg Summe PAK
MP03 (SB 20/03, SB 20/04 und SB 20/10; Auffüllung; Sande mit variierenden Bauschuttanteilen; ca. 0 – 150 cm unter GOK):	1,05 mg/kg Benzo(a)pyren 18,3 mg/KG Summe PAK

In 6 von 30 aus dem sanierten Bereich entnommenen und im Eluat untersuchten Feststoffproben wurden Konzentrationen an Schwermetallen festgestellt, die im Vergleich mit dem jeweils zugehörigen BBodSchV-Prüfwert für den Pfad Boden – Grundwasser /2/ (Blei: 0,025 mg/L; Arsen und Antimon: jeweils 0,01 mg/L; Cadmium: 0,005 mg/L) als erhöht zu bewerten sind:

SB 20/01-MP3 (Torf; ca. 60 – 80 cm unter GOK):	0,027 mg/L Blei 0,067 mg/L Arsen
SB 20/03-MP2 (Torf; ca. 80 – 100 cm unter GOK):	0,019 mg/L Arsen
SB 20/05-MP1 (Sand; ca. 0 – 5 cm unter GOK):	1,49 mg/L Blei
SB 20/10-MP2 (Auffüllung; Sand mit vielen Anteilen an Torf; ca. 50 – 75 cm unter GOK):	0,141 mg/L Blei 0,287 mg/L Arsen 0,022 mg/L Antimon



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

MP01 (SB 20/01 und SB 20/07; 0,0064 mg/L Cadmium
Auffüllung; Sande mit variierenden Bauschuttanteilen;
ca. 0 – 50 cm unter GOK):

MP02 (SB 20/02 und SB 20/08; 0,0053 mg/L Cadmium
Auffüllung; Sande mit variierenden Bauschuttanteilen;
ca. 0 – 130 cm unter GOK):

Das teilweise Auftreten von Blei, Arsen und Antimon in den oberflächennahen Auffüllungen ist einerseits im Zusammenhang mit Fehlstellen im PE-Monofilgewebe zu stellen, wodurch Bleischrot stellenweise unter das Gewebe gelangt. Andererseits sind aber auch niederschlagsbedingte Lösungsprozesse des Bleischrots für eine Verlagerung von Blei, Arsen und Antimon in die Auffüllungen ursächlich.

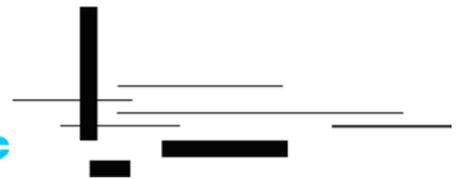
Des Weiteren wurden die Analysenergebnisse der Auffüllungsmaterialien zu Vergleichszwecken den Zuordnungswerten der LAGA TR Boden /5/ gegenübergestellt. In Niedersachsen ist gemäß /13/ und /14/ bei Gemischen im Aushubfall die LAGA TR Boden /5/ bei der Verwertung von mineralischen Abfällen heranzuziehen.

Demnach sind die im sanierten Bereich eingebauten Materialien größtenteils als > Z 1.1 einzustufen (vgl. hierzu Tabelle 3 in Anlage 2).

6.3.3 Wasser

6.3.3.1 Wasser aus den Torfen

Insgesamt wurden neun Wasserproben aus den oberen Abschnitten der Torfe (Entnahmetiefe: jeweils ca. 1 m) entnommen und einer hydrochemischen Analytik im Labor auf die Parameter Blei, Arsen, Antimon, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zugeführt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. auch Tabelle 3 in Anlage 2):



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

GFS-Wert [2016] /7/				0,0012	0,0032	0,0050	0,0003	0,0034	0,0054	0,007	0,2
TrinkwV-Grenzwert [2016] /9/				0,01	0,01	0,0050	0,003	0,005	2,00	0,02	
GrwV-Schwellenwert [2010] /10/				0,01	0,01		0,0005				
extrem signifikante Belastungen				0,5	0,5	0,5	0,5	0,50	5,00	0,50	10,0
Probe	Bereich	Tiefe OK [cm]	Tiefe UK [cm]	Blei (mg/L)	Arsen (mg/L)	Antimon (mg/L)	Cadmium (mg/L)	Chrom (mg/L)	Kupfer (mg/L)	Nickel (mg/L)	PAK Summe (µg/L)
NB 20/07	NB	0	100	875	1,41	0,142	0,0077	0,003	0,055	0,13	0,723
NB 20/10	NB	0	100	817	1,52	0,15	0,0063	0,004	0,056	0,061	1,04
NB 20/13	NB	0	100	34,7	0,111	0,001	0,0024	0,004	0,005	0,013	0,293
NB 20/15	NB	0	100	77,6	0,117	0,021	0,0015	0,004	0,008	0,039	3,81
NB 20/16	NB	15	115	2,69	0,074	<0,001	0,0029	0,046	0,006	0,054	13,6
RF 20/07	F 1/3	0	100	0,808	0,007	<0,001	0,0085	0,008	0,031	0,01	
RF 20/11	F 1/3	0	100	1,12	0,018	<0,001	0,0052	0,003	0,019	0,014	
SSZ 20/01	SSZ	0	100	49,5	0,3	0,008	0,0091	0,029	0,005	0,054	11,5
SSZ 20/05	SSZ	0	100	25,2	0,158	0,006	0,0036	0,014	<0,005	0,046	323,0

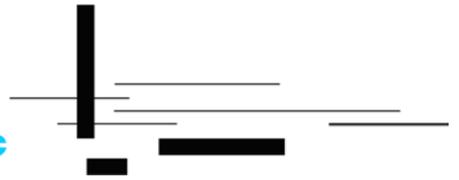
NB: Niederschlagsbereich; F 1/3: Flurstück 1/3; SSZ: Scheibensplitterzone

Tabelle 18: Zusammenstellung der Analysenergebnisse „Schwermetalle“ und Summe PAK für die Wasserproben aus den Torfen.

In der voranstehenden Tabelle 18, aber auch in den Tabellen 2 und 3 der Anlage 2, wurden zusätzlich zu den jeweiligen GFS-Werten [2016] /7/, TrinkwV-Grenzwerten [2016] /9/ bzw. GrwV-Schwellenwerten [2010] /10/ zur besseren Visualisierung / Verdeutlichung extrem signifikanter Belastungen jeweils parameterbezogen plakativ zusätzliche Werte gutachterlicherseits definiert, die jeweils um ein Vielfaches über den zur eigentlichen Beurteilung herangezogenen Werten /7/, /9/, /10/ liegen, aber nicht auf einer rechtlichen Grundlage basieren.

In sämtlichen Wasserproben aus den Torfen wurden extrem signifikante Belastungen durch Blei (bis 875 mg/L; NB 20/07) festgestellt, die um ein Vielfaches sowohl den zugehörigen Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA /7/ von 0,0012 mg/L sowie auch den Grenzwert der TrinkwV /9/ bzw. den Schwellenwert der GrwV /10/ von jeweils 0,01 mg/L überschreiten.

Ebenfalls überschreiten die Konzentrationen an Arsen, Cadmium und Nickel in sämtlichen untersuchten Torfwasserproben die jeweils zugehörigen LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerte (Arsen: 0,0032 mg/L; Cadmium: 0,0003 mg/L; Nickel: 0,007 mg/L) deutlich.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Dabei liegen die Konzentrationen an Arsen (ausgenommen Probe RF 20/07) und Cadmium oberhalb der GrwV-Schwellenwerte /10/ (Arsen: 0,01 mg/L; Cadmium: 0,0005 mg/L) und auch die Grenzwerte der TrinkwV /9/ werden für Arsen, Cadmium sowie Nickel überwiegend überschritten.

Die Konzentrationen an Chrom überschreiten in den untersuchten Torfwasserproben größtenteils den GFS-Wert /7/ von 0,0034 mg/L und in 4 von 9 Proben den TrinkwV-Grenzwert /9/ von 0,005 mg/L.

Für Antimon und Kupfer wurden in etwa der Hälfte der untersuchten Torfwasserproben Konzentrationen über den jeweils zugehörigen LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwert (Antimon: 0,005 mg/L; Kupfer: 0,0054 mg/L) /7/ nachgewiesen.

Die im Torfwasser gemessenen PAK-Summenkonzentrationen variieren zwischen 0,293 µg/L (NB 20/13) und 323 µg/L (SSZ 20/05). In der Regel überschreiten die im Torfwasser auftretenden Summenkonzentrationen an PAK den LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwert /7/ von 0,2 µg/L bzw. den TrinkwV-Grenzwert /9/ von 0,1 µg/L deutlich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Wasser der Torfe in der Regel signifikante Belastungen durch Schwermetalle, insbesondere durch Blei, Arsen und Cadmium sowie auch PAK vorliegen.

6.3.3.2 Wasser aus Auffüllungen im Sanierungsbereich

Bei den im sanierten Bereich durchgeführten Handschachtungen (s. Kapitel 5.1.2.5 und 6.3.2.6) wurde einmalig das anfallende Stauwasser beprobt (SB 20/04-W1) und im Labor auf die Verdachtsparameter Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) analysiert (vgl. hierzu auch Tabelle 3 in Anlage 2 und die Abbilder 4, 7, 10 und 11 in Anlage 1).

Bei den Schwermetallen wurden mit 0,272 mg/L Blei, 0,007 mg/L Arsen, 0,008 mg/L Antimon, 0,033 mg/L Kupfer und 0,013 mg/L Nickel jeweils Konzentrationen oberhalb des jeweiligen LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwertes /7/ nachgewiesen.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Ebenfalls wurden bei den PAK-Einzelstoffen Fluoranthren mit 0,38 µg/L und Benzo(a)-pyren 0,088 µg/L sowie bei der Summe PAK mit 1,35 µg/L Überschreitungen der jeweiligen LAWA-Geringfügigkeitsschwelle /7/ festgestellt.

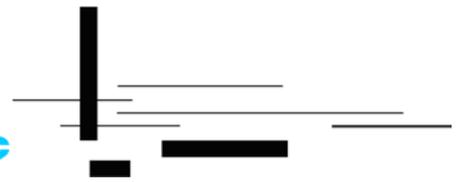
Die Konzentrationen an Blei in der Probe SB 20/04-W1 liegen des Weiteren über dem GrwV-Schwellenwert /10/ bzw. dem TrinkwV-Grenzwert /9/ von jeweils 0,1 mg/L. Ebenso überschreitet die PAK-Summenkonzentration den in der TrinkwV /9/ genannten Grenzwert von 0,1 mg/L.

6.3.3.3 Grundwasser

Aktuell wurden insgesamt 25 Grundwasserproben (6 Proben aus bestehenden Grundwassermessstellen; 19 Proben aus den die Torfe unterlagernden grundwasserführenden Sanden im Direct-Push-Verfahren) entnommen und auf Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht.

Die Ergebnisse im Einzelnen sind in der Tabelle 3 der Anlage 2 zusammengestellt und nachfolgend zusammengefasst (vgl. hierzu auch die Abbilder 4 und 7 in Anlage 1):

Parameter	Probenanzahl	Probenanzahl ≥ GFS-Wert /7/	Probenanzahl ≥ GrwV-Schwellenwert /10/	Probenanzahl ≥ TrinkwV-Grenzwert /9/	Proben ≥ GrwV-Schwellenwert/10/ bzw. ≥ TrinkwV-Grenzwert /9/
Blei	25	19 x ≥ 0,0012 [ca. 76 %]	4 x ≥ 0,01 [ca. 16 %]	4 x ≥ 0,01 [ca. 16 %]	DP 20/16: 0,018 mg/L GMS-1: 0,129 mg/L P-3: 0,227 mg/L P-4: 1,07 mg/L
Arsen	25	11 x ≥ 0,0032 [ca. 44 %]	3 x ≥ 0,01 [ca. 12 %]	3 x ≥ 0,01 [ca. 12 %]	DP 20/16: 0,014 mg/L P-3: 0,013 mg/L P-4: 0,010 mg/L
Chrom	25	4 x ≥ 0,0034 [ca. 16 %]	-	4 x ≥ 0,005 [ca. 16 %]	DP 20/03: 0,005 mg/L DP 20/12: 0,014 mg/L P-3: 0,007 mg/L P-4: 0,006 mg/L
Kupfer	25	1 x ≥ 0,0054 [ca. 4 %]	-	0	
Nickel	25	2 x ≥ 0,007 [ca. 8 %]	-	0	



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Parameter	Probenanzahl	Probenanzahl \geq GFS-Wert /7/	Probenanzahl \geq GrwV-Schwellenwert /10/	Probenanzahl \geq TrinkwV-Grenzwert /9/	Proben \geq GrwV-Schwellenwert/10/ bzw. \geq TrinkwV-Grenzwert /9/
Summe PAK	25	3 x \geq 0,2 [ca. 12 %]	-	7 x \geq 0,1 [ca. 28 %]	DP 20/15: 0,260 $\mu\text{g/L}$ GMS-2: 0,690 $\mu\text{g/L}$ P-3: 1,120 $\mu\text{g/L}$

Tabelle 19: Zusammenfassung der Analysenergebnisse „Grundwasser“.

Den aktuellen Ergebnissen zufolge sind erhöhte Konzentrationen im Grundwasser insbesondere durch Blei bis 1,07 mg/L (P-4) und Arsen bis 0,014 mg/L (DP 20/16) sowie untergeordnet durch Chrom bis 0,014 mg/L (DP 20/12) und Summe PAK bis 1,12 $\mu\text{g/L}$ gegeben.

Außerdem wurden insgesamt 4 Grundwasserproben (DP 20/02, DP 20/11, DP 20/12 und GMS-1) auf die Verdachtsparameter Glyphosat und AMPA (Aminomethyl-Phosphonsäure; Hauptabbauprodukt von Glyphosat) untersucht. Sämtliche Analysen auf Glyphosat und AMPA ergaben Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze von jeweils 0,01 $\mu\text{g/L}$. Hinweise auf die eventuelle Verwendung von Pflanzenschutzmitteln im Bereich der Schießanlagen ergeben sich daraus nicht.

6.3.3.4 Dränagewasser

Das Dränagewasser aus der Schießsportanlage wurde über drei Entnahmestellen (3 Entwässerungsgräben mit Einlauf jeweils in den Landwehrgraben; GW 20/02, GW 20/03 und W 6/1) beprobt (s. auch Tabelle 3 in Anlage 2 sowie die Abbilder 4 und 7 in Anlage 1).

Die entnommenen Wasserproben wurden auf Schwermetalle und PAK untersucht und die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Lage	Probennahmestelle	Relevante Parameter
Entwässerungsgraben zwischen Skeet- / Trapautomat und Skeetanlage	GW 20/02	<u>0,006 mg/L Blei</u> 0,003 mg/L Arsen
Entwässerungsgraben zwischen Trapautomat und Schützenhaus / Restaurant	GW 20/03	<u>0,003 mg/L Blei</u> 0,0012 mg/L Arsen
Entwässerungsgraben zwischen Trapautomat und Skeetanlage	W 6/1	<u>0,006 mg/L Blei</u> <u>0,004 mg/L Arsen</u> 0,113 µg/L Summe PAK

≥ OGewV-JD-UQN /8/ (Blei: 0,0012 mg/L; Cadmium: 0,00008 mg/L; Nickel: 0,004 mg/L; Naphthalin: 2 µg/L)

≥ OGewV-ZHK-UQN /8/ (Blei: 0,014 mg/L; Cadmium: 0,00045 mg/L; Nickel: 0,034 mg/L; Naphthalin: 130 µg/L)

≥ GFS-Wert /7/ (Blei: 0,0012 mg/L; Arsen: 0,0032 mg/L; Antimon: 0,005 mg/L; Cadmium: 0,0003 mg/L; Chrom: 0,0034 mg/L; Kupfer: 0,0054 mg/L; Nickel: 0,007 mg/L; Naphthalin: 2 µg/L; Fluoranthen: 0,1 µg/L; Summe PAK: 0,2 µg/L)

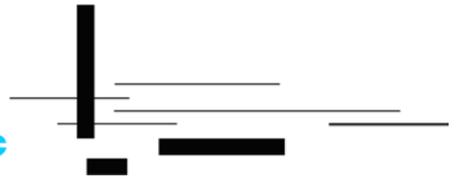
Tabelle 20: Zusammenfassung der Analysenergebnisse „Dränagewasser“.

In allen drei untersuchten Entwässerungsgräben wurden in den entnommenen Wasserproben Konzentrationen an Blei nachgewiesen, die den OGeV-JD-UQN /8/ bzw. GFS-Wert /7/ für Blei von jeweils 0,0012 mg/L überschreiten. Einmalig (W 6/1) wurde auch eine Überschreitung des GFS-Wertes /7/ für Arsen von 0,032 mg/L festgestellt.

6.3.3.5 Wasser im Sicherungsbauwerk

Die Beprobung des Stauwassers im Sicherungsbauwerk erfolgte über sechs vorhandene Pegel (P 1 bis P 6; s. auch Tabelle 3 in Anlage 2 und Abbilder 4, 7, 10 und 11 in Anlage 1). Erwartungsgemäß wurden insbesondere signifikant hohe Konzentrationen an Blei und Arsen im Stauwasser, der 2006 / 2007 aus einem Teilbereich der Schießsportanlage ausgebauten und anschließend in das Bauwerk eingelagerten bleischrot-haltigen Böden (im Wesentlichen Torfe) gemessen und zu Vergleichszwecken den LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerten /7/ gegenüber gestellt:

Parameter	Konzentration	GFS-Wert /7/
Blei	1,3 mg/L bis 4,5 mg/L	0,0012
Arsen	1,96 mg/L bis 4,76 mg/L	0,0032
Antimon	0,047 mg/L bis 0,108 mg/L	0,0050
Cadmium	0,0004 mg/L bis 0,0006 mg/L; einmalig < 0,0001 mg/L	0,0003
Chrom	< 0,001 mg/L bis 0,001 mg/L; einmalig 0,005 mg/L	0,0034



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Parameter	Konzentration	GFS-Wert /7/
Kupfer	0,007 mg/L und 0,021 mg/L; viermalig <0,005 mg/L	0,0054
Nickel	0,045 mg/L bis 0,220 mg/L	0,007
Summe PAK	0,152 µg/L, 0,166 µg/L und 0,176 µg/L; zweimalig nicht bestimmbar; einmalig 0,059 µg/L	0,2 µg/L

≥ LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwert /7/

Tabelle 21: Zusammenfassung der aktuellen Analysenergebnisse „Sicherungsbauwerk“.

Insgesamt ist das Stauwasser im Sicherungsbauwerk, wie bereits aus früheren Untersuchungen bekannt, weiterhin als stark belastet (insbesondere durch Blei und Arsen) zu bewerten.

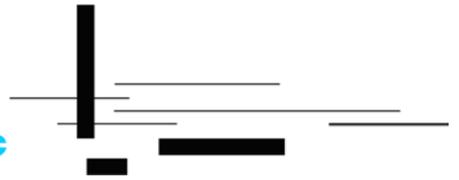
6.3.3.6 Oberflächengewässer

Aus den Oberflächengewässern (Gräben und Teich) wurden aktuell sieben Wasserproben entnommen (GW-1 bis GW-4, W 5/2, GW 20/01 und Teich) und anschließend im Labor auf Schwermetalle und PAK untersucht.

Eine ausgewählte Probe wurde zusätzlich auf die AMPA und Glyphosat (Pflanzenschutzmittel) analysiert (vgl. hierzu auch Tabelle 3 in Anlage 2 und die Abbilder 4, 7, 10 und 11 in Anlage 1).

Die Ergebnisse sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst:

Lage	Probennahmestelle	Relevante Parameter
Landwehrgraben, südwestlich Skeet- und Trapanlage	GW 20/01	<u>0,003 mg/L Blei</u> 0,003 mg/L Arsen
Graben ohne Namen; unmittelbar südöstlich der Schießsportanlage	GW-1	<u>0,485 mg/L Blei</u> <u>0,008 mg/L Arsen</u> <u>0,0022 mg/L Cadmium</u> <u>0,004 mg/L Chrom</u> <u>0,01 mg/L Kupfer</u> <u>0,006 mg/L Nickel</u> <u>0,23 mg/L Fluoranthen</u> <u>2,26 mg/L Summe PAK</u>



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

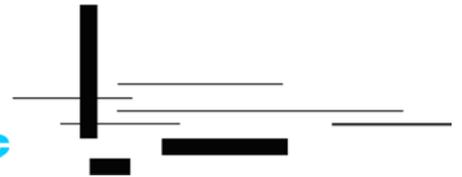
Lage	Probennahmestelle	Relevante Parameter
Landwehrgraben; unmittelbar südwestlich der Schießsportanlage	GW-2	0,095 mg/L Blei <u>0,016 mg/L Arsen</u> <i>0,0001 mg/L Cadmium</i> < 0,03 µg/L AMPA < 0,01 µg/L Glyphosat
Landwehrgraben / Viehlander Graben; ca. 150 m westlich der Schießsportanlage	GW-3	< 0,001 mg/L Blei 0,002 mg/L Arsen
Viehlander Graben; ca. 550 m westlich der Schießsportanlage)	GW-4	0,35 mg/L Blei <u>0,015 mg/L Arsen</u> 0,0251 mg/L Cadmium <u>0,011 mg/L Chrom</u> <u>0,012 mg/L Kupfer</u> 0,052 mg/L Nickel
Teich	Teich	<u>0,005 mg/L Blei</u> <u>0,02 mg/L Arsen</u> <u>0,005 mg/L Antimon</u>
Landwehrgraben, westliche Seite Zufahrt Schützenhaus und Restaurant	W 5/2	<u>0,004 mg/L Blei</u> 0,002 mg/L Arsen

≥ OGewV-JD-UQN /8/ (Blei: 0,0012 mg/L; Cadmium: 0,00008 mg/L; Nickel: 0,004 mg/L; Naphthalin: 2 µg/L)
 ≥ **OGewV-ZHK-UQN /8/** (Blei: 0,014 mg/L; Cadmium: 0,00045 mg/L; Nickel: 0,034 mg/L; Naphthalin: 130 µg/L)
 ≥ GFS-Wert /7/ (Blei: 0,0012 mg/L; Arsen: 0,0032 mg/L; Antimon: 0,005 mg/L; Cadmium: 0,0003 mg/L; Chrom: 0,0034 mg/L; Kupfer: 0,0054 mg/L; Nickel: 0,007 mg/L; Naphthalin: 2 µg/L; Fluoranthren: 0,1 µg/L; Summe PAK: 0,2 µg/L)

Tabelle 22: Zusammenfassung der aktuellen Analysenergebnisse „Oberflächengewässer“.

In den Oberflächengewässern wurden aktuell insbesondere Blei, daneben Arsen und Cadmium, untergeordnet Chrom, Kupfer, Nickel, Antimon und PAK in teilweise erhöhten Konzentrationen bestimmt. Die Messergebnisse überschreiten dabei teilweise die jeweilige OGewV-JD-UQN bzw. OGewV-ZHK-UQN /8/ und den jeweiligen GFS-Wert /7/.

Die aktuell (6. August 2020) in der Messstelle GW-4 (Viehlander Graben; ca. 550 m westlich der Schießsportanlage) im Oberflächengewässer gemessenen Konzentration von 0,35 mg/L Blei ist im Vergleich zu den Ergebnissen aus dem langjährigen, nachfolgend noch beschriebenen Monitoring vergleichsweise extrem hoch. Die Ursache hierfür ist nicht bekannt (möglicherweise handelt es sich um einen Messfehler).

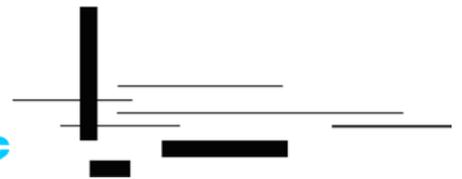


**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Pflanzenschutzmittel (AMPA / Glyphosat) wurden im Oberflächengewässer aktuell in der stichprobenartig durchgeführten Analytik der Probe GW-2 nicht nachgewiesen.

Die Oberflächengewässer werden an den Messstellen GW-1 bis GW-4 seit 2000 durch ein jährliches Monitoring hinsichtlich der Parameter Blei, Arsen und Antimon überwacht [100], dessen Ergebnisse nachfolgend tabellarisch zusammengefasst sind:

	Blei	Arsen	Antimon
GW-1 (Graben ohne Namen; unmittelbar südöstlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum / Anzahl der Messungen	22. November 2000 – 6. August 2020 / 45		
Min	<0,001	<0,001	<0,001
Max	0,672	<u>0,155</u>	<u>0,035</u>
Mittel	0,154	<u>0,019</u>	0,001
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	42	*	*
Anzahl > OGewV-ZHK-UQN /8/	34	*	*
Anzahl > GFS /7/	42	29	42
GW-2 (Landwehrgraben; unmittelbar südwestlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum / Anzahl der Messungen	5. Oktober 2000 – 6. August 2020 / 46		
Min [mg/L]	<0,001	<0,001	<0,001
Max [mg/L]	0,455 (einmalig: 6,300)	<u>0,047</u>	<u>0,025</u>
Mittel [mg/L]	0,070 (ohne einmalig 6,300)	<u>0,009</u>	<u>0,005</u>
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	42	*	*
Anzahl > OGewV-ZHK-UQN /8/	38	*	*
Anzahl > GFS /7/	42	26	20
GW-3 (Landwehrgraben / Viehlander Graben; ca. 150 m westlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum / Anzahl der Messungen	23. November 2002 – 6. August 2020 / 32		
Min [mg/L]	<0,001	<0,001	<0,001
Max [mg/L]	0,180	<u>0,017</u>	<u>0,013</u>
Mittel [mg/L]	0,026	0,002	0,002
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	25	*	*
Anzahl > OGewV-ZHK-UQN /8/	18	*	*
Anzahl > GFS /7/	25	6	8



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

	Blei	Arsen	Antimon
GW-4 (Viehlander Graben; ca. 550 m westlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum / Anzahl der Messungen	23. November 2002 – 6. August 2020 / 32		
Min [mg/L]	<0,001	<0,001	<0,001
Max [mg/L]	0,077 (einmalig: 0,350)	<u>0,015</u>	<u>0,010</u>
Mittel [mg/L]	0,017 (ohne einmalig 6,300)	0,001	0,001
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	27	*	*
Anzahl > OGewV-ZHK-UQN /8/	13	*	*
Anzahl > GFS /7/	27	4	2

* kein Wert in OGewV festgelegt.

≥ OGewV-JD-UQN /8/ (Blei: 0,0012 mg/L); ≥ **OGewV-ZHK-UQN /8/** (Blei: 0,014 mg/L)

≥ GFS-Wert /7/ (Blei: 0,0012 mg/L; Arsen: 0,0032 mg/L; Antimon: 0,005 mg/L)

Tabelle 23: Zusammenfassung sämtlicher Analyseergebnisse „Oberflächengewässer“ (GW-1 bis GW-4).

Demnach bestätigen sich auch auf Basis der über einen Zeitraum von nahezu 20 Jahren für vier Oberflächengewässermessstellen (GW-1 bis GW-4) vorliegenden Ergebnisse, dass insbesondere Blei in maßgeblichen Konzentrationen (in der Regel > OGewV-JD-UQN /8/ und > GFS-Wert /7/ sowie häufig > OGewV-ZHK-UQN /8/) aus dem Bereich der Schießsportanlage hinaus über die Vorflut verfrachtet wird.

Hinsichtlich der Messstelle GW-1 ist anzumerken ist, dass das dortige Oberflächenwasser nicht in direktem Kontakt mit dem Landwehrgraben / Viehlander Graben, sondern durch den Damm der Zuwegung der Schießsportanlage getrennt ist (eine durchdringende Verrohrung ist nicht zu erkennen). Es ist zu vermuten, dass die in der Messstelle GW-1 festgestellten Belastungen ebenfalls in Zusammenhang mit der nahegelegenen Schießsportanlage stehen (möglicherweise durch Schießbetrieb in der Vergangenheit auf dem mittlerweile durch Waldbewuchs gekennzeichneten Flurstück 1/3).

Für das Oberflächengewässer Landwehrgraben / Viehlander Graben lässt sich anhand der Messstellen GW-2 bis GW-4 einhergehend mit dessen grundsätzlichen Fließrichtung und mit zunehmender Entfernung von der Schießsportanlage eine Abnahme der Schadstoffkonzentrationen feststellen. Diese Abnahme verdeutlichen insbesondere die Mittelwerte für den Parameter Blei: 0,07 mg/L bei GW-2, 0,026 mg/L bei GW-3 und 0,017 mg/L bei GW-4.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Maßgebliche Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer lassen sich über den langjährigen Beobachtungszeitraum, von den üblichen Schwankungsbreiten abgesehen, auf Basis der Ergebnisse der vier Beobachtungsstellen GW-1 bis GW-4 nicht erkennen.

Hinsichtlich der im Zuge der letzten Beprobungskampagne (6. August 2020) in der Messstelle GW-4 extrem hohen Konzentration an Blei empfiehlt sich zunächst deren weitere Entwicklung im Zuge der nächsten Beprobungen abzuwarten.

6.3.4 *Sedimente*

Aus den Sohlen der Oberflächengewässer wurden aktuell insgesamt elf Sedimentproben (GS-1 bis GS-4, W6/1, W 5/2, GS 20/01 bis GS 20/04 und Teich) mittels Schaufel / Spaten entnommen und laboranalytisch jeweils auf Blei, Arsen, Antimon, Kupfer, Nickel (alle Feststoff / Eluat) und PAK (Summe der 16 EPA; nur im Feststoff) untersucht.

Des Weiteren wurden auch fünf Proben aus den seitlich der Gräben gelagerten Grobstoffen der Gewässerunterhaltung entnommen und auf den vorgenannten Parameterumfang analysiert.

Die Bewertung der Proben erfolgte unter Berücksichtigung folgender Gegebenheiten:

Seitens der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wird bei den Betrachtungen zu den Gehalten an Schwermetallen in Sedimenten die Fraktion kleiner als 20 µm herangezogen /11/. In /11/ heißt es aber auch, dass sich in Fließgewässern die Analysergebnisse der Sedimentfeinfraktion (<20 µm) nicht wesentlich von denen der Gesamtfraktion (< 2 mm) unterscheiden.

In der OGewV /8/ werden hingegen die Umweltqualitätsnormen bei Metallen auf die Fraktion kleiner als 63 µm bezogen. Des Weiteren werden Jahresdurchschnitts-UQN (JD-UQN) nur für Arsen, Chrom, Kupfer und Zink angegeben.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Die Ausführungen in /8/ und /11/ beziehen sich allerdings im Wesentlichen auf mineralische Sedimente. Bei den im Bereich der Schießsportanlage in den Oberflächengewässern angetroffenen Sedimenten handelt es sich aber um sehr organische Ablagerungen (Blätter und Torfe) mit geringen sandigen Beimengungen, die hinsichtlich der Schwermetalle ein vergleichsweise hohes Rückhaltevermögen aufweisen.

Zur besseren Vergleichbarkeit mit den in Kapitel beschriebenen Ergebnissen der Bodenanalysen (s. Kapitel 6.3.2.1) und auch den in den vorangegangenen Jahren erfolgten Sedimentuntersuchungen, z. B. [87] und [90], wurden die aktuell entnommenen Sedimentproben ebenfalls in der Fraktion kleiner 2 mm analysiert.

Vor diesem Hintergrund sind die zur Beurteilung der Schwermetallgehalte herangezogenen Werte der OGewV /8/, LAWA /11/ und BBodSchV /2/ nur vergleichend bzw. orientierend zu verstehen.

Die Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen (Feststoff / Eluat) im Einzelnen sind aus Tabelle 2 in Anlage 2 ersichtlich und können wie folgt zusammengefasst werden (vgl. hierzu auch die Abbilder 2, 3, 5, 6, 8 und 9 in Anlage 1):

Probe	Entnahmestelle	Blei		Arsen		Antimon	
		(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)
Sedimente Oberflächengewässer							
GS 20/01	Landwehrgraben, südwestlich Skeet- und Trapanlage	72	0,009	5	0,058	< 2	0,008
GS 20/02	Entwässerungsgraben zwischen Skeet- / Trapautomat und Skeetanlage	<u>930</u>	0,071	34	0,630	8	0,009
GS 20/03	Entwässerungsgraben zwischen Trapautomat und Schützenhaus / Restaurant	<u>1.290</u>	0,104	26	0,109	22	0,079
GS 20/04	Entwässerungsgraben östlich südliches Ende Sicherungsbauwerk	<u>972</u>	0,044	58	0,298	15	0,027
GS-1	Graben ohne Namen; unmittelbar südöstlich der Schießsportanlage	43	< 0,007	6	0,007	< 2	0,003
GS-2	Landwehrgraben; unmittelbar südwestlich der Schießsportanlage	<u>425</u>	0,011	30	0,062	5	0,005
GS-3	Viehlander Graben / Landwehrgraben; ca. 150 m westlich der Schießsportanlage	9	< 0,007	< 1	0,009	< 2	0,001
GS-4	Viehlander Graben; ca. 550 m westlich der Schießsportanlage	<u>151</u>	0,011	7	0,014	< 2	0,003
Teich	Teich	<u>196</u>	0,014	12	0,263	3	0,004

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Probe	Entnahmestelle	Blei		Arsen		Antimon	
		(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)
W 5/2	Landwehrgraben, westliche Seite Zufahrt Schützenhaus und Restaurant	<u>162</u>	0,012	10	0,062	< 2	0,008
W 6/1	Entwässerungsgraben zwischen Trapautomat und Skeetanlage	5.930	0,095	74	0,106	101	0,087
Aushub Gewässerunterhaltung Oberflächengewässer							
GS 20/05	Entwässerungsgraben zwischen Trapautomat und Skeetanlage	191	< 0,007	3	0,003	3	0,002
GS 20/06	Entwässerungsgraben zwischen Skeet- / Trapautomat und Skeetanlage	298	0,044	3	0,016	4	0,001
GS 20/07	Landwehrgraben	1.310	0,043	62	0,084	10	0,003
GS 20/08	Viehlander Graben / Landwehrgraben	223	0,049	11	0,091	< 2	0,003
GS 20/09	Viehlander Graben	125	0,111	8	0,024	< 2	0,004

Für Sedimente Oberflächengewässer:

≥ LAWA-Zielwert für Blei (100 mg/kg) /7/

≥ **OGewV-JD-UQN /8/ für Arsen** (40 mg/kg) /8/ und

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Blei** (1.000 mg/kg)/2/

> **Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Antimon im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV** (250 mg/kg) /19/

> *BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser* (Blei: 0,025 mg/L; Arsen: 0,01 mg/L; Antimon: 0,01 mg/L) /2/

Für Aushub Gewässerunterhaltung Oberflächengewässer:

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen** (1.000 mg/kg Blei; 125 mg/kg Arsen) /2/

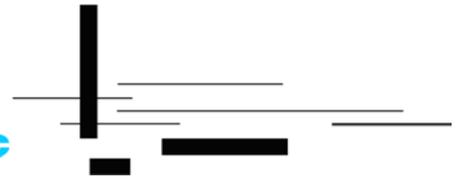
> **Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Antimon im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV** (250 mg/kg) /19/

> *BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser* (Blei: 0,025 mg/L; Arsen: 0,01 mg/L; Antimon: 0,01 mg/L) /2/

Tabelle 24: Zusammenstellung der Analysenergebnisse „Sedimente“ (Feststoff / Eluat).

Des Weiteren werden die Sedimente an den Entnahmestellen SW-1 bis SW-4 (analog zu den Oberflächengewässerentnahmestellen GW-1 bis GW-4; s. Kapitel 6.3.3.6) seit 2000 durch ein Monitoring hinsichtlich der Parameter Blei, Arsen und Antimon überwacht [100].

Die Ergebnisse der langjährigen Messungen „Sedimente“ lassen sich wie folgt zusammenfassen:



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

	Blei	Arsen	Antimon
GW-1 (Graben ohne Namen; unmittelbar südöstlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum	22. November 2000 – 6. August 2020		
Anzahl der Messungen	39	27	23
Spannbreite	10 – 2.400 mg/kg	0 - 25 mg/kg	0 – 31 mg/kg
Mittel	<u>331 mg/kg</u>	5 mg/kg	2 mg/kg
Anzahl > LAWA-Zielwert /11/	29	*	*
Anzahl > BBodSchV-Prüfwert /2/ ¹⁾	1	0	0
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	0	0	*
GW-2 (Landwehrgraben; unmittelbar südwestlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum	15. Oktober 2000 – 8. Juli 2020		
Anzahl der Messungen	39	27	22
Spannbreite	12 – 2.500 mg/kg	0 - 92 mg/kg	0 – 21 mg/kg
Mittel	<u>553 mg/kg</u>	23 mg/kg	4 mg/kg
Anzahl > LAWA-Zielwert /11/	36	*	*
Anzahl > BBodSchV-Prüfwert /2/ ¹⁾	6	0	0
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	*	5	*
GW-3 (Landwehrgraben / Viehlander Graben; ca. 150 m westlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum	15. Oktober 2000 – 8. Juli 2020		
Anzahl der Messungen	31	18	17
Spannbreite	0 – 1.400 mg/kg	0 - 62 mg/kg	0 – 15 mg/kg
Mittel	20 mg/kg	10 mg/kg	2 mg/kg
Anzahl > LAWA-Zielwert /11/	12	*	*
Anzahl > BBodSchV-Prüfwert /2/ ¹⁾	2	0	0
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	*	2	*
GW-4 (Viehlander Graben; ca. 550 m westlich der Schießsportanlage)			
Messzeitraum	15. Oktober 2000 – 8. Juli 2020		
Anzahl der Messungen	31	18	17
Spannbreite	20 – 380 mg/kg	0 - 20 mg/kg	0 – 5 mg/kg
Mittel	<u>114 mg/kg</u>	6 mg/kg	1 mg/kg
Anzahl > LAWA-Zielwert /11/	11	*	*
Anzahl > BBodSchV-Prüfwert /2/ ¹⁾	0	0	0
Anzahl > OGewV-JD-UQN /8/	*	0	*

¹⁾ für Park- und Freizeitanlagen; * kein Wert in LAWA /11/, OGewV /8/ oder BBodSchV /2/ festgelegt.

≥ LAWA-Zielwert für Blei (100 mg/kg) /7/

≥ **OGewV-JD-UQN /8/ für Arsen** (40 mg/kg) /8/ und

> **BBodSchV-Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Blei** (1.000 mg/kg Blei)

> **Prüfwert für Park- und Freizeitanlagen für Antimon im Entwurf zur Novellierung der BBodSchV (250 mg/kg) /19/**

> *BBodSchV-Prüfwert für Boden-Grundwasser* (Blei: 0,025 mg/L; Arsen: 0,01 mg/L; Antimon: 0,01 mg/L) /2/

Tabelle 25: Zusammenfassung sämtlicher Analysenergebnisse „Sedimente“ (GW-1 bis GW-4).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

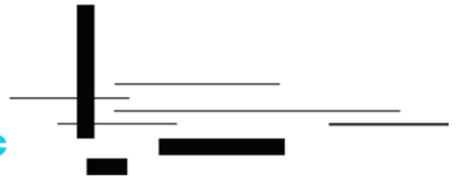
Auch unter Berücksichtigung der seitens der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) /11/ genannten Zielvorgabe in Sedimenten für Blei von 100 mg/kg sind die in den Sedimenten festgestellten Gehalte an Blei größtenteils als erhöht zu bewerten.

Die Ergebnisse zeigen für den Parameter Blei für die Messstelle GS-2 in den letzten Jahren (seit 2011) einen kontinuierlichen Anstieg auf bis zu ca. 2.500 mg/kg (11. Mai 2018). Zuletzt (8. Juni 2020) wurden im Messstelle GS-2 ca. 525 mg/kg Blei gemessen (s. hierzu auch Tabelle 2 in Anlage 2). In den Jahren einer Gewässerunterhaltung (2014 und 2018) fällt in der Messstelle der Gehalt an Blei im Sediment deutlich ab.

Des Weiteren bestätigen die Ergebnisse den allgemein bekannten Sachverhalt, dass Blei sich an Feinpartikel adsorbiert und somit an die Sedimente anlagert. Es ist also zu vermuten, dass es durch die Gewässerunterhaltungen mittels Mähkorb zur Entnahme von Grobstoffen auch zu einer Mobilisierung von bleihaltigen Sedimentpartikeln kommt, die entsprechend der vorherrschenden Gewässerfließrichtung verschleppt werden können.

Die Gehalte an Arsen sind verglichen mit dem OGewV-JD-UQN /8/ für Arsen von 40 mg/kg /8/ teilweise ebenfalls erhöht.

Hinsichtlich der Parameter Antimon, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und PAK wurden im Feststoff und im Eluat hingegen keine besonderen Auffälligkeiten festgestellt. Ausschließlich im Eluat der Proben GS 20/03 und GS 20/09 wurden vereinzelt Konzentrationen (GS 20/03: 0,014 mg/L Kupfer und 0,017 mg/L Nickel; GS 20/09: 0,037 mg/L Kupfer) nachgewiesen, die oberhalb des jeweils zugehörigen LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwertes liegen und allenfalls als leicht erhöht zu bewerten sind.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

6.4 Sicherungsbauwerk

Das im Jahre 2006 / 2007 erstellte Sicherungsbauwerk ist nachweislich mit bleischrot-haltigen Torfen verfüllt (s. Kapitel 3.4). Das Stauwasser im Sicherungsbauwerk weist aktuell insbesondere signifikant erhöhte Konzentrationen an Blei bis 4,5 mg/L auf (s. Kapitel 6.3.3.5.).

Im Zuge der aktuellen Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzen wurde das Sicherungsbauwerk im Rahmen von drei Ortsbegehungen (21. Oktober 2019, 30. Juni 2020 und 22. September 2020) visuell hinsichtlich etwaiger Fehlstellen und Sickerwasseraustritte überprüft.

Dabei wurden weder Fehlstellen noch Sickerwasseraustritte festgestellt. Als Indiz für die gegenwärtige Dichtigkeit des Sicherungsbauwerkes ist auch das im Bauwerk vorhandene Sickerwasser zu verstehen.

Allerdings weist das Sicherungsbauwerk in Teilbereichen an der Oberfläche Verformungen auf, die vermuten lassen, dass die als Dichtungselement fungierende Kunststoffdichtungsbahn (KDB) stark beansprucht wird.

Grundsätzlich sollte eine KDB einer solchen Beanspruchung nicht unterliegen. Deshalb ist im Zuge der Sanierungsuntersuchung zu prüfen, in welcher Art und in welchem Umfang weiterführende Maßnahmen erforderlich werden.

Im Zuge der Ortsbegehung vom 21. Oktober 2019 konnte des Weiteren festgestellt werden, dass im westlichen Teilbereich des Sicherungsbauwerkes keine Vegetation vorhanden war.

Seitens des Landkreis Osterholz wurde erläutert, dass in diesem Bereich vor nicht allzu langer Zeit die Böschung ertüchtigt werden musste, weil die Kunststoffdichtungsbahn aufgrund von Erosionsschäden teilweise bereits frei zugänglich war.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Das Erfordernis einer Entnahme und Untersuchung von Proben unmittelbar neben dem Sicherungsbauwerk wurde unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der drei Ortsbegehungen aus gutachterlicher Sicht nicht gesehen, zumal das Sicherungsbauwerk im Niederschlagsbereich von Bleischrot errichtet wurde (unter anderem wurde Blei im gesamten Umfeld des Bauwerkes im Boden sowohl im Feststoff als auch im Eluat in erhöhten Gehalten nachgewiesen; vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.1).

6.5 Gesamtbewertung der Belastungssituation

Die oberflächennahen Materialien auf dem Gelände der Schießsportanlage Waakhausen weisen in den Zwischenmittelzonen, Scheibensplitterzonen sowie Niederschlagsbereichen nahezu flächendeckend erhebliche Belastungen durch Blei in diffuser Verteilung auf. Daneben kommen in diesen Bereichen Belastungen durch Arsen und Antimon vor. Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden in erhöhten Gehalten in der Scheibensplitterzone nachgewiesen.

Eine Verlagerung von Blei und Arsen über den Sickerwasserpfad in das Grundwasser ist nachweislich eingetreten. Ebenso wurden insbesondere Blei, daneben aber auch Arsen und Cadmium, untergeordnet Chrom, Kupfer, Nickel, Antimon und PAK in den Oberflächengewässern festgestellt.

7 Gefährdungsabschätzung

Für den Einflussbereich der Schießsportanlage Waakhausen wurden die relevanten Schutzgüter Mensch und Boden betrachtet. Hinsichtlich der Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Grundwasser wurde das untergesetzliche Regelwerk zum Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) /1/, die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) /2/ herangezogen.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

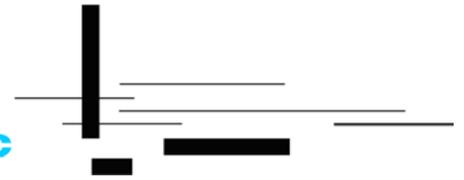
Unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzungssituation des Geländes als Schießsportanlage wurden dabei hinsichtlich des Wirkungspfades Boden – Mensch in erster Linie die Prüf- und Maßnahmenwerte für Park- und Freizeitanlagen betrachtet. Bei der Anwendung dieser Prüf- und Maßnahmenwerte ist allerdings einschränkend darauf hinzuweisen, dass sich diese vorrangig auf eine direkte orale und inhalative Aufnahme beziehen und somit für Bodenproben aus größerer Tiefe allenfalls zu orientierenden Vergleichszwecken herangezogen werden können.

Im Hinblick auf die Bewertung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser sind in der BBodSchV /2/ Prüfwerte festgelegt, die für den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone gelten. Hinsichtlich einer Grundwasserbewertung können diese Prüfwerte daher ebenfalls lediglich zu Vergleichszwecken dienen.

Daneben wurden zur Beurteilung des Grundwassers auch die LAWA-Geringfügigkeitsschwellenwerte /7/ berücksichtigt. Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) /7/ wird definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung /9/ oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden. Die Überschreitung des GFS-Wertes /7/ stellt eine „nachteilige Veränderung“ dar.

Des Weiteren fanden bei der Beurteilung des Grundwassers die Schwellenwerte der Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV) /10/ Berücksichtigung, die der Konzentration eines Schadstoffes, einer Schadstoffgruppe oder dem Wert eines Verschmutzungsfaktors im Grundwasser entsprechen und die zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt festgelegt wurden.

Vor dem Hintergrund, dass Oberflächengewässer vielfach aus dem Grundwasser gespeist werden, wird in /7/ darauf hingewiesen, dass die GFS-Werte der LAWA auch in der Regel für das Oberflächengewässer anwendbar sind. Dies wird auch durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) bekräftigt.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Ebenso wird zur Beurteilung der Oberflächengewässer auch die Oberflächengewässerverordnung (OGewO) /8/ herangezogen. In deren Anlage 6 werden Umweltqualitätsnormen für flussgebietspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustands und des ökologischen Potenzials aufgeführt. Die Überprüfung der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen erfolgt dabei auf Grundlage von Jahresdurchschnittswerten (JD-UQN) und anhand von zulässigen Höchstkonzentration (ZHK-UQN) /8/.

Sofern in den vorgenannten Regelwerken keine entsprechenden Vergleichswerte angegeben sind, erfolgte die Beurteilung ausschließlich auf Grundlage der ermittelten Schadstoffgehalte, der Stoffeigenschaften sowie der Standortverhältnisse.

Hinsichtlich einer detaillierten Beschreibung der Standortverhältnisse sowie der ermittelten Schadstoffgehalte wird auf die Kapitel 3 bis 5 verwiesen.

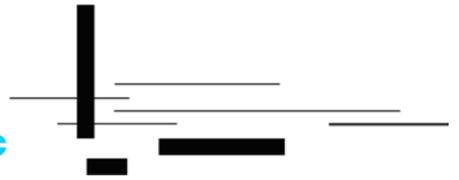
7.1 Schadstoffeigenschaften

Im Bereich der Schießsportanlage wurden relevante Belastungen durch die Schadstoffe Blei, Arsen, Antimon, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Boden und Wasser nachgewiesen.

Das Schadensbild konnte durch die Detailuntersuchungen weitestgehend eingegrenzt werden.

Eine weitere kleinräumige Erfassung sämtlicher Belastungen auf dem Gesamtgelände wird im Hinblick auf die Entwicklung einer Sanierungsstrategie als nicht zielführend bewertet und dürfte, wenn überhaupt, nur mit vergleichsweise sehr hohem Untersuchungsumfang und entsprechenden Kosten realisierbar sein. Aufgrund der Schadenssituation kann es im Rahmen der weiteren Sanierungsuntersuchung und -planung erforderlich werden, in definierten Bereichen untersuchungstechnisch nachzuschärfen.

Nachfolgend werden die Eigenschaften der standortrelevanten Schadstoffe im Hinblick auf eine Gefährdungsabschätzung zusammenfassend beschrieben. In Ergänzung wurden in Anlage 7 die jeweiligen Gefahrstoffdatenblätter, in denen weitere detaillierte Informationen aufgeführt sind, beigelegt.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Schwermetalle und Arsen

Schwermetalle, wie Blei, Antimon, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink und Arsen werden als akut toxisch, gesundheitsschädlich oder gewässergefährdend eingestuft.

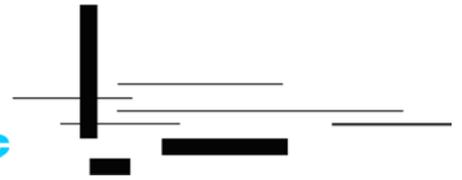
Für die Löslichkeit und Mobilität der Metalle im Boden besitzt vorwiegend der pH-Wert einen maßgeblichen Einfluss. So ist die Löslichkeit der Metalle bei „neutralen“ pH-Werten meist relativ gering, wohingegen sie bei sauren Bedingungen, wie am hier betrachteten Standort gegeben, in der Regel deutlich zunimmt.

Für die meisten Metalle existiert ein pH-Schwellenwert, bei dessen Unterschreitung die Metalle im Boden mobilisiert werden. Damit birgt eine natürlich wie anthropogen bedingte, zunehmende Versauerung im Boden eine wachsende Gefahr einer Freisetzung von Metallen.

Großen Einfluss auf die Fixierung von Metallen, wie z. B. Blei, im Boden haben insbesondere organische Substanzen, wie sie im Bereich der Schießsportanlage durch die großräumig auftretenden Torfe gegeben sind. An diese organischen Böden können die Metalle gebunden und damit festgelegt werden.

Übersteigen aber die Metallbelastungen das Bindungsvermögen des Bodens, besteht die Gefahr einer Verlagerung über den Sickerwasserpfad bis in das Grundwasser bzw. Oberflächengewässer. Eine solche Verlagerung konnte für den Standort nachgewiesen werden.

Die Belastungen von Böden durch Schwermetalle und Arsen sind besonders problematisch, weil diese, anders als eine Vielzahl organischer Schadstoffe, im Boden nicht abgebaut werden. Die Metalle in den Böden können daher nicht dauerhaft beseitigt, sondern allenfalls durch eine Umverteilung im Ökosystem lokal gemindert oder den Stoffkreisläufen durch Immobilisierung entzogen werden.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Auf Trap- und Skeetanlagen wird bislang zu über 90% Bleischrot als Munition verwendet. Bleischrot besteht zu etwa 95% aus Blei und jeweils zu 2-3% aus den Legierungszusätzen Arsen und Antimon. Die Schrotpatronen bzw. Schrotbecher haben eine Ladung zwischen 24 und 32 Gramm Bleischrot /3/. Vor diesem Hintergrund ist Blei als sogenannter Leitparameter zur Beurteilung der Belastungssituation zu verstehen.

Des Weiteren haben an anderen Schießanlagenstandorten durchgeführte Untersuchungen von Vegetationsproben (Gras) erhöhte Bleigehalte gegenüber unbelasteten Vergleichsproben belegt /3/.

Von einer Aufnahme von Blei bei Tieren über die Nahrungskette ist somit auch am Standort der Schießsportanlage Waakhausen auszugehen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Als prioritär gelten von insgesamt mehr als 300 identifizierten PAK-Verbindungen die folgenden 16 Einzelstoffe der sogenannten EPA-Liste: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)pyren, Chrysen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Dibenzo-(a,h)anthracen, Indeno-(1,2,3-c,d)pyren und Benzo-ghi-perylen.

Zahlreiche der PAK-Einzelstoffe, insbesondere auch Benzo(a)pyren, werden als karzinogen bzw. mutagen eingestuft.

PAK sind für gewöhnlich durch eine geringe Wasserlöslichkeit und Flüchtigkeit gekennzeichnet, wobei der Einzelstoff Naphthalin noch vergleichsweise flüchtig und wasserlöslich ist. PAK-Verunreinigungen weisen ansonsten in der Regel eine geringe Mobilität auf und lagern sich im Boden an stark sorptiv wirkende Komponenten, wie z. B. Torfen, an.

Im vorliegenden Fall sind die nachgewiesenen PAK insbesondere in Zusammenhang mit den in der Vergangenheit verwendeten Wurfscheiben zu stellen. Eine einheitliche Quelle wird auch durch die nahezu identischen Einzelstoffverteilungsmuster dokumentiert (vgl. hierzu auch Tabelle 2 in Anlage 1).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Das Trägermaterial von Wurfscheiben besteht zu ca. 70 % aus Steinmehl und Zusätzen, die den Verarbeitungs- und Formungsprozess erleichtern. Als Bindemittel ist in der Regel bis zu 30 % Steinkohlenpech oder Erdölpech enthalten. Beide Materialien enthalten in unterschiedlichem Umfang PAK. Die PAK-Gehalte in den Wurfscheiben werden mit 5.000 - 25.000 mg/kg angegeben /3/.

7.2 Beurteilung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse

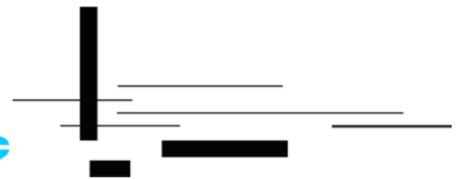
Neben Verdünnungsprozessen und einer chemisch-physikalischen Festlegung der Schadstoffe kann der abiotische und biotische Abbau zu einer Schadstoffminderungen beitragen.

Verunreinigungen durch Schwermetalle und Arsen unterliegen allerdings keinen Abbauprozessen und als relevante natürliche Schadstoffminderungsprozesse kommen ausschließlich eine Verdünnung oder die Festlegung im Boden (sei es adsorptiv z. B. durch die Torfe bzw. eine chemische Ausfällung z.B. als Oxid oder Sulfid) in Frage. Letztgenannte Bindungsmöglichkeiten der Metalle sind dabei stark abhängig von den Milieubedingungen und im Regelfall auch reversibel. Eine echte Schadstoffreduzierung liegt für Schwermetalle und Arsen somit nicht vor.

PAK, ausgenommen Naphthalin, sind mikrobiologisch sehr schwer abbaubar und zählen daher zu den persistenten Schadstoffen. Die Abbaubarkeit der PAK sinkt mit steigender Ringanzahl und Komplexität der Struktur.

7.3 Volumen- und Mengenabschätzung

Bei den Detailuntersuchungen wurden Bodenverunreinigungen in nahezu sämtlichen Bereichen der Schießsportanlage festgestellt (vgl. hierzu auch die Ausführungen im Kapitel 6.3.2).



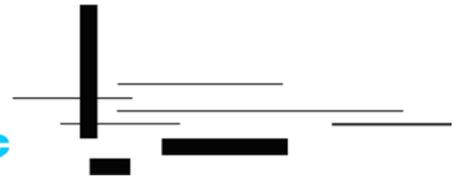
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

In nachfolgender Tabelle sind für die einzelnen Bereiche die überschlägig abgeschätzten Flächengrößen angegeben, für die ein hinreichender Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast vorliegt. Zur Beurteilung wurde in erster Linie der Leitparameter Blei herangezogen (> BBodSchV-Prüfwert /2/ für Park- und Freizeitanlagen: 1.000 mg/kg; > BBodSchV-Prüfwert /2/ für Boden-Grundwasser: 0,025 mg/L). Zu Vergleichszwecken wurden ergänzend auch die restlichen Flächengrößen aufgeführt (vgl. hierzu auch Abbild 17 in Anlage 1):

Bereich	Überschlägige Flächengrößen <u>ohne</u> hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast	Überschlägige Abschätzung der Flächengrößen <u>mit</u> hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast
Referenzbereiche (REF)*	ca. 10.000 m ²	
Bereich Schützenstände (BSS)	ca. 3.600 m ²	
Zwischenmittelzonen (ZMZ)		ca. 1.200 m ²
Scheibensplitterzonen (SSZ)		ca. 8.000 m ²
Niederschlagsbereich Skeet- und Trapanlagen (ohne ZMZ, SSZ, Sanierungsbereich und Bereich Sicherungsbauwerk; insgesamt ca. 34.700 m ²)		ca. 75.300 m ²
Sanierungsbereich		ca. 20.000 m ²
Sicherungsbauwerk	ca. 5.500 m ²	
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (insgesamt ca. ca. 16.000 m ²), - davon außerhalb Niederschlagsbereich - davon im Niederschlagsbereich	ca. 4.000 m ²	ca. 12.000 m ²
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche)		ca. 7.500 m ²
Flurstück 1/3 (Waldfläche)		ca. 70.000 m ²
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)		ca. 1.600 m ²
Schießanlage „Kurzwaffenstand“ (KWS)		ca. 300 m ²
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)		ca. 2.400 m ²
ehemalige Schießanlage „Kipphase“ (KH)		ca. 500 m ²
Summe	ca. 23.100	ca. 198.800
Insgesamt	ca. 221.900 m ²	

* südlich des Bereiches „Schützenstände“ (BSS) gelegen.

Tabelle 26: Zusammenstellung der Flächen mit hinreichenden Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

In ca. 90 % der ca. 220.000 m² umfassenden Gesamtfläche der Schießsportanlage wurden Schadstoffe im Boden (Feststoff / Eluat) nachgewiesen, die bereits zu schädlichen Verunreinigungen im Wasser in den Torfen, Wasser in den Auffüllungen, Grundwasser, Dränagewasser und Oberflächengewässer geführt haben bzw. noch führen können.

Im Niederschlagsbereich der Skeet und Trapanlagen (NB, HSR, RF; ohne ZMZ, SSZ, Sanierungsbereich und Bereich Sicherungsbauwerk; einschließlich dem südlichen Teil des Flurstücks 62/1 „Wellbrock“) liegt Bleischrot in deutlich sichtbaren und variierenden Anteilen im Boden im oberen Abschnitt (bis ca. 20 cm unter GOK) der Böden (in der Regel Torfe) auf einer Fläche von ca. 75.300 m² vor.

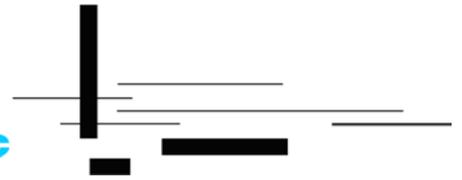
Das sichtbare Bleischrot hat zu entsprechenden Verunreinigungen insbesondere durch Blei, Arsen und Antimon geführt. Mit zunehmender Tiefe ist eine Abnahme des Anteils an Bleischrot im Boden feststellbar.

In der Scheibensplitterzone (ca. 8.000 m²) liegen dominierend im oberen Abschnitt des Untergrundes Tonscheibenreste vor (bis ca. 20 cm unter GOK; mit der Tiefe Abnahme der Anteile). Neben Verunreinigungen durch Blei, Arsen und Antimon (bedingt durch Bleischrot) wurden hier auch Verunreinigungen durch PAK (bedingt durch die Tonscheibenreste) nachgewiesen.

In einer Teilfläche des Niederschlagsbereiches befindet sich der 2006 / 2007 durch Bodenaustausch sanierte und mit einem PE-Monofilgewebe abgedeckte Bereich (ca. 20.000 m²). Die seinerzeit im Mittel bis 80 cm unter GOK eingebauten Materialien weisen teilweise Verunreinigungen durch PAK bzw. Benzo(a)pyren und untergeordnet vereinzelt durch Schwermetalle auf. Das Volumen der im Sanierungsbereich eingebauten Materialien (Sand / Bauschutt) wird auf ca. 16.000 m³ abgeschätzt.

Im Sicherungsbauwerk wurden schätzungsweise ca. 6.000 m³ durch Bleischrot belastete Böden eingebaut.

Auf den Flurstücken 73/1 (Dreiecksfläche) und Flurstück 1/3 (Waldfläche) sind die Niederschläge durch Bleischrot in der Regel nicht augenscheinlich erkennbar, sondern wurden weitestgehend nur analytisch nachgewiesen. Es ist hier von einem bereits sehr weit fortgeschrittenen Auflösungsprozess des Bleischrotes auszugehen.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Nordwestlich (landwirtschaftliche Nutzung, u. a. Flurstück 60/2) und nordöstlich (Flurstück 1/3; Waldfläche Westheide) des untersuchten Geländes wurden etwaige Verunreinigungen des Bodens durch Bleischrot noch nicht abschließend eingegrenzt.

Hinsichtlich einer Schadstoffmengenabschätzung ist anzuführen, dass diese für den Standort grundsätzlich als sehr schwierig bewertet wird.

Einerseits liegen Bleischrot und Scheibensplitter in diffuser und im Detail sehr schwer erfassbarer Verteilung vor, andererseits sind die bislang in der Vergangenheit eingesammelten und entsorgten Mengen an Bleischrot und Scheibensplittern nicht vollständig bekannt. Ebenso erfolgte im Jahr 2006 die Sanierung eines ca. 20.000 m² umfassenden Teibereiches der Schießsportanlage [35], [52].

Außerdem gibt es zu den jährlichen Schuss- und Wurfscheibenzahlen im Einzelnen keine konkreten Angaben, so dass darüber eine Ableitung der Gesamt-Abfallmengen nicht möglich ist.

Gemäß den Ausführungen in /3/ fallen auf Schießständen, je nach Nutzungsintensität, erhebliche Abfallmengen an:

Nach einer Aufstellung des Bundesverbandes Schießstätten ergeben sich bei einer jährlichen Schusszahl von 130.000 (entsprechen 100.000 Wurfscheiben) folgende Abfallmengen und -massen:

- 100.000 Wurfscheiben x 0,110 kg =	11.000 kg;	ca. 11 m ³
- 130.000 Schuss x 0,028 kg =	3.640 kg;	ca. 0,4 m ³
- 130.000 Patronenhülsen x 0,008 kg =	1.040 kg;	ca. 2,0 m ³
- 130.000 Schrotbecher x 0,003 kg =	390 kg;	ca. 2,0 m ³

Anhand dieser beispielhaft ermittelten Mengen und Massen wird die Notwendigkeit einer ordnungsgemäßen Entsorgung der auf Schießständen anfallenden Abfälle nochmals verdeutlicht.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Für die hier zur Diskussion stehende Schießsportanlage lässt sich daraus ableiten, dass im Zuge der jahrzehntelangen Nutzung erhebliche Abfallmengen angefallen sein müssen, was sich auch in den Ergebnissen der Gefährdungsabschätzung wieder spiegelt.

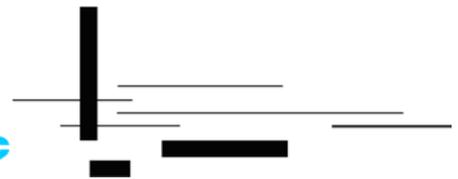
Unter Berücksichtigung der voranstehenden Betrachtungen wird im Folgenden eine überschlägige Mengenabschätzung auf Grundlage der im Boden (Feststoff) ermittelten Bleigehalte (Mittelwerte) durchgeführt.

Dabei ist anzumerken, dass nur die Fraktion < 2 mm analytisch untersucht wurde. Aufgrund der diffusen Verteilung des Bleischrots (> 2mm) in den Niederschlagsbereichen ist eine seriöse Mengenabschätzung nicht möglich, weshalb hierauf an dieser Stelle verzichtet wurde.

In diesem Zusammenhang ist weiterhin darauf hinzuweisen, dass den Erkundungen zufolge (s. auch Kapitel 6.1.1) Bleischrot > 2 mm weitestgehend nur an der Oberfläche selbst und oberflächennah festgestellt wurde (bis ca. 20 cm unter GOK; Abnahme des Anteils an Bleischrot mit zunehmender Tiefe).

Unter Berücksichtigung der in den Torfen vorliegenden „sauren“ pH-Werte ist in der Folge versickernden Niederschlagswassers bzw. dem in der Regel vorhandenen Stauwasser von einer sukzessiven Einlösung des Bleischrots auszugehen, weshalb in den Tiefenabschnitten > 20 cm unter GOK in der Regel kein augenscheinlich sichtbares Bleischrot mehr nachweisbar war.

Vor dem Hintergrund, dass am Standort im Wesentlichen Torfe vorliegen, wurde für die Trockendichten eine Spannweite zwischen 0,1 g/cm³ und 0,3 g/cm³ angesetzt. Diese Spannweite wurde unter Berücksichtigung von gutachterlichen Erfahrungswerten und Literaturdaten, wie z. B. /17/, gewählt.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Bereich	Flächen- größe [m ²]	Tiefen- abschnitt [cm]	Mächtigkeit [m]	Kubatur [m ³]	Mittelwert Blei [mg/kg]	Trocken- dichte Boden [g/cm ³]	Menge Blei im Boden (Fraktion < 2 mm) bei einer Trockendichte von 0,3 g/cm ³ [to]	Trocken- dichte Boden [g/cm ³]	Menge Blei im Boden (Fraktion < 2 mm) bei einer Trockendichte von 0,1 g/cm ³ [to]
Zwischenmittelzonen (ZMZ)	1.200	0 – 10	0,1	120	1.460	0,3	0,05	0,1	0,02
		10 – 20	0,1	120	326	0,3	0,012	0,1	0,004
		20 – 30	0,1	120	121	0,3	0,004	0,1	0,001
Scheibensplitterzonen (SSZ)	8.000	0 – 10	0,1	800	17.256	0,3	4,1	0,1	1,4
		10 – 20	0,1	800	10.674	0,3	2,6	0,1	0,9
Niederschlagsbereiche (NB, HSR, RF), abzgl. ZMZ, SSZ, Sanierungsbereich, Flurstück 62/1 und Bereich Sicherungsbauwerk	63.300	0 – 10	0,1	6.330	39.194	0,3	74	0,1	25
		10 – 20	0,1	6.330	17.930	0,3	34	0,1	11
		20 – 30	0,1	6.330	46.267	0,3	88	0,1	29
Flurstück 62/1 „Wellbrock“ (nur Niederschlagsbereich)	12.000	0 – 10	0,1	1.200	492	0,3	0,18	0,1	0,06
Flurstück 73/1 (Dreiecksfläche)	7.500	0 – 10	0,1	750	280	0,3	0,06	0,1	0,02
		10 – 20	0,1	750	136	0,3	0,03	0,1	0,01
Flurstück 1/3 (Waldfläche, östlicher Teilbereich Schießsportanlage)	70.000	0 – 10	0,1	7.000	2.876	0,3	6,0	0,1	2,0
		0 – 10	0,1	7.000	1.777	0,3	3,7	0,1	1,2
Schießanlage „Laufender Keiler“ (LK)	1.600	0 – 10	0,1	160	1.610	0,3	0,08	0,1	0,03
Schießanlage „Kurzwaffenstand“ (KWS)	300	0 – 10	0,1	30	4.487	0,3	0,04	0,1	0,01
Schießanlage „100m Kugelbahn“ (KB)	2.400	0 – 10	0,1	240	1.832	0,3	0,13	0,1	0,04
ehemalige Schießanlage „Kipphase“ (KH);	500	0 – 10	0,1	50	5.604	0,3	0,08	0,1	0,03
	Verwallung			200	20.600	0,3	1,2	0,1	0,4
Menge Blei im Boden (Fraktion < 2 mm), insgesamt							215		72
Zum Vergleich: Bei einem natürlichen Bleigehalt von 60 mg/kg ergibt sich:				38.330	60	0,3	0,7	0,1	0,2

Tabelle 27: Überschlägige Abschätzung der Mengen an Blei im Boden (Fraktion < 2mm) unter Berücksichtigung einer Spannbreite von Trockendichten zwischen 0,1 g/cm³ und 0,3 g/cm³.

Die Menge an Blei im Boden (Fraktion < 2 mm; ohne Bleischrot > 2mm) lässt sich auf Basis der erfolgten Berechnungen für den Standort überschlägig zwischen 72 und 215 to abschätzen.

Unter Berücksichtigung eines Betriebszeitraumes der Anlage mit Bleischrot von ca. 35 Jahren (1974 – 2010) ergibt sich daraus eine jährliche Menge an Blei zwischen ca. 2 to/a und ca. 6 to/a, die in etwa in der Größenordnung der oben genannten Abfallmenge an Bleischrot von ca. 3,6 to/a bei ca. 130.000 Schuss pro Jahr liegt.

Eine Abschätzung der im Grundwasser bereits gelösten Menge an Schadstoffen erfolgt an dieser Stelle nicht.

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Erfahrungsgemäß sind solche Abschätzungen in der Regel nur sehr eingeschränkt möglich und häufig sehr ungenau.

Vielmehr wird noch einmal darauf hingewiesen, dass signifikant auffällige Belastungen (insbesondere durch Blei und Arsen) im Schichten- bzw. Stauwasser der Torfe in den jeweiligen Niederschlagsbereichen nachgewiesen wurden (s. Kapitel 6.3.3.1). Diese haben wiederum nachweislich zu erhöhten Blei- und Arsenkonzentrationen im Grundwasser, Dränagewasser und in den Oberflächengewässern (s. Kapitel 6.3.3.3, 6.3.3.4 und 6.3.3.6) geführt. Ein entsprechender Grundwasserschaden ist bereits eingetreten.

7.4 Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe

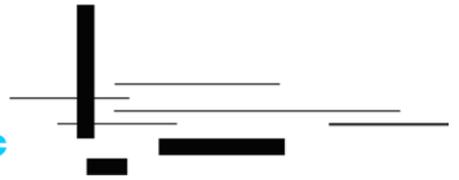
Das Gelände der Schießsportanlage Waakhausen ist vorrangig durch Bleischrot (Blei, Arsen und Antimon) und Wurfscheibensplitter (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) verunreinigt.

Im Boden erfolgt, von der Oberfläche ausgehend, eine Verfrachtung der Schadstoffe über den infiltrierenden Niederschlag unter Berücksichtigung der nachfolgend erläuterten Randbedingungen.

Torf weist infolge der enthaltenen Huminstoffe eine hohe Bindungskapazität für Fremd- und Schadstoffe auf. Die organische Substanz ist dabei ein Ionenaustauscher unter anderem mit besonders hohem Retentionsvermögen für Schwermetalle. Die Schadstoffe werden im vorliegenden Fall insbesondere in den obersten Abschnitten der Torfe zurückgehalten.

Die Metalle werden folglich in den Torfen vergleichsweise fest gebunden, so dass eine kurzfristige Gefährdung des Grundwassers durch Schwermetallauswaschung grundsätzlich nicht zu besorgen ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Wassers in den Torfen zeigen allerdings überwiegend signifikante Konzentrationen an Metallen auf, was darauf schließen lässt, dass das Rückhaltevermögen für die Metalle durch die Huminstoffe insbesondere in den oberen Abschnitten der Torfe größtenteils überschritten ist.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Das in den Torfen vorliegende saure Milieu (pH-Werte in der Regel < 4) führt des Weiteren grundsätzlich zu einer guten Löslichkeit der Metalle, sofern diese noch nicht in komplex gebundener Form als Metall-Huminkomplexe vorliegen, die wiederum aber nur im alkalischen Bereich löslich sind.

Am Standort ist also davon auszugehen, dass die Metalle einerseits durch die Huminstoffe in den Torfen gebunden werden und andererseits in gelöster Form im Wasser der Torfe auftreten.

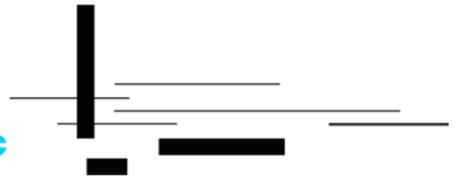
Gemäß /18/ ist für Torfe von geringen bis äußerst geringen Durchlässigkeiten mit Kf-Werten von $< 1,0 \times 10^{-5}$ m/s auszugehen.

Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes und das die Torfe am Standort bis zu ca. 5 m (im Mittel ca. 2 m) mächtig sind, ist von einer vergleichsweise, insbesondere durch Adsorptions- bzw. Retardationseffekte verlangsamten Verfrachtung der Schadstoffe über den Sickerwasserpfad bis in das Grundwasser, Dränagewasser und Oberflächengewässer auszugehen (Barrierefunktion der Torfe).

Dies zeigt sich auch dadurch, dass im Grundwasser, Dränagewasser und Oberflächengewässer zwar erhöhte Schadstoffkonzentration nachgewiesen werden konnten, diese aber in der Regel deutlich geringer ausfallen als die Schadstoffkonzentrationen im Wasser der Torfe.

Da die Schadstoffe schon jahrzehntelang einem Schadstofftransport über den Sickerwasserpfad unterliegen, wird konstatiert, dass eine Gefährdung von Grundwasser, Dränagewasser und Oberflächengewässer zwar bereits vorliegt, aber eine deutliche Verschlechterung in naher Zukunft nicht zu erwarten ist (Barrierefunktion der Torfe).

Das Erfordernis von Sickerwasserprognosen zur Beurteilung einer möglichen Gefährdung des Grundwassers wird vor dem Hintergrund der vorherigen Ausführungen zur Grundwassersituation aus gutachterlicher Sicht nicht mehr gesehen.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Des Weiteren wird die Durchführung einer Sickerwasserprognose auf Grund des Sachverhaltes, dass die verunreinigten Böden am Standort im Wesentlichen aus Torfen mit stark variierenden Zersetzungsgraden bestehen als wenig aussagekräftig gesehen. Je nach Zersetzungsgrad ist auch von deutlich unterschiedlichen Eigenschaften der Torfe bezüglich des Schadstoffrückhaltevermögens auszugehen. Die Realisierung einer belastbaren Sickerwasserprognose erscheint vor diesem Hintergrund für den Standort zweifelhaft.

Aufgrund der im Bereich der Schießsportanlage vergleichsweise geringen Grundwasserströmungsverhältnisse und Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser ist anzunehmen, dass die Verunreinigungen vergleichsweise ortsstabil sind und sich die Schadstoffe nicht in einer Form einer deutlichen Schadstofffahne ausgebreitet haben.

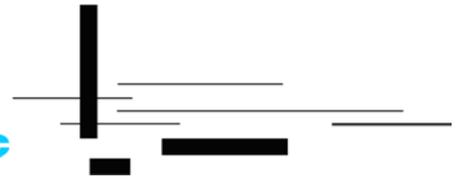
Die maßgebliche Verfrachtung von Schadstoffen aus den Torfen erfolgt auf Basis der vorliegenden Untersuchungen derzeit über den Sickerwasserpfad in die Entwässerungsgräben der Schießsportanlage und somit auch in den unmittelbar südlich angrenzenden Vorfluter Landwehrgraben bzw. anschließend in den Viehlander Gräben.

7.5 Exposition von Schutzgütern auf relevanten Wirkungspfaden

Der Transfer eines Schadstoffes von der Quelle zu unterschiedlichen Schutzgütern erfolgt in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften und den jeweiligen Standortgegebenheiten über verschiedene Wirkungspfade.

Als relevante Schutzgüter sind in der Regel die menschliche Gesundheit, die Qualität von Nahrungspflanzen und Futtermitteln, der Boden, das Bodensickerwasser auf dem Weg zum Grundwasser, das Grundwasser als allgemeine Ressource und als genutzte / nutzbare Trinkwasservorkommen sowie oberirdische Gewässer zu nennen.

Vom Umweltmedium Boden ausgehend ergeben dabei für den hier betrachteten Standort nachfolgende Wirkungspfade:



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

- Boden - Mensch (direkter Kontakt)
- Boden - Bodenluft – (Innenraumluft) - Mensch
- Boden – Nahrungs-/ Futterpflanze –Tier - Mensch
- Boden - (Sickerwasser -) Grundwasser (- Trinkwasser - Mensch)
- Boden - (Sickerwasser -) (Grundwasser -) Oberflächengewässer (- Mensch)

7.5.1 Wirkungspfad Boden – Mensch (direkter Kontakt)

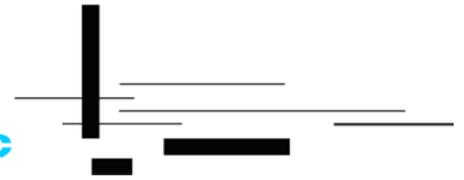
Das Risiko einer oralen oder dermalen Aufnahme der Schadstoffe „Schwermetalle“ (insbesondere Blei, Arsen und Antimon) und „Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe“ (PAK) durch direkten Bodenkontakt bzw. durch Staubemissionen ist für die Schießsportanlage unter den gegebenen Standortverhältnissen (Bleischrot direkt an der Oberfläche, Oberfläche weitestgehend unversiegelt, Vegetationsdecke unvollständig, Park- und Freizeitanlage, belastete Boden- und Auffüllungsmaterialien treten insbesondere in den oberen Bodenabschnitten auf) als durchaus gegeben zu bewerten.

Eine öffentliche Wegenutzung ist am Standort zwar nicht gegeben, aber der Aufenthalt von Kindern in den Niederschlags- bzw. Depositionsbereichen ist grundsätzlich möglich.

Gemäß /20/ kann insbesondere bei Kleinkindern aufgrund der teilweise extrem erhöhten Schadstoffgehalte im oberflächennahen Boden eine geringe aufgenommene Bodenmenge genügen, um Vergiftungserscheinungen auszulösen. Für Erwachsene wird hingegen davon ausgegangen, dass der Aufenthalt oder Begehungen im Depositionsbereich von Schrotten und Wurfscheiben ohne Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind.

7.5.2 Wirkungspfad Boden - Bodenluft – (Innenraumluft) - Mensch

Aufgrund des am Standort vorliegenden Schadstoffspektrums ist von einer Gefährdung hinsichtlich des Wirkungspfades Boden – Bodenluft – Mensch nicht auszugehen.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

7.5.3 Wirkungspfad Boden – Nahrungs-/ Futterpflanze –Tier - Mensch

Auf Grundlage der erkundeten Belastungssituation wird auf dem Gelände der Schießsportanlage ein Schadstofftransfer vom Boden in die Pflanze und anschließende Aufnahme als Nahrung durch Tiere (insbesondere Wildtiere) als grundsätzlich möglich bewertet (z. B. Anreicherung von Blei).

Eine detaillierte Betrachtung der für den Schadstofftransfer vom Boden in die Pflanze bzw. über die Pflanze als Nahrung in Tiere relevanten schadstoff-, standort- und pflanzenspezifischen Transferfaktoren erfolgte im Rahmen dieser Gefährdungsabschätzung allerdings nicht, zumal unter Berücksichtigung der derzeitigen Nutzungsverhältnisse (Schießsportanlage, kein Anbau von Nutzpflanzen) eine relevante, über diesen Pfad ausgehende Gefährdung insbesondere für den Menschen nicht direkt gegeben ist.

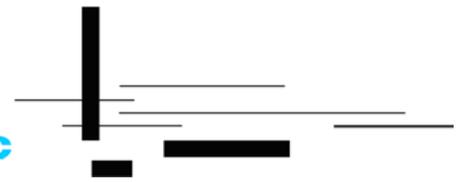
Allerdings ist im unmittelbaren Umfeld (Flurstück 60/2 und Flurstück 1/3), wo etwaige Verunreinigungen des Bodens durch Bleischrot noch nicht abschließend eingegrenzt sind, eine landwirtschaftliche Nutzung gegeben. Eine solche Nutzung ist, wenn sich diese Fläche im Depositionsbereich befinden sollte, gemäß /20/ nicht zulässig. Eine zeitnahe Erkundung der Schadstoffsituation in diesen Bereichen wird empfohlen.

Des Weiteren ist nicht auszuschließen, dass mit Schadstoffen angereicherte Pflanzen durch die am Standort vorhandene Tierwelt aufgenommen werden und somit ein entsprechender Schadstofftransfer über die Nahrungskette erfolgt.

Hier ist im Rahmen der weiteren Sanierungsuntersuchung und –planung noch eine Verifizierung erforderlich.

7.5.4 Wirkungspfad Boden – (Sickerwasser -) Grundwasser (-Trinkwasser – Mensch)

Hinsichtlich der Betrachtung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser lässt sich feststellen, dass die Bodenbelastungen am Standort bereits zu signifikanten Belastungen im Sickerwasser (Wasser in den Torfen) durch insbesondere Blei, Arsen, Cadmium und PAK und zu erhöhten Konzentrationen im Grundwasser durch insbesondere Blei, Arsen, Chrom und PAK geführt haben.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Unter Berücksichtigung der stoffspezifischen Eigenschaften dieser Schadstoffe ist von einer nachhaltigen und langfristigen Befruchtung des Grundwassers auszugehen. Natürliche Schadstoffminderungsprozesse werden hier auch langfristig nicht zu tolerierbaren Schadstoffgehalten führen, solange die Quellterme im Boden vorhanden sind.

Eine weitere Verlagerung der Schadstoffe aus der Bodenzone über den Sickerwasserpfad bis in das Grundwasser ist vor dem Hintergrund des geringen Versiegelungsgrades und den damit entsprechend verbundenen Versickerungsmöglichkeiten für das Niederschlagswasser zu erwarten.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Grundwasserfließgeschwindigkeiten ist allerdings von einer nur geringen Verfrachtung der Schadstoffe im Grundwasser auszugehen und anzunehmen, dass die erhöhten Schadstoffkonzentrationen nur lokal und weitestgehend auf den Standort beschränkt vorliegen (quasistationäre Verhältnisse).

7.5.5 Wirkungspfad Boden – (Sickerwasser) – (Grundwasser) – Oberflächengewässer – (Mensch)

Die im Bereich der Schießsportanlage vorhandenen Gräben entwässern in den unmittelbar südlich angrenzenden Landwehrgraben. Der Landwehrgraben geht westlich der Schießsportanlage in den nordwestlich fließenden Viehlander Graben, der wiederum nordwestlich der Viehlander Straße (K 11) in den Waakhauser Kanal einmündet, der dann zur Hamme fließt.

Wie die Ergebnisse zu den Wasser- und Sedimentuntersuchungen der Entwässerungsgräben der Schießsportanlage, dem Landwehrgraben und dem Viehlander Graben belegen, wurden und werden Schadstoffe von der Schießsportanlage in diese Oberflächengewässer eingetragen. Als maßgeblicher Transferpfad ist hier der Eintrag von Sickerwasser mit erhöhten Schadstoffkonzentrationen zu nennen.

Ein unmittelbarer Kontakt zwischen dem Grundwasser im Bereich der Schießsportanlage und dem Oberflächengewässer Landwehrgraben ist durch die den Vorfluter unterlagernden Torfe nicht gegeben (vgl. hierzu auch die Profilschnitte in den Abbildern 12 bis 14 in Anlage 1).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Eine Verwendung des Wassers des Landwehrgrabens und des Viehlander Grabens (Abschnitt Messstellen GW-2 bis GW-4) zur alleinigen Bewässerung von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen oder einer Befüllung von Wassertrögen für Nutztiere sollte vor diesem Hintergrund unterlassen werden.

Zur vollständigen Unterbindung einer möglichen Verfrachtung der Schadstoffe aus dem Bereich der Schießsportanlage in das Oberflächengewässer werden daher nutzungsunabhängig weitere Maßnahmen erforderlich.

7.6 Zusammenfassende Beurteilung der Altlast

Nachstehend erfolgt eine Beurteilung, ob im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden – Grundwasser eine Altlast vorliegt und ob eine Sanierung des Grundwassers und / oder der Altlast erforderlich ist.

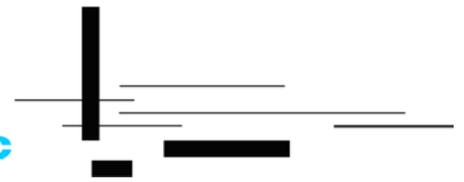
7.6.1 Gefahren- und Schadensfeststellung

Die im Bereich der Schießsportanlage festgestellten Verunreinigungen liegen sowohl im Boden, als auch im Sickerwasser (Wasser in den Torfen), Grundwasser (in dem die Torfe unterlagernden Sande) und Oberflächengewässer vor.

Die Verunreinigungen im Sickerwasser, Grundwasser und Oberflächengewässer sind zweifelsfrei auf die Bodenbelastungen der Schießsportanlage zurückzuführen. Ein altlastbedingter Schaden lässt sich zweifelsfrei feststellen.

Die festgestellten altlastbedingten Schäden treten in den oberflächennahen Materialien insbesondere durch Blei, Arsen und Antimon nahezu flächendeckend in den Zwischenmittelzonen, den Scheibensplitterzonen und den Niederschlagsbereichen auf. Altlastenbedingte Schäden durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden in der Scheibensplitterzone nachgewiesen.

Durch die Verlagerung der Schadstoffe aus den Torfen über den Sickerwasserpfad in das Grundwasser sind auch dort altlastenbedingte Schäden insbesondere durch Blei und Arsen eingetreten.

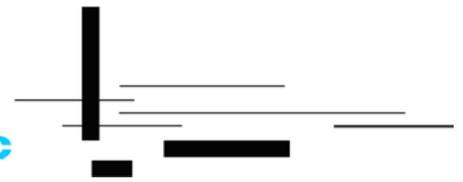


Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Ebenso resultieren aus der Schadstoffverlagerung auch altlastenbedingte Schäden in den Oberflächengewässern, insbesondere durch Blei, daneben durch Arsen und Cadmium sowie untergeordnet Chrom, Kupfer, Nickel, Antimon und PAK.

Die festgestellten Schäden durch die Altlast werden nachfolgend hinsichtlich Ihrer Tolerierbarkeit überprüft:

- Die Schadstoffe „Schwermetalle“ und „PAK“ weisen eine hohe Schädlichkeit auf.
- Im Boden ist aufgrund der standortspezifischen Randbedingungen (Rückhaltevermögen der Torfe, etc.) eine zunächst augenscheinlich geringe Mobilität der Schadstoffe hinsichtlich einer Verfrachtung in das Grundwasser festzustellen. Allerdings zeigen die Schadstoffkonzentrationen im Wasser der Torfe (Sickerwasser) größtenteils signifikante Schadstoffkonzentrationen auf, die ein erhebliches Potenzial für eine langfristige Verfrachtung in das Grundwasser bilden.
- Unter natürlichen Bedingungen erfolgt ein Abbau sämtlicher Schadstoffe in der Regel nicht; beziehungsweise, wenn überhaupt, nur über einen vergleichsweise langen Zeitraum.
- Im Boden liegen teilweise signifikante Überschreitungen der BBodSchV-Prüfwerte /2/ für Blei, Arsen und Benzo(a)pyren vor. Im Grundwasser werden die Schwellenwerte der GrwV /10/ bzw. die Grenzwerte der TrinkwV /9/ für Blei, Arsen, Chrom und PAK überschritten.
- Es ist von massiven Einträgen von Bleischrot (> 2 to/a) infolge der langfristigen Nutzung (seit 1974) als Schießsportanlage auszugehen. PAK sind eher auf kleinräumige Einträge (insbesondere Scheibensplitterzonen) zurückzuführen.
- Aufgrund der langzeitlichen Nutzung ist anzunehmen, dass sich mittlerweile quasi-stationäre Verhältnisse für den Schaden eingestellt haben. Ein kurz- bzw. mittelfristiger deutlicher Rückgang des Schadens ist nicht zu erwarten. Die Schadenskonzentration im Boden / Sickerwasser / Grundwasser und Oberflächengewässer ist quasi stabil, aber gelöste Stoffe emittieren aus den Boden / Sickerwasser weiterhin in das Grundwasser / Oberflächengewässer.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

- Im Grundwasser ist aufgrund der hydrogeologischen Standortbedingungen (insbesondere geringe Fließgeschwindigkeiten) von einer weitestgehend auf den Standort beschränkten Schadstoffverteilung auszugehen.
- Geogene bzw. großräumig anthropogene Hintergrundbelastungen sind nicht bekannt.

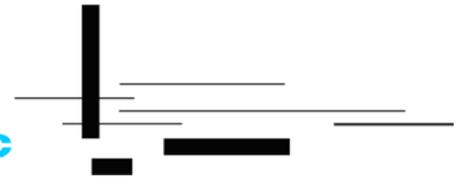
Auch wenn eine Tolerierbarkeit des festgestellten Grundwasserschadens aufgrund der sehr beschränkten bis nicht vorhandenen Nutzung des Grundwassers und vermutlich lokal auf den Standort beschränkten Ausbreitung gegeben wäre, lässt sich unter Berücksichtigung der weiteren Schäden (Boden und Oberflächengewässer) und deren Dimension, Intensität und Persistenz) insgesamt keine Tolerierbarkeit der altlastbedingten Schäden am Standort der Schießsportanlage Waakhausen ableiten. Daraus ergibt sich das Erfordernis zur Sanierung dieser altlastbedingten Schäden.

7.7 Zusammenfassende Risikobeurteilung

Die Schadstoffquellen im Boden der Schießsportanlage Waakhausen haben bereits und werden langfristig weiterhin zu Schadstoffeinträgen in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser insbesondere durch Blei führen.

Neben den bereits eingetretenen Schäden im Sickerwasser sowie den Verunreinigungen des Grundwassers und der Oberflächengewässer bestehen Risiken, die in einer etwaigen Nutzung des durch erhöhte Schadstoffkonzentrationen gekennzeichneten Wassers (z.B. Bewässerung von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen) zu sehen sind.

Für das 2006 / 2007 erstellte Sicherungsbauwerk wurde aktuell kein unmittelbar handlungsbedürftiger Schaden festgestellt. Mittelfristig ist anzunehmen, dass die Dichtigkeit des Bauwerkes infolge der festgestellten Verformungen und der damit verbundenen Materialbeanspruchungen (insbesondere des Hauptsicherungselementes, der Kunststoffdichtungsbahn) nur noch eingeschränkt gegeben sein wird. Daher sollten zeitnah Maßnahmen ergriffen werden, bevor ein Schadensfall durch Versagen des Hauptsicherungselementes eintritt.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

7.8 Vorläufige Sanierungsziele

An einer Vielzahl von in den letzten Jahren bearbeiteten Altlastenstandorten ist deutlich geworden, dass die Definition von Sanierungszielwerten ein iterativer und nicht abgeschlossener Prozess ist. Ermessensspielraum, Verhältnismäßigkeit und ordnungsrechtliche Verantwortung führen dazu, dass sowohl Sanierungszielwerte für Boden und Wasser, Frachtbetrachtungen und wirtschaftliche Erwägungen verwendet werden, als auch verbale Einschätzungen (z.B. „wesentliche Verbesserung der Boden- und Wassersituation“).

Eine Festlegung vorläufiger Sanierungszielwerte erfolgt in der Regel im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und ist nicht Bestandteil einer Gefährdungsabschätzung. Die Festlegung der Sanierungsziele und Sanierungszielwerte erfolgt dabei durch die zuständige Fachbehörde (ggfs. auf Grundlage eines Vorschlags des Gutachters).

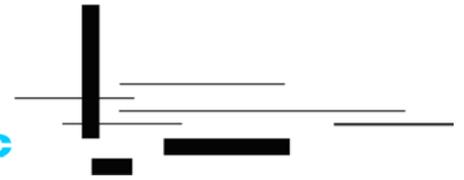
Verbal lassen sich die vorläufigen Schutz- und Sanierungsziele wie folgt formulieren:

- Mittel- bis langfristige Beseitigung der Gefahr für die Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer und Mensch unter Berücksichtigung der vorliegenden und projektierten Nutzung sowie des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes.

Eine Festlegung konkreter Sanierungszielwerte für die Kompartimente Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer ist derzeit nicht zielführend und stellt, wie bereits eingangs erwähnt, einen iterativen Prozess im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und der weiteren Sanierungsplanung dar.

Im Hinblick auf die Ausarbeitung einer Sanierungsuntersuchung wird vorgeschlagen, das Gesamtsanierungsgebiet zunächst in folgende Sanierungszonen zur unterteilen:

- Sanierungszone I: Schießsportanlage Waakhausen – Boden / Sickerwasser
- Sanierungszone II: Schießsportanlage Waakhausen - Grundwasser
- Sanierungszone III: Schießsportanlage Waakhausen - Entwässerungsgräben
- Sanierungszone IV: Oberflächengewässer Landwehrgraben / Viehlander Graben



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Die Sanierungszone I ist dabei durch Quellterme gekennzeichnet. Eine weitere Unterteilung der Sanierungszone I in Abhängigkeit von der Belastungssituation und den Teilbereichen (Zwischenmittelzonen, Scheibensplitterzonen und Niederschlagsbereichen, Schießanlagen etc.) wird dabei als sinnvoll erachtet.

Art und Umfang der Sanierungsmaßnahmen für die vorgenannten Sanierungszonen konkretisieren sich im Einzelnen erst im Rahmen der Sanierungsuntersuchung. Zum Beispiel könnte bei einer vollständigen Sanierung der Sanierungszone I (Schießsportanlage Waakhausen – Boden / Sickerwasser) das Erfordernis einer Sanierung der Sanierungszone II (Schießsportanlage Waakhausen – Grundwasser) obsolet werden und ein alleiniges Monitoring ausreichend sein. Zusammengefasst: Die oben gemachte Definition einer Sanierungszone beinhaltet noch nicht das zwingende Erfordernis einer aktiven Sanierungsmaßnahme.

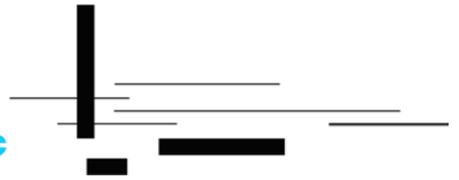
Bereits an dieser Stelle soll jedoch ergänzend bereits darauf hingewiesen werden, dass eine vollständige Sanierung der Verunreinigungen, insbesondere auch derer im Boden, unter hinreichender Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit als unrealistisch betrachtet wird.

8 Vorschläge zum weiteren Vorgehen

Auf Grundlage der für die Schießsportanlage Waakhausen (inkl. der angrenzenden Oberflächengewässer) vorliegenden Gefährdungssituation und dem daraus abgeleiteten Handlungsbedarf werden nachfolgend konkrete Vorschläge und Maßnahmen zum weiteren Vorgehen aufgezeigt:

Schießbetrieb

Eine Fortführung des Schießbetriebs am Standort auf den drei Anlagen für Skeet- und Trapschießen (seit Mai 2019 nicht in Betrieb) wird derzeit nicht empfohlen, um die bereits eingetretene Gefährdungssituation nicht weiter zu verschlimmern. Vielmehr sind bei diesen Anlagen zunächst Sanierungsmaßnahmen umzusetzen. Nach deren Umsetzung ist grundsätzlich ein Weiterbetrieb der Anlage vorstellbar, sofern eine erneute Gefährdung durch zukünftige Einträge von Bleischrot ausgeschlossen werden kann.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Ein Weiterbetrieb der Kugelstände „Laufender Keiler“, „Kurzwaffenstand“ und „100m-Kugelbahn“ wird derzeit, insbesondere vor dem Hintergrund, dass der Schießbetrieb in räumlich eindeutig „abgeschlossenen“ Anlagen erfolgt, als grundsätzlich möglich bewertet. Auch im Bereich der Kugelstände werden Sanierungsmaßnahmen zur Beseitigung der Verunreinigungen im Boden, insbesondere durch Blei, jedoch für erforderlich gehalten, um die Gefahr einer möglichen Verlagerung des Bleis im Boden über den Sickerwasserpfad bis in das Grundwasser zu unterbinden.

Für den seit längerem Zeitraum nicht in Betrieb befindlichen Schießstand „Kipphase“ ist aufgrund der hier nachgewiesenen Verunreinigungen durch Bleischrot eine Wiederinbetriebnahme ohne vorlaufende Sanierungsmaßnahmen nicht zu empfehlen.

Verwendung von Eisenschrot

Im Hinblick auf die am Standort relevanten Schutzgüter ist aus gutachterlicher Sicht eine zukünftige Verwendung von Eisenschrot anstelle von Bleischrot zu empfehlen.

Die Verwendung von Eisenschrot führt nur dann zu einer Minderung der Gefährdung des Bodens, Sicker- und Grundwassers sowie Oberflächengewässers (bedingt durch Bleischrot), wenn vor der Umstellung vorhandene Bleischrote geborgen und entsorgt beziehungsweise gesichert werden /20/. Andernfalls wird lediglich die Vergrößerung der mobilisierbaren Stoffgehalte im Bleischrot verhindert. Der Prozess der Korrosion von Bleischrot wird durch die „Zumischung“ von Eisenschrot nicht bzw. nicht ausreichend aufgehalten /21/.

Die Empfehlung zur Verwendung von Eisenschrot begründet sich insbesondere auf die in /3/ diesbezüglich durchgeführten Betrachtungen. Darin heißt es, dass mit Ausnahme von Eisen alle unter waffentechnischen Aspekten zur Substituierung von Blei in Frage kommenden Stoffe bzw. ihre Verwitterungsprodukte ebenfalls als wassergefährdend einzustufen sind und deshalb nicht als in Betracht kommende Ersatzstoffe angesehen werden können. Als einzige marktfähige Alternative zu Bleischrot wird Eisenschrot genannt, welches aus mehr als 99 Gew.-% Eisen besteht und bedenkliche Schwermetalle nur in geringen Spuren enthält (< 0,1 Gew.-% Chrom; < 0,3 Gew.-% Kupfer; < 0,2 Gew.-% Nickel; < 0,01 Gew.-% Zink; < 0,03 Gew.-% Molybdän; < 0,35 Gew.-% andere Stoffe: Mangan, Schwefel, Silizium, Phosphor, Kohlenstoff).

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Des Weiteren lautet es in /3/, dass die Auswirkungen der unter natürlichen Bedingungen entstehenden Eisenverbindungen auf den Boden, das Wasser sowie auf Flora und Fauna allgemein als vernachlässigbar im Vergleich zu Blei angesehen werden können. Mit einer Umstellung auf Eisenschrot würde eine Reduzierung des Schwermetalleintrags um mehr als 99 % gegenüber dem herkömmlichen Schießbetrieb mit Bleischrot erreicht.

Allerdings existieren in Deutschland aktuell keine gesetzlichen Einschränkungen zur Verwendung von Bleischrot beim Scheibenschießen.

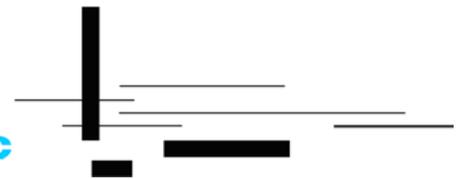
Ergänzend sei angemerkt, dass die EU-Staaten am 3. September 2020 Einigung darüber erzielt haben, dass es bei der Jagd in und über Feuchtgebieten künftig ein Verbot bleihaltiger Schrotmunition geben wird (bei einer Übergangsfrist von zwei Jahren).

Sicherungsbauwerk

Das Sicherungsbauwerk weist in Teilbereichen an der Oberfläche Verformungen auf. Es besteht daher der Verdacht, dass das wesentliche Dichtungselement „Kunststoffdichtungsbahn (KDB)“ so stark beansprucht wird, so dass zukünftig Undichtigkeiten nicht ausgeschlossen werden können.

Er wird daher empfohlen, im Zuge der Sanierungsuntersuchung zeitnah zu prüfen, in welcher Art und in welchem Umfang Maßnahmen zur langfristigen Optimierung des Sicherungsbauwerkes erforderlich werden.

Als sogenannte „Ad hoc“-Maßnahme wird ein Abpumpen des belasteten Sickerwassers aus dem Sicherungsbauwerk und eine anschließende ordnungsgemäße Entsorgung des Abpumpwassers empfohlen.



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

Sicherung der Schießsportanlage gegen unbefugtes Betreten

Auf dem Gelände der Schießsportanlage besteht in den Depositionsbereichen die Möglichkeit eines direkten Kontaktes (Wirkungspfad Boden – Mensch) mit Bleischrot. Deshalb wird empfohlen das Gelände der Schießsportanlage gegen ein unbefugtes Betreten umlaufend mittels Zaunanlage zu sichern.

Das alleinige Aufstellen von Warnschildern wird als nicht ausreichend erachtet, weil dadurch ein unbefugter Zutritt, z. B. durch spielende Kinder, häufig nur ungenügend unterbunden werden kann.

Sanierungsvariantenstudie

Auf Grundlage der Ergebnisse der Detailuntersuchungen sollte kurzfristig die Ausarbeitung einer Sanierungsvariantenstudie erfolgen. Diesbezüglich sind zunächst in Abstimmung mit den Projektbeteiligten die vorläufigen Sanierungsziele zu definieren. Darauf basierend können dann unter Berücksichtigung technischer, ökologischer sowie wirtschaftlicher Kriterien / Auswirkungen einzelne Sanierungsvarianten entwickelt und bewertet werden.

Die Kosten für die Ausarbeitung einer Sanierungsvariantenstudie werden unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten aus vergleichbaren Projektumfängen mit ca. 30.000 EUR bis 35.000 EUR abgeschätzt.

Ausräumen vorhandener Kenntnisdefizite

Im Zuge der Auswertung der Ergebnisse der Rastererkundungen haben sich Kenntnisdefizite zur Belastungssituation für die folgenden Teilbereiche ergeben, die im Vorfeld etwaiger Sanierungsmaßnahmen ausgeräumt werden sollten:

Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

- Flächen, die nordwestlich und nordöstlich an das Gelände der Schießsportanlage angrenzen:

Hier erfolgten keine altlastentechnischen Erkundungen, da diese Flächen nicht mehr zum vertraglich vereinbarten Untersuchungsgebiet gehörten. Die aktuellen Ergebnisse lassen jedoch vermuten, dass der Niederschlag von Bleischrot, wenn auch in vergleichsweise geringen Mengen, bis in die nordwestlich und nordöstlich an das Gelände der Schießsportanlage angrenzenden Flächen erfolgt ist. Es wird empfohlen, diese Kenntnisdefizite zeitnah auszuräumen.

- Grundwasserumfeld Schießsportanlage Waakhausen:

Hier ist noch zu überprüfen, ob die im Grundwasser des Geländes der Schießsportanlage erhöht festgestellten Schadstoffkonzentrationen sich tatsächlich nur vergleichsweise lokal auf das Gelände selbst beschränken und sich nicht darüber hinaus ausgebreitet haben. In diesem Zusammenhang sollten auch die hydrogeologischen Standortverhältnissen nochmals aktualisierend erfasst werden.

- Oberflächengewässer:

Hinsichtlich der Oberflächengewässer wird empfohlen zu prüfen inwieweit möglicherweise eine Verfrachtung von Schadstoffen aus dem Bereich der Schießsportanlage über den Landwehrgraben / Viehlander Graben hinaus über den Waakhauser Kanal bis in die Hamme erfolgt.

Unabhängig von der Ausräumung der vorgenannten Kenntnisdefizite sollte die Entwicklung der Belastungssituation im Grundwasser und Oberflächengewässer durch ein regelmäßiges Monitoring weiter erfasst und beurteilt werden.

Die Kosten für das Ausräumen der Kenntnisdefizite lassen sich überschlägig auf ca. 15.000 bis 20.000 EUR abschätzen.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

Anwohnerinformation

Die Nutzer / Pächter / Eigentümer der an den Landwehrgraben und den Viehlander Graben (Abschnitt Messstellen GW-2 bis GW-4) angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen sollten informiert werden, dass das Wasser aus den Oberflächengewässern infolge der festgestellten erhöhten Schadstoffkonzentrationen (z. B. zur Bewässerung von Nutzpflanzen) derzeit nicht benutzt werden sollte, auch wenn von einer unmittelbaren Gefährdung nicht auszugehen ist.

Aushubtätigkeiten

Bei eventuell erforderlichen Erdarbeiten, z. B. durch Bautätigkeiten sind unter Berücksichtigung der Belastungssituation entsprechende Maßnahmen bezüglich Arbeits- und Gesundheitsschutz zu berücksichtigen sowie eine fachgerechte Entsorgung / Verwertung von gegebenenfalls anfallenden Aushubmaterialien zu gewährleisten.

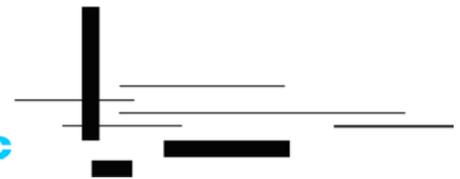
Zu berücksichtigen ist grundsätzlich, dass bei Erdarbeiten (z. B. im Zuge von Bauvorhaben) belastete Aushubmaterialien anfallen werden. Der Umgang mit diesen Materialien ist einzelfallbezogen gefahrenanalytisch zu betrachten und zu bewerten.

Bremen, 24. Februar 2020

Bearbeiter:
Dipl.-Geol. Lars Levermann

Dr. Konertz *

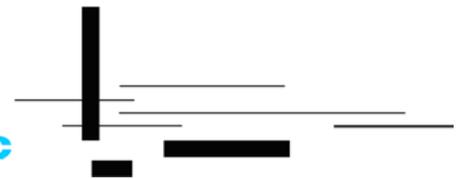
* Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger gemäß § 36 GewO für Untersuchung und Sanierung von Boden- und Wasserverunreinigungen sowie Sachverständiger nach § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz für die Sachgebiete Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden - Gewässer (Sachg. 2) sowie Sanierung (Sachg. 5)



Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG

9 Unterlagen

- [1] Bericht über Bodenbelastung durch Bleischrotdepositionen auf der Trap- und Skeetanlage; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dr. G. Crößmann Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt - Joseph-König-Institut; März 1991.
- [2] Schichtenverzeichnisse und Grundwasseranalysen zu den GÜN-GW-Meßstellen Worpswede und Umgebung; Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, Februar 1996.
- [3] Grundwasserlisten und Schichtenverzeichnisse zur Beurteilung der Grundwassersituation im Bereich Waakhausen (UWO 108, 109, 174, 186, BDF 029); Staatliches Amt für Wasser und Abfall Verden, Februar 1996.
- [4] Gutachten zur geologischen-hydrologischen Bestandsaufnahme; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Umtec Ingenieurgesellschaft Prof. Biener, Dipl.-Ing Sasse; Mai 1997.
- [5] Mitteilung über die Eintragung zum Biotopschutz gem. § 28 NNatG; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; Landkreis Osterholz, untere Naturschutzbehörde; Mai 1997.
- [6] Untersuchungskonzept zur Untersuchung der Boden- und Grundwasserverhältnisse auf dem Gelände des Nordwestdeutschen Trainingszentrums für Olympischen Schießsport zur Beweissicherung und Beurteilung der möglichen Umwelteinwirkungen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 1998.
- [7] Untersuchungskonzept zur Untersuchung der Boden- und Grundwasserverhältnisse zur Beweissicherung und Beurteilung der möglichen Umwelteinwirkungen; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 1998.
- [8] Ergebnisbericht - Untersuchung von Bodenbelastungen; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 1999.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [9] Ergebnisbericht - Untersuchung zur Grundwassersituation; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Suderburger Umwelt GmbH; März 2000.
- [10] Überwachungsprogramm Wurfscheibenanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; August 2000.
- [11] Boden- und Grundwasseruntersuchungen auf dem Gelände der Wurfscheibenanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; 2. Teil Beweissicherung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2000.
- [12] Bodenuntersuchung durch Dr. Oeller; Labor Dr. med. H.- W. Schiwara; Februar 2002.
- [13] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens am Schießplatz in Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des Landkreises Osterholz durch das Limnologische Institut Dr. Nowak; April 2002.
- [14] Boden- und Grundwasseruntersuchungen auf dem Gelände der Wurfscheibenanlage Waakhausen; Ergebnisbericht 3. Teil Beweissicherung; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2002.
- [15] Anzeige von Entwässerungsmaßnahmen; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Antrag auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis gem. § 10 NWG; Stiftung des Nordwestdeutschen Trainingszentrums für olympischen Schießsport; Mai 2002.
- [16] Machbarkeitsstudie - Sanierung und Umgestaltung der Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2002.
- [17] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Limnologisches Institut Dr. Nowak; Dezember 2002.
- [18] Boden- und Grundwasseruntersuchungen auf dem Gelände der Wurfscheibenanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; 4. Teil Beweissicherung; erstellt

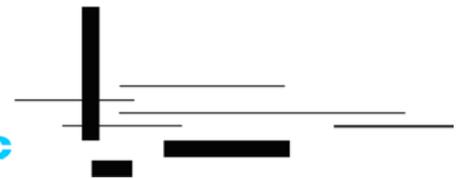
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 2003.

- [19] Sanierungsplan für die Wurfscheibenanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 2003.
- [20] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2003.
- [21] Ergebnisse der Wasseruntersuchung vom 30.06.2003; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 30.06.2003; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2003.
- [22] Ergebnisse der Wasser- und Sedimentuntersuchung vom 16.09.2003; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 3. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; September 2003.
- [23] Ergebnisse der Wasseruntersuchung vom 17.12.2003; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 4. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2003.
- [24] Ergebnisbericht Beweissicherung 2004; 27726 Worpsswede; Ergebnisse der Untersuchungen in 2004; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2004.
- [25] Boden- und Grundwasseruntersuchung, 5. Teil Beweissicherung; Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2004.
- [26] Ergebnisse der 6. Untersuchungen des Landwehrgrabens in 2004; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 6. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; August 2004.
- [27] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; August 2004.
- [28] Nachtrag zum Sanierungskonzept, Sanierungsuntersuchung; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Dipl.-Ing. J. H. Voss; September 2004.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [29] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2004.
- [30] Ergebnisse der 7. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 20.12.2004; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; Beweissicherung 7. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2004.
- [31] Ergebnisse der 8. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 28.04.2005; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; Beweissicherung 8. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2005.
- [32] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2005.
- [33] Ergebnisse der 9. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 17.10.2005; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; Beweissicherung 9. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Oktober 2005.
- [34] Ergebnisse der 10. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 09.12.2005; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; Beweissicherung 10. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2005.
- [35] Sanierungsplanung Schießstand Waakhausen - Bodenabtrag und gesicherter Einbau - Präparation des zukünftigen Schrotdepositionsbereichs; 27726 Worpswede; Büro für Rohstoff- und Umweltgeologie, BRUG GmbH, Kiel; Dezember 2005.
- [36] Bodenuntersuchungen Wellbrock; Schießanlage Waakhausen; Viehlander Str. 2; 27726 Worpswede; Prüfbericht Nr. 06-02247; erstellt im Auftrag des Landkreises Osterholz durch das Limnologische Institut Dr. Nowak; März 2006.
- [37] Prüfbericht; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag des Landkreises Osterholz durch das Limnologische Institut Dr. Nowak; März 2006.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [38] Ergebnisse der 11. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 12.02.2006; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 11. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 2006.
- [39] Ergebnisse der 12. Untersuchungen des Landwehrgrabens vom 17.03.2006; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; Beweissicherung 12. Untersuchung; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2006.
- [40] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2006.
- [41] Untersuchung Probenentnahme im Bereich Schießplatz Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des Landkreises Osterholz durch das Limnologische Institut Dr. Nowak; April 2006.
- [42] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2006.
- [43] Kontrolluntersuchung zur Abgrenzung der Bleischrotdeposition im Einwirkungsbereich der Wurfscheibenanlage; Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpsswede; erstellt im Auftrag des NWD Trainingszentrums für olympischen Schießsport durch Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2006.
- [44] Ergänzende Bodenuntersuchung außerhalb der Hauptdeposition; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2006.
- [45] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2006.
- [46] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juni 2006.
- [47] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2006.
- [48] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; August 2006.
- [49] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; September 2006.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [50] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Oktober 2006.
- [51] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens sowie Grundwasseruntersuchung; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2006.
- [52] Schießsportzentrum Waakhausen, Sanierungsplanung des Büro für Rohstoff- und Umweltgeologie GmbH vom 13.12.2005, Mein Schreiben zur Zustimmung vom 18.04.2006; Büro für Rohstoff- und Umweltgeologie, BRUG GmbH, Kiel; Dezember 2006
- [53] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Januar 2007.
- [54] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 2007.
- [55] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2007.
- [56] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2007.
- [57] Pegelstände Deponie; Vorsitzender Heuck; Juli 2007.
- [58] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens sowie Grundwasseruntersuchung; Dipl.-Ing. J. H. Voss; November 2007.
- [59] Messung der Pegelstände und Wallhöhen, Deponie, Vorsitzender Heuck; Juni 2008.
- [60] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juni 2008.
- [61] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; November 2008.
- [62] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2009.
- [63] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2009.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [64] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; April 2009.
- [65] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2010.
- [66] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; Mai 2010
- [67] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; Juni 2010
- [68] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Dezember 2010.
- [69] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; Mai 2011
- [70] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens sowie Grundwasseruntersuchung; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juni 2011.
- [71] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; November 2011.
- [72] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2012.
- [73] Prüfbericht über Wurfscheiben der Fa. Freier auf PAK; GLU mbH; Mai 2012.
- [74] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; Juni 2012
- [75] Untersuchung von Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juli 2012.
- [76] Planungsgutachten (19-31-KH) für die Wiederinbetriebnahme der Kipphasen-Schießanlage Schießstand Waakhausen in D 27726 Worpswede/ Waakhausen; Schorner Unternehmensberatung GmbH (Kiel); Juli 2012
- [77] Messung der Pegelstände, Deponie; Vorsitzender Heuck; November 2012
- [78] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Januar 2013.
- [79] Untersuchung von Oberflächenwasser aus dem Bereich des Landwehrgrabens; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Juni 2013.
- [80] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; November 2013.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [81] Bodenuntersuchung auf dem Grundstück Wellbrock an der Schießanlage Waakhausen; 27726 Worpswede; erstellt im Auftrag von J. Wellbrock durch die HPC AG; Dezember 2013.
- [82] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; April 2014.
- [83] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; August 2015.
- [84] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; März 2017.
- [85] Prüfbericht über Wurfscheiben auf PAK; Bureau Veritas; Februar 2018.
- [86] Berechnung der Schrotflugbahnen; Ingenieur Büro M. Walter; März 2018.
- [87] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Mai 2018.
- [88] Orientierende Baugrund- und Altlastenuntersuchung, Lärmschutzwall/ Baustraße; Umtec Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB; März 2018.
- [89] Ausbauplan für alle Bohrungen, Messstelle P4 bis P6 und Übersichtslageplan; R&R Pumpentechnik GmbH; Stelljes; Februar 2019
- [90] Untersuchung von Oberflächenwasser und Sedimenten aus dem Bereich des Landwehrgrabens, Untersuchung Grundwasser; Dipl.-Ing. J. H. Voss; Februar 2019.
- [91] Gutachterliche Stellungnahme Bleibelastung Bodensicherung, Prüfberichte 14021976 bis 14021987; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Februar 2019.
- [92] Gutachterliche Stellungnahme Bleibelastung Bodensicherung; Dr. Pirwitz Umweltberatung; März 2019.
- [93] Schießanlage Waakhausen; Bewertung der Ergebnisse der Beweissicherung vom 26.02.2019; Herr Harfst; März 2019
- [94] Bleibelastung in der vernässten Senke des Weges entlang des Nordoststrandes der „Wurst“; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Mai 2019

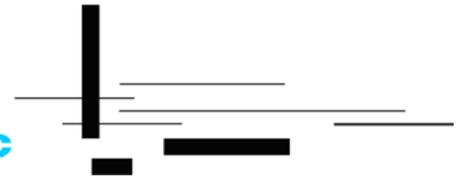
**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- [95] Gutachterliche Stellungnahme Bleibelastung Bodensicherung, Prüfbericht 14021984; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Februar 2019.
- [96] Rückhalt des Blei im Oberflächenabfluss; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Mai 2019.
- [97] Gutachterliche Stellungnahme Bleibelastung Bodensicherung, Prüfbericht 02051966; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Mai 2019.
- [98] Vermessung Bodensicherung; Dr. Pirwitz Umweltberatung; Mai 2019.
- [99] Planungsgutachten Wiederinbetriebnahme der Kipphasen- Schießanlage; Schorner Umweltberatung GmbH; Juli 2019.
- [100] Schadstoffgehalt Wasseruntersuchung Landwehrgraben ($\mu\text{g/l}$); Lk Osterholz, Umweltamt, 70.40; Oktober 2019
- [101] Schießanlage Waakhausen, Schadstoffgehalte im Sediment des Landwehrgrabens (mg/kg); Kreisabfallwirtschaft Osterholz, 70.40; Oktober 2019
- [102] Vergabeunterlagen „Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Durchführung einer Gefährdungsabschätzung gemäß § 9 BBodSchG“; erstellt im Auftrag des Landkreis Osterholz durch Umtec Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB; Dezember 2019.
- [103] Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen; Durchführung einer Gefährdungsabschätzung gemäß § 9 BBodSchG; Bericht zur Einarbeitung und Grundlagenermittlung erstellt im Auftrag des Landkreis Osterholz durch Umtec Prof. Biener | Sasse | Konertz, Partnerschaft Beratender Ingenieure und Geologen mbB; April 2020.

**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

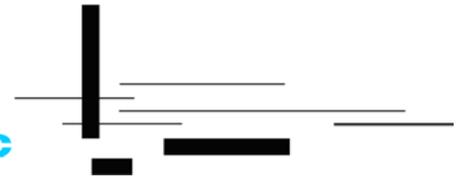
10 Literaturverzeichnis

- /1/ Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
- /2/ Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), Fassung vom 16. Juli 1999.
- /3/ Bodenbelastungen auf Schießplätzen – Bericht der UMK-Arbeitsgruppe als Material für Verwaltungsmaßnahmen; November 1998.
- /4/ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln – Allgemeiner Teil, 6. November 2003.
- /5/ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) M 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden); Stand: 05.11.2004.
- /6/ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) M 20; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln; LAGA „Bauschutt“; Stand: 06.11.1997.
- /7/ LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016, herausgegeben Januar 2017.
- /8/ Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die durch Artikel 255 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- /9/ Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- /10/ Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.
- /11/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Gewässer, Band II; 1998.
- /12/ Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfadef Boden-Mensch; Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz; 24. Oktober 2016.
- /13/ Erlass des Niedersächsischen Ministerium für Umwelt und Klimaschutz ("Abgrenzung von Bodenmaterial und Bauschutt mit und ohne schädliche Verunreinigungen nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)" vom 10. September 2010.
- /14/ Anforderungen an die Entsorgung von mineralischen Abfällen; Schreiben Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz; 2. November 2020
- /15/ Handreichung Qualifizierter Umgang mit mineralischen Abfällen und Ausbaustoffen im Straßenbau; Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr; September 2019 – Fassung 11/2020.
- /16/ Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte u. erweiterte Auflage, Hannover 2005.
- /17/ Koepke, C.; Die Ermittlung charakteristischer Bodenkennwerte der Torfe und Mudden Mecklenburg-Vorpommerns als Eingangsparameter für erdstatische Berechnungen nach Eurocode 7 / DIN 1054; Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät; 28. Juni 2014.



**Schießsportanlage Waakhausen, Niedersachsen;
Gutachten über eine Gefährdungsabschätzung gemäß §9 BBodSchG**

- /18/ Geofakten 21 - Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Februar 2011.
- /19/ Entwurf zur Novellierung der BBodschV (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, BR-Drs. 566/17, 17. Juli 2017).
- /20/ DIN 19740-2; Bodenbeschaffenheit – Umweltrelevante Anforderungen an den Bau und Betrieb von zivilen Schießstätten – Teil 2: Untersuchungen; April 2015.
- /21/ Tardy B. A., Bricka R. M., and Larson S. L. (2003): Chemical Stabilization of Lead in Small Arms Firing Range Soils; U.S. Army Engineer Research and Development Center - Environmental Laboratory ERDC/EL TR-03-20.