

Kurzbeschreibung zu

PlumBumRisk 1.0

ein Excel-Tool zur Gefährdungsabschätzung bei Schiessanlagen

Dezember 2011

Autoren und Urheberrecht

PlumBumRisk 1.0 wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) als Teil einer Masterarbeit am Institut für Geologie an der Universität Bern von Dominik Rosch (2009)¹ umgesetzt.

Copyright: BAFU - Bundesamt für Umwelt
(Bundesbehörde der Schweizerischen Eidgenossenschaft) 2011.
Das durch die Universität Bern im Auftrag des BAFU erstellte Programm PlumBumRisk unterliegt dem schweizerischen Urheberrechtsgesetz².

Fachliche Begleitung

Urs Eggenberger - Institut für Geologie - Universität Bern

Urs Mäder - Institut für Geologie - Universität Bern

Thomas Lepke - Bundesamt für Umwelt (BAFU) - Abteilung Boden

Haftung

PlumBumRisk 1.0 wurde mit grösster Sorgfalt entwickelt. Für die Richtigkeit von Resultaten, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Aktualität und Vollständigkeit des Programms sowie dessen Inhalt können weder das BAFU als Auftragsgeber noch die Universität Bern als Entwickler eine Gewährleistung übernehmen.

Das BAFU behält sich ausdrücklich vor, jederzeit das Programm selbst oder Teile davon ohne Ankündigung zu ändern oder zu löschen. Haftungsansprüche gegen das BAFU und die Universität Bern wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche durch die Nutzung oder nicht Nutzung von PlumBumRisk sowie dessen Resultate oder durch Störungen entstanden sind, werden ausgeschlossen.

Ausdrücklich ausgeschlossen werden Schäden, welche durch den unsachgemässen Umgang mit PlumBumRisk oder durch die Verwendung von Berechnungsergebnissen des Programms z.B. als Entscheidungsgrundlage in der Altlastenbearbeitung entstehen. Die durch PlumBumRisk generierten Ergebnisse können als Anhaltspunkte für die Abschätzung einer Gefahr, die von einem belasteten Standort ausgeht, betrachtet werden und sind als Ergänzung zu den Standarduntersuchungen zu betrachten.

¹ Rosch, D. 2009. Masterarbeit Institut für Geologie, Universität Bern. Mobilisierung von Schwermetallen bei belasteten Standorten. Fallstudie Deponie Oberfeld • Mobilität von Pb und Sb bei Schiessanlagen

² Bundesgesetz vom 9. Oktober 1992 über das Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz, URG, SR 231.1)

Beschreibung

PlumBumRisk 1.0 ist ein auf Microsoft Excel³ basierendes Tool, welches auf vereinfachende Art und Weise eine Abschätzung der maximalen Blei- (Pb) und Antimonkonzentration (Sb) im Abstrom von Schiessanlagen ermöglicht. Weiter besteht die Möglichkeit, eine Grössenordnung für die Rückhaltekapazität eines Bodens für Blei und Antimon abzuschätzen.

Als Grundlage für das Excel-Berechnungstool dienten Modellrechnungen mit PHREEQC⁴, wobei der ungesättigte und der gesättigte Bereich getrennt behandelt wurden. Bei der Umsetzung in die Tabellenkalkulation wird die Mobilisierung im ungesättigten Bereich stark vereinfacht und beim Transport im gesättigten Bereich wird v.a. die Verdünnung und die Dispersion berücksichtigt. Unter den getroffenen Annahmen der Pb/Sb-Freisetzung stellen die berechneten Konzentrationen im Abstrom Maximalwerte dar.

Primär wurde PlumBumRisk 1.0 als Hilfsmittel für eine erste Gefährdungsabschätzung für kantonale Fachstellen im Rahmen der Altlastenbearbeitung entworfen. Es steht jedoch auch weiteren Interessenten kostenlos zur Verfügung.

Einsatzgebiet

In der Schweiz existieren mehrere tausend stillgelegte und aktive Schiessanlagen. Viele dieser Anlagen sind gemäss Artikel 2 Altlasten-Verordnung⁵ sanierungsbedürftig. Es ist die Aufgabe der Kantone und Gemeinden zu kontrollieren, dass die Sanierungen gemäss Altlasten-Verordnung durchgeführt werden. Oft ist es jedoch schwierig, anhand der vorliegenden Berichte über das Gefährdungspotential und die Dringlichkeit von Massnahmen zu entscheiden. PlumBumRisk 1.0 erlaubt eine grobe Plausibilitätsabklärung hinsichtlich der Konzentrationen von Pb und Sb an einem bestimmten Betrachtungspunkt im Abstrom des Grundwassers sowie eine Abschätzung der Retentionskapazität des Untergrundes. Es dient somit als Hilfsmittel zur Priorisierung von Sanierungen bzw. kann zur Feststellung oder Verneinung einer Sanierungsbedürftigkeit beigezogen werden (vgl. Art. 9 Abs. 1 Bst. a AltIV in Verbindung mit Art. 9 Abs. 2 Bst. d AltIV).

³ Microsoft Excel ist ein eingetragenes Warenzeichen. PlumBumRisk ist ein kostenlos verteiltes Excel-Sheet.

⁴ PhreeqC ist ein Modellierungsprogramm des US Geological Service

⁵ Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV; SR 814.680)

Der Modellhintergrund und Aufbau

PlumBumRisk 1.0 besteht aus zwei Microsoft Excel Masken:

- 1) Maske „Konzentrationsberechnung“ zur Bestimmung der maximalen Konzentration von Blei und Antimon im Abstrombereich einer Schadstoffquelle.
- 2) Maske „Retentionsberechnung“ zur Abschätzung der Rückhaltekapazität eines Untergrundes.

Grundlagen der Betrachtung

Im Folgenden sind die in PHREEQC verwendeten Grundlagen für die Vereinfachung und Umsetzung in die Excel-Masken kurz zusammengefasst. Eine ausführliche Beschreibung kann bei den Autoren angefordert werden.

Für eine modellhafte Betrachtung wurde die Quelle der Kontamination (Ober- und Unterboden), die Ausbreitung durch den ungesättigten Untergrund und der Transport im gesättigten Bereich betrachtet. Basierend auf den Modellrechnungen von Wersin (2007)⁶ wurden die wichtigsten Prozesse (Abb. 1) mit dem geochemischen Modellierungsprogramm PHREEQC abgebildet.

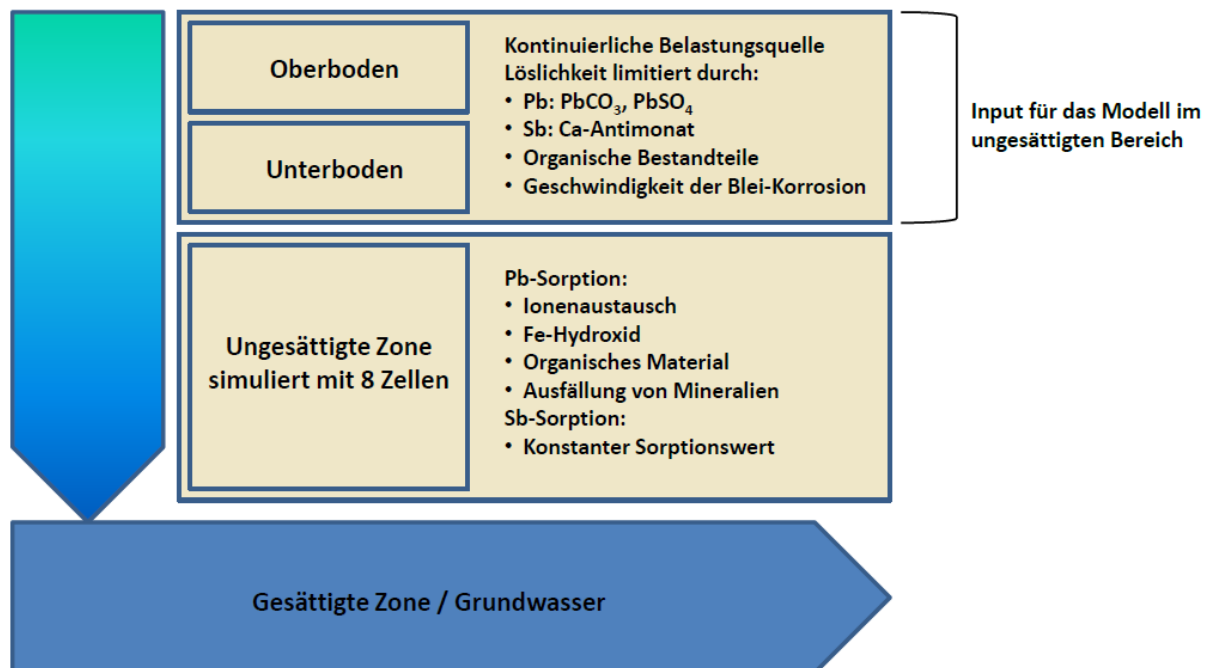


Abb. 1: Schematische Darstellung der berücksichtigten Prozesse

⁶ Wersin, P. (2007): Gefährdung von Grundwasser durch Schiessanlagen, Blei und Antimon; im Auftrag des BAFU, Geotest Bericht Nr. 00174.3

Schadstofffreisetzung und der ungesättigte Bereich

Für die Sb-Freisetzung wurde eine konstante Quelle angenommen, die dem chemischen Gleichgewicht mit Ca-Antimonat entspricht. Die Sb-Retention wird als konstanter Sorptionswert (K_d) von 20 l/kg definiert. Der K_d -Wert wurde aus Sorptions-Desorptionsexperimenten abgeschätzt. Diese Annahmen sind plausibel, da die Sorption über einen weiten pH-Bereich und für unterschiedliche Konzentrationen als konstant angenommen werden kann.

Für Blei wurde das Modell komplexer aufgebaut. Für den ungesättigten Bereich wird ein gegenüber der Atmosphäre zehnfach erhöhter CO_2 -Partialdruck, sowie für Bodenwasser typische Gehalte an Calcium, Natrium, Sulfat und Chlorid verwendet. Das Sickerwasser wird im Gleichgewicht mit Anglesit, Cerrusit, Gibbsite und je nach Szenario mit Calcit berechnet.

Der ungesättigte Bereich wird in acht Zellen aufgeteilt. Die laterale Dispersion wird nicht berücksichtigt, da sie über kurze Distanzen nicht von Bedeutung ist. Es wurde mit einer konstanten Infiltrationsrate gerechnet. Im Modell wird das Blei- und Antimonreservoir nicht aufgebaut.

Vor allem für Pb hängt die Retentionskapazität stark vom Untergrund ab. Der Gehalt an Tonmineralien und an Eisenhydroxyden sowie der Calcitanteil sind hier die massgebenden Faktoren. Bei einem Calcit freien Untergrund wird der Durchbruch und damit das Infiltrieren von Pb und Sb ins Grundwasser viel schneller erreicht. Das Vorhandensein von Calcit puffert in diesem Fall die Löslichkeit von Blei. Weiter lagert sich Blei durch Ionenaustausch in Tonmineralien und an Oberflächen von Eisenhydroxiden an, was den Gehalt an gelöstem Pb und Sb senkt und den Transport retardiert.

In der untenstehenden Grafik werden die Auswirkungen für verschiedene Annahmen (kein Karbonat, 1% Karbonat oder 10% Karbonat) ersichtlich: ohne vorhandenes Karbonat entspricht die Konzentration des Wassers, das den ungesättigten Bereich verlässt, der Infiltrationskonzentration von 0.66 mg/l Pb. Bei einem Karbonatgehalt von 10% ist die Konzentration bedeutend geringer, da diese durch das Bleikarbonat kontrolliert wird und bei einem Karbonatgehalt von 1% wird ein Durchbruch beobachtet, sobald sämtliches Karbonat gelöst wurde und der Karbonatpuffer nicht mehr wirksam ist. Dabei wird das sorbierte Pb bei einem plötzlichen pH-Abfall sehr schnell mobilisiert und die Konzentrationen können ein Vielfaches der Infiltrationskonzentration erreichen.

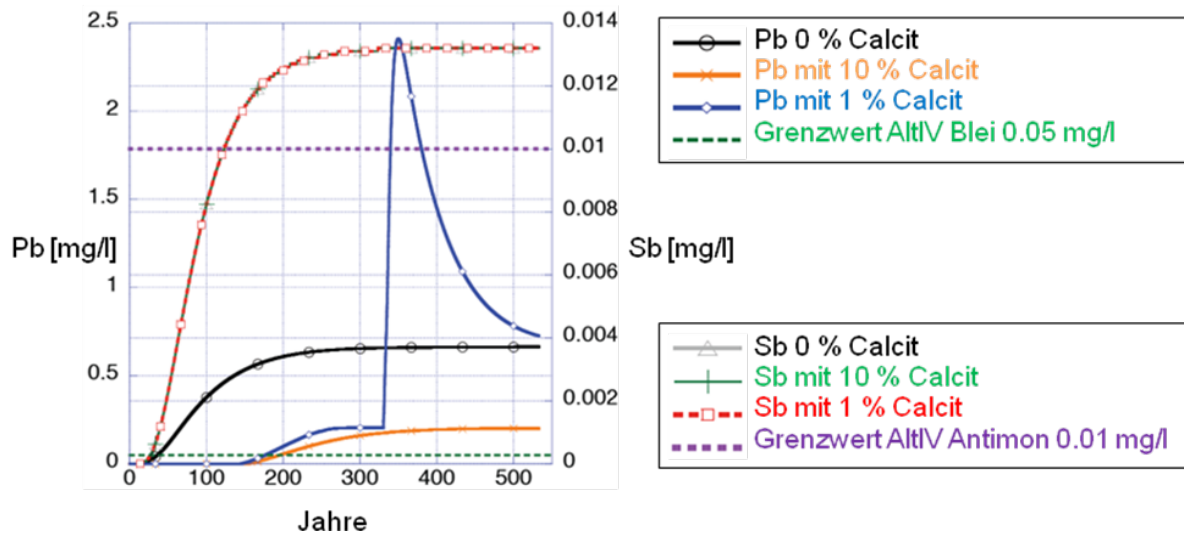


Abb. 2:

Durchbruchskurven von Blei und Antimon aus dem ungesättigten Bereich bei unterschiedlichen Calcitgehalten. Die Inputkonzentrationen des Porenwassers sind konstant und betragen 0.66 mg/l Pb und 0.0132 mg/l Sb

Der gesättigte Bereich

Das oben diskutierte Porenwasser infiltriert dann in den gesättigten Bereich. Ist die Retentionskapazität im ungesättigten Bereich erschöpft, so infiltriert das im Porenwasser gelöste Pb und Sb in Mengen entsprechend den Durchbruchskurven ins Grundwasser. Der Input ist abhängig von der Niederschlagsmenge, der durchflossenen Fläche, der Porosität und der Retentionskapazität des Untergrundes. Im gesättigten Bereich wirken dieselben geochemischen Prozesse wie im ungesättigten Bereich, zusätzlich werden aber die Dispersion und die Verdünnung sehr wichtig.

Prozesse die in PlumBumRisk 1.0 berücksichtigt werden

Im Boden werden Projektilfragmente abgelagert und Blei und Antimon werden durch Verwitterungsreaktionen freigesetzt. Die Verwitterung ist dabei stark vom Standort abhängig (Niederschlag, organischer und mineralischer Gehalt des Bodens usw.). PlumBumRisk verwendet hier lediglich fixe Lösungsraten für Karbonat führende und Karbonat freie Untergründe. Für die Berechnung der Mengen der freigesetzten Schwermetalle wird die Jahresniederschlagsmenge berücksichtigt. Die Retardation im ungesättigten Bereich wird in PlumBumRisk nicht berücksichtigt, da sich erst über sehr lange Zeiträume ein stationärer Zustand einstellt, welcher für die Gefährdungsabschätzung massgebend ist.

Wie viel vom gelösten Blei und Antimon in der gesättigten Zone verbleibt, ist stark vom Gehalt an Tonmineralien (Ionenaustausch) und Eisenhydroxiden (Oberflächensorption) abhängig. Ist die Sorptionskapazität der gesättigten Zone ausgeschöpft, so wird sich eine konstante Konzentration einstellen (stationärer Zustand). In PlumBumRisk wird lediglich diese Konzentration berechnet. Die wichtigsten Prozesse sind hier die Verdünnung sowie die Dispersion. Die Menge an Schwermetallen, die in einem bestimmten Abstand zur Quelle retardiert wird, kann mit der zweiten Eingabemaske abgeschätzt werden. Damit lässt sich eine Größenordnung der Menge der Metalle abschätzen, welche zwischen der Belastungsquelle und dem Beobachtungspunkt (im Untergrund) zurückgehalten werden.

Für die Berechnungen im ungesättigten Bereich werden folgende Kenngrössen verwendet:

- Porosität 30%, wovon $\frac{2}{3}$ mit Wasser gesättigt sind,
- Versickerungsrate von $\frac{1}{3}$ des durchschnittlichen Jahresniederschlages, was gemäss dem Darcy-Gesetz eine lineare Porenwassergeschwindigkeit von 1.5 m/a ergibt.

Im gesättigten Bereich wird ein Dispersionskoeffizient von 10% verwendet.

Anleitung zur Bedienung von PlumBumRisk 1.0

Für den Gebrauch von PlumBumRisk 1.0 wird das Programm Microsoft Excel benötigt. Das Dokument enthält im Sheet „Eingabe“ zwei Masken (Abb. 3a & 3b). Abbildung 3a dient zur Konzentrationsberechnung im Abstrom (mit Grafik). Abbildung 3b dient zur Abschätzung der Retentionskapazität des Untergrundes in Bezug auf eine Distanz im Abstrom. Das zweite und dritte Sheet (Linesource; Retentionskapazität) enthalten die Formeln und Konstanten zur Berechnung der maximalen Blei- und Antimonkonzentration sowie der Retentionskapazität. Sie dienen PlumBumRisk 1.0 als Datenbank im Hintergrund und können vom Anwender nicht verändert werden. Das Dokument kann allerdings entsperrt werden, wenn der Schreibschutz mit dem Passwort „plumbum“ aufgehoben wird.

Ermittlung des Szenarios/Bestimmung von C_0 Blei	Symbol	Einheit	Eingabefenster
Calcitgehalt des Bodens > 2 Gew.-% Eingabe: Ja/-			Ja
Calcitgehalt des Bodens < 2 Gew.-% Wenn ja, dann Blei-Porenwasserkonzentration eines Messwerts oder eines Erfahrungswerts eingeben in mg/l Eingabe: Wert/-		mg/l	-
Gipsgehalt des Bodens ca. 30% oder 960 mg/l Sulfat im Grundwasser Eingabe: Ja/-			-
Systemgrößen			
Jährlicher Niederschlag	N	m ³ /m ² a	1
Breite Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	B	m	4
Länge Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	L	m	20
Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	T	m	2
Grundwasserfliessgeschwindigkeit	V	m/d	0.5
Winkel zwischen Grundwasser und Kugelfang, 0° wenn Grundwasserstrom und Kugelfang parallel sind Eingabe: 0°-90° bzw. „-“ wenn keine ausgeprägte Form des Kugelfangs (Länge≈Breite) gegeben ist	γ	°	45
Input-Werte gestützt durch die geochemischen Modellierungen mit PHREEQC			
Input-Konzentration Blei, je nach Wahl des Szenarios verschieden	Co Pb	mg/l	0.2
Input-Konzentration Antimon, beträgt $1/50$ der Bleikonzentration	Co Sb	mg/l	0.004

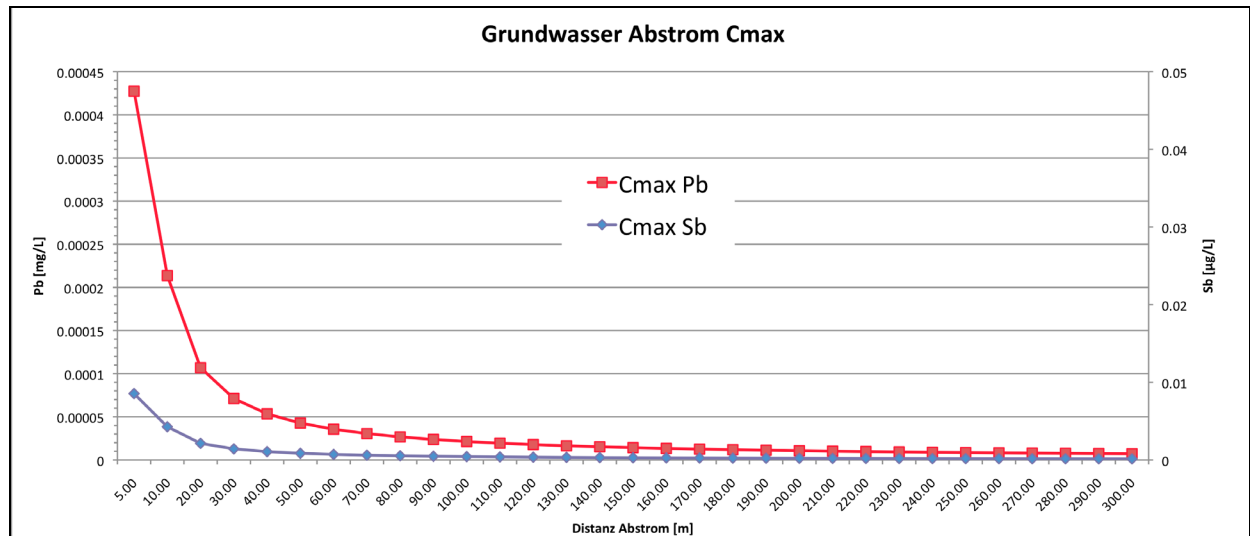


Abb. 3a: Maximale Pb- / Sb-Konzentration im Abstrom

Beurteilung der Retentionskapazität des Untergrundes	Symbol	Einheit	Eingabefenster
Verbleibende Bleibelastung des Untergrundes nach Sanierung	Cs	mg/kg	1000
Länge der sanierten Fläche	Ls	m	20
Breite der sanierten Fläche	Bs	m	60
Sanierungsfläche	As	m ²	1200
Mittlere Tiefe der Bleibelastung im Untergrund	Ts	m	0.5
Mittlerer Tongehalt des Untergrundes	Ex	%	7.5
Mittlerer Eisenoxidgehalt	Fe	%	0.25
Unterströmungsbreite in Abstromrichtung ($B_s \leq B_u \leq L_s$)	Bu	m	6
Länge des Aquifers (Betrachtungspunkt)	Laq	m	100
Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	Baq	m	2
Verhältnis der Anzahl an maximal löslichen Blei- und Antimonatomen zur Anzahl der Retentionsplätze	Vr	-	0.35

Abb. 3b: Abschätzung der Retentionskapazität des Untergrundes

Parameterbeschreibung

Abbildung 4 zeigt die mit Microsoft Excel erstellte Maske zur Ermittlung der maximalen Pb/Sb-Konzentration im Grundwasser. Die grün markierten Felder müssen manuell eingegeben werden. Die orange gefärbten Felder sind die aus den Eingabewerten ermittelten Werte, welche dem Infiltrat aus dem ungesättigten- in den gesättigten Bereich entsprechen.

	Ermittlung des Szenarios/Bestimmung von C_0 Blei	Symbol	Einheit	Eingabefenster
a	Calcitgehalt des Bodens > 2 Gew.-% Eingabe: Ja/-			Ja
b	Calcitgehalt des Bodens < 2 Gew.-% Wenn ja, dann Blei-Porenwasserkonzentration eines Messwerts oder eines Erfahrungswerts eingeben in mg/l Eingabe: Wert/-		mg/l	-
c	Gipsgehalt des Bodens ca. 30% oder 960 mg/l Sulfat im Grundwasser Eingabe: Ja/-			-
	Systemgrößen			
d	Jährlicher Niederschlag	N	m ³ /m ² a	1
e	Breite Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	B	m	4
f	Länge Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	L	m	20
g	Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	T	m	2
h	Grundwasserfliessgeschwindigkeit	V	m/d	0.5
i	Winkel zwischen Grundwasser und Kugelfang, 0° wenn Grundwasserstrom und Kugelfang parallel sind Eingabe: 0°-90° bzw. „-“ wenn keine ausgeprägte Form des Kugelfangs (Länge/Breite) gegeben ist	γ	°	45
	Input-Werte gestützt durch die geochemischen Modellierungen mit PHREEQC			
j	Input-Konzentration Blei, je nach Wahl des Szenarios verschieden	C_0 Pb	mg/l	0.2
k	Input-Konzentration Antimon, beträgt $\frac{1}{50}$ der Bleikonzentration	C_0 Sb	mg/l	0.004

Abb. 4: Maske zur Ermittlung der maximalen Pb- / Sb-Konzentration im Grundwasser

Parameter	Beschreibung
a	Beträgt der Calcitgehalt des Bodens > 2 Gew.-%, so ist die maximale Bleikonzentration ausreichend durch das Ausfällen von Cerrusit gepuffert. Die Bleikonzentration im Porenwasser ist gering. Wird dieses Feld mit „Ja“ gesetzt, so rechnet PlumBumRisk 1.0 mit einer Inputkonzentration von 0.2 mg/l. Auf die Antimonkonzentration hat der Calcit keinen Einfluss.
b	Bei einem Calcitgehalt von < 2 Gew.-% ist die Pufferung zeitlich begrenzt und die Bleikonzentration im Porenwasser steigt über sehr lange Zeit an. PlumBumRisk 1.0 hat für diesen Fall eine Bandbreite von 0.2 bis 10 mg/l als Inputkonzentration.
c	Hat der Boden einen hohen Gipsgehalt (im Bereich > 30 %) und / oder ist das Grundwasser sehr sulfatreich, so wird die Bleikonzentration im Porenwasser durch das Ausfällen von Anglesit gepuffert. Dies ist jedoch höchst selten der Fall. PlumBumRisk 1.0 rechnet mit einer Blei-Inputkonzentration von 3 mg/l im Porenwasser.
d	PlumBumRisk 1.0 verwendet vom jährlichen Niederschlag 1/3 als infiltrierendes Sickerwasser.
e / f	Für die Berechnung der Massenbilanz.
g	Abstand zwischen Terrainoberkante und Grundwasserspiegel (Flurabstand).
h	Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers in Meter pro Tag.
i	In Abhängigkeit des Winkels zwischen dem Grundwasserstrom und dem Kugelfang einer Schiessanlage resultieren unterschiedliche <u>Konzentrationen</u> an einem Punkt im Abstrom. Fliesst der Grundwasserstrom parallel (0°) zur Länge des Kugelfangs, kommt es zu einer Summierung der Konzentrationen pro Flächeneinheit (in m^3/m^2). Steht der Grundwasserfluss senkrecht zum Kugelfang, wird die gerechnete Konzentration geringer ausfallen. Es wird ein Faktor in Abhängigkeit des Winkels ermittelt. Die Frachten ändern sich jedoch nicht.
j	Die aufgrund des Szenarios verwendete Pb-Inputkonzentration vom ungesättigten in den gesättigten Bereich. Die Inputkonzentration ist die Konzentration, welche mit dem Porenwasser ins Grundwasser eintritt.
k	Auf Grund des Szenarios verwendete Sb-Inputkonzentration. Die Inputkonzentration ist die Konzentration, welche mit dem Porenwasser ins Grundwasser eintritt. In diesem Werkzeug wird die Sb-Konzentration immer als $1/50$ der Pb-Konzentration angenommen, - dies obwohl die Antimonkonzentration nicht vom Calcitgehalt abhängig ist.

Abbildung 5 zeigt die Microsoft Excel Maske zur Abschätzung der Retentionskapazität des gesättigten Bereiches. Die grün gefärbten Felder müssen manuell eingegeben werden. Weiss gefärbte Felder sind Zwischenresultate, welche PlumBumRisk 1.0 zur Berechnung der Retentionskapazität (oranges Feld) aufgrund der Eingabewerte ermittelt.

Beurteilung der Retentionskapazität des Untergrundes		Sym- bol	Ein- heit	Eingabe- fenster
q	Verbleibende Blei Belastung des Untergrundes nach Sanierung	Cs	mg/kg	1000
r	Länge der sanierten Fläche	Ls	m	20
s	Breite der sanierten Fläche	Bs	m	60
	Sanierungsfläche	As	m ²	1200
t	Mittlere Tiefe der Bleibelastung im Untergrund	Ts	m	0.5
u	Mittlerer Tongehalt des Untergrundes	Ex	%	7.5
v	Mittlerer Eisenoxidgehalt	Fe	%	0.25
w	Unterströmungsbreite in Abstromrichtung ($B_s \leq B_u \leq L_s$)	Bu	m	6
x	Länge des Aquifers (Betrachtungspunkt)	Laq	m	100
y	Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	Baq	m	2
z	Verhältnis der Anzahl an maximal lösbaaren Blei- und Antimonatomen zur Anzahl der Retentionsplätze	Vr	-	0.35

Abb. 5: Maske zur Ermittlung der Rückhaltekapazität eines Untergrundes

Parameter	Beschreibung
q	Vorhandene oder nach der Sanierung verbleibende Bleibelastung des Untergrundes
r / s	Die Dimensionen der sanierten Fläche
t	Die mittlere Tiefe der Bleibelastung im Untergrund
u	Je höher der Gehalt an Tonmineralien ist, umso mehr Austauschplätze stehen zur Verfügung. Der Ionenaustausch nimmt somit zu und die Schadstoffe werden eher zurückgehalten
v	Je höher der Gehalt an Eisenhydroxiden ist, desto mehr Oberfläche stehen den Pb- und Sb-Atomen zur Sorption zur Verfügung
w	Unterströmungsbreite in Abstromrichtung ($B_s \leq B_u \leq L_s$)
x	Die Distanz zwischen der verbleibenden Belastung und dem Betrachtungspunkt
y	Mächtigkeit des Grundwasserleiters (eigentlich Tiefe in welche das infiltrierende Wasser eindringt !)
z	Das Verhältnis der maximal lösbaaren Pb- und Sb-Atome und der Anzahl Retentionsplätze bewegt sich im Idealfall zwischen 0.1 und 1. Ist es >1, so wird weiterhin gelöstes Pb und Sb ins Grundwasser vordringen - bei Werten < 0.5 wirkt der Untergrund als geogene Barriere!

Beurteilung der Resultate und Grenzen des Tools

Die mit PlumBumRisk 1.0 erhaltenen Resultate sind mit Vorsicht zu verwenden. Sie dienen als grobe Gefährdungsabschätzung und als Hilfe bei der Definition von Sanierungszielen. PlumBumRisk 1.0 kann und soll aber nicht als einziges Hilfsmittel bei der Formulierung von Sanierungszielen eingesetzt werden.

PlumBumRisk 1.0 ist nur für Blei und Antimon anwendbar. Das Verhalten anderer Schwermetalle (z.B. Chrom) oder Organika können mit PlumBumRisk 1.0 nicht ermittelt werden. Weitere Vereinfachungen bestehen darin, dass keine Zeit abhängige Betrachtung möglich ist und die Sb-Konzentration unabhängig vom Szenario konstant bleibt (sie beträgt im Modell immer $1/50$ der Pb-Konzentration).

Anwendungsbeispiel von PlumBumRisk 1.0

Ausgangslage

Der Zeigerstand einer Schiessanlage liegt in der Grundwasserschutzzone S3, der Kugelfang im Bereich A_u. Gemäss VASA ist ein Sanierungsziel von 1'000 mg/kg Pb angebracht und anrechenbar. 40 m in Abstromrichtung beginnt die Zone S2. Für die Zonen S1 und S2 besteht aus Vorsorgeerwägungen die Möglichkeit von tieferen Sanierungszielen (300 mg/kg Pb). Die Gemeinde macht nun ohne Belege geltend, dass der Rückhalt des Untergrundes gering sei und die Durchlässigkeit hoch. Infolge dessen und wegen der Nähe zur Zone S2 definiert sie ein Sanierungsziel von 300 mg/kg Pb. Um in diesem Fall zu prüfen, ob ein Sanierungsziel von 300 mg/kg Pb vertretbar ist und damit gemäss VASA abgeltungsfähig ist oder eben nicht, kann PlumBumRisk sinnvoll eingesetzt werden.

Die verwendeten Werte

Da die Rückhaltekapazität als gering angegeben wird, liegt der Calcitgehalt unter 2 Gew.-%. Im Feld „Calcitgehalt des Bodens > 2 Gew.-%“ wird ein „-“ eingetragen. Im Feld „Calcitgehalt des Bodens < 2 Gew.-%“ wird ein Wert zwischen 0.2 mg/l und 10 mg/l eingetragen. Da die Rückhaltekapazität als gering angegeben wird, wird hier ein eher kleiner Wert von z.B. 3.6 mg/l eingegeben. Das Feld „Gipsgehalt des Bodens ca. 30% oder 960 mg/l Sulfat im Grundwasser“ wird ebenfalls mit „-“ ausgefüllt.

Der jährliche Niederschlag wird hier z.B. mit 1.6 m³/m² pro Jahr angegeben. Die Grösse des Kugelfanges, die Tiefe des Aquifers und die Grundwassergeschwindigkeit werden entsprechend dem Sanierungsprojekt eingetragen. Exemplarisch wird hier von einer Fläche von 20 x 10 m, einer Aquifertiefe von 5 m und einer Grundwassergeschwindigkeit von 1 m / Tag ausgegangen. Der Winkel zwischen dem Kugelfang und der Grundwasserfliessrichtung beträgt in diesem Beispiel 45°. Der Winkel kann i.d.R. anhand von Kartenmaterial abgeschätzt werden. Die oben erwähnten Werte werden entsprechend in die Maske zur Ermittlung der maximalen Pb/Sb-Konzentration im Grundwasser eingegeben (Abb. 6a und b).

Ermittlung des Szenarios/Bestimmung von Co Blei	Symbol	Einheit	Eingabefenster
Calcitgehalt des Bodens > 2% Gew.-% Eingabe: Ja/-			-
Calcitgehalt des Bodens < 2% Gew.-% Wenn ja, dann Blei-Porenwasserkonzentration eines Messwerts oder eines Erfahrungswerts eingeben in mg/L Eingabe: Wert/-			3.60
Gipsgehalt des Bodens ca. 30% oder 960 mg/l Sulfat im Grundwasser Eingabe: Ja/-			-
Systemgrößen			
Jährlicher Niederschlag	N	m ³ /m ² a	1.6
Breite Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	B	m	20
Länge Kugelfang, Belastung > 2'000 mg/kg Pb	L	m	10
Tiefe Aquifer (Flurabstand)	T	m	5
Grundwasserfliessgeschwindigkeit	V	m/d	1
Winkel zwischen Grundwasser und Kugelfang, 0° wenn Grundwasserstrom und Kugelfang parallel sind Eingabe: 0°-90°/- wenn keine ausgeprägte Form des Kugelfangs (Länge≈Breite)	γ	°	45
Input-Werte gestützt durch die geochemischen Modellierungen mit PHREEQC			
Input-Konzentration Blei, je nach Wahl des Szenarios verschieden	Co Pb	mg/l	3.6
Input-Konzentration Antimon, beträgt ¹ / ₅₀ der Bleikonzentration	Co Sb	mg/l	0.072

Abb. 6a: Fallbeispiel; Maske zur Ermittlung der maximalen Pb- / Sb-Konzentration im Grundwasser mit den dem Szenario entsprechenden Werten

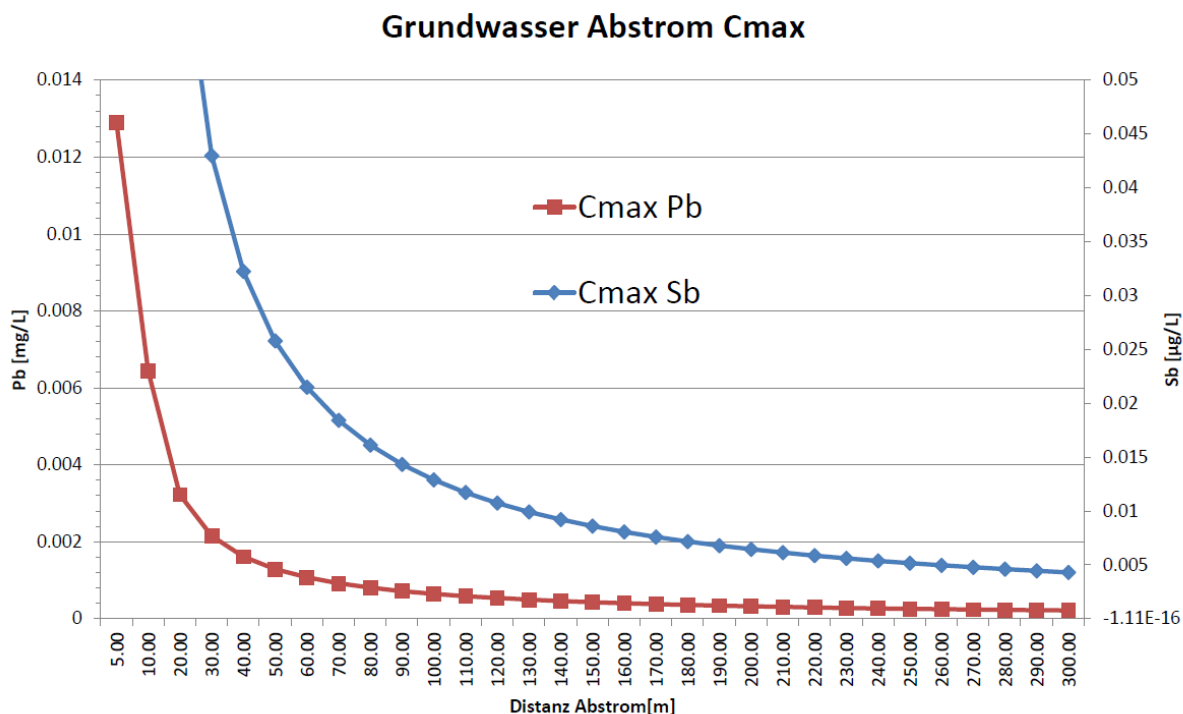


Abb. 6b: Aus dem Szenario resultierende Kurven der max. Pb- / Sb-Konzentration im Abstrom

40 m im Abstrombereich zeigen die Werte des Graphen (Abb. 6b) eine maximale Konzentration von 0.016 mg/l Pb und von 0.032 µg/l Sb. Bei einem Sanierungsziel von 1'000 mg/kg Pb (Abb. 7) ergibt sich ein Verhältnis der Anzahl maximal lösbarer Blei- und Antimonatome gegenüber der Anzahl Retentionsplätze von 0.2. Das bedeutet, dass pro gelöstem Blei- / Antimonatom 5 Retentionsplätze zur Verfügung stehen. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 8 das entsprechende Verhältnis bei einem Sanierungsziel von 300 mg/kg Pb. Das somit erreichte Verhältnis beträgt 0.06. Das bedeutet, dass beinahe 17 Retentionsplätze pro gelöstem Blei- / Antimonatom zur Verfügung stehen.

Beurteilung der Retentionskapazität des Untergrundes	Symbol	Einheit	Eingabefenster
Verbleibende Bleibelastung des Untergrundes nach der Sanierung	Cs	mg/kg	1'000
Länge der sanierten Fläche	Ls	m	10
Breite der sanierten Fläche	Bs	m	20
Sanierungsfläche	As	m ²	200
Mittlere Tiefe der Bleibelastung im Untergrund	Ts	m	0.5
Mittlerer Tongehalt des Untergrundes	Ex	%	3
Mittlerer Eisenoxidgehalt	Fe	%	0.1
Unterströmungsbreite in Abstromrichtung ($B_s \leq B_u \leq L_s$)	Bu	m	6
Länge des Aquifers (Betrachtungspunkt)	Laq	m	40
Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	Baq	m	5
Verhältnis der Anzahl an maximal lösbaren Blei- und Antimonatomen zur Anzahl der Retentionsplätze	Vr	-	0.20

Abb. 7: Fallbeispiel, Rückhaltekapazität bei einem Sanierungsziel von 1'000 mg/kg Pb

Beurteilung der Retentionskapazität des Untergrundes	Symbol	Einheit	Eingabefenster
Verbleibende Bleibelastung des Untergrundes nach der Sanierung	Cs	mg/kg	300
Länge der sanierten Fläche	Ls	m	10
Breite der sanierten Fläche	Bs	m	20
Sanierungsfläche	As	m ²	200
Mittlere Tiefe der Bleibelastung im Untergrund	Ts	m	0.5
Mittlerer Tongehalt des Untergrundes	Ex	%	3
Mittlerer Eisenoxidgehalt	Fe	%	0.1
Unterströmungsbreite in Abstromrichtung ($B_s \leq B_u \leq L_s$)	Bu	m	6
Länge des Aquifers (Betrachtungspunkt)	Laq	m	40
Tiefe des Aquifers (Flurabstand)	Baq	m	5
Verhältnis der Anzahl an maximal lösbaren Blei- und Antimonatomen zur Anzahl der Retentionsplätze	Vr	-	0.06

Abb. 8: Fallbeispiel, Rückhaltekapazität bei einem Sanierungsziel von 300 mg/kg Pb

Der Vergleich der beiden Sanierungsziele stützt die Vermutung, dass auch bei einem Sanierungsziel von 1'000 mg/kg Pb keine unmittelbare Gefahr für das Grundwasser in der Zone S2 besteht.

Für solche oder ähnliche Fälle empfiehlt sich der Einsatz von PlumBumRisk. Im vorliegenden Fall konnte durch den Einsatz von PlumBumRisk 1.0 eine realitätsnahe Vorstellung bezüglich der Gefahrensituation ermittelt werden. Der Entscheidungsfindung, ob eine Sanierungsbedürftigkeit gemäss Artikel 9 Absatz 1 Buchstabe a in Verbindung mit Artikel 9 Absatz 2 Buchstabe d der Altlasten-Verordnung vorliegt und welches Sanierungsziel gfs. nun definiert wird, kann somit erleichtert und unterstützt werden. Konkrete Sanierungsziele dürfen sich jedoch nicht einzig und allein auf PlumBumRisk 1.0 stützen. Zur Definition müssen auch weitere Fakten und Erwägungen mit einbezogen werden.