

Blei in der Schweiz

Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge



Schlussbericht
Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)
Zürich, Dezember 2020

Impressum

Blei in der Schweiz: Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge

Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Industriechemikalien, CH-3003 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
Auftragnehmer:	GEO Partner AG, Zürich
Autoren:	Ruedi Taverna, Andreas Wicki, Patrick Plüss, Martina Hagenbuch, Xander Reimann
Projektleitung:	Ruedi Taverna
Qualitätssicherung:	Ruedi Taverna
Begleitung BAFU:	Urs von Arx, Harold Bouchex-Bellomie, Josef Treppe
Hinweis:	Dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.
Danksagung:	Wir verdanken Urs von Arx und Harold Bouchex-Bellomie die Inputs, das Gegenlesen und Redigieren der Kapitel zu den Umweltauswirkungen und den rechtlichen Grundlagen.
Zitiervorschlag:	Taverna et al., 2020. Blei in der Schweiz: Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. GEO Partner AG, Zürich.
Bild Deckblatt:	Ruedi Taverna

Abstract

Blei ist ein seit der Frühzeit verwendetes Metall, welches in den verschiedensten Bereichen eingesetzt wird. Aufgrund seiner toxischen Wirkung für Mensch und Umwelt werden zunehmend Alternativen für den Einsatz von Blei und seine Verbindungen gesucht. Die vorliegende Studie bietet eine Übersicht über die Verwendung, Entsorgung und Umwelteinträge von Blei. Zusätzlich sind in den Anhängen Daten zur Belastung des Menschen und der Umwelt und ein Überblick des aktuellen Regelwerks der Schweiz zu Blei zusammengestellt.

Le plomb est un métal qui est utilisé depuis l'antiquité et qui est employé dans une grande variété d'applications. En raison de ses effets toxiques sur l'homme et l'environnement, des alternatives à l'utilisation du plomb et de ses composés sont de plus en plus recherchées. La présente étude donne un aperçu de l'emploi, de l'élimination et de l'impact environnemental du plomb. En outre, les annexes contiennent des données sur l'exposition de l'homme et de l'environnement et un aperçu de la réglementation suisse actuelle sur le plomb.

Il piombo è un metallo che è stato usato fin dall'antichità in una grande varietà di applicazioni. A causa dei suoi effetti tossici sull'uomo e sull'ambiente, si cercano sempre più alternative all'uso del piombo e dei suoi composti. Questo studio fornisce una panoramica sull'uso, lo smaltimento e l'impatto ambientale del piombo. Inoltre, i dati sull'esposizione delle persone e dell'ambiente e una panoramica delle attuali regolamentazioni svizzere sul piombo sono raccolti nelle appendici.

Lead is a metal that has been used since the early days and is used in a wide variety of applications. Due to its toxic effect on humans and the environment, alternatives for the use of lead and its compounds are increasingly being sought. The present study provides an overview of the use, disposal and environmental impact of lead. In addition, the annexes contain data on human and environmental exposure and an overview of the current Swiss regulations on lead.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Eigenschaften	6
1.2	Entwicklung der Nachfrage	6
1.3	Belastung der Umwelt und des Menschen	8
1.4	Gesundheits- und Umweltauswirkungen	9
1.5	Zweck und Inhalte des vorliegenden Berichts.....	10
2	Regulierung.....	12
3	Überblick über die Bleiflüsse	14
4	Verwendung.....	16
4.1	Batterien.....	16
4.2	Munition.....	20
4.2.1	Verwendung durch Jäger.....	20
4.2.2	Verwendung durch Armee und andere Schützen	21
4.3	Bauanwendungen.....	23
4.4	Verzinkung und Legierungen.....	24
4.4.1	Verzinkung.....	25
4.4.2	Legierungen.....	25
4.5	Chemikalien	27
4.5.1	Kunststoffpigmente und PVC-Stabilisatoren.....	28
4.5.2	Andere Verwendungen.....	30
4.6	Gewichte	31
4.6.1	Fischereigewichte	31
4.6.2	Andere Gewichte	31
4.7	Ausgewählte Produktarten	32
4.7.1	Fahrzeuge	32
4.7.2	Elektro- und Elektronikgeräte.....	34
4.7.3	Holzwerkstoffe	36
4.7.4	Produkte für private Verwender.....	38
4.8	Alternativen zu Blei	39
5	Entsorgung.....	45
5.1	Blei-Säure-Batterien	45
5.2	Schrott	47
5.2.1	Bleischrott	48
5.2.2	Nichteisenmetallschrott	49
5.2.3	Stahlschrott	49
5.3	Munition.....	50
5.4	Elektro- und Elektronikaltgeräte	52
5.5	Ausgewählte Prozessabfälle	54
5.5.1	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)	54
5.5.2	Herstellungsprozesse.....	55
5.6	Kunststoffrecycling (PVC)	55
5.7	Thermische Entsorgungswege.....	58
5.7.1	Kehrichtverbrennungsanlagen.....	58
5.7.2	Altholzfeuerungen	61
5.7.3	Andere Feuerungen.....	62

6	Umwelteinträge	64
6.1	Bleieinträge in die Luft	64
6.2	Bleieinträge in Böden	66
6.3	Bleieinträge in Gewässer	68
7	Literaturverzeichnis	72
	Anhang	88
A.1	Erläuterungen zum Abfallaufkommen	88
A.2	Erläuterungen zu den Umwelteinträgen	94
A.3	Belastung der Umwelt und des Menschen mit Blei	105
A.3.1	Belastung durch Schwebstaub	105
A.3.2	Belastung durch Staubbiederschlag	106
A.3.3	Belastung der Gewässer	108
A.3.4	Belastung der Böden	110
A.3.5	Belastung der aquatischen und terrestrischen Biota	112
A.3.6	Belastung des Menschen	115
A.4	Regulierung	122

1 Einleitung

1.1 Eigenschaften

Die gute Verformbarkeit, leichte Giessbarkeit aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes, eine hohe Dichte und seine Elektronegativität eröffnen dem Schwermetall Blei (Elementsymbol Pb) eine vielfältige Verwendung. Aufgrund der schädlichen Wirkung auf die Umwelt und Gesundheit des Menschen wurden Blei und seine Verbindungen jedoch in der Vergangenheit in einigen Anwendungen durch weniger problematische Stoffe ersetzt. Heute ist Blei nach Aluminium, Kupfer und Zink das viertmeist verwendete Nichteisenmetall.

Zurzeit das viertmeist verwendete Nichteisenmetall

1.2 Entwicklung der Nachfrage

In das 6. Jahrtausend v. Chr. datierte Schmuckstücke aus Vorderasien gehören zu den ältesten Funden von Bleigegegenständen, die durch Menschenhand gefertigt wurden. Nachdem Blei in der Natur nur selten gediegen vorkommt, dürfte dieses Datum den Beginn der Verhüttung von Bleierzen markieren. Das zeitgleiche Auftreten von Artefakten aus Blei und Silber legt nahe, dass die Verhüttung von sulfidischen, silberführenden Bleierzen primär der Herstellung des begehrten Edelmetalls Silber diene und Blei als Nebenprodukt genutzt wurde¹. Ein hoher Konsum von Silber als Metallgeld in der Antike führte in der Folge zu einem merklichen Anstieg der globalen Bleiproduktion. Ein erster Bleiboom setzte während des Aufstiegs Roms ein; er war mit einer Entkoppelung der Gewinnung von Silber und Blei verbunden und manifestierte sich im Abbau silberarmer Bleierzlagerstätten, bspw. in den Gruben in Britannien (Bode, 2008). In der Blütezeit des Reichs lieferten britischen Minen über 100'000 t Blei pro Jahr. Es wird geschätzt, dass die Römer insgesamt um 20 Mio. Tonnen Blei förderten und verarbeiteten (Emsley, 2006). Das Metall wurde vor allem beim Ausbau der Stadt Rom für Wasserleitungen und andere sanitäre Anlagen sowie Monumentalbauten, weiter auch für die Beschwerung von Schiffsrümpfen verwendet (Bode, 2008). Mit dem Untergang des römischen Reichs sank die globale Bleiproduktion, um mit der einsetzenden Silbergewinnung in Deutschland und Hispanoamerika sowie dem Beginn der industriellen Revolution wieder anzusteigen (vgl. Abbildung 1).

Verhüttung von Bleierzen seit mehreren tausend Jahren

Im Zuge der Industrialisierung fand Blei wegen seiner Beständigkeit gegen Säuren Verwendung in Apparaten und Anlagen der chemischen Industrie, so bei der Schwefelsäureherstellung in Bleikammeranlagen, die in der Schweiz bis zum

Anhaltend steigende Bleinachfrage seit Beginn der industriellen Revolution

¹ Die Silbergewinnung erfolgte durch «Verbrennung» des erzeugten silberhaltigen Rohbleis an der Luft (Kupellation), das im Kupellationsprozess entstandene und abgetrennte Bleioxid wurde sodann durch Reduktion wieder in das Metall überführt.

Jahr 1965 in Betrieb waren (Pfenninger, 2017). Weitere Abnehmer von Blei, seinen Legierungen und Verbindungen waren der Maschinen- und Fahrzeugbau, die Glas-, Keramik- sowie Lack- und Farbenindustrie und zunehmend Akkumulatorhersteller.

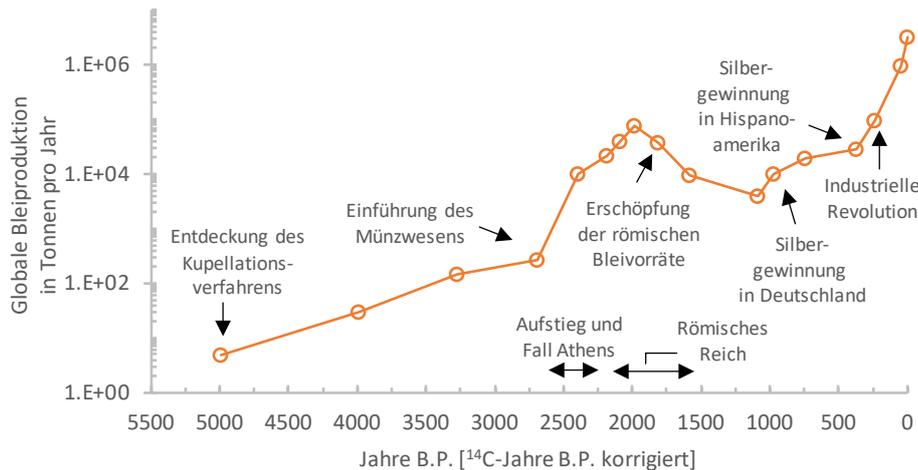


Abbildung 1: Entwicklung der globalen Bleiherstellung 3500 B.C. bis 1980 A.D. (nachgezeichnet nach Settle & Patterson, 1980).

Die Produktion auf Blei basierender Akkumulatoren wurde in der Schweiz Ende des 19. Jahrhunderts aufgenommen. Bis zur Änderung der Importbestimmungen für Akkumulatoren wurden für die Schweiz bestimmte Fahrzeuge ohne Batterien eingeführt und mit solchen aus inländischer Provenienz bestückt (Imag, 2019). Zwischen 1960 und 2014 hat sich der globale Bleiverbrauch rund verfünffacht, wobei die Verbrauchssteigerung vor allem auf die Bleinachfrage für Batterien zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 2).

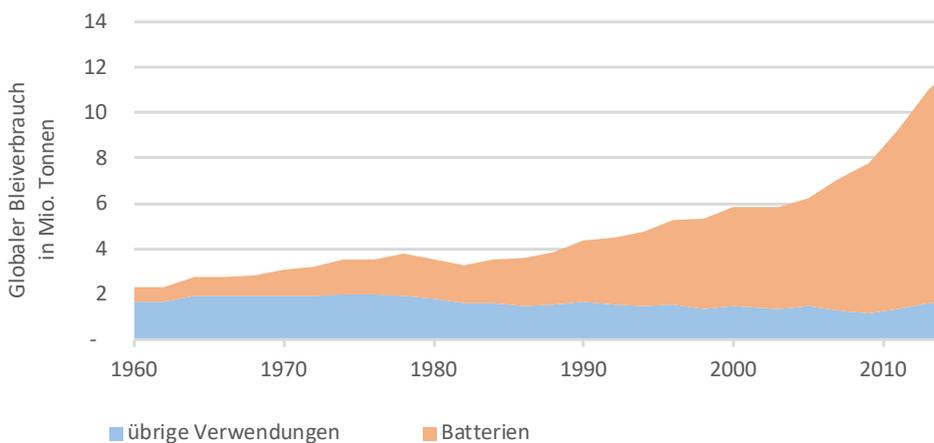


Abbildung 2: Entwicklung des globalen Bleiverbrauchs der letzten 50 Jahre (nachgezeichnet nach Davidson et al., 2016)

Im Bereich der Bleiverbindungen wurde bis in die 1920er Jahre rund ein Drittel des Bleiaufkommens für die Herstellung des Pigments Bleiweiss verbraucht, bevor mit Titandioxid eine Alternative gefunden wurde (Emsley, 2006). Ein im Jahr 2000 in Europa abgeschlossenes Kapitel war die Verwendung von Tetraethylblei als Antiklopffmittel in Motorenbenzin. Die Aufhebung des in den 1920er Jahren in der Schweiz wegen gesundheitlicher Bedenken erlassenen Verbots von «Bleibenzin» im Jahr 1947 war wegen des exponentiellen Verkehrswachstums mit hohen Umwelteinträgen verbunden (BUWAL, 1995).

1.3 Belastung der Umwelt und des Menschen

Die Geschichte der Belastung der Umwelt und des Menschen mit Blei ist so alt wie seine Verwendung. So liefern Untersuchungen von Eiskernen aus Grönland und den Alpen oder Torfkernen aus Schweizer Hochmooren ein Abbild der in der Vergangenheit erfolgten atmosphärischen Bleiemissionen durch die Erz- und Metallverarbeitung, die Verbrennung von Energieträgern und andere Tätigkeiten (Hong et al., 1994; More et al., 2017; Shotyk et al., 1998; Weiss et al., 1999).

Eis- und Torfkern
als Umweltarchive

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Bleigehalte über den Zeitraum von 2'000 Jahren in einem Eiskern aus dem im italienisch-schweizerischen Grenzgebiet gelegenen Colle Gnifetti-Gletscher in den Alpen.

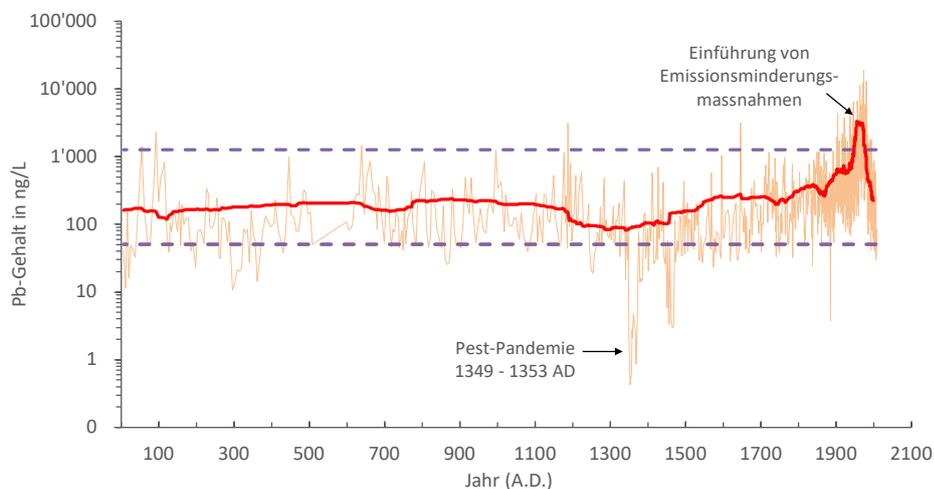


Abbildung 3: Entwicklung der Pb-Gehalte über einen Zeitraum von ca. 2'000 Jahren in hoher Auflösung (orange Linie) und geglättet (rote Linie). Die blauen gestrichelten Linien entsprechen den 10.- und 90.-Perzentilen. Datenlücken über 90 Jahre um 500 A.D. linear interpoliert (nachgezeichnet nach More et al., 2017).

Sinkende Bleigehalte im Eiskern ab dem Jahr 1974 sind das Resultat eingeleiteter technischer Massnahmen im Bereich der Luftreinhaltung (Staubrückhaltung in Industrie- und Feuerungsanlagen, Senkung des Bleigehalts von Benzin und Phase-out von «Bleibenzin»). Trotz stark abnehmendem Trend liegen die jüngsten Gehalte deutlich über der Hintergrundbelastung, wenn man für diese als Massstab jene Bleigehalte im Eiskernabschnitt bezieht, welche die Luftbelastung im Zeitraum zwischen 1349 und 1353 widerspiegeln. In dieser Zeit herrschte in Europa

Emissionsminderungsmaßnahmen zeigen Wirkung

die Pest, weshalb die wirtschaftlichen Aktivitäten fast vollständig zum Erliegen kamen. Anhand der Entwicklung der Bleigehalte in einem Torfkern aus den Schweizer Freibergen beziffern Shotyk et al. (1998) die «natürliche» Bleideposition mit 0.1 g pro Hektar und Jahr. An Hintergrundstandorten des «Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe» (NABEL) misst man heute Bleidepositionen, die im Mittel das 80- (rurale Standorte) bis 140-fache (urbane Standorte) darüber liegen (vgl. Anhang A.3.2)

Die in der Vergangenheit hohen Bleieinträge in Gewässer und Böden haben die Bleigehalte in Gewässersedimenten und Böden erhöht. Während in Böden der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) im Verlauf der letzten zwanzig Jahren keine Gehaltszunahmen an Blei feststellbar waren, ist die Bleibelastung rezenter Seesedimente abnehmend (vgl. Anhang A.3.3– A.3.4).

Es besteht keine Evidenz, dass sich Blei entlang des aquatischen und terrestrischen Nahrungsnetzes anreichert (UNEP, 2010). Langzeituntersuchungen zum Vorkommen von Blei in Biota mit aquatischem und terrestrischem Habitat zeigen in der Tendenz abnehmende Belastungen. Risiken für die Biota sind heute mit der Verwendung von Bleimunition in der Jagd verknüpft. Gefährdet sind aasfressende Raubvögel. Auch für Wasservögel besteht durch die Verwendung von Bleigewichten in der Fischerei ein Risiko (vgl. Anhang A.3.5).

Keine Anreicherung von Blei entlang der Nahrungskette

Untersuchungen von Knochen und Zähnen aus Skeletten von Ausgrabungsstätten belegen, dass der Mensch schon früh einer Bleiexposition ausgesetzt war. Als wichtige Belastungsquelle für die Bevölkerung des Mittelalters und der frühen Neuzeit werden Bleiglasuren von Keramik genannt. Eine ab den 1950er Jahren neue Quelle der Belastung des Menschen mit Blei war die Einführung von Benzin, dem Tetraethylblei als Antiklopffmittel beigemischt wurde. Heute nimmt der Mensch Blei hauptsächlich mit der Nahrung auf. Bei Kleinkindern kann die orale Aufnahme von mit Blei belastetem Boden oder Hausstaub bedeutend zur Bleiexposition beitragen (vgl. Anhang A.3.6).

Nahrungsmittel als Hauptquelle der Bleibelastung des Menschen

1.4 Gesundheits- und Umweltauswirkungen

Obwohl der Zusammenhang zwischen der Bleiexposition des Menschen und damit einhergehenden toxischen Erscheinungen seit der Spätantike bekannt war, dauerte es bis zum 19. Jahrhundert, bis wesentliche Fortschritte bei der Erkennung von Bleivergiftungen erzielt und ihre Krankheitsbilder in der wissenschaftlichen Literatur detailliert beschrieben wurden (Hernberg, 2000). Mit der zunehmenden Industrialisierung nahmen in vielen Ländern gewerbliche Bleivergiftungen zu. Sie waren hauptsächlich chronisch und zu damaliger Zeit als solche zu Beginn schwer erkenntlich (erschwerter Frühdiagnose). Ende der 1960er Jahre wurden neue Methoden zur Bestimmung von Blei in biologischen Medien entwickelt (Hernberg, 2000). Die Blutblei-Bestimmung wurde in der Folge ein wichtiger Eckpfeiler einerseits bei der medizinischen Überwachung exponierter Arbeitnehmer und andererseits bei der Beurteilung der Bleibelastung der Bevölkerung anhand der Beprobung ausgewählter Kollektive. Seit 1970 hat die Forschung aufgrund Entwicklungen in der klinischen Chemie und anderer Techniken wie

Gesundheitsauswirkungen

psychologischen Tests und neurophysiologischen Messungen das Wissen über subklinische Wirkungen von Blei erheblich erweitert (Hernberg, 2000). Nach einem im Jahr 2010 publizierten wissenschaftlichen Gutachten der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) kann nach heutigen Kenntnissen für Blei kein Schwellenwert definiert werden, unter dem keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen erfolgen. Es muss daher das Ziel sein, wo immer möglich eine Bleiaufnahme zu vermeiden. Laut EFSA sind die Nierentoxizität und Herz-Kreislauf-Effekte die empfindlichsten Endpunkte für die Bleiexposition Erwachsener. Sie äussern sich in einer Reduzierung der Nierenfunktionsleistung bzw. der Erhöhung des systolischen Blutdrucks. Bei Kindern mindestens bis zum Alter von sieben Jahren beeinträchtigt Blei die Entwicklung des Nervensystems. Negative Wirkungen manifestieren sich im Verhalten, in der Aufmerksamkeit und in verminderten Intelligenzleistungen (EFSA, 2010)².

In der Umwelt schädigt Blei ab bestimmten Konzentrationen die aquatische und terrestrische Biota. In seiner bioverfügbaren Form ist Blei für Wasserorganismen (wie Algen und höhere Wasserpflanzen, Rädertierchen, Mollusken, Krustaceen, Insekten und Fische) ausgesprochen toxisch (EC, 2011). Auch Bodenprozesse (wie die Respiration oder Urease-Aktivität) und -organismen sowie Pflanzen reagieren empfindlich auf Blei (Crommentuijn et al., 1997; USEPA, 2005). Bei höheren Lebewesen mit aquatischem oder terrestrischem Habitat beeinträchtigt Blei (wie beim Menschen) mehrere Organe und Organsysteme, so die Nieren oder das Blut-, Nerven- und Reproduktionssystem (UNEP, 2010).

Umweltauswirkungen

1.5 Zweck und Inhalte des vorliegenden Berichts

In der Schweiz existieren zahlreiche Vorschriften, die zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit des Menschen den Umgang mit Blei regeln, darunter Einschränkungen der Abgabe und Verwendung von bleihaltigen Produkten. Die Restriktionen sind weitestgehend mit jenen der Europäischen Union (EU) harmonisiert. Im Rahmen der Fortschreibung des europäischen Chemikalienrechts wurden eine Reihe von Bleiverbindungen und jüngst auch metallisches Blei aufgrund ihrer fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften als «besonders besorgniserregende Stoffe» (SVHC) klassiert. Somit sind Blei und einige seiner Verbindungen in der EU Kandidaten für die Aufnahme in die Liste der zulassungspflichtigen und damit im Grundsatz zu substituierenden Stoffe nach Anhang XIV REACH-Verordnung^{3,4} und/oder für Restriktionen nach Anhang XVII dieser Verordnung. Absichten für

Grundlage für allfällige Risikoreduktionsmassnahmen

² Ausführungen zur Belastung des Menschen und Angaben zu toxikologischen Referenzwerten finden sich in Anhang A.3.6.

³ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, ABl. L 396 vom 30.12.2006, S. 1

⁴ Aufgrund der zusätzlich kanzerogenen Eigenschaften (Kategorie 1B) von Bleichromaten sind drei Vertreter dieser Stoffgruppe bereits zulassungspflichtig.

Ergänzungen des Anhangs XVII betreffen zurzeit bleihaltige Munition und Kunststoffadditive: So soll zum Schutz von Wildtieren die Verwendung von Blei in Schrot- und Kugelmunition in der Jagd und in Fischereitensilien (ECHA, 2018a; EC, 2019) beschränkt und soll zur Entlastung der Abfallströme die Verwendung von Bleiverbindungen in Polyvinylchlorid (PVC) verboten werden (ECHA, 2018b). Zweck des vorliegenden Berichts ist, eine tragbare Grundlage zu schaffen, um die Auswirkungen (Kosten und Nutzen) von gegebenenfalls in der Schweiz zur Diskussion gestellten Beschränkungsvorschlägen oder anderen in Erwägung gezogenen Massnahmen im Umgang mit Blei in der Schweiz qualitativ oder quantitativ beurteilen zu können.

In der Schweiz fehlt bislang eine Übersicht zur Verwendung, Entsorgung und zu Umwelteinträgen von Blei und seinen Verbindungen. Der vorliegende Bericht bietet nach einem Überblick über das bestehende Blei adressierende Regelwerk eine Beschreibung des aktuellen Verbrauchs und der heutigen Verwendung von Blei in der Schweiz. Diese Angaben werden mit Daten zum Aufkommen von Blei in Abfällen und zu seinen Einträgen in die Luft, Gewässer und Böden ergänzt. Soweit es die Datenlage zulässt, werden Trends im Verbrauch, im Abfallaufkommen und bei den Emissionen aufgezeigt. Zudem wird angegeben, inwieweit die Nachfrage an bleihaltigen Produkten in der Schweiz durch Einfuhren von Fertigprodukten gedeckt wird und in welchem Umfang im Inland Produkte durch die Verarbeitung von Halbfabrikaten gefertigt werden. Weiter wird gezeigt, in welchem Ausmass von der Möglichkeit der Ausfuhr von bleihaltigen Abfällen Gebrauch gemacht werden muss, weil Anlagen zu deren Behandlung fehlen oder nicht ausreichende Kapazitäten besitzen. Wissenswertes zur Belastung der Umweltkompartimente, der Biota und des Menschen wurde in einen Anhang A.3 dieses Berichts ausgelagert.

Als Grundlagen für die Erhebung der Daten dienten Veröffentlichungen und Statistiken von Behörden im In- und Ausland sowie von Branchenverbänden, die öffentlich zugängliche Aussenhandelsstatistik, wissenschaftliche Publikationen, die graue Literatur sowie Anfragen bei Herstellern, Vertreibern und Verwendern bleihaltiger Produkte. Der Verbrauch von Blei in der Jagd wurde anhand des Munitionsverbrauchs, differenziert nach Munitionsart (Kugel oder Schrot) sowie der Statistik des erlegten Wilds abgeleitet. Um den Eintrag von Fischereiblei in die Gewässer abschätzen zu können, wurde – aufgeschlüsselt nach Fischart – ein Bleiverlust-Faktor (prozentualer Anteil der Montageverluste pro gefangenem Fisch) aufgrund von Interviews mit Fischereiaufsehern und Fischern zugeordnet und ausgehend von den Fangzahlen (Eidgenössische Fischereistatistik) so der Blei-Eintrag in die Gewässer berechnet.

Übersicht über Handel, Verarbeitung, Verbrauch und Umwelteinträge von Blei in der Schweiz

Literatur und Befragungen als Datenbasis

2 Regulierung

Nach einer im Jahr 2005 in Kraft gesetzten Totalrevision hat die Schweiz heute ein modernes Chemikalienrecht, das laufend an den neuesten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst wird. Die Vorschriften orientieren sich an jenen der EU, dem wichtigsten Handelspartner der Schweiz. Weitere Regelungen im Umweltrecht, insbesondere emissionsbegrenzende Vorschriften im Luftreinhalte- und Gewässerschutzrecht oder Vorschriften zur Störfallvorsorge und zur Entsorgung von Abfällen tragen wesentlich zu einem umweltgerechten Umgang mit Chemikalien bei.

Stoff mit hoher Regelungsdichte

Die gestützt auf das Chemikalien- sowie Umweltschutz- und Gewässerschutzgesetz erlassenen Ausführungsvorschriften, welche den Umgang mit Blei regeln, sind zahlreich. Sie werden ergänzt durch solche, die sich auf andere Bundesgesetze stützen, nicht zuletzt das Lebensmittelgesetz. In dessen Ausführungsrecht werden beispielsweise Höchstgehalte an Blei in Lebensmitteln und Trinkwasser festgelegt. Weiter wird die Verwendung von Blei in Materialien und Gegenständen, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen (Bedarfsgegenstände) sowie in Gegenständen mit Schleimhaut-, Haut- und Haarkontakt wie Schmuckerzeugnissen und in Spielzeug beschränkt. Eine Zusammenstellung der nationalen Rechtsvorschriften über Blei findet sich in Anhang A.4.

Verschiedene internationale Übereinkommen, welche auch die Schweiz ratifiziert hat, befassen sich mit Blei. Zu nennen sind das Zusatzprotokoll vom 24. Juni 1998 über Schwermetalle (Schwermetallprotokoll von Aarhus, SR 0.814.326) zum Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (Genfer Luftreinhaltekonvention) der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE), das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989 (SR 0.814.05) und das Abkommen zur Erhaltung der afrikanisch-eurasischen wandernden Wasservögel vom 15. August 1996 (SR 0.451.47), ein Unterabkommen der Bonner Konvention über die Erhaltung wandernder Tierarten.

Internationale Übereinkommen

- Das Schwermetallprotokoll von Aarhus bezweckt die Verminderung und Überwachung der Emissionen der Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber in die Luft. Mit der Änderung des Protokolls im Dezember 2012 wurden die Anforderungen an emissionsmindernde Massnahmen an den Stand der Technik angepasst. Das Protokoll verpflichtet die Vertragsparteien, auf vorgegebene Kategorien von Emissionsquellen die besten verfügbaren Techniken anzuwenden und Emissionsgrenzwerte für bestimmte grössere ortsfeste Quellen festzusetzen. Die Vertragsparteien müssen Emissionsinventare für Blei, Cadmium und Quecksilber erstellen und unterhalten und verbleites Benzin abschaffen. Letzteres geschah in der Schweiz im Jahr 2000.
- Mit dem Basler Übereinkommen soll ein weltweit umweltgerechtes Abfallmanagement und die Kontrolle der grenzüberschreitenden Transporte gefährli-

cher Abfälle sichergestellt werden. Gemäss Übereinkommen muss die grenzüberschreitende Verbringung von gefährlichen und anderen Abfällen, worunter auch Bleibatterien fallen, auf ein Mindestmass beschränkt werden und die betreffenden Abfälle müssen umweltverträglich entsorgt werden. Jede grenzüberschreitende Verbringung von gefährlichen und anderen Abfällen muss vom Ausfuhrstaat dem Einfuhr- und Durchfuhrstaat notifiziert werden und darf erst erfolgen, wenn die betreffenden Staaten der Verbringung zugestimmt haben.

- Vertragsparteien des Abkommens zur Erhaltung der afrikanisch-eurasischen wandernden Wasservögel (AEWA) bemühen sich, den Gebrauch von Bleischrot für die Jagd in Feuchtgebieten so rasch als möglich zu unterbinden. Dieser Forderung ist die Schweiz bereits durch eine Regelung in der Jagdverordnung nachgekommen.

3 Überblick über die Bleiflüsse

In die Schweiz werden einerseits metallisches Blei in Rohform und in Form von Halbzeug oder anderer Ware sowie Bleioxide und andere Bleiverbindungen eingeführt. Diese erfahren in mehr oder weniger komplexen Prozessen eine Weiterverarbeitung. Andererseits erfolgen Einfuhren von Halb- und Fertigfabrikaten, in denen Blei oder seinen Verbindungen eine Funktion schon innewohnt; beispielsweise Blei enthaltendes Zerspannungsmessing, mit Blei stabilisierte Kunststoffe in verschiedenen Verarbeitungsstufen oder Bleiakumulatoren als solche oder bereits in Fahrzeuge eingebaute.

Nachstehende Abbildung 4 zeigt die Einfuhren von metallischem Blei und von Bleioxiden im Verlauf der letzten zehn Jahre (EZV, 2019). Die Einfuhren letzterer bewegen sich aktuell im einstelligen Tonnenbereich, jene anderer Bleiverbindungen werden deutlich tiefer geschätzt. Bei den Einfuhren von metallischem Blei sind in den letzten Jahren keine Trends für eine Zu- oder Abnahme der Nachfrage ersichtlich. Seit der Einstellung der Verwertung von Bleiakumulatoren in der Schweiz im Jahr 2009 wird die Nachfrage an metallischem Blei ausschliesslich durch Einfuhren gedeckt.

Deckung der Nachfrage an metallischem Blei und Bleiverbindungen zur Weiterverarbeitung durch Einfuhren

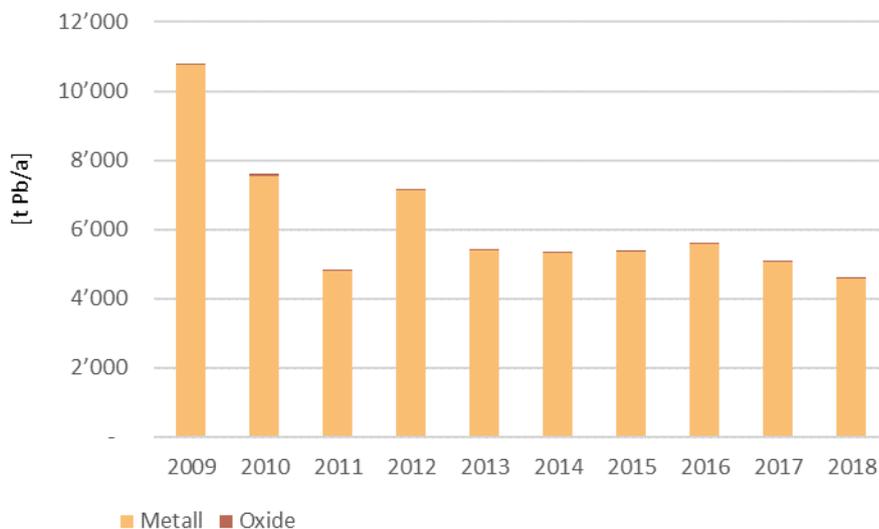


Abbildung 4: Einfuhren von Blei, Halbzeug und Waren aus Blei sowie Bleioxiden im Zeitraum 2009 – 2018

In der Schweiz wird metallisches Blei bei der Herstellung von Munition, Hochspannungskabeln und Akkulatoren verwendet. Bei der Stahlherstellung dient es als Legierungselement und bei der Stückgutverzinkung als Hilfsstoff in der Zinkschmelze. In der Bauwirtschaft werden Bleibleche aufgrund ihrer guten Formbarkeit vor allem zur Abdichtung von Anschlüssen an Dächern verarbeitet. Aus Gesprächen des Auftragnehmers mit Branchenvertretern wird geschlossen, dass wenige Akteure einen Grossteil des eingeführten Bleis verarbeiten. Hingegen dürfte die Anzahl Betriebe, die Blei oder Bleioxide in Kleinmengen nutzen, beträchtlich sein. Es wird geschätzt, dass drei Viertel des verarbeiteten Bleis in

Struktur der Blei verarbeitenden Industrie

Gütern endet, die für den Export bestimmt sind. Mit Blei ummantelte Kabel beispielsweise werden gemäss Aussagen der Hersteller ausschliesslich für Länder des mittleren Ostens produziert.

Der überwiegende Teil des über Einfuhren in die Schweiz gelangenden Bleis entfällt auf Akkumulatoren. Demgegenüber ist der Blei-Fluss mit den übrigen bleihaltigen Produkten (wie Munition, Messinghalbzeug, Kunststoffe oder Fahrzeuge sowie Elektro- und Elektronikgeräte) viel kleiner.

Bleifluss mit «Fertiggütern» durch Einfuhren von Akkumulatoren geprägt

Weil in der Schweiz Anlagen zur Aufbereitung von Bleischrott und Altakkumulatoren fehlen, werden diese Abfälle zur Verwertung ausgeführt. Im Falle der Altakkumulatoren richtet sich die Entsorgung nach den Vorgaben des Basler Abkommens. Darüber hinaus «verlässt» Blei mit Occasionsfahrzeugen die Schweiz.

Fehlende Verwertungsmöglichkeiten für Bleischrott und Altakkumulatoren im Inland

Abbildung 5 zeigt die Bleiflüsse in der Schweiz im Überblick. Nicht dargestellt sind die in Kapitel 6 dargestellten und diskutierten Bleieinträge in Böden, Gewässer und die Luft sowie die Bleieinträge in Böden und Gewässer aus der Luft.

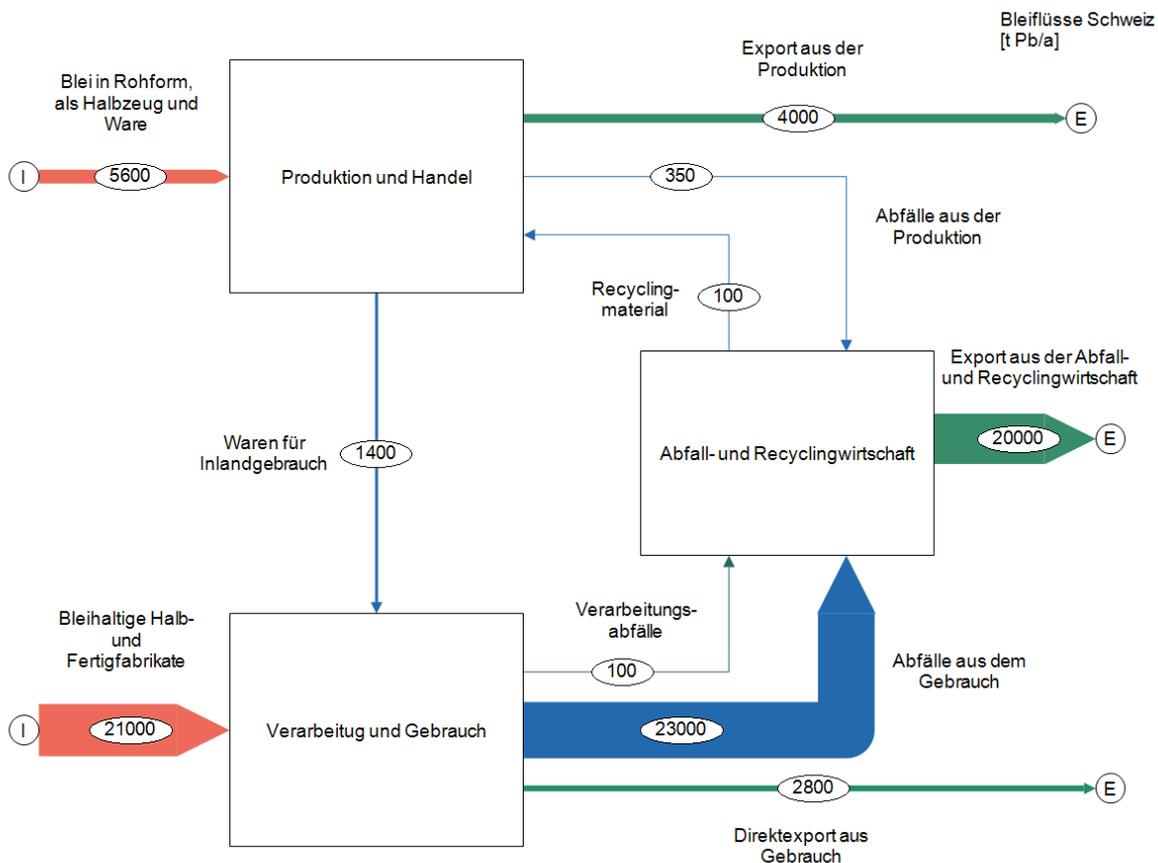


Abbildung 5: Auf 2 relevante Stellen gerundete Bleiflüsse in der Schweiz für die Jahre 2014 - 2016

4 Verwendung

In Anlehnung an eine Erhebung der Branchenorganisation International Lead Association (ILA) zum Bleiverbrauch in verschiedenen Verwendungen in der EU wird für die Schweiz geschätzt, dass gut 85 % der im Inland genutzten Bleimenge auf Batterien entfallen. Den restlichen Verbrauch teilen sich Bauanwendungen, Legierungen und die Verzinkung, Munition, Chemikalien sowie Gewichte in unterschiedlichen Anteilen (vgl. Abbildung 6).

Energiespeicher als Hauptverwendung

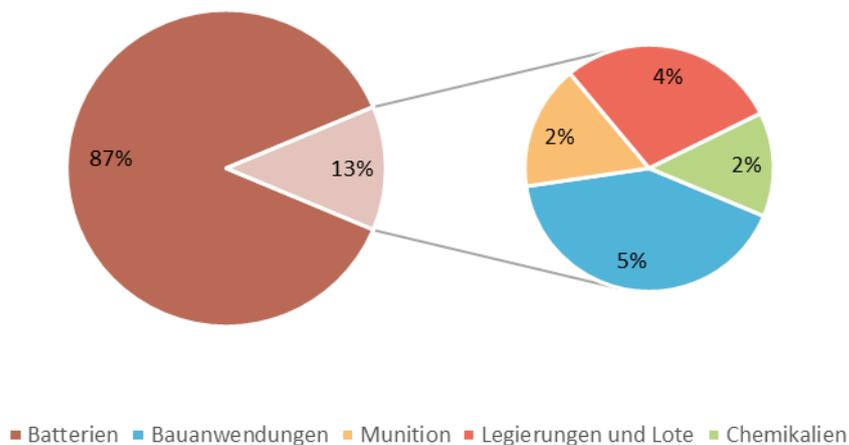


Abbildung 6: Prozentuale Anteile des Einsatzes von Blei in den verschiedenen Verwendungen in der Schweiz 2014–2016

Im Folgenden werden die wichtigsten Verwendungen von Blei innerhalb der Schweiz beschrieben und soweit wie möglich quantifiziert. Dabei lagen manchmal unterschiedliche und/oder widersprüchliche Angaben vor. Nichtsdestotrotz dürfte das erhaltene Gesamtbild Gültigkeit haben.

4.1 Batterien

Im geladenen Zustand besteht bei Bleibatterien der positive Pol aus Bleidioxid (PbO_2) und der negative Pol aus fein verteiltem, porösem Bleischwamm. Als leitender Elektrolyt dient verdünnte Schwefelsäure. Damit sich die beiden Pole nicht berühren, kommen Separatoren aus Kunststoff zum Einsatz. Die Batteriekomponenten sind in einer säurefesten Hülle eingehaust. Den Aufbau einer Bleibatterie und ihrer Komponenten zeigt Abbildung 7 (Vest, 2002).

Elektrochemische Reaktionen in einer Bleibatterie

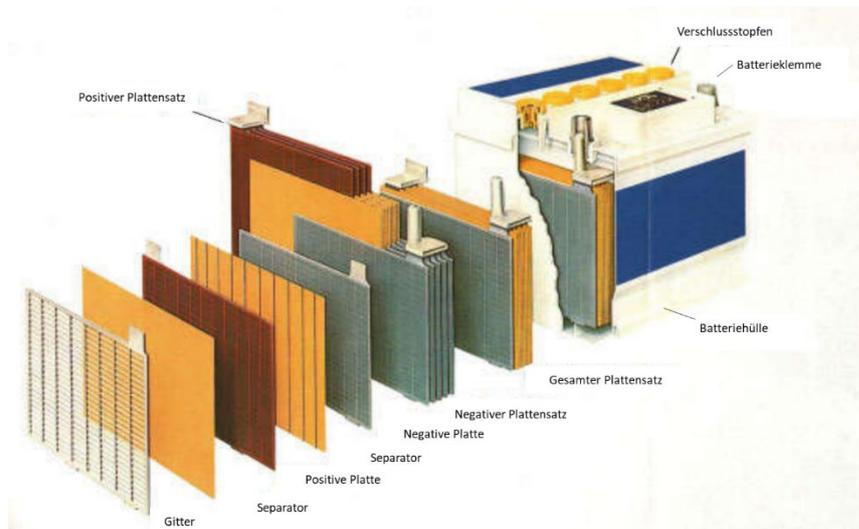
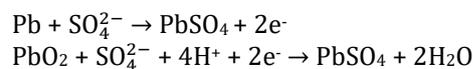


Abbildung 7: Aufbau einer Bleibatterie nach Vest (2002)

Beim Entladen der Batterie wird metallisches Blei an der negativen Elektrode oxidiert und Bleidioxid an der positiven Elektrode reduziert:



Es entsteht also an beiden Polen Bleisulfat. Die dazu benötigten Sulfationen liefert die Schwefelsäure. Sie wird dabei durch das entstehende Wasser verdünnt. Aus diesem Grund kann der Ladezustand einer Bleibatterie über die Dichte der Schwefelsäure bestimmt werden. In der Summe lautet die elektrochemische Reaktionsgleichung für die Hin- und Rückreaktion wie folgt:



Auf Blei basierende Batterien (Blei-Säure-Batterien) werden im Fahrzeugbereich als Starterbatterien und in geringerem Umfang auch als Traktionsbatterien für Elektro-Fahrräder, langsame Elektrofahrzeuge wie Gabelstapler, Transferfahrzeuge oder elektrische Spezialfahrzeuge eingesetzt. In dieser Verwendung gelten sie in chemikalien- und abfallrechtlicher Terminologie als Industriebatterien. Als Industriebatterien sorgen Blei-Säure-Batterien weiter für die Sicherstellung einer unterbrechungsfreien Stromversorgung.

Verwendung als Fahrzeug- und Industriebatterien

Im Bereich der Fahrzeugbatterien wird der Marktanteil von konventionellen Starterbatterien (Standardbatterien) im Zeitraum 2014 - 2016 mit rund 70 % angenommen, sie enthalten um 60 % Blei. Marktanteil und Bleigehalt von EFB Batterien (Enhanced Flooded Batteries) für Fahrzeuge mit Start-Stopp-Technologie betragen 10 % bzw. 65 %. Für Bleibatterien mit AGM-Technologie (Absorbent Glass Mat) für Fahrzeuge mit Start-Stopp- und regenerativem Bremssystem verbleibt entsprechend ein Marktanteil von 20 %. Dieser Batterietyp enthält

**Typen von Fahrzeugbatterien
Bleigehalt in Fahrzeugbatterien**

ca. 70 % Blei. Danach ergibt sich für Starterbatterien im Zeitraum zwischen 2014 und 2016 ein durchschnittlicher Bleigehalt von 62.5 %.

Selbstredend variiert die Masse einer Fahrzeugbatterie in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps: Sie bewegt sich in der Höhe von 3 kg für Motorräder, 10 kg für Boote, 15 kg für Traktoren und Kraftkarren, 20 kg für Personenkraftwagen (PKW), 40 kg für Kleinbusse, Abschleppwagen, Kranwagen, Feuerwehrwagen und ähnliche Fahrzeuge sowie bis zu 50 kg für Lastwagen (LKW).

Aufgrund der kleinen Schweizer Produktionsmenge von Bleibatterien lässt sich der Verbrauch an Blei in der Schweiz mit Fahrzeugbatterien anhand Daten aus der Zollstatistik über eingeführte Batterien und Fahrzeuge gut abschätzen (EZV, 2019). Abbildung 8 zeigt die in importierten Fahrzeugbatterien enthaltene Bleimenge für die Jahre 2014 - 2019, wobei die Menge für das Jahr 2019 hochgerechnet wurde.

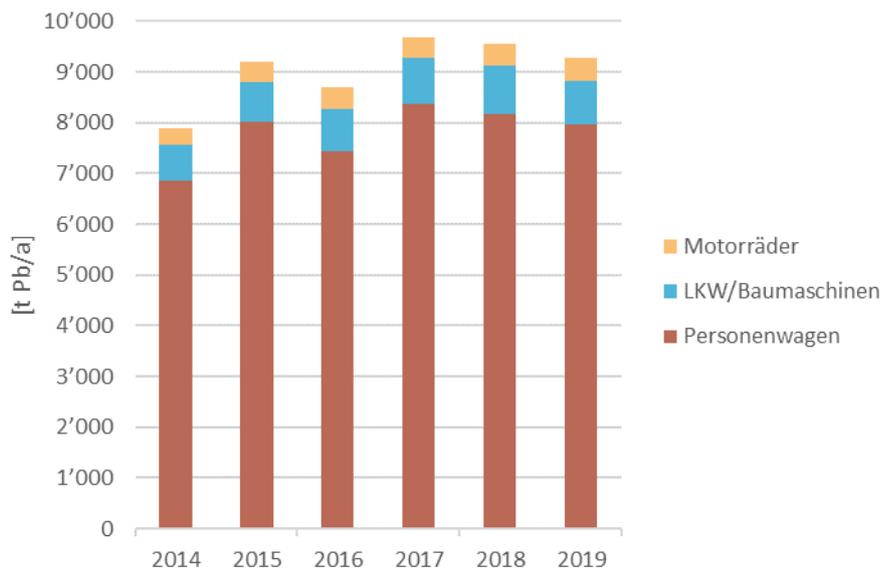


Abbildung 8: In die Schweiz importiertes Blei in Fahrzeugbatterien in den Jahren 2014 - 2019, in Tonnen Pb/a

Nebst den direkt importierten Fahrzeugbatterien gelangen solche auch über die importierten Fahrzeuge in die Schweiz. Damit geht eine Bleimenge von rund 3'900 t pro Jahr einher.

Industriebatterien auf Bleibasis, worunter alle nicht für das Starten von Fahrzeugen bestimmte Batterien summiert werden, dienen dem Antrieb von «Fahrzeugen» wie Staplern, Reinigungsmaschinen, Booten oder Rasenmähern. Industriebatterien werden zudem häufig als Notstrombatterien, z.B. in Datacentern («Backup Speicher») und als Energiespeicher für andere Anwendungen, beispielsweise für Solar- oder Windkraftanlagen, verwendet. Der Bleigehalt in Industriebatterien wird mit 60 % angenommen.

Gewicht von Fahrzeugbatterien

Bleimenge in eingeführten Fahrzeugbatterien

Batteriebedingte Bleimenge in eingeführten in Fahrzeugen

Einsatzgebiete von Industriebatterien

Bei den Importmengen von Industriebatterien im Zeitraum zwischen 2014 und 2019 sind jene mit Verwendung für den Antrieb von «Fahrzeugen» abnehmend, wo Blei-Säure-Batterien mit Lithium-Ionen-Batterien in Konkurrenz stehen, während die anderen Verwendungen von Blei-Säure-Batterien augenscheinlich leicht zunehmend sind. Abbildung 8 zeigt die in den eingeführten Batterien enthaltene Bleimenge in dieser Periode.

Bleimenge in eingeführten Industriebatterien

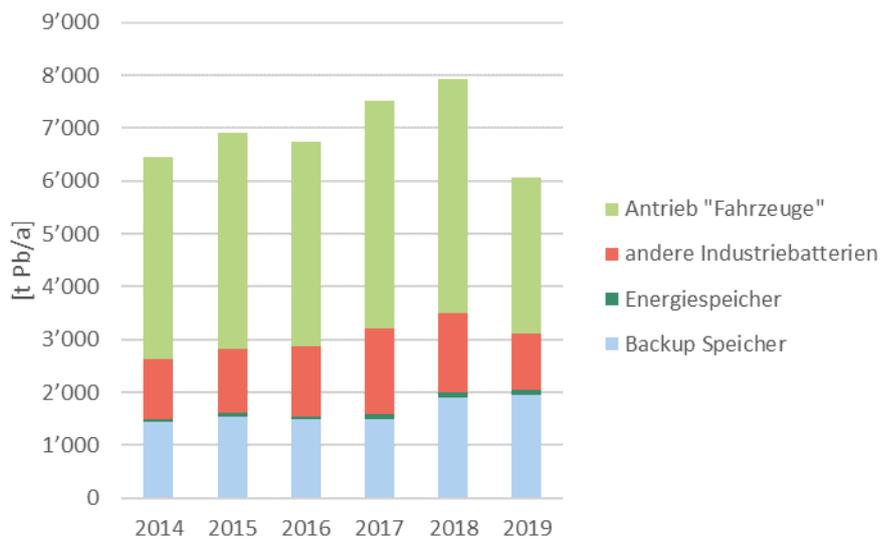


Abbildung 9: In die Schweiz importiertes Blei in Nicht-Fahrzeuggatterien in den Jahren 2014 - 2019, in t Pb/a

Nachstehende Tabelle 1 fasst die durchschnittliche Bleimenge zusammen, die im Zeitraum 2014 - 2016 in importierten Bleibatterien enthalten war.

Zusammenfassung der Bleimengen im Durchschnitt der Jahre 2014 - 2016 in Fahrzeug- und Industriebatterien

Tabelle 1: Durchschnittlich in die Schweiz importierte Bleimenge mit Batterien in den Jahren 2014 - 2016 in t Pb/a. Gerundet auf 2 relevante Stellen

Batterieart	Untergruppe	[t Pb/a]
Fahrzeuggatterien	Personenwagen	7'400
	LKW/Baumaschinen	780
	Motorräder	380
	in importierten Fahrzeugen verbaut	3'900
	Total Fahrzeuggatterien	12'500
Industriebatterien	Backup Speicher	1'500
	Energiespeicher	55
	Antrieb «Fahrzeuge»	3'900
	andere Industriebatterien	1'200
	Total Industriebatterien	6'700
Total Batterien		19'000

4.2 Munition

Beim Munitionseinsatz wird nachfolgend in zwei Unterkapiteln zwischen den Verwendergruppen «Jäger» bzw. «Armee, Polizei und Grenzschutz sowie ausserdienstliche Schützen und Freizeitschützen» unterschieden. Die verwendeten Kugel-Projektilen sind, mit Ausnahme eines Teils der Jagdmunition, alles Vollmantelgeschosse. Der Bleikern des Projektils ist dabei von einem Mantel aus einer Metalllegierung ohne Blei umgeben. Schrot wird auf der Jagd und bei Freizeitschützen verwendet.

4.2.1 Verwendung durch Jäger

Auf der Jagd werden neben Bleischroten auch Teilmantelgeschosse (mit Bleispitze) verwendet. Für die Abschätzung des Bleiverbrauchs wird von einer durchschnittlichen Bleimenge dieser Kugelmunition von 8.4 g pro Geschoss ausgegangen. Einen Sonderfall stellt der Kanton Graubünden dar, der das Kaliber der Munition für die Hochjagd festlegt (mind. 10.2 mm). Der Bleigehalt dieser Munition liegt durchschnittlich bei 12.8 g pro Geschoss. Bleihaltiges Schrot wird hauptsächlich auf der sogenannten Niederjagd (auf Füchse, Hasen und Vögel) eingesetzt, Wasservögel werden heute mit bleifreiem Schrot erlegt. Bei der Schrotmunition wird von einem konservativ hohen Bleigewicht von 34 g pro Schuss ausgegangen.

Arten von Jagdmunition

Die Jagd ist in der Schweiz kantonal geregelt. Dabei unterscheiden sich die Vorschriften über die obligatorischen Übungsschiessen zum Nachweis der Treffsicherheit in einigen Kantonen. Es wird davon ausgegangen, dass die Übungsschiessen mit der gleichen Anzahl an Kugel- und Schrotmunition und auf Jagdschiessanlagen (Kurzdistanzanlagen) absolviert werden. Zumindest auf sanierten Anlagen gelangt beim Schiessen auf Tontauben bleifreies Schrot zur Anwendung. Inwieweit auf anderen Anlagen noch Bleischrot verwendet wird, ist nicht bekannt. Unter den in Anhang A.2, Tabelle A2.3 aufgeführten Annahmen errechnet sich die beim obligatorischen Nachweis der Treffsicherheit verschossene Bleimenge auf rund 6 t pro Jahr.

Bleiverbrauch bei Übungsschiessen

Zur Abschätzung des Munitionsverbrauchs auf der Pirsch wurde auf die Statistik des erlegten Wildes abgestützt (Jagdstatistik, 2017), differenziert nach Tierart und Kanton (wegen der unterschiedlichen Munition im Kanton GR), um die eingesetzte Munition (Kugel oder Schrot) und der Anteil Fehlschüsse zuordnen zu können. Die folgende Tabelle 2 zeigt die durchschnittlichen Abschüsse nach Tierart, Munition und angenommener Fehlschussquote sowie die daraus berechnete Bleimenge. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Abschusszahlen infolge der hohen sozialen Überwachung innerhalb der Jägerschaft eine hohe Genauigkeit aufweisen.

Bleiverbrauch auf der Jagd

Tabelle 2: Durchschnittliche Abschüsse 2014 - 2016 in der ganzen Schweiz nach Tierart, Munition und Fehlschüssen. Gerundet auf 2 relevante Stellen

Gejagtes Tier		Abschüsse		Fehl-	Menge
		Kugel [n]	Schrot [n]	Schüsse [%]	Blei [kg Pb/a]
Huftiere	Rothirsch	11'000		13%	110
	Reh	42'000		13%	360
	Gämse	12'000		13%	110
	Steinbock	1'100		13%	10
	Sikahirsch	120		13%	1
	Wildschwein	7'500		250%	190
Raubtiere	Rotfuchs		25'000	15%	970
	Dachs		3'900	15%	150
	Steinmarder		1'200	15%	50
	Baumarder		130	15%	5
Diverse	Murmeltier	6'600		13%	80
Säuge- tiere	Feldhase		1'800	15%	70
	Schneehase		1'100	15%	45
	Wildkaninchen		2	15%	0.1
	Bisamratte		41	15%	1.5
	Nutria		8	15%	0.5
	Baumwollschwanzkaninchen		2	15%	0.1
Vögel	Hühnervogel		980	50%	50
	Tauben		6'400	15%	220
	Rabenvogel		14'000	50%	480
	Enten*		7'400	50%	0
	Greifvögel		6	15%	0.25
Total		69'000	35'000		2'900

*Bleifreie Munition

Aus diesen Abschusszahlen resultieren für die Jahre 2014 - 2016 durchschnittlich 2.9 t Blei pro Jahr, welche in die Umwelt gelangen, einschliesslich der Aufbrüche, die gemäss der guten jagdlichen Praxis im Gelände deponiert werden dürfen. Davon stammen 2.0 t (70 %) aus Schrotmunition.

4.2.2 Verwendung durch Armee und andere Schützen

Nachstehende Tabelle 3 und Abbildung 10 geben einerseits den Verbrauch an Blei in Munition differenziert nach den Verwendern Armee, Polizei und Grenzwachtkorps bzw. nach den Tätigkeiten ausserdienstliches Schiessen und dynamisches Schiessen und andererseits nach den Einsatzorten (Indooranlagen, Kurzdistanzanlagen, andere Schiessanlagen sowie Waffen- und Schiessplätze) wieder. Erläuterungen zu diesen Schätzungen und Angaben zu den Informationsquellen finden sich in Tabelle A2.3 des Anhangs A.2.

Unterschiedliche Munitionsverwender und Schiessorte

Insgesamt wird durch die genannten Verwender bzw. bei den genannten Tätigkeiten jährlich Munition verschossen, die ca. 300 t Blei enthält. Über die Hälfte davon entfällt auf das ausserdienstliche Schiessen, das sämtliche Schiessaktivitäten mit Ordonanzmunition ausserhalb der Dienstzeit umfasst. Beispiele hierfür sind das obligatorische Schiessen, das Eidgenössische und historische Schiessen.

«Bleiverbrauch» wird dominiert durch ausserdienstliches Schiessen

Mit einem neuen Sturmgewehr führte die Schweizer Armee im Jahr 1987 die 5.6 mm Gewehrpatrone 90 (GP 90) ein. Diese Munition wird im militärischen wie im ausserdienstlichen Schiesswesen verwendet. Die GP 90 enthält im Kern um 3 Gramm Blei gegenüber rund 8 g in der vormaligen bis Mitte der 1990er Jahre produzierten Standardmunition GP 11 (Philipp et al., 2017). Mit dem Rückgang verschossener Patronen des Typs GP 11 ging und geht ein verminderter Bleieintrag in die Kugelfänge der Schiessanlagen und -plätze einher.

Tabelle 3: Mit Munition verschossene Bleimenge aufgeschlüsselt nach Einsatzorten und nach Verwendern bzw. Tätigkeiten im Durchschnitt der Jahre 2014 - 2016 in Tonnen pro Jahr

Munitionsverwender	Indoor- anlagen [t Pb/a]	Kurz- distanzanla- gen [t Pb/a]	Andere Schiessanla- gen [t Pb/a]	Waffen- und Schiessplätze [t Pb/a]	Total [t Pb/a]
Armee	1	26	13	40	79
Polizei und Grenzwachtkorps	12	25	1	1	38
Ausserdienstliches Schiessen	2	13	110	48	173
Dynamisches Schiessen	11			7	18
Total	26	63	124	96	309

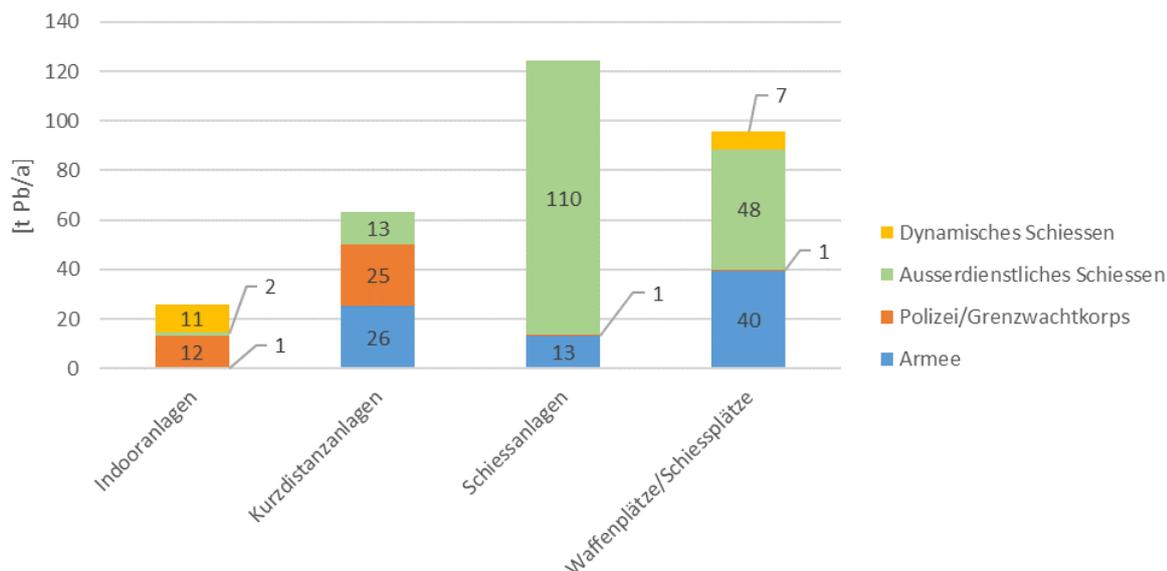


Abbildung 10: Mit Munition verschossene Bleimenge aufgeschlüsselt nach Einsatzorten und Verwendern bzw. Tätigkeiten

im Durchschnitt der Jahre 2014 - 2016 in Tonnen pro Jahr

4.3 Bauanwendungen

Metallisches Blei findet in Gebäuden vor allem an Aussenhüllen (Walzblei und Bleicolor) sowie als Strahlenschutz in der Medizin (Walzblei) Verwendung. Grossflächig für Dachabdeckungen wird Blei nur vereinzelt eingesetzt. Markante Beispiele hierfür sind das Stadttheater in Winterthur oder das Gotthard-Hospiz. In der überwiegenden Zahl der Anwendungen handelt es sich jedoch um kleinflächige Anwendungen im Bereich von Schornsteinen, Firsten/Graten, Luken etc. (vgl. Abbildung 11). Man spricht dabei von Verwahrungen.

Verwendung mehrheitlich in der Aussenhülle



Abbildung 11: Mit Walzblei verwahrte Anschlüsse bei Dachfenster und Schornstein (Bilder: R. Taverna).

Für die Schweiz wird von einem jährlichen Einsatz von rund 500 t Blei im Baubereich ausgegangen. Davon entfallen 75 % (375 t/a) auf den Aussen- und 25 % (125 t/a) auf den Innenbereich, hier v.a. für Strahlenschutzanwendungen. Mitunter findet sich in diesen Anwendungen Blei in einem Materialverbund, z.B. kaschiert in einer Gipsbauplatte. Im Aussenbereich wird der Anteil Walzblei mit 75 % und der Anteil Bleicolor, d.h. jener mit einem Anstrich beschichteter Bleibleche, mit 25 % angenommen (Senn, 2017).

Bleiverbrauch am Bau

Ausgehend von üblichen Blechdicken (2.73 mm für gross- und 1.33 mm für kleinflächige Anwendungen) nimmt das jährlich im Aussenbereich verbaute Blei eine Fläche von rund 24'000 m² ein. Die insgesamt verbaute Fläche ist rund 35-mal grösser und wird auf 800'000 m² geschätzt (vgl. Tabelle A2.2 in Anhang A.2). Grossflächige exponierte Bleianwendungen finden sich in der Schweiz nur sehr wenige, sie werden auf 1'600 m² geschätzt. Laut einer Expertenangabe wird in der Schweiz im Vergleich zur Situation in unserem Nachbarland Deutschland relativ wenig Blei verbaut (Conrad, 2018).

Verbaute Bleifläche

Unter dem Einfluss der Witterung bilden sich auf der Oberfläche des unedlen Bleis schnell Oxidationsprodukte aus, die es vor weiterer Korrosion schützen (Passivierung). Ein gewisser Anteil der atmosphärischen Korrosionsprodukte wird jedoch mit dem Regenwasser abgewaschen und gelangt je nach Abwasserfüh-

Atmosphärische Korrosion

rung in die Trennwasser- oder Mischwasserkanalisation. Zum Ausmass der Abschwemmungen liegen Untersuchungen aus dem In- und Ausland vor, welche typische Einbausituationen berücksichtigen. So ist bei den eingangs erwähnten Verwahrungen nur ein Teil des verbauten Bleis der Witterung ausgesetzt oder steht senkrecht zur Dachfläche und wird damit weniger benetzt. Schätzungen zu Bleiverlusten im Dachbereich finden sich in Tabelle A2.2 in Anhang A.2, der Beitrag zu den Bleieinträgen in Gewässer wird in Kapitel 6.3 diskutiert.

4.4 Verzinkung und Legierungen

Für die Optimierung der spanabhebenden Bearbeitung (Drehen, Bohren, Fräsen) von Stählen, Aluminium und Messing werden diese Werkstoffe mit Blei legiert. Dabei wirken die Bleieinschlüsse als Spanbrecher. Beim Feuerverzinken dient Blei in der Zinkschmelze als Hilfsstoff und bis vor rund 20 Jahren bestanden die meisten der in der Elektro- und Elektronikindustrie verwendeten Lote aus Legierungen von Zinn und Blei. Mit Erzeugnissen, die mit Blei legierte Bauteile enthalten, wurden im Zeitraum 2014–2016 schätzungsweise 450 t Blei pro Jahr in Verkehr gebracht. Der Bleiverbrauch als Hilfsstoff in Schweizer Stückgutverzinkereien wird mit rund 100 t/a veranschlagt. Abbildung 12 zeigt die prozentuale Verteilung des Einsatzes von Blei in Legierungen und der Verzinkung. Nachstehend finden sich Ausführungen zu den Annahmen, die bei den Verbrauchsabschätzungen getroffen wurden.

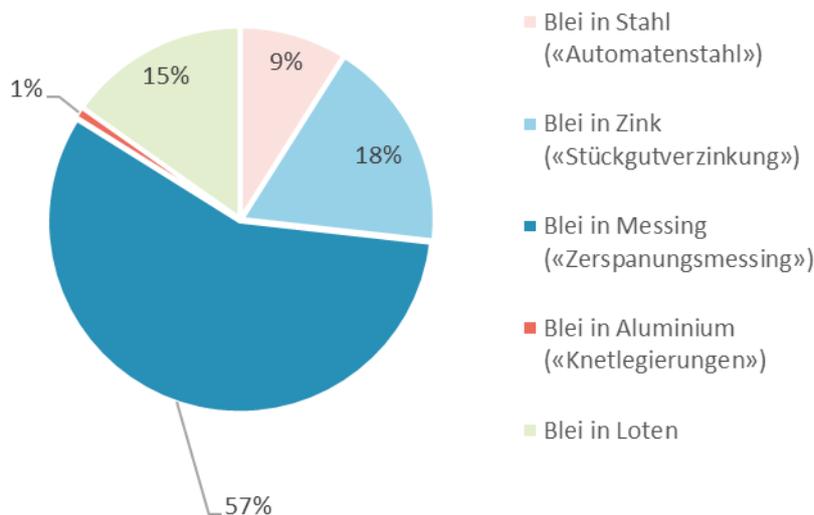


Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der Bleimengen in unterschiedlichen Legierungen

4.4.1 Verzinkung

Die bedeutendsten Verzinkungsverfahren sind das kontinuierliche und diskontinuierliche Feuerverzinken (Band- und Drahtverzinken bzw. Stückverzinken). Hierbei wird Stahl in eine flüssige Zinkschmelze getaucht und es entsteht eine Legierung mit dem Untergrund (Institut Feuerverzinken). Durch Zugabe von Blei zu den Zinkschmelzen, üblicherweise in Gehalten zwischen 0.7 und 1.2 %, bildet sich am Kesselboden ein Bleisumpf, auf dem sich das durch Eiseneintrag in die Schmelze entstehende Hartzink sammelt und besser abgeschöpft werden kann. Blei fördert weiter die Benetzung des Verzinkungsguts und sorgt für ein gleichmässiges Schichtwachstum (Körber, 2013).

Nach Angaben von Zangl et al. (2010) führt ein Pb-Gehalt in der Zinkschmelze um 1 % zu einem Gehalt in der Zinkschicht von 0.3 – 0.8 %. In Untersuchungen an Stahltragwerken im Kanton Schwyz im Jahr 2005 wurden an feuerverzinkten Masten älterer Baujahre Pb-Gehalte zwischen 0.1 % und 2 % festgestellt (AfU SZ, 2005). In im Jahr 2002 in Verkehr gesetzten feuerverzinkten Gegenständen mass man Pb-Gehalte bis 1.5 % (Marti, 2003). Aktuellere Untersuchungsergebnisse wurden nicht gefunden.

Es wird hier angenommen, dass Schweizer Stückgutverzinker im Zeitraum 2014 – 2016 Blei noch einsetzten, auch wenn Alternativen existieren. In der Deutschschweiz gelangen nach Angaben des WEKO (2017) jährlich ca. 120'000 t Stahl in Stückgutverzinkungswerke. Zum Vergleich wurden in Deutschland im Jahr 2017 laut Institut Feuerverzinken ca. 1.9 Mio. t Stahl stückverzinkt. Ausgehend von einem Zinkverbrauch für die Stückgutverzinkung von 0.058 t Zn pro Tonne Stahl, einem Pb-Gehalt im Zinkbad von 1 % und einer verzinkten Stahlmenge von 170'000 t errechnet sich der Pb-Verbrauch in den Schweizer Werken auf jährlich 100 t. Zwischen 30 t und 80 t Blei verbleiben auf den verzinkten Werkstücken, die etwa zur Hälfte im Bauwesen eingesetzt werden.

Blei als Hilfsstoff beim Stückverzinken

4.4.2 Legierungen

Rund $\frac{3}{4}$ der globalen Produktion von Messingerzeugnissen ist nach Berechnungen von Tercero Espinoza (2018) mit Blei legiert. Er gibt den globalen Verbrauch von Bleimetall für die Herstellung von Messinghalbzeugen im Jahr 2016 mit 81'000 t/a an. Durch die Verwertung von bleihaltigem Altschrott gelangen zusätzlich 33'500 t/a Blei in die Halbzeuge. Somit sind in den gesamthaft 6.34 Mio. t produzierten Messingerzeugnissen 114'500 t Blei enthalten. Der mittlere Pb-Gehalt in Messing errechnet sich so auf 1.8 %.

Zwischen 2014 und 2016 fand in Schweizer Umschmelzwerken keine grössere Messingproduktion statt. Angaben der Zollstatistik zufolge, wurden zwischen 2014 und 2016 im Durchschnitt ca. 23'500 t/a Messinghalbzeuge importiert und 1'700 t/a exportiert⁵. Wird in einer ersten Näherung der Schweizer Messingver-

Blei in «Zerspannungsmessing»

⁵ Waren der Zolltarifnummern 7403.21 (Kupfer-Zink-Legierungen [Messing] in Rohform) mit Ein- und Ausfuhren von 950 t bzw. 350 t, 7407.21 (Stangen, Stäbe und Profile, aus Kupfer-Zink-Legierungen [Messing], a.n.g.) mit Ein- und Ausfuhren von 10'250 t bzw. 800 t, 7408.21 (Draht aus Kupfer-Zink-Legierungen [Messing]) mit Ein- und Ausfuhren von 1'600 t bzw. 150 t, 7409.21 (Bleche und Bänder,

brauch mit ca. 18'000 t angenommen, errechnet sich eine Bleifracht in den Fertigerzeugnissen von ca. 320 t/a. Messing findet vielseitig Verwendung, beispielsweise in Armaturen sanitärer Einrichtungen, im Maschinen- und Apparatebau oder in Beschlägen und Scharnieren.

Mit Blei legierte Stähle («Automatenstähle») werden in der Schweiz in einem Stahlwerk hergestellt, sie gehen zu einem grossen Teil in den Export. In umgekehrter Richtung erfolgen Importe von bleihaltigen Stählen in Form von Halbzeug zur Weiterverarbeitung und in Form von Fertigerzeugnissen, die verarbeitete bleihaltige Stahlbauteile enthalten. Ausgehend von einer jährlichen Produktionsmenge in der EU von 130 Mio. t warmgewalzten Produkten schätzt Haupt (2018) die Produktion von mit Blei legierten Stählen in Europa auf rund 1 Mio. t pro Jahr. Gensch et al. (2016a) geben die Produktion in der EU mit 1.3 Mio. t/a an. Typischerweise enthalten mit Blei legierte Automatenstähle 0.2 – 0.35 % Pb (Gensch et al., 2016a; Lohse et al., 2001). Für die Abschätzung der Schweizer Pb-Fracht mit «Automatenstahl» wird vereinfacht von einem Verbrauch von ca. 17'500 t/a ausgegangen (1.65 % der EU-Produktion von 1.3 Mio. t Halbzeug mit 18 % Verarbeitungsverlusten). Mit einem Pb-Gehalt im legierten Stahl von 0.28 % korrespondiert eine Pb-Fracht von 50 t pro Jahr.

Blei in «Automatenstahl»

Aluminium wird als sog. Blockmetall in Formatgiessereien, die im Allgemeinen den Halbzeugwerken angeschlossen sind, gegebenenfalls legiert und vor allem zu Walz- und Pressbarren vergossen. Durch Warm- und Kaltumformen dieser Barren («Knetlegierungen») entsteht Aluminiumhalbzeug (Bänder, Bleche, Folien, Profile). Angaben über den Einsatz bleihaltiger Knetlegierungen, für die in Europa produzierten 7.9 Mio. Tonnen Walz- und Pressprodukte pro Jahr liegen nicht vor. Für die Abschätzung der durch bleihaltige «Knetlegierungen» bedingten Bleifracht wird der Verbrauch von bleihaltigem Aluminium vereinfacht mit ca. 1000 t/a angenommen (1.65 % der EU-Halbzeugproduktion von 7.9 Mio. t mit 18 % Verarbeitungsverlusten sowie einem Anteil verarbeiteter bleihaltiger Knetlegierungen von 1 %). Mit einem Pb-Gehalt im legierten Aluminium von 0.4 % (Knetlegierung AlCu5BiPb) korrespondiert eine Pb-Fracht von etwa 5 t pro Jahr.

Blei in Aluminium-«Knetlegierungen»

Im Unterschied zu Knetlegierungen werden Gusslegierungen, welche oft aus vermischten Altschrotten und Produktionsrückläufen hergestellt werden, kein Blei zulegiert. Wichtigster Abnehmer der gussgefertigten Produkte auf europäischer Ebene ist die Automobilindustrie. Nach deren Angaben enthalten die Gusslegierungen durch die Verwertung von bleihaltigem Aluminiumschrott bedingt zwischen 0.1 – 0.35 % Pb mit einem Mittelwert um 0.2 % Pb. Die Gussproduktion in der Schweiz ist relativ bescheiden. Der Giesserei-Verband der Schweiz gibt den Ausstoss der Schweizer Leichtmetallgiessereien im Zeitraum 2014 – 2016 mit rund 14'900 t pro Jahr an (GVS, 2016). In welchem Umfang Altschrott zur Verwertung gelangte und dieser Schrott allenfalls mit Blei belastet war, ist nicht bekannt.

Blei in Aluminium-Gusslegierungen

aus Kupfer-Zink-Legierungen [Messing], mit einer Dicke von > 0,15 mm, in Rollen) mit Ein- und Ausfuhren von 9550 t bzw. 200 t, 7409.29 (Bleche und Bänder, aus Kupfer-Zink-Legierungen [Messing], mit einer Dicke von > 0,15 mm, nicht in Rollen) mit Ein- und Ausfuhren von 550 t bzw. 100 t sowie 7411.21 (Rohre aus Kupfer-Zink-Legierungen [Messing]) mit Ein- und Ausfuhren von 700 t bzw. 100 t.

Im Bereich der Aluminium-Gussprodukte wird angenommen, dass Blei zur Hauptsache durch Importe von Fahrzeugen in die Schweiz gelangt (siehe Kapitel 4.7.1).

Über Jahrzehnte waren Legierungen von Zinn und Blei die Lote der Wahl zur Verbindung von Metallen. Heute ist die Verwendung von bleihaltigem Lötzinn in Elektro- und Elektronikgeräten sowie in Fahrzeugen (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge) in der EU und der Schweiz im Grundsatz verboten. Ausnahmen sind in Anwendungen festgelegt, wo ein Ersatz für Blei noch fehlt. Der durch Lote bedingte Bleifluss mit Elektro- und Elektronikgeräten wird für das Jahr 2015 auf rund 40 t geschätzt (siehe Kapitel 4.7.2), in Fahrzeugen waren im selben Jahr um 10 t Pb in Loten enthalten (siehe Kapitel 4.7.1). Zudem lässt sich der Aussenhandelsstatistik entnehmen, dass zwischen 2014 und 2016 der Nettoimport von Lötzinn um 65 t pro Jahr betrug. Ob und allenfalls in welchem Umfang sich darunter bleihaltige Lote befanden, die für nicht geregelte Verwendungen gebraucht wurden, ist nicht bekannt. Bei Elektro- und Elektronikgeräten sind solche beispielsweise Grosswerkzeuge oder Photovoltaikanlagen und bei Fahrzeugen sind es Lastwagen oder Cars sowie Schienen- und Luftfahrzeuge. Auch der Spengler- und Sanitärbereich ist nicht reguliert. Zumindest früher wurden hier bleihaltige Produkte zum Löten von Zink- und Kupfer-Halbzeug (wie Rohre und Bleche) verwendet. Geht man bei den Lötzinnimporten von einem hohen Anteil bleihaltiger Produkte aus und nimmt für diese einen Pb-Gehalt von 40 % an, summiert sich der Pb-Verbrauch mit Loten auf ungefähr 80 t/a.

«Bleilote»

Im Bereich des Orgelbaus werden Platten aus Blei-Zinn-Legierungen zu Orgelpfeifen teilweise von mehreren Metern Länge verarbeitet. Die Klangfarbe wird neben der Bauform und dem Durchmesser auch durch das Legierungsverhältnis bestimmt. Die Gesellschaft Schweizerischer Orgelbauern (GSO) umfasst 9 Orgelbauern mit insgesamt 80 Mitarbeitenden. Die Pfeifen werden vor Ort oder bei Pfeifenbauern hergestellt. Es wird von einer Blei-Nachfrage der Schweizer Orgelbauer im niedrigen zweistelligen Tonnenbereich ausgegangen.

«Orgelmetall»

Noch vor fünfzehn Jahren üblich war die Verwendung von bleihaltigem Zinn bei der Reparatur von Fahrzeugkarosserien. Auf Nachfrage bei der Sektion Industriechemikalien des BAFU wurde mitgeteilt, dass die chemikalienrechtlichen Vorschriften über Fahrzeuge so ausgelegt werden könnten, dass diese Verwendung verboten ist (vgl. Anhang A.4).

«Karosseriezin»

4.5 Chemikalien

Abgesehen von der Verwendung von Bleidioxid in Akkumulatoren (vgl. Kapitel 4.1) ist der Verbrauch an Blei in Form seiner Verbindungen abnehmend. Sie waren wichtige Additive für die Stabilisierung von Polyvinylchlorid (PVC) und hatten auch als Buntpigmente zur Einfärbung von Kunststoffen eine gewisse Bedeutung. Heute werden sie in diesen Verwendungen durch das Recycling im System gehalten (vgl. Kapitel 4.5.1). Andere Abnehmer von Bleiverbindungen sind die Glas- und Keramikindustrie. Als Einsatz als «Chemikalie» wird hier auch die Verwendung von Bleianoden in der Galvanik gezählt (vgl. Kapitel 4.5.2).

4.5.1 Kunststoffpigmente und PVC-Stabilisatoren

Das Inverkehrbringen und Verwenden der Buntpigmente Bleisulfochromatgelb, Bleichromatmolybdatsulfatrot und Bleichromat, u.a. für die Einfärbung von Kunststoffen, ist in der Schweiz seit Mai 2015 verboten (siehe Anhang A.4). Darüber hinaus vereinbarten der Europäische Stabilisator-Verband (ESPA) und der europäische Kunststoff-Verarbeiter-Verband (EuPC) im Jahr 2001 bis im Jahr 2015 Blei-Stabilisatoren in PVC schrittweise freiwillig zu ersetzen (Vinyl 2010). Auch die heimische PVC-Branche, zusammengeschlossen in der «Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie», richtet sich nach dieser Vereinbarung.

«Phase-out» von Pigmenten und PVC-Stabilisatoren auf Blei-Basis in der EU und der Schweiz

Die Daten aus der Aussenhandelsstatistik über Ein- und Ausfuhren von Polymeren auf Basis von Vinylchlorid in verschiedenen Verarbeitungsstufen zeigen, dass im Jahr 2018 Einfuhren hauptsächlich aus dem Wirtschaftsraum der EU stattfanden. Ausgehend von einem aktuellen PVC-Verbrauch im Jahr 2018 von rund 115'000 t, einem jährlichen Wachstum von 4 % seit 1988, relativen Anteilen am Gesamtverbrauch von ca. 40 % für Fenster und Profile, ca. 20 % für Rohre und Fittings, ca. 10 % für Dach- und Dichtungsbahnen, ca. 5 % für Kabel und ca. 2.5 % für kalandrierte Bodenbeläge, üblichen Bleigehalten von 2 % in Fenstern und Profilen, 0.75 % in Rohren und Fittings, 1.2 % in Dach- und Dichtungsbahnen, 1.6 % in Kabeln und 0.8 % in Bodenbelägen beim Einsatz von Blei-Stabilisatoren sowie ausgehend schliesslich von relativen Anteilen von mit Blei stabilisiertem PVC in den genannten Verwendungen über einen Zeitraum von 40 Jahren nach Angaben von Ooms & Cuperus (2013) zeigt Abbildung 13 eine Grobschätzung der seit 1988 mit PVC-Erzeugnissen in Verkehr gebrachten Bleimenge. Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 errechnet sie sich auf ca. 15 t/a.

Maximale-Blei-Frachten mit zwischen 1996 – 2006 in Verkehr gesetzten PVC-Erzeugnissen

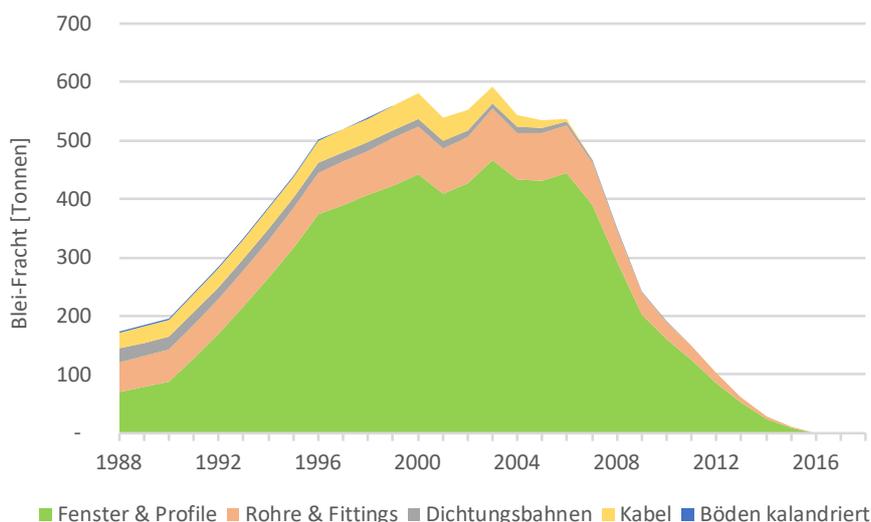


Abbildung 13: Im Zeitraum 1988 – 2018 mit PVC in Verkehr gesetzte Bleimengen

Vorstehende Schätzung berücksichtigt für den Zeitraum 2014 – 2016 nicht, dass aus dem Nicht-EU-Raum importierte PVC enthaltende Fertigprodukte Blei enthalten können. Solche Einfuhren erfolgten in jüngerer Zeit im Bereich der Bodenbeläge, Wand- und Deckenverkleidungen (Tarifnummer 3918.1000) sowie der Kunststofffenster und -türen (Tarifnummer 3925.2000). Bei letzteren erfolgten Einfuhren aus Nicht-EU-Staaten hauptsächlich aus dem Balkan (Bosnien-Herzegowina, Kosovo, Nordmazedonien und Serbien), wohin u.a. auch ein grosser Schweizer Fensterhersteller seine Produktion verlegt hat. Wird hier der Anteil von mit Blei stabilisiertem PVC zwischen 2014 und 2016 mit 50 % veranschlagt, errechnet sich eine Bleifracht von rund 40 t/a.

Möglicherweise noch Blei-Frachten mit importierten Kunststofffenstern und -türen, Bodenbelägen, Wand- und Deckenverkleidungen aus dem aussereuropäischen Wirtschaftsraum

Im Falle der Bodenbeläge sowie Wand- und Deckenverkleidungen sind seit dem Jahr 2007 zunehmend Einfuhren aus Nicht-EU-Staaten zu verzeichnen. Im Jahr 2018 waren es rund 16'000 t, davon stammten 95 % aus China. Unter den Importen finden sich – zu unterschiedlichen Anteilen – sog. Cushioned Vinyls (geschäumte Beläge), homogene PVC-Beläge (ein- und mehrschichtige Beläge mit ähnlicher Materialzusammensetzung), heterogene PVC-Beläge (mehrschichtige Beläge mit unterschiedlichen Materialzusammensetzungen) sowie in Paneelen und Fliesen vermarktete sog. Luxury Vinyls (FEB, 2017). Cushioned Vinyls enthielten nie Blei, kalandrierte oder im Pressverfahren hergestellte homogene und heterogene PVC-Beläge können Blei-Stabilisatoren enthalten. Unter Annahme, dass die Hälfte der aussereuropäischen Einfuhren auf im Kalandrier- oder Pressverfahren hergestellte Beläge entfiel, die in 50 % der Fälle mit Blei stabilisiert wurden, errechnet sich die Bleifracht zwischen 2014 und 2016 auf rund 25 t/a.

Vorstehende Schätzungen berücksichtigen zudem nicht, dass Blei über das Recycling in neue PVC-Produkte gelangen kann. Abbildung 14 zeigt die modellierten Bleigehalte in Profil-Abfall (Fenster- und Türrahmen sowie andere Profile) und die in neuen Profilen resultierenden Bleigehalte bei Rezyklatanteilen von 40 – 70 % für den Zeitraum 2012 – 2050 (Ooms & Cuperus, 2013).

Blei wird über das Recycling im Stoffkreislauf gehalten

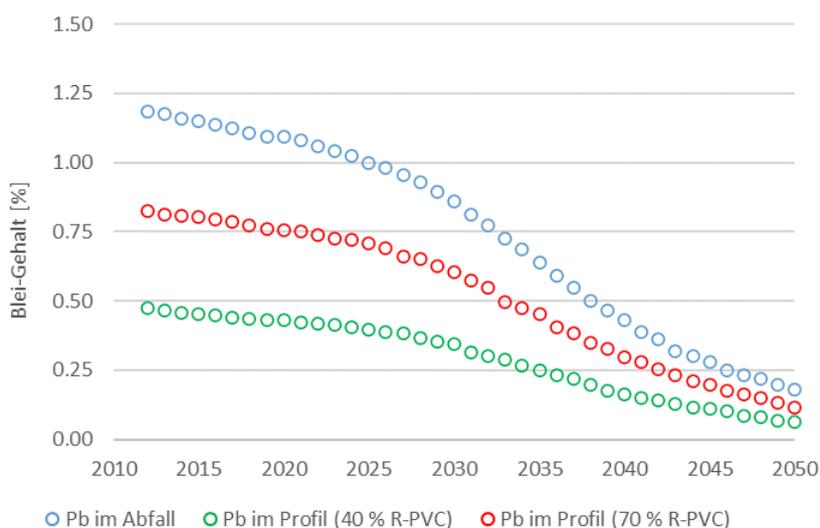


Abbildung 14: Prognose der Bleigehalte in PVC-Rezyklat (R-PVC) enthaltenden PVC-Profilen

Nach Angaben des Europäischen Wirtschaftsverbands der Hersteller von Hart-PVC-Fensterprofilsystemen und verwandten Bauprodukten (EPPA) liegt der mittlere Rezyklatanteil in neuen Fenstern europaweit bei 10 % (EPPA, 2018). Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 lag die Nettoeinfuhrmenge von Türen, Fenstern und deren Rahmen sowie Verkleidungen und Schwellen aus Kunststoffen (Tarifnummer 3925.20) bei 38'400 t pro Jahr. Bei einem Rezyklatanteil von 10 % mit einem Bleigehalt von 1.15 % errechnet sich die über das Recycling im System gehaltene Blei-Menge auf rund 45 t/a. Bei unveränderter Praxis wird diese Menge bedingt durch das jährliche Wachstum in diesem Anwendungssegment (ca. 5 % p.a.) bis zum Jahr 2030 auf rund 70 t ansteigen und danach aufgrund sinkender Bleigehalte im Profilabfall langsam abnehmen. Bei höheren Recyclingraten resultieren entsprechend höhere Bleifrachten.

Zusammenfassend kann die in PVC enthaltene Bleimenge im Zeitraum 2014 – 2016 mit 60 – 120 t pro Jahr veranschlagt werden.

4.5.2 Andere Verwendungen

In der Keramik- und Glasindustrie werden Bleiverbindungen bei der Herstellung von Bleikristallglas und von Spezialgläsern, wie Weissglas für optische Anwendungen, von Spezialkeramik für elektrische und elektronische Bauteile und von Glasuren für Tafelkeramik verwendet.

In Glas erniedrigt Blei die Schmelz- und Erweichungspunkte und verbessert die Bearbeitbarkeit und chemische Stabilität. Im Falle von Bleikristallglas wird die Schweizer Nachfrage durch Einfuhren gedeckt. Nach Daten aus der Aussenhandelsstatistik (EZV, 2019) lag im Zeitraum 2014 – 2016 die mittlere Einfuhrmenge bei ca. 260 t pro Jahr. Davon entfielen 57 % auf Trinkgläser, 27 % auf andere Glaswaren für Küche und Tisch sowie 16 % auf Glaswaren zur Verwendung in der Innenausstattung. Ausgehend von einem Gehalt an Bleioxid von 24 % war mit den genannten Glaswaren ein Bleiimport von rund 60 t pro Jahr verbunden.

Insbesondere die Glasur von hochwertigem Geschirr kann Blei enthalten. Es verbessert die Verarbeitung und Gebrauchseigenschaften. Inwieweit bleihaltige Glasuren und Fritten oder Mischungen für die Aufglasurmalerei in der Schweiz verarbeitet werden und wie sich der Bleifluss mit Importware gestaltet, konnte nicht eruiert werden. Laut einer Mitteilung des Bundesamts für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen geht von Blei enthaltendem Keramikgeschirr aus dem Fachhandel für den Verbraucher keine Gefährdung für die Gesundheit aus, hingegen kann der Gebrauch von Feriensouvenirs oder Flohmarktware im Kontakt mit Lebensmitteln ein Gesundheitsrisiko darstellen (BLV, 2018).

In technischer Keramik verleiht Blei u.a. Halbleitereigenschaften sowie dielektrische, piezo-, pyro- und ferroelektrische Eigenschaften, z.B. in Form von Bleititanzirkonoxid basierter Keramik. Der Bleifluss mit Bauteilen aus Keramik und Glas in Fahrzeugen sowie Elektro- und Elektronikgeräten lässt sich zwischen 2014 und 2016 auf rund 20 t/a schätzen (vgl. Kapitel 4.7).

In der Oberflächenbehandlungsindustrie wird Bleibis(tetrafluoroborat) zur elektrolytischen Abscheidung von Blei verwendet, Bleimethansulfonat kann zum stromlosen Aufbringen von Zinnlegierungen beispielsweise auf Kupfer verwen-

Verwendung in Keramik und Glas

Verwendung in der Galvanik

det werden. Bei der Hartverchromung aus schwefelsauren Chromsäure-Elektrolyten bestehen die Anoden oft aus Blei. Bei der Verchromung mit platinieren Titananoden soll die Beschichtung der Anode mit Bleioxid die Bildung von dreiwertigem Chrom unterdrücken (Baumann & Herberg-Liedtke, 1991). Der Bleiverbrauch in Schweizer Galvanikbetrieben wird grob auf 70 t pro Jahr geschätzt, hauptsächlich in Form von metallischem Blei für Anoden.

Verschiedene Bleiverbindungen (Bleimonoxid, Bleidioxid und Bleitetraoxid, Bleinitrat, Bleidiazid, Blei-2,4,6-trinitro-m-phenylendioxid, Blei-Kupfer-Chelate von Beta-Resorcyolat) sind bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) u.a. zur Verwendung als Explosivstoffe registriert. Bleidiazid beispielsweise findet Verwendung als Sprengzünder, Blei-2,4,6-trinitro-m-phenylendioxid dient als Initialsprengstoff für Kleinkaliber- und Gewehrmunition oder in munitionsbetriebenen Vorrichtungen wie Bolzensetzgeräten. Zur Verwendung von Bleiverbindungen als Explosivstoffe in der Schweiz wurden keine Angaben gefunden. In der Vergangenheit enthielten Feuerwerkskörper oft Bleioxide. Zusammen mit Aluminium oder einer Legierung von Aluminium und Magnesium und anderen Komponenten wurden sie vor allem zur Erzeugung von Knister- und Knallsternen eingesetzt. Trotz des im Sprengstoffrecht festgelegten Verbots von Blei in pyrotechnischen Sätzen misst man das Metall nach dem Ablassen von Feuerwerk in erhöhten Gehalten in der Luft, was auf einen gewissen Einsatz in den hauptsächlich in China produzierten Feuerwerkskörpern schliessen lässt (von Arx, 2014).

Verwendung als Explosivstoffe

Die um 1950 begonnene Verwendung von Tetraethylblei als Antiklopfmittel in Automotorenbenzin, die mit einer hohen Belastung der Umwelt und des Menschen einherging, wurde im Jahr 2000 eingestellt, einzig Flugbenzin für über Kolbenmotoren verfügende Propellerflugzeuge ist oft noch verbleit. Der mit solchem Treibstoff verbundene Bleifluss wird auf ca. 2 t pro Jahr geschätzt.

Verwendung als Antiklopfmittel

4.6 Gewichte

4.6.1 Fischereigewichte

Zu Beschwerung des Köders beim Fischen ist Fischerblei seit Jahrhunderten das gängigste Material. Neben der Gewährleistung, dass der Köder schnell in die tieferen Gefilde der Gewässer sinkt, erleichtert ein Bleigewicht am Angelhaken auch das Auswerfen der Schnur. Obwohl in der Fischerei Wert darauf gelegt wird Bleiverluste (und damit Kosten) zu vermeiden, gehen jedes Jahr mehrere hundert Kilo Blei in Schweizer Gewässern verloren. Problematisch sind solche Verluste dann, wenn sie von Tieren aufgenommen und via Verdauungstrakt bioverfügbar werden. Angaben zur Höhe der Gewässereinträge sowie bei deren Abschätzung getroffene Annahmen finden sich in Kapitel 6.3 sowie Anhang A.2, Tabelle A2.1.

4.6.2 Andere Gewichte

Weitere aufgrund der hohen Dichte des Bleis bekannte Verwendungen als Gewichte sind Ausrüstungen von Tauchanzügen, Beschwerungen zur Stabilisierung

von Schiffen, beispielsweise in Kielen von Yachten, der Modellbau, Beschwerungen zur Straffung von Textilien wie Dusch- und Fenstervorhänge, Gegengewichte in medizinischen Geräten (vgl. Kapitel 4.7.2) sowie Schwingungsdämpfer oder Auswuchtgewichte in Automobilen (vgl. Kapitel 4.7.1). Ausser Mode scheint Stanniollametta mit Blei im Kern als Weihnachtsschmuck. Insgesamt werden für die genannten (und andere) Verwendungen um 90 t Blei pro Jahr verbraucht. Unzulässig seit dem Jahr 2005 ist die Verwendung von Blei als Auswuchtgewicht beim Aufziehen von Reifen von Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Allein für diese Verwendungen wurden im Neu- und Ersatzmarkt bis dahin jährlich rund 200 t Blei verbraucht.

4.7 Ausgewählte Produktarten

Nachstehenden «Produktarten» gemeinsam ist, dass sie gestützt auf chemikalienrechtliche Vorschriften grundsätzlich kein Blei enthalten dürfen. Ausnahmen sind für Verwendungen festgelegt, wo ein Ersatz für Blei zurzeit noch fehlt (Fahrzeuge, Elektro- und Elektronikgeräte) oder die keine breite Verwendung haben (Künstlerfarben). Mit Holzwerkstoffen wurde eine Produktart geregelt, in welcher Blei nie bestimmungsgemäss verwendet wurde. Mit einer Limite für den zulässigen Bleigehalt in Holzwerkstoffen soll verhindert werden, dass problematische Holzabfälle bei deren Herstellung verwendet werden. Zuständig für den Vollzug der chemikalienrechtlichen Vorschriften über die genannten Produktarten sind die Kantone.

4.7.1 Fahrzeuge

Die Schweizer Vorschriften über die Zulässigkeit von Blei in Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen sowie in Bauteilen für diese Fahrzeuge sind mit denjenigen der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge identisch. Sie führten – ohne Berücksichtigung der Starterbatterien – zu einer sukzessiven Abnahme der jährlichen Bleimenge in Fahrzeugen seit dem Jahr 2000 von knapp 380 t auf 80 t im Jahr 2015. Es wird prognostiziert, dass 2020 mit Fahrzeugen noch 50 t Blei in Verkehr gebracht werden (vgl. Abbildung 15). Motivation der Vorschriften in der EU und der Schweiz war die Entlastung des Abfallstroms mit Blei bei der Entsorgung von Altfahrzeugen. Weil bei Strassenfahrzeugen das Abfallaufkommen mit Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen überwiegt, wurden vorerst diese Fahrzeugtypen geregelt.

Sukzessive Abnahme der Bleimenge in Fahrzeugen

Von der Bleimenge in den um das Jahr 2015 in Verkehr gebrachten Fahrzeugen entfiel knapp ein Drittel auf Gussteile mit Sekundäraluminium, welche Blei bedingt durch das Einschmelzen von bleihaltigem Schrott enthalten und rund ein Viertel auf Legierungselemente (Stahl und Messing). Ein weiteres Viertel verteilte sich auf Lötverbindungen von elektrischen und elektronischen Elementen (15 %) sowie auf Bauteile aus Glas oder Keramik wie piezokeramische Bauelemente (9 %). Rund 20 % befanden sich in Schwingungsdämpfern, die noch in 10 % der Fahrzeuge enthalten waren (vgl. Abbildung 16).

Grundlagen für die in Abbildung 15 und Abbildung 16 präsentierten Zahlen waren Daten, die von Gensch et al. (2016a), Lohse et al. (2001), Lohse et al. (2008), Sander et al. (2000), Yano et al. (2014) und Zangl et al. (2010) erhoben wurden, sowie Daten der Branchenverbände (ACEA, 2013; ACEA, 2018).

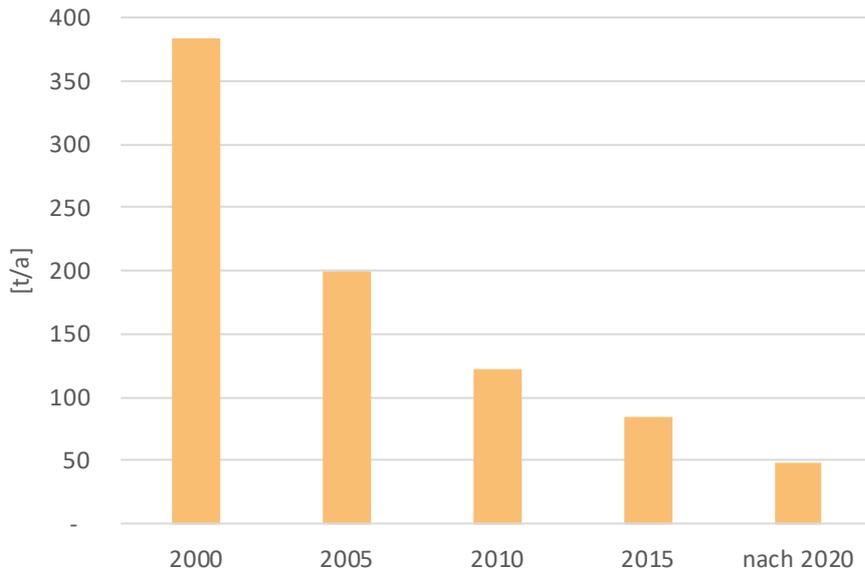


Abbildung 15: Entwicklung der Bleimenge in Fahrzeugen in der Schweiz (ohne Batterien) im Zeitraum 2000 bis 2015 und Schätzung für die Jahre nach 2020.

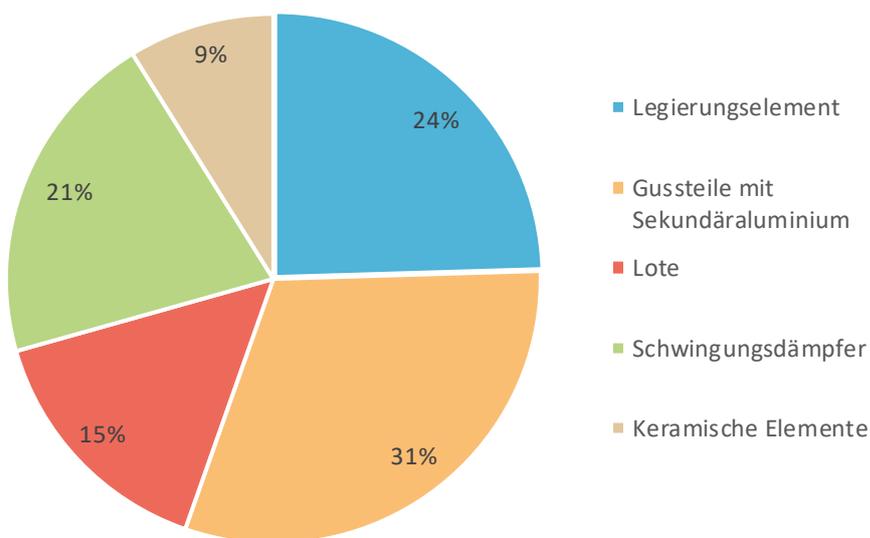


Abbildung 16: Relativer Beitrag von Bauteilen zur Bleimenge in Fahrzeugen (ohne Batterien) im Jahr 2015.

Im Rahmen einer gesamtschweizerisch koordinierten Kampagne überprüften die Kantone im Jahr 2008 gegen 80 Bremsbeläge auf die Einhaltung des Grenzwerts für Blei. Mit dem Abrieb bleihaltiger Bremsbeläge waren in der Vergangenheit erhebliche Bleieinträge in die Umwelt verbunden. Nach Angaben des Europäischen Branchenverbands Federation of European Manufacturers of Friction Materials (FEMFM) enthielten im Jahr 2000 produzierte Bremsbeläge im Durchschnitt noch 20'000 mg Pb/kg. Im Rahmen der Kampagne musste kein Bauteil beanstandet werden; bei einem zulässigen Gehalt von 1'000 mg Pb/kg lagen häufige Gehalte (25 %- und 75 %-Perzentile) zwischen 35 und 105 mg Pb/kg. (Stahl et al., 2011). Demgegenüber wurden in der Ostschweiz Übertretungen des Verbots bei Auswuchtgewichten aus Blei festgestellt. In neun zufällig ausgewählten Thurgauer Werkstattbetrieben, die Reifen montieren und auswuchten, wurden drei Steck- oder Schlaggewichte aus Blei gefunden, die für die Montage an Personenwagen oder leichten Nutzfahrzeugen vorgesehen waren. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass fünf für Motorräder bestimmte Klebegewichte in unzulässiger Weise auch an Personenwagen montiert wurden (KL TG, 2016). Auch im Kanton Zürich wurde festgestellt, dass in zwei von vier überprüften Pneuwerkstätten Auswuchtgewichte aus Blei entgegen den Vorschriften des Chemikalienrechts montiert wurden (KL ZH, 2016).

Beanstandungen bei Marktkontrollen bei Auswuchtgewichten

Anzufügen bleibt, dass die genannten Vorschriften für neue Fahrzeuge gelten und somit ein Handel, auch grenzüberschreitend, mit Gebrauchtwagen ohne Einschränkungen möglich ist. So verliessen im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 jährlich rund 125'000 Fahrzeuge als Occasionen durch Ausfahren die Schweiz. Weitere 80'000 Fahrzeuge hatten einen unbekanntenen Verbleib, hier wird davon ausgegangen, dass diese Fahrzeuge illegal exportiert wurden (SARS, 2017).

4.7.2 Elektro- und Elektronikgeräte

Die Einschränkungen und Verbote für Blei in Elektro- und Elektronikgeräten in der Schweiz sind harmonisiert mit jenen, wie sie in der Richtlinie 2011/65/EU (RoHS-RL) in der EU festgelegt sind. Die Verbote traten zeitgleich im Jahr 2006 in Kraft. Sie führten zu einem Rückgang der Bleifracht mit in Verkehr gebrachten Geräten von 770 t im Jahr 2005 auf 70 t Blei im Jahr 2015. Nach Auslaufen der befristeten Ausnahmen gemäss RoHS-Richtlinie wird sich die Bleifracht nach 2025 weiter auf etwa 20 t/a verringern. Neben den Vorschriften in der EU und der Schweiz hat der Technologiewechsel von Röhrenbildschirmen (Cathode Ray Tubes, CRT) zu Flachbildschirmen in TV-Geräten und Personal Computern (PC) besonders zur Verringerung der Bleifracht beigetragen (vgl. Abbildung 17). Wie bei Fahrzeugen zielen die Vorschriften in der EU und der Schweiz dahin, die Bleimenge im Abfallstrom zu vermindern.

Deutlicher Rückgang der Bleimenge in Elektro- und Elektronikgeräten

Im Jahr 2015 waren Bleilote mit ca. 60 % für den grössten Bleibeitrag in den Geräten verantwortlich. Rund ein Viertel wurde in Abschirmungen und Gegengewichten verbaut, welche in medizinischen Geräten sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten verwendet werden. Glas- und Keramikelemente trugen mit 16 % zur Bleifracht bei, andere Bauelemente spielten mengenmässig eine untergeordnete Rolle (vgl. Abbildung 18).

Basis für die in nachstehenden Abbildungen präsentierten Zahlen waren hauptsächlich Abklärungen von Gensch und Mitarbeitern, die sie im Auftrag der EU-Kommission zwischen 2007 und 2018 vorgenommen haben, weitere Informationen wurden Arbeiten von Deubzer (2007), Erdmann et al. (2004), Goodman (2006) und Restrepo et al. (2016) entnommen.



Abbildung 17: Bleimenge in Elektro- und Elektronikgeräte in der Schweiz seit 2005, mit Ausblick über 2025 hinaus.

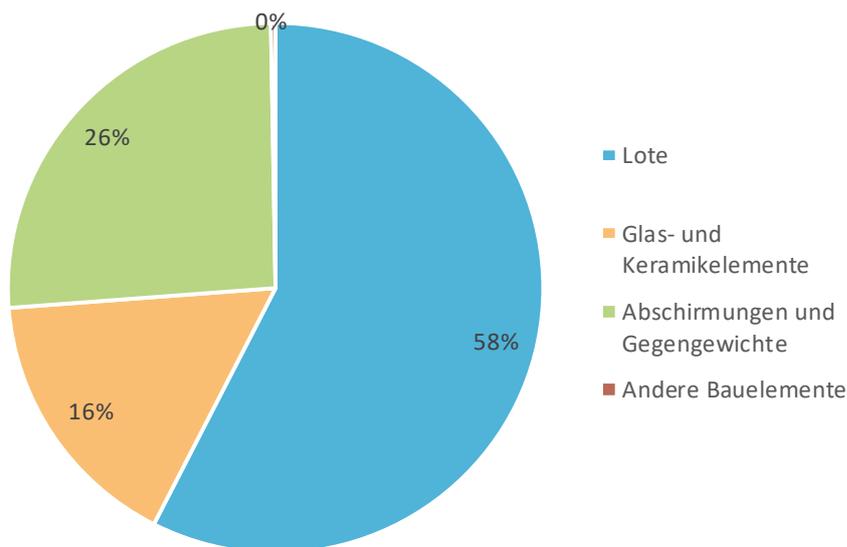


Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Verwendungszwecke von Bleilegierungen in Elektro- und Elektronikgeräten in Schweiz im Jahr 2015.

Im Jahr 2011 wurden im Rahmen einer gesamtschweizerisch koordinierten Marktkontrolle 45 Geräte des «Hair & Beauty»-Produktbereichs im Kantonalen Labor Zürich auf die Einhaltung der Vorschriften überprüft. Rund ein Viertel der Geräte erfüllte die Anforderungen nicht: In 13 Losen wurde Blei deutlich über dem Grenzwert von 0.1 % gemessen, in keinem der Geräte wurden jedoch durchgehend solche Lote gefunden. Trotz der hohen Beanstandungsquote wurde deshalb gefolgert, dass die Hersteller bemüht sind, die Beschränkungen einzuhalten. Die Hersteller der beanstandeten Geräte verpflichteten sich, die Produktionsabläufe zu überprüfen, sodass ihre Geräte in Zukunft die gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Die Marktkontrolle hat zudem gezeigt, dass die gewährten Ausnahmen beansprucht werden: In 29 Geräten (65 %) wurde in 37 Fällen Blei in Bauteilen gefunden, welche die Metalle noch enthalten dürfen (Heid & Figi, 2012). Eine Folgekampagne im Jahr 2018, diesmal mit Schwerpunkt auf kostengünstigen Geräten, die in grossen Serien hergestellt werden, zeigte ein ähnliches Bild: In 49 von 180 Geräten wurden in unzulässiger Weise bleihaltige Lote gefunden. Wiederum wurden sie in vielen Geräten nur an einigen Stellen verwendet (Heid et al., 2019).

Beanstandungen bei Marktkontrollen bei Bleilosen in Elektro- und Elektronikgeräten

4.7.3 Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe sind industriell gefertigte Produkte auf Basis von miteinander verklebten Holzteilen. Ihre Herstellung umfasst das Zerlegen des Holzes in Bretter, Furniere, Furnierstreifen, Späne oder Fasern, das Aufbringen oder Einmischen eines Bindemittels, das Ausrichten und Anordnen der Holzteile sowie das Fügen und Verfestigen in Pressen und Formen (Richter et al., 2010).

In der Schweiz werden heute noch an einem Standort Spanplatten hergestellt. Zusammen mit einem Produzenten von Sperrholzplatten gibt es in der Schweiz somit nur zwei Produktionsstandorte von Holzwerkstoffen (SZ, 2015). Nicht für den Schweizer Markt bestimmte Fabrikate gelangen zur Ausfuhr, während grössere Mengen an Holzwerkstoffen zur Deckung der Nachfrage importiert werden. Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 waren dies gegen 160'000 t Span- und um 115'000 t Faserplatten pro Jahr. Die Produkte wurden fast gänzlich aus Mitgliedsstaaten der EU eingeführt. Aktuell waren dies laut Daten der Zollverwaltung (EZV, 2019) v.a. Deutschland und Österreich sowohl bei Span- (51 % bzw. 21 %) wie auch bei Faserplatten (78 % bzw. 5 %).

Nachdem um die 2000er Jahre in Holzwerkstoffen wiederholt Pestizide wie Pentachlorphenol (PCP) oder polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aus Teerölen sowie erhöhte Schwermetall-Gehalte, so Blei aus weiss beschichteten Bauteilen wie Fenster und Aussentüren, gefunden wurden, die ihren Ursprung in der unsachgemässen Verwertung von lackiertem und mit Holzschutzmitteln imprägniertem Holz hatten, legte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in einer Vollzugshilfe zum Abfallrecht Qualitätsanforderungen an das zur stofflichen

Problematische Bleigehalte in Holzwerkstoffen in der Vergangenheit

Verwertung vorgesehene Altholz fest, die sich an den in Deutschland in der Altholzverordnung⁶ festgelegten Höchstwerten für bestimmte Schadstoffe in Spänen und Schnitzeln (sekundäre Rohstoffe) aus der Aufbereitung von Altholz orientieren. Der für Blei festgelegte Grenzwert beträgt 30 mg/kg (BAFU, 2020b). Auch in Österreich wurden für Blei Limite im Altholz, das dem Recycling in der Holzwerkstoffindustrie zugeführt werden soll, festgelegt, nämlich 10 mg Pb/kg für das 50 %-Perzentil und 15 mg Pb/kg für das 80 %-Perzentil der zehn letzten Untersuchungsergebnisse⁷.

Um in der Schweiz auch die Schadstoffbelastung in importierten Holzwerkstoffen zu limitieren, wurden für einige Schadstoffe, darunter Blei, im Jahr 2005 im Chemikalienrecht zusätzlich zulässige Höchstwerte in Holzwerkstoffen als solche festgelegt. Im Jahr 2008 entschied der Bundesrat, dass die Grenzwerte an jene des europäischen Branchenverbands (European Panel Federation EPF) angepasst werden sollen, zu deren Einhaltung sich die Branche freiwillig verpflichtete (Voluntary Industry Standard). Diese Grenzwerte sind gesundheitlich begründet und stützen sich auf den CEN-Bericht 13387 (Child use and care articles) bzw. die europäische Norm EN 71-3. Nicht tangiert war der Grenzwert für Blei von 90 mg/kg, der bereits in der Erstfassung mit dem EPF-Standard harmonisiert war.

Nach vorstehenden Angaben erfolgen 70 % - 80 % der Einfuhren von Span- und Faserplatten aus unseren Nachbarstaaten Deutschland und Österreich, wo die Verwendung von Altholz als sekundärem Rohstoff bei der Holzwerkstoffherstellung behördlich geregelt ist. Ob die Vorschriften über Holzwerkstoffe von Herstellern und Importeuren in der Schweiz befolgt werden, überprüften die kantonalen Fachstellen in einer gesamtschweizerisch koordinierten Kampagne im Jahr 2007. In Tabelle 4 sind die für Blei gefundenen Resultate zusammen (Herren, 2010).

Von den rund 100 untersuchten Späne oder Fasern enthaltenden Holzwerkstoffen enthielten zwei rohe Spanplatten mehr als 30 mg Pb/kg, davon musste eine Platte aus Belgien beanstandet werden, da sie den im Chemikalienrecht festgelegten Höchstgehalt von 90 mg Pb/kg überschritt. Bei den beschichteten Spanplatten erfüllten zwei Platten mit Schweizer Provenienz und eine Platte aus Italien die chemikalienrechtlichen Anforderungen für die Bereitstellung auf dem Markt nicht; weitere acht Platten enthielten zwischen 30 und 90 mg Pb/kg, sie stammten aus der Schweiz (n = 3), Deutschland (n = 2), Italien (n = 2) und Österreich (n = 1). Dies deutet daraufhin, dass teilweise mit Blei belastetes Holz verarbeitet wurde, weil angenommen wird, dass Bindemittel und andere bei der Herstellung von Holzwerkstoffen verwendete Hilfs- und Beschichtungsstoffe Blei nur in Spuren aufgrund unvermeidlicher Verunreinigungen enthalten. Bei den Faserplatten war schliesslich eine MDF-Platte aus Italien und eine OSB-Platte unbekannter Herkunft zu beanstanden. Damit betrug die Beanstandungsquote im Falle von Blei ca. 5 % (Herren, 2010).

**Wenig Beanstandungen bei
 Marktkontrollen im Jahr 2010**

⁶ Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV vom 15. August 2002. BGBl. I S. 3302).

⁷ Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV vom 15. Mai 2012. BGBl. II Nr. 160/2012).

Tabelle 4: Im Jahr 2007 von kantonalen Fachstellen in Holzwerkstoffen gefundenes Blei

Holzwerkstoff	Wert [mg/kg]	Wertart
Spanplatten roh	14	Mittelwert (n = 22)
	4	Median
	1 – 21	10 %- und 90 %-Perzentile
	< 0.5 – 125	Extremwerte
Spanplatten beschichtet	26	Mittelwert (n = 44)
	7	Median
	1 – 68	10 %- und 90 %-Perzentile
	0.5 – 222	Extremwerte
Mitteldichte Faserplatten (MDF)	6	Mittelwert (n = 22)
	1	Median
	< 0.5 – 1	10 %- und 90 %-Perzentile
	< 0.5 – 97	Extremwerte
Grobspanplatten (OSB)	24	Mittelwert (n = 11)
	≈ 0.5	Median
	< 0.5 – 3	10 %- und 90 %-Perzentile
	< 0.5 – 257	Extremwerte

4.7.4 Produkte für private Verwender

Von Blei enthaltenden kleinen Konsumgütern sind vor allem Kinder im Alter unter 36 Monaten, die oftmals diverse Gegenstände wiederholt in den Mund nehmen, gefährdet. Seit Januar 2019 gelten im Einklang mit den Vorschriften der Verordnung (EU) Nr. 2015/628, einem Änderungserlass der EU-REACH-Verordnung, auch in der Schweiz Beschränkungen für die Abgabe bleihaltiger Gegenstände an die breite Öffentlichkeit, wenn diese Gegenstände oder zugängliche Teile davon von Kindern in den Mund genommen werden können und mehr als 500 mg Pb/kg enthalten. Nach Angaben der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) wird für den EU-Markt geschätzt, dass vor dem Inkrafttreten des Verbots jährlich bleihaltige Artikel im Umfang von 2'000 Mio. Stück auf den Markt gelangten (ECHA, 2014). Dies entspricht im Wirtschaftsraum rund 4 Artikeln pro Einwohner und Jahr. Für die Schweiz kann die absolute Anzahl grob auf 30 – 35 Mio. Artikel geschätzt werden. Betroffen sind Kleidungsstücke mit Knöpfen oder Reissverschlüssen, Schlüsselringe und Schlüsselketten, Portemonnaies, Teile von Schreibgeräten (z. B. Nase, Clips und andere Oberteile), Griffe von Fahrrädern und ähnliche Gegenstände, Vorhanggewichte, wenn sie für Kinder zugänglich sind, Tischdeckenhalter sowie -beschwerer und eine Vielzahl weiterer Waren. Blei kommt in diesen Artikeln in Form des Metalls, als Legierung und in Form von Verbindungen vor, in letzteren insbesondere als Pigment und Stabilisator in Kunststoffen. Motivation der Vorschrift war das Fernhalten vom Markt einer Vielzahl von Gegenständen, die potentiell zu einer Exposition von Kleinkindern mit Blei führen können. Der mit den fraglichen Gegenständen einhergehende Bleifluss für den Zeitraum 2014 – 2016 wird auf einen einstelligen Tonnenbereich pro Jahr geschätzt (ECHA, 2014).

Blei in kleinen Konsumgütern für die breite Öffentlichkeit

Die Abgabe von Bleigiesssets für das vor allem an Silvester praktizierte Bleigiesesen, bei dem eine bleihaltige Legierung erhitzt und die Schmelze in ein Wassergefäss geworfen wird, um formenreiche Figuren zu erzeugen, ist seit Mitte 2018 zum Schutz der Gesundheit der Verbraucher nicht mehr erlaubt. Bei Kontrollen im Dezember 2019 im Kanton Zürich wurde festgestellt, dass das Verbot im Handel noch nicht überall befolgt wurde: In einigen Geschäften waren noch Bleigiesssets erhältlich, deren Verkauf gestoppt werden musste (KL ZH, 2020).

Bleigiesssets

4.8 Alternativen zu Blei

In diesem, die Beschreibung der Verwendung von Blei beendenden Unterkapitel, werden einige Informationen über Alternativen zu Blei und seinen Verbindungen gegeben. Prinzipiell sollen bei einer funktionalen oder technologischen Substitution von Blei Gesamtvorteile für die Umwelt und die Gesundheit der Verbraucher resultieren und die Mehrkosten für alle Akteure tragbar sein. Besondere Bedeutung kommt den Verwendern zu, die mit der Wahl eines alternativen und ggf. in der Beschaffung teureren Produkts dazu beitragen, die Exposition von Mensch und Umwelt mit Blei zu reduzieren.

Nachstehende Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, welche in der gebotenen Kürze nicht möglich ist und das Mandat des Auftraggebers auch nicht vorsah. In ihrer Reihung folgen sie den in den Kapiteln 4.1 bis 4.7 beschriebenen Verwendungen.

Für Fahrzeuge (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge) bestimmte Batterien auf Blei-Säure-Basis nehmen insofern eine Sonderrolle ein, als ihre Verwendung in der EU und der Schweiz im Grundsatz untersagt ist. Die Europäische Kommission lässt in zeitlichen Abständen prüfen, wie lange diese Ausnahmeregelung noch Gültigkeit haben soll. Die nächste Überprüfung für die Nutzung als Starterbatterie ist im Jahr 2021 vorgesehen, für die Nutzung als Antriebsbatterie hat die Kommission bereits entschieden, dass eine solche nur noch für vor dem 1. Januar 2019 typgenehmigte Fahrzeuge und für den Unterhalt dieser Fahrzeuge möglich sein soll.

Blei-Säure-Batterien

Die häufigste Alternative zur Blei-Säure-Batterie sind heute Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion-Batterien). Der Vorteil der Blei-Säure-Batterie liegt beim tieferen Preis und der relativ grossen Kälteresistenz, Li-Ion-Batterien können unter 0 °C kaum mehr geladen werden. Zudem sind Li-Ion-Batterien empfindlich auf Überladung und Tiefentladung und brauchen deshalb ein Batterie Management System. Andererseits ist die Energiedichte von Li-Ion-Batterien höher – d.h. sie sind bei gleicher Kapazität leichter – und die Lebensdauer ist bezogen auf die Entladungszyklen höher. Starterbatterien in Fahrzeugen werden infolge des Preisunterschieds wohl noch längere Zeit Blei-Säure-Batterien bleiben; bei stationärer Nutzung jedoch werden sie in näherer Zukunft voraussichtlich von Li-Ion-Batterien ersetzt werden.

In einem Merkblatt des Schweizerischen Fachverbands für Sonnenenergie (Swissolar) über Energiespeicher in Photovoltaik-Anlagen werden als Nachteile der Blei-Säure-Batterie ihre Stand-by-Verluste, geringe Energiedichte bei be-

grenztem Platzangebot und die nicht immer einfach umsetzbare Lüftungsanforderung im Batterieraum genannt. Für die Blei-Säure-Batterie spreche die etablierte Technologie mit viel Betriebserfahrung in stationären Anlagen sowie geringen Investitionskosten. Zudem sei mit Blick auf die weltweit installierte Batteriekapazität eine Rücknahme und Wiederverwertung der Rohstoffe gewährleistet (Swissolar, 2016).

Im Jahr 2018 haben die interkantonale Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz und der Dachverband der Schweizer Jägerschaft (Jagd Schweiz) einen Ratgeber für die Umstellung auf bleifreie Munition veröffentlicht (JFK, 2018). Danach steht für den Kugelschuss für sämtliche Jagdkaliber eine grosse Palette an bleifreien Geschossen zur Verfügung. Sie bestehen in der Regel aus Kupfer oder einer Kupferlegierung (Messing, Tombak). Für Bleischrot dienen Schrote aus Kupfer, Zink, Weicheisen, Wismut oder Wolfram als Ersatzmaterialien. Beim Schrotschuss auf Feld- und Schneehasen können laut Merkblatt ebenfalls bleifreie Schrotpatronen verwendet werden. Hingegen sieht die Autorenschaft bei der Raubwildjagd, beispielsweise der Bejagung des Fuchses, und der Rehwildjagd (soweit sie mit Schrot erfolgt) noch keinen gleichwertigen Ersatz für Bleischrotmunition⁸.

In Europa hat jüngst die Europäische Kommission ihre Chemikalienagentur (ECHA) beauftragt, ein Dossier über mögliche Einschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung von bleihaltiger Kugel- und Schrotmunition für Jagdzwecke zu erstellen. Dessen Fertigstellung wird im Herbst 2020 erwartet, woran sich eine Konsultation der Betroffenen anschliesst (EC, 2019).

Eco-bau, die gemeinsame Plattform öffentlicher Bauherrschaften des Bundes, von Kantonen und Städten, veröffentlicht Empfehlungen zum nachhaltigen Planen, Bauen und Bewirtschaften von Gebäuden und Anlagen. Bei Spengler- (Eco-BKP 222) und Bedachungsarbeiten (Eco-BKP 224) wird vom Einsatz von Bleifolien abgeraten, wenn sie nicht beschichtet sind. Als Alternativen für Blei bei Blechen für An- und Abschlüsse werden Chromstahlblech (blank/matt) und in zweiter Priorität Chromnickelstahlblech (blank), verzinnertes Chromstahl- oder Chromnickelstahlblech, blankes oder farbbeschichtetes Aluminium- und verzinnertes Kupferblech genannt (Eco-bau, 2020).

Blei absorbiert hocheffizient Radioaktivität. In Bauten können andere Metalle und Beton als Alternativen verwendet werden, die jedoch für eine äquivalente Wirksamkeit i.d.R. grössere Materialmengen benötigen. In Strahlenschutzwänden auf Basis von Gipsplatten wird Bariumsulfat (Baryt) als Ersatz für die herkömmliche Bleikaschierung genannt (Larsen et al., 2014). Die Bemessung der erforderlichen baulichen Abschirmung richtet sich nach den Vorschriften und Normen zum baulichen Strahlenschutz.

⁸ Im Mai 2020 hat der Bundesrat die Vernehmlassung zu einer Revision der Jagdverordnung eröffnet, die u.a. Anpassungen bei der zulässigen Jagdmunition vorsieht: Das bestehende Verbot der Verwendung von Bleischrot in der Wasservogeljagd soll mit Verboten der Verwendung von Schrotten aus Zink und Kupfer ergänzt werden. Zudem sollen Kugelgeschosse aus Blei oder mit einem Bleikern für die Jagd auf Paarhufer und Murmeltiere sowie Bleischrot bei der Jagd auf Feld- und Schneehasen verboten werden. Weil beim Verschiessen von groben, bleifreien Schrotten aus konventionellen Jagdgewehren noch Sicherheitsbedenken bestehen, soll ein Totalverbot von Bleischrot dann eingeführt werden, sobald diese Bedenken ausgeräumt werden können (UVEK, 2020).

Bleihaltige Jagdmunition

Bleibleche für Spengler- und Bedachungsarbeiten

Blei im baulichen Strahlenschutz

In der Stückgutverzinkung sorgt die Zugabe von Blei zur Zinkschmelze für ein gleichmässiges Schichtwachstum, zudem bildet sich am Kesselboden ein Bleisumpf, auf dem sich das durch den Eiseneintrag in die Schmelze entstehende Hartzink besser abschöpfen lässt. Blei wird in den Schmelzen zunehmend ersetzt, beispielsweise durch Wismut. Gemäss Körber (2013) ersetzt 1 g Wismut in der Zinkschmelze 10 g Blei. Eine ungünstige Kombination in der Zusammensetzung der Zinkschmelze und der Art des zu verzinkenden Stahls kann in Abhängigkeit der Beanspruchung während der Nutzung zu Rissbildungen an den Bauteilen führen, welche die Sicherheit der Bauten beeinträchtigen können (Körber, 2013). Verschiedene Regelwerke und Normen für das Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen tragen diesem Umstand Rechnung und begrenzen die Zugabe von Legierungselementen wie Blei (Pb) und Wismut (Bi), so beispielsweise auf 0.8 % Pb und 0.1 % Bi oder auf 1.5 % für Blei und Wismut nach der Formel $(Pb + 10 \times Bi)$.

Blei als Zusatz in der Feuerverzinkung

Blei, in geringen Mengen Aluminium, Stahl und Messing zugesetzt, verbessert deren Bearbeitungseigenschaften. Die grundsätzlichen Verbote von Bauteilen mit diesen bleihaltigen Werkstoffen für den Einbau in Fahrzeuge (ELV-RL) sowie Elektro- und Elektronikgeräte (RoHS-RL) in der EU und der Schweiz zwang die Industrie, in solchen Verwendungen nach Alternativen ohne Blei zu suchen. Weil bleifreie Legierungen sukzessive bleihaltige ersetzen, sollten sie am Ende ihrer Lebensdauer den existierenden Schrottkreislauf nicht beeinträchtigen, d.h. der bleifreie Schrott sollte zusammen mit bleihaltigem verwertbar sein.

Blei als Legierungselement

In Aluminium-Knetlegierungen liessen sich die Bleigehalte von bis zu 4 % vorerst auf 0.4 % senken und es war in vielen Fällen eine Substitution durch Wismut oder Zinn oder Mischungen von Wismut und Zinn möglich (Gensch et al, 2016a).

Blei in Aluminium

Mit Blei legierter Stahl erleichtert das Tiefbohren und die Bearbeitung bei hoher Geschwindigkeit. In den Jahren 2001 – 2004 im Auftrag der EU-Kommission durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass mit Blei legierte Stähle die beste Leistung zeigten. Nicht bleihaltige Alternativen ergaben in den Tests im Allgemeinen eine schlechtere Spanform und Oberflächenbeschaffenheit. Als Alternative zu Blei eignete sich teilweise Wismut, doch wurde sein Einsatz in grossem Massstab aufgrund dessen Kosten als unwirtschaftlich eingestuft. Zinnhaltige Stähle zeigten im Allgemeinen keine gute Leistung (Reynolds et al., 2005). Heute steht für bestimmte Anwendungen bleifreier Stahl zur Verfügung, doch die Substitution in den übrigen Anwendungen ist derzeit technisch nicht praktikabel.

Blei in Stahl

Bereits vor Implementierung der Richtlinien ELV und RoHS wurden in der Sanitärindustrie Diskussionen über bleihaltige Messinge geführt. Die Bestrebungen gingen dahin, die Legierungen in ihrer Zusammensetzung so zu optimieren, um die Bleiabgabe in das Trinkwasser zu vermindern. Auch wurden Produkte ohne Blei entwickelt; eine heute auf dem Markt gut eingeführte bleifreie Legierung basiert auf mit Silizium legiertem Messing (CuZn21Si3P).

Blei in Messing

In diesem Kontext wird darauf hingewiesen, dass in der EU die Mitgliedstaaten Deutschland, Frankreich, die Niederlande und das Vereinigte Königreich im Jahr 2011 vereinbart haben, die Prüfungen zur hygienischen Eignung von Produkten

im Kontakt mit Trinkwasser zu harmonisieren. Dabei werden die als Rohr- oder Armaturenwerkstoffe geeigneten metallischen Werkstoffe in einer Positivliste aufgeführt (4 MS-Initiative). In dieser finden sich sowohl bleihaltige wie bleifreie Messinge, die als Armaturenwerkstoffe bzw. Bauteile für Armaturen für den Einsatz zugelassen sind (UBA, 2019b). In der Schweiz zertifiziert der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches den Nachweis der hygienischen Unbedenklichkeit von metallischen Werkstoffen in Kontakt mit Trinkwasser auf Basis der «4 MS –Positivliste» (SVGW, 2017).

Die Entwicklung bleifreier Lote sowie die damit verbundenen Umstellungen der Herstellungsprozesse bei der Verwendung solcher Lote aufgrund der Vorschriften der Richtlinien ELV und RoHS stellte die betroffene Industrie vor besondere Herausforderungen. Heute beschränkt sich der Einsatz bleihaltiger Lote in Bauteilen von Fahrzeugen sowie Elektro- und Elektronikgeräten auf Verwendungen, wo ein Ersatz ohne Blei noch fehlt. In der EU lässt die Europäische Kommission die Notwendigkeit der gewährten Ausnahmen periodisch überprüfen, mit Verweis auf das EU-Recht sind in der Schweiz dieselben Verwendungen von Blei wie in der EU zulässig. Hingegen sind die Kenntnisse zu Art und Umfang der Verwendung von Loten ausserhalb dieser geregelten Bereiche, beispielsweise im Spengler- und Sanitärbereich, lückenhaft. Für Sanitärarbeiten wird angenommen, dass zum Weich- und Hartlöten von Kupferrohrinstallationen wie in Deutschland bleifreie, mit Kupfer oder Silber legierte Zinnlote bzw. Kupfer-Phosphor- oder phosphorfremde Legierungen von Kupfer, Silber und Zink ggf. auch mit Zinn zum Einsatz kommen (Schmoor, 2001; DKI, 2019). Inwieweit bei Spenglerarbeiten noch bleihaltige Lote verwendet werden, ist nicht bekannt. Als Karosseriezinne wurde bleihaltiges Lötzinne zudem früher oft für Reparaturen an Fahrzeugkarosserien verwendet. Heute existieren in Form von Zwei-Komponenten-Massen auf Kunststoffbasis bleifreie Ersatzprodukte, welche die chemikalienrechtlichen Anforderungen an Fahrzeugbauteile erfüllen.

Blei in Loten

Die dem Verband Schweizer Lack- und Farbenfabrikanten (VSLF) angeschlossenen Mitglieder kamen schon im Jahr 2003 zum Schluss, dass sich aus technischer Sicht Bleiverbindungen in Anstrichfarben und Lacken vollständig ersetzen lassen, und verzichteten in der Folge freiwillig auf die Verwendung von Blei in ihren Produkten. Ein Verbot bleihaltiger Anstrichprodukte und damit behandelter Gegenstände wurde im Rahmen der Totalrevision des Chemikalienrechts in der neu geschaffenen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung verankert (vgl. Anhang A.4). Als Ersatz für Bleiweiss hat sich weltweit Titandioxid etabliert. Die als Trockner für Alkydharze verwendeten Bleiseifen wurden durch bleifreie Alternativen ersetzt und das im Korrosionsschutz verwendete Bleimennige wurde durch Zinkphosphat und Zinkoxid substituiert. Im Falle der beiden Buntpigmente Bleisulfochromatgelb und Bleichromatmolybdatsulfatrot war ein 1:1-Austausch durch andere Pigmente nicht möglich. Hier wurden durch eine Kombination von deckenden anorganischen Pigmenten mit farbstarken organischen Pigmenten Alternativen gefunden. Als anorganische Pigmente dienen Bismutvanadat, Cersulfid, Nickel- und Chromtitan-Pigmente (Sowade & Ott, 2015; VDL, 2018). Auch in Kunststoffen haben sich die Kombinationen von organischen Pigmenten mit anorganischen Pigmenten wie Nickel- und Chromtitangelb, Eisenoxid-Pigmente,

Blei in Anstrichfarben und Lacken und als Pigment in Kunststoffen

Chrom- und Manganbromate bewährt. Allerdings sind die Alternativstoffe bis zu dreimal teurer als die Bleichromate (VDL, 2018).

Stabilisatoren für PVC dienen der Verbesserung der Wärmestabilität während der Verarbeitung von PVC-Compounds und erhöhen die Lichtstabilität im Außenbereich eingesetzter Fertigprodukte. Der Europäische Stabilisator-Verband (ESPA) und der europäische Kunststoff-Verarbeiter-Verband (EuPC) haben im Jahr 2001 beschlossen, bis zum Ende des Jahres 2015 Blei-Stabilisatoren in PVC schrittweise freiwillig zu ersetzen (Vinyl 2010). Die Umstellung erfolgte hauptsächlich auf Calcium-basierte PVC-Stabilisatoren (Calcium/Zink-Systeme). Der Mehrpreis des Stabilisators auf Ca-Basis gegenüber dem Pb-Stabilisator beträgt 0.7 € pro Kilogramm. Um den gleichen Stabilisierungsgrad zu erreichen, ist jedoch eine geringere Menge eines Stabilisators auf Ca-Basis erforderlich, die Branche gibt das Dosierungsverhältnis mit 0.88 an (ECHA, 2018b). Damit errechnen sich im Falle eines Profils (mit vormals 2 % Pb) zur Herstellung von Fensterrahmen Substitutionskosten um 12 € pro Tonne PVC. Diese Mehrkosten sind insofern als moderat einzustufen, als der Kostenbeitrag der PVC-Stabilisatoren in einem Fenster bereits sehr gering ist. Der Ersatz der gemäss Kapitel 4.5.1 mit PVC-Produkten im Zeitraum zwischen 2014 und 2016 pro Jahr in Verkehr gesetzten Bleimenge von maximal 80 t wäre mit Mehrkosten von rund 50'000 € pro Jahr verbunden.

Bleistabilisatoren für PVC

Grundsätzlich kann für Beschwerungszwecke verwendetes metallisches Blei durch Metalle mit einer ähnlichen Dichte ersetzt werden. Zu nennen wären dabei Eisen, Stahl, Zink, Wismut, Wolfram oder nichtmetallische Materialien wie Zement (Larsen et al., 2014).

Bleigewichte

Die interkantonale Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz appelliert in einem Ratgeber an die Fischer, wo immer möglich Alternativen zu Blei einzusetzen und sparsam mit Blei umzugehen (JFK, 2020). In Europa hat jüngst die Europäische Kommission ihre Chemikalienagentur (ECHA) beauftragt, ein Dossier über mögliche Einschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung von bleihaltigen Fischereigewichten zu erstellen. Dabei wird geprüft, ob und gegebenenfalls welche Alternativen zu Bleigewichten vorhanden sind und ob mit dem Ersatz von Blei Vorteile für die Umwelt und aquatische Biota verbunden sind sowie wie hoch allfällige Substitutionskosten ausfallen würden (EC, 2019).

Bei den in der EU und der Schweiz erlassenen Totalverboten von Blei in Bauteilen von Elektro- und Elektronikgeräten sowie Fahrzeugen unter Vorbehalt von essenziellen Verwendungen ist zunächst festzustellen, dass die Listen der von Ausnahmen vom Bleiverbot profitierenden Bauteile seit Einführung der Vorschriften stark angewachsen sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Unterschied zur ersten Phase nach Inkrafttreten der Verbote die Ausnahmen nun ausgesprochen spezifisch ausgerichtet sind, d.h. die Verwendung von Blei ist nur noch bei sehr klar definierten Einzelanwendungen erlaubt. Als Beispiel seien piezoelektrische Keramiken auf Basis von Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) genannt, wo sich bleifreie Substitute inzwischen für ausgewählte Anwendungen eignen, aber eine vollständige Substitution von PZT noch nicht erfolgt ist.

Bleihaltige Bauteile in Fahrzeugen sowie Elektro- und Elektronikgeräten

Ein Nebeneffekt der Vorschriften der Richtlinien RoHS und ELV könnte schliesslich sein, dass auch in nicht geregelten Bereichen wie dem stationären

Geräte- und Maschinenbau oder dem Bau von Lastkraftwagen Blei substituiert wird.

5 Entsorgung

In der Schweiz fielen im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 mit Abfällen rund 23'600 t Blei pro Jahr an. Ca. 85 % entfielen auf Blei-Säure-Batterien und Bleischrott, die aufgrund fehlender Verwertungsmöglichkeiten im Inland zur Bleirückgewinnung ausgeführt wurden. Das jährliche Abfallaufkommen übersteigt die Nachfrage an Blei für Verwendungen im Inland (vgl. Kapitel 4) von rund 18'300 t deutlich. Dabei findet bei Batterien noch ein leichter Lageraufbau statt. Für andere Verwendungen wie mit Blei stabilisiertes PVC wird angenommen, dass der überwiegende Anteil, der im Verlauf der letzten Jahre in Verkehr gesetzten Produkte noch in Nutzung ist.

Tabelle 5: Durchschnittliches (gerundetes) Aufkommen von Blei in Abfällen in den Jahren 2014 - 2016 in t/a.

Abfall	Entsorgung Inland [t/a]	Entsorgung Ausland [t/a]
Blei-Säure-Batterien	0	15'400
Bleischrott	0	4'400
anderer NE-Metallschrott	50	300
Nebenprodukte der Elektrostahl-Herstellung	0	300
Munitionsreste aus Kugelfängen	250	450
Sortierfraktionen Elektro- und Elektronikgeräte	0	750
Verbrennungsrückstände der KVA	1'200	300
andere Abfälle	65	50
Total	1'600	22'000

Im Folgenden werden die Entsorgungswege der in Tabelle 5 aufgeführten Abfälle näher beschrieben. Dort gelistete «andere Abfälle» umfassen im Wesentlichen ($\approx 95\%$) Prozessabfälle aus der Verzinkung, zur thermischen Verwertung ausgeführte Reststoffe aus dem Schredder (RESH), in Holzkraftwerken im In- und Ausland anfallende Aschen sowie Abfallbrennstoffe der Zementindustrie.

5.1 Blei-Säure-Batterien

Nachdem vor rund zehn Jahren der einzige inländische Verwerter von Bleibatterien seinen Betrieb eingestellt hat, werden diese heute im Ausland entsorgt (vgl. Abbildung 19). Zur Entsorgung anfallende Bleibatterien gelten als Sonderabfälle. Kurz zusammengefasst hat das zur Folge, dass ausgediente Bleibatterien entgegennehmende Unternehmen für jede Betriebsstätte eine Bewilligung der kantonalen Behörde benötigen und jede Batterie-Entgegennahme dieser Behörde und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) melden müssen. Transporteure von Bleibatterien müssen Begleitscheine mitführen und dürfen die Batterien nur den auf diesen Scheinen genannten Unternehmen übergeben. Die Ausfuhr von Bleibatterien schliesslich ist durch das BAFU bewilligen zu lassen; es bewilligt sie

Bleibatterien sind Sonderabfälle

nur, wenn eine umweltgerechte Entsorgung nachgewiesen werden kann, und nur in Staaten, die Mitglieder der OECD oder der EU und die Vertragsparteien des Basler Übereinkommens sind (vgl. Tabelle A4 in Anhang A.4).

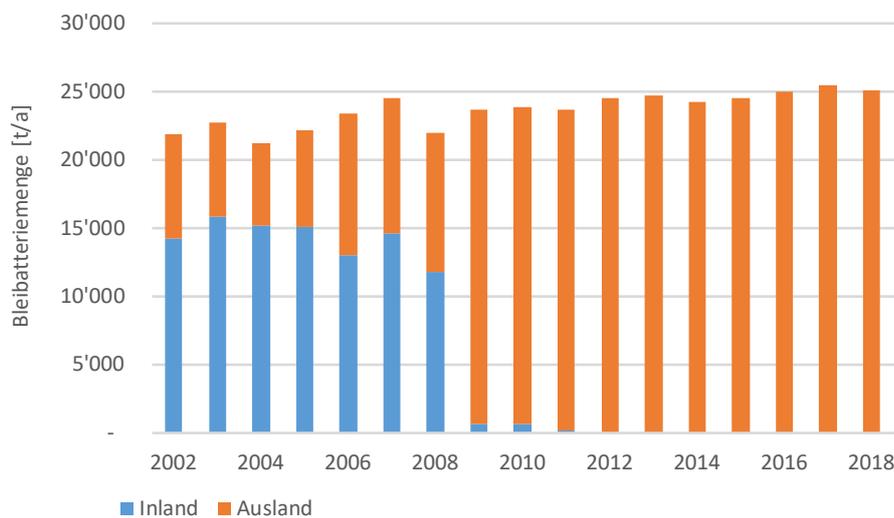


Abbildung 19: Über die Abfallwirtschaft im In- und Ausland entsorgte Bleibatterien in den Jahren 2002 - 2018

Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 fielen laut Sonderabfallstatistik des BAFU pro Jahr 24'600 t Blei-Säure-Batterien zur Entsorgung an (BAFU, 2020a). Ihr Blei-Inhalt betrug ausgehend von einem Pb-Gehalt von 60 – 65 % zwischen 14'800 und 16'000 t ($\approx 15'400$ t).

Bleibatterie-Abfallaufkommen

Der Vergleich der Daten zum Aufkommen von Blei mit zur Entsorgung anfallenden Blei-Säure-Batterien mit den Daten in Kapitel 4.1 zur mit solchen Batterien in Verkehr gebrachten Bleimenge ergibt, dass – unter Berücksichtigung der die Schweiz jährlich mit rund 200'000 Occasionsfahrzeugen «verlassenden» Bleimenge im Umfang von ca. 2'800 t (vgl. Kapitel 4.7.1) – ein kleiner Lageraufbau stattfindet. Er erscheint plausibel, weil bei den Industriebatterien nicht von einem Fließgleichgewicht ausgegangen wird und auch der Fahrzeugbestand in der Schweiz immer noch anwächst und in neuen Fahrzeugen tendenziell grössere Batterien verbaut sind. Grob geschätzt befinden sich um 70'000 t Blei mit Fahrzeugbatterien und 60'000 t Blei mit Industriebatterien in Nutzung.

Leichter «Lageraufbau» an Bleibatterien

Nach Angaben der Interessensorganisation Batterieentsorgung (INOBAT) trägt der zurzeit hohe Weltmarktpreis von Blei mit dazu bei, dass ausgediente Blei-Säure-Batterien konsequent der Verwertung zugeführt werden (INOBAT, 2019). Mit der Ausfuhr von einer Tonne Altbatterien (Zolltarifnummer 8548.1000) wurde im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 ein Erlös von 725 CHF erzielt. Gegenüber neuen Starterbatterien (Zolltarifnummer 8507.1000) und «reinem» Bleischrott (Zolltarifnummer 7802.0000) betrug der relative Wert des Batterieabfalls um 20 % bzw. 70 % (EZV, 2019).

Erlös von zur Entsorgung ausgeführten Bleibatterien

Gemäss Daten der Zollstatistik (für die Zolltarifnummer 8548.1000⁹) erfolgte die Verwertung der aus der Schweiz im Jahr 2018 ausgeführten Bleibatterien in Betriebsstätten in Deutschland (63 %) und Frankreich (28 %), daneben in Österreich (7 %) und Belgien (2 %). Bei der Blei-Säure-Batterie-Verwertung lässt sich zwischen der Aufbereitung und Trennung nach Stoffklassen mit nachfolgender Verhüttung zum einen sowie zum andern der Säureabtrennung mit anschliessender Verarbeitung der Batterie als Ganzes unterscheiden. In ersterem Fall werden aus den zerkleinerten Batterien metallisches Blei (Bleigitter), Batteriepaste (Bleioxidfraktion) und die Kunststofffraktion voneinander getrennt, wobei letztere dem Recycling, häufig zur Wiederverwendung in Batterien, zugeführt wird. Metallisches Blei und die Oxidfraktion werden der metallurgischen Bleirückgewinnung zugeführt. Im zweiten Fall wird die entleerte Batterie zusammen mit den gängigen Zuschlagsstoffen zu Rohblei verhüttet. Hier dient der Kunststoff als Brennstoff und Reduktionsmittel (Zimmermann et al., 2017). Gestützt auf die Vorschriften des Batterierechts in der EU beträgt das Mindestziel für die Recyclingeffizienz von Blei-Säure-Batterien, ausgedrückt als Verhältnis der Masse der zurückgewonnenen Sekundärrohstoffe zur Masse der dem Verfahren zugeführten Altbatterien, 65 %. Bleisäure-Batterieentsorger in Deutschland – wo ein Grossteil der Schweizer Altbatterien verwertet wird – übertrafen im Jahr 2018 laut dortigem Umweltbundesamt (UBA) das Mindestziel mit durchschnittlich 80 % deutlich (UBA, 2019a).

Empfänger der Ausfuhren und Verwertungswege von Bleibatterien

5.2 Schrott

Nachstehende Ausführungen adressieren die Verwertung von Schrott bestehend aus metallischem Blei, von anderem Nichteisenmetallschrott, der Blei v.a. aufgrund seiner Verwendung als Legierungselement enthalten kann, sowie von Stahlschrott, in welchem Blei als Legierungselement in Automatenstahl, als Nebenbestandteil in der Verzinkung von Stahl, bedingt durch seine frühere Verwendung in Form von Mennige als Korrosionsschutzanstrich auf Stahl oder als Metall in Form nicht aussortierter Bauteile vorkommen kann. Bezogen auf das Bleiaufkommen nimmt Bleischrott die dominierende Rolle ein, bezogen auf das Schrottaufkommen dominiert Stahlschrott. Rund 70 % dieses Schrotts werden mit Scheren und 30 % über den Schredder zerkleinert (Moser et al., 2004). Beim Schreddern fallen stofflich nicht verwertbare Reststoffe (RESH) an. Bleihaltige Bauteile aus Geräten, Werkzeugen, Maschinen und Anlagen sowie Motorfahrzeugen finden sich in einem gewissen Anteil in diesem Prozessabfall wieder (vgl. Kapitel 5.5).

⁹ Abfälle und Schrott von elektrischen Primärelementen, Primärbatterien und Akkumulatoren; ausgediente elektrische Primärelemente, Primärbatterien und Akkumulatoren (EZV, 2019).

5.2.1 Bleischrott

Bleimetallabfälle aus der Verarbeitung, aus Abbrucharbeiten oder anderen Tätigkeiten sind nach geltendem Recht der Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen nicht als gefährliche Abfälle (Sonderabfälle) gelistet.

Bleimetallabfälle sind keine Sonderabfälle

Im Verlauf der letzten zehn Jahre wurden jährlich zwischen 4'100 und 5'700 t Bleimetallabfälle (Zolltarif-Nr. 7802.0000) aus der Schweiz ausgeführt. Ein Trend über den Zeitraum ist nicht ersichtlich (vgl. Abbildung 20); zwischen 2014 und 2016 betrug die Menge rund 4'400 t pro Jahr. Aufgrund der fehlenden Verwertungsmöglichkeiten im Inland wird angenommen, dass die ausgeführte Menge zu einem grossen Anteil dem inländischen Abfallaufkommen entspricht.

Bleimetall-Abfallaufkommen

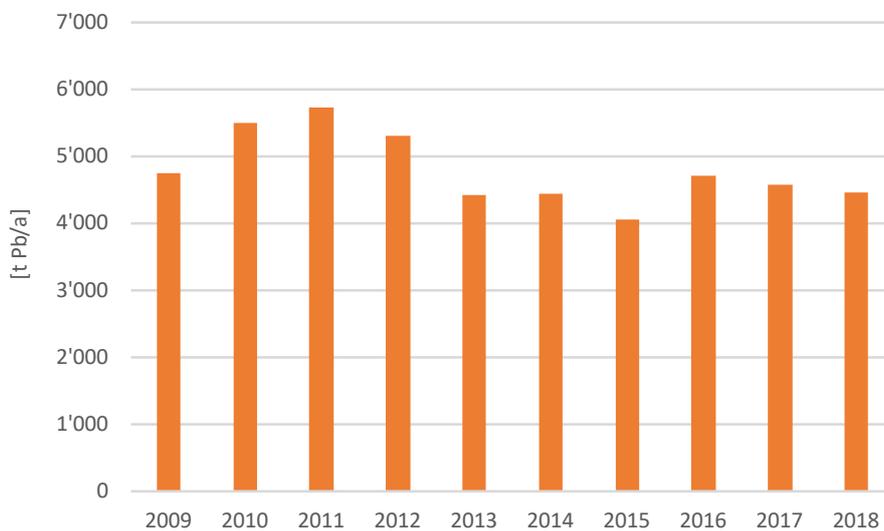


Abbildung 20: Über die Abfallwirtschaft im Ausland entsorgte Bleimetallabfälle in den Jahren 2009 - 2018

Verglichen mit dem Erlös für Blei-Säure-Batterien im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 von 725 CHF pro Tonne wurde mit der Ausfuhr von Bleimetall-Abfällen mit 1'310 CHF pro Tonne ein höherer Erlös erzielt. Gegenüber raffiniertem Blei (Zolltarifnummer 7801.1000) oder anderem Blei in Rohform (Zolltarifnummer 7801.9900) betrug der relative Wert des Bleimetall-Abfalls um 60 % (EZV, 2019). Aufgrund des hohen Werts wird von einer hohen Sammelquote ausgegangen.

Erlös von zur Entsorgung ausgeführten Bleimetall-Abfällen

In den Jahren 2018 und 2019 wurden Bleimetall-Abfälle zu 90 % in Mitgliedsstaaten der EU ausgeführt. Hauptsächliche Empfängerstaaten waren die Niederlande (45 %) und Deutschland (38 %), daneben Belgien (7 %), Österreich (6 %) und Frankreich (3 %). Aussereuropäischer Empfänger war Indien. Für den ausgeführten Abfall wird von einer stofflichen Verwertung ausgegangen.

Empfänger der Ausfuhren von Bleimetall-Abfällen

5.2.2 Nichteisenmetallschrott

Im Jahr 2016 fielen in der Schweiz rund 200'000 t Nichteisenmetallschrott zur Entsorgung an, darunter ca. 105'000 t Leicht- und um 90'000 t Buntmetalle. Wichtige Abnehmer solchen Schrotts sind Giessereien. Aufgrund der geringen Produktionsmenge der Schweizer Werke gelangten rund 95 % des Schrotts im Ausland zur Verwertung (VSMR, 2016).

Wird angenommen, dass vom Buntmetall-Abfallaufkommen ca. 80 % auf Kupfer und 20 % auf Messing entfielen, errechnet sich mit einem mittleren Pb-Gehalt in Messing von 1.8 % ein Bleifluss von ca. 330 t. Davon dürften bis zu 15 % auf Messing in Neuschrott zurückzuführen sein, der bei der Verarbeitung der importierten Halbzeuge entstand.

Blei in Messingschrott

Eine Grobschätzung zur Pb-Fracht mit zu entsorgendem Aluminium kann für Altfahrzeuge angestellt werden: Im Zeitraum 2014 – 2016 wird von jährlich 80'000 geschredderten Fahrzeugen ausgegangen. Die durch Walzen, Pressen und Giesen gefertigten Aluminiumteile enthielten grob geschätzt ca. 140 g Blei pro Fahrzeug (spezifische Pb-Menge der bis Ende 2005 in Verkehr gesetzten Fahrzeuge). Damit errechnet sich ein Bleifluss von rund 10 t/a.

Blei in Aluminiumschrott

5.2.3 Stahlschrott

Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 wurden gemäss Aussenhandelsstatistik ca. 0.37 Mio. t/a «Alteisen» (Tarif-Nr. 7204.4900) importiert und ca. 0.44 Mio. t exportiert (EZV, 2019). Die zwei Schweizer Stahlwerke produzierten im selben Zeitraum aus Eisen- und Stahlschrott ca. 1.28 Mio. t Stahl pro Jahr (FOEN, 2019). Unter Berücksichtigung, dass in Stahlwerken um 130 kg Abfallstoffe pro Tonne produzierten Stahl entstehen und dass Eisen- und Stahlgessereien zwischen 2014 und 2016 rund 40'000 t Gussprodukte pro Jahr produzierten, errechnet sich das mittlere jährliche Schrott-Aufkommen auf etwa 1.55 Mio. t.

Stahlschrott-Aufkommen

Bedingt durch die Verwendung von Blei als Legierungselement in Stahl und als Hilfsstoff in der Stückgutverzinkung werden gemäss den Ausführungen in Kapitel 4.4 im Gleichgewichtszustand zwischen 80 und 130 t Blei im Aufkommen von ca. 1.55 Mio. t Schrott erwartet. In einer Tonne Schrott wären in diesem Fall zwischen 50 und 85 g Blei enthalten. Eine grobe Alternativschätzung via die «Outputgüter» der Elektrostaahlwerke ergibt eine höhere Bleibelastung des Schrotts um 185 g pro Tonne (siehe untenstehende Ausführungen). Danach sind im Schrott absolut um 285 t Blei enthalten. Diese Belastung ist insofern plausibel, als feuerverzinkte Bauteile älteren Herstellungsdatum teilweise hohe Pb-Gehalte aufweisen (AfU SZ, 2005; Marti, 2003) und mit Bleimennige korrosionsgeschützte Bauteile auch nach dem Verbot von Mennige im Jahr 2005 wohl noch im Schrott zu finden sind.

Bleiaufkommen in Stahlschrott

Nach dem Einschmelzen des Schrotts im Elektrostaahlwerk (EAF-Werk) findet sich Blei in unterschiedlichen Anteilen im produzierten Stahl, in Prozessabfällen

Verbleib von Blei im Elektrostaahlwerk

(Schlacke, Filterasche aus der Entstaubung des Rohgases) und im gereinigten Abluftstrom. Ausgehend von der Schweizer Produktion von 1.28 Mio. t Stahl, vom Emissionsfaktor in die Luft von 0.2 g Pb pro Tonne Stahl (FOEN, 2019), von generierten Mengen von 80 – 150 kg an Schlacke und 10 – 45 kg an Filterstaub pro Tonne Rohstahl (EIPPCB, 2013; Gara & Schrimpf, 1998) mit Bleigehalten von 30 g/t bzw. 15'000 g/t sowie einem Bleigehalt in Massenstahl von 0.5 g/t lässt sich die Bleimenge im den EAF-Werken zugeführten Schrott wie in Tabelle 6 aufgeführt auf rund 270 t schätzen (vgl. Tabelle A2.1 in Anhang A.2 zu den Quellen der gewählten Bleigehalte).

Tabelle 6: Abschätzung der Bleiflüsse in Elektrostahlwerken (EAF-Werke)

Prozessgut	Aufkommen [kg t ⁻¹ Stahl]	Pb-Gehalt [g t ⁻¹]	Aufkommen [g Pb t ⁻¹ Stahl]	Aufkommen [t Pb Jahr ⁻¹]
Abluft EAF	0.2	0.3
EAF-Staub	13.5	15'000	≈ 200	260
EAF-Schlacke	115	30	3.5	≈ 5
Massenstahl	...	0.5	0.5	0.6

Die Elektroofenschlacke wird (gemäss Vorgaben des Abfallrechts) auf Deponien im Inland abgelagert, aus dem Filterstaub wird im Ausland im sog. Wälzverfahren Zinkoxid gewonnen, das als Sekundärrohstoff in Zinkhütten verwertet wird.

5.3 Munition

Aufgrund der jahrzehntelangen Schiesstätigkeit mit bleihaltiger Munition sind alle natürlichen Kugelfänge (Erdwälle) der in der Schweiz früher oder aktuell betriebenen Schiessanlagen und -plätze potenzielle Altlasten. Im Schweizer Kataster der belasteten Standorte sind rund 4'000 Schiessanlagen eingetragen (Lepke et al., 2018). Die Festlegung der Untersuchungs-, Überwachungs- und Sanierungsmassnahmen sowie die Beurteilung der Dringlichkeit einer Sanierung richten sich nach den Vorgaben des Altlastenrechts (vgl. Tabelle A4 in Anhang A.4).

Eine schweizweite Zusammenstellung zu Anzahl, Art und Grösse noch betriebener Schiessanlagen und deren Ausrüstung mit künstlichen Kugelfangsystemen ist dem Auftragnehmer nicht bekannt. Im Kanton Zürich war im Jahr 2011 bereits die Hälfte der in Betrieb stehenden Scheiben mit emissionsfreien künstlichen Kugelfangkästen ausgerüstet (Aeschimann, 2011). Im Kanton Aargau waren 2016 die meisten der rund 130 Schiessanlagen, hauptsächlich 300 m- Schiessanlagen, mit Kugelfangsystemen ausgestattet (DGS AG, 2016). Dies traf auch für die ca. 60 Anlagen im Kanton Basel-Landschaft zu (SID BL, 2016). Eine Umfrage 2016 bei 60 Gemeinden im Kanton St. Gallen ergab, dass bei ca. 25 % der 300 m-Schiessanlagen noch in Erdwälle geschossen wurde. Ca. 11 % der Anlagen wiesen Stirnholzkugelfänge auf und 63 % der Anlagen waren mit künstlichen Kugelfangsystemen ausgerüstet. Bei den Kurzdistanzanlagen (25/50 m-Kugelfänge) lauteten die entsprechenden Anteile 29 % sowie 13 % und 58 % (AUE SG, 2016). Relativ tief mit 15 % lag der Ausrüstungsgrad mit künstlichen Kugelfangsystemen in

Zielgebiete von Schiessanlagen und Schiessplätzen sind belastete Standorte im Sinne der Altlastenverordnung

Ausrüstung der Anlagen mit künstlichen Kugelfangsystemen

Bündner Schiessanlagen (RR GR, 2016). Im Bereich der militärischen Schiessplätze sind nach Ausführungen in einer Wegleitung des Eidg. Departements für Verteidigung Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) aus dem Jahr 2017 emissionsfreie Kugelfangsysteme noch selten in Gebrauch (Philipp et al., 2017).

Trotz lückenhaften Kenntnissen zum jeweiligen Eintrag bleihaltiger Munition entweder in natürliche Kugelfänge (Erdwälle) oder in künstliche Kugelfangsysteme wurde in nachstehender Tabelle 7 eine entsprechende Schätzung zum (temporären) Verbleib des gemäss Kapitel 4.2 auf Schiessanlagen sowie Schiess- und Waffenplätzen mit Munition verschossenen Bleis im Umfang von 315 t vorgenommen. Anzumerken ist, dass Schiessanlagen bis Ende 2020 mit künstlichen Kugelfängen ausgerüstet sein müssen, wenn die Betreiber die Beiträge des Bundes an den Sanierungskosten der herkömmlichen Kugelfänge im Rahmen der Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA) nutzen wollen (Altlasten-Fonds).

Bleieintrag in natürliche und künstliche Kugelfänge

Tabelle 7: Abschätzung der Bleipfade nach dem Einsatzort der Munition

	Indoor- anlagen	Kurz- distanzanla- gen*	300 m- Anlagen	Schiess- plätze
Künstliche Kugelfangsysteme (relativ)	100 %	85 %	70 %	40 %
Natürliche Kugelfänge (relativ)	0 %	15 %	30 %	60 %
Künstliche Kugelfangsysteme (absolut)	26 t/a	59 t/a	87 t/a	38 t/a
Natürliche Kugelfänge (absolut)	-	10 t/a	37 t/a	57 t/a

*Einschliesslich Munitionsverbrauch der Jäger bei Übungsschiessen auf solchen Anlagen sowie auf Jagdschiessanlagen

Rund 2/3 des mit Munition verschossenen Bleis, das entspricht 210 t pro Jahr, enden temporär in künstlichen Kugelfängen. In einem künstlichen Kugelfangsystem durchdringt das Geschoss die Frontplatte, oft aus Kunststoff, des Kugelfangs und wird im Innern des Kastens abgebremst. Die elastische Abbremsung über Gummigranulate bewirkt eine geringe Deformierung der Projektile, sodass diese weitgehend intakt bleiben. Das Recycling der Geschosse geschieht nach Abtrennung des Granulats. Bei der Abbremsung des Geschosses durch Stahllamellen bzw. Platten im Innern des Kugelfangs wird es teilweise fragmentiert. Bei diesem System erfolgt für die Metallrückgewinnung keine Abtrennung vom Bremsmaterial (Jakob, 2014).

Entsorgung von Blei in künstlichen Kugelfangsystemen

Gut 100 t Blei pro Jahr gelangen nach obenstehender Schätzung noch in herkömmliche Kugelfänge, resp. die Lithosphäre, davon gut 50 % auf Waffen- und Schiessplätzen. Die Kugelfänge von Schiess- und Waffenplätzen sowie Schiessanlagen werden zurzeit aufwändig saniert. Mit der systematischen Sanierung von Schiessanlagen wurde im Jahr 2008 begonnen. Bis 2018 wurden aus Kugelfängen rund 5'000 t Blei abgetragen, also rund 500 t Blei pro Jahr. Die Sanierungsrate lag in den vergangenen Jahren bei etwa 100 Anlagen pro Jahr. Bis dato dürften etwa die Hälfte der zu sanierenden Anlagen saniert sein. Rund 1'000 Anlagen sind noch ausstehend (Lepke, 2020).

Sanierung von Anlagen mit natürlichen Kugelfängen

Die besten Rückgewinnungsraten bei der Bleientfrachtung von natürlichen Kugelfängen erzielt die Aufbereitung mittels eines Nassaufbereitungsverfahrens in einer Bodenwaschanlage mit nachfolgender Wirbelstrom- und/oder Dichtesortierung der gewaschenen Kiesfraktionen (ARV, 2015). Bezogen auf die (mittels Laborbestimmung ermittelten) rückgewinnbaren partikulären Bleifragmente > 2 mm des mineralischen Anteils (d.h. ab Feinkies ohne Ton-, Schluff- und Sandfraktion) lassen sich bei optimaler Prozessführung 90 % oder mehr des Bleis zurückgewinnen. Weil gewisse Anteile des Bleis (≤ 20 %) in der Fraktion ≤ 2 mm oder in oxidierter Form vorliegen, liegt die gesamte Rückgewinnungsrate jedoch tiefer (Lahn, 2018). Je nach Bodenbeschaffenheit eignen sich aber auch trockene Verfahren für die Bleirückgewinnung. In der Praxis wird von Raten von 60 – 70 % für den partikulären Anteil und von 30 – 40 % für den Feinanteil (Filterkuchen) ausgegangen (Lepke, 2018). Allerdings gelangt nicht das gesamte Material aus den Sanierungsprojekten in Aufbereitungsanlagen. Mengenmässig etwa die Hälfte davon wird direkt auf Deponien abgelagert. Zulässig ist das bei Material mit einem Gehalt von < 2'000 mg Pb/kg TS. Vereinfacht wird angenommen, dass rund die Hälfte des anfallenden Bleis, also ca. 250 t pro Jahr, bei der Behandlung des Kugelfangmaterials zurückgewonnen wird.

Bleientfrachtung von natürlichen Kugelfängen

5.4 Elektro- und Elektronikaltgeräte

Etwa 750 t Blei pro Jahr waren im Zeitraum 2014 – 2016 in entsorgten Elektro- und Elektronikgeräten enthalten, davon ca. 75 % in Bildröhren (CRT-Glas). Diese Bleimenge wurde anhand Daten zum Aufkommen von CRT-PC-Monitoren und CRT-Fernsehern sowie von Glas aus diesen Geräten nach den Jahresberichten der Stiftung Entsorgung Schweiz (SENS, 2019) sowie einem Bleigehalt im Glas von 7 % bzw. Pb-Gehalten von 0.6 kg pro PC und 1.3 kg pro TV-Gerät nach Erdmann et al. (2004) abgeschätzt. Rund 170 t Blei befanden sich in anderen Bauteilen von kleinen Elektro- und Elektronikgeräten. Um 30 % dieser Bleimenge wurde in den Zerlegungs- und Sortierprozessen in die Abluftfilter der Anlagen transferiert. Blei fand sich weiter in unterschiedlichen Anteilen in verwertbaren «Outputgütern» der Sortierung (Leiterplatten, Metall- und Kunststofffraktionen) wieder (vgl. Abbildung 21). Praktisch alle bei der Zerlegung und Sortierung von Elektro- und Elektronikgeräten im Inland erzeugten Produkte wurden zur weiteren Verwertung ausgeführt.

Bildröhren (CRT-Glas) noch hauptverantwortlich für die Pb-Fracht

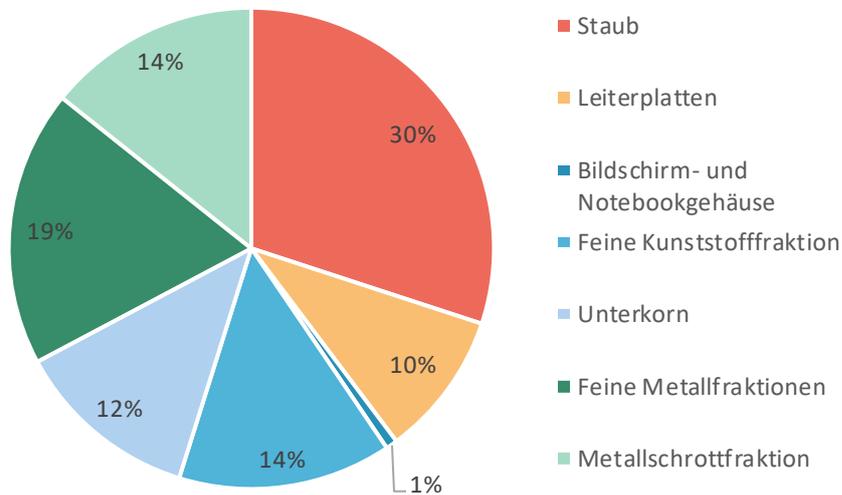


Abbildung 21: Relative Verteilung von Blei auf die Outputgüter der Entsorgung von Elektro- und Elektronikkleingeräten (ohne Geräte mit CRT-Glas) gemäss einer Stoffflussanalyse im Jahr 2011 in einem Zerlegungsbetrieb modifiziert nach Taverna et al. (2017).

Die Bleifracht aus Abfällen von Bildschirmen mit cathode ray tubes (CRT) nimmt wie auch in Kapitel 4.7.2 beschrieben kontinuierlich ab. Die folgende Abbildung 22 zeigt die geschätzten und prognostizierten jährlichen Bleimengen aus CRT-Bildschirmen, welche im Zeitraum 2012 – 2024 zur Entsorgung anfielen bzw. anfallen werden.

Abnehmende Pb-Fracht mit Bildröhren (CRT-Glas)

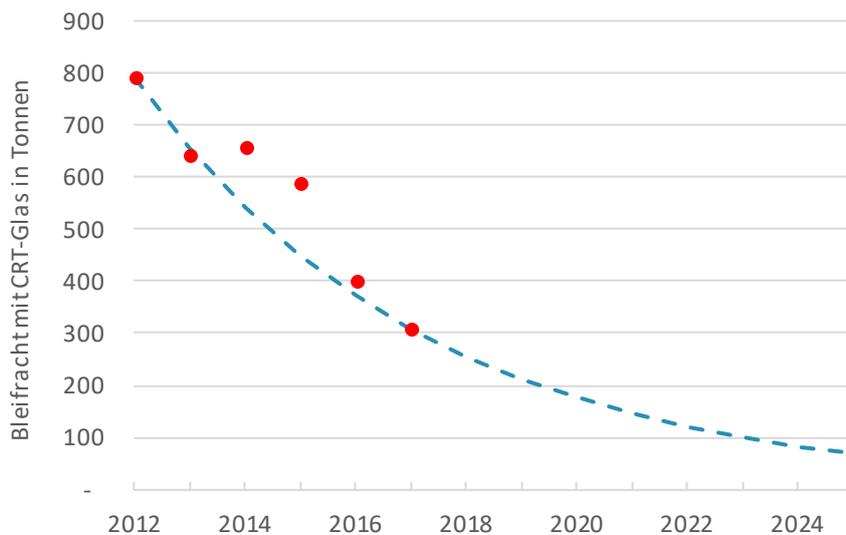


Abbildung 22: Geschätzte Entwicklung der Bleifracht aus der Entsorgung von CRT-Bildschirmen in der Schweiz seit 2012

5.5 Ausgewählte Prozessabfälle

Im Folgenden finden sich Ausführungen über Reststoffe, die beim Zerkleinern metallischer Güter über den Schredder entstehen (Reststoffe aus dem Schredder) sowie über Prozessabfälle, die bei der Feuerverzinkung und Herstellung von Kabelummantelungen anfallen (Abfälle aus Herstellungsprozessen). Ausführungen zu anderen Prozessabfällen wurden bereits in vorstehenden Kapiteln gegeben oder folgen im Kapitel über die thermische Entsorgung von Abfällen.

5.5.1 Reststoffe aus dem Schredder (RESH)

Bei der Aufbereitung von Altmetallen in Schredderanlagen werden neben zerkleinertem Eisen- und Nichteisenmetallschrott stofflich nicht verwertbare Reststoffe aus dem Schredder (RESH) erzeugt. Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 fielen in den sieben Schweizer Schredderwerken jährlich ca. 70'000 t RESH an (BAFU, 2020a). Davon waren 27 % auf das Schreddern der jährlich 84'000 Altfahrzeuge (2014 – 2016) zurückzuführen, 12 % stammten aus dem Schreddern von grossen Elektrogeräten (ca. 30'000 t/a), wenn eine RESH-Quote von 25 %, wie für Automobile angenommen wird¹⁰. Der grösste Anteil RESH (62 %) wurde demnach beim Zerkleinern von Sammelschrott aus Haushalten und dem Gewerbe (Werkzeuge, Maschinen, Anlagenteile) generiert.

RESH-Aufkommen

Für RESH der Schweizer Werke wurde im Jahr 2008 ein durchschnittlicher Pb-Gehalt von 2'600 g/t ermittelt. Ein Pb-Gehalt von 1'800 g/t resultierte, wenn ausschliesslich Altfahrzeuge zerkleinert wurden (siehe Tab. A1.4 in Anhang A1). Im Zeitraum zwischen 2014 und 2016 waren in RESH ausgehend von einem Gehalt von 2'600 g Pb/t pro Jahr ca. 180 t Blei enthalten. Davon werden knapp 20 % auf Fahrzeuge und etwa 5 % auf Elektrogrossgeräte zurückgeführt. Letzterer Anteil errechnet sich anhand eines angenommenen Pb-Gehalts von 270 g/t in den Geräten entsprechend 10 % der festgestellten Pb-Belastung in kleinen Elektro- und Elektronikgeräten (ohne CRT-Glas) und einem vollständigen Transfer des Bleis in RESH. Gegen 80 % der Blei-Belastung von RESH sind somit auf Sammelschrott aus Haushalten und dem Gewerbe zurückzuführen. Nachdem die Daten zum Pb-Vorkommen in Gesamt-RESH aus dem Jahr 2008 stammen, reflektieren sie allerdings nicht mehr den aktuellen Stand der Bleibelastung insbesondere des Sammelschrotts.

Bleiaufkommen mit RESH

RESH wird aufgrund seines hohen Heizwerts in in- und ausländischen Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) thermisch verwertet. Im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 gelangten mit RESH ca. 110 t Blei im Inland und 70 t Blei im Ausland zur Verbrennung (BAFU, 2020a). Ausführungen zum Verhalten von Blei in KVA finden sich in Kapitel 5.7.1.

Verbleib von Blei in RESH

¹⁰ Ein Fahrzeug liefert 220 kg RESH, bei einer mittleren Masse eines trocken gelegten Fahrzeugs von ca. 850 kg resultiert eine RESH-Quote von ca. 25 %.

5.5.2 Herstellungsprozesse

Gemäss Ausführungen in Kapitel 4.4.1 wurde ausgehend von einem Pb-Gehalt im Zinkbad von 1 % und einer verzinkten Stahlmenge von 170'000 t der Bleiverbrauch der Schweizer Stückgut-Verzinker auf jährlich 100 t geschätzt. Wenn zwischen 30 t und 80 t Blei auf den verzinkten Werkstücken verbleiben, resultiert eine Bleimenge von 20 – 70 t, die sich in Prozessabfällen wiederfindet.

Bleiaufkommen in Prozessabfällen bei der Stückgut-Verzinkung

Im Verzinkungsprozess fallen als Abfälle Hartzink, das im Zinkbad durch die Reaktion mit Eisen gebildet wird, und Zinkasche, die auf der Zinkbadoberfläche durch Oxidation entsteht, in Mengen von 5 – 9 kg bzw. 6 – 10 kg pro Tonne Durchsatz an (Herwig, 2009). Zum Vorkommen von Blei in diesen Abfallstoffen liegen keine Daten vor. Es wird davon ausgegangen, dass beide Nebenprodukte vollständig recycelt werden. Nach Daten aus der Aussenhandelsstatistik wurden im Mittel der Jahre 2014 – 2016 rund 1'200 t Hartzink (Tarif-Nr. 2620.1100) pro Jahr zur Verwertung in die EU ausgeführt, Empfängerstaaten 2018 waren Österreich (92 %), Belgien (4 %), Deutschland (3 %) und Italien (1 %). Auch Zinkaschen wurden ausnahmslos an Mitgliedsstaaten der EU geliefert.

Da unter Spannung stehende Teile einer Hochspannungsleitung nicht mit Wasser in Berührung kommen dürfen, werden diese mit Aluminium, Kupfer oder Blei ummantelt. Leitungen mit Bleiummantelungen werden in der Schweiz ausschliesslich zur Verwendung im Mittleren Osten produziert (Schneider, 2018). Die Produktion der Bleiummantelungen erfolgt im Extrusionsverfahren, wobei Bleibarren unter grossem Druck weichgemacht und über einen Zylinder sowie eine Förderschnecke um das Innenkabel gepresst werden. Prozessabfälle aus Blei werden zurückgeschmolzen, wobei 5 – 10 t Schlacke entstehen, die in der Schweiz deponiert werden.

Bleiaufkommen in Prozessabfällen bei der Kabelummantelung

5.6 Kunststoffrecycling (PVC)

Ein erklärtes Ziel der europäischen PVC-Industrie im Rahmen ihrer freiwilligen Selbstverpflichtung «VinylPlus» für den Zeitraum 2011 – 2020 ist, die jährliche PVC-Recyclingmenge kontinuierlich zu steigern. Die inländische PVC-Branche, zusammengeslossen in der «Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie», unterstützt diese Zielsetzung und ist in die im Rahmen von «VinylPlus» laufenden Aktivitäten eingebunden.

Steigerung des Recyclings als erklärtes Ziel der Branche

Wie schon in Kapitel 4.5.1 ausgeführt, werden mit den heute gängigen Verfahren des PVC-Recyclings auch früher eingesetzte Additive, so Bleistabilisatoren, im Stoffkreislauf gehalten. Die verfügbaren Angaben zu Art und Menge separat gesammelter PVC-Abfälle, zur Menge von Granulaten oder Pulvern aus bleihaltigem Recycling-PVC, die Schweizer Hersteller von PVC-Produkten verwenden, sowie zur Einfuhrmenge von Fertigfabrikaten und deren Anteilen an bleihaltigen Rezyklaten sind lückenhaft.

Nachdem in der Schweiz keine Akteure bekannt sind, die PVC-Abfälle zu wiederverwendbaren Granulaten oder Pulvern aufbereiten (KVU Ost, 2019;

Menge separat gesammelter PVC-Abfälle und darin enthaltenes Blei

PVCH, 2010; PVCH, 2018; VinylPlus, 2019), wird die separat gesammelte PVC-Abfallmenge anhand der in der Zollstatistik unter der Tarifnummer 3915.30 (Abfälle, Schnitzel und Bruch von Polymeren des Vinylchlorids) ausgewiesenen Ausfuhrmenge abgeschätzt. Im Zeitraum 2014 – 2016 betrug diese ca. 6'000 t pro Jahr. Wird für eine orientierende Schätzung angenommen, dass die Hälfte des PVC-Abfalls aus bleifreiem Verarbeitungsabfall und die andere Hälfte aus mit Blei stabilisiertem PVC mit einem Pb-Gehalt von 1 % besteht, gelangen um 30 t Blei mit PVC-Abfall im Ausland zur Verwertung.

Aufgrund der im Verlauf der Zeit stark gestiegenen Nachfrage an PVC und der langen Lebensdauer von am Bau eingesetzten PVC-Produkten wie Bodenbeläge, Dachbahnen, Rohre und Fensterprofile wird in Zukunft die zur Verwertung anfallende PVC-Abfallmenge zunehmen. Nachstehende Abbildung 23 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Einfuhren über die letzten dreissig Jahre von Türen, Fenstern und deren Rahmen aus Kunststoffen (Zolltarifnummer 3925.2000), für die angenommen wird, dass sie aus PVC gefertigt sind.

Menge an PVC-Abfällen aus Bauanwendungen ist zunehmend

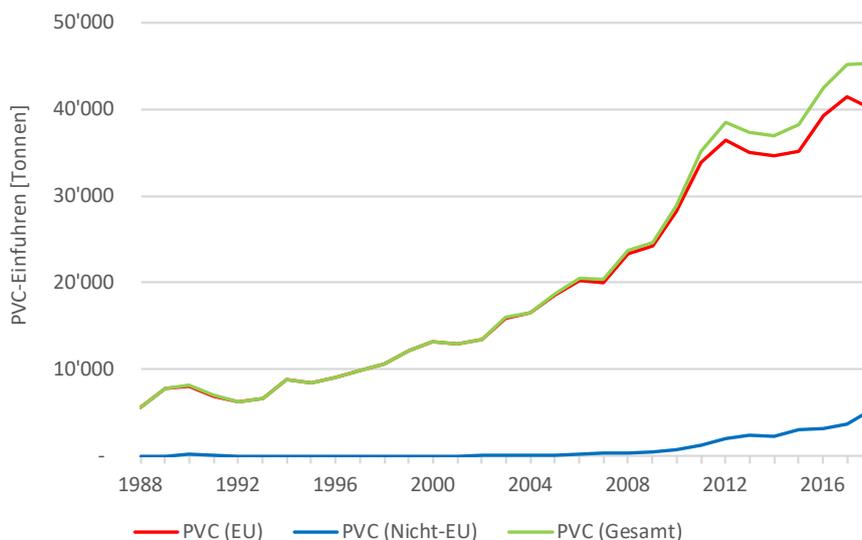


Abbildung 23: Einfuhr von Türen, Fenster und deren Rahmen aus Kunststoffen (Zolltarifnummer 3925.2000) im Zeitraum 1988 – 2018 nach Herkunft

An der in Europa gesamthaft rezyklierten PVC-Menge hatten PVC-Fenster einen Anteil von fast 45 % (VinylPlus, 2019). Laut Ausführungen der «Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie» ist es ihr Ziel, sich der Recycling-Initiative «Rewindo» der führenden deutschen Fensterprofil-Hersteller anzuschliessen (PVCH, 2018). In welchem Umfang Profile in der Schweiz bereits gesammelt werden, ist nicht bekannt.

Laut Angaben der Industrie stieg der Anteil mit Blei stabilisierter PVC-Profile von 25 % im Jahr 1988 auf 100 % im Jahr 1996. Ab dem Jahr 2001 wurden Bleistabilisatoren in Profilen kontinuierlich ersetzt, die Substitution war im Jahr 2016 ab-

Prognose für die durch das Recycling von Profilen bedingten Bleiflüsse

geschlossen (Ooms & Cuperus, 2013). Aus Abbildung 13 in Kapitel 4.5.1 ist ersichtlich, dass die durch PVC-Stabilisatoren bedingten Bleiflüsse in der Schweiz zwischen 1996 und 2006 am höchsten waren und hauptsächlich durch PVC-Fensterprofile bestimmt wurden. Abbildung 14 illustriert die Abnahme der Bleigehalte in Profil-Abfall für den Zeitraum 2010 – 2050. Ausgehend von diesen Gehalten, Anteilen an Rezyklaten entweder von 10 % oder von 25 % in neuen Fensterprofilen sowie der aktuellen Nachfrage an Profilen und einer jährlichen Wachstumsrate von 2.5 % bis 2050 zeigt nachstehende Abbildung 24 die durch das Recycling von Fensterprofilen bedingten Bleiflüsse für den Zeitraum 2020 – 2050¹¹.

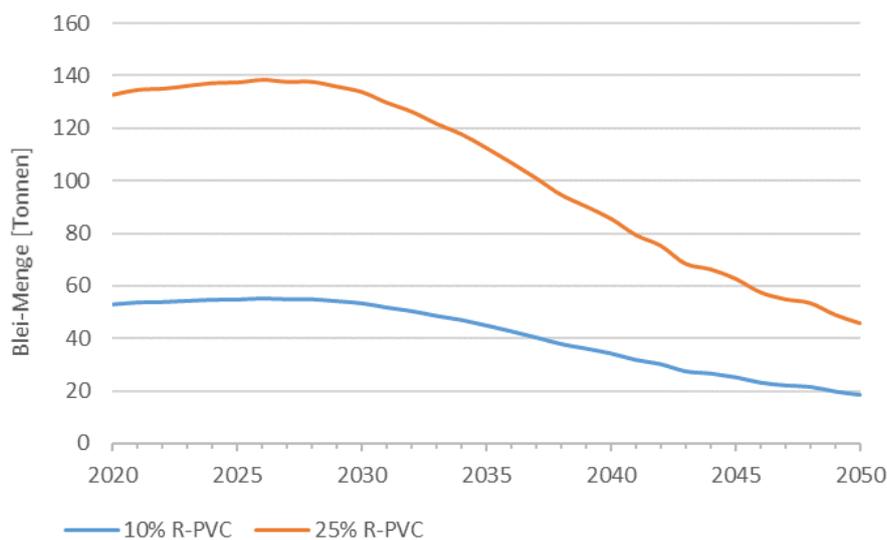


Abbildung 24: Durch das Recycling von Fensterprofilen bedingte Bleiflüsse in der Schweiz für den Zeitraum 2020 – 2050 bei Rezyklat-Anteilen von 10 % und 25 % in neuen Profilen (10 % bzw. 25 % R-PVC).

Nicht werkstofflich verwertetes PVC gelangt in eine der dreissig Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen. Dort wird der bei der Verbrennung aus PVC entstandene Chlorwasserstoff bei der nassen Rauchgasreinigung zu Salzsäure umgewandelt, die in der Folge zur sauren Wäsche der Flugasche genutzt wird. Ziel der sauren Flugaschenwäsche ist die Rückgewinnung von Metallen wie Zink und Blei (vgl. Kapitel 5.7.1).

¹¹ Am Rande sei vermerkt, dass Analysen in den USA von Rezyklate enthaltenden Schichten von mehrlagig zusammengesetzten Bodenbelägen zeigten, dass diese – neben Blei mit einem moderaten mittleren Gehalt von 0.1 % – mit einer Reihe von Elementen wie Kupfer, Antimon oder Zinn belastet waren, die laut Autor in Bodenbelägen nicht typische PVC-Additive sind (Vallette, 2015).

5.7 Thermische Entsorgungswege

Stofflich nicht verwertete, brennbare Abfälle werden in der Regel unter Ausnützung ihres Energieinhalts thermisch behandelt. Im Folgenden werden die Bleiflüsse abgeschätzt, die bei der Verbrennung von Kehricht und anderen Abfällen in Kehrichtverbrennungsanlagen, von Altholz in Holzfeuerungsanlagen, von Abfallbrennstoffen bei der Zementherstellung sowie von Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen resultieren.

5.7.1 Kehrichtverbrennungsanlagen

Im Jahr 2016 wurden in Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) 4.0 Mio. t Abfälle verbrannt, davon waren 0.2 Mio. t Importe. Etwa zwei Drittel der Abfälle wurden durch kommunale Sammeldienste und ein Drittel durch Industrie- und Gewerbebetriebe direkt angeliefert. Bei den Lieferungen der kommunalen Sammeldienste handelt es sich um Kehricht aus privaten Haushalten. Auch ein Grossteil der direkt angelieferten Abfallmenge entfällt auf haushaltsähnlichen Kehricht aus der Industrie und dem Gewerbe, daneben werden in grösserem Umfang Bauabfälle direkt angeliefert, so Kunststoffe und Altholz. Im Jahr 2016 waren es rund 490'000 t, darunter ca. 180'000 t Altholz nach einer Schätzung von Erni et al. (2017). Direkt angelieferte Abfälle umfassten 2016 weiter ca. 60'000 t Produktionsabfälle aus der Industrie und dem Gewerbe sowie ca. 100'000 t Sonderabfälle, davon rund 40'000 t RESH. Darüber hinaus wurde 2016 den KVA ca. 100'000 t Klärschlamm mit einem durchschnittlichen Wassergehalt um 70 % angeliefert. Damit setzten sich die im Jahr 2016 in KVA verbrannten Abfälle aus 82 % Siedlungsabfällen (Kehricht aus Haushalten, Industrie und Gewerbe), 12 % Bauabfällen, 2 % Klärschlamm und 4 % «übrigen Abfällen» zusammen (BR, 2017).

Art und Menge in KVA verbrannter Abfälle

Es liegen verschiedene Untersuchungen vor, in denen die Pb-Gehalte in Schweizer KVA verbrannter Abfälle mittels indirekter Analyse, d.h. der Bestimmung der Massenflüsse der «Outputgüter» (Schlacke, Filterasche, Produkte der Rauchgasreinigung, Abluft) und der Bestimmung der Pb-Gehalte dieser Güter, ermittelt wurden. Vor 30 Jahren wurde in der KVA St. Gallen in durch den kommunalen Sammeldienst angeliefertem Haushaltsabfall ein Pb-Gehalt von 530 g/t gefunden. Bei Mitverbrennung von direkt angeliefertem Abfall betrug er 700 g/t (Belevi & Mönch, 2000). Analysen 12 Jahre später in der KVA Thurgau ergaben Pb-Gehalte von 400 g/t in Haushaltsabfall und von 880 g/t in direkt angeliefertem Abfall (Morf, 2006). In der KVA Thurgau wurde zudem ein Stoffflussmonitoring etabliert, Daten daraus sind für den Zeitraum 2001–2019 verfügbar (Taverna, 2020): Anhand der Pb-Gehalte in der Elektrofilterasche (jeweils Mittelwerte über 3 Monate) sowie des Transferkoeffizienten von Blei in die Elektrofilterasche wurden Jahresmittel im verbrannten Abfall von 380–670 g Pb/t abgeleitet. Sie zeigen im zeitlichen Verlauf ab dem Jahr 2009 bis zum Jahr 2018 eine Abnahme der Pb-Gehalte, wie die Zunahme 2019 zu bewerten ist, werden die nachfolgenden Untersuchungen zeigen (Abbildung 25). In einer weiteren zwischen 2008 und 2010 in der KVA Hinwil (ZH) durchgeführten Untersuchung ermittelten Taverna & Meister (2011) anhand der Monatsmittelwerte in der Elektrofilterasche einen mittleren Gehalt im verbrannten Abfall von 500 g Pb/t, die

Bleimenge in den verbrannten Abfällen

Monatsmittel variierten zwischen 320 und 710 g Pb/t. In der KVA Hinwil wurden neben Siedlungs- und Bauabfällen auch Klärschlamm und RESH mit verbrannt.

Ausgehend von Pb-Gehalten von 350 g/t in «Kehricht» aus Haushalten, der Industrie und aus dem Gewerbe¹², 200 g/t in Altholz (vgl. Kapitel 5.7.2), 2'600 g/t in RESH (vgl. Kapitel 5.5.1) und 45 g/t in Klärschlamm (vgl. Kapitel 5.7.3) sowie von 200 t Blei in zur Entsorgung anfallenden PVC-Produkten, die um 1990 in Verkehr gesetzt wurden (vgl. Kapitel 4.5.1), errechnet sich die 2016 den dreissig Schweizer KVA zugeführte Bleimenge auf rund 1'500 t.

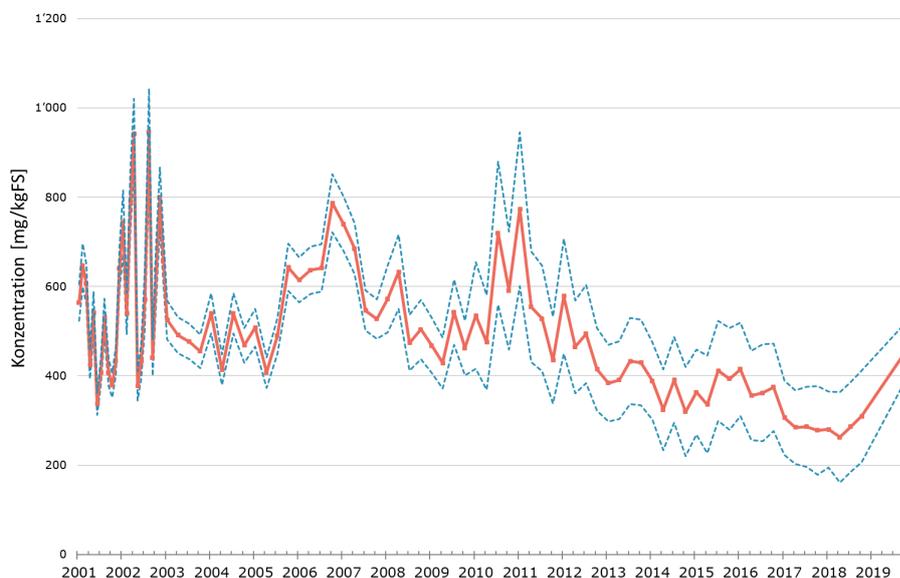


Abbildung 25: Blei-Gehalte von in der KVA Thurgau verbranntem Abfall (2001 – 2019). Die Abfälle stammen zu 60 % aus schweizerischem, zu 32 % aus deutschem und zu 8 % aus österreichischem Einzugsgebiet (Thurgau, Landkreise Konstanz und Bodensee sowie Vorarlberg)

Mit vorstehenden Annahmen errechnet sich eine Bleimenge um 1'000 t in KVA, deren Verwendung während der Nutzung nicht zuordbar ist. Via den «Kehricht» entsorgte bleihaltige Güter wie Lote, Kristallglas, Keramik, Gewichte oder kleine Elektro- und Elektronikgeräte dürften höchstens mit 20 % zu dieser Menge beitragen¹³, bei mit Blei stabilisierten Rohren und Fensterrahmen aus PVC wird aufgrund deren langen Lebensdauer davon ausgegangen, dass sie noch in Nutzung sind, sodass grössere Bleimengen mit diesen Erzeugnissen erst später zur Entsorgung anfallen werden (vgl. Kapitel 4.5.1). Somit kann die Ursache der Bleibelastung der KVA zugeführten Abfälle nicht hinreichend erklärt werden.

In ihren Untersuchungen an Anlagen mit nasser Rauchgaswäsche und konventioneller Behandlung des Abschlammwassers errechneten Taverna & Morf (2009)

Transfer von Blei in die Schlacke und die Flugasche

¹² Extrapoliert anhand der in den Kehrichtverbrennungsanlagen in St. Gallen und Weinfelden in den Jahren 1991 und 2003 ermittelten Bleigehalte.

¹³ Abgeleitet anhand Daten aus der Erhebung der Kehrichtzusammensetzung 2012 (BAFU, 2014).

sowie Taverna & Meister (2011), dass Blei im Verbrennungsprozess nahezu vollständig in der Schlacke und Flugasche (Filterasche) endet. Es wird hier angenommen, dass sich 63 % des Bleis in der Schlacke und der Rest (37 %) in der Filterasche wiederfinden. Damit waren in der im Inland deponierten Schlackemenge von 800'000 t rund 950 t Blei enthalten¹⁴. Der Verbleib der Flugasche im Umfang von ca. 80'000 t mit einem Blei-Inhalt von 555 t war – wie nachstehend ausgeführt – abhängig von ihrer Art der Behandlung.

Heute werden noch vier Verfahren zur Behandlung der Flugasche angewandt: Eine neutrale Wäsche gefolgt von einer Verfestigung mit einem hydraulischen Bindemittel mit anschließender Deponierung im Inland erfolgte an 16 % der Aschemenge. Weitere 26 % der Aschen wurden nicht stabilisiert zur Ablagerung in einer Untertagedeponie nach Deutschland exportiert. Eine saure Wäsche erfuhren 50 % der Aschemenge (Fluwa-Verfahren), der Rest (8 %) wurde mit dem Flugasche-Recycling-Verfahren (Flurec-Verfahren) behandelt (Schlumberger, 2019). Aufgrund dieser Angaben lässt sich schätzen, dass 2016 noch ca. 90 t Blei in stabilisierter Flugasche im Inland und ca. 145 t Blei in nicht stabilisierter Flugasche in Deutschland unter Tage abgelagert wurden. Es wird angenommen, dass diese deponierten Flugaschen in Zukunft sauer gewaschen werden, so wie heute bereits ca. 45'000 t mit rund 320 t Blei-Inhalt.

Verfahren der Flugasche-Behandlung

Zwölf der dreissig Schweizer KVA wenden derzeit das Fluwa-Verfahren an, fünf weitere Anlagen lassen ihre Flugaschen in einer der zwölf Anlagen behandeln. Von diesen praktiziert eine das sog. Flurec-Verfahren zur direkten Metallrückgewinnung aus der KVA-Flugasche (Schlumberger, 2019).

Ziel der Flugasche-Wäsche ist deren Abreicherung mit Schwermetallen (Pb, Cd, Cu, Zn) unter Rückgewinnung besonders von Zink und Blei. Dazu wird die Asche mit dem (von Quecksilber befreiten) Abwasser der Rauchgaswäsche behandelt. Durch Zugabe von Wasserstoffperoxid wird eine verbesserte Kupfer- und Bleiextraktion erzielt. Bühler & Schlumberger (2010) geben für Blei Extraktionsausbeuten von 40 – 70 % an, mit Annahme einer durchschnittlichen Ausbeute von 50 % (Schlumberger, 2019) verblieben im Jahr 2016 ca. 160 t Blei in der gewaschenen Flugasche, die im Inland abgelagert wurde. Das meiste Filtrat mit einem Blei-Inhalt von ca. 140 t gelangte in die Abwasserbehandlung. Dabei wurde ein schwermetallhaltiger Hydroxidschlamm mit 15 – 30 % Zink gewonnen, der als Zwischenprodukt der Zinkverhüttung im Ausland zugeführt wurde.

Filtrat mit einem Blei-Inhalt von ca. 20 t wurde schliesslich im Flurec-Verfahren behandelt. In diesem Verfahren werden Zink und andere Metalle zurückgewonnen. Die Abreicherung von Blei zu 97 – 99 % im Filtrat geschieht in der sog. Zementierung, wo es durch Zugabe von Zinkpulver reduziert wird. Die Weiterverarbeitung des Metallkonzentrats und Rückgewinnung der darin enthaltenen Metalle mit hydro- und pyrometallurgischen Verfahren geschieht im Ausland.

Stand der Technik bei der Bleientfrachtung der Flugasche

¹⁴ Eine gewisse Bleientfrachtung ist durch die stattfindende Aussortierung von Eisen- und Nichteisenmetallen möglich und hängt von deren Gehalten an Blei ab. Beispielsweise enthält Schlacke nach Angaben von Bunge (2010) ca. 0.4 % Messing. Bei einem Gehalt um 2 % Blei enthält Schlacke durch Messing bedingt um 60 t Blei.

5.7.2 Altholzfeuerungen

Das jährliche Aufkommen von Altholz in der Schweiz (beschichtetes Holz von Bauten, Möbel, Verpackungen oder Paletten sowie mit Holzschutzmitteln behandelte Holzabfälle) beträgt nach einer Erhebung von Erni et al. (2017) rund 1 Mio. t. Ein Drittel dieser Menge gelangte 2014 zur Ausfuhr, davon 45 % zur energetischen Nutzung und 55 % zur Verwertung als Rohstoff bei der Herstellung von Holzwerkstoffen (v.a. Spanplatten). Demgegenüber war die Abgabe im Inland an Holzwerkstoffhersteller (vgl. Kapitel 4.7.3) mit 20'000 t bescheiden, im Inland wurde 2014 fast alles Altholz (0.65 Mio. t) energetisch genutzt. Seit 2014 steigt die stoffliche Nutzung von Altholz im Inland allerdings und betrug 2018 schon 40'000 t.

Altholzaufkommen

In Altholz aus Renovationen und Umbauten in der Schweiz wurden im Jahr 1998 in Proben von Fenstern, Fensterläden und anderen Holzläden hohe Bleigehalte gefunden: Mittelwert und Median von neun Querschnittsproben betrug 1'800 bzw. 310 mg Pb/kg (Vock, 2004). Die viel höheren Gehalte von 31'400 mg Pb/kg (Mittelwert) bzw. 6'800 mg Pb/kg (Median) in siebzehn Oberflächenproben deuten auf eine bleihaltige Beschichtung hin, vermutlich Anstriche mit Bestandteilen von Bleiweiss und/oder Bleisulfat. Eine andere Quelle von Blei in Altholz sind die früher oft verwendeten Trocknungsbeschleuniger (Sikkative) für Alkydharze. Beim Einsatz eines Bleisikkativs resultieren Gehalte um 2'000 mg/kg im trockenen Anstrich¹⁵. Andere Quellen von Blei in Altholz als die genannten sind nicht bekannt. Laut Vorschriften des Luftreinhalte- und Abfallrechts dürfen Holzabfälle mit bleihaltigen Beschichtungen nicht in Altholzfeuerungen verbrannt werden.

Bleiaufkommen mit Altholz

Analysen zum Bleivorkommen in geschreddertem und/oder Holzkraftwerken zugeführtem Altholz zeigen folgendes: Im Jahr 2012 wurden im Kanton Zürich über den Schredder zerkleinertem Altholz aus elf Anlagen Bleigehalte von 340 mg/kg (Mittelwert) bzw. 100 mg/kg (Median) bestimmt (Hofmann, 2013). In Monatsmischproben (n = 49) von Altholz, das zwischen 2013 und 2018 im Holzkraftwerk Basel thermisch verwertet wurde, betrug Mittelwert und Median der Pb-Gehalte 145 mg/kg bzw. 115 mg/kg (IWB, 2018).

Werden für eine Grobschätzung die Bleigehalte in Altholz, das für die Holzwerkstoffherstellung bestimmt ist, mit 20 mg/kg, in Altholz, das in KVA und Zementwerken verbrannt wird, mit 200 mg/kg und in Altholz, das in Holzkraftwerken verbrannt wird, mit 100 mg/kg angenommen, errechnet sich mit der entsprechend verwerteten Altholzmenge ein Bleifluss von rund 100 t.

In Schweizer Holzkraftwerken wurde 2016 gemäss den beschriebenen Annahmen Altholz mit einem Blei-Inhalt von ca. 40 t verbrannt. Davon endeten vereinfacht geschätzt ca. 25 t (60 %) in der Rost- und 15 t (40 %) in der Flugasche. Damit errechnen sich ausgehend von einem Rost- bzw. Flugascheanfall von 10'000 t/a bzw. 3'000 t/a in «Altholzfeuerungen» nach Angaben von Keel (2018) Pb-Gehalte

Verbleib von Blei in Holzkraftwerken

¹⁵ Die Schätzung basiert auf einer Einsatzkonzentration von 0.5 % Blei bezogen auf das Festharz, einem Harzgehalt um 30 % sowie einem Festkörpergehalt des Lacks von 70 %.

von 2'400 mg/kg in der Rost- und 5'300 mg/kg in der Flugasche. Die Aschen wurden nach den Vorgaben des Abfallrechts auf inländischen Deponien abgelagert.

5.7.3 Andere Feuerungen

Mit dem Einsatz von alternativen Rohstoffen und dem Ersatz klassischer Brennstoffe wie Steinkohle und Schweröl durch alternative Brennstoffe steigern die Schweizer Zementwerke ihre Energieeffizienz und reduzieren den CO₂-Ausstoss. Blei gelangt nicht nur über Abfälle, sondern auch die konventionellen Brennstoffe und Rohmaterialien in das System. Anhand der in den Kennzahlen des Verbands der Schweizerischen Zementindustrie präsentierten Daten (cemsuisse, 2020) lässt sich abschätzen, dass im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 den Schweizer Zementöfen mit Rohmehl und Brennstoffen 130 t Blei zugeführt wurden. Davon entfielen 110 t auf Rohmaterialien einschliesslich der alternativen Rohstoffe (≈ 85 %) und 20 t (≈ 15 %) auf Brennstoffe. Wichtigste Bleiträger bei den Brennstoffen waren Altholz (≈ 60 %), Kohle (≈ 15 %) und Klärschlamm (≈ 10 %) ¹⁶. Da Blei im Rohgas an den Rohgasstaub oder den mitgerissenen Staub aus der Mahltrocknungsanlage gebunden vorliegt, wird seine Luftemission vom Staubabscheidungsgrad des Abluftfilters bestimmt. Die mit der Abluft Schweizer Zementwerke emittierte Bleimenge beträgt im Durchschnitt 0.04 g pro Tonne produzierten Klinker (FOEN, 2019) und damit deutlich unter einer Tonne pro Jahr. Um Anreicherungen flüchtiger Metalle im Anlagensystem zu vermeiden, wird der Filterstaub aus dem Prozess ausgeschleust und normgemäss als Nebenbestandteil dem Klinker in der Zementmühle zugemischt, sodass Blei-Spezies im Filterstaub im Zement enden.

Bleiflüsse bei der Herstellung von Zement

Die Abwässer aus Industrie und Gewerbe sowie aus Haushalten werden in der Schweiz in ca. 800 zentralen Abwasserreinigungsanlagen (ARA > 200 Einwohnerwerte) gereinigt (Schärer et al., 2014). Dabei fallen jährlich rund 200'000 t Klärschlamm (Trockensubstanz, TS) an (Tezcan, 2013). Klärschlamm enthält neben Pflanzennährstoffen wie Phosphor auch Krankheitserreger sowie persistente Organika und Schwermetalle. Aus diesem Grund ist das Ausbringen von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen seit dem Jahr 2003 stark eingeschränkt und heute ausnahmslos verboten. Im Durchschnitt der Jahre 2014 - 2016 wurden rund 65 % des angefallenen Klärschlammes in Schlammverbrennungsanlagen (Monoverbrennung) sowie ca. 21 % in Zementwerken und ca. 14 % KVA verbrannt. Ausgehend von einem Pb-Gehalt des Klärschlammes von 45 g/t nach Vriens et al. (2017) waren darin 10 t Blei enthalten.

Bleiflüsse bei der Entsorgung von Klärschlamm

¹⁶ Für Rohmehl und alternative Rohstoffe (Aushubmaterial, Aschen, Giessereirestsand) wurden Blei-gehalte von 15 mg/kg bzw. 75 mg/kg (wie Giessereirestsand) angenommen (Anger et al., 2011). Bei den Regelbrennstoffen Petrolkoks, Stein- und Braunkohle wurden für die Abschätzung der Bleiflüsse Gehalte von 1.5 mg Pb/kg, 68 mg Pb/kg und 0.8 mg Pb/kg verwendet (MUNLV, 2005). Für die Gehalte an Blei in Altholz und Klärschlamm wurden Werte von 200 mg/kg und 45 mg/kg angenommen. Weiter wurden für die eingesetzten Abfallbrennstoffe folgende Blei-gehalte gewählt: 30 mg/kg für Lösungsmittel und Altöle (LANUV, 2020), 11 mg/kg für Altkunststoffe (LANUV, 2020; MUNLV, 2005) unter Annahme, dass darunter kein mit Blei stabilisiertes PVC ist, 18 mg/kg für Altpneus (Kocher et al., 2010) und 3 mg/kg für Tierfette/Tiermehl (Grech et al., 2001).

Die sog. Monoverbrennung fand in elf Schlammverbrennungsanlagen statt. Blei (ca. 6 t) gelangte dabei in die Produkte der Rauchgasreinigung und die Asche. Da sich die Asche für eine spätere Rückgewinnung von Phosphor eignet, wird sie oft in einem separaten Kompartiment einer Oberflächendeponie abgelagert.

6 Umwelteinträge

6.1 Bleieinträge in die Luft

Die Emissionen von Blei in die Luft in der Schweiz betragen im Jahr 1980 rund 1'300 t und konnten seither durch die kontinuierliche Minderung des Bleigehalts im Benzin und schliesslich dem Verbot von bleihaltigem Benzin im Jahr 2000 massiv verringert werden. Durch die wirtschaftlich bedingte Stilllegung zweier Stahlwerke und Anpassungen an den Stand der Technik bei der Abluftbehandlung der verbliebenen Stahlwerke sowie der Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen sanken die atmosphärischen Bleieinträge bis zum Jahr 2005 auf ca. 20 t. Die nahezu exponentielle Abnahme seit den 1980er Jahren flacht seit 2000 augenscheinlich etwas ab, trotzdem verzeichnete man 2017 im Vergleich zu 2005 einen Rückgang der Emissionen um 25%. Demnach beliefen sich die Bleiemissionen 2017 auf rund 15 t (FOEN, 2019) (vgl. Abbildung 26).

Massiver Rückgang der Bleieinträge durch das «Phase-out» von verbleitem Benzin

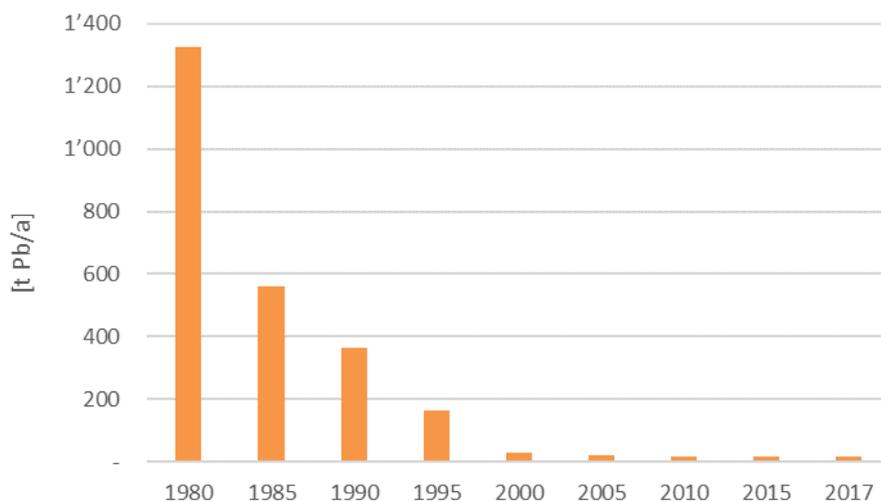


Abbildung 26: Entwicklung der Schweizer Luftemissionen von Blei in den Jahren 1980 – 2017

Von den Bleiemissionen in die Luft im Jahr 2017 entfielen ca. 3 t auf den Strassen- und Luftverkehr. Bei der Abfallbehandlung (ohne Energieerzeugung) entstanden Emissionen von rund 2 t. Dafür war die illegale Verbrennung von Abfällen in Haushalten und auf Baustellen hauptverantwortlich, die Verbrennung von Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen trug mit weniger als 10 % zu diesen Luftemissionen bei. Die Emissionen bei der Erzeugung öffentlicher Elektrizität und Wärme im Umfang von ca. 1.5 t waren vor allem auf Kehrichtverbrennungsanlagen zurückzuführen, welche alle die beim Verbrennen der Abfälle entstehende Wärme zur Erzeugung von Energie nutzen. Die Bleiemissionen in industriellen Prozessen und mit der Verwendung von Produkten betragen um 0.5 t. Davon entfielen ca. 40 % auf Emissionen aus den Elektrolichtbogenöfen zweier Stahlwerke und ca. 30 % auf das Abbrennen von Feuerwerkskörpern. Feuerungen der

Quellen der Bleieinträge in die Luft

Industrie trugen mit weiteren 0.5 t zu den Bleiemissionen bei. Andere Feuerungen verursachten Bleieinträge im Umfang von ca. 1 t, den grössten Anteil daran hatten Holzfeuerungen. Durch Fahrzeug- und Gebäudebrände entstanden schliesslich Bleiemissionen von 0.5 t bzw. 5 t. Die erzielten Erfolge bei der Minderung der Emissionen aus den klassischen mobilen und stationären Quellen hat zur Folge, dass heute Gebäudebrände die dominierende Quelle für Bleieinträge in die Luft sind (vgl. Abbildung 27). Allerdings sind diese Bleiemissionen schwierig abzuschätzen und entsprechend ist der Wert mit einer hohen Unsicherheit behaftet.

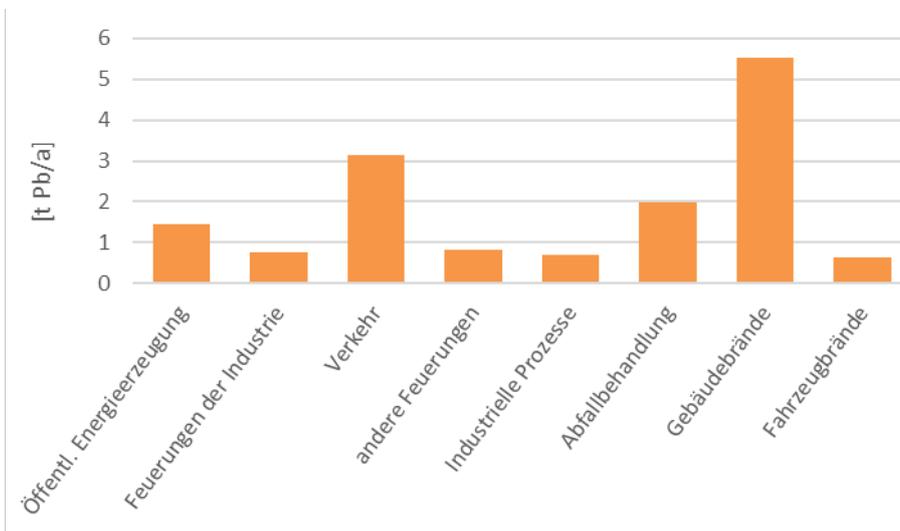


Abbildung 27: Art und Grösse der Schweizer Emissionen von Blei in die Luft gemäss NFR-Codes im Jahr 2017

Messungen an städtischen Standorten, die wenig und stark durch den Verkehr beeinflusst sind, sowie an vorstädtischen und ländlichen Standorten zeigen, dass die verminderten Lufteinträge mit abnehmenden Bleigehalten im Schwebestaub (PM10) einhergehen. An solchen Standorten sind die Blei-Konzentrationen zwischen 2008 und 2009 gegenüber 1998 und 1999 um 75 % bis 85 % zurückgegangen (vgl. Anhang A.3.1). Zudem widerspiegeln Messungen zum Vorkommen von Blei in der trockenen und nassen Deposition wie auch in Moosen die starke Abnahme der Blei-Emissionen seit Ende der 1980er Jahre klar. Die Blei-Konzentrationen in Moosen 2015 haben gegenüber 1990 um 87 % abgenommen (vgl. Abbildung 28 sowie Anhang A.3.2). Die nach wie vor gefundenen Blei-Konzentrationen im Moos sind auch eine Folge des Bleis, welches in der Zeit des Bleibenzins in hohen Mengen in den Boden eingetragen wurde. Schwermetalle werden im Boden nicht abgebaut, sondern nur verlagert oder verdünnt. Durch Bodenbearbeitung und Wind kann dieses Blei wieder in die Luft geraten und anderorts wieder abgelagert werden (Resuspension). In der Südschweiz wurde, wie bei fast allen gemessenen Elementen, höhere Gehalte gemessen. Neben den hohen Niederschlagsmengen spielt die Nähe zur hoch industrialisierten Poebene eine Rolle.

Ablagerung der Bleieinträge

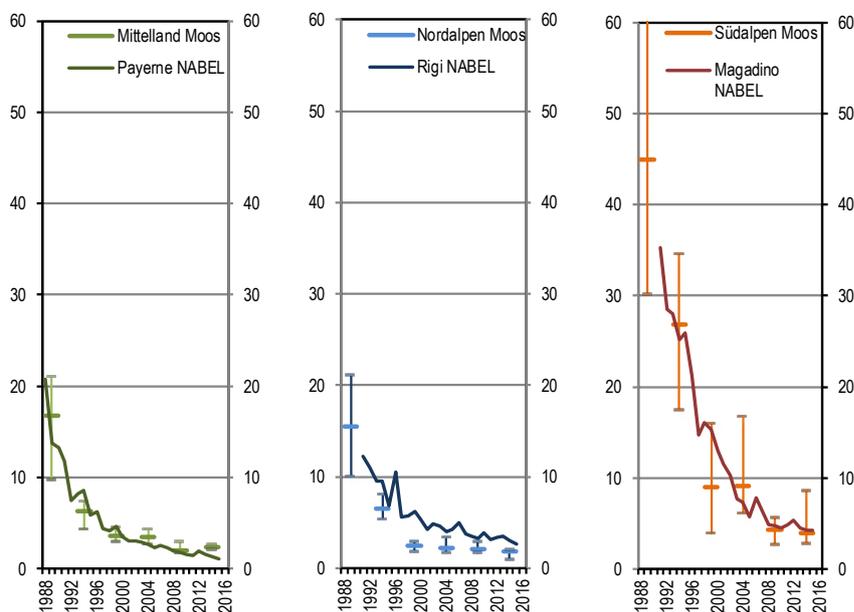


Abbildung 28: Vergleich der jährlich deponierten Bleimengen (in $\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) an ländlichen Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) mit Blei-Konzentrationen in Moosen (in $\mu\text{g g}^{-1}$), welche seit 1990 alle 5 Jahre erhoben werden (dargestellt als Median, 25er und 75er Perzentil). Moosproben der Südalpen stehen im Vergleich zur NABEL-Station Magadino-Cadenazzo, Proben der Nordalpen zur Station Rigi-Seebodenalp und Proben des Mittellandes zur Station Payerne.

6.2 Bleieinträge in Böden

Das Vorkommen von Blei in Böden ist deutlich durch menschliche Aktivitäten beeinflusst (vgl. auch Anhang A.3.4). Eine Auswertung der umfangreich vorliegenden Resultate von Bodenanalysen, die nationale und kantonale Stellen zwischen 1990 und 1996 durchführten, wurde von Keller & Desaulles (2001) vorgenommen. Nach Untersuchungstypen wurden auffällig hohe Bleigehalte in gewissen Haus- und Familiengärten und auf Schiessplätzen gemessen. Unauffällig waren die Bleigehalte in Landwirtschaftsböden.

Im Zeitraum 1996 – 2001 durchgeführte Stoffbilanzierungen für landwirtschaftliche Parzellen der «Nationalen Bodenbeobachtung» (NABO) haben ergeben, dass die Deposition aus der Luft die Hauptquelle der Bleieinträge in Böden war. Auf gewissen Parzellen waren erhöhte Bleieinträge auf die damals noch zulässige Klärschlammdüngung zurückzuführen. Seit 2003 ist diese Praxis eingeschränkt und seit 2008 vollständig verboten. Bleieinträge über Hofdünger wurden laut Autoren in der Regel über den Ernteaustrag kompensiert (Keller et al., 2005). Es lässt sich schätzen, dass die Bleieinträge in landwirtschaftliche Böden durch Depositionen aus der Luft und mit Recycling- und Mineraldüngern von ca. 90 t im Jahr 1990 um über 80 % auf ca. 15 t im Jahr 2015 abgenommen haben (Abbildung 29).

Vorkommen von Blei in Böden vom Menschen beeinflusst

Einträge auf landwirtschaftlich genutzte Flächen

Bei den organischen Recyclingdüngern (Kompost und Gärgut) haben die in Kompostier- und Vergärungsanlagen verarbeiteten Mengen an biogenen Abfällen seit 1990 von rund 250'000 t auf heute 1'400'000 t zugenommen (Schleiss, 2017). Die den Anlagen zugeführten biogenen Abfälle stammen aktuell zu etwas weniger als der Hälfte von den kommunalen Sammeldiensten und zu knapp einem Viertel von der Landschaftspflege; den Rest liefert die lebensmittelverarbeitende Industrie (Schleiss, 2019). Daten von Qualitätskontrollen im Kanton Zürich legen nahe, dass zwischen 1990 und 2015 die Bleigehalte im Kompost um das Zweifache abgenommen haben (Schleiss, 2009; Schleiss, 2018). Laut Angaben von Schleiss (2019) wurden im Jahr 2017 in der Landwirtschaft 565'000 m³ Kompost (Dichte: 0.62 kg/l; TS-Gehalt: 52.7 %) verwendet. Bei einem Pb-Gehalt von 26.6 g/t TS nach Daten des Inspektoratssystems für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz (CVIS, 2019) waren darin 4'900 kg Blei enthalten. Darüber hinaus wurden in industriell-gewerblichen Vergärungsanlagen ca. 300'000 m³ flüssiges Gärgut (Dichte: 1.0 kg/l; TS-Gehalt: 13.7 %) sowie ca. 145'000 m³ festes Gärgut (Dichte: 0.57 kg/l; TS-Gehalt: 43.1 %) produziert, die für die Landwirtschaft bestimmt waren. Ausgehend von Bleigehalten von 38.0 g/t TS bzw. 20.3 g/t TS errechnet sich die damit verbundene Bleifracht auf 2'300 kg.

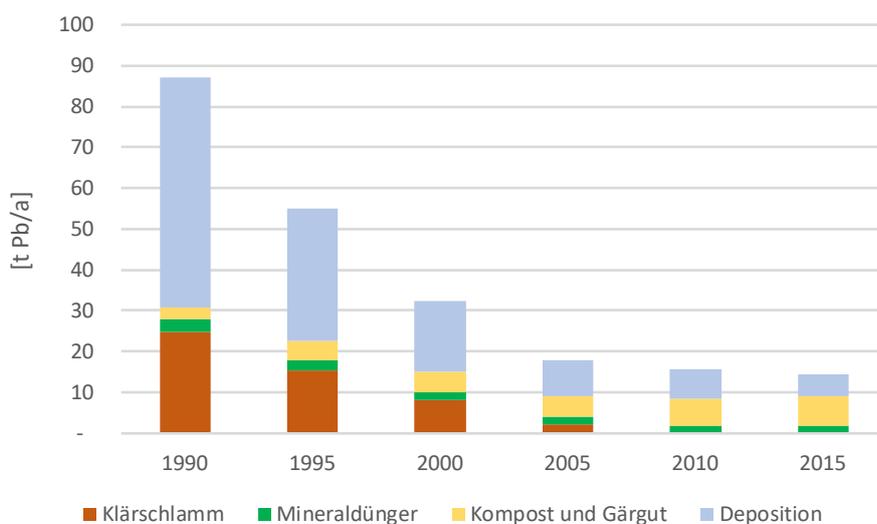


Abbildung 29: Bleieinträge in landwirtschaftliche Böden in der Schweiz von 1990 bis 2015¹⁷

Untersuchungen verschiedener kantonaler Fachstellen haben gezeigt, dass Haus- und Familiengärten vor allem in urbanen Gebieten überdurchschnittlich mit Schwermetallen, u.a. mit Blei, belastet sind. Die Belastung mit Blei erfolgte v.a. in der Vergangenheit durch das übermässige Ausbringen von Kompost, möglicherweise von schlechter Qualität, sowie das Ausbringen von Aschen aus Kohle-

Einträge in Haus- und Familiengärten

¹⁷ Abgeschätzt anhand Daten des Inspektorats für die Kompostier- und Vergärbranche der Schweiz zu den Produktionsmengen von Kompost und Gärgut ergänzt mit Informationen aus Hügi & Gerber (2008), Mandaliev & Schleiss (2016) sowie Schleiss (2017) sowie mit Pb-Gehalten in Kompost und Gärgut für die Jahre 2013 – 2015 (CVIS, 2019). Es wurde angenommen, dass diese Gehalte im Zeitraum 1990 - 2015 um das 2-fache abgenommen haben (Schleiss, 2009; Schleiss, 2018).

und Holzfeuerungen oder aus der Verbrennung von Abfällen und Altholz vor Ort (BMG, 2015).

Neben Blei-Einträgen in natürliche Kugelfänge resultieren in noch nicht sanierten Schiessanlagen Einträge in Böden in der Kugelfangumgebung bedingt durch die beim Aufprall entstehenden Geschosssplitter und Stäube. Nur in besonderen Fällen (z. B. bei abprallenden Geschossen an einer Hanglage oder wenn altes Kugelfangmaterial im Rahmen von Unterhaltsarbeiten verschoben wurde) resultieren hier Bleigehalte über dem Konzentrationswert der Altlastenverordnung von 2'000 mg/kg (Lepke et al., 2018). Die durch die kantonalen Fachstellen festgelegten Sanierungsziele für Böden in Schiessanlagen orientieren sich einerseits am altlastenrechtlichen Sanierungsziel (als Mindestziel bei Inanspruchnahme des VASA Altlasten-Fonds¹⁸) und andererseits an der vorgesehenen Bodennutzung (vgl. Tabelle A4 in Anhang A.4). Hinsichtlich der Bodenbelastung werden Schiessanlagen aus dem «Kataster der belasteten Standorte» entlassen, wenn der Boden den Wert für unverschmutzten Aushub von 50 mg Pb/kg nicht überschreitet (Lepke et al., 2018).

Einträge durch das Schiess- und Jagdwesen

Der Bleiverbrauch mit Munition in der Jagd wurde in Kapitel 4.2 mit ca. 3 t pro Jahr veranschlagt. Die Jagd von Hochsitzen aus, wo häufig wiederholt in dieselben Richtungen und Entfernungen geschossen wird, dürfte zu lokal erhöhten Bleigehalten in Böden führen. Hohe Bleigehalte in aasfressenden Raubvögeln werden allerdings nicht mit einer Anreicherung von Blei entlang der Nahrungskette, sondern mit der Aufnahme von aus Munition stammenden Bleifragmenten in Tierkadavern oder Aufbrüchen erklärt (vgl. auch Anhang A.3.5).

6.3 Bleieinträge in Gewässer

Nach einem methodischen Ansatz der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) zur Abschätzung von Stoffeinträgen über unterschiedliche Eintragspfade in Gewässer wird zwischen Punktquellen und diffusen Quellen unterschieden (Braun et al., 2003; IKSR, 2016).

Unterscheidung zwischen Punktquellen und diffusen Quellen

Punktquellen umfassen Einträge aus kommunalen ARA und Direkteinträge der Industrie und des Gewerbes (Direkteinleiter). Unter diffuse Quellen fallen Stoffeinträge mit Regenwasserentlastungen kommunaler ARA (Mischwasserentlastung), mit Oberflächenabflüssen von versiegelten Flächen (Trennkanalisation), mit der atmosphärischen Deposition direkt in Gewässer, mit der Erosion von Ackerland, mit Abschwemmungen von Düngern, mit Drainagewasser von Wies- und Ackerland sowie mit Grundwasserzuflüssen. Eine im Schema der IKSR nicht, jedoch in dieser Arbeit berücksichtigte Eintragsquelle von Blei in Gewässer sind Verluste von in der Fischerei verwendeten Bleigewichten. Sie stellen beim Verschlucken durch Wasservögel für diese eine ernste Gesundheitsgefahr dar. Blei,

¹⁸ Der Bund beteiligt sich finanziell an der Untersuchung, Überwachung und Sanierung von belasteten Standorten. Zur Finanzierung dieser Kosten hat er den VASA Altlasten-Fonds geschaffen. Der Fonds wird über Gebühren auf der Ablagerung von Abfällen gespiesen. Diese Mittel sind zweckgebunden und werden den Kantonen ausbezahlt.

welches aus dem Schiesswesen (hauptsächlich aus Jagdschiessanlagen) in die Gewässer gelangt, wird hier nicht berücksichtigt. Die Quantifizierung der lokal anfallenden Bleieinträge ist nicht möglich.

Der jährliche Bleieintrag in die Gewässer wird auf rund 12 t geschätzt. Der überwiegende Anteil stammt aus diffusen Quellen (vgl. Abbildung 30).

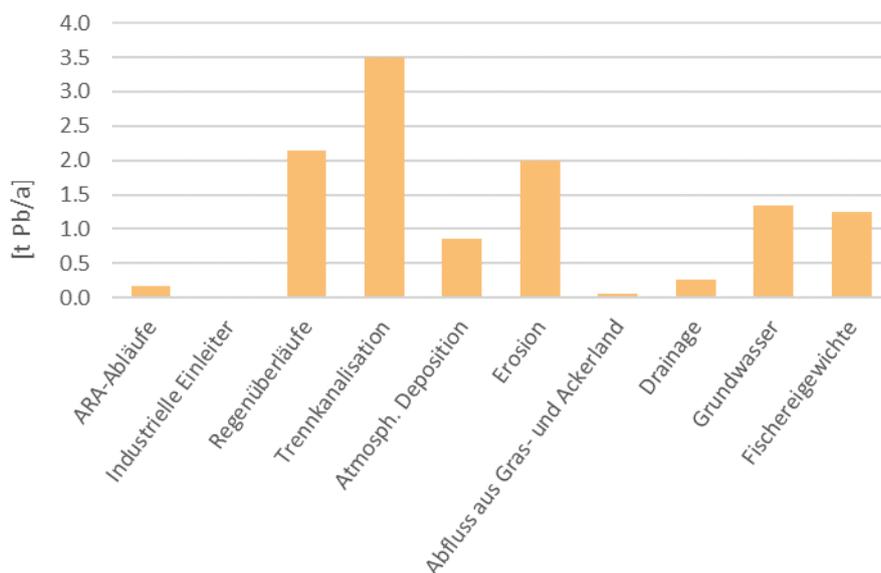


Abbildung 30: Aktuelle (um 2016) Beiträge der Pb-Einträge in die Gewässer der Schweiz in Tonnen [t] pro Jahr

Neben der Bodenerosion tragen Oberflächenabschwemmungen von versiegelten Flächen via die Trennkanalisation und via Regenüberläufe von ARA bedeutend zu den Bleieinträgen in Gewässer bei. Auch ein Grossteil des Bleis im Klärschlamm stammt aus solchen Abschwemmungen. Die Herkunft des Bleis lässt sich nicht hinreichend zuordnen; mit treibstoffbedingten Emissionen, Pneu- und Bremsbelagsabrieb, Verlusten von Bleiauswuchtgewichten, der Korrosion von Bleiblechen an Bauten sowie von Blei enthaltenden verzinkten Objekten lassen sich die abgeschätzten Bleiemissionen nicht erklären. Andererseits beruht der für die Schätzung der Gewässereinträge gewählte Pb-Gehalt in Abschwemmungen auf einer – wenn auch konservativ eingeschätzten – Annahme. Detaillierte Angaben zu den verwendeten Daten bei der Schätzung der Gewässereinträge finden sich im Anhang A.2.

Hauptquelle der Bleieinträge sind Oberflächenabschwemmungen

Erwartungsgemäss tief an der Bleibelastung des Abwassers ist der Beitrag (< 0.1 t/a) mit menschlichen Ausscheidungen (Urin und Fäzes) und auch der Beitrag durch Verluste aus Haus- und Brauchwasserinstallationen beträgt weniger als 1 t/a, wenn man dem Wasser einen mittleren Pb-Gehalt von 1 µg/l zugrundelegt, wie er 1998 in umfangreich vorgenommenen Proben in Deutschland gefunden wurde (Hillenbrand, 2005). Desweiteren konnten keine bedeutenden Einleiter aus der Industrie und dem Gewerbe identifiziert werden.

Die Bleimenge, die infolge der Fischerei pro Jahr in die Schweizer Gewässer gelangt, wird auf rund 1.25 t geschätzt. Für diese grobe Abschätzung wurde durch Rückfragen bei Fischereiaufsehern und Fischern (Hertig, 2018; Kugler, 2017; Sternig, 2017; Weingart, 2018) für Anglerblei ein Bleiverlust-Faktor pro Fischart bestimmt (vgl. Tabelle A2.1 in Anhang A.2), womit zusammen mit den Fangzahlen der Eidgenössischen Fischereistatistik (2017) Bleiverluste durch Patent- und Freiangler im Umfang von ca. 0.9 t/a abgeschätzt wurden. Bei Berufsfischern wurde von einem Verlust von durchschnittlich 1.5 Netzen pro Jahr und einer Beschwerung mit 750 g Blei pro Netz ausgegangen. Mit der Anzahl Berufsfischer errechneten sich Verluste von ca. 0.35 t/a. Aufgeschlüsselt nach Gewässer- und Fischertyp wird deutlich, dass Fließgewässer und Seen beim Bleiverlust dominieren (vgl. Tabelle 8).

Einträge mit Fischereigewichten

Tabelle 8: Jährlicher Bleieintrag in Schweizer Gewässer nach Gewässer- und Fischertyp für die Jahre 2014 - 2016

Gewässertyp	Berufsfischer [t Pb/a]	Patentangler [t Pb/a]	Freiangler [t Pb/a]	Total Gewässertyp [t Pb/a]
Fließgewässer	0.000	0.595	0.012	0.607
Grosseen	0.330	0.191	0.033	0.554
Klein- und Bergseen	0.011	0.053	0.007	0.071
Staustufen	0.000	0.015	0.000	0.015
Total Fischertyp	0.341	0.854	0.053	1.247

Aus der Schweiz fließt das Wasser zu 65 % über den Rhein in die Nordsee ab (Blanc & Schädler, 2013). Die Pb-Gehalte im Rhein bei Basel spiegeln die Pb-Einträge sowohl aus Punktquellen wie aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet wider. Die aus den Jahresmittelwerten von Gesamt-Pb an den Standorten Village-Neuf (1980 – 1994) und Weil am Rhein (1995 – 2016) und den mittleren Jahresabflüssen errechneten Pb-Frachten sind in Abbildung 31 dargestellt.

Bleifracht im Rhein bei Basel

Im Zeitraum 2010 – 2014 variierten die Jahresfrachten bei Basel zwischen 7'200 kg und 13'000 kg, die über fünf Jahre gemittelte Fracht betrug 11'100 kg. In den drei Jahren zwischen 2015 und 2017 flossen bei Basel zwischen 8'600 und 10'600 kg, im Mittel 9'700 kg Blei ab (IKSR, 2019).

Bricht man die in dieser Arbeit schweizweit auf zurzeit jährlich ca. 10.5 t geschätzten Bleieinträge in Gewässer (ohne Fischereigewichte) grob auf das Rheineinzugsgebiet unterhalb der Seen herunter, resultieren jährliche Pb-Einträge um 4 t. Mit den Seeabflüssen ist unter Annahme eines Pb-Gehalts von 0.1 µg/l nach Sigg et al. (1982) und einer Abflussmenge¹⁹ von ca. 800 m³/s eine Pb-Fracht von ca. 2.5 t/a verbunden. Damit stehen der bei Basel in den letzten drei Jahren

¹⁹ Mittelwerte 2014 – 2016: Bodensee (358 m³/s im Rhein bei Neuhausen), Jurarandseen (245 m³/s in der Aare bei Brugg), Zürichsee (91 m³/s in der Limmat bei Zürich) und Vierwaldstättersee (107 m³/s in der Reuss bei Luzern).

durchschnittlich abgeflossenen Bleifracht von rund 10 t/a «erklärbare» Einträge von 6.5 t/a gegenüber.

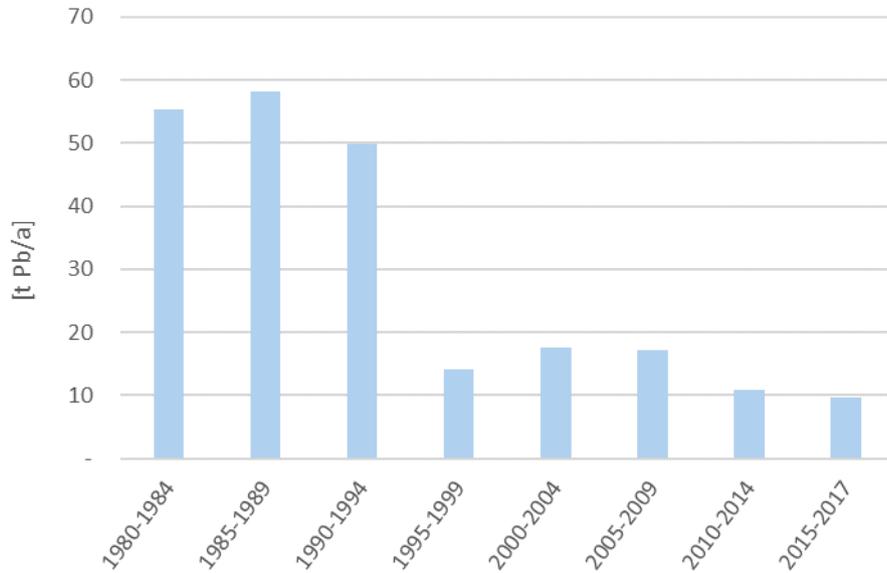


Abbildung 31: Entwicklung der Pb-Frachten (in t/a) im Zeitraum 1980 – 2017 im Rhein bei Basel (Jahresmittelwerte von Village-Neuf (1980 - 1994) und Weil am Rhein (1995 - 2016))

7 Literaturverzeichnis

- ACEA (ACEA, CLEPA, JAMA, kama), 2013. 7th Adaptation to scientific and technical progress of exemptions 8(e), 8(f), 8(g), 8(h), 8(j) and 10(d) of Annex II to Directive 2000/53/EC (ELV). Submission of ACEA (European Automobile Manufacturers Association), CLEPA (European Association of Automotive Suppliers), JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) and kama (Korea Automobile Manufacturers Association).
- ACEA (ACEA, CLEPA, JAMA, kama), 2018. 9th Adaptation to scientific and technical progress of exemptions 8(e), 8(f)(b), 8(g) and re-evaluation of entry 8(j) of Annex II to Directive 2000/53/EC (ELV). Submission of ACEA (European Automobile Manufacturers Association), CLEPA (European Association of Automotive Suppliers), JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) and kama (Korea Automobile Manufacturers Association).
- Aeschimann, E., 2011. Nach der Lärm- nun die Kugelfangsanierung von Schiessanlagen. Umweltpraxis Nr. 65 / Juli 2011 (www.umweltschutz.zh.ch).
- AfU SO (Amt für Umwelt Kanton Solothurn), 2015. Zustand Solothurner Gewässer. Hrsg. AfU, Kanton Solothurn.
- AfU SO (Amt für Umwelt Kanton Solothurn), 2019a (<https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/> > Umweltdaten > Wasser > Gewässerschutz > Abwasser > Klärschlammanalysen der kommunalen Abwasserreinigungsanlagen).
- AfU SO (Amt für Umwelt Kanton Solothurn), 2019 (<https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/> > Umweltdaten > Wasser > Gewässerschutz > Messwerte chemische Analysen Fließgewässer - Zeitreihe).
- AfU SO (Amt für Umwelt Kanton Solothurn), 2020. Überwachung der Luftqualität – Resultate 2019. Amt für Umwelt Kanton Solothurn, FB 20-01 / 03 2020.
- AfU SZ (Amt für Umweltschutz Kanton Schwyz), 2005. Schwermetalle auf Stahltragwerken der Elektrizitätsübertragung im Kanton Schwyz.
- AfU TG (Amt für Umwelt Kanton Thurgau), 2019 (<https://umwelt.tg.ch> > Wasser > Abwasser > Abwasserreinigung > Abwasserreinigung im Thurgau).
- Anger, L., Clement, D., Hammer, K., 2011. Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU (Projekt EnBa). TU-Wien.
- ARV (Baustoffrecycling Schweiz), 2015. Entsorgung von belasteten Bauabfällen in Anlagen (ex situ). Beschreibung der Behandlungsverfahren und ihrer Verwertungseffizienz. Ausgabe April 2015, Schlieren (ZH).
- AUE BS (Amt für Umwelt und Energie, Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt Basel-Stadt), 2009. Qualität der Oberflächengewässer im Kanton Basel-Stadt. Untersuchungsjahre 1993 bis 2008.
- AUE SG (Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons St. Gallen), 2016. Schiessanlagen: Künstliche Kugelfangsysteme (KKS) bis 31.12.2020. Handout VSGP (Vereinigung St. Galler Gemeindepräsidentinnen und Gemeindepräsidenten). 2. November 2016.
- Aufderheide, A.C., Rapp, G., Wittmers, L.E., Macchiarelli, R., Fornaciari, G., Mallegni, F., Corruccini, R.S., 1992. Lead exposure in Italy: 800 BC – 700 AD. Int. J. Anthropol. Vol. 7 N. 2: pp. 9 – 15.
- AWA (Amt für Wasser und Abfall), 2013. Zustand der Fließgewässer und Seen – 2011 und 2012. Schwerpunkt Emmental-Oberaargau. AWA (Hrsg.), Kanton Bern.

- AWA (Amt für Wasser und Abfall), 2015. Zustand der Gewässer – 2013 und 2014. Schwerpunkt Berner Oberland. AWA (Hrsg.), Kanton Bern.
- AWA (Amt für Wasser und Abfall), 2017. Zustand der Gewässer – 2015 und 2016. Schwerpunkt Berner Jura/Seeland. AWA (Hrsg.), Kanton Bern.
- AWA (Amt für Wasser und Abfall), 2019. Zustand der Gewässer – 2017 und 2018. Schwerpunkt Aaretal. AWA (Hrsg.), Kanton Bern.
- AWEL (Amt für Abfall, Wasser Energie und Luft – Abteilung für Gewässerschutz), 2018. Wasser und Gewässer 2018. AWEL (Hrsg.), Kanton Zürich.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2013. Umweltrecht kurz erklärt. Das Umweltrecht des Bundes im Überblick. Bundesamt für Umwelt, Bern. 36 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2014. Erhebung der Kehrrichtzusammensetzung 2012. 63 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2016. Bett- und Rostaschen aus der Verbrennung von Altholz. 31 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2018. Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalysen 1990 – 2015. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1818: 133 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2019a (www.bafu.admin.ch > Themen > Chemikalien > Schadstoffregister > Datenabfrage SwissPRTR).
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2019b (www.bafu.admin.ch > Themen > Thema Luft > Daten, Indikatoren und Karten > Luftbelastung > Historische Daten > Datenabfrage Jahreswerte).
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2019c. Entwicklung der CH-Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von Motorfahrzeugen und Maschinen. Bundesamt für Umwelt, Bern. 55 S.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2020a. Abfallstatistiken 2002 – 2018 (www.bafu.admin.ch > Themen > Abfall > Daten, Indikatoren und Karten > Statistiken. Stand am 14.4.2020).
- BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2020b. Umweltverträgliche Entsorgung von Holzabfällen (www.bafu.admin.ch > Themen > Thema Abfall > Fachinformationen > Abfallpolitik und Massnahmen > Vollzugshilfe über den Verkehr mit Sonderabfällen und anderen kontrollpflichtigen Abfällen in der Schweiz > Umweltverträgliche Entsorgung > Holzabfälle).
- BAG (Bundesamt für Gesundheit), 2015. Factsheet Blei (<https://www.bag.admin.ch/> > Gesund leben > Umwelt & Gesundheit > Chemikalien > Chemikalien von A - Z).
- Baghabra Al-Amoudi, O.S., Al-Homidy, A.A., Maslehuddin, M., Saleh, T.A., 2017. Method and Mechanisms of Soil Stabilization Using Electric Arc Furnace Dust. Scientific Reports 7:46676. DOI: 10.1038/srep46676.
- Baumann, W., Herberg-Liedtke, B., 1991. Druckereichemikalien: Daten und Fakten zum Umweltschutz, Springer Verlag.
- Becker, K., Nöllke, P., Hermann-Kunz, E., Krause, C., Schenker, D., Schulz, C., 1996. Umwelt-Survey 1990/91 Band III: Zufuhr von Spurenelementen und Schadstoffen mit der Nahrung (Duplikate und Diet History) in den alten Bundesländern. WaBoLu-Hefte 3/96. Umweltbundesamt – Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin.
- Belevi, H., Moench, H., 2000. Factors Determining the Element Behavior in Municipal Solid Waste Incinerators. 1. Field Studies. Environ. Sci. Technol. 34, pp. 2501 - 2506.
- Bfa, 1999. Luftschadstoff-Emissionen aus Korrosionsschutzsanierungen in der Schweiz. Bericht im Auftrag des BAFU, Seewen.
- BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2010. Aufnahme von Umweltkontaminanten über Lebensmittel (Cadmium, Blei, Quecksilber, Dioxine und PCB) – Ergebnisse des Forschungsprojektes LExUKon. Berlin.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), 2018. Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe – Blei. Hannover.

- Bigalke, M., Rehmus, A., Keller, A., 2016. Belastung mineralisch gedüngter Böden mit Schadelementen (Arsen, Blei, Cadmium, Uran). Universität Bern und Agroscope (Bericht im Auftrag des BLW).
- Blanc, P., Schädler, B., 2013. Das Wasser der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission, Bern, 28 Seiten.
- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2016. Das neue Lebensmittelrecht – Fragen und Antworten (www.blv.admin.ch > Gebrauchsgegenstände > Rechts- und Vollzugsgrundlagen > Lebensmittelrecht 2017).
- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2018. Geschirr und Küchenutensilien (www.blv.admin.ch > Gebrauchs- und Bedarfsartikel > Materialien und Gegenstände in Kontakt mit Lebensmitteln > Geschirr und Küchenutensilien).
- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2020. Ernährung rund um Schwangerschaft und Stillzeit (<https://www.blv.admin.ch/> > Lebensmittel und Ernährung > Publikationen und Forschung > Broschüren).
- BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 2014. Agrarbericht.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich), 2015. Emissionsabschätzung für prioritäre Stoffe. Wien.
- BMG (BMG Engineering AG), 2015. Schwermetallbelastungen in Hausgärten in Freiburgs Altstadt. Studie im Auftrag des Amtes für Umwelt des Kantons Freiburg (Kurzfassung).
- Bode, M., 2008. Archäometallurgische Untersuchungen zur Blei-/Silbergewinnung im Germanien der frühen Römischen Kaiserzeit. Dissertation. Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- BR (Bundesrat), 2017. Kapazitätsplanung bei Kehrlichtverbrennungsanlagen mit Abwärmenutzung. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats 14.3882 Knecht (Killer) vom 25. September 2014. Bern.
- Braun, M., Besozzi, D., Herata, H., Falcke, H., van Dokkum, R., Langenfeld, F., Mohaupt, V., van den Roovaart, J., Sieber, U., Sollberger, B., 2003. Rhein. Bestandsaufnahme der Emissionen prioritärer Stoffe. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Koblenz (D).
- Braun, C., Gälli, R., 2014. Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe. Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). BMG Engineering AG, Schlieren.
- Buekers, J., Steen Redeker, E., Smolders, E., 2009. Lead toxicity to wildlife: Derivation of a critical blood concentration for wildlife monitoring based on literature data. Science of the Total Environment 407, pp. 3431 – 3438.
- Bundesbl., 1879. Bericht der eidgenössischen Fabrikinspektoren über ihre gemeinsamen Inspektionsreisen. Bundesbl., 1879, Band III, Heft 43, S. 289 – 359.
- Bundesbl., 1928. Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung über die Bleiweissfrage. Bundesblatt 1928, Band I, Heft 10, S. 517 – 579.
- Bunge, R., 2010. Wertstoffgewinnung aus KVA-Rostasche; in: Schenk K. (Ed.) 2010: KVA-Rückstände in der Schweiz. Der Rohstoff mit Mehrwert. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bustnes, J.O., Bårdsen, B.J., Bangjord, G, Lierhagen, S., Yoccoz, N.G., 2013. Temporal trends (1986 - 2005) of essential and non-essential elements in a terrestrial raptor in northern Europe. Science of the Total Environment 458 – 460, pp. 101 – 106.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1991. Schwermetalle und Fluor in Mineraldüngern. Schriftenreihe Umwelt Nr. 162.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1995. Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 256. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1996. Verbrennen von Abfällen, Alt- oder Restholz in Holzfeuerungen und im Freien. MITTEILUNGEN zur Luftreinhalte-Verordnung (LRV) und zur Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) NR. 1. Bern. S. 18.
- cemsuisse (Verband der Schweizerischen Zementindustrie), 2020 (www.cemsuisse.ch > Publikationen > Kennzahlen und Zementlieferungen).
- Conrad, B., 2018. Geschäftsführer Scherrer Metec AG, telefonische Auskunft, 08.02.2018.
- Crommentuijn, T., Polder, M.D., van de Plassche, E.J., 1997. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. RIVM Report no. 601501 001. Bilthoven (NL).
- CVIS (Inspektoratssystem für die Kompostier- und Vergärbranche Schweiz), 2019. www.cvis.ch > Jahresberichte sowie www.cvis.ch > Dokumente zu Analysen.
- Davidson, A.J., Binks, S.P., Gediga, J., 2016. Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production. Int J Life Cycle Assess 21: pp. 1624 – 1636.
- De Vargas, A.S., Masuero, A.B., Vilela, A.C.F., 2006. Investigations on the use of electric-arc furnace dust (EAFD) in Pozzolan-modified Portland cement I (MP) pastes. Cement and Concrete Research 36, pp. 1833 – 1841.
- Deubzer, O., 2007. Explorative study into the sustainable use and substitution of soldering metals in electronics. Ecological and economical consequences of the ban of lead in electronics and lessons to be learned for the future. Delft, TU, Diss., Delft (NL).
- Dehoust, G., Küppers, P., Neles, J., Schüler, D., Schmidt, G., Gebhardt, P., 2007. Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle. Öko-Institut e.V., Darmstadt.
- DKI (Deutsches Kupferinstitut), 2019. Löten von Kupfer und Kupferlegierungen.
- DGE VD (Direction générale de l'environnement État de Vaud), 2019. Bilans 20xx de l'épuration vaudoise (www.vd.ch > Environnement > Eaux > Protection des eaux > Evacuation et épuration des eaux > Stations d'épuration des eaux usées (STEP) > Bilans annuels et rapports). Daten abgerufen im Mai 2019.
- DGS AG (Departement für Gesundheit und Soziales sowie Departement für Bau, Umwelt und Verkehr des Kantons Aargau), 2016. Korrekte Wartung von Kugelfangsystemen. Merkblatt für Schiessvereine und Standortgemeinden. 4. Juli 2016.
- Dudler, V., Jenny-Burry, J., Haldimann, M., 2011. Monitoring der Blutbelastung in der Schweiz: Ergebnisse einer Pilotstudie. BAG-Bulletin 34/11: 722 – 728.
- EAA (European Aluminium Association and Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters), 2006. Aluminium Recycling in Europe. The Road to High Quality Products.
- EC (European Commission), 2011. Lead EQS dossier (prepared by the Sub-Group on Review of the Priority Substances List under Working Group "E" of the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive).
- EC (European Commission), 2019. Request to the European Chemicals Agency to prepare a restriction proposal on the placing on the market and use of lead in ammunition (gunshot and bullets) and of lead in fishing tackle confirming to the requirements of Annex XV to REACH.
- ECHA (European Chemicals Agency), 2014. Committee for Risk Assessment (RAC) / Committee for Socio-economic Analysis (SEAC). Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Lead and its compounds in articles intended for consumer use. 07 April 2014.
- ECHA (Committees for Risk Assessment and Socioeconomic Analysis of the European Chemicals Agency), 2018a. Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Lead in shot. 15 March 2018.

- ECHA (Committees for Risk Assessment and Socioeconomic Analysis of the European Chemicals Agency), 2018b. Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Lead compounds-PVC. 15 March 2018.
- Eco-BKP, 2020. Merkblätter ökologisches und gesundes Bauen nach Baukostenplan (BKP). Stand Januar 2020. Verein eco-bau, Zürich (www.eco-bau.ch)
- EFSA (European Food Safety Agency Panel on Contaminants in the Food Chain CONTAM), 2010. Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Journal; 8(4): 1570. [151 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1570.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2012. Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal 2012; 10(7): 2831. [59 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2012.2831.
- EICTA (EICTA, AeA Europe and EECA ESIA), 2008. Adaptation to scientific and technological progress under Directive 2002/95/EC. Joint response from EICTA, AeA Europe and EECA ESIA to the general and specific questionnaires relating to exemption 7b. 31 March 2008.
- EIPPCB (European integrated pollution prevention and control bureau), 2013. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production.
- Eidgenössische Fischereistatistik, 2017. Universität Zürich. Abfrage für Angel- und Berufsfischerei nach Gewässern: <https://www.uzh.ch/wild/ssl-dir/fishst.5/?page=statistik>
- Emsley, 2006. Mörderische Elemente, prominente Todesfälle. Wiley-VCH Verlag. Weinheim.
- EPPA (The European PVC Window Profile and related Building Products Association), 2018. Kunststoff-Fensterprofilssysteme mit Rezyklatanteil. Brüssel, 07. März 2018.
- Erdmann, L., Volker Handke, V., Klinski, S., Behrendt, S., Scharp, M., 2004. Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen. Handlungsoptionen und Steuerungsinstrumente am Beispiel von Kupfer und Blei. Werkstatt Bericht Nr. 68, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.
- Erni, M., Thees, O., Lemm, R., 2017: Altholzpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, Ergebnisse einer Vollerhebung. WSL Ber. 52: 69 S.
- ERZ (Entsorgung und Recycling Zürich), 2013. Klärschlammanalysen Klärwerk Werdhölzli.
- ESPA European Stabilisers Producers Association 2016: Input to ECHA's Call for evidence.
- EZV (Eidgenössische Zollverwaltung), 2019 (<http://www.ezv.admin.ch> > Themen > Aussenhandelsstatistik > Datenbank Swiss-Impex).Faller, M., 2007. Metalle und Umwelt – Verhalten von Blechen gegenüber Umwelteinflüssen. Suissetec Spenglertag 14. März 2007, Bern.
- FEB (Fachverband der Hersteller elastischer Bodenbeläge e.V.), 2017. FEB Technic Explorer 09/2017 Elastische Bodenbeläge. Münster (DE).
- FOEN (Federal Office for the Environment), 2019. Switzerland's Informative Inventory Report 2019. Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2019 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN. Air Pollution Control and Chemicals Division. Bern.
- Franson, J.C., Hansen, S.P., Creekmore, T.E., Brand, C.J., Evers, D.C., Duerr, A.E., DeStefano, S., 2003. Lead Fishing Weights and Other Fishing Tackle in Selected Waterbirds. Waterbirds 26(3), pp. 345 – 352. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0345:LFWAOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0345:LFWAOF]2.0.CO;2).
- Friedrich, C., Helm, D., Becker, K., Hoffmann, K., Krause, C., Nöllke, P., Schulz, C., Seiwert, M., Seifert, B., 2001. Umwelt-Survey 1990/92, Band IV: Hausstaub. Deskription der Spurenelemente und Biozidgehalte im Hausstaub in der Bundesrepublik Deutschland. WaBoLu-Hefte 1/01, Umweltbundesamt – Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin.
- Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F., Götz, T., 2010. Berechnung von Stoffeinträgen in die Fliessgewässer Deutschlands mit dem Modell

MONERIS – Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Texte 45 / 2010. Umweltbundesamt, Dessau (D).

- Fujimoto, K., Chino, A., 2007. Determination of Trace Amounts of Mercury, Lead, and Cadmium in Steel and Iron Ore. JFE Technical Report, No. 9.
- Gara, S., Schrimpf, S., 1998. Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie. Monographien Band 92. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. Wien.
- Gasperi, J., Zgheib, S., Cladière, M., Rocher, V., Moilleron, R., Chebbo, G., 2012. Priority pollutants in urban stormwater : Part 2 – Case of combined sewers. Water Research 46, pp. 6693 – 6703.
- GDB (Gesamtverband der Deutschen Buntmetallindustrie), 2017. Blei – Energiespeicher, Schall- und Strahlenschutz (www.gdb-info.de > Buntmetalle > Blei).
- Gensch, C.O., Baron, Y., Deubzer, O., 2018. European Commission RoHS Exemptions Evaluation: Pack 14. Prepared by Öko-Institut e.V., Institute for Applied Ecology, and Fraunhofer-Institut for Reliability and Microintegration (IZM). European Commission, B-1049 Brussels.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Moch, K., 2016a. 8th Adaptation to scientific and technical progress of exemptions 2(c), 3 and 5 of Annex II to Directive 2000/53/EC (ELV). Report for the European Commission DG Environment under Framework Contract N° ENV.C.2/FRA/2011/0020. 17 February 2016.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, M., Moch, K., Moritz, S., Deubzer, 2016b. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 07 June 2016.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Moch, K., Deubzer, 2016c. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment. Study to Assess 3 RoHS Exemption Requests (Pack 8). Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 16 February 2016.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Moch, K., Deubzer, 2016d. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment. Study to assess four renewal requests for RoHS 2 Annex III exemptions no. 7(b), no. 9(b), no. 13(a) and no. 13(b). Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 21 January 2016.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Deubzer, O., 2015. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report – Pack 6. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 24 June 2015.
- Gensch, C.O., Baron, Y., 2014. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. 30. September 2014.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, M., Deubzer, O., 2014. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report – Pack 4. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 22. April 2014.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, M., Deubzer, O., 2013a. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report – Pack 3. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 16. September 2013.

- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, Manhart, A., Moch, K., M., Deubzer, O., 2013b. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report – Pack 1. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 25. March 2013.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, M., Deubzer, O., 2013c. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report – Pack 2. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). 30. September 2013.
- Gensch, C.O., Baron, Y., Blepp, M., Manhart, A., Moch, K., Deubzer, O., 2012. Assistance to the Commission on Technological Socio-Economic and Cost-Benefit Assessment Related to Exemptions from the Substance Restrictions in Electrical and Electronic Equipment (RoHS Directive). Final Report. Report for The European Commission prepared by Öko-Institut e.V. & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). Freiburg, 12. December 2012.
- Gensch, C.O., Zangl, S., Gross, R., Weber, A.K., 2009. Adaptation to scientific and technical progress under Directive 2002/95/EC. Final Report. Freiburg, 20 February 2009.
- Gensch, C.O., Zangl, S., Deubzer, O., 2007. Adaptation to Scientific and Technical Progress under Directive 2002/95/EC. Final Report. Freiburg, 22 October 2007.
- Gerofke, A., Ulbig, E., Martin, A., Müller-Graf, C., Selhorst, T., Gremse, C., 2018. Lead content in wild game shot with lead or non-lead ammunition – Does “state of the art consumer health protection” require non-lead ammunition? PLOS ONE 13(7): e0200792. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200792>.
- Glorennec, P., Lucas, J.P., Mandin, C., Le Bot, B., 2012. French children's exposure to metals via ingestion of indoor dust, outdoor playground dust and soil: contamination data. Environ Int. 45: pp. 129 – 134. doi: 10.1016/j.envint.2012.04.010.
- Goodman, P., 2006. Review of Directive 2002/95/EC (RoHS) Categories 8 and 9 – Final Report. Report for The European Commission, DG Environment prepared by ERA Technology Ltd.
- Grech, H., Angerer, T., Scheibengraf, M., 2001. Bestandesaufnahme der thermischen Entsorgung von verarbeiteten tierischen Proteinen in Österreich. Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), Wien (A).
- Grue, C.E., O'Shea, T.J., Hoffman, D.J., 1984. Lead Concentrations and Reproduction in Highway-Nesting Barn Swallows. The Condor Vol. 86, No. 4, pp. 383 – 389.
- Grue, C.E., Hoffman, D.J., Beyer, W.N., Franson, L.P., 1986. Lead concentrations and reproductive success in European starlings *Sturnus vulgaris* nesting within highway roadside verges. Environmental Pollution (Series A), Vol. 42, Issue 2, pp. 157 – 182.
- Grünig, K., Prashuhn, V., 2001. Evaluation Ökomassnahmen: Phosphorverluste durch Bodenerosion. Agrarforschung 8 (1), pp. 30-35.
- Gubler, A., Schwab, P., Wächter, D., Meuli, R.G. und Keller, A., 2015: Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985 - 2009. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1507: 81 S.
- GVS (Giesserei-Verband der Schweiz), 2016. Auf einen Blick (Zahlen und Fakten, Ausgabe 2016).
- HARVE (Holzaschen Recycling Verwertung und Entsorgung), 2018. Projekt des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Haupt, H. (Swiss Steel), 2018. E-Mail «Bleiflüsse Schweiz / Stahlproduktion» vom 16.10.2018.
- Heid, D., Figi, R., 2012. Marktkontrolle Schwermetalle in Elektro- und Elektronikgeräten «Hair- and Beauty-Equipment». Kantonales Labor Zürich, Zürich.
- Heid, D., Bouchex-Bellomie, H., Figi, R., 2019. Marktkontrolle Schwermetalle in Elektro- und Elektronikgeräten «Klein-Elektronikgeräte» (Entwurf 1). Kantonales Labor Zürich, Zürich.

- Heinemeyer, G., Bösing, U., 2020. Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus. Bericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Umwelt & Gesundheit 02/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau (DE).
- Helander, B., Sundbom, M., Runkel, A.A., Bignert A, 2019. Temporal Changes in Concentrations of Lead and Other Trace Metals in Free-Ranging Eurasian Eagle Owls *Bubo* in Sweden. Arch. Environ. Contam. Toxicol. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00654-5>.
- Hernberg, S., 2000. Lead Poisoning in a Historical Perspective. American Journal of Industrial Medicine 38: pp. 244 – 254.
- Herren, D., 2010. Marktkontrolle Holzwerkstoffe und Altholz 2007 – Abschlussbericht. Laboratorium der Urkantone, Juni 2010.
- Hertig, A., 2018. Adjunkt Fischerei Kanton Zürich, Telefongespräch vom 20.02.2018
- Herwig, H., 2009. Projekt: Reduzierung des Ressourceneinsatzes beim Feuerverzinken durch Kombination eines neuen Flussmittels mit einer innovativen Flussmittelaufbereitungsanlage. Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt gefördert unter AZ: 26521-21/0.
- Hillenbrand, T., Toussaint, D., Böhm, E., 2005. Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen, Berlin. Texte Umweltbundesamt 19/05: 303 S.
- Hjelmar, O., Wahlström, M., Andersson, M.T., Ylijoki, J.L., Wadstein, E., Rihm, T., 2009. Treatment methods for waste to be landfilled. TemaNord 2009:583. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Hofmann, T., 2013. Verbesserung der Überwachung von Holzabfällen im Kanton Zürich – Anforderungen an Probenahme und Sortierung Diplomarbeit Technische Universität Dresden. Dresden, 05. Mai 2013.
- Hogervorst, J., Plusquin, M., Vangronsveld, J., Nawrot, T., Cuypers, A., Van Hecke, E., Roels, H.A., Carleer, R., Staessen, J.A., 2007. House dust as possible route of environmental exposure to cadmium and lead in the adult general population. Environ Res.; *erzentil103*(1): pp. 30 – 37. doi: 10.1016/j.envres.2006.05.009.
- Hong, S., Candelone, J.P., Patterson, C.C., Boutron, C.F., 1994. Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millennia Ago by Greek and Roman Civilizations. Science Vol. 265, Issue 5180, pp. 1841 – 1843.
- Humm, O., 2012. Trinkwassernetz im Haus sanieren oder ersetzen. Neue Zürcher Zeitung vom 6.1.2012.
- Hügi, M., Gerber, P., 2008. Abfallwirtschaftsbericht 2008. Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft 2005 - 2007. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 0830: 119. S.
- Hüglin, C., Gianini, M., Gehrig, R., 2012. Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub – Untersuchungen an ausgewählten NABEL-Standorten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Empa, Abteilung Luftfremdstoffe und Umwelttechnik, Dübendorf.
- Hürdler, J., Prasuhn, V., Spiess, E., 2015a. Abschätzung von Schwermetalleinträgen über Gülleabschwemmung in die Oberflächengewässer der Schweiz (MODIFFUS 3.0). Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern.
- Hürdler, J., Prasuhn, V., Spiess, E., 2015b. Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz (MODIFFUS 3.0). Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern.
- Hürlimann, J., Fässler, S., Gerhardt, A., Steiner, M., Wyss, S., 2011. Strassenabwasser in der Schweiz. AquaPlus, Zug.
- Hutter, U., 2009. Metallbestimmung im gereinigten Kläranlagenabwasser. Amt für Umwelt und Energie (AFU), St. Gallen.
- IKSr (IKSR (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins), 2016. Emissionsseitige Bestandsaufnahme für das Rheineinzugsgebiet 2010. IKSr Fachbericht 233. Koblenz (D).
- IKSr (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins), 2019 (www.iksr.org > Themen > Wasserqualität > Zustandsüberwachung > Daten > Vieljährige Jahresmittelwerte).

- ILA (International Lead Association (2018). Additional comments on the proposal for Candidate Listing of Lead Metal published in the context of REACH Article 59. 19 pp., 19. April 2018.
- ILA (International Lead Association), 2019. <https://www.ila-lead.org> > Lead Facts > Lead Production & Statistics.
- Imag, 2019. Oerlikon Batterie – Die Legende lebt (www.imag.ch > Über uns > Geschichte).
- INOBAT (Interessenorganisation Batterienentsorgung), 2019. Tätigkeitsbericht 2018 (www.inobat.ch > Infomaterial > Dokumente und Downloads).
- IWB (Industrielle Werke Basel), 2018. Holzkraftwerk Basel AG – Jahresberichte 2013 – 2018 (www.holzkraftwerk-basel.ch).
- Jagdstatistik, 2017. (<https://jagdstatistik.ch/> > Statistik > Wildtiere
- Jakob, A., 2014. Schutz der Umwelt durch künstliche Kugelfangsysteme (KKF) auf 300 m Anlagen. Faktenblatt herausgegeben vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz (Labor Spiez) im Juli 2014, Spiez.
- Jenni, L., Madry, M.M., Kraemer, T., Kupper, J., Naegeli, H., Jenny, H., Jenny, D., 2015. The frequency distribution of lead concentration in feathers, blood, bone, kidney and liver of golden eagles *Aquila chrysaetos*: Insights into the modes of uptake. *Journal of Ornithology*. 156. doi: 10.1007/s10336-015-1220-7.
- JFK (Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz in Zusammenarbeit mit Jagd Schweiz), 2018. Ratgeber für die Umstellung auf bleifreie Munition. Haus der Kantone, Bern.
- JFK (Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz), 2020. Ratgeber bleifreie Fischerei. Haus der Kantone, Bern. KL TG (Kantonales Laboratorium Thurgau), 2016 (21. Nov.). Blei in Auswuchtgewichten.
- KL ZH (Kantonales Laboratorium Zürich), 2016 (12. April). Damit's rund läuft - Auswuchtgewichte ohne Blei.
- KL ZH (Kantonales Laboratorium Zürich), 2020. Jahresbericht 2019.
- Keel, A., 2018. Vortrag Staubfreie Holzaschenentsorgung von der Heizanlage bis zum Einbau in die Deponie vom 26.10.2018.
- Keller, T., Desaulles, A., 2001. Böden in der Schweiz – Schadstoffgehalte und Orientierungswerte (1990 – 1996). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Umwelt-Materialien Nr. 139: 115 S.
- Keller, A., Rossier, N., Désaulles A., 2005. Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftsparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung. Schriftenreihe der FAL, 54, pp. 1 – 59.
- Keiser, R., 2018: armasuisse, Mails und Telefongespräch vom 13.11.2017.
- Klingler, K., Hauser, E., Hiestand, H., 1981. Die Umweltverschmutzung mit Blei: Bleigehaltsbestimmungen in Knochen von Feldhasen aus dem Kanton Bern: Entwicklung einer neuen Veraschungsmethode zur Bleibestimmung im Knochen. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 123, pp. 311 – 321.
- Knutti, R., Zimmerli, B., 1985. Untersuchung von Tagesrationen aus schweizerischen Verpflegungsbetrieben. III. Blei, Cadmium, Quecksilber, Nickel und Aluminium. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 76, pp. 206–232
- Koch, S., 2010. Untersuchungen von bleifreien Aluminium-Automatenlegierungen. Dissertation Montanuniversität Leoben
- Kocher, B., Brose, S., Feix, J., Görg, C., Peters, A., Schenker, K., 2010. Stoffeinträge in den Strassenseitenraum – Reifenabrieb. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen – Verkehrstechnik Heft V 188*. Bundesanstalt für Strassenwesen (Hrsg.), Bergisch-Gladbach (D).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2000: Grünbuch zur Umweltproblematik von PVC KOM(2000). Brüssel 26.7.2000, 42 S.
- Körber, D., 2013. Einflussgrößen auf die flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion beim Feuerverzinken (Dissertation). Technische Universität Darmstadt.

- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Kliem, C., Leiske, M., Schulz, C., Schwarz, E. 1991. Umwelt-Survey. Band IIIa: Wohninnenraum. Spurenelementgehalte im Hausstaub. WaBoLu-Hefte 2/91, Umweltbundesamt – Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin.
- Kugler, M., 2017. Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Fischerei Kanton St. Gallen, Mails und Telefongespräch vom 06.12.2017
- Külling, D.R., Stadelmann, F.X., Candinas, T., 2002. Nährstoffe und Schwermetalle im Klärschlamm 1975 – 1999. Agrarforschung Schweiz 9(5).
- Kupper, T., 2000. Der Transfer von Schwermetallen vom Abwasser in den Klärschlamm. Projekt SEA. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, département de génie rural, institut d'aménagement des terres et des eaux.
- KVU-Ost (Konferenz der Vorsteher der Umweltämter der Ostschweiz/FL), 2019. Merkblatt «Verwertungsmöglichkeiten für PVC-Bauabfälle». Vollzugsordner Abfall & Ressourcen. 16. September 2019.
- Langbein, S., Steiner, M., Boller, M., undatiert. Wasser- und Materialflüsse bei der Entwässerung von Metall-, Ziegel-, Kies- und Gründächern.
- LDAI (Lead Development Association International), 2008. Voluntary risk assessment report of lead and lead compounds.
- Lahn Erich, 2018: Eberhard Recycling AG, Interview vom 24.09.2018
- Langenfeld, F., Mohaupt, V., van den Roovart, J., Sieber, U., Verstappen, G., Braun, M., 1999. Bestandesaufnahme der Einträge prioritärer Stoffe 1996. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR). Koblenz.
- Larsen, P.B., Fotel, F.L., Slothuus, T., Hjelm, O., Buchardt Boyd, H., Højlund, L.-L., Tørsløv, J., 2014. Survey of lead and lead compounds. Published by: The Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- Lepke, T., Chadoian, S., Wermeille, C., 2018: VASA-Abgeltungen bei Schiessanlagen. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde. 3. aktualisierte Ausgabe, September 2018; Erstausgabe 2006. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 0634: 36 S.
- Lepke, T. (BAFU, Sektion Altlasten), 2020. E-Mails und Telefongespräche vom 14.02.2018, 24.08.2018 und 07.12.2020.
- Lind, Y., Bignert, A., Odsjö, T., 2006. Decreasing lead levels in Swedish biota revealed by 36 years (1969 - 2004) of environmental monitoring. Journal of Environmental Monitoring, Issue 8, pp. 824 – 834.
- Lohse, J., Sander, K., Wirts, M., 2001. Heavy Metals in Vehicles II. Report compiled for the Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the Commission of the European Communities. Ökopol - Institut für Ökologie und Politik GmbH. Hamburg, July, 2001.
- Lohse, J., Zangl, S., Gross, R., Gensch, C.O., Deubzer, O., 2008. Adaptation to scientific and technical progress of Annex II to Directive 2000/53/EC (ELV). Öko-Institut e.V. (main contractor) & Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM). Freiburg, 16 January 2008.
- Lorenz, U., Hoppe, M., Zeiger, K., 2010. BlueBrass®: Bleifreies Zerspanungsmessing für existierende Recyclingkreisläufe. METALL (64. Jahrgang) 11/2010, pp. 531 – 534.
- Lucas, J.P., Le Bot, B., Glorennec, P., 2012. Lead contamination in French children's homes and environment. Environmental Research; 116: pp. 58 – 65. DOI: 10.1016/j.envres.2012.04.005.
- Luster, J., Zimmermann, S., Lüscher, P., Walthert, L., Zwicky, C., Lienemann, P., Blaser, P., 2006. Tiefenverteilung von Chrom, Nickel, Kupfer, Zink und Blei in Schweizer Waldböden und Implikationen für die Mobilität dieser Schwermetalle. Bulletin BGS 29, pp. 31 – 34.
- Madry, M.M., Kraemer, T., Kupper, J., Naegeli, H., Jenny, H., Jenni, L., Jenny, D., 2015. Excessive lead burden among golden eagles in the Swiss Alps. Environmental Research Letters. 10. doi: 10.1088/1748-9326/10/3/034003.
- Mancini, G., Tamma, R., Viotti, P., 2010. Thermal process of fluff: Preliminary tests on a full-scale treatment plant. Waste Management 30, pp. 1670 – 1682.

- Mandaliev, P., Schleiss, K., 2016. Kompostier- und Vergärungsanlagen. Erhebung in der Schweiz und Liechtenstein. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1602: 32. S.
- Mantovani, M.C., Takano, C., Büchler, P.M., 2004. EAF and secondary dust characterisation. Ironmaking & Steelmaking, 31:4, pp. 325 – 332.
- Marti, J., 2003. Cadmium in Zink (Resultate einer schweizerischen Marktüberwachung 2002). Umwelt-Materialien Nr. 168. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.), Bern.
- Maurer, M., Chawla, F., von Horn, J., Stauffer, P., 2012. Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 21.
- Mattmann, B., Zizek, D., Oriet, D., Attinger, A., Zürcher, M., 2009. KABO AG Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Aargau – Fachbericht: Auswertung der dritten Hauptuntersuchung (2006). Status und Trend. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau (Abteilung für Umweltschutz), Aarau.
- Mecking, O., Lagaly, G., 2000. Historische Quellen und analytische Untersuchungen zur Giftigkeit von Bleiglasuren vom späten Mittelalter bis zur Neuzeit. Archäologisches Korrespondenzblatt 30, pp. 295 – 305.
- Monna, F., Dominik, J., Loizeau, J., Pardos, M., & Arpagaus, P., 1999. Origin and evolution of pb in sediments of lake geneva (Switzerland–France). Establishing a stable pb record. Environmental Science & Technology, 33(17), pp. 2850 – 2857. doi:10.1021/es9902468.
- Montgomery, J., Evans, J.A., Chenery, S.R., Pashley, V., Killgrove, K., 2010. “Gleaming, white and deadly”: Using lead to track human exposure and geographic origins in the Roman period in Britain. J Roman Archaeol.; Suppl. 78, pp. 199 – 226.
- Moor, H.C., Schaller, T., Sturm, M., 1996. Recent Changes in Stable Lead Isotope Ratios in Sediments of Lake Zug, Switzerland. Environmental Science & Technology 30 (10), pp. 2928 – 2933.
- More, A.F., Spaulding, N.E., Bohleber, P., Handley, P.M., Hoffmann, H., Korotkikh, E.V., ... Mayewski, P.A., 2017. Next-generation ice core technology reveals true minimum natural levels of lead (Pb) in the atmosphere: Insights from the Black Death, GeoHealth, 1, pp. 21 – 219.
- Morf, L., 2003. Die KVA als Instrument der Erfolgskontrolle in der Abfallwirtschaft der Schweiz. GEO Partner AG. Zürich.
- Morf, L.S., 2006. Chemische Zusammensetzung verbrannter Siedlungsabfälle. Untersuchungen im Einzugsgebiet der KVA Thurgau. Umwelt-Wissen Nr. 0620. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Morf, L.S., 2010. Abfallverbrennung – Stoffflussanalysen für die thermische Abfallbehandlung – Erkenntnisse und Ausblick nach mehr als 25 Jahren Erfahrung; in: Schenk K. (Ed.) 2010: KVA-Rückstände in der Schweiz. Der Rohstoff mit Mehrwert. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Moser, K., Bertschinger, H., Hugener, M., Kramer, H., Richner, P., Richter, K., 2004. Baustoffmanagement 21 (Stand des Wissens und Forschungsbedarf). EMPA, Departement Materialien für das Bau- und Ingenieurwesen. Dübendorf.
- MSC-E (Meteorological Synthesizing Centre – East), 2019 (<http://www.msceast.org> > Pollution Assessment > EMEP countries > Switzerland).
- Müller, G., 1977. Schadstoff-Untersuchungen an datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee. Z. Naturforsch. 32c, pp. 913 – 919.
- Müller, J., 2017. Stoffstrommanagement als Instrument zur Steigerung der Ressourceneffizienz der deutschen Eisen- und Stahlindustrie (Dissertation). Technische Universität München.
- Muller, Y., 2020. Peintures au plomb dans le canton de Genève: Occurrence dans les logements & Evaluation du potentiel d'exposition dans les institutions de la petite enfance (IPE). Office cantonal de l'environnement de la République et canton de Genève (Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants SABRA), Genève.

- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen), 2005. Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen.
- Ooms, J., Cuperus, J.G., Impact of lead restrictions on the recycling of PVC. Report for VinylPlus.
- Patinha, C., Reis, A.P., Dias, A.C., Abduljelil, A.A., Noack, Y., Robert, S., Cave, M., Ferreira da Silva, E., 2015. The mobility and human oral bioaccessibility of Zn and Pb in urban dusts of Estarreja (N Portugal). *Environ Geochem Health* 37, pp. 115 – 131. <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9634-3>.
- Pessina, A., 2013. Lago Ceresio: indagine su DDT e sostanze pericolose. Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere. Programma quinquennale 2008 – 2012 – Rapporto annuale 2012. Bellinzona.
- Pfenninger, A., 2017. 200 Jahre Chemiewerkplatz Uetikon. Katalog zur Ausstellung im Uetiker Museum 19. November 2017 – 24. Juni 2018.
- Philipp, R., Keiser, R., Walcher, C., 2017. Altlastenbearbeitung VBS: Untersuchung der Belastungen auf Schiessplätzen und Schiessanlagen des VBS (Wegleitung). Eidgenössisches Departement für Verteidigung Bevölkerungsschutz und Sport (VBS).
- Prasuhn, V., Liniger, H., Hurni, H., Friedli, S., 2007. Bodenerosions-Gefährdungskarte der Schweiz. *AGRAR-Forschung* 14 (3), pp. 120 – 127.
- Prasuhn, V., Möhring, A., 2016. Auswirkungen möglicher agrarpolitischer Entwicklungen auf die Nährstoffeinträge in die Gewässer der Schweiz sowie zukünftiger Bewässerungsbedarf. 5. Umweltökologisches Symposium, pp. 45 – 52. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt. Raumberg-Gumpenstein (Österreich).
- Prasuhn, V., 2019. Mail vom 29. Juli 2017.
- Proctor, D.M., Fehling, K.A., Shay, E.C., Wittenborn, J.L., Green, J.J., Avent, C., Bigham, R.D., Conolly, M., Lee, B., Shepker, T.O., Zak, M.A., 2000. Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace, Basic Oxygen Furnace, and Electric Arc Furnace Steel Industry Slags. *Environ. Sci. Technol.* 34, pp. 1576 – 1582.
- PVCH (Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie), 2010. Recycling schont Ressourcen. Starke Seiten (Mensch, Welt und PVC), Juni 2010. Hrsg. PVCH.
- PVCH (Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie), 2018. Jahresbericht 2018.
- RR GR (Regierungsrat des Kantons Graubünden), 2016. Antwort der Regierung auf die Anfrage Dosch betreffend Sanierung Schiessanlagen (Kugelfänge) / Künstliche Kugelfangsysteme (Session: 20.04.2016).
- Rasmussen, K.L., Skytte, L., Jensen, A.J., Boldsen, J.L., 2015. Comparison of mercury and lead levels in the bones of rural and urban populations in Southern Denmark and Northern Germany during the Middle Ages. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol. 3, pp. 358-370.
- Reinhardt, T., Richers, U., 2004. Entsorgung von Schredderrückständen – ein aktueller Überblick. *Wissenschaftliche Berichte FZKA 6940*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Karlsruhe.
- Restrepo, E., Widmer, R., Schlupe, M., 2016. A critical review of recycling and disposal options for leaded glass from cathode ray tubes (CRTs). In 2016 electronics goes green 2016+ (EGG). <https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829839>.
- Richter, K., 2010. Plattenförmige Holzwerkstoffe: Einführung und Übersicht. In: Richter, K., Steiger, R., Frangi, A., Sigrist, C., 2010. Dokumentation SIA D 0235 (Holzbau – Ergänzende Festlegungen Norm SIA 265/1, Bauteile aus Holzwerkstoffen – Bemessungskonzept und Beispiele). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein sowie Lignum, Holzwirtschaft Schweiz (Hrsg.), Zürich.
- Rieder, S.R., Tipping, E., Zimmermann, S., Graf-Pannatier, E., Waldner, P., Meili, M., Frey, B., 2014. Dynamic modelling of the long-term behaviour of cadmium, lead and mercury in Swiss forest soils using CHUM-AM. *Science of the Total Environment* 468 – 469, pp. 864 – 876.
- Röschli, K. (Geschäftsführer PVCH), 2018. Mündliches Gespräch am 6. November 2018.

- Rossi, L., Krayenbuhl, L., Froelich, J.-M., Fischer, Y., 1997. Etude de la contamination induite par les eaux de ruissellent en milieu urbain. Rapp Comm int prot eaux Léman contre pollut, Campagne 1996, pp. 179 – 202.
- Rossknecht, H., 1984. Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), Blaue Reihe, Bericht Nr. 31 (www.igkb.org).
- Roux, K.E., Marra, P.P., 2007. The Presence and Impact of Environmental Lead in Passerine Birds Along an Urban to Rural Land Use Gradient. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 53, pp. 261 – 268.
- Rüdél, H., Fliedner, A., Kösters, J., Schröter-Kermani, C., 2010. Twenty years of elemental analysis of marine biota within the German Environmental Specimen Bank – a thorough look at the data. Environmental science and pollution research international. No.5, pp. 1025 – 1034.
- Sample, B.E., Beyer, W.N., Wentzel, R., 2019. Revisiting the Avian Eco-SSL for Lead: Recommendations for Revision. Integr Environ Assess Manag Vol. 15 No. 5, pp. 739 – 749.
- Sander, K., Lohse, J. Pirntke, U., 2000. Heavy Metals in Vehicles (Final Report compiled for the Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the Commission of the European Communities). 27 March 2000.
- Schärer, M., Abegglen, C., Dominguez, D., Purtschert, I., Weber, S., 2014. Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1418: 37. S.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. et al., 1998. Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Scheifler, R., Cœurdassier, M., Morilhat, C., Bernard, N., Faivre, B., Flicoteaux, P., ... Badot, P.-M., 2006. Lead concentrations in feathers and blood of common blackbirds (*Turdus merula*) and in earthworms inhabiting unpolluted and moderately polluted urban areas. Science of the Total Environment, Vol. 371, Issues 1–3, pp. 197 – 205.
- Schleiss, K., 2009. Zürcher Kompostier- und Vergärungsanlagen - Jahresbericht zu den Inspektionen 2009. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL, Hrsg.), Zürich.
- Schleiss, K., 2017. Erhebung Schweizer Daten zu Mengen in der Kompostierung, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, Schlussbericht, 17.11.2017.
- Schleiss, K., 2018. Zürcher Kompostier- und Vergärungsanlagen - Jahresbericht zu den Inspektionen 2018. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL, Hrsg.), Zürich.
- Schleiss, K., 2019. Kompostier- und Vergärungsanlagen – Erhebung in der Schweiz und Lichtenstein. Massenfluss zu Input und Output im Jahr 2017. Im Auftrag von: BAFU Abteilung Abfall und Rohstoffe. Grenchen, Juni 2019.
- Schlumberger, S., 2019. Metallrückgewinnungen aus Flugaschen – Erfahrungen aus dem Routinebetrieb des Flurec-Verfahrens und Stand der Branchenlösung SwissZinc; In: Thiel, S., Thomé-Kozmiensky, E., Pretz, T., Senk, D.G., Wotruba, H. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 6 (Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen). Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH. Neuruppin, 2019.
- Schmoor, H., 2001. Weich- und Hartlötén im Sanitär- und Heizungsbau. IKZ Praxis Ausgabe 8/2001.
- Schneider, E., 2018. Betriebsleiter Brugg Kabel AG, Telefongespräch vom 27.09.2018.
- Schürmann, P.; Stolz, J., 2004. Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten – Planungsgrundlagen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt, 35 S.
- Sears, J., Hunt, A., 1991. Lead poisoning in Mute Swans, *Cygnus olor*, in England. In Sears, J. & Bacon, P.J. (eds.), Proc. Third IWRB International Swan Symposium, Oxford 1989. Wildfowl Supplement No. 1, pp. 383 – 388.
- Senn, B., 2017. Geschäftsführerin Scherrer Metec AG, telefonische Auskunft, 17.11.2017.
- SENS (Stiftung Entsorgung Schweiz), 2019. Fachberichte 2014 – 2019 (<http://www.erecycling.ch/> Wissenswertes > Medien & Downloads > Fachberichte).

- Settle, D.M., Patterson, C.C. 1980. Lead in albacore: guide to lead pollution in Americans. Science Vol. 207, Issue 4436, pp. 1167 – 1176.
- Shotyk, W., Weiss, D., Appleby, P.G., Cheburkin, A.K., Frei, R., Gloor, M., Kramers, J.D., Reese, S., van der Knaap, W.O., 1998. History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP recorded in a peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland. Science 281, pp. 1635 – 1640.
- Shotyk, W., Weiss, D., Heisterkamp, M., Cheburkin, A.K., Appleby, P.G., Adams, F.C., 2002. New peat bog record of atmospheric lead pollution in Switzerland: Pb concentrations, enrichment factors, isotopic composition, and organolead species. Environ. Sci. Technol. 36 (18), pp. 3893 – 3900.
- SID BL (Sicherheitsdirektion sowie Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft), 2016. Korrekte Wartung von Kugelfangkästen (Merkblatt für Schiessvereine und Standortgemeinden). Februar 2016.
- Sieber, R., Kaweck, D., Nowack, B., 2020. Dynamic probabilistic material flow analysis of rubber release from tires into the environment. Environmental Pollution, 258, 113573 (11 pp.).
- Sigg, L., Sturm, M., Stumm, W., 1982. Schwermetalle im Bodensee (Mechanismen der Konzentrationsregulierung). Naturwissenschaften 69, pp. 546 – 548.
- Spadini, L., Sturm, M., Wehrli, B., Bott, M., 2003. Analysis and dating of Pb, Cd, Cu, Zn sediment profiles from the Vitznau basin of Lake Lucerne (Switzerland). Revue de Géographie Alpine N°1, pp. 42 – 49.
- Spinner, J., 1913. Arbeiterschutz und gewerbliche Vergiftungen in der Schweiz. ZSchweiz-Stat. 49, 1, pp. 129 – 159. Stacher, M., 2017. Pensionierter Wildhüter Kanton SG, Telefongespräch vom 13.11.2017.
- Stauffer, P., Ort, C., 2012. Faktenblatt «Diffuse Mikroverunreinigungs-Emissionen aus Siedlungen (DIMES)». EAWAG, Abt. Siedlungswasserwirtschaft (im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern).
- Steiger, T., 2018. Präsident SVDV, dynamisches Schiessen, Mails und Telefongespräch vom 11.03.2018.
- Sternig, F., 2017. Präsident Fischereiverein Thur, Mails und Telefongespräch vom 28.11.2017.
- SARS (Stiftung Auto Recycling Schweiz), 2017. Jahresbericht 2017 (www.stiftung-autorecycling.ch).
- Straumann, L., 2005. Nützliche Schädlinge – Angewandte Entomologie, chemische Industrie und Landwirtschaftspolitik 1874 – 2005. Chronos Verlag, Zürich.
- Studiger, E., 2007. Wert- und Schadstoffe im Klärschlamm. Umwelt Aargau Nr. 37.
- Sowade, T. Ott, J., 2015. Lead Chromate Replacement. Old hat but still a long process. PCI Magazine September 1, 2015.
- SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches), 2017. Reglement Materialien in Kontakt mit Trinkwasser – Hygienische Beurteilung von Metallen, Metalllegierungen und Metallüberzügen. ZW102/2. Ausgabe Oktober 2017, Zürich.
- Swissolar (Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie), 2016. Merkblatt Photovoltaik Nr. 13 - PV-Anlagen mit Batterien (Merkblatt-Nr.21013d), Zürich.
- SZ (Schreiner Zeitung), 2015. Holzwerkstoffe: Handel im Wandel. Ausgabe 42/2015 vom 15. Oktober 2015.
- Taverna, R., Morf, L., 2009. Stoffflüsse und Kehrrechtzusammensetzung in der KVA Thurgau im Jahr 2008. GEO Partner AG. Zürich.
- Taverna, R., Meister, R., 2011. Stoffbuchhaltung auf der KVA Hinwil (Schlussbericht 2008 – 2010). GEO Partner AG. Zürich.
- Taverna, R., Hächler, K., 2017. Stoffflüsse und Kehrrechtzusammensetzung in der KVA Thurgau im Jahr 2016 (Schlussbericht). GEO Partner AG. Zürich.
- Taverna, R., Birchler, E., Gloor, R., Zennegg, M., 2017. Stoffflüsse im Schweizer Elektronikschrott. Metalle, Nichtmetalle, Flammschutzmittel und polychlorierte Biphenyle in elektrischen und elektronischen Kleingeräten. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1717: 164 S.

- Taverna, R., 2019. Stoffflüsse und Kehrrechtzusammensetzung in der KVA Thurgau im Jahr 2018. Interner Bericht der KVA Thurgau, 65 S.
- Taverna, R., 2020. Stoffflüsse und Kehrrechtzusammensetzung in der KVA Thurgau im Jahr 2019. Interner Bericht der KVA Thurgau, 71 S.
- Tercero Espinoza, L., 2018. A global, dynamic stock-and-flow model for leaded brass. Fraunhofer Institute for systems and Innovation Research (ISI). April 2018, Karlsruhe (<https://copperalliance.org> > Trends and Innovations > Data Set).
- Tezcan, M., 2013. Klärschlamm entsorgung in der Schweiz. Klärschlammhebung 2012. Bundesamt für Umwelt (Abt. Abfall und Rohstoffe), Bern.
- Thevenon, F., Graham, N.D., Chiaradia, M., Arpagaus, P., Wildi, W., Poté, J., 2011. Local to regional scale industrial heavy metal pollution recorded in sediments of large freshwater lakes in central Europe (lakes Geneva and Lucerne) over the last centuries. Science of the Total Environment. 2011, vol. 412-413, pp. 239 – 247.
- Thevenon, F., Wirth, S. B., Fajak, M., Poté, J., & Girardclos, S., 2013. Human impact on the transport of terrigenous and anthropogenic elements to peri-alpine lakes (Switzerland) over the last decades. Aquatic Sciences, 75(3), pp. 413 – 424. <https://doi.org/10.1007/s00027-013-0287-6>.
- Tuchschnid, M.P., 1995. Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine in der Schweiz. Umweltmaterialien Nr. 32. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- UBA (Umweltbundesamt Dessau-Rosslau), 2019a. Altbatterien (<https://www.umweltbundesamt.de> > Daten > Ressourcen und Abfall > Verwertung und Entsorgung ausgewählter Abfallarten > Altbatterien).
- UBA (Umweltbundesamt Dessau-Rosslau), 2019b. Anerkennung und Harmonisierung – 4MS-Initiative (www.uba.de > Themen > Wasser > Trinkwasser > Trinkwasser verteilen > Anerkennung und Harmonisierung > 4MS-Initiative).
- Uhl, M., Hohenblum, P., Scharf, S., Trimbacher, C., 2004. Hausstaub – ein Indikator für Innenraumbelastung. Bericht: BE-258. Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- UNEP (United Nations Environment Programme, Chemicals Branch, DTIE), 2010. Final review of scientific information on lead – Version of December 2010.
- UPB (Umweltprobenbank des deutschen Umweltbundesamts), 2019. (<https://www.umweltprobenbank.de>).
- USEPA (U.S Environmental Protection Agency), 2005. Ecological Soil Screening Levels for Lead (Interim Final). Washington, DC.
- UVEK (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation), 2020. Erläuternder Bericht zur Änderung der Verordnung über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdverordnung, JSV, SR 922.01). 8. Mai 2020.
- Vallette, J., 2015. Post-Consumer Polyvinyl Chloride in Building Products. Healthy Building Network HBN). Originally published April 2015, revised July 2015.
- VdL (Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie), 2018. Bleipigmente in Farben und Lacken (Presse > Farben & Lacke aktuell. Mitteilung vom 23.03.2018).
- Venäläinen, E.R., 2007. The levels of heavy metals in moose, reindeer and hares in Finland – results of twenty years monitoring. Academic Dissertation, Faculty of Natural and Environmental Sciences, University of Kuopio, Finland.
- Vest, H., 2002. Fundamentals of the recycling of lead-acid batteries. Gate Information Service, Eschborn.
- Vinyl 2010 und Vinyl Plus. Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Branche zur nachhaltigen Entwicklung. Informationen und jährliche Fortschrittsberichte unter www.vinylplus.eu.
- VinylPlus, 2019. Progress Report 2019. Reporting on 2018 activities. Brussels, Belgium.

- von Arx, U., 2014. Feuerwerkskörper. Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1423: 139 S.
- von Gunten, H.R., Sturm, M., Moser, R.N., 1997. 200-Year Record of Metals in Lake Sediments and Natural Background Concentrations. Environ. Sci. Technol. 31, pp. 2193 – 2197.
- Vriens, B., Voegelin, A., Hug, S.J., Kaegi, R., Winkel, L.H.E., Buser, A.M., Berg, M., 2017. Quantification of Element Fluxes in Wastewaters: A Nationwide Survey in Switzerland. Environmental Science & Technology 51 (19), pp. 10943-10953.
- VSMR (Verband Stahl-, Metall- und Papier-Recycling Schweiz), 2016. VSMR-Kennzahlen 2016: Nichteisen-Altmetalle.
- Wagner, B., Töpfner, C., Lischeid, G., Scholz, M., Klinger, R., Klaas, P., 2003. Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. GLA Fachberichte Nr. 21. Bayerisches Geologisches Landesamt, München (D).
- Weingart, C., 2018. Patentfischer Türlensee, Hausen am Albis, Interview vom 19.02.2018
- Weiss, D., Shotyk, W., Appleby, P.G., Kramers, J.D., Cheburkin, A.K., 1999. Atmospheric Pb Deposition since the Industrial Revolution Recorded by Five Swiss Peat Profiles: Enrichment Factors, Fluxes, Isotopic Composition, and Sources. Environmental science & technology, 33(9), pp. 1340 – 1352.
- WEKO (Wettbewerbskommission), 2017. Verfügung vom 30. Oktober 2017 in Sachen Untersuchung 22-0469 gemäss Art. 27 KG betreffend Verzinkung wegen unzulässiger Wettbewerbsabrede gemäss Art. 5 Abs. 3 KG.
- Wicke, D., Matzinger, A., Rouault, P., 2015. Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. Kompetenz Zentrum Wasser Berlin gGmbH. Berlin.
- Wochele, J., Ludwig, C., Stucki, S., 2009. RESH-Behandlung mit KVApplus. Studie im Auftrag der Stiftung Auto Recycling Schweiz. Paul Scherrer Institut. Villigen.
- Wietlisbach, V., Rickenbach, M., Berode, M., Guillemin, M., 1995. Time Trend and Determinants of Blood Lead Levels in a Swiss Population over a Transition Period (1984 - 1993) from Leaded to Unleaded Gasoline Use. Environmental Research 68, pp. 82 – 90.
- WVZ (Wasserversorgung der Stadt Zürich), 2016a. Jahresbericht 2016 Quellwasser Sihlbrugg.
- WVZ (Wasserversorgung der Stadt Zürich), 2016b. Jahresbericht 2016 Grundwasser Hardhof.
- Yano, J., Hirai, Y., Okamoto, K., Sakai, S., 2014. Dynamic flow analysis of current and future end-of-life vehicles generation and lead content in automobile shredder residue. J Mater Cycles Waste Manag 16: pp. 52 – 61.
- Zangl, S., Hendel, M., Blepp, M., Liu, R., Gensch, C.-O.; Deubzer, O., 2010. Adaptation to scientific and technical progress of Annex II to Directive 2000/53/EC (ELV) and of the Annex to Directive 2002/95/EC (RoHS). Öko-Institut e.V. Freiburg. S. 13.
- Zgheib, S., Moilleron, R., Chebbo, G., 2012. Priority pollutants in urban stormwater : Part 1 – Case of separate storm sewers. Water Research 46, pp. 6683 – 6692.
- Zimmermann, T., Gössling-Reisemann, S., Isenmann, R., Aforetec GbR, 2017. Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen in der Nichteisenmetallindustrie durch eine Zukunftsanalyse nach der Delphi-Methode (Kurztitel: DelphiNE). Bericht im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes (Forschungskennzahl 3713 93 306 UBA-FB-00), UBA Texte DelphiNE.

Anhang

A.1 Erläuterungen zum Abfallaufkommen

Nachstehende Tabellen enthalten Informationen zum Vorkommen von Blei in:

- Stahlwerksnebenprodukten, wie sie bei der Einschmelzung von Eisenschrott in Elektrolichtbogenöfen entstehen (Tabelle A1.1);
- Holzbrennstoffen, Holzwerkstoffen und Altholz (Tabelle A1.2);
- Siedlungs- und Bauabfällen sowie anderen Abfällen, die in KVA verbrannt werden (Tabelle A1.3);
- Reststoffen aus dem Shredder (Tabelle A1.4).

Grobschätzungen zum Verbleib von Blei in Fahrzeugen (Personenwagen), die im Jahr 2000 in Verkehr gesetzt wurden und im Jahr 2015 über den Schredder entsorgt wurden, sowie zur Herkunft des Bleis finden sich in den Tabellen A1.5 sowie A1.6. Die Angaben basieren auf Daten von ACEA (2013), ACEA (2018), Gensch et al. (2016a), Lohse et al. (2001), Lohse et al. (2008), Sander et al. (2000), Yano et al. (2014) und Zangl et al. (2010).

Tabelle A1.1

Vorkommen von Blei in Stahl und Stahlwerksnebenprodukten

Vorkommen von Blei (in Gramm pro Tonne) in nicht legiertem Massenstahl sowie in Stahlwerksnebenprodukten (Schlacke und Filterstaub), wie sie bei der Einschmelzung von Eisenschrott in Elektrolichtbogenöfen entstehen.

Erzeugnis	Gehalt [g t ⁻¹]	Beschreibung	Quelle
Elektroofenstaub	20'200 11'800 – 36'500	Medianwert sowie 20 %- und 80 %- Perzentile von 8 Proben aus Elektroofenstahlwerken in Deutschland	Dehoust et al. (2007)
Elektroofenstaub	20'000 – 80'000	Typische Bandbreite von 86 Analysewerten	Müller (2017)
Elektroofenstaub	13'400	Poolprobe aus 11 über 2 Monate gesammelten Proben aus einem Elektroofenstahlwerk in Brasilien	De Vargas et al. (2006)
Elektroofenstaub	14'950 ± 9'500 5'100 – 30'200	Mittelwert und Spannweite von 4 Proben aus der Produktion von Kohlenstoffstahl und niedrig legiertem Stahl aus einem Elektroofenstahlwerk in Brasilien	Mantovani et al. (2004)
Elektroofenstaub	13'100	Probe aus einem Elektroofenstahlwerk in Saudi-Arabien, keine näheren Angaben verfügbar	Baghabra Al-Amoudi et al. (2017)
Elektroofenschlacke	28 ± 43 5 – 220	Mittelwert und Spannweite von Proben von 45 Elektroofenstahlwerken in den USA	Proctor et al. (2000)
Kalt gewalztes Stahlblech	≈ 0.5	in Japan erzeugt	Fujimoto & Chino (2007)
Kalt gewalztes Stahlblech	≈ 0.5	in Japan erzeugt	Fujimoto & Chino (2007)

Tabelle A1.2

Vorkommen von Blei in Holzbrennstoffen, Holzwerkstoffen und in Altholz

Vorkommen von Blei (in Gramm pro Tonne) in Holzbrennstoffen, Restholz, Holzwerkstoffen und Altholz.

Erzeugnis	Gehalt [g t ⁻¹]	Beschreibung	Quelle
Holzbrennstoffe aus der Schweiz im Jahr 2005 (naturbelassenes stückiges Holz sowie Restholz aus holzverarbeitenden Betrieben)	1.0	Mittelwert (n = 30)	Herren (2010)
	0.5	Median	
	0.3 – 1.0	20 %- und 80 %-Perzentile	
	0.2 – 1.6	10 %- und 90 %-Perzentile	
	0.2 – 9.7	Extremwerte	
Restholz aus der Bearbeitung von Holzwerkstoffen in der Schweiz im Jahr 1998 (Spanplatten roh und beschichtet, Faserplatten)	7	Mittelwert (n = 97)	Vock (2004)
	< 1	Median	
	< 1 – 6	20 %- und 80 %-Perzentile	
	< 1 – 19	10 %- und 90 %-Perzentile	
	< 1 – 91	Extremwerte	
Holzwerkstoffe (Span- und Faserplatten sowie Sperrholzplatten) in der Schweiz im Jahr 2007 vermarktet	17	Mittelwert (n = 111)	Herren (2010)
	2	Median	
	1 – 17	20 %- und 80 %-Perzentile	
	< 1 – 57	10 %- und 90 %-Perzentile	
	< 1 – 257	Extremwerte	
Restholz aus der Bearbeitung und der Herstellung von Platten und Möbeln in Deutschland (Abfallcode 03 01 05)	208	Mittelwert (n = 82)	LANUV (2020)
	17	Median	
	1 – 115	20 %- und 80 %-Perzentile	
	< 1 – 11'200	Extremwerte	
Über den Schredder zerkleinertes Altholz aus elf Anlagen im Kanton Zürich im Jahr 2012	337	Mittelwert (n = 13)	Hofmann (2013)
	101	Median	
	33 – 179	20 %- und 80 %-Perzentile	
	16 – 305	10 %- und 90 %-Perzentile	
	6 – 3160	Extremwerte	
Altholz im Holzkraftwerk Basel im Zeitraum 2013 - 2018 thermisch verwertet (Monatsmischproben)	145	Mittelwert (n = 49)	IWB (2018)
	115	Median	
	77 – 156	20 %- und 80 %-Perzentile	
	72 – 223	10 %- und 90 %-Perzentile	
	35 – 630	Extremwerte	
Altholz von Baustellen in der Schweiz im Jahr 1998 (Schalungstafeln, Kanthölzer, anderes Holz)	5	Mittelwert (n = 7)	Vock (2004)
	2	Median	
	< 1 – 11	Extremwerte	
Altholz aus Renovationen und Umbauten in der Schweiz im Jahr 1998 (Parkett, Fussböden)	< 1	Mittelwert (n = 7)	Vock (2004)
	< 1	Median	
	< 1	Extremwerte	
Altholz aus Renovationen und Umbauten in der Schweiz im Jahr 1998 (Fassadenbretter)	1'500	Mittelwert (n = 9)	Vock (2004)
	2	Median	
	1 – 13'600	Extremwerte	

Erzeugnis	Gehalt [g t ⁻¹]	Beschreibung	Quelle
Oberflächenproben von Altholz von Renovationen und Umbauten in der Schweiz im Jahr 1998 (Fassadenbretter)	7	Mittelwert (n = 6)	Vock (2004)
	≈ 1	Median	
	1 – 33	Extremwerte	
Altholz aus Renovationen und Umbauten in der Schweiz im Jahr 1998 (Fenster, Fensterläden, andere Holzläden)	1'800	Mittelwert (n = 9)	Vock (2004)
	310	Median	
	3 – 4'780	20 %- und 80 %-Perzentile	
	1 – 5'800	Extremwerte	
Oberflächenproben von Altholz aus Renovationen und Umbauten in der Schweiz im Jahr 1998 (Fenster, Fensterläden, Türen)	31'400	Mittelwert (n = 17)	Vock (2004)
	6'800	Median	
	5'100 – 60'500	20 %- und 80 %-Perzentile	
	1'700 – 93'000	10 %- und 90 %-Perzentile	
Altholz von Baustellen, Abbrüchen, Renovationen und Umbauten in Deutschland	86	Mittelwert (n = 11)	LANUV (2020)
	9	Median	
	3 – 230	20 %- und 80 %-Perzentile	
	3 – 319	Extremwerte	
Verpackungsholz in der Schweiz im Jahr 1998 (Pressspanfüsse von Einwegpaletten)	392	Mittelwert (n = 17)	Vock (2004)
	470	Median	
	1 – 700	20 %- und 80 %-Perzentile	
	1 – 780	10 %- und 90 %-Perzentile	
Verpackungsholz in der Schweiz im Jahr 1998 (Einwegpaletten Pressspan und Massivholz, Fruchtkisten, Harassen, Kisten, Verpackungsschnitzel, andere Verpackungen)	14	Mittelwert (n = 32)	Vock (2004)
	≈ 1	Median	
	1 – 8	20 %- und 80 %-Perzentile	
	1 – 27	10 %- und 90 %-Perzentile	
Verpackungsholz in Deutschland wie defekte Paletten, Kisten, etc. (Abfallcode 15 01 03)	119	Median	MUNLV (2005)
	139	80 %-Perzentil	
	146	90 %-Perzentil	
Problematische Holzabfälle in der Schweiz im Jahr 1998 (Palisaden, Zäune, Pfähle, Eisenbahnschwellen, Telefonstangen, Parkbänke und ähnliche Abfälle)	29	Mittelwert (n = 26)	Vock (2004)
	15	Median	
	6 – 45	20 %- und 80 %-Perzentile	
	2 – 56	10 %- und 90 %-Perzentile	
Problematische Holzabfälle in Deutschland (Abfallcode 19 12 06)	138	Mittelwert (n = 52)	LANUV (2020)
	42	Median	
	13 – 150	20 %- und 80 %-Perzentile	
	1 – 800	Extremwerte	

Tabelle A1.3

Vorkommen von Blei in Abfällen, wie sie in KVA verbrannt werden

Mit indirekten Analysen ermitteltes Vorkommen von Blei (in Gramm pro Tonne bezogen auf die Frischsubstanz) in Siedlungs- und Bauabfällen sowie anderen Abfällen, wie sie in KVA verbrannt werden. Als Siedlungsabfälle gelten Haushaltsabfälle sowie haushaltsähnliche Industrie- und Gewerbeabfälle.

Abfall	Pb [g/t]	Beschreibung	Quelle
Haushaltsabfälle	530 ± 110	indirekte Analyse in der KVA St. Gallen im Jahr 1991	Belevi & Mönch (2000)
Haushaltsabfälle	400 ± 43	indirekte Analyse in der KVA Thurgau im Jahr 2003	Morf (2006)
Haushaltsähnliche Industrie- und Gewerbeabfälle sowie Bauabfälle	880 ± 83	indirekte Analyse in der KVA Thurgau im Jahr 2004 mit Schweizer Abfall	Morf (2006)
Siedlungsabfälle sowie Bauabfälle	700 ± 130	indirekte Analyse in der KVA St. Gallen im Jahr 1991	Belevi & Mönch (2000)
Siedlungsabfälle	917 ± 174	indirekte Analyse in der KVA Thurgau im Jahr 2006 mit Abfall aus Konstanz (DE)	Morf (2010)
Siedlungs- und Bauabfälle	307 228 – 386	indirekte Analysen in der KVA St. Gallen (Referenzversuche 2001)	Morf (2003)
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von Klärschlamm	248 216 – 280		
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH	347 232 – 463		
Siedlungs- und Bauabfälle	522 440 – 603	indirekte Analysen in der KVA Thurgau (Referenzversuche 2001)	Morf (2003)
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH	856 736 – 977		
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH und Klärschlamm	627 556 – 699	indirekte Analyse in der KVA St. Gallen (Jahresmittel 2001)	Morf (2003)
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH	547 472 – 623	indirekte Analyse in der KVA Thurgau (Jahresmittel 2001)	Morf (2003)
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH und Klärschlamm	500 320 – 710	indirekte Analyse in der KVA Hinwil (Mittelwert Juli 2008 – April 2010)	Taverna & Meister (2011)
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH	561 487 – 670	indirekte Analysen in der KVA Thurgau (Jahresmittel 2001 – 2008)	Taverna & Morf (2009)
	550 420 – 680	indirekte Analyse in der KVA Thurgau (Jahresmittel 2008 mit 95 %-Vertrauensintervall)	
Siedlungs- und Bauabfälle sowie Mitverbrennung von RESH	450 360 – 580	indirekte Analysen in der KVA Thurgau (Jahresmittel 2009 – 2016)	Taverna & Hächler (2017)
	380 330 – 430	indirekte Analyse in der KVA Thurgau (Jahresmittel 2016 mit 95 %-Vertrauensintervall)	

Tabelle A1.4

Vorkommen von Blei in Reststoffen aus dem Shredder (RESH)

Vorkommen von Blei in RESH (in Gramm pro Tonne) bei der Zerlegung von Fahrzeugen allein (Auto-RESH) sowie von Fahrzeugen, grossen Elektrogeräten und Sammelschrott (Gemischt-RESH)

Erzeugnis	Gehalt [g t ⁻¹]	Beschreibung	Quelle
Auto-RESH aus der Schweiz	4'290	Mittelwert 1985 – 2008 (n = 8)	Wochele et al. (2009)
Auto-RESH aus der Schweiz	1'800	Mittelwert 2008 (n = 2)	Wochele et al. (2009)
Auto-RESH aus Norwegen	1'500 – 1'800	...	Hjelmar et al. (2009)
Auto-RESH aus Italien	2'170 – 2'460	...	Mancini et al. (2010)
Auto-RESH von im Jahr 2000 in Verkehr gesetzter Fahrzeuge (geschätzt)	≈ 1'900	Basierend auf einer Bleimenge von 425 g pro Fahrzeug, die in RESH transferiert wird, und einem RESH-Anfall von 220 kg pro Fahrzeug	siehe Tabellen A1.5 und A1.6
Gemischt-RESH aus der Schweiz	5'060	Mittelwert 1985 – 2008 (n = 74)	Wochele et al. (2009)
Gemischt-RESH aus der Schweiz	2'600	Mittelwert 2008 (n = 22)	Wochele et al. (2009)
Gemischt-RESH aus Deutschland (Abfallcode 19 10 03)	6'780	Mittelwert (n = 149)	LANUV (2020)
	4'390	Median	
	2'500 – 9'200 370 – 65'000	20 %- und 80 %-Perzentile Extremwerte	
Gemischt-RESH aus Deutschland	5'100	Mittelwert 1997 – 1998	Reinhardt & Richers (2004)
	300 – 14'000	Extremwerte	
Gemischt-RESH aus Norwegen	1'500 – 5'500	...	Hjelmar et al. (2009)
Gemischt-RESH aus Dänemark	3'000	...	Hjelmar et al. (2009)

Tabelle A1.5

Vorkommen von Blei in Sortierfraktionen der Altfahrzeugentsorgung

Grobschätzungen zum Vorkommen von Blei in Sortierfraktionen der Entsorgung von Fahrzeugen (in Gramm pro Fahrzeug), die im Jahr 2000 in Verkehr gesetzt wurden und im Jahr 2015 zur Entsorgung anfielen (Blei-Inhalt der Bauteile gemittelt über alle in Verkehr gesetzten Marken).

Sortierfraktion	[g Pb Fzg. ⁻¹]	Verbleib in der Entsorgung	Quelle
Ausgebaute Batterien bei Trockenlegung	≈ 11'700	Bleirecycling	Position 1 in Tabelle A1.6
Eisenschrott	255	Elektrostahlwerke, Transfer in Filterstaub	Summe der Positionen 3 – 7 in Tabelle A1.6
Nichteisenmetallschrott	185	Leicht- und Buntmetallgiessereien; Transfer in Gussprodukte (Aluminium, Messing)	Summe der Positionen 8 – 11 in Tabelle A1.6
Reststoffe aus dem Schredder (RESH)	425	Verbrennung im In- und Ausland	Summe der Positionen 12 – 26 in Tabelle A1.6

Tabelle A1.6

Vorkommen von Blei in Bauteilen von Fahrzeugen, die im Jahr 2015 zur Entsorgung anfielen

Grobschätzungen zum Vorkommen und Verbleib von Blei in Bauteilen von Fahrzeugen (in Gramm pro Fahrzeug), die im Jahr 2000 in Verkehr gesetzt wurden und im Jahr 2015 zur Entsorgung anfielen (Blei-Inhalt der Bauteile gemittelt über alle in Verkehr gesetzten Marken).

Pos.	Bauteil	[g Pb Fzg. ⁻¹]	Verbleib in der Aufbereitung
1	Starterbatterien	≈ 11'700	Ausbau bei Trockenlegung
2	Auswuchtgewichte	... ⁽¹⁾	Ausbau bei Trockenlegung
3	Legierter Stahl	18	Eisenschrott
4	Bandverzinkter Stahl	93	Eisenschrott
5	Stückgutverzinkter Stahl	0.7	Eisenschrott
6	Innenbeschichtung Kraftstofftanks	120	Eisenschrott
7	Ventilsitze	24	Eisenschrott
8	Aluminiumlegierungen (Knetlegierungen)	23	Nichteisenmetallschrott
9	Gussprodukte aus Aluminium	115	Nichteisenmetallschrott
10	Messing	48	Nichteisenmetallschrott
11	Lagerschalen und Buchsen	0.5	Nichteisenmetallschrott
12	Bremsbeläge (Reibfläche)	... ⁽¹⁾	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
13	Schwingungsdämpfer	50	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
14	Kohlebürsten in Startermotoren	10	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
15	Lötmittel zur Befestigung elektrischer und elektronischer Bauteile auf Leiterplatten	50	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
16	Hochschmelzende Lote	1	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
17	Einpresssteckverbindungen	0.1	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
18	Lötmittel in elektrischen Anwendungen auf Glas	0.9	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
19	Lötmittel zum Löten von Verbundglas	0.2	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
20	Stabilisator in Schutzanstrichen	40	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
21	Elastomere	22	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
22	Polyvinylchlorid	210	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
23	Glasur von Zündkerzen	1	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
24	Glas und Sockellot von Glühlampen	20	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
25	Piezokeramische Bauelemente	14	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)
26	Andere Bauteile aus Keramik	8	Reststoffe aus dem Schredder (RESH)

⁽¹⁾ Nicht berücksichtigt, weil im Zuge der Wartung bleihaltige Auswuchtgewichte und Bremsbeläge durch bleifreie ersetzt wurden.

A.2 Erläuterungen zu den Umwelteinträgen

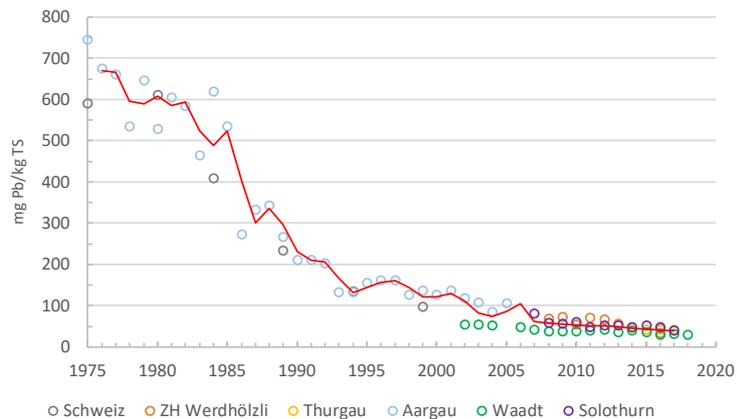
Einträge in das Abwasser und in Gewässer

Von den jährlichen Bleieinträgen in das Abwasser und in Oberflächengewässer im Umfang von ca. 21'000 kg werden um 65 % (ca. 13'300 kg) auf Oberflächenabschwemmungen versiegelter Flächen (Dach- und Strassenabläufe) zurückgeführt. Die Schätzung basiert auf der Annahme, dass 80 % der den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zugeführten Bleimenge in Dach- und Strassenabläufen enthalten sind. Der auf dieser Annahme errechnete Bleigehalt im Oberflächenabfluss wurde in der Folge mit Messdaten aus der Literatur verglichen und als plausibel eingestuft. Dieses Konzept adressiert nicht die ursächliche Quelle der Bleibelastung, Angaben dazu finden sich im nächsten Abschnitt. Die Bleieinträge mit Grundwasseraustritten und Drainagen (ca. 1'600 kg) dürften in der angegebenen Grössenordnung anhalten, dies trifft auch für die Bleieinträge mit der Bodenerosion (ca. 2'000 kg) zu, sofern der unerwünschte Bodenverlust nicht vermindert wird. Die Bleifrachten mit diesen Quellen sind bedingt durch die über Jahrhunderte erfolgte Bleianreicherung in Böden anthropogen beeinflusst. Von den Bleieinträgen aus der Luft (ca. 900 kg) sind zu 80 % Seen betroffen, wo Blei hauptsächlich in die Sedimente transferiert wird. Einen Spezialfall stellen schliesslich Einträge von metallischem Blei in Seen und Fliessgewässer mit Verlusten von in der Fischerei verwendeten Gewichten dar (ca. 1250 kg). Vertiefende Angaben zu den Einträgen in das Abwasser und in Gewässer finden sich in nachstehender Tabelle A2.1.

Tabelle A2.1

Pb-Einträge in das Abwasser und in Oberflächengewässer Erläuterungen zu den Schätzungen der Pb-Einträge

Wasserstrom	Beschreibung
Kommunales Abwasser	<p>Den ca. 800 zentralen ARA (> 200 Einwohnerwerte) werden jährlich rund 1'700 Mio. m³ Abwasser zugeführt, der mittlere Trockenwetterzufluss beläuft sich auf ca. 1'200 Mio. m³/a (Maurer et al., 2012). Durch Entlastungen bei Regenwetter gelangt im Mittel ein Abwasservolumen von ca. 170 Mio. m³/a ungeklärt direkt in die Vorfluter (abgeleitet nach Angaben gemäss Stauer & Ort, 2012), sodass die behandelte Abwassermenge um 1'500 Mio. m³ beträgt.</p> <p>Die Pb-Fracht mit dem kommunalen Abwasser wird anhand der Menge und Belastung des anfallenden Klärschlammes sowie der Eliminationsrate von Pb in ARA abgeschätzt. Nach einer Zusammenstellung von Kupper (2000) wird Pb in ARA zu 64 – 93 % in den Klärschlamm transferiert, es wird ein Mittelwert von 78 % angegeben. In 64 Schweizer ARA mit rund 3.9 Mio. angeschlossenen Einwohnern ermittelten Vriens et al. (2017) eine hohe Eliminationsrate von 97 % (75 – 100 %). Transferfaktoren in den Klärschlamm lassen sich weiter aus Daten von fünfzehn im Jahr 2007 im Kanton St. Gallen beprobten ARA ableiten (Hutter, 2009). Danach errechnet sich anhand der Pb-Gehalte in den Abläufen, der im selben Zeitraum gemessenen Pb-Gehalte der Klärschlämme sowie der in den Anlagen produzierten Klärschlamm-Mengen und behandelten Abwasservolumina für Pb ein mittlerer Transferfaktor von 0.99 (0.96 – 1.0; für Werte im ARA-Ablauf tiefer als die Bestimmungsgrenze wurde die halbe Bestimmungsgrenze eingesetzt).</p> <p>Wie in nachstehender Abbildung anhand Daten aus ARA der Stadt Zürich (ERZ, 2013; Vriens et al., 2017), der Kantone Thurgau (AfU TG, 2019), Aargau (Studiger, 2007), Waadt (DGE VD, 2019) und Solothurn (AfU SO, 2019a) sowie anderer Schweizer ARA (Külling et al., 2002) gezeigt, sank der Bleigehalt im Klärschlamm im Verlauf der letzten 45 Jahre kontinuierlich. Für den Zeitraum 2014 – 2016 wird angenommen, dass Klärschlamm 45 mg Pb/kg enthält. Diesen Wert ermittelten Vriens et al. (2017) aus Klärschlammuntersuchungen von 64 Schweizer ARA mit rund 3.9 Mio. angeschlossenen Einwohnern.</p>

Wasserstrom
Beschreibung


In der aktuell anfallenden Klärschlamm-Menge von ca. 200'000 t/a (Tezcan, 2013) sind bei Annahme eines Pb-Gehalts von 45 g/t ca. 9'000 kg Pb enthalten. Wenn die Pb-Menge im Klärschlamm 98 % der Pb-Menge im Rohabwasser entspricht, errechnet sich die Pb-Menge im behandelten Abwasser auf rund 9'200 kg. Dessen Pb-Gehalt errechnet sich ausgehend vom Abwasseranfall von ca. 1'500 Mio. m³ auf ca. 6 µg/l. Pb-Beiträge liefern Haushaltsabwasser, industrielles und gewerbliches Abwasser von Indirekteinleitern und Oberflächenabflüsse.

Oberflächenabflüsse im Mischsystem

In den Jahren 1994 – 1995 ermittelten Rossi et al. (1997) im Oberflächenabfluss von fünf Quartieren in Lausanne Pb-Gehalte von 39 – 185 µg/l. Der mittlere Gehalt errechnete sich auf 79 µg/l. Zgheib et al. (2012) beprobten 2008 – 2009 drei Stadtteile in Paris (F), die im Trennsystem entwässern. Sie fanden Pb-Gehalte zwischen < 10 µg/l und 129 µg/l, der Mittelwert betrug 27 µg/l. In Oberflächenabflüssen Berliner Quartiere (Altbau-, Neubau- und EFH-Quartiere) wurden 2014 – 2015 Pb-Gehalte von 14 – 42 µg/l (Mittel: 28 µg/l) gemessen. Im Abfluss eines Gewerbegebiets und im Strassenablauf wurden weiter Pb-Gehalte von 142 µg/l und 53 µg/l bestimmt (Wicke et al., 2015). In Österreich wird für in Trennkanälen abgeführtes Wasser von einem mittleren Pb-Gehalt von 5 µg/l ausgegangen (BMLFUW, 2015). In der Schweiz betragen nach Hürlimann et al. (2011) die Pb-Gehalte im Strassenablauf 9 – 24 µg/l (Mittel: 17 µg/l, Daten bis zum Jahr 2010), im Dachablauf beläuft sich der Pb-Gehalt nach Messungen von Langbein und Mitarbeitern in den Jahren 2002 – 2003 auf weniger als 4 µg/l.

Der mittlere Pb-Gehalt im Schweizer Klärschlamm liegt relativ tief und damit liegen auch die Pb-Gehalte in Oberflächenabschwemmungen, die Kläranlagen zugeführt werden, in der Schweiz im unteren Bereich der oben genannten Werte. Es wird in dieser Arbeit angenommen, dass die Pb-Menge in Oberflächenabschwemmungen 80 % der Pb-Menge im behandelten Abwasser (9'200 kg x 0.8 ≈ 7'400 kg) beträgt. Ausgehend von einer Regenwassermenge von 1050 mm/a, einer im Mischsystem abflusswirksamen Fläche von 50'680 ha und einem der Versickerung zugeführten Wasservolumen von ca. 50 Mio. m³ nach Stauffer & Ort (2012) lässt sich errechnen, dass in Schweizer ARA pro Jahr ca. 480 Mio. m³ Regenwasser gelangen. Mit vorstehender Annahme errechnet sich der Pb-Gehalt im Oberflächenabfluss auf rund 15 µg/l.

Abläufe kommunale ARA

Aus der Differenz der Pb-Mengen im behandelten Abwasser (ca. 9'200 kg) und im Klärschlamm (ca. 9'000 kg) ergibt sich, dass zurzeit den Vorflutern ca. 200 kg Pb übergeben werden. Damit lässt sich ein Pb-Gehalt im ARA-Ablauf von ca. 0.1 µg/l errechnen. Messungen ergaben Folgendes: Untersuchungen im Jahr 2007 bei trockenem Wetter an sieben aufeinanderfolgenden Tagen im Ablauf (24h-Sammelproben) von 15 ARA im Kanton St. Gallen haben gezeigt, dass die Hälfte der Messwerte unterhalb der

Wasserstrom	Beschreibung
	<p>Bestimmungsgrenze von 0.05 µg/l lag. 95 %- und 98 %-Perzentile der 105 Proben lagen bei 0.65 µg/l und 0.95 µg/l (Hutter, 2009). Vriens et al. (2007) fanden im Ablauf von 57 über die ganze Schweiz verteilten ARA Pb-Gehalte zwischen 0.01 und 1.95 µg/l. Der Mittelwert von 0.2 µg/l lag höher als der Median von 0.06 µg/l. 95 %- und 98 %-Perzentile der 57 Proben errechnen sich auf 0.90 µg/l und 0.95 µg/l.</p>
Mischwasserentlastungen	<p>Gemäss Ausführungen von Stauer & Ort (2012) wird von einer Mischwasserentlastung bei Regenwetter in der Höhe von 35 % des ARA zugeführten Regenwasservolumens ausgegangen. Danach gelangen ca. 170 Mio. m³/a Abwasser ungeklärt direkt in die Vorfluter. Es wird hier geschätzt, dass dieses Volumen zu ca. 25 % aus industriellem und gewerblichem Abwasser sowie Haushaltsabwasser und zu ca. 75 % aus Oberflächenabschwemmungen von Strassen und Dächern besteht. Danach beträgt der Pb-Gehalt im Mischwasserüberlauf um 13 µg/l. Damit errechnet sich die Pb-Menge in der entlasteten Abwassermenge auf ca. 2'200 kg.</p> <p>Messungen zum Vorkommen von Pb in gemischtem Abwasser und in Mischwasserüberläufen wurden von Gasperi et al. (2011) bei einem starken Regenereignis im Jahr 2006 in Paris (F) vorgenommen. In Proben von 13 Standorten fanden sie (hohe) Pb-Gehalte zwischen 10 µg/l und 117 µg/l (Median: 39 µg/l).</p>
Industrielles und gewerbliches Abwasser (Direkteinleiter)	<p>Für das Jahr 2010 wurden die Bleieinträge der Industrie in Gewässer in das Rheineinzugsgebiet unterhalb der Seen mit 300 kg angegeben (IKSR, 2016). Daten aus dem Schadstoffregister «SwissPRTR» (BAFU, 2019a) zufolge, nach welchem Pb-Emissionen von jährlich 20 kg und mehr gemeldet werden müssen, finden durch die chemische Industrie seit dem Jahr 2009 schweizweit keine meldepflichtigen Emissionen mehr statt. Bis zum Jahr 2014 emittierte laut «SwissPRTR» eine heute stillgelegte Raffinerie durchschnittlich 50 kg Blei pro Jahr. Weiter meldeten im Zeitraum 2007 – 2011 Eisengiesereien Pb-Emissionen von insgesamt 3 – 85 kg pro Jahr. Aktuell betragen gemäss «SwissPRTR» die Direkteinleitungen jährlich um 30 kg (Durchschnitt der Jahre 2015 – 2017). Sie sind auf die Behandlung der Wäscherwasser in drei Kehrichtverbrennungsanlagen zurückzuführen. Der Rückgang der Emissionen der Industrie steht im Einklang mit einer im Auftrag des BAFU bei den kantonalen Fachstellen durchgeführten Erhebung zu Schadstoffeinträgen der Industrie und des Gewerbes in Gewässer. Diese ergab, dass jährlich um 10 kg Blei direkt in Gewässer geleitet werden (Braun & Gälli, 2014).</p>
Oberflächenabflüsse im Trennsystem	<p>Rund 30 % der Siedlungsflächen werden in der Schweiz im Trennsystem entwässert, die in diesem System abflusswirksame Fläche wird auf ca. 21'700 ha geschätzt (Stauer & Ort 2012). Mit der im Trennsystem abgeführten Regenwassermenge von ca. 230 Mio. m³/a und einem Pb-Gehalt im Oberflächenabfluss von 15 µg/l errechnen sich Gewässereinträge von ca. 3'500 kg/a.</p>
Deposition aus der Luft	<p>Nach der Arealstatistik des Bundesamts für Statistik beträgt die Gewässerfläche in der Schweiz ca. 177'000 ha, davon entfallen 80 % auf Seeflächen. Nach Modellierungen der EMEP wurden 2016 im Mittel 4.9 g Pb ha⁻¹ auf Gewässern deponiert, häufige Depositionsraten (10 %- bzw. 90 %-Perzentile) lagen zwischen 2.7 und 7.7 g Pb ha⁻¹ (MSC-E, 2019). Damit errechnen sich Pb-Einträge in Gewässer von ca. 900 kg/a.</p>
Erosion	<p>Prasuhn et al. (2007) geben den mittleren Bodenabtrag durch Erosion von Ackerflächen bei Pflügenbau und ohne winterliche Zwischenkulturen mit 2.1 t ha⁻¹ a⁻¹ an. Aufgrund heute veränderter Bewirtschaftung wird hier von der Hälfte dieses Bodenverlusts ausgegangen (Prasuhn, 2019). Davon gelangen 20 % in Gewässer (Grünig & Prasuhn, 2001). Mit einem Pb-Gehalt der Feinerde von 24 g/t nach Gubler et al.</p>

Wasserstrom	Beschreibung
	(2015) und der Ackerfläche einschliesslich Kunstwiesen von ca. 400'000 ha (Prasuhn & Möhring, 2016) errechnet sich die durch Erosion in Gewässer eingetragene Pb-Menge auf rund 2'000 kg/a.
Nicht an die Kanalisation angeschlossene Einwohner	Es wird von ca. 240'000 Einwohnern ausgegangen, die nicht an eine ARA angeschlossen sind. Der Anteil des Abwassers dieser Einwohner, der in Oberflächengewässer abläuft, wird weiter mit 20 % angenommen (Langenfeld et al., 1999). Mit einem Abwasseranfall von 100 l Einw. ⁻¹ d ⁻¹ und einem Pb-Gehalt des Abwassers von 1 µg/l errechnet sich die Pb-Fracht mit diesem Eintragspfad auf 2 kg/a.
Hofabläufe und Abdrift	Nach Braun et al. (2003) beträgt die Hofdüngermenge, die direkt in Oberflächengewässer gelangt 0.2 % des Hofdüngeranfalls. Nach Hürdler et al. (2015a) beträgt der Pb-Anfall mit Rinder- und Schweinegülle 5250 kg/a. Damit lässt sich abschätzen, dass mit Hofabläufen und Abdrift pro Jahr um 10 kg Pb in Gewässer gelangen.
Oberflächenabflüsse von unbefestigten Flächen	Mit diesem Eintragspfad wird die Pb-Menge erfasst, die durch Abschwemmung von Schweine- und Rindviehgülle mit dem Oberflächenabfluss von Grün- und Ackerflächen in Gewässer gelangt. Mit dem Modell «MODIFFUS» errechneten Hürdler et al. (2015a) Pb-Verluste von ca. 40 kg/a.
Drainagen	<p>Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des deutschen Umweltbundesamts wurden in Lysimeterversuchen insgesamt 340 Sickerwasserproben aus 16 Ackerböden von verschiedenen Standorten in Deutschland analysiert. Der Medianwert von 340 Proben (1983 – 2005) betrug 0.28 µg/l (Fuchs et al., 2010). Zum Vergleich massen Rieder et al. (2014) an fünf Waldstandorten im Bodenwasser in 10 cm und 50 cm Tiefe Pb-Gehalte zwischen 0.1 und 4 µg/l (Median: 0.85 µg/l) mit höheren Gehalten in grösserer Bodentiefe (P50 = 0.3 µg/l in 10 cm versus P50 = 1.8 µg/l in 50 cm Tiefe). Anhand der Daten zum Blei-Vorkommen im Bodenwasser und Boden errechnen sich Boden-Wasser-Verteilungskoeffizienten log Kd von 3.4 – 5.5 (Median: 4.7). Unter Annahme, dass der Pb-Gehalt im Drainagewasser gleich jenem in der Bodenlösung sei, der sich aus dem log Kd und dem Pb-Gehalt von Acker- und Graslandböden von 23.5 mg/kg gemäss Gubler et al. (2015) errechnen lässt, sind in der Bodenlösung ca. 0.5 µg Pb/l enthalten.</p> <p>Mit dem in deutschen Ackerböden gemessenen Wert von 0.3 µg Pb/l und dem Drainageabfluss von 890 Mio. m³ a⁻¹ nach Hürdler et al. (2015b) errechnen sich Pb-Gewässereinträge mit Drainagewasser von rund 270 kg/a.</p>
Grundwasserzufluss	<p>Die Pb-Emission mit diesem Eintragspfad wird aus dem Produkt des Grundwasserabflusses und der Pb-Konzentration im Grundwasser berechnet. In Analysen Schweizer Grund- und Quellwässer findet man in der Regel kein Blei über den Bestimmungsgrenzen, die in der konsultierten Literatur 0.5 µg Pb/l bzw. 1 µg Pb/l betragen (BAFU, 2009; WVZ, 2016a; WVZ, 2016b). Untersuchungen der deutschen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe haben gezeigt, dass der Median in deutschem Quellwasser (954 Messstellen) bei 0.11 µg/l liegt (Fuchs et al., 2010). In Grundwässern in Bayern wurde ein niedrigerer Medianwert von knapp 0.05 µg/l festgestellt (Wagner et al., 2003).</p> <p>Mit dem Sickerwasserfluss von 27'300 Mio. m³ pro Jahr nach Hürdler et al. (2015b) und unter Annahme eines Pb-Gehalts von 0.05 µg/l errechnet sich die Pb-Fracht mit dem Grundwasserzufluss auf ca. 1350 kg.</p>

Wasserstrom	Beschreibung
Fischereigewichte (Anglerblei)	Um den Eintrag von Anglerblei in die Gewässer ermitteln zu können, wurde – aufgeschlüsselt nach Fischart – ein «Bleiverlust-Faktor» (Montageverlust pro gefangenem Fisch) aufgrund von Interviews mit Fischereiaufsehern und Fischern abgeschätzt; dabei wurde zwischen Patent- und Freianglern (PA bzw. FA) unterschieden. Ausgehend von den Fangzahlen der Eidgenössischen Fischereistatistik und unten aufgeführten Annahmen lässt sich ein Bleieintrag in die Gewässer von 1.25 t errechnen.

Fischart	Einsatzgebiet	Montage [g]		Verlust pro Fang		Quelle
		PA	FA	PA	FA	
Cypriniden	Fliessgewässer	7.5	7.5	20 %	40 %	[1]
	Grosseen	30	7.5	5 %	10 %	[1], [2], [8]
	Klein- und Bergseen	30	7.5	10 %	10 %	[1], [2], [8]
	Staustufen	30	7.5	10 %	10 %	[1], [2], [8]
Egli	Fliessgewässer	30	30	15 %	10 %	[3], [7]
	Grosseen	8	30	1 %	2 %	[3], [4], [8]
	Klein- und Bergseen	8	30	5 %	10 %	[3], [4], [7]
Felchen	Staustufen	5	30	5 %	10 %	[5], [7], [8]
	Fliessgewässer	15	15	15 %	13.5 %	[1], [4]
	Grosseen	15	15	1 %	0.2 %	[4], [8]
Forellen	Klein- und Bergseen	15	15	6.5 %	13.5 %	[4], [7]
	Staustufen	15	15	6.5 %	13.5 %	[4], [7]
	Fliessgewässer	4.5	4.5	15 %	13.5 %	[1]
Hecht	Grosseen	80	4.5	1 %	0.2 %	[4], [8]
	Klein- und Bergseen	4.5	4.5	6.5 %	13.5 %	[1], [7]
	Staustufen	4.5	4.5	6.5 %	13.5 %	[1], [7]
	Fliessgewässer	80	80	15 %	10 %	[6], [7]
Saiblinge	Grosseen	80	80	1 %	2 %	[6], [8]
	Klein- und Bergseen	10	80	6.5 %	13.5 %	[4], [6], [7]
	Staustufen	80	80	6.5 %	13.5 %	[6], [7]
	Fliessgewässer	4.5	4.5	15 %	10 %	[7]
Andere	Grosseen	4.5	4.5	1 %	2 %	[7], [8]
	Klein- und Bergseen	4.5	4.5	6.5 %	13.5 %	[7]
	Staustufen	4.5	4.5	6.5 %	13.5 %	[7]
	Fliessgewässer	3.25	3.25	6.5 %	13.5 %	[1]
Andere	Grosseen	3.25	3.25	1 %	2 %	[1], [8]
	Klein- und Bergseen	3.25	3.25	6.5 %	13.5 %	[1], [7]
	Staustufen	3.25	3.25	6.5 %	13.5 %	[1], [7]

[1] Sternig (2017), [2] www.angelstunde.de/karpfenfischen/, [3] Leitfaden zum Fischfang am Schaffhauser Rhein, [4] Weingart (2018), [5] www.petri-heil.ch/systematisch-auf-egli/ [6] www.petri-heil.ch/das-perfekte-hechtgeraet/ [7] eigene Annahme, [8] Hertig (2018)

Fischereigewichte (Netze)	Aufgrund der Netzkosten von 250 – 1'000 CHF (Kugler, 2018) sind Berufsfischer darauf bedacht, die Verluste so gering wie möglich zu halten. Es wird von einem Verlust von durchschnittlich 1.5 Netzen pro Jahr und Berufsfischer ausgegangen. Der mittlere Bleianteil eines Fischernetzes wird mit 750 g angenommen. Mit der Anzahl Berufsfischer von 293 errechnen sich Verluste von 330 kg.
---------------------------	---

Einträge aus Bauten, Strassenausrüstungen und Fahrzeugteilen

Nachstehende Schätzungen zu Bleiverlusten aus Bauten und Strassenausrüstungen (Abschwemmungen von an Dächern verbauten Bleiblechen, Sanierung von mit Bleimennige korrosionsgeschützten Stahlobjekten, Nutzung stückgutverzinkter Stahlobjekte) sowie aus Fahrzeugteilen (Reifen- und Bremsenabriebe, Verlust von Auswuchtgewichten) ergeben Abwasser-, Gewässer- und/oder Bodeneinträge im Umfang von rund 2'000 kg. Dem stehen geschätzte (in dieser Höhe als plausibel erachtete) Abwasser- und Gewässereinträge von ca. 13'000 kg aus Dach- und Strassenabläufen gegenüber. Eine schlüssige Erklärung für die Diskrepanz kann nicht abgegeben werden.

Tabelle A2.2

Pb-Einträge in Abwasser, Oberflächengewässer und Böden aus spezifischen Quellen

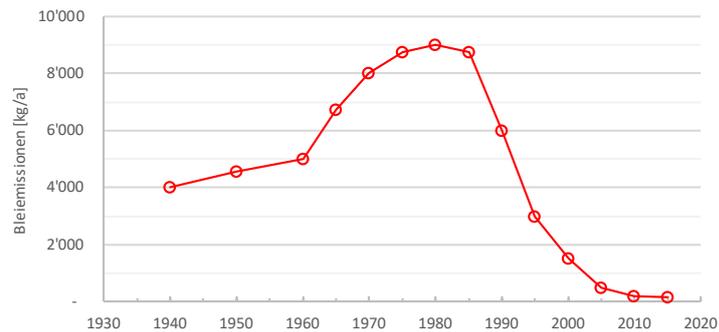
Erläuterungen zu den Schätzungen der Pb-Einträge

Quelle	Beschreibung																																				
Abschwemmungen von an Dächern verbauten Bleiblechen	<p>Nach einer im Jahr 2003 veröffentlichten Studie der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) beträgt die jährliche Abschwemmrate exponierter Bleibleche 4.68 g Pb m⁻². Für in der Schweiz exponiertes Walzblei (Pb0.06Cu) wurde von der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) ein Wert von 4.0 g Pb m⁻² a⁻¹ ermittelt (Faller, 2007). Für das in Deutschland verwendete, «Saturnblei» (Pb0.05Cu) wird die Abschwemmrate mit 4.27 g Pb m⁻² a⁻¹ angegeben (Hillenbrand et al., 2005). Weil Bleibleche bei kleinflächigen Anwendungen auch senkrecht verlegt und dadurch weniger benetzt werden, gibt die TNO die Abschwemmrate für Bleibleche in typischer Einbausituation (für Verwahrungen, An- und Abschlüsse) um rund den Faktor 6 tiefer mit 0.83 (0.57 – 1.07) g Pb m⁻² a⁻¹ an (zitiert in Hillenbrand et al., 2005). Für «Saturnblei» in dieser Einbausituation gehen Hillenbrand et al. (2005) noch von einer ca. 10 % tieferen Abschwemmrate von 0.76 g Pb m⁻² a⁻¹ aus. Für den kleinflächigen Einbau werden auch farbbeschichtete Bleibleche verwendet; bei diesen wird davon ausgegangen, dass kein Bleiabtrag erfolgt.</p> <p>Ausgehend von einer Dachfläche in der Schweiz von 400 km² und davon 2 % Dachfenstereinfassungen etc. mit je 0.1 m² Bleiverwahrungen sowie den in der untenstehenden Tabelle angenommenen Anwendungsanteilen und Überdeckungen lassen sich die Bleiemissionen mit Hilfe der entsprechenden Abschwemmraten wie nachstehend aufgeführt abschätzen (gerundet auf 2 relevante Stellen):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Einbausituation</th> <th>Abschwemmrate [g Pb m⁻² a⁻¹]</th> <th>Anwendung [%]</th> <th>Fläche [Mio. m²]</th> <th>Überdeckung [%]</th> <th>Emissionen [kg Pb a⁻¹]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>grossflächig exponiert</td> <td>4.27</td> <td>0.25 %</td> <td>0.0016</td> <td>15 %</td> <td>7.3</td> </tr> <tr> <td>kleinflächig exponiert</td> <td>4.27</td> <td>15 %</td> <td>0.12</td> <td>30 %</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>kleinflächig, eingebaut</td> <td>0.76</td> <td>55 %</td> <td>0.44</td> <td>30 %</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>kleinflächig, beschichtet</td> <td>0</td> <td>30 %</td> <td>0.24</td> <td>30 %</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>100 %</td> <td>0.80</td> <td></td> <td>600</td> </tr> </tbody> </table>	Einbausituation	Abschwemmrate [g Pb m ⁻² a ⁻¹]	Anwendung [%]	Fläche [Mio. m ²]	Überdeckung [%]	Emissionen [kg Pb a ⁻¹]	grossflächig exponiert	4.27	0.25 %	0.0016	15 %	7.3	kleinflächig exponiert	4.27	15 %	0.12	30 %	360	kleinflächig, eingebaut	0.76	55 %	0.44	30 %	230	kleinflächig, beschichtet	0	30 %	0.24	30 %	0	Total		100 %	0.80		600
Einbausituation	Abschwemmrate [g Pb m ⁻² a ⁻¹]	Anwendung [%]	Fläche [Mio. m ²]	Überdeckung [%]	Emissionen [kg Pb a ⁻¹]																																
grossflächig exponiert	4.27	0.25 %	0.0016	15 %	7.3																																
kleinflächig exponiert	4.27	15 %	0.12	30 %	360																																
kleinflächig, eingebaut	0.76	55 %	0.44	30 %	230																																
kleinflächig, beschichtet	0	30 %	0.24	30 %	0																																
Total		100 %	0.80		600																																

Die errechneten Bleiverluste von 600 kg pro Jahr gelangen zu unterschiedlichen Anteilen in die Misch- und Trennkanalisation sowie zur Versickerung.

Nutzung und Sanierung von mit Bleimennige korrosionsgeschützten Stahlobjekten

Aufgrund von fehlenden oder ungenügenden Rückhaltmassnahmen gelangte früher im Korrosionsschutz eingesetztes Bleimennige bei Sanierungen an Stahlbauten durch das Sandstrahlen in die Umwelt. Da die Bleiemissionen ohne grosse Abluftströme im Nahbereich der Objekte abgelagert wurden, resultierten schwere Bodenbelastungen. Im Falle von Arbeiten an Brücken erfolgten auch Bleieinträge in Gewässer. Nachstehende Abbildung zeigt eine Schätzung der durch Sanierungsarbeiten an bleihaltigen Objekten verursachten Bleiemissionen im Zeitraum 1940 – 2015 (bfa, 1999). Die im Jahr 1999 erstellte Prognose für die Bleiemission des Jahres 2015 im Umfang von 150 kg erfolgte unter Berücksichtigung der vom BAFU in einer Vollzugshilfe (Schürmann & Stolz, 2004) empfohlenen Rückhaltmassnahmen.

Quelle
Beschreibung


In gewissem, aber nicht abschätzbarem Umfang finden in der Nutzungsphase Bleifreisetzungen an Objekten statt, wo infolge abgewitterter Deckbeschichtung die Bleimennige enthaltende Grundbeschichtung freigelegt ist. Neben Grossobjekten wie Brücken, Tanks oder Masten dürfte eine Vielzahl Kleinobjekte wie Geländer betroffen sein.

Nutzung stückgutverzinkter Stahlobjekte

Für in der Schweiz exponierten feuerverzinkten Stahl ermittelte Faller (2007) eine Abschwemmrate von $2.4 \text{ g Zn m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Bei Bleigehalten in der Zinkschicht von 0.3 – 0.8 % nach Zangl et al. (2010) errechnet sich die Abschwemmrate von Blei in erster Näherung auf $0.007 - 0.019 (\approx 0.013) \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

In Kapitel 4.4.1 wurde der Verbrauch von stückgutverzinktem Stahl in der Schweiz für den Zeitraum 2014 – 2016 auf 190'000 t pro Jahr geschätzt. Es wird angenommen, dass davon 45 % im Bauwesen und ca. 10 % in der Strassenausrüstung für Bauteile wie Träger, Stützen, Geländer, Fahrleitungsmasten, Kandelaber oder Leitplanken verwendet werden. Unter Annahme spezifischer Oberflächen von 45 m^2 pro Tonne im Bauwesen und 60 m^2 pro Tonne in der Strassenausrüstung resultieren jährlich verzinkte Oberflächen in der Höhe von 3.85 Mio. m^2 bzw. 1.15 Mio. m^2 ($\approx 5 \text{ Mio. m}^2$). Um die exponierten Flächen zu erhalten, müssen einerseits Abzüge aufgrund der räumlichen Ausrichtung gemacht werden, in Anlehnung an die Arbeit von Hillenbrand et al. (2005) werden sie für das Bauwesen mit 20 % und für die Strassenausrüstung infolge der Mehrfachbenetzung mit Spritzwasser nur mit 5 % veranschlagt. Andererseits sind jene Objekte nicht exponiert, die mit einer organischen Beschichtung versehen sind. Ihr Anteil wird heute mit 50 % angenommen. Für die Abschätzung der exponierten Flächen wird angenommen, dass die verzinkte Fläche von Objekten im Bauwesen im Zeitraum 1977 – 2016 von 2.6 Mio. m^2 pro Jahr auf 3.85 Mio. m^2 pro Jahr und der Anteil Objekte mit organischer Beschichtung in diesem Zeitraum von 10 % auf 50 % zugenommen hat. Bei Strassenausrüstungen ist die Annahme, dass die jährlich installierte Fläche von 0.09 Mio. m^2 im Jahr 1992 (davon 25 % Objekte mit Beschichtung) bis zum Jahr 2016 auf 1.15 Mio. m^2 (davon 50 % Objekte mit Beschichtung) anstieg.

Verwendung	Abschwemmrate [g Pb m ⁻² a ⁻¹]	Fläche [Mio. m ²]	Emissionen [kg Pb a ⁻¹]
Bauwesen exponiert	0.013	≈ 70	≈ 900
Strassenausrüstung exponiert	0.013	≈ 15	≈ 200

Die grob abgeschätzten Bleiemissionen von rund 1'000 kg dürften hauptsächlich in Böden, daneben in die Misch- oder Trennkanalisation gelangen.

Reifenabriebe

Nach einer jüngst publizierten Studie wird die jährliche Reifenabriebmenge in der Schweiz auf ca. 10'600 t geschätzt (Sieber et al., 2020). In einem Bericht der deutschen Bundesanstalt für Strassenwesen wird der Bleigehalt in Reifen der Jahre 1980 bis 2003 mit 18 g/t angegeben (Kocher et al., 2010). Damit lässt sich schätzen, dass im abgeriebenen Gummi rund 200 kg Blei enthalten waren.

Quelle	Beschreibung
--------	--------------

Nach den Modellierungen von Sieber et al. (2020) gelangten von den Abrieben um 55 % in strassennahe Böden, ca. 20 % in die Mischwasserkanalisation und rund 15 % in die Strassenabwasserbehandlung.

Bremsabriebe

In der EU und der Schweiz wurde der Bleigehalt in den Reibmaterialien von Bremsbelägen für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge im Jahr 2003 bzw. 2005 limitiert. Es wurde vorerst der Einsatz von Bleiverbindungen (z.B. Bleisulfid) verboten und der Einsatz von metallischem Blei auf Kupferlegierungen (z.B. Messing) beschränkt. Heute gilt in der EU und in der Schweiz ein Grenzwert von 0.1 % bezogen auf das Reibmaterial. Im Jahr 2009 wurden in der Schweiz rund 80 für Personenwagen (PKW) bestimmte Bremsbeläge auf das Vorkommen von Blei und anderen Elementen untersucht. Für Blei wurde ein Gehalt von 58 mg/kg (Median) bestimmt. Beiläufig wurden drei für Motorräder bestimmte Beläge erhoben und analysiert. Es wurden Bleigehalte von 160 mg/kg, 390 mg/kg sowie 5'700 mg/kg gefunden (Stahl et al., 2011). Für Lastwagen (LKW) werden Bleigehalte von 260 mg/kg in Scheiben- und 100 mg/kg in Trommelbremsbelägen angegeben.

Für die Höhe der Bremsbelagsabriebe der verschiedenen Fahrzeugtypen wird auf die Angaben von Hillenbrand et al. (2005) zurückgegriffen. Die unten aufgeführten Bleiemissionen errechnen sich schliesslich aus den Fahrleistungen, die in FOEN (2019) ausgewiesen sind.

Fahrzeugtyp	Abrieb [mg Pb Fz-km ⁻¹]	Fahrleistung [Mio. Fz-km]	Emissionen [kg Pb a ⁻¹]
Zweiräder	0.003	2024	5
Personenwagen	0.001	55051	42
leichte Nutzfahrzeuge	0.001	4139	3
schwere Nutzfahrzeuge	0.012	2235	27
Reisebusse	0.017	137	2
Stadtbusse	0.017	266	5

Die errechneten Bleiverluste von rund 80 kg pro Jahr gelangen zu unterschiedlichen Anteilen in die Misch- und Trennkanalisation sowie zur Versickerung.

Verlust von Auswuchtgewichten

Die Verwendung von Auswuchtgewichten aus Blei an Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen ist in der Schweiz und der EU verboten. Schätzungsweise 500 kg Blei gelangen so durch Verlust der Gewichte nicht in die Umwelt (Annahme: Bei 1 % der Fahrzeuge, die neue Reifen erhalten, gehen die Gewichte an einem Rad verloren). Untenstehende Tabelle zeigt die Bleiverluste für andere Fahrzeuge, wie sie sich in Anlehnung an eine Arbeit von Hillenbrand et al. (2015) errechnen lassen.

Fahrzeugtyp	Bestand	Verlust [mg Fz ⁻¹]	Verlust [kg a ⁻¹]
Motorräder	709'874	54	38
schwere Nutzfahrzeuge	51'478	286	15
Reisebusse	2'894	429	1
Stadtbusse	5'410	429	2
Landwirtschafts- und Industriefahrzeuge	258'250	115	30

Die Bleiverluste im Umfang von rund 90 kg gelangen in strassennahe Böden, in Schlammsammler von Strassenabläufen oder Strassenabwasserbehandlungsanlagen und tragen letztlich zur Belastung von Böden und Gewässern mit Blei bei.

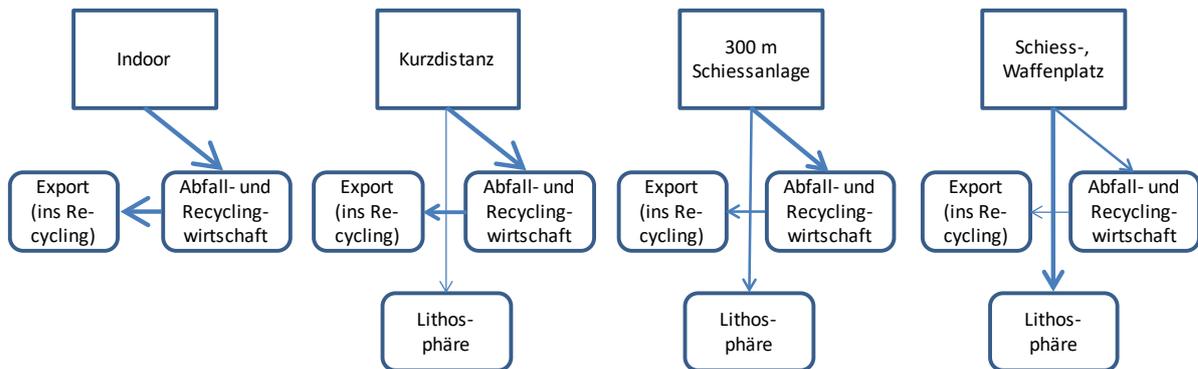
Einträge mit Munition in Böden und Kugelfangkästen

In Abhängigkeit des Einsatzorts gelangt bleihaltige Munition in unterschiedlichen Anteilen in Böden (Lithosphäre) oder emissionsfreie Kugelfangsysteme (Abfall- und Recyclingwirtschaft).

Abbildung A2

Stoffströme mit Munition

Die Abbildung visualisiert die jeweilige Bedeutung der Einträge bleihaltiger Munition in Böden (Lithosphäre) und Kugelfangkästen (Abfall- und Recyclingwirtschaft) in Abhängigkeit des Einsatzorts mit qualitativen Pfeildicken.



In nachstehender Tabelle finden sich Erläuterungen zum Verbrauch an Blei mit Munition sowie dessen Verbleib differenziert nach «Verwendern» (Armee, Polizei und Grenzwachtkorps, ausserdienstliches Schiessen und dynamisches Schiessen) sowie Einsatzort (Indooranlagen, Kurzdistanzanlagen, Schiessanlagen sowie Waffen- und Schiessplätze).

Tabelle A2.3

Pb-Einträge in Schiessanlagen mit Munition

Erläuterungen zu den Schätzungen des Verbrauchs und dem Verbleib

Verwender	Beschreibung																				
Armee	Von der Armee verwendete Ordonanzmunition für Gewehre und Pistolen sind «GP11» mit 8.12 g Blei, «GP90» mit 2.98 g Blei, «Pist Pat 41/14» mit 6.08 g Blei sowie «Pist Pat 03/Para FMI» mit 4.42 g Blei. Laut Auskunft der Armasuisse wurden im Durchschnitt der Jahre 2014–2016 durch die Armee für Übungszwecke Munition mit einem Bleiinhalt von rund 80 t verschossen (Keiser, 2018). Die Aufteilung auf den Ort des Munitionseinsatzes erfolgte aufgrund von Abschätzungen der Armasuisse wie auch Berechnungen des Auftragnehmers. Auch die Abschätzung des Verbleibs des verschossenen Bleis beruht auf einer Einschätzung des Auftragnehmers.																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Verbrauch und Verbleib der Munition</th> <th>Indoor-anlagen</th> <th>Kurz-distanzanla-gen</th> <th>Schiess-anlagen</th> <th>Waffen- und Schiessplätze</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verbrauch</td> <td>< 1</td> <td>26</td> <td>13</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Eintrag in Böden</td> <td>0</td> <td>≈ 3</td> <td>≈ 3</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Eintrag in Kugelfangkästen</td> <td>< 1</td> <td>23</td> <td>10</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>	Verbrauch und Verbleib der Munition	Indoor-anlagen	Kurz-distanzanla-gen	Schiess-anlagen	Waffen- und Schiessplätze	Verbrauch	< 1	26	13	40	Eintrag in Böden	0	≈ 3	≈ 3	24	Eintrag in Kugelfangkästen	< 1	23	10	16
Verbrauch und Verbleib der Munition	Indoor-anlagen	Kurz-distanzanla-gen	Schiess-anlagen	Waffen- und Schiessplätze																	
Verbrauch	< 1	26	13	40																	
Eintrag in Böden	0	≈ 3	≈ 3	24																	
Eintrag in Kugelfangkästen	< 1	23	10	16																	
Polizei und Grenzwachtkorps	Die Polizei und das Grenzwachtkorps verwenden Munition des Typs «Styx Action .223» mit 3.27 g Blei sowie Ordonanzmunition der Typen «GP90» mit 2.98 g Blei, und «Pist Pat 41/14» mit 6.08 g Blei.																				

Verwender	Beschreibung																				
	<p>Zur Abschätzung des Munitionsverbrauchs der Polizei wurde auf Angaben der Kantonspolizei Zürich (Kapo Zürich) abgestützt (Milius, 2018). Das Korps des Kantons umfasst rund 3'000 Angehörige, kumuliert über alle Kantone sind es um 18'000. Da der Kanton Zürich über überdurchschnittlich viele nicht bewaffnete Polizisten verfügt, wurde für die Hochrechnung ein Faktor von 7 verwendet. Daten für das Grenzwachtkorps wurden vom Eidgenössischen Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) erhalten (Mouchet, 2018). Die Grobschätzung ergibt, dass jährlich Munition mit einem Bleiinhalt von rund 40 t verschossen wird. Die Aufteilung auf den Ort des Munitionseinsatzes erfolgte aufgrund von Abschätzungen der Experten der Kapo Zürich bzw. des VBS. Die Abschätzung des Verbleibs des verschossenen Bleis beruht auf einer Einschätzung des Auftragnehmers.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i></th> <th><i>Indoor-anlagen</i></th> <th><i>Kurz-distanzanlagen</i></th> <th><i>Schiessanlagen</i></th> <th><i>Waffen- und Schiessplätze</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Verbrauch</i></td> <td>12</td> <td>25</td> <td>< 1</td> <td>< 1</td> </tr> <tr> <td><i>Eintrag in Böden</i></td> <td>0</td> <td>≈ 3</td> <td>≈ 0</td> <td>< 1</td> </tr> <tr> <td><i>Eintrag in Kugelfangkästen</i></td> <td>12</td> <td>22</td> <td>< 1</td> <td>≈ 0</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i>	<i>Indoor-anlagen</i>	<i>Kurz-distanzanlagen</i>	<i>Schiessanlagen</i>	<i>Waffen- und Schiessplätze</i>	<i>Verbrauch</i>	12	25	< 1	< 1	<i>Eintrag in Böden</i>	0	≈ 3	≈ 0	< 1	<i>Eintrag in Kugelfangkästen</i>	12	22	< 1	≈ 0
<i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i>	<i>Indoor-anlagen</i>	<i>Kurz-distanzanlagen</i>	<i>Schiessanlagen</i>	<i>Waffen- und Schiessplätze</i>																	
<i>Verbrauch</i>	12	25	< 1	< 1																	
<i>Eintrag in Böden</i>	0	≈ 3	≈ 0	< 1																	
<i>Eintrag in Kugelfangkästen</i>	12	22	< 1	≈ 0																	
Ausserdienstliches Schiessen	<p>Im ausserdienstlichen Schiessen kommt Ordonanzmunition der Typen «GP11» mit 8.12 g Blei, «GP90» mit 2.98 g Blei sowie «Pist Pat 41/14» mit 6.08 g Blei zum Einsatz.</p> <p>Zum ausserdienstlichen Schiessen gehören sämtliche Schiessaktivitäten, welche mit Ordonanzmunition ausgeführt werden, also mit Munition, welche vom VBS bezogen wird. Dazu gehören folgende Aktivitäten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obligatorisches Schiessen - Eidgenössisches Feldschiessen - Historische Schiessen - Schiessaktivitäten lokaler Schützenvereine, bei denen Ordonanzmunition zum Einsatz kommt <p>Die Angaben zum Munitionsverbrauch im ausserdienstlichen Schiessen stammen vom VBS (Stucki, 2018). Danach wurden im Durchschnitt der Jahre 2014 – 2016 im ausserdienstlichen Schiessen Munition mit einem Bleiinhalt von 175 t verbraucht. Die Aufteilung auf den Ort des Munitionseinsatzes erfolgte aufgrund von Abschätzungen eines Experten des Bundesamts für Umwelt (Lepke, 2020) und Berechnungen des Auftragnehmers. Die historischen Schiessen wurden den Schiessplätzen zugeordnet, obwohl diese teilweise auf freiem Feld stattfinden. Da aber häufig mobile Kugelfänge aufgestellt werden, scheint diese Zuordnung gerechtfertigt. Die Abschätzung des Verbleibs des verschossenen Bleis beruht auf einer Einschätzung des Auftragnehmers.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i></th> <th><i>Indoor-anlagen</i></th> <th><i>Kurz-distanzanlagen</i></th> <th><i>Schiessanlagen</i></th> <th><i>Waffen- und Schiessplätze</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Verbrauch</i></td> <td>≈ 2</td> <td>13</td> <td>110</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td><i>Eintrag in Böden</i></td> <td>0</td> <td>≈ 1</td> <td>34</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td><i>Eintrag in Kugelfangkästen</i></td> <td>≈ 2</td> <td>12</td> <td>76</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i>	<i>Indoor-anlagen</i>	<i>Kurz-distanzanlagen</i>	<i>Schiessanlagen</i>	<i>Waffen- und Schiessplätze</i>	<i>Verbrauch</i>	≈ 2	13	110	48	<i>Eintrag in Böden</i>	0	≈ 1	34	29	<i>Eintrag in Kugelfangkästen</i>	≈ 2	12	76	19
<i>Verbrauch und Verbleib der Munition</i>	<i>Indoor-anlagen</i>	<i>Kurz-distanzanlagen</i>	<i>Schiessanlagen</i>	<i>Waffen- und Schiessplätze</i>																	
<i>Verbrauch</i>	≈ 2	13	110	48																	
<i>Eintrag in Böden</i>	0	≈ 1	34	29																	
<i>Eintrag in Kugelfangkästen</i>	≈ 2	12	76	19																	
Dynamisches Schiessen	<p>Bis Ende 2017 konnten die Mitglieder des Schweizer Verbandes dynamischer Schützen (SVDS) Ordonanzmunition der Typen «GP11» mit 8.12 g Blei, «GP90» mit 2.98 g Blei sowie «Pist Pat 41/14» mit 6.08 g Blei</p>																				

Verwender	Beschreibung
-----------	--------------

verwenden, seither können sie keine Ordonanzmunition mehr beziehen. Als Ersatz für «GP90» kommt bleifreie Munition des Typs «TopShot» von Sellier Bellot zum Einsatz. Weiter werden im dynamischen Schiessen «Lapua»-Munition mit 10.0 g Blei und in geringem Ausmass auch verschiedene Schrotmunitionen (ca. 35 g Blei) verwendet.

Der mit dem dynamischen Schiessen verbundene Bleiverbrauch und die Zuordnung auf den Ort des Munitionseinsatzes wurden nach Angaben des SVDS abgeschätzt (Steiger, 2018) und sind als grobe Schätzung zu verstehen. Die Abschätzung des Verbleibs des verschossenen Bleis beruht auf einer Einschätzung des Auftragnehmers.

Verbrauch und Verbleib der Munition	Indoor-anlagen	Kurz-distanzanlagen	Schiess-anlagen	Waffen- und Schiessplätze
Verbrauch	≈ 11	0	0	≈ 8
Eintrag in Böden	0	0	0	≈ 5
Eintrag in Kugelfangkästen	≈ 11	0	0	≈ 3

Jagd (Treffsicherheitsnachweise)

Das Schiessprogramm für den jährlich zu wiederholenden Treffsicherheitsnachweis nach dem Standard der Jagd- und Fischereiverwalter-Konferenz der Schweiz (JFK) sieht 4 Schuss / 4 Treffer mit der Kugel und 4 Schuss / 4 Treffer mit Schrot vor. Die 12 resp. 4 Schüsse aus der unten anschliessenden Tabelle enthalten die obligatorischen Schüsse plus je 4 Probeschüsse. Vorgaben welche Schiessanlagen (Scheiben/Kipphase/Rollhase) dazu benutzt werden dürfen, macht der zuständige Kanton.

Treffsicherheitsnachweis	Notwendige Schüsse [n]	Jäger und Wildhüter [n]	Total Schüsse [n]	Menge Blei [t Pb/a]
Kantone mit Obligatorium	12	20'000	240'000	5.2
Kantone ohne Obligatorium*	4	1'100	4'400	0.94
Total (gerundet)		21'000	240'000	6.1

*Zum Erhebungszeitpunkt

Der Treffsicherheitsnachweis erfolgt in der Regel in Jagdschiessanlagen (Kurzdistanzanlagen). Die JFK führt eine Liste mit rund 180 anerkannten Schiessständen. Die Kantone können eigene Listen mit zusätzlichen Schiessständen führen. Es wird angenommen, dass der Blei-Eintrag je hälftig in Kugelfangkästen und dem Boden erfolgt.

A.3 Belastung der Umwelt und des Menschen mit Blei

A.3.1 Belastung durch Schwebestaub

Im Jahr 2019 mass man an 25 ruralen, urbanen sowie verkehrsbeeinflussten Standorten in der Schweiz Jahresmittelwerte von Blei im Schwebestaub (PM10) von 2 – 5 ng/m³. An 17 Standorten im Jahr 1990 betrug die Spannweite der Jahresmittel 20 – 600 ng/m³ (BAFU, 2019b). Der in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) festgelegte Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel von Blei in PM10 von 500 ng/m³ (vgl. Anhang A.4) wird heute an Standorten des «Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe» (NABEL) sicher eingehalten (Tabelle A3.1).

Tabelle A3.1

Blei im Schwebestaub (PM10)

Jahresmittel von Blei in PM10 im Zeitraum 1990 – 2019 in Nanogramm pro Kubikmeter (ng/m³) an NABEL-Standorten. Mit einem Stern (*) markierte Standorte sind Stationen von kantonalen Beobachtungsnetzen. Die für die Jahre 1995 in Bodio sowie 2010 in Biberist-Ost aufgeführten Werte wurden 1994 bzw. 2011 gemessen, seit dem Jahr 1995 ist der Standort Bodio aufgrund der Schliessung des Elektrostahlwerks nicht mehr durch Emissionen dieses Werks beeinflusst.

Station	Zonentyp	Stationstyp	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Magadino-Cadenazzo	Ländlich	Hintergrund	150	61	18	10	7	4	3
Payerne	Ländlich	Hintergrund	80	29	12	7	5	3	3
Rigi-Seebodenalp	Ländlich	Hintergrund	33	12	5	5	4	2	2
Tänikon	Ländlich	Hintergrund	60	24	12	9	6	4	3
Basel-Binningen	Vorstädtisch	Hintergrund	70	32	16	11	6	4	3
Dübendorf-EMPA	Vorstädtisch	Hintergrund	120	38	14	10	6	4	3
Lugano-Università	Städtisch	Hintergrund	180	78	25	18	8	5	4
Zürich-Kaserne	Städtisch	Hintergrund	110	42	15	11	6	4	3
Härkingen-A1	Ländlich	Verkehr	139	65	18	14	7	5	4
Sion-Aéroport-A9	Ländlich	Verkehr	170	100	23	12	6	6	4
Bern-Bollwerk	Städtisch	Verkehr	311	122	22	15	8	4	5
Lausanne-César-Roux	Städtisch	Verkehr	207	100	21	12	6	3	2
Bodio*	Vorstädtisch	Industrie		180	19	10			
Biberist-Ost*	Vorstädtisch	Industrie					88		

Quelle: BAFU (2019b)

Messungen an städtischen Standorten, die wenig und stark durch den Verkehr beeinflusst sind, sowie an vorstädtischen und ländlichen Standorten zeigen, dass die früher beobachteten Konzentrationsunterschiede von Blei in PM10 heute fast verschwunden sind. Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung und zu Quellen von PM10 von Hüglin et al. (2012) zwischen 1998 und 1999 ergaben, dass sich Blei zusammen mit Arsen, Cadmium, Selen, Magnesium, Rubidium oder Kalium jener Gruppe mit Elementen zuordnen liess, deren Konzentrationen keine ausgeprägte Abhängigkeit vom Standorttyp aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass die hauptsächlichen Quellen dieser Elemente entweder in der Schweiz räumlich recht gleichmässig verteilt sind (Quellen nicht vorwiegend in den Städten), oder diese Elemente keine bedeutenden Emissionsquellen in der Schweiz haben²⁰.

²⁰ Nach Hüglin et al. (2012) wurden Kalium und Rubidium in dieser Gruppe erwartet, weil deren Emissionen der Verbrennung von Biomasse – einer Tätigkeit, die nicht verstärkt in den Städten stattfindet – zugeordnet werden können. Arsen und Selen werden in der Gruppe erwartet, da sie mit Emissionen aus der Verbrennung von Kohle und Schweröl in Verbindung gebracht werden, Emissionsquellen also, die in der Schweiz kaum vorkommen.

A.3.2 Belastung durch Staubniederschlag

Die Bestimmung des Staubniederschlags und seiner Inhaltsstoffe erfolgt durch Sammlung jeweils über einen Monat des nassen und trockenen Niederschlags in sog. Bergerhofftöpfen. Nach dem Eindampfen wird aus dem Rückstand die Staubniederschlagsmenge gravimetrisch ermittelt und das im Niederschlag enthaltene Blei analysiert. Daten zum Vorkommen von Blei im Staubniederschlag über einen Zeitraum von rund 30 Jahren an verschiedenen Stations- und Zonentypen des «Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe» (NABEL) zeigen eine abnehmende Belastung mit Blei. Die höchste Deposition findet an städtischen, durch den Strassenverkehr beeinflussten Messstationen statt (vgl. Tabelle A3.2). Die aktuell gemessenen Gehalte von $1 - 12 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ unterschreiten den Immissionsgrenzwert für Blei im Staubniederschlag (vgl. Anhang A.4) von $100 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ deutlich. Bei den in der Tabelle A3.2 aufgeführten vorstädtischen durch die Industrie beeinflussten Stationen handelt es sich um Standorte aus einem kantonalen Beobachtungsnetz. Hier sind die Bleiwerte durch Emissionen eines Elektrostahlwerks beeinflusst (vgl. auch Ausführungen in Kap. 5.2.3). Seit der Sanierung des Werks im Jahr 1998 lässt sich der Immissionsgrenzwert für Blei im Staubniederschlag einhalten (AfU SO, 2020); im Jahr 2019 wurden an den zwei Messstationen Jahresmittel für die Deposition um $50 \mu\text{g Pb m}^{-2} \text{d}^{-1}$ gemessen.

Tabelle A3.2

Bleideposition aus der Luft

Jahresmittel von Blei im Staubniederschlag im Zeitraum 1990 – 2019 in Gramm (g) pro Hektare (ha) und Jahr an NABEL-Standorten. Mit einem Stern (*) markierte Standorte sind Stationen eines kantonalen Beobachtungsnetzes.

Station	Zonentyp	Stationstyp	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Lägeren	Ländlich	Hintergrund	66	30					
Magadino-Cadenazzo	Ländlich	Hintergrund		95	48	21	17	16	13
Payerne	Ländlich	Hintergrund	49	22	13	8	6	4	4
Rigi-Seebodenalp	Ländlich	Hintergrund		25	19	15	14	9	5
Tänikon	Ländlich	Hintergrund	78	24					
Basel-Binningen	Vorstädtisch	Hintergrund	77	39	20	20	12	8	8
Dübendorf-EMPA	Vorstädtisch	Hintergrund	108	42					
Lugano-Università	Städtisch	Hintergrund	292	90					
Zürich-Kaserne	Städtisch	Hintergrund	215	107	45	39	24	19	19
Härkingen-A1	Ländlich	Verkehr		93	43	27	14	9	8
Sion-Aéroport-A9	Ländlich	Verkehr	160	50					
Bern-Bollwerk	Städtisch	Verkehr		123	71	73	37	24	21
Lausanne-César-Roux	Städtisch	Verkehr		301	115	109	62	94	35
Biberist-Schachen*	Vorstädtisch	Industrie				522	336	288	190
Biberist-Ost*	Vorstädtisch	Industrie				380	204	285	164

Quelle: BAFU (2019b)

In der Schweiz und weiteren europäischen Ländern werden Bleiimmissionen aus der Luft im Rahmen eines Arbeitsprogrammes unter der Genfer Luftreinhaltkonvention über Messungen in Moosen überwacht. Moose werden dabei als Indikator genutzt, da sie keine Wurzeln haben und somit Wasser, Nähr- und Schadstoffe wie Blei ausschliesslich aus der Luft aufnehmen. Tabelle A3.3 zeigt die Mediane der Bleikonzentrationen in Moosen von 1990 bis 2015 für die fünf naturräumlichen Regionen der Schweiz. In diesem Zeitraum haben die gemessenen Bleigehalte um ca. 85% abgenommen, was das Bild der abnehmenden Deposition von Blei aus der Luft bestätigt.

Tabelle A3.3

Bleigehalte von Moosen in der Schweiz

Mediane (Jahresmittel in $\mu\text{g}/\text{kg}$ bezogen auf die Trockensubstanz) der Bleigehalte in Moosen in der Schweiz von 1990 bis 2015 zur Überwachung der Immissionen aus der Luft. Untersucht wurden Moose aus den fünf naturräumlichen Regionen der Schweiz.

Region	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Jura	16.2	5.9	2.9	3.2	2.4	2.2
Mittelland	16.8	6.3	3.6	3.5	2.0	2.4
Nordalpen	15.5	6.5	2.4	2.2	2.1	1.8
Zentralalpen	14.8	5.4	1.8	1.8	1.3	1.2
Südalpen	19.8	12.2	3.4	5.7	1.9	2.5

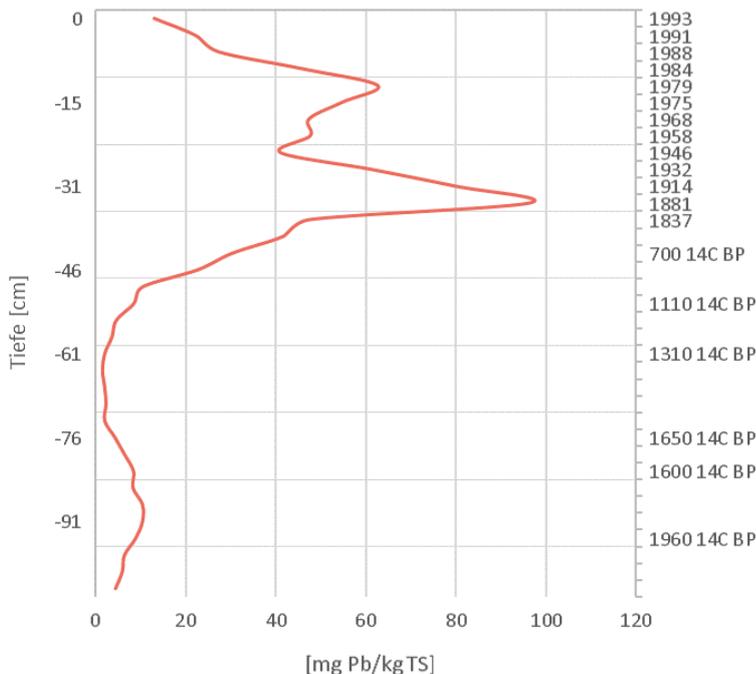
Quelle: BAFU (2018)

Hochmoore werden durch Niederschläge mit Wasser und Nährstoffen versorgt, durch nasse und trockene Deposition aus der Luft erfolgen auch Einträge nicht essentieller Schwermetalle wie Blei. Nachdem sich auf der Mooroberfläche abgelagertes Blei nicht weiter in die Tiefe verlagert, eignen sich Torfkerne für die Zurückverfolgung des Ausmasses der erfolgten Bleieinträge aus der Luft. Abbildung A3.1 zeigt beispielhaft den Verlauf der Pb-Gehalte in einem rund 100 cm langen Kern aus dem in den Schweizer Freibergen (in einer Höhe von 1'000 m) gelegenen Hochmoor bei Etang de la Gruère. Die Spitzen in den Bleigehalten in den Jahren 1881 ± 31 und 1979 ± 2 führen Shotyk et al. (2002) einerseits auf die europäische Bleigewinnung und Kohlefeuerungen und andererseits auf verbleites Benzin zurück. In anderen Torfkernen aus der Westschweiz und dem Schweizer Mittelland wurde eine ähnliche Chronologie der Bleideposition festgestellt (Weiss et al., 1999).

Abbildung A3.1

Bleigehalte in einem Torfkern aus dem Schweizer Jura

Bleigehalte in Abhängigkeit der Torftiefe. Die radiometrische Datierung erfolgte mit der ^{210}Pb -Methode in den oberen Schichten und mit der ^{14}C -Methode in den unteren Schichten (unkalibrierte ^{14}C -Daten).



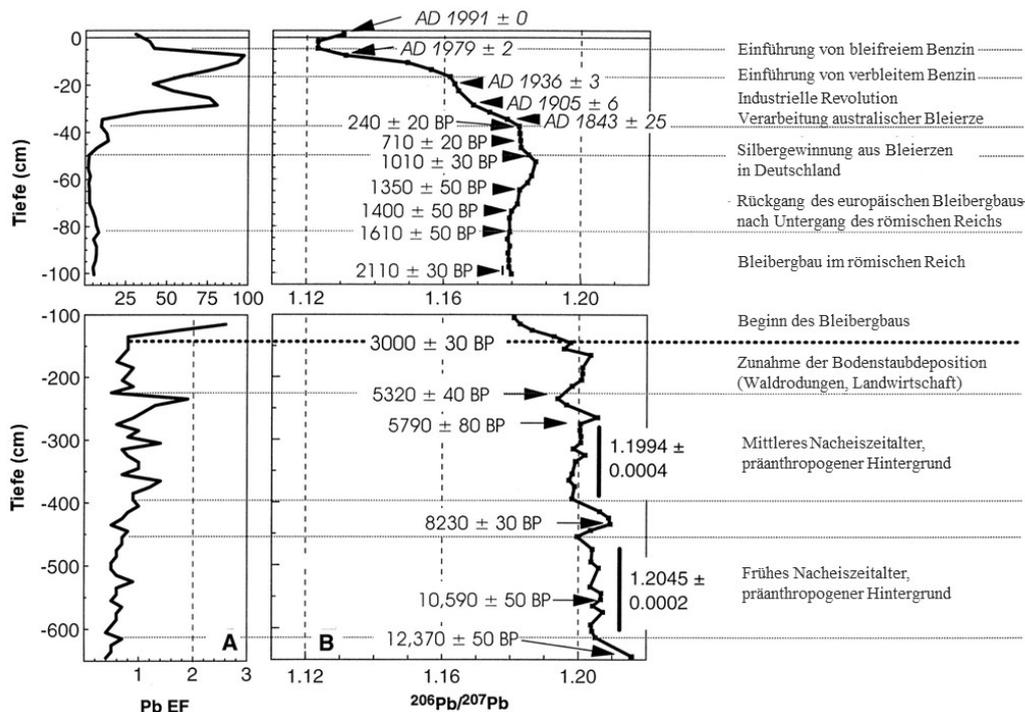
Quelle: Shotyk et al. (2002)

Anhand eines weiteren, 6.5 m langen Kerns aus dem Etang de la Gruère liessen sich die atmosphärischen Blei-einträge über einen Zeitraum von rund 14'500 Jahren rekonstruieren (Shotyk et al., 1998). Die radiometrische Datierung des Torfkerns erfolgte mit der ^{210}Pb -Methode in den oberen Schichten und mit der ^{14}C -Methode in den unteren Schichten. Für die Bestimmung der lithogenen Bleikomponente und des Anreicherungs-faktors (EF_{Pb}) wurde Scandium (Sc) als Referenzelement mitgemessen, die Bestimmung des Isotopenverhältnisses von ^{206}Pb zu ^{207}Pb lieferte Hinweise zur Herkunft des Bleis. Steigende Pb/Sc- und sinkende $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -Verhältnisse beginnend vor 3'000 Radiocarbonjahren (^{14}C -Jahre BP) weisen auf die anfangende anthropogene Bleibelastung durch den Bleibergbau hin. Markante Blei-Anreicherungen findet man im 19. Jahrhundert bedingt durch die industrielle Entwicklung und ab dem Jahr 1949 bedingt durch die Einführung von verbleitem Benzin (Abbildung A3.2).

Abbildung A3.2

Blei-Anreicherung (A) und Blei-Isotopenverhältnis (B) in einem Schweizer Torfkern

Chronologie der Blei-Anreicherung (Pb EF) berechnet als Verhältnis von Pb/Sc, normalisiert auf den Hintergrundwert (A), sowie Isotopenzusammensetzung von Pb, ausgedrückt als $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (B), über einen Zeitraum von 12'370 Radiocarbon-Jahren (^{14}C -Jahre BP) in einem Torfkern aus dem Etang de la Gruère in den Schweizer Freibergen. Die dicke horizontale gestrichelte Linie bei 3'000 ^{14}C -Jahren (BP) trennt das Torfprofil in zwei Abschnitte, in denen die dominierende Pb-Quelle Bodenstaub ist (Proben vor diesem Zeitpunkt) bzw. in denen Emissionen des Bleibergbaus und aus anderen Quellen vorherrschen (Proben nach diesem Zeitpunkt).



Quelle: Shotyk et al. (1998)

Sinkende Pb/Sc- und steigende $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -Verhältnisse in den jüngsten Torfschichten belegen die Wirksamkeit der eingeleiteten lufthygienischen Massnahmen. Shotyk et al. (1998) errechneten, dass vor 6050 bis 8955 Kalenderjahren (BP) die Hintergrunddeposition $0.01 \text{ mg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ($0.1 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) betrug. Aktuell misst man an Hintergrundstandorten des NABEL-Messnetzes Bleidepositionen, die das 80- (rurale Standorte) bis 140-fache (urbane Standorte) dieser «natürlichen» Deposition betragen (vgl. Tabelle A3.2).

A.3.3 Belastung der Gewässer

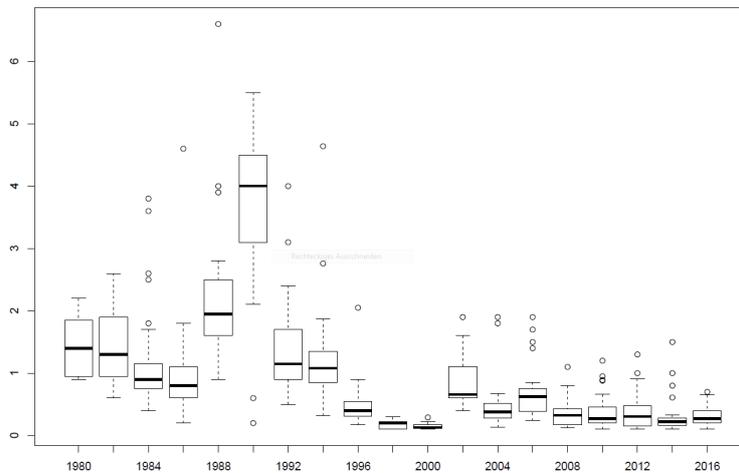
Über die Konzentration von gelöstem Blei sowie Gesamtlei (gelöst und partikulär gebunden) im Wasser des Rheins bei Basel berichtet die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) schon seit längerer Zeit.

Abbildung A3.3 zeigt die Entwicklung der Gesamtlei-Gehalte im Verlauf der letzten 35 Jahre sowie die Streubreite der Pb-Gehalte im jeweiligen Messjahr. Im Beobachtungszeitraum haben die Bleigehalte im Rheinwasser deutlich abgenommen, sie liegen heute unter der in der Schweiz in der Gewässerschutzverordnung festgelegten numerischen Anforderung an Oberflächengewässer für gelöstes Blei von 1 µg/l (vgl. Anhang A.4). Auch andere Fliessgewässer im Kanton Basel-Stadt erfüllen die Anforderung (AUE BS, 2009). Untersuchungen weiterer kantonaler Fachstellen haben ergeben, dass dies auch für Fliessgewässer der Kantone Zürich (AWEL, 2018), Bern (AWA, 2013; AWA 2015; AWA 2017; AWA 2019) und Solothurn (AfU SO, 2015; AfU SO, 2019b) zutrifft. Es wird angenommen, dass die Daten der genannten Kantone repräsentativ für die Schweiz sind.

Abbildung A3.3

Entwicklung der Pb-Gehalte im Rhein bei Basel

Pb-Gesamtgehalte (in µg/l) im Zeitraum 1980 – 2016 im Rhein bei Basel



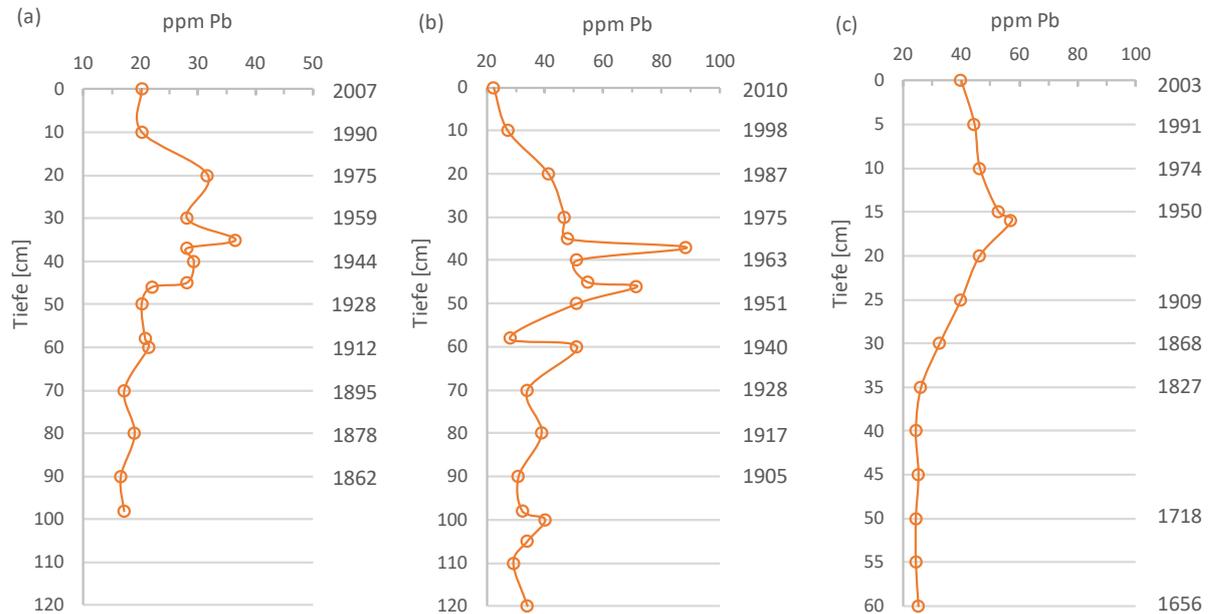
Quelle: IKSR (2019)

In Oberflächengewässern eingetragenes Blei adsorbiert überwiegend an Schwebstoffe, sodass der grösste Teil des den stehenden Gewässern zugeführten Bleis mit absinkenden biogenen Partikeln und Mineralteilchen in die Sedimente transferiert wird (Sigg et al., 1982). Nachdem sich das Alter von Sedimentschichten mit radioaktiven Isotopen bestimmen lässt, stellen Seesedimente Archive der Umweltbelastung dar (Weiss et al., 1999). Sedimentkerne mehrerer Schweizer Seen, so des Bielersees (Thevenon et al., 2013), Bodensees (Müller, 1977; Rossknecht, 1984), Genfersees (Thevenon, 2011, Monna et al., 1999), Luganersees (Pessina, 2013), Thunersees (Thevenon et al., 2013), Vierwaldstättersees (Spadini et al., 2003; Thevenon et al., 2011), Zuger- (Moor et al., 1996) und Zürichsees (von Gunten et al., 1997) wurden u.a. auf das Vorkommen von Blei untersucht. Ihre Bleibelastung zeigt im zeitlichen Verlauf für die meisten Seen ein einheitliches Bild: Aufgrund der zunehmenden Industrialisierung und Urbanisierung stiegen die Bleigehalte mehr oder weniger kontinuierlich an, bevor technische Massnahmen im Bereich des Gewässerschutzes (wie die Inbetriebnahme und der spätere Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen) und der Luftreinhaltung (wie die Ausrüstung der Kehrlichtverbrennungsanlagen mit Wäschern oder die Einführung von bleifreiem Benzin) ihre Wirkung entfalteten und zu einer Abnahme der Gehalte führten. Die Bleibelastung stammt zu unterschiedlichen Anteilen aus fluvialen und atmosphärischen Quellen. So fanden Moor et al. (1996) im Zugersee, der keine Einträge aus Abwasserreinigungsanlagen erhält, eine Korrelation zwischen den Bleiemissionen mit Benzin und den Pb-Gehalten im Sediment. Demgegenüber stiegen die Bleigehalte in Sedimenten des Zürichsees bereits vor der Einführung von verbleitem Benzin an und waren zwischen 1920 und 1975 konstant hoch, was von Gunten et al. (1997) auf lokale Einträge der Industrie im Einzugsgebiet zurückführen. Abbildung A3.4 zeigt für drei ausgewählte Seen die Entwicklung der Bleigehalte in Abhängigkeit der Sedimenttiefen bzw. Ablagerungsdaten. Anders als Seesedimente sind Fliessgewässersedimente bedingt eine Senke für Blei, weil Hochwasser zur Mobilisierung und Verfrachtung solcher Sedimente führen können.

Abbildung A3.4

Zeitliche Entwicklung der Pb-Gehalte in Sedimenten von Schweizer Seen

In Sedimentkernen des Thunersees (a), Bielersees (b) und Genfersees (c) gemessene Bleigehalte in mg/kg



Quelle: nachgezeichnet nach Thevenon et al. (2011) und Thevenon et al. (2013)

A.3.4 Belastung der Böden

Laut Untersuchungen von Tuchs Schmid (1995) beträgt der «natürliche» mit 2M-HNO₃ extrahierbare Bleigehalt in Schweizer Oberböden 16 mg/kg. Diesen Wert leitete Tuchs Schmid anhand des Bleivorkommens bodenbildender Gesteine in der Schweiz ab. Demgegenüber liegt der Bleigehalt (Median) in den Böden des Messnetzes der «Nationalen Bodenbeobachtung» (NABO) mit 25 mg/kg (Gubler et al., 2015) rund 55 % höher. Eine vergleichbare Bleianreicherung von rund 40 % (Median) bzw. 25 % (arithmetisches Mittel) ermittelten Bigalke et al. (2016) mit Hilfe einer geochemischen Massenbilanz unter Verwendung von Titan als immobiles Referenzelement für Oberböden von vorwiegend mineralisch gedüngten Flächen. Sie wird von den Autoren hauptsächlich auf atmosphärische Einträge zurückgeführt. Die abnehmende Bleideposition aus der Luft bewirkte, dass in Böden der NABO während der letzten 20 Jahre gleichbleibende Bleigehalte gemessen wurden, an rund 30 % der Standorte waren die Bleigehalte (in 0 bis 20 cm Bodentiefe) sogar abnehmend.

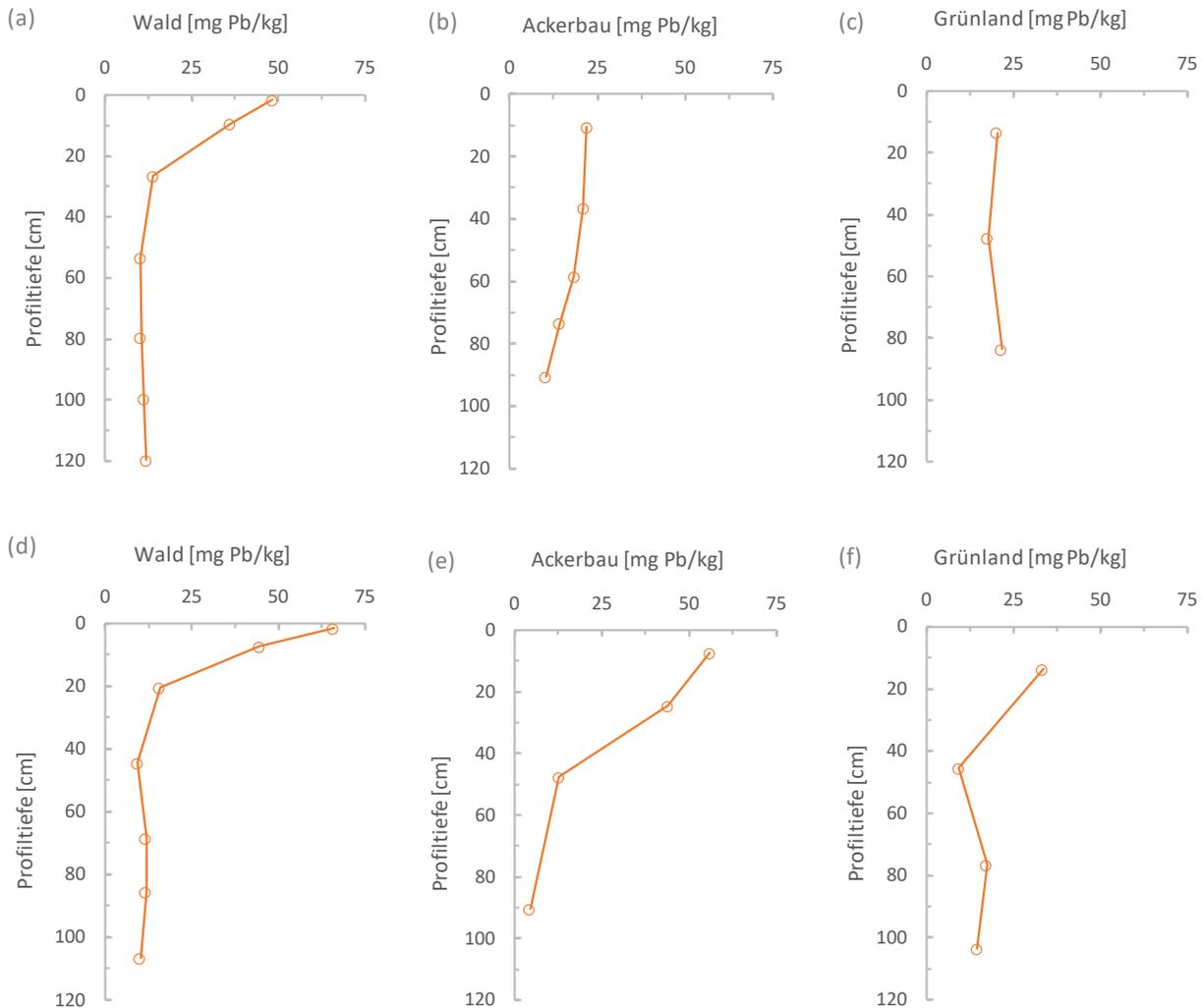
In Böden eingetragenes Blei adsorbiert stark an Eisen-, Aluminium- und Manganoxide sowie an organischen Kohlenstoff in der Festphase (Humus). Seine Löslichkeit und damit Mobilität nimmt bei sinkenden pH-Werten und erhöhten Gehalten an löslichen organischen Komplexbildnern zu (Luster et al., 2006; Scheffer & Schachtschabel, 1998). Der Vergleich der Bleigehalte in Oberböden der NABO über den Zeitraum 1985 – 2009 zeigt nach Gubler et al. (2015) an den 67 landwirtschaftlich genutzten Standorten eine Zunahme des Pb-Gehalts an einem Ackerbaustandort (1.5 %) und unveränderte Pb-Gehalte an 46 Standorten (68.5 %). An 20 Standorten (30 %) sind abnehmende Pb-Gehalte zu verzeichnen. Weiter fand man an 22 von 27 Waldstandorten (81.5 %) unveränderte Pb-Gehalte, an 5 Standorten (18.5 %) waren die Pb-Gehalte abnehmend. Neben der Verlagerung in tiefere Horizonte mit dem Sickerwasser in sauren oder humusarmen Böden oder mit gelösten organischen Komplexbildnern insbesondere unter reduzierenden Bedingungen nennen Gubler et al. (2015) als möglichen Grund für abnehmende Gehalte die Bodendurchmischung durch tierische Lebewesen (Bioturbation).

Abbildung A3.5 veranschaulicht das Vorkommen von Blei in Profilen von drei «eher» belasteten (Grafiken d – f) und drei «durchschnittlich» belasteten Böden (Grafiken a – c).

Abbildung A3.5

Blei im Profil von Wald-, Acker- und Grünlandböden

Bleigehalte im 2M-HNO₃-Auszug im Profil von «durchschnittlich» (a – c) und «eher» belasteten (d – f) Wald-, Acker- und Grünlandböden aus dem Bodenmessnetz des Kantons Aargau.



Quelle: gezeichnet nach Mattmann et al. (2009)

Die «Nationale Bodenbeobachtung» (NABO) betreibt seit Mitte der 1980er Jahre ein Messnetz mit rund 100 Dauerbeobachtungsstandorten, die in Abständen von fünf Jahren beprobt und u.a. auf das Vorkommen von Blei untersucht werden. Bei der fünften Erhebung 2005 – 2009 wurden gemäss Gubler et al. (2015) häufige Bleigehalte (10 %- und 90 %-Perzentile) von 16 – 40 mg/kg ermittelt. Der Median belief sich auf 25 mg Pb/kg, die Extremwerte betragen 11 und 125 mg Pb/kg. Aufgeschlüsselt nach Art der Standorte mass man in Waldböden 30 mg Pb/kg (häufig: 17 – 46 mg Pb/kg), in Spezialkulturen 25 mg Hg/kg (häufig: 18 – 34 mg Pb/kg), in Böden mit Ackerbau 24 mg Pb/kg (häufig: 16 – 32 mg Pb/kg) und unter Grasland 24 mg Pb/kg (häufig: 15 – 40 mg Pb/kg). Damit wurde der in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) festgelegte Richtwert von 50 mg Pb/kg grösstenteils eingehalten, insgesamt zählte man fünf Richtwertüberschreitungen, davon zwei in urbanen Stadtpärken. Eine Auswertung der umfangreich vorliegenden Resultate von Bodenanalysen, die nationale und kantonale Stellen zwischen 1990 und 1996 durchführten, wurde von Keller & Desaulles (2001) vorgenommen. Auffällig hohe Bleigehalte wurden in gewissen Haus- und Familiengärten und auf Schiessplätzen gemessen.

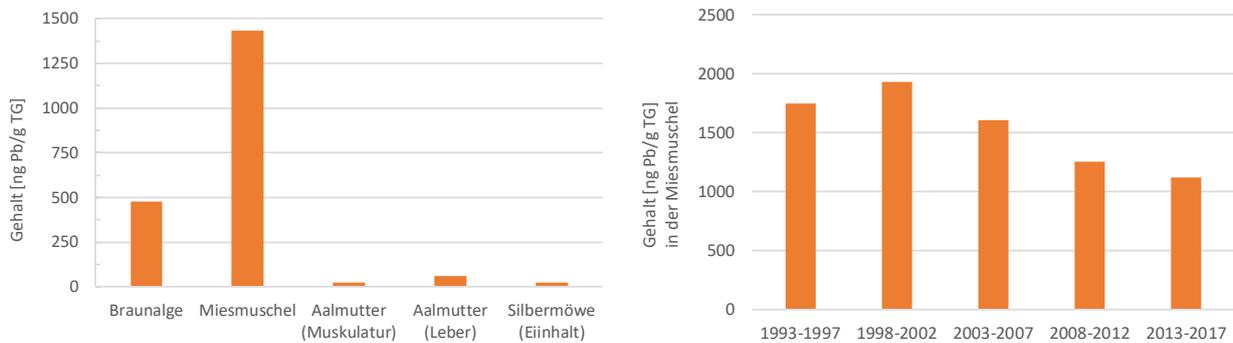
A.3.5 Belastung der aquatischen und terrestrischen Biota

In der aquatischen Nahrungskette besteht keine Evidenz für eine Anreicherung von Blei (Biomagnifikation), da Bleigehalte und Bioakkumulationsfaktoren in Spezies mit steigender trophischer Ebene abnehmen (UNEP, 2010). Die Grafik links in Abbildung A3.6 zeigt anhand Daten aus der deutschen Umweltprobenbank, dass in marinen Probenarten, die verschiedene Ebenen des Nahrungsnetzes repräsentieren, die höchsten Bleigehalte in der Miesmuschel, einem Primärkonsumenten, gemessen werden. Die Bleigehalte im Muskelfleisch und der Leber von Aalmuttern als Sekundärkonsumenten liegen deutlich tiefer und der Transfer von Blei in Möweneier ist gering (Rüdel et al., 2010). Aus der Grafik rechts in Abbildung A3.6 ist ersichtlich, dass die Bleigehalte in Miesmuscheln im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer im Verlauf der letzten 25 Jahre abgenommen haben (UBP, 2019). Die Bleibelastung von Dreikantmuscheln an drei Standorten im Rhein zwischen 1995 und 2017 ist in Abbildung A3.7 dargestellt. Ersichtlich sind zunehmende Gehalte flussabwärts bei einer hohen jährlichen Variabilität und eher sinkende Gehalte in jüngster Zeit.

Abbildung A3.6

Pb-Gehalte in verschiedenen Ebenen eines marinen Nahrungsnetzes

Die Grafik links zeigt Bleigehalte (Mittel der Jahre 2003 – 2012) in Spezies aus dem Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. In der Grafik rechts ist die Entwicklung der Bleigehalte von 1993 - 2017, jeweils im 5-Jahresmittel, in Miesmuscheln aus dem Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer dargestellt.

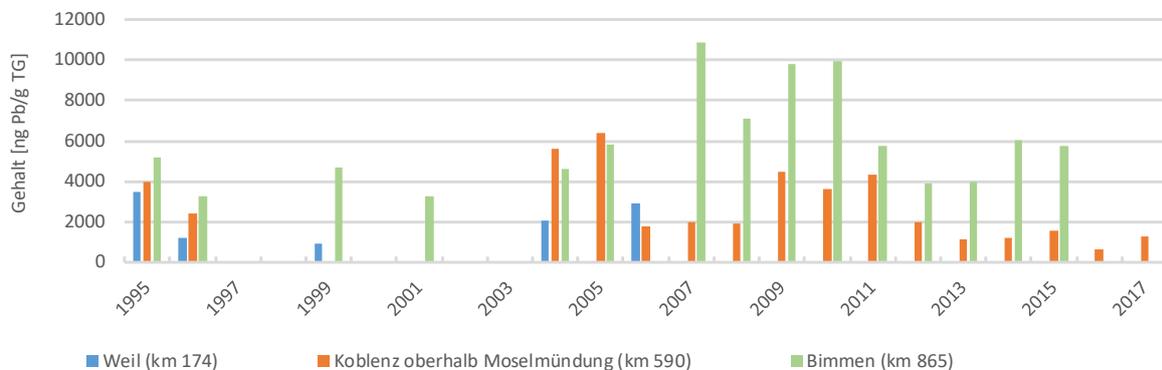


Quelle: UBP (2019)

Abbildung A3.7

Pb-Gehalte in Dreikantmuscheln an drei Standorten im Rhein

Entwicklung der Bleigehalte im Zeitraum 1995 – 2017 in der Dreikantmuschel im Rhein bei Basel (Weil), Koblenz und Bimmen bei den Flusskilometern 174, 590 und 865.



Quelle: UBP (2019)

Im Schweizer Gewässerschutzrecht ist für Blei keine Begrenzung für die zulässige Belastung von Weich- und

Krebstieren, Fischen und anderen Biota zum Schutz höherer Lebewesen vor Bleivergiftungen festgelegt. Anhand in der EU kompilierter Daten zur Toxizität von Blei gegenüber Säugern und Vögeln sowie zur Bioakkumulation von Blei durch aquatische Organismen (EC, 2011) wird gefolgert, dass bei Einhaltung der in der Gewässerschutzverordnung festgelegten numerischen Anforderung an Oberflächengewässer für gelöstes Blei von 1 µg/l zum Schutz von Wasserorganismen vor direkten Wirkungen (vgl. Anhang A.4) auch höhere Lebewesen vor indirekten Wirkungen geschützt sind.

Eine potentielle Quelle der Belastung von Wasservögeln mit Blei sind in der Fischerei verwendete Bleigewichte. Hinweise zu Bleivergiftungen und Untersuchungen über allfällig erhöhte Bleigehalte in Gewebeproben von Wasservögeln durch Ingestion von Anglerblei in der Schweiz sind nicht bekannt. Studien zu dieser Problematik wurden v.a. in den USA, Kanada und in Europa in Grossbritannien durchgeführt. In den USA beispielsweise wurden zwischen 1995 und 1999 ca. 2'200 Wasservögel auf das Vorkommen von Blei im Magen untersucht. Von den insgesamt 28 untersuchten Spezies enthielten vier Spezies 23-mal Blei, am häufigsten der Eistaucher (*Gavia immer*) (11 von 313 entsprechend 3.5 %) und der Braunpelikan (*Pelecanus occidentalis*) (10 von 365 entsprechend 2.7 %). Die Bleigehalte in der Leber und im Blut in diesen Vögeln waren gegenüber solchen ohne Bleigewichte im Magen deutlich erhöht. Die Masse der verschluckten Gewichte variierte zwischen 0.6 und 78 g (Franson et al., 2003). Untersuchungen von Sears & Hunt (1991) im Themsetal in England ergaben, dass der Anteil Höckerschwäne (*Cygnus olor*) mit Bleivergiftungen von 59 % im Jahr 1984 auf 15 % im Jahr 1988 abnahm. Der Blutbleigehalt (Median) junger lebender Tiere sank im selben Zeitraum um rund 80 %, während der Anteil Tiere mit Blutbleigehalten > 40 µg/l von 87 % auf 24 % abnahm. Gemäss Autoren haben ab dem Jahr 1982 in England und Wales eingeleitete Aufklärungskampagnen der Angler, die Bereitstellung auf dem Markt von Alternativen zu Bleigewichten sowie der freiwillige Verzicht auf die Abgabe von Bleigewichten ab dem Jahr 1985 und schliesslich das im Jahr 1987 behördlich verordnete Verbot des Verkaufs von Anglerblei mit Gewichten zwischen 0.06 g («number 8 splitshot») und 28.36 g («1 ounce leger weights»), das v.a. beim Friedfischangeln verwendet wird, Wirkung gezeigt.

Im terrestrischen Bereich untersuchten Klingler et al. (1981) in den 1980er Jahren um 100 Feldhasen im Kanton Bern auf das Vorkommen von Blei in den Knochen und fanden rund doppelt so hohe Bleigehalte in Hasen aus Gebieten mit hohem Motorfahrzeugverkehr oder dichter Besiedlung gegenüber solchen aus anderen Herkunftsgenden. Auch zwischen 1979 und 2004 in den USA durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass Blei in Körperproben (Blut, Gefieder, Mageninhalt) von in Strassennähe oder urbanen Gebieten nistenden Sperlingsvögeln in deutlich höheren Gehalten vorlag als in Proben von ruralen Vergleichsstandorten (Grue et al., 1984; Grue et al., 1986; Roux & Marra, 2007). Scheifler et al. (2006) beprobten zwischen 1999 und 2000 Amseln (*Turdus merula*) aus einem ruralen Gebiet sowie zwei Parks einer mittelgrossen Stadt (ca. 115'000 Einw.) im Osten von Frankreich und sammelten an diesen Standorten zudem Regenwürmer, die Hauptbestandteil der tierischen Nahrung dieser Vögel sind. Sie fanden in Regenwürmern aus den Stadtparks gegenüber solchen aus ruralem Gebiet zweifach erhöhte Bleigehalte. In gewaschenen Schwanzfeder- und Blutproben der Amseln waren die Bleigehalte um rund das 6.5-fache bzw. das dreifache erhöht. Vier (davon drei aus urbanem Gebiet) von 23 Amseln wiesen gemäss Autoren Blutbleigehalte auf, die vermutlich mit subklinischen und physiologischen Effekten verbunden waren.

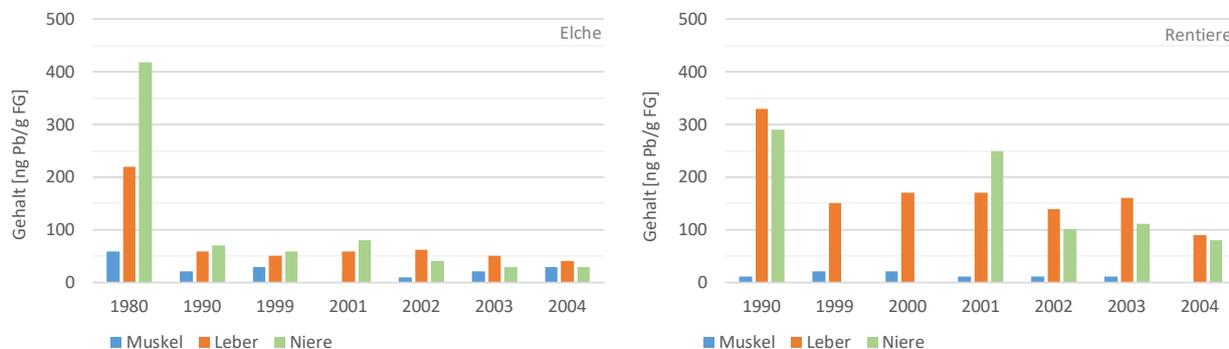
Im Rahmen des schwedischen Umweltbeobachtungsprogramms durchgeführte Messungen in Proben terrestrischer Biota zeigten im Untersuchungszeitraum von 1969 bis 2004 ab den 1980er Jahren abnehmende Bleigehalte (Lind et al., 2006). Untersuchungen in Finnland von Gewebeproben von Elchen, Rentieren und Hasen bestätigen dieses Bild. In Gewebeproben von Elchen hatten die Bleigehalte 1990 gegenüber 1980 stark abgenommen. Im Vergleich zu einer Erhebung im Jahr 1990 lagen auch die Bleigehalte in Gewebeproben von Rentieren ab dem Jahr 1999 tiefer, wobei die Gehaltsabnahmen bei den Rentier- im Vergleich zu den Elchproben weniger ausgeprägt waren (vgl. Abbildung A3.8). Die höheren Bleigehalte in der Leber und Niere der grasenden Rentiere wer-

den von Venäläinen (2007) auf den winterlichen Verzehr von Flechten zurückgeführt, die Schadstoffe akkumulieren.

Abbildung A3.8

Entwicklung der Pb-Gehalte in Hirschen in Finnland

Entwicklung der Pb-Gehalte in Gewebeprobe von Elchen im Zeitraum 1980–2004 (Grafik links) und von Rentieren im Zeitraum 1990–2004 (Grafik rechts) in Finnland.



Quelle: Venäläinen (2007)

Abnehmende Bleibelastungen fanden sich über Untersuchungszeiträume von 1986 bis 2005 sowie 1978 bis 2013 weiter in Gefieder- und Leberproben von Raubvögeln aus Nordeuropa. In über 600 in Mittelnorwegen gesammelten Schwanzfedern des Waldkauzes (*Strix aluco*) stellte man über den Zeitraum von rund 20 Jahren eine Bleiabnahme von 94 % fest (Bustnes et al., 2013). Eine Abnahme des Bleigehalts in den Lebern von rund 5.5 % pro Jahr errechnet sich für 122 Uhus (*Bubo bubo*) in Schweden. Anhand durchgeführter Bleiisotopenanalysen folgerten Helander et al. (2019), dass die Abnahme des Bleigehalts in den Lebern dieses Raubvogels, der ausschließlich lebende Tiere erbeutet, auf das Phase-out von «Bleibenzin» zurückzuführen ist. Vergleichbar tiefe Lebergehalte wie in Norwegen fanden Madry et al. (2015) in 19 Uhus hauptsächlich aus der Ostschweiz.

In ebenfalls v.a. in der Ostschweiz aufgefundenen 36 Steinadlern (*Aquila chrysaetos*) lagen die Bleigehalte in Lebern, Nieren und Knochen signifikant höher als in den entsprechenden Gewebeprobe der Uhus. Die Bestimmung der Bleiisotopenverhältnisse von Munitionsblei, von Blei aus Knochen von Uhus, Steinadlern und von deren Beutetieren (Murmeltiere bzw. Vögel, Nager und Feldhasen) sowie von örtlichen Bodenproben ergab, dass sich die hohen Bleigehalte in den aassfressenden Steinadlern wahrscheinlich mit der Aufnahme von aus Munition stammenden Bleifragmenten in Tierkadavern oder Aufbrüchen erklären lassen. Anhand weiterer Analysen zum Vorkommen und der Häufigkeitsverteilung von Blei im Blut und in Federn von Steinadlern folgern Jenni et al. (2015), dass die Aufnahme von Blei episodisch in subletaler Menge und in seltenen Fällen in akut toxischen Dosen erfolgt. Einem ähnlichen Risiko ist der Bartgeier (*Gypaetus barbatus*) ausgesetzt, in dessen Knochen teilweise sehr hohe Bleigehalte gemessen wurden (Ganz et al., 2018). Untersuchungen von Knochen von 45 Rotmilanen (*Milvus milvus*) und 10 Kolkraben (*Corvus corax*) aus der Schweiz zeigen weiter, dass auch in diesen Aassfressern in 20 – 40 % der Proben erhöhte Bleigehalte gefunden werden (Ganz et al., 2018).

Für die Beurteilung, ob Säuger und Vögel über die Anreicherung von Blei in der Nahrung einer Gefährdung ausgesetzt sind, schlagen Buekers et al. (2009) vor, auf die innere Belastung der Biota, insbesondere den Blutbleigehalt, abzustützen (Tissue Residue Approach, TRA). Ein verfeinerter Ansatz ist nötig, weil die generische, die zweistufige Nahrungskette Boden – Regenwurm – Vögel/Säuger berücksichtigende Methode Schwellenwerte

für Böden liefert, wie sie häufig in relativ unbelasteten Gebieten gemessen werden²¹. In den USA mit einem modifizierten Modell durchgeführte Rechnungen ergeben vergleichbare Ergebnisse (Sample et al., 2019, USEPA, 2005).

A.3.6 Belastung des Menschen

Bleiexpositionen früherer Menschen sind durch Analysen von Knochen und Zähnen aus Skelettfunden belegt. Untersuchungen von Zähnen (Zahnschmelz) aus britischen Ausgrabungsstätten ergaben, dass die Bleigehalte in Zahnschmelz aus dem 8. bis 11. Jahrhundert n. Chr. und aus dem späten Mittelalter im Vergleich zu Zahnschmelz aus der prähistorischen Zeit um das 25- bzw. 65-fache erhöht waren. Aus römischen Ausgrabungsstätten mit-analyzierte Zahnschmelzproben aus dem 1. bis 3. Jahrhundert n. Chr. wiesen ähnlich hohe Bleigehalte auf wie die britischen Proben aus dem späten Mittelalter (Montgomery et al., 2010). Auch in Knochen aus dem 1. bis 4. Jahrhundert n. Chr. aus Ausgrabungsstätten in Italien lagen die Pb-Gehalte gegenüber Knochen aus vor- (2. bis 9. Jahrhundert v. Chr.) und nachrömischer Zeit (7. bis 8. Jahrhundert n. Chr.) rund zehnfach und damit massiv erhöht vor (Aufderheide et al., 1992). Quellen für die Bleibelastung der Römer waren Bleiglasuren von Keramik, Küchenutensilien und Wasserrohre aus Bleimetall oder das Kochen von Traubensaft in Bleitöpfen (zitiert in Hernberg, 2000). Von der urbanen Bevölkerung genutztes bleiglasiertes Küchengeschirr wird als mögliche Hauptquelle für die gefundene Belastung mittelalterlicher Knochen (1000 – 1500) aus deutschen und dänischen Gräbern genannt (Rasmussen et al., 2015). Auch Mecking & Lagaly (2000) schliessen aus ihren Untersuchungen über die Bleiabgabe historischer Scherben, dass Bleiglasuren für die Bevölkerung des Mittelalters und der frühen Neuzeit eine wichtige Belastungsquelle darstellten.

Eine ab den 1950er Jahren neue Quelle der Belastung des Menschen mit Blei war die Einführung von Benzin, dem Tetraethylblei als Antiklopffmittel beigemischt wurde. Abbildung A3.9 zeigt beispielhaft die Abnahme der Blutbleigehalte im Zeitraum 1981 – 2018 in einem Studentenkollektiv aus unserem Nachbarland Deutschland, die auf die Verringerung der Pb-Gehalte in der Atemluft und in Nahrungsmitteln bedingt durch die Substitution von «Bleibenzin» zurückgeführt wird.

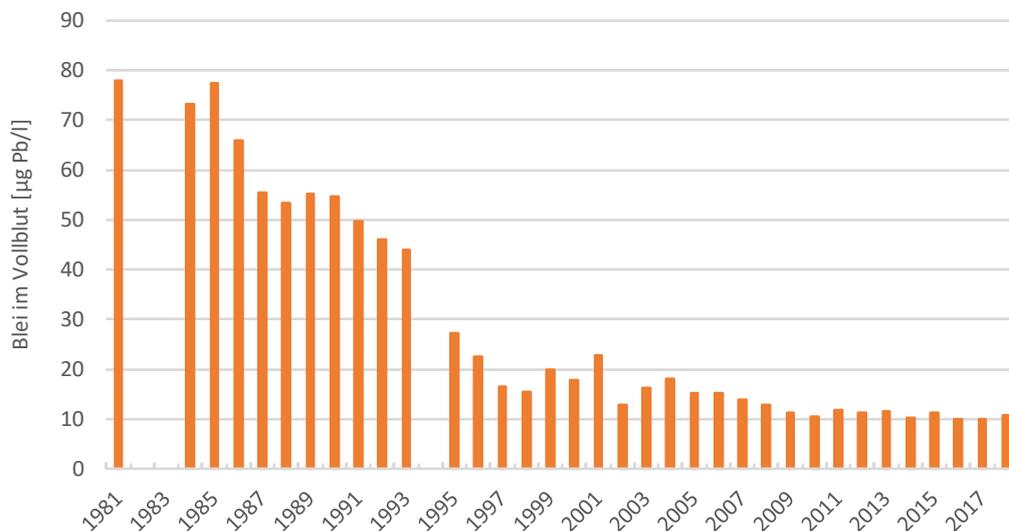
In der Schweiz dokumentierte Wietlisbach et al. (1995) die mit den Emissionen von bleihaltigem Benzin einhergehende Bleibelastung im Blut von Westschweizer Erwachsenen in drei Messkampagnen in den Jahren 1984/1985, 1988/1989 und 1992/1993. Die Anzahl Blutbleibestimmungen betrug jeweils zwischen 1650 und 1791. Frauen wiesen im Untersuchungszeitraum 25 – 30 % tiefere Bleigehalte als Männer auf. Gegenüber 1985 lagen die Blutbleigehalte 1989 bei Frauen und Männern um ca. 30 % tiefer. Im Jahr 1993 waren es bei Frauen 40 % und bei Männern 45 %. Dieselben Trends wurden für alle Altersklassen, Berufsgruppen und Verhaltensklassen (Rauch-, Trink- und Essverhalten) festgestellt. Auch verringerte sich die Differenz in der Exposition der Bevölkerung in urbanen und ruralen Gebieten, sodass die Abnahme der Bleibelastung auf die Einführung von bleifreiem Benzin zurückgeführt werden konnte, dessen Anteil am Benzinabsatz bis zum Jahr 1992 auf 65 % zunahm. Neuere Untersuchungen in der Schweiz an 329 Erwachsenen und 74 Kindern im Jahr 2010 zeigten, dass im Vergleich zu 1980 die Blutbleigehalte bei Erwachsenen um den Faktor 5 und bei Kindern unter 10 Jahren um etwa den Faktor 8 abgenommen haben (Dudler et al., 2011).

²¹ So errechnet sich mit dem (konservativen) Schwellenwert für den Bleigehalt im Futter von Säugern und Vögeln ($PNEC_{\text{food}}$) von $3.6 \text{ mg kg}^{-1}_{\text{ww}}$ (EC, 2011) und dem Verhältnis der Bleigehalte im Boden zu den Regenwurmgehalten (BAF_{worm}) von $0.1 \text{ kg}_{\text{dw soil}} \text{ kg}^{-1}_{\text{ww worm}}$ (LDAI, 2008) ein korrespondierender Bleigehalt im Boden ($PNEC_{\text{soil}}$) von ca. 35 mg/kg .

Abbildung A3.9

Entwicklung der Pb-Gehalte im Vollblut des Menschen

Entwicklung der Pb-Gehalte im Zeitraum 1981 – 2018 im Vollblut eines Studentenkollektivs in Münster (DE)



Quelle: UBP (2019)

In der aktuellsten Risikobewertung der Expertengruppe der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im Jahr 2012 wurde die ernährungsbedingte Aufnahme von Blei, basierend auf Analysedaten zu seinem Vorkommen in Nahrungsmitteln, mit Hilfe der Verzehrdaten in 17 EU-Staaten ermittelt und beurteilt. In einem ersten Schritt wertete die EFSA-Expertengruppe rund 144'200 Analysenergebnisse aus, die über einen Zeitraum von neun Jahren (2003 – 2011) analysiert und von 20 EU-Staaten sowie Norwegen zur Verfügung gestellt wurden. Die meisten Untersuchungsergebnisse stammten aus Deutschland, gefolgt von der Slowakei, Frankreich, Tschechien, Spanien und Österreich. In mehr als der Hälfte der untersuchten Nahrungsmittel lag Blei unterhalb der Nachweis- (11 %) oder Bestimmungsgrenze (46 %) vor. Nach Schätzung der Expertengruppe scheinen die Bleigehalte im Untersuchungszeitraum abnehmend. Abbildung A3.10 zeigt die in den verschiedenen Nahrungsmittelgruppen gefundenen mittleren Bleigehalte (MB-Werte)²².

Die Bleiexposition der EU-Bevölkerung – aufgeschlüsselt nach Altersklassen – wurde sodann anhand der mittleren Pb-Gehalte der verschiedenen Nahrungsmittel und deren Verzehrsmengen ermittelt. Für jede Erhebung und Altersklasse wurden die Expositionen bei durchschnittlichem und bei hohem Verzehr (95 %-Perzentil) errechnet. Bei einem durchschnittlichen Nahrungsmittelverzehr errechneten sich Aufnahmemengen pro kg Körpergewicht und Woche von 0.28 µg durch Jugendliche in Zypern (unter Verwendung von LB-Werten²² für die Pb-Gehalte der Nahrungsmittel) bis 1.77 µg durch Kleinkinder in Belgien (unter Verwendung von UB-Werten²² für die Pb-Gehalte der Nahrungsmittel). Bei hohem Nahrungsmittelverzehr betrug die Spannweite 0.49 µg für Jugendliche und Senioren (auf Basis der LB-Werte und Verzehrdaten aus Zypern bzw. Ungarn) bis 3.27 µg durch Kleinkinder (auf Basis der UB-Werte und Verzehrdaten aus Finnland) pro kg Körpergewicht und Tag (µg kg⁻¹ bw d⁻¹).

Basierend auf den MB-Werten für das Vorkommen von Blei in Nahrungsmitteln errechneten sich die Mediane der Bleiexpositionen auf 1.31 und 0.96 µg kg⁻¹ bw d⁻¹ für Kleinkinder und Kinder im Alter von 3 bis 9 Jahren. Die Exposition Erwachsener wurde auf 0.50 µg kg⁻¹ bw d⁻¹ geschätzt. Leicht höhere Werte ergaben sich für Jugendliche (0.55 µg kg⁻¹ bw d⁻¹), während Senioren einschliesslich solche im vorgerückten Alter mit der Nahrung ähnlich

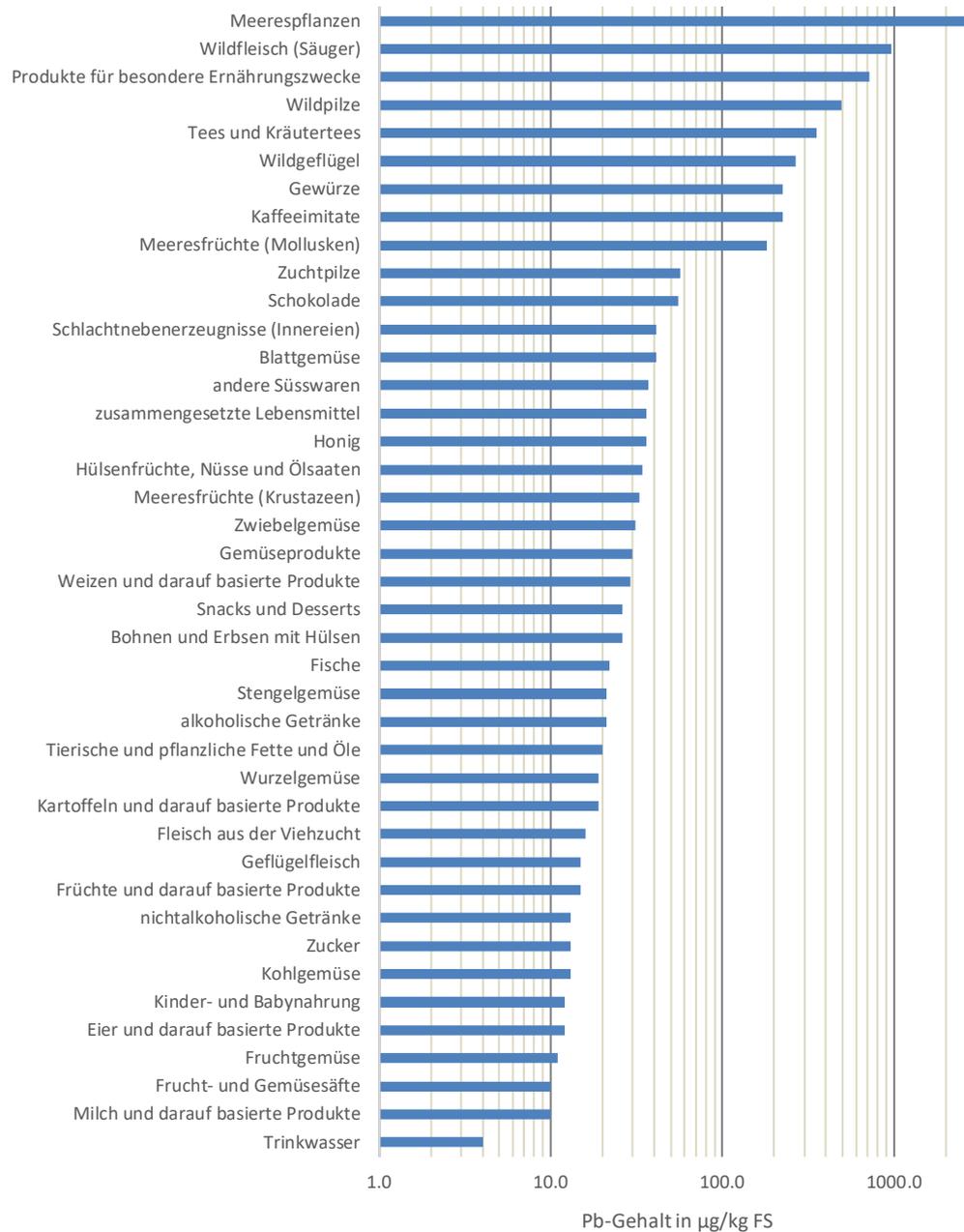
²² Lower bound- (LB-), middle bound- (MB-) oder upper bound-Werte (UB-Werte) werden erhalten, indem Analysewerte kleiner als die Bestimmungsgrenze gleich 0 (LB-Werte), gleich der halben Bestimmungsgrenze (MB-Werte) oder gleich der Bestimmungsgrenze (UB-Werte) gesetzt werden.

hohe Bleimengen wie Erwachsene aufnehmen.

Abbildung A3.10

Vorkommen von Blei in Nahrungsmitteln

Mittlere Bleigehalte (middle bound-Werte) in Nahrungsmittelgruppen in $\mu\text{g}/\text{kg}$ bezogen auf die Frischsubstanz, wie sie über einen Zeitraum von neun Jahren (2003 – 2011) in Mitgliedsstaaten der EU ermittelt wurden (logarithmische Darstellung)



Lebensmittel, in denen relativ hohe Bleigehalte gefunden wurden, waren Meerespflanzen, Wildfleisch von Säugern, Produkte für besondere Ernährungszwecke, Wildpilze, Tees und Kräutertees, Wildgeflügel, Gewürze, Kaffeemitate und Meeresfrüchte (Mollusken). Aufgrund des Verzehrverhaltens der Bevölkerung lieferten aber Weizen und darauf basierte Produkte, Milch und Milchprodukte, nichtalkoholische Getränke, Gemüse und Gemüseprodukte sowie Trinkwasser und alkoholische Getränke die grössten Beiträge zur Bleiexposition. Die Beiträge unterscheiden sich nach geografischer Lage und Altersklassen. So liefern in Deutschland für Jugendliche

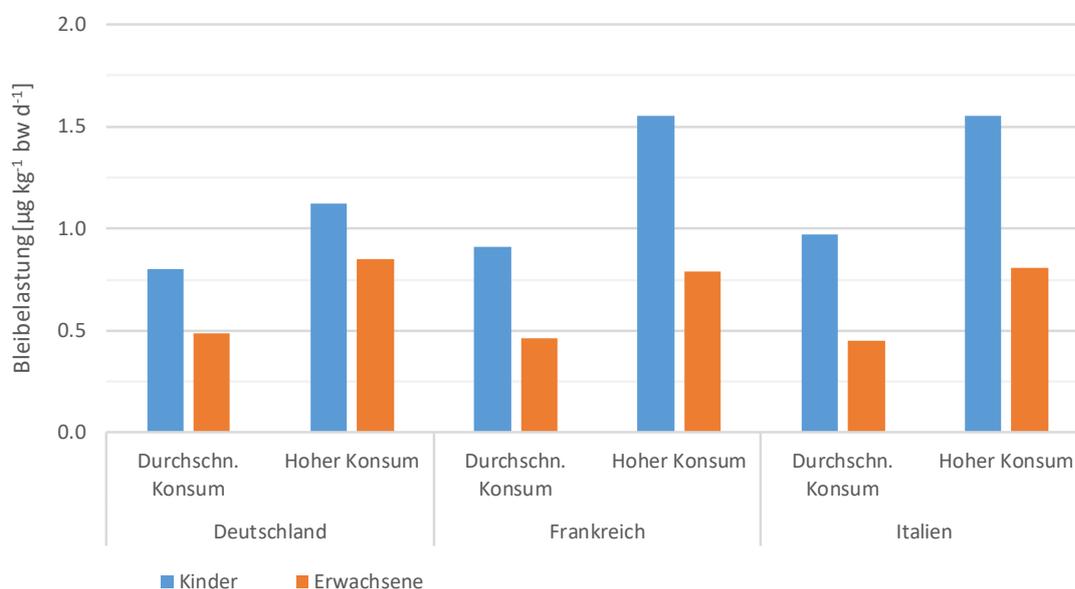
und Erwachsene Getränke (Wasser, Kaffee, Tee, Bier, Wein) den grössten Beitrag, gefolgt von Gemüse, einer Gruppe mit «Obst, Nüssen und Kakao» sowie Weizen und darauf basierten Produkten (BfR, 2010).

In der Schweiz wurden bislang keine entsprechenden Expositionsabschätzungen durchgeführt²³. Es kann jedoch angenommen werden, dass die Daten der umliegenden Länder die Situation in der Schweiz relativ gut repräsentieren. In nachstehender Abbildung A3.11 sind die Ergebnisse der Berechnungen zu den Blei-Aufnahmemengen von Kindern und Erwachsenen in Deutschland, Frankreich und Italien für einen durchschnittlichen sowie für einen hohen Konsum von Nahrungsmitteln zusammengefasst. Die Unterschiede in der Bleiaufnahme resultieren allein aus unterschiedlichen Essgewohnheiten, weil für alle Länder dieselben Pb-Gehalte in den Nahrungsmitteln angenommen wurden (EFSA, 2012).

Abbildung A3.11

Pb-Aufnahme mit der Nahrung in Nachbarländern der Schweiz

Errechnete Bleiaufnahme von Kindern und Erwachsenen mit der Nahrung in Deutschland, Frankreich und Italien. Die Werte sind in $\mu\text{g}/\text{kg}$ Körpergewicht (bw) pro Tag (d) angegeben. Die Belastung wurde für einen durchschnittlichen und einen hohen Nahrungsmittelkonsum mit MB-Werten²² für den Pb-Gehalt in den Nahrungsmitteln berechnet.



Quelle: EFSA (2012)

Mit der Bleiaufnahme von $0.49 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ bw d}^{-1}$ eines deutschen Durchschnittsverzehrers gemäss Abbildung A3.11 korrespondiert ein Blutbleiwert von ca. $12 \mu\text{g}/\text{l}$ ²⁴. Er liegt in der Nähe von in jüngerer Zeit im Studentenkollektiv aus Münster gemessenen Gehalten (Abbildung A3.9).

Abbildung A3.10 zeigt, dass in Wildfleischproben hohe Bleigehalte gefunden wurden. Unter anderem in Deutschland wurde durch umfangreiche Analysen von Rehwild- und Schwarzwildproben gezeigt, dass die Ursache hierfür in bleihaltiger Jagdmunition liegt. Spezifische Abschätzungen in Deutschland haben ergeben, dass bei Verzehr von zwei Mahlzeiten pro Jahr (durchschnittlicher Konsum) wie auch von fünf Mahlzeiten pro Jahr (hoher Konsum) Wildfleisch nur unbedeutend zur Bleiaufnahme beiträgt. Bei Jägern und ihren Familien hingegen, die bis zu

²³ Bekannt ist eine Studie nach der Duplikat-Methode aus dem Jahr 1983 von Knutti & Zimmerli (1995). Anhand der Analyse von Tagesrationen in Schweizer Betrieben der Gemeinschaftsverpflegung wurde für 40 Erwachsene eine mittlere Bleiaufnahme von $0.42 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ bw d}^{-1}$ ($0.12 - 1.1 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ bw d}^{-1}$) bestimmt. Dieser Wert stimmt gut mit einer in Deutschland im Rahmen des Umwelt-Survey 1990/91 ebenfalls nach der Duplikat-Methode ermittelten Aufnahme von 318 Erwachsenen von $0.43 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ bw d}^{-1}$ überein (Becker et al., 1996).

²⁴ Blut-Pb [$\mu\text{g}/\text{l}$] = Aufnahme Blei mit Nahrung [$\mu\text{g kg}^{-1} \text{ bw d}^{-1}$] x bw [kg] x 0.4 mit bw = 60 kg gemäss EFSA (2010).

90 Wildmahlzeiten im Jahr zu sich nehmen, kann mit Bleimunition erlegtes Wildfleisch erheblich zur Bleiexposition beitragen (Gerofke et al., 2018).

Nicht nahrungsbedingte potentielle Bleiquellen wie das Rauchen können den Blutbleigehalt maximal um bis zu 3 µg/l erhöhen. Bei Bleigehalten von 2 – 6 ng/m³, wie sie heute in der Schweiz in der Aussenluft gemessen werden (BAFU, 2019b), trägt diese mit weniger als 0.1 µg/l zum Blutbleigehalt bei²⁵. Für Kleinkinder um 2 Jahre kann die Ingestion von Bodenpartikeln und Hausstaub zu einer Bleiaufnahme von 0.18 – 0.80 µg kg⁻¹ bw d⁻¹ entsprechend einer Erhöhung des Blutbleigehalts von 4 – 15 µg/l führen; dieser Schätzung liegt eine Boden- und Hausstaubaufnahme von 100 mg pro Tag mit Bleigehalten von 23 – 100 mg/kg durch ein Kind mit 12.5 kg Körpergewicht zugrunde (EFSA, 2010).

Eine mögliche Quelle der Belastung des Hausstaubs sind bleihaltige Anstriche, insbesondere im Zuge von Renovationsarbeiten. Solche Anstriche finden sich auf Holz (Türen, Tür- und Fensterrahmen oder -läden, vgl. Tabelle A1.2), auf Metallen (Heizkörper, Rostschutzfarbe an Geländern) oder auf mineralischen Untergründen (Wandanstriche). Untersuchungen mit handgehaltenen Röntgenfluoreszenzgeräten zwischen 2008 und 2009 in rund 500 Wohnungen in Frankreich haben ergeben, dass in 25 % der Wohnungen bleihaltige Anstrichfarben vorhanden waren, Blei in Gehalten ≥ 1 mg/cm² war in ca. 20 % der Wohnungen auf nichtmetallischen Substraten und 10 % der Wohnungen auf metallischen Substraten zu finden. Im Falle der Anstriche auf nichtmetallischen Substraten waren 3.3 % in schlechtem Zustand (Lucas et al., 2012). Entsprechende Untersuchungen in der Schweiz wurden im Kanton Genf im Jahr 2013 in ca. 200 vor dem Jahr 2006 erstellten Wohnungen (in 186 Gebäuden) durchgeführt. In fast 50 % der Wohnungen wurden Anstriche mit Bleigehalten ≥ 0.2 mg/cm² gefunden, mit Abstand am häufigsten auf Holz, gefolgt von Anstrichen auf Metall, Beton und Verputzen, nach Räumlichkeiten mehr oder weniger gleichmässig verteilt auf Balkone, Wohnzimmer, andere Zimmer, Gänge, Küchen und Badzimmer. Um 10 % der Bleianstriche waren in gealtertem oder schlechtem Zustand (Muller, 2020).

Die Probenahme von Hausstaub geschieht mit unterschiedlichen Verfahren. Dabei wird der innerhalb einer bestimmten Zeit absetzende Staub gesammelt oder Staub von Flächen abgesaugt oder abgewischt. Staubinhaltsstoffe werden sodann im Gesamtstaub oder in einer bestimmten Korngrössenfraktion untersucht. Das Ergebnis der Inhaltsstoffbestimmung kann weiter als massen- oder flächenbezogener Wert angegeben werden. Die Vielfalt der verwendeten Verfahren erschwert die Vergleichbarkeit der in verschiedenen Studien erhaltenen Daten. In der Schweiz sind keine systematischen Untersuchungen zum Vorkommen von Schadstoffen im Hausstaub bekannt. Tabelle A3.4 fasst Bleigehalte im Haus- und Bodenstaub aus Studien zusammen, wie sie von Heinemeyer & Bösing (2020) zusammengestellt und in einem Bericht über Eintragungspfade von Blei in den menschlichen Organismus diskutiert wurden. Die Daten ergeben kein einheitliches Bild; Bleiquellen aus dem Aussenbereich manifestieren sich an einem durch Emissionen der Metallindustrie beeinflussten Standort in Belgien, wo über eine Sammeldauer von 92 Tagen im Hausstaub eine Blei Niederschlagsrate (geom. Mittel) von 0.82 µg m⁻² d⁻¹ gegenüber 0.40 µg m⁻² d⁻¹ am Vergleichsstandort bestimmt wurde (Hogervorst et al., 2007).

Im deutschen Umweltsurvey 1990 – 1992 wurden für Blei Niederschlagsraten im Wohnraum der 25 – 69jährigen Bevölkerung von 0.29 µg (geom. Mittel) bzw. bzw. 0.27 µg pro m² und Tag (Median) ermittelt; 80 % der Werte lagen zwischen 0.1 und 0.8 µg m⁻² d⁻¹. Im Wohnraum der 6 – 14jährigen Kinder betrug die entsprechenden Werte 0.39 und 0.38 bzw. 0.15 – 1.0 µg m⁻² d⁻¹ (Friedrich et al., 2001). Im Survey 1985 – 1986 wurde in den Haushalten eine mittlere Belastung (geom. Mittel und Median) um 0.42 µg m⁻² d⁻¹ ermittelt, 80 % der Werte lagen zwischen 0.17 und 1.04 µg m⁻² d⁻¹ (Krause et al., 1991). Zum Vergleich wurden in der Schweiz im Aussenbereich zu Beginn der 1990er Jahre an Standorten mit Hintergrundbelastung für Blei (mediane) Niederschlagsraten von ca. 10 µg m⁻² d⁻¹ (n = 15) an ruralen Standorten und von ca. 55 µg m⁻² d⁻¹ (n = 6) an urbanen Standorten bestimmt. Heute liegen sie bei ca. 3 bzw. 4 µg m⁻² d⁻¹ (BAFU, 2019b).

²⁵ Blut-Pb [µg/l] = Pb-Gehalt der Luft [µg m⁻³] x 16.4 gemäss EFSA (2010).

Tabelle A3.4

Vorkommen von Blei im Haus- und Bodenstaub

Vorkommen von Blei im Haus- und Bodenstaub (sowie zum Vergleich im Freien auf Sammlern deponierten Staub) in mg pro kg

Probe und Standort	Wert [mg/kg]		Beschreibung
Hausstaub 1985 – 1986 im Wohnraum der deutschen Bevölkerung (Krause et al., 1991)	Mittelwert	80	Mit Staubsaugern gesammelte Proben (n = 2614). Das Probenmaterial wurde verschiedenen Stellen des Staubsaugerbeutelinhalt entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt, Material vom Randbereich oder Bodensatz wurde nicht verwendet
	Geom. Mittel	25	
	10 %-Perzentil	5	
	50 %-Perzentil	24	
Hausstaub 1990 – 1992 im Wohnraum der deutschen Bevölkerung (Friedrich et al., 2001)	90 %-Perzentil	142	Mit Staubsaugern gesammelte Proben (n = 3'900)
	Mittelwert	57	
	Geom. Mittel	6	
	10 %-Perzentil	1	
Hausstaub 1996 – 2004 an urbanen, durch Emissionen von Zinkhütten beeinflussten Standorten im Nordosten Belgiens (Hogervorst et al., 2007)	50 %-Perzentil	4	In Schlafzimmern in Petrischalen jeweils über 3 Monate gesammelte Staubproben (n = 126). Die in der Studie angegebenen Werte in µg pro m ² wurden mit einem Faktor von 3 in mg pro kg umgerechnet (Glorennec et al., 2012)
	95 %-Perzentil	860	
	Geom. Mittel	230	
Hausstaub 1996 – 2004 an urbanen, den Emissionen von Zinkhütten in der Hauptwindrichtung abgewandten Standorten im Nordosten Belgiens (Hogervorst et al., 2007)	5 %-Perzentil	60	In Schlafzimmern in Petrischalen jeweils über 3 Monate gesammelte Staubproben (n = 169). Die in der Studie angegebenen Werte in µg pro m ² wurden mit einem Faktor von 3 in mg pro kg umgerechnet (Glorennec et al., 2012)
	95 %-Perzentil	550	
	Geom. Mittel	110	
Hausstaub 2003 aus österreichischen Wohnungen im Grossraum Wien (Uhl et al., 2004)	5 %-Perzentil	10	Mit Staubsaugern gesammelte Proben aus 22 Haushalten von Mitarbeitern des österreichischen Umweltbundesamts. Weitere 2 Proben stammten aus Büroräumen. Untersucht wurde die Fraktion < 63 µm
	95 %-Perzentil	490	
	Mittelwert	350	
Hausstaub 2008 – 2009 in Frankreich (Glorennec et al., 2012)	10 %-Perzentil	55	Wischproben in verschiedenen Zimmern von 471 Wohnungen. Die in der Studie angegebenen Werte in µg pro m ² lassen sich laut Autoren mit einem Faktor von 3 in mg pro kg umrechnen
	50 %-Perzentil	135	
	90 %-Perzentil	490	
Bodenstaub 2008 – 2009 auf versiegelten Spielplätzen vor Wohngebäuden in Frankreich (Glorennec et al., 2012)	10 %-Perzentil	5	Wischproben von 53 Spielplätzen in unmittelbarer Nähe von Wohngebäuden. Die in der Studie angegebenen Werte in µg pro m ² lassen sich laut Autoren mit einem Faktor von 3 in mg pro kg umrechnen
	50 %-Perzentil	25	
	90 %-Perzentil	120	
Bodenstaub um 2015 an urbanem Standort (7'000 Einw.) in Nordportugal (Patinha et al., 2015)	10 %-Perzentil	35	Total 21 Proben mit Korngrösse < 250 µm gesammelt auf Schularealen (n = 9), Sport- (n = 2) und Spielplätzen (n = 2), Parks (n = 3), öffentlichen Plätzen (n = 4) und am Strassenrand (n = 1)
	50 %-Perzentil	100	
	90 %-Perzentil	560	
Staubniederschlag im Jahr 2000, im Freien an sieben urbanen Standorten in der Schweiz mit Hintergrundbelastung (BAFU, 2019b)	Mittelwert	110	Indikative Werte errechnet aus den Jahresmitteln für die Niederschlagsraten von Blei im Staubniederschlag und von Staub
	10 %-Perzentil	45	
	50 %-Perzentil	60	
	90 %-Perzentil	230	
	50 %-Perzentil	220	
	90 %-Perzentil	445	

Probe und Standort	Wert [mg/kg]		Beschreibung
Staubniederschlag im Jahr 2019, im Freien an vier urbanen Standorten in der Schweiz mit Hintergrundbelastung (BAFU, 2019b)	Mittelwert	85	Indikative Werte errechnet aus den Jahresmitteln für die Niederschlagsraten von Blei im Staubniederschlag und von Staub
	Minimum	25	
	50 %-Perzentil	80	
	Maximum	150	

Laut Expertengruppe der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) sind die Nierentoxizität und Herz-Kreislauf-Effekte die empfindlichsten Endpunkte für die Bleiexposition Erwachsener. Sie äussern sich in einer Reduzierung der Nierenfunktionsleistung bzw. der Erhöhung des systolischen Blutdrucks. Bei Kindern mindestens bis zum Alter von sieben Jahren beeinträchtigt Blei die Entwicklung des Nervensystems. Negative Wirkungen manifestieren sich im Verhalten, in der Aufmerksamkeit und in verminderten Intelligenzleistungen. Anhand Benchmark-Dosen der unteren Konfidenzgrenze (BMDL; benchmark dose lower confidence limit) für den Blutblei-Gehalt von 12 µg/l für die Reduktion auf der IQ-Skala um 1 % bei Kindern, von 15 µg/l für die Zunahme der Prävalenz für chronische Nierenerkrankungen um 10 % bei Erwachsenen sowie von 36 µg/l für den Anstieg des systolischen Blutdrucks um 1 % bei Erwachsenen wurden die Tabelle A3.5 aufgeführte Referenzpunkte für die nahrungsmittelbedingte Bleiaufnahme abgeleitet (EFSA, 2010).

Tabelle A3.5

Konversion von Blutblei-Gehalten in eine korrespondierende Aufnahme mit der Nahrung

Konversion von Benchmark-Dosen der unteren Konfidenzgrenze (BMDL; benchmark dose lower confidence limit) in korrespondierende Bleiaufnahmen mit der Nahrung. Tägliche Aufnahmen pro Person basieren auf Körpergewichten von 20 kg bei Kindern (a) und 60 kg bei Erwachsenen (b).

Endpunkt	Population	BMDL	Pb-Aufnahme	Pb-Aufnahme
		B-Pb [µg/l]	[µg kg ⁻¹ bw d ⁻¹]	[µg d ⁻¹ pro Person]
Entwicklungsneurotoxizität	Kinder	12	0.50	10 ^(a)
Nierenschädigende Wirkung	Erwachsene	15	0.63	37.5 ^(b)
Kardiovaskuläre Effekte	Erwachsene	36	1.50	90 ^(b)

Quelle: EFSA (2010)

In ihren Risikobewertungen kam die Expertengruppe der EFSA zum Schluss, dass das Risiko von Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System oder die Nieren erwachsener Verbraucher bei der derzeitigen Bleiexposition gering bis vernachlässigbar ist. Bei Säuglingen und Kindern bestehen bei der derzeitigen Exposition gegenüber Blei potenzielle Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen auf die Entwicklung des Nervensystems. Da Föten auf Blei sehr empfindlich reagieren, gehören auch schwangere Frauen und Frauen mit Kinderwunsch zur vulnerablen Gruppe. Die Ingestion von Boden- und Hausstaub kann neben der Nahrung für Kleinkinder eine wichtige Bleiquelle sein (EFSA, 2010; EFSA, 2012).

A.4 Regulierung

Dass Blei schon in tiefen Dosen und Konzentrationen negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit des Menschen haben kann, ist heute aufgrund fortgeschrittener Kenntnisse im Bereich der Umwelt- und Humantoxikologie unbestritten. In der Schweiz existiert eine Vielzahl von Vorschriften, die zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit des Menschen den Umgang mit Blei regeln. Eine Übersicht über ausgewählte Vorschriften gibt Tabelle A4. In der zeitlichen Abfolge wurden erste den Umgang mit Blei regelnde Vorschriften zum Schutze der Arbeitnehmer erlassen. Es folgten bundesweit gültige Regelungen zum Schutze der Verbraucher. Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung der 1950er und 1960er Jahre und der damit verbundenen stärkeren Nutzung der Umwelt gingen Gesetzgebungsaktivitäten einher, die das Umweltrecht schrittweise erweiterten (BAFU, 2013). Damit konnten Einträge von Blei in Böden, Gewässer und die Luft erheblich vermindert werden.

Hohe Regulierungsdichte im Umgang mit Blei aufgrund im Lauf der Zeit gewonnener Erkenntnisse zu den Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen

Mit der zunehmenden Verwendung von Blei, seinen Legierungen und Verbindungen nahmen in vielen Ländern gewerbliche Bleivergiftungen zu, in der Schweiz gehen Massnahmen zu deren Bekämpfung auf das Ende des 19. Jahrhunderts zurück: Im Jahr 1887 nahm der Bundesrat Blei, seine Verbindungen und Bleilegierungen in die Liste der gefährlichen Stoffe auf, welche Berufskrankheiten im Sinne des Fabrik- und des Haftpflichtgesetzes erzeugen; damit wurden Bleierkrankungen als Berufskrankheit anerkannt (Bundesbl., 1928). In einem Bericht der Eidgenössischen Fabrikinspektoren zuhanden des Bundesrats wurden die Blei verwendenden Industrien genannt, es waren dies Bleiweiss- und Mennigefabriken, glasierende Töpfereien und Emaillieranstalten, Bleioxide im Rohmaterial einschmelzende Glashütten, Bleisalze für Beizzwecke verwendende Kammfabriken sowie Schriftgiessereien (Bundesbl., 1887). Spinner (1913) berichtet von 468 Bleivergiftungen im Zeitraum 1898 – 1911, die einen Anteil von 63 % an den gewerblichen Vergiftungen hatten. Bedingt durch die Verwendung von bleihaltigen Anstrichprodukten und das Setzen von bleihaltigen Lettern waren Maler und Schriftsetzer betroffen, in der Industrie waren es bei der Herstellung von Kabeln und Akkumulatoren Beschäftigte (Spinner, 1913).

Bekämpfung gewerblicher Bleivergiftungen seit Ende des 19. Jahrhunderts

Gestützt auf das im Jahr 1909 in Kraft getretene «Bundesgesetz betreffend den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen» wurden in der Folge Ausführungsvorschriften erlassen, die darauf abzielten, den Verbraucher vor der Aufnahme von Blei mit Lebensmitteln sowie mit diesen in Berührung kommenden Materialien zu schützen. Die «Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen» hielt beispielsweise fest, dass Behälter und Leitungen für Trinkwasser nicht aus Blei oder verbleitem Eisen hergestellt werden dürfen. Weiter war in der Verordnung festgelegt, dass mit Email, Lack oder Glasur versehene irdene Gefässe, die bei der Zubereitung, Aufbewahrung oder beim Genuss von Lebensmitteln verwendet werden sollen, unter definierten Testbedingungen kein Blei an verdünnte Essigsäure (als Surrogat für säurehaltige Lebensmittel) abgeben dürfen. Tatsächlich enthielten früher in der Keramik-, Emaillier- oder Glasindustrie verwendete Pigmente, Farben, Trübungsmittel, Schmelzglasuren, Engoben und ähnliche Zubereitungen oft Bleisalze, so verbesserte Bleioxid in Glasuren die Schmelzbarkeit und Transparenz. Meking & Lagaly (2000) schliessen aus ihren Untersuchungen über die Bleiabgabe historischer Scherben, dass Bleiglasuren für die Bevölkerung des Mittelalters und der frühen Neuzeit eine wichtige Belastungsquelle darstellten.

Vorschriften zum Schutz der Verbraucher seit dem frühen 20. Jahrhundert

Nach einer Totalrevision umfasst das Lebensmittelrecht seit Mai 2017 neben dem Gesetz vier Verordnungen des Bundesrats und 23 Verordnungen des Departements. Zweck der Revision neben einem besseren Gesundheitsschutz war der Abbau von Handelshemmnissen durch eine Harmonisierung mit dem EU-Recht (BLV, 2016). Das neue Lebensmittelrecht enthält zahlreiche Vorschriften für Blei in Lebensmitteln einschliesslich Trinkwasser, in Gebrauchs- und Bedarfsgegenständen, Spielzeugen und Kosmetika, die den Stand der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse abbilden. Desweiteren veröffentlicht das für die Lebensmittelsicherheit zuständige Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) Rückrufe und öffentliche Warnungen von Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen, welche die Gesundheit gefährden, jährliche Berichte zu Kontrollen und Statistiken im Bereich der Lebensmittelsicherheit oder Broschüren mit praktischen Empfehlungen zur Ernährung. So wird Frauen mit Kinderwunsch, Schwangeren und Stillenden empfohlen, vorsichtshalber kein Wild (Wildschwein, Reh, Hirsch und andere Wildtiere) zu essen, da dieses mit Blei belastet sein kann, wenn es mit bleihaltiger Jagdmunition erlegt wurde (BLV, 2020).

Neugestaltung des Lebensmittelrechts im Jahr 2017

Das Giftgesetz von 1969 schuf den Rahmen für den Umgang mit Giften, um die Gesundheit von Mensch und Tier zu schützen. Nach dem Giftgesetz waren grundsätzlich alle giftigen Chemikalien (worunter Bleiverbindungen fielen) anmeldebzw. zulassungspflichtig. Weiter regelte das Giftgesetz den Verkehr mit Giften. Wo die allgemeinen Umgangsvorschriften nicht ausreichten, wurden Verwendungsbeschränkungen erlassen. Die «Verordnung über verbotene giftige Stoffe» enthielt – neben nachfolgend beschriebenen Vorschriften über «Bleibenzin» – Verwendungsverbote von Bleiverbindungen in Wasser- und Leimfarben zum Anstrich von Hauswänden und Wohnräumen sowie für die Behandlung von Textilmaterialien für Bekleidungsgegenstände.

Zulassungspflicht für gesundheitsgefährdende Chemikalien zwischen 1971 und 2005

Eine frühere von Straumann (2005) ausführlich beschriebene Verwendung einer Bleiverbindung mit direktem Umwelteintrag war der Einsatz von Bleiarsenat als landwirtschaftliches Insektizid. Mit Bleiarsenat wurden in der Schweiz ab dem Jahr 1925 der Apfel- und Traubenwickler im Obst- und Weinbau sowie ab 1937 der Kartoffelkäfer im Ackerbau bekämpft. Ab 1940 wurde Bleiarsenat durch andere Insektizide ersetzt, vorerst durch «Kalkarsenat» und in der Folge durch organische Verbindungen (Straumann, 2005). Entsprechend fanden sich in der «Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen» Vorschriften, wonach Reste von arsen- und bleihaltigen Spritzmitteln aufweisendes Obst erst nach zweckentsprechender Reinigung angeboten werden durfte und Gemüse, das Reste von arsen- oder bleihaltigen Spritzmitteln aufwies, nicht zum Verkauf zugelassen war. Inwieweit das ausgebrachte Bleiarsenat in den Böden Spuren hinterlassen hat, ist im Übrigen nicht bekannt.

Einstellung der Verwendung von Bleiarsenat als Pflanzenschutzmittel in den 1940er Jahren

Auch die Verwendung von Tetraethylblei als Antiklopffmittel in Motorenbenzin war Gegenstand verschiedener Regelungen in der «Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen». Das in den 1920er Jahren wegen gesundheitlicher Bedenken erlassene Verbot von «Bleibenzin» wurde in Angleichung an die Praxis im Ausland im Jahr 1947 aufgehoben. Die Verordnung wurde 1975 mit Limite für den Pb-Gehalt in Super- und Normalbenzin ergänzt. Es folgte ein Transfer der Vorschrift in die auf das Giftgesetz abgestützte «Verordnung über verbotene giftige Stoffe» und dort eine neuerliche Senkung der zulässigen Pb-Gehalte. Nach Inkrafttreten des Umweltschutzgesetzes wurde die Zulässigkeit von Blei in Benzin in der im März 1986 in Kraft getretenen Luftreinhalteverordnung geregelt. Seit dem 1. Januar 2000 darf in der Schweiz kein verbleites

Einstellung der Verwendung von Tetraethylblei als Antiklopffmittel in Motorenbenzin im Jahr 2000

Motorenbenzin mehr verkauft werden. Dieses Verbot erfolgte zeitgleich mit der EU (BAFU, 2019c).

Für die Wasservogeljagd verwendete Bleischrotmunition enthält hundert und mehr Bleikügelchen, die teilweise auf dem Gewässergrund zu liegen kommen und von gründelnden Enten als Magensteinchen aufgenommen werden können. Schon die Aufnahme weniger Schrotkörner führt zu einer tödlichen Bleivergiftung. Im Rahmen des auch von der Schweiz ratifizierten Abkommens zur Erhaltung der afrikanisch-eurasischen wandernden Wasservogel vom 15. August 1996 (AEWA) wurde deshalb vereinbart, dass die Staaten bis zum Jahr 2000 den Gebrauch von Bleischrot in Feuchtgebieten unterbinden. Zur Umsetzung des Abkommens erliess die Schweiz mit der Revision der Jagdverordnung vom 1. April 1998 ein Verbot zur Verwendung von Bleischrot in Flachwasserzonen und Feuchtgebieten. Die Vorschrift wurde im Jahr 2012 dahingehend modifiziert, dass ein generelles Verbot von Bleischrot für die Wasservogeljagd festgelegt wurde.

Einstellung der Verwendung von Bleischrot in der Wasservogeljagd im Jahr 1998

Das Umweltschutzgesetz von 1983 weitete den gesetzlichen Rahmen im Umgang mit Chemikalien auf den Schutz der Umwelt aus (BAFU, 2013). Die Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung) von 1986 wurde mit dem Zweck erlassen, Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume sowie den Boden vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen durch den Umgang mit umweltgefährlichen Stoffen zu schützen und die Belastung der Umwelt mit umweltgefährlichen Stoffen vorsorglich zu begrenzen. Um Einträge von problematischen organischen Schadstoffen sowie Schwermetallen wie Blei in Böden zu begrenzen, wurde die Stoffverordnung im Jahr 2003 mit einem Verbot der Abgabe und Verwendung von Klärschlamm für Düngezwecke ergänzt.

Einstellung der Verwendung von Klärschlamm für Düngezwecke im Jahr 2006

Die Verwendung von Blei in Form von Mennige in Korrosionsschutzanstrichen, von bleihaltigen Weisspigmenten wie Bleicarbonat, Bleihydroxidcarbonat oder Bleisulfat beispielsweise in Bautenanstrichmitteln oder der Buntpigmente Bleisulfochromatgelb und Bleichromatmolybdatsulfatrot in Farben zur Beschichtung von Metalloberflächen oder zur Strassenmarkierung war früher üblich. Die dem Verband Schweizer Lack- und Farbenfabrikanten (VSLF) angeschlossenen Mitglieder verzichteten seit dem Jahr 2003 freiwillig auf die Verwendung von Blei in ihren Produkten. Ein Verbot bleihaltiger Anstrichprodukte und damit behandelter Gegenstände wurde im Rahmen der Totalrevision des Chemikalienrechts in der neu geschaffenen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung verankert.

Einstellung der Verwendung von Bleiverbindungen in Anstrichprodukten im Jahr 2003

Weitere Regelungen im Umweltrecht, insbesondere emissionsbegrenzende Vorschriften im Luftreinhalte- und Gewässerschutzrecht oder Vorschriften zur Störfallvorsorge und zur Entsorgung von Abfällen tragen wesentlich zu einem umweltgerechten Umgang mit Chemikalien, so auch mit Blei, bei. Die Erlasse werden laufend an den neuesten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst.

Umgangsvorschriften für Abfälle und emissionsbegrenzende Vorschriften in laufend aktualisiertem Umweltrecht

Nach Ablehnung des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum Ende 1992 hat der Bundesrat beschlossen, das Giftgesetz im Interesse der Wettbewerbsfähigkeit der inländischen Wirtschaft total zu revidieren und mit dem EU-Recht zu harmonisieren. Das im Jahr 2005 in Kraft gesetzte neue Chemikalienrecht umfasst das Ende 2000 verabschiedete Chemikaliengesetz und die dazugehörigen Ausführungsbestimmungen. Diese stützen sich nebst dem Chemikaliengesetz insbesondere auch auf das Umweltschutzgesetz ab. Entsprechend regeln die integralen Ordnungsbestimmungen sowohl Aspekte des Verbraucher- wie

Neugestaltung des Chemikalienrechts im Jahr 2005

auch des Umweltschutzes. Zuständig für die Fortschreibung der allgemeinen Vorschriften über das Inverkehrbringen und Verwenden von Chemikalien der Chemikalienverordnung ist das Bundesamt für Gesundheit (BAG). Es veröffentlicht im Übrigen auf seiner Website Wissenswertes über den Umgang mit Chemikalien im Alltag, im Gewerbe und in der Industrie sowie im Handel; zu Blei hat es ein Factsheet veröffentlicht (BAG, 2015).

Laut Vorschriften der REACH-Verordnung in der EU sowie (in Anlehnung an das EU-Recht) der Schweizer Chemikalienverordnung gelten metallisches Blei und viele Bleiverbindungen aufgrund ihrer reproduktionstoxischen Eigenschaften als «besonders besorgniserregende Stoffe». Damit gehen einerseits bestimmte Informationspflichten bei der Abgabe bleihaltiger Produkte an die Verbraucher einher, andererseits sind die Stoffe in der EU und der Schweiz Kandidaten für Beschränkungen in bestimmten Verwendungen bis hin für die grundsätzliche Pflicht zur Substitution. Solche Vorschriften finden sich in der Schweiz in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, deren Struktur auf den vormaligen Verboten der Stoffverordnung aufbaut.

Mit Inkrafttreten der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) wurden neue Verbote der Verwendung von Blei in Anstrichfarben und Lacken, Verpackungen, Elektro- und Elektronikgeräten sowie in Fahrzeugen eingeführt. Die Beschränkungen sind mit denjenigen der sog. RoHS- und ELV-Richtlinien der EU identisch (Richtlinien 2011/65/EU bzw. 2000/53/EG). Ebenfalls im Einklang mit dem EU-Recht wurden jüngst Verbote der Abgabe von bleihaltigen Gegenständen festgelegt, die von Kindern in den Mund genommen werden können. Zuständig für die Fortschreibung der ChemRRV ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Es veröffentlicht auf seiner Website umweltrelevante Informationen zu Chemikalien (www.bafu.admin.ch > Themen > Chemikalien), darunter solche zu den geltenden Vorschriften der ChemRRV.

Blei und Bleiverbindungen sind laut Chemikalienrecht «besonders besorgniserregende Stoffe»

Fortschreibung der Einschränkungen von Blei in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung

Tabelle A4

Regulierung (ausgewählte Erlasse Stand Ende 2020)

Die Angaben in der Tabelle sind lediglich eine Informationsquelle und geben die Vorschriften über Blei verkürzt in den Grundzügen wieder. Rechtlich verbindlich sind die Originaltexte der zitierten Erlasse

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
Chemikalienrecht	Chemikalienverordnung ChemV (SR 813.11)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 5 - Art. 19 - Art. 48 - Art. 64 in Verbindung mit Anhang 1.10 der ChemRRV - Art. 70 - Art. 71 	<p>Blei und die meisten Bleiverbindungen sind gefährliche Chemikalien im Sinne des Chemikalienrechts. Eine Reihe von Bleiverbindungen und auch metallisches Blei sind aufgrund ihrer fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften zudem als «besonders besorgniserregende Stoffe» (SVHC) klassiert. Die Herstellerin, worunter auch die Importeurin fällt, von Blei oder Bleiverbindungen sowie von Zubereitungen, welche diese Stoffe enthalten, ist verpflichtet, eine Selbstkontrolle durchzuführen. Dabei ist das vom Produkt ausgehende Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt zu beurteilen, um nötigenfalls Schutzmassnahmen von sich aus zu treffen. Im Rahmen der Selbstkontrolle sind die Stoffe und Zubereitungen nach den Bestimmungen der ChemV einzustufen, zu verpacken und zu kennzeichnen und es ist ein Sicherheitsdatenblatt zu erstellen. Die Stoffe und Zubereitungen sind im Produktregister zu melden. Die Abgabe von Blei und Bleiverbindungen sowie von Zubereitungen mit diesen Stoffen an private Verwenderinnen ist mit wenigen Ausnahmen verboten.</p> <p>Bei der Abgabe an berufliche und gewerbliche Verwenderinnen von Gegenständen, die Blei oder als SVHC klassierte Bleiverbindungen enthalten, sind diesen alle für die sichere Verwendung des Gegenstands nötigen Informationen unaufgefordert mitzuteilen. Privaten Verwenderinnen sind die Informationen auf Verlangen auszurichten.</p>
	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung ChemRRV (SR 814.81)	- Anhang 1.17 Stoffe nach Anhang XIV REACH-VO	<p>Das Inverkehrbringen und die Verwendung folgender Bleiverbindungen und von Zubereitungen mit diesen Verbindungen ist aufgrund deren krebserzeugenden (Kategorie 1B) und fortpflanzungsgefährdenden (Kategorie 1A) Eigenschaften grundsätzlich verboten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bleichromat (CAS-Nr. 7758-97-6), - Bleisulfochromatgelb (CAS-Nr. 1344-37-2) und - Bleichromatmolybdatsulfatrot (CAS-Nr. 12656-85-8) <p>Ausgenommen sind Verwendungen, die in der EU zugelassen sind, auf die sich Schweizer Akteure berufen können, soweit es sich nicht um Anstrichfarben und Lacke handelt, und die Verwendung bei der Anmeldestelle für Chemikalien gemeldet wird.</p>
		- Anhang 2.6 Ziffer 2.2 Absatz 1 sowie Ziffern 2.2.1 und 2.2.4 Dünger	Organische Dünger, organisch-mineralische Dünger, Recyclingdünger wie Kompost und Gärgut sowie Hofdünger dürfen nur abgegeben werden, wenn der Pb-Gehalt 120 g/t Trockensubstanz nicht überschreitet. Weiter darf mineralischer Recyclingdünger mit zurückgewonnenem Phosphor (P) nur abgegeben werden, wenn der Gehalt an Blei 500 g/t P nicht überschreitet. Zudem darf Klärschlamm nicht für Düngezwecke abgegeben werden.
		- Anhang 2.8 Anstrichfarben und Lacke	Das Inverkehrbringen von Blei oder Bleiverbindungen enthaltenden Anstrichfarben und Lacken, die 0.01 % (100 mg/kg) oder mehr Blei enthalten, sowie von damit behandelten Gegenständen durch die Herstellerin ist verboten.
	- Anhang 2.15 Ziffern 4 – 6 in Verbindung mit der Verordnung des UVEK über	Auf Batterien muss der Hinweis zum Entsorgungsweg über eine getrennte Sammlung angebracht sein. Wenn sie mehr als 40 mg Blei pro kg enthalten, sind sie zusätzlich mit dem Symbol «Pb» zu kennzeichnen.	

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
		<p>die Höhe der vorgezogenen Entsorgungsgebühr für Batterien (SR 814.670.1)</p> <p>Kennzeichnung sowie Rückgabe- und Rücknahmepflicht von Batterien, vorgezogene Entsorgungsgebühr</p>	<p>Verbraucherinnen müssen Batterien zur Entsorgung einer rücknahmepflichtigen Händlerin oder Herstellerin oder einer für Batterien vorgesehenen Sammlung oder Sammelstelle übergeben. Die Verkaufsstellen von Gerätebatterien sind verpflichtet, Batterien aller Marken kostenlos zurückzunehmen, während Verkaufsstellen von Fahrzeug- oder Industriebatterien die Arten von Batterien, die sie im Sortiment führen, von Verbraucherinnen unentgeltlich zurücknehmen müssen.</p> <p>Um eine hohe Sammelquote zu erreichen und um die Behandlung sicherzustellen, wird auf Batterien eine vorgezogene Entsorgungsgebühr erhoben. Herstellerinnen von Fahrzeug- und Industriebatterien sowie von Fahrzeugen und Geräten, welche Fahrzeug- oder Industriebatterien enthalten, können auf Gesuch hin von der Gebührenpflicht befreit werden, wenn sie im Rahmen einer Branchenlösung oder aufgrund besonderer Marktverhältnisse eine umweltverträgliche Entsorgung der Batterien und die Deckung der gesamten Entsorgungskosten gewährleisten.</p>
		- Anhang 2.16 Ziffer 3 ^{ter} Blei und seine Verbindungen in Gegenständen für die breite Öffentlichkeit	<p>Verboten ist das Inverkehrbringen neuer Gegenstände, wenn sie oder Teile davon mehr als 0.05 % Blei enthalten, und sie zur Abgabe an private Verwenderinnen bestimmt sind und unter normalen oder vernünftigerweise vorhersehbaren Verwendungsbedingungen von Kindern in den Mund genommen werden können.</p> <p>Das Verbot gilt nicht für Kristallglas, Edel- oder Schmucksteine, sofern sie nicht mit Blei oder Bleiverbindungen behandelt wurden, Email, Schlüssel oder Schlösser, Musikinstrumente, Gegenstände oder Teile davon, die Messinglegierungen enthalten, sofern der Bleigehalt im Messing 0.5 % nicht überschreitet, Spitzen von Schreibgeräten, Devotionalien, Zink-Kohle-Gerätebatterien und Knopfzellen.</p> <p>Für das Inverkehrbringen von Verpackungen, mit Anstrichfarben und Lacken behandelten Gegenständen, Holzwerkstoffen sowie Elektro- und Elektronikgeräten, die Blei oder Bleiverbindungen enthalten, gelten Anhang 2.16 Ziffer 4 sowie die Anhänge 2.8, 2.17 und 2.18. Für das Inverkehrbringen von bleihaltigen Bedarfsgegenständen, Spielzeugen, Schmuckwaren oder Kerzendochten gelten die Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV) bzw. die auf die LGV gestützten Verordnungen.</p>
		- Anhang 2.16 Ziffer 4 Schwermetalle in Verpackungen	<p>Verpackungen oder Verpackungsbestandteile dürfen insgesamt nicht mehr als 100 mg/kg Blei, Cadmium, Quecksilber und Chrom(VI) enthalten.</p> <p>Ausgenommen sind Bleikristallglas, anderes Glas, sofern die Grenzwertüberschreitung auf das Altglas zurückzuführen ist, Kapseln auf Flaschen, die Wein mit älterem Jahrgang als 1996 enthalten, Kunststoffkästen und -paletten, wenn zu deren Herstellung gebrauchtes Granulat aus Kunststoffkästen und -paletten verwendet wird und während des Recyclings Schwermetalle nicht bewusst zugegeben worden sind.</p>
		- Anhang 2.16 Ziffer 5 Schwermetalle in Fahrzeugen	<p>Neue Werkstoffe und Bauteile für Fahrzeuge sowie neue Fahrzeuge mit solchen Werkstoffen und Bauteilen dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie mehr als 0.1 % Blei je homogenem Werkstoff enthalten. Fahrzeuge im Sinne der Regelung sind Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge.</p>

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
			Die Verbote gelten nicht für Fahrzeugwerkstoffe und -bauteile, für die Anhang II der Richtlinie 2000/53/EG (ELV-RL) festlegt, dass sie Blei enthalten dürfen, sowie für Fahrzeuge mit solchen Werkstoffen und Bauteilen.
		- Anhang 2.17 Holzwerkstoffe	Holzwerkstoffe dürfen nicht mehr als 90 mg/kg Blei enthalten
		- Anhang 2.18 Elektro- und Elektronikgeräte	Neue Elektro- und Elektronikgeräte, Kabel und Ersatzteile dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn ihr Gehalt an Blei 0.1 % bezogen auf den homogenen Werkstoff übersteigt. Die Verbote gelten nicht für Geräte, Kabel und Ersatzteile, für welche die Anhänge III und IV der Richtlinie 2011/65/EU (RoHS2) festlegen, dass sie Blei enthalten dürfen.
	Biozidprodukte- verordnung VBP (SR 813.12)	- Art. 14 Abs. 2 Bst. a in Verbindung mit An- hang 5 Verfahren für Gesuche um Zulassungen	Aufgrund der fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (Kat. 1A) von Blei und seinen Verbindungen sind diese als Wirkstoffe in Biozidprodukten grundsätzlich nicht genehmigungsfähig.
Landwirtschaftsrecht	Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (SR 916.161)	- Art. 4 Abs. 2 Kriterien für die Genehmigung von Wirkstoffen - Art. 40a in Verbindung mit Anhang 1 Teil D Pflanzenschutzmittel mit genehmigten Grundstoffen	Aufgrund der fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (Kat. 1A) von Blei und seinen Verbindungen sind diese als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln grundsätzlich nicht genehmigungsfähig. Pflanzenschutzmittel, die ausschliesslich Calciumhydroxid enthalten, dürfen höchstens 2 mg Pb/kg Trockensubstanz enthalten.
	Verordnung des WBF über die biologische Landwirtschaft (SR 910.181)	- Art. 2 in Verbindung mit Anhang 2 Zugelassene Dünger	Nachstehende Recyclingdünger sind in der biologischen Landwirtschaft zugelassen, soweit ihr Bleigehalt 45 g/t Trockensubstanz nicht übersteigt: - Kompost oder Gärgut aus Haushaltsabfällen, - Organisches Sediment aus Binnengewässern, entstanden unter Ausschluss von Sauerstoff (z.B. Faulschlamm).

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
	Futtermittelbuch- Verordnung FMBV (SR 916.307.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 17 in Verbindung mit Anhang 2 Liste der zugelassenen Futtermittelzusatzstoffe - Art. 19 in Verbindung mit Anhang 10 Unerwünschte Stoffe in der Tierernährung mit Verweis auf Richtlinie 2002/32/EG 	<p>Für nachstehende Futtermittel sind mit Verweis auf Anhang I der Richtlinie 2002/32/EG für den Gehalt an Blei folgende Höchstkonzentrationen, bezogen auf ein Futtermittel mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 12 %, festgelegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Futtermittel-Ausgangserzeugnisse 10 mg/kg - Futtermittelzusatzstoffe der Funktionsgruppe Spurenelemente 100 mg/kg - Futtermittelzusatzstoffe der Funktionsgruppe Binde- und Trennmittel 30 mg/kg - Vormischungen 200 mg/kg - Ergänzungsfuttermittel 10 mg/kg - Alleinfuttermittel 5 mg/kg <p>Abweichend von der Höchstkonzentration in Futtermittel-Ausgangserzeugnissen gelten für nachstehende Erzeugnisse folgende Höchstkonzentrationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grünfutter (einschl. Heu, Silage, frisches Gras usw.) 30 mg/kg - Phosphate, kohlensaurer Algenkalk und kohlensaurer Muschelkalk 15 mg/kg - Calciumcarbonat, Calcium-Magnesiumcarbonat 20 mg/kg - Hefen 5 mg/kg <p>Abweichend von der Höchstkonzentration in Futtermittelzusatzstoffen der Funktionsgruppe Spurenelemente gelten für nachstehende Erzeugnisse folgende Höchstkonzentrationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zinkoxid 400 mg/kg - Mangan(II)-oxid, Eisencarbonat sowie Kupfer(II)-carbonat und Kupfer(I)-oxid 200 mg/kg <p>Abweichend von der Höchstkonzentration in Futtermittelzusatzstoffen (Funktionsgruppe Binde- und Trennmittel) gelten für Klinoptilolith vulkanischen Ursprungs und Natrolith-Phonolith eine Höchstkonzentration von 60 mg/kg.</p> <p>Abweichend von der Höchstkonzentration in Ergänzungsfuttermitteln gelten für nachstehende Erzeugnisse folgende Höchstkonzentrationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mineralfuttermittel 15 mg/kg - Retardierende Formulierungen für besondere Ernährungszwecke 60 mg/kg <p>Daneben sind Begrenzungen von Blei für die Futtermittelzusatzstoffe Klinoptilolith vulkanischen Ursprungs und Zinksulfat Heptahydrat gemäss Anhang 2 FMBV zu beachten.</p>
Jagdrecht	Jagdverordnung JSV (SR 922.01)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 2 Für die Jagd verbotene Hilfsmittel 	<p>Für die Wasservogeljagd darf Bleischrot nicht verwendet werden (im Mai 2020 hat der Bundesrat die Vernehmlassung zu einer Änderung der JSV eröffnet. Die Vorlage sieht auch zusätzliche Beschränkungen der Verwendung bleihaltiger Munition vor)</p>
Sprengstoffrecht	Sprengstoffverordnung SprstV (SR 941.411)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 24 Abs. 1 Voraussetzungen für die Bereitstellung auf dem Markt 	<p>Laut Sprengstoffverordnung dürfen Feuerwerkskörper in der Schweiz in Verkehr gebracht werden, wenn sie den Sicherheitsanforderungen gemäss Anhang I der Richtlinie 2013/29/EU genügen, nach ihrer Art oder ihrem Zweck, dem Grad der Gefährdung und ihrem Lärmpegel vom Hersteller einer bestimmten Kategorie (F1 – F4) zugeordnet worden sind und festgelegte Kennzeichnungsanforderungen erfüllen. Laut den Europäischen Normen EN 15947-5 (Vorschriften für Feuerwerkskörper der Kategorien F1 – F3) sowie EN 16261-2 (Vorschriften für die Kategorie F4), die der Richtlinie 2013/29/EU nachgelagert sind, dürfen Feuerwerkskörper kein Blei enthalten.</p>

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
Lebensmittelrecht (Kosmetika)	Lebensmittel- und Gebrauchsgegen- ständeverordnung LGV (SR 817.02) Verordnung des EDI über kosmeti- sche Mittel VKos (SR 817.023.31)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 54 Abs. 1 LGV Anforderungen an Stoffe in kosmetischen Mitteln - Art. 6 Abs. 3 VKos Verbotene Stoffe 	<p>Mit Verweis auf Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 ist die Verwendung von Blei und seinen Verbindungen in kosmetischen Mitteln verboten.</p> <p>Kleine Mengen eines verbotenen Stoffes werden toleriert, wenn sie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - unbeabsichtigt sind und sich aus Verunreinigungen natürlicher oder synthetischer Bestandteile, aus dem Herstellungsprozess, aus der Lagerung oder der Migration aus der Verpackung ergeben, und - unter guter Herstellungspraxis technisch unvermeidbar sind, und - die Gesundheit nicht gefährden.
Lebensmittelrecht (Bedarfsgegenstände und Gegenstände für den Humankontakt)	Verordnung des EDI über Materia- lien und Gegen- stände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kom- men (SR 817.023.21)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 1 Geltungsbereich - Art. 8 Allgemeine An- forderungen an Be- darfsgegenstände aus Metall - Art. 9 Spezifische An- forderungen an Be- darfsgegenstände aus Metall - Art. 11 in Verbindung mit Anhang 2 Bedarfs- gegenstände aus Kunststoff - Art. 32 in Verbindung mit Anhängen 2 und 9 Bedarfsgegenstände aus Silikon - Art. 24 in Verbindung mit Anhängen 6 und 7 Bedarfsgegenstände aus Zellglasfolien 	<p>Die Bedarfsgegenständeverordnung regelt Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen (Bedarfsgegenstände).</p> <p>Bedarfsgegenstände aus Metall oder Metalllegierungen einschliesslich derjenigen, die mit Überzügen versehen sind, dürfen höchstens 0.05 % Blei enthalten. Bei mit Metallen überzogenen Bedarfsgegenständen muss der Überzug stets in gutem Zustand sein.</p> <p>Bedarfsgegenstände, die zum Kontakt mit Trinkwasser bestimmt sind und deren Gehalt an Blei 0.05 % übersteigt, sind zulässig, wenn bei der Migration von Blei ins Wasser der Wert gemäss Anhang 2 der Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen von 10 µg Pb/l eingehalten wird.</p> <p>Bedarfsgegenstände aus Zinn müssen aus mindestens 97 % Zinn bestehen und dürfen höchstens 0.05 % Blei enthalten. Zinn, das als Überzugsmetall von Stahlblech verwendet wird, darf in der Sorte «Sn 99.85 %» höchstens 0.01 % Blei enthalten.</p> <p>Für die Herstellung von Bedarfsgegenständen aus Kunststoffen und Silikon dürfen Blei und seine Verbindungen nicht verwendet werden. Für die Verwendung nachstehend aufgeführter Stoffe gelten folgende Spezifikationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vor dem Granulieren darf das Copolymer-Pulver Poly(3-D-Hydroxybutyrat-co-3-D-hydroxyvalerianat) höchstens 2 mg Pb/kg enthalten, - natürliches Calciumcarbonat darf höchstens 30 mg Pb/kg enthalten, - der kumulative Gehalt an Arsen, Blei und Cadmium darf in Di-n-octylzinnverbindungen und Dimethylzinnverbindungen 30 mg/kg nicht überschreiten, - der in 0.1 M Salzsäure lösliche Gehalt an Blei im Pigment oder Farbstoff darf 0.01 % (100 mg/kg) nicht überschreiten. <p>Für die Herstellung von Bedarfsgegenständen aus Zellglasfolien dürfen Blei und seine Verbindungen nicht verwendet werden.</p>

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
		<ul style="list-style-type: none"> - Art. 26 in Verbindung mit Anhang 8 Bedarfsgegenstände aus Keramik, Glas, Email und ähnlichen Materialien - Art. 35 in Verbindung mit Anhängen 2 und 10 Druckfarben für Bedarfsgegenstände 	<p>Die Teile von Bedarfsgegenständen aus Keramik, Glas, Email und ähnlichen Materialien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, dürfen während 24 Stunden bei 22°C an 4-volumenprozentige Essigsäure höchstens folgende Mengen Blei abgeben:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nicht füllbare und füllbare Gegenstände (innere Tiefe bis 25 mm): 0.8 mg/dm² - füllbare Gegenstände (innere Tiefe über 25 mm): 4.0 mg/l - Koch- und Backgeräte sowie Verpackungs- und Lagerbehältnisse (Füllvolumen > 3 l): 1.5 mg/l <p>Für die Herstellung von Druckfarben zur Bedruckung der Bedarfsgegenstände-Oberfläche, die nicht in direkte Berührung mit den Lebensmitteln kommt, dürfen Blei und seine Verbindungen nicht verwendet werden. Für die Verwendung nachstehend aufgeführter Stoffe gelten folgende Spezifikationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vor dem Granulieren darf das Copolymer-Pulver Poly(3-D-Hydroxybutyrat-co-3-D-hydroxyvalerianat) höchstens 2 mg Pb/kg enthalten, - natürliches Calciumcarbonat darf höchstens 30 mg Pb/kg enthalten, - der kumulative Gehalt an Arsen, Blei und Cadmium darf in Di-n-octylzinnverbindungen und Dimethylzinnverbindungen 30 mg/kg nicht überschreiten, - der in 0.1 M Salzsäure lösliche Gehalt an Blei im Pigment oder Farbstoff darf 0.01 % (100 mg/kg) nicht überschreiten.
	Verordnung des EDI über Gegenstände für den Schleimhaut-, Haut- und Haarkontakt sowie über Kerzen, Streichhölzer, Feuerzeuge und Scherzartikel HKV (SR 817.023.41)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 2b Bleihaltige Gegenstände - Art. 5 Anforderungen an Tätowierfarben und Farben für Permanent-Make-up - Art. 22 Verbotene Stoffe in textilen Materialien und Schuhe - Art. 23 Kerzen, Räucherstäbchen und ähnliche Gegenstände 	<p>Neue Schmuck- und Fantasieschmuckerzeugnisse wie Haarschmuck, Armbänder, Halsketten, Ringe, Piercings, Armbanduhren, Broschen und Manschettenknöpfe dürfen in ihren von aussen zugänglichen Metallteilen höchstens 0.05 % Pb enthalten.</p> <p>Tätowierfarben und Farben für Permanent-Make-up dürfen höchstens 2 mg Pb/kg enthalten.</p> <p>Für die Behandlung von textilen Materialien dürfen Blei und seine Verbindungen nicht verwendet werden. Kleidung, andere Textilien, die bei vorhersehbarer Verwendung mit der menschlichen Haut in Berührung kommen, und Schuhwaren dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie bezogen auf das homogene Material mehr als 1 mg Pb/kg enthalten, soweit Blei und seine Verbindungen in den Anlagen 1 - 6 des Anhangs XVII REACH-Verordnung aufgeführt sind.</p> <p>Kerzen, Räucherstäbchen und ähnliche Gegenstände dürfen beim Verbrennungsprozess Stoffe oder Stoffgemische nur in Mengen freisetzen, welche die Gesundheit des Menschen nicht gefährden. Der Bleigehalt von Kerzendochten darf 600 mg/kg nicht übersteigen.</p>

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
Lebensmittelrecht (Spielzeug)	Verordnung des EDI über die Sicherheit von Spielzeug VSS (SR 817.023.11)	- Art. 3 Abs. 2 Bst. b in Verbindung mit Anhang 2 Ziffern 3, 4 und 11 Sicherheitsanforderungen an Spielzeug	Aufgrund der fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (Kat. 1A) von Blei und seinen Verbindungen dürfen diese Stoffe in keinem Teil eines Spielzeugs verwendet werden, die zulässigen Maximalgehalte richten sich nach den Berücksichtigungsgrenzen, wonach ein Stoff oder eine Zubereitung nicht als gefährlich im Sinne des Chemikalienrechts einzustufen ist (die Grenze liegt in vielen Fällen bei 0.3 %). Keinesfalls dürfen die folgenden Grenzwerte für Blei in der Migrationsprüfung von Spielzeug und Spielzeugbestandteilen überschritten werden: <ul style="list-style-type: none"> - trockene, brüchige, staubförmige oder geschmeidige Spielzeugmaterialien: 2.0 mg/kg - flüssige oder haftende Spielzeugmaterialien: 0.5 mg/kg - abgeschabte Spielzeugmaterialien: 23 mg/kg
Lebensmittelrecht (Trinkwasser)	Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen TBDV (SR 817.022.11)	- Art. 3 in Verbindung mit Anhang 2 Anforderung an Trinkwasser - Art. 4 Abs. 5 Anforderungen an Wasserversorgungsanlagen	Trinkwasserkontaktmaterialien dürfen Stoffe nur in Mengen ins Trinkwasser abgeben, die gesundheitlich unbedenklich sowie technisch unvermeidbar sind und keine Veränderung der Zusammensetzung oder der organoleptischen Eigenschaften herbeiführen. Ab Hausinstallationen nach einem Vorlauf von 500 ml entnommene Trinkwasserproben dürfen einen Höchstwert von 10 µg Pb/l nicht überschreiten.
Lebensmittelrecht (Nahrungsmittel)	Verordnung des EDI über Getränke (SR 817.022.12)	- Art. 6 in Verbindung mit Anhang 2 Anforderungen an natürliches Mineralwasser - Art. 13 in Verbindung mit Anhang 2 TBDV Anforderungen an Quellwasser	Ein Höchstwert für Blei von 10 µg/l gilt für: <ul style="list-style-type: none"> - Mineralwasser zum Zeitpunkt der Abfüllung, - vermarktetes Quellwasser bei der Abgabe an Konsumenten.
	Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten VHK (SR 817.022.15)	- Art. 5 in Verbindung mit Anhang 3 Verbot des Inverkehrbringens, der Verwendung, der Vermischung und der Entgiftung	Ein in Anhang 3 der VHK aufgeführtes Lebensmittel darf weder in Verkehr gebracht noch als Lebensmittelzutat verwendet werden, wenn es den dort für dieses Lebensmittel genannten Höchstgehalt an Blei überschreitet (Anhang 3 enthält für über vierzig Lebensmittel Höchstgehalte an Blei, so für Blatt- und Fruchtgemüse sowie anderes Gemüse, Fleisch von Rindern, Schafen, Schweinen und Geflügel, Getreide, Muskelfleisch von Fischen oder Obst. Für die genannten Lebensmittel reichen die Gehalte von 0.1 – 0.3 mg/kg).
Luftreinhalterecht	Luftreinhalte-Verordnung LRV (SR 814.318.142.1)	- Art. 2 Abs. 5 in Verbindung mit Anhang 7 Immissionsgrenzwerte	Für Blei im Schwebstaub und Staubniederschlag sind folgende Immissionsgrenzwerte für das Jahresmittel (arithmetischer Mittelwert) festgelegt: <ul style="list-style-type: none"> - Blei im Schwebstaub (PM10): 500 ng m⁻³ - Blei im Staubniederschlag: 100 µg m⁻² d⁻¹ Eine Immissionsbelastung über dem Grenzwert gilt als übermässig. Die LRV regelt das Vorgehen zur Bekämpfung einer solchen Belastung. Bei stationären Anlagen beispielsweise haben die zuständigen Behörden die Kompetenz, Emissionsbegrenzungen zu ergänzen oder zu verschärfen.

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
		- Anhang 1, Ziffer 5 Allg. Emissionsbegrenzung für anorganisches Blei, vorw. staubförmig	Die Emissionskonzentration von Blei und seinen Verbindungen im Abgas stationärer Anlagen darf, bei einem Massenstrom von 25 g/h oder mehr, 5 mg Pb/m ³ nicht übersteigen.
		- Anhang 1, Ziffer 7 Allg. Emissionsbegrenzung für organisches Blei	Die Emissionskonzentration von Alkylbleiverbindungen im Abgas von stationären Anlagen darf, bei einem Massenstrom von 100 g/h oder mehr, 20 mg/m ³ nicht übersteigen.
		- Anhang 2, Ziffer 11 Zementöfen und Kalkklinkeröfen	Die Emissionen von Blei und Zink sowie deren Verbindungen, angegeben als Metalle, dürfen als Summe 1 mg/m ³ nicht überschreiten.
		- Anhang 2, Ziffer 46 Anlagen zur Herstellung von Blei-Akkumulatoren	Die Abgase von Anlagen zur Herstellung von Blei-Akkumulatoren sind zu erfassen und einer Entstaubungsanlage zuzuführen. Die Emissionen von Blei dürfen 1 mg/m ³ nicht überschreiten.
		- Anhang 2, Ziffer 71 Verbrennen von Siedlungs- und Sonderabfällen	Die Emissionen von Blei und Zink sowie deren Verbindungen, angegeben als Metalle, dürfen als Summe 1 mg/m ³ nicht überschreiten.
		- Anhang 2, Ziffer 72 Verbrennen von Altholz, Papier- u. ä. Abfällen	Die Emissionen von Blei und Zink sowie deren Verbindungen, angegeben als Metalle, dürfen als Summe 5 mg/m ³ nicht überschreiten. Zulässig ist die Verbrennung von Altholz aus Gebäudeabbrüchen soweit es keine bleihaltigen Beschichtungen enthält.
		- Anhang 5 Ziffer 1 Heizöle und andere flüssige Brennstoffe	Heizölen dürfen keine Zusätze beigegeben werden, die Halogen- oder Schwermetallverbindungen (ausgenommen Eisenverbindungen) enthalten. Der Gehalt an Blei in «anderen flüssigen Brennstoffen», die sich wie Heizöl «Extra leicht» verbrennen lassen, darf 5 mg/kg nicht überschreiten. Enthalten solche Brennstoffe mehr als 5 mg Pb/kg, sind sie als Sonderabfälle zu behandeln.
		- Anhang 5 Ziffer 3 Holzbrennstoffe	Als Holzbrennstoffe gelten naturbelassenes stückiges und nichtstückiges Holz, Restholz aus Industrie und Gewerbe, die Holz verarbeiten, sowie unbehandeltes Altholz. Keine Holzbrennstoffe sind Altholz aus Gebäudeabbrüchen oder Renovationen, Restholz von Baustellen, alte Holzmöbel und Altholz aus Verpackungen sowie anderes Altholz.
		- Anhang 5 Ziffer 5 Benzin	Motorenbenzin darf gewerbsmässig nur eingeführt oder in Verkehr gebracht werden, wenn es den Bleigehalt von 5 mg/l nicht überschreitet.
Gewässerschutzrecht	Gewässerschutzverordnung GSchV (SR 814.318.142.1)	- Anhang 2 Anforderungen an die Wasserqualität für oberirdische Gewässer	Oberflächengewässer erfüllen im Falle von Blei die Anforderungen an die Wasserqualität, wenn der Totalgehalt (gelöst und partikulär gebunden) an Blei 10 µg/l und der gelöste Gehalt an Blei 1 µg/l nicht überschritten werden. Massgebend ist der Wert für die gelöste Konzentration. Wird der Wert für den Totalgehalt eingehalten, so ist davon auszugehen, dass auch der Wert für den gelösten Gehalt eingehalten ist. Die GSchV regelt die zu treffenden Massnahmen bei ungenügender Wasserqualität. So haben die zuständigen Behörden die Kompetenz, die Einleitbedingungen von Abwasser in Gewässer oder kommunale Abwasserreinigungsanlagen zu verschärfen.

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
		<ul style="list-style-type: none"> - Anhang 3.2 Ziff. 2 sowie Ziff. 33 und 36 Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer oder öffentliche Kanalisation 	<p>Bei der Einleitung von Industrieabwasser in Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation darf der Pb-Gehalt (Totalgehalt) im Abwasser 0.5 mg/l nicht überschreiten. Für nachstehende Prozesse sind folgende Limite für den Pb-Gehalt (Totalgehalt) im Abwasser für die Einleitung in Oberflächengewässer oder die öffentliche Kanalisation festgelegt.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächenbehandlung: 0.5 mg/l im Tagesmittel; für Betriebe der Oberflächenbehandlung, die weniger als 200 g der Summe Gesamtchrom, Blei, Kupfer, Nickel und Zink pro Tag ableiten, kann die zuständige Behörde höchstens 2 mg/l im Monatsmittel zulassen. - Behandlung von Abwasser aus Kehrlichtverbrennungsanlagen: Grenzwerte werden von der zuständigen Behörde im Einzelfall festgelegt; der Richtwert beträgt 0.1 mg/l für die Einleitung in Gewässer und die öffentliche Kanalisation.
Bodenschutzrecht	Verordnung über Belastungen des Bodens VBBo (SR 814.12)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 3 – 4, Art. 5 Abs. 1 in Verbindung mit Anhang 1 Ziff. 11 sowie Art. 8 Überwachung und Beurteilung der Bodenbelastung 	Der Bund betreibt ein nationales Referenznetz zur Beobachtung der Belastungen des Bodens. Die Kantone sorgen in jenen Gebieten für eine Überwachung der Böden, wo feststeht oder zu erwarten ist, dass Belastungen des Bodens die Bodenfruchtbarkeit gefährden. Wird in einem Gebiet der Richtwert für Pb in Böden von 50 mg/kg (bezogen auf die Trockensubstanz für Böden bis 15 % Humus) bzw. 50 mg/dm ³ (für Böden über 15 % Humus) überschritten, so müssen die Kantone die Ursache der Belastung ermitteln und Massnahmen gegen den weiteren Anstieg treffen.
		<ul style="list-style-type: none"> - Art. 5 Abs. 1 in Verbindung mit Anhang 1 Ziff. 12 sowie Art. 9 Überwachung und Beurteilung der Bodenbelastung (Prüfwerte) 	<p>Sind in einem Gebiet für nachstehend aufgeführte Bodennutzungsarten die genannten Prüfwerte überschritten, so prüfen die Kantone, ob die Belastung des Bodens Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet. Bei konkreter Gefährdung schränken sie die Nutzung des Bodens so weit ein, dass die Gefährdung nicht mehr besteht.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nahrungspflanzenanbau (0 – 20 cm Tiefe): 200 mg/kg - Futterpflanzenanbau (0 – 20 cm Tiefe): 200 mg/kg - Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (0 – 5 cm Tiefe): 300 mg/kg <p>Die Werte beziehen sich auf die Trockensubstanz für Böden bis 15 % Humus, für Böden über 15 % Humus gelten die Werte in mg/dm³.</p>
		<ul style="list-style-type: none"> - Art. 5 Abs. 1 in Verbindung mit Anhang 1 Ziff. 12, Art. 10 Überwachung und Beurteilung der Bodenbelastung (Sanierungswerte) 	<p>Sind in einem Gebiet für nachstehend aufgeführte Bodennutzungsarten die genannten Sanierungswerte überschritten, so verbieten die Kantone die davon betroffenen Nutzungen. In Gebieten mit raumplanerisch festgelegter gartenbaulicher, land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung ordnen sie Massnahmen an, mit denen die Bodenbelastung so weit unter die Sanierungswerte gesenkt wird, dass die beabsichtigte standortübliche Bewirtschaftungsart ohne Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen möglich ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Landwirtschaft und Gartenbau (0 – 20 cm Tiefe): 2'000 mg/kg - Haus- und Familiengärten (0 – 20 cm Tiefe): 1'000 mg/kg - Kinderspielplätze (0 – 5 cm Tiefe): 1'000 mg/kg <p>Die Werte beziehen sich auf die Trockensubstanz für Böden bis 15 % Humus, für Böden über 15 % Humus gelten die Werte in mg/dm³.</p>
Altlastenrecht	Altlasten-Verordnung AltIV (SR 814.680)	<ul style="list-style-type: none"> - Art. 1 Zweck und Gegenstand 	Die AltIV bezweckt, dass belastete Standorte saniert werden, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen oder wenn die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen. Sie regelt für die Bearbeitung belasteter Standorte die Erfassung in einem Kataster, die Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit,

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
			<p>die Beurteilung der Ziele und der Dringlichkeit der Sanierung sowie die Festlegung der Untersuchungs-, Überwachungs- und Sanierungsmassnahmen.</p>
		<p>- Art. 9 in Verbindung mit Anhang 1 Konzentrationswerte für die Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit zum Schutz des Grundwassers</p>	<p>Hinsichtlich der Beurteilung zum Schutz des Grundwassers gilt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ein Standort ist zum Schutz des Grundwassers überwachungsbedürftig, wenn im Eluat des Materials des Standorts der Pb-Gehalt mehr als 50 µg/l beträgt, - ein Standort über einem nutzbaren unterirdischen Gewässer ist überwachungsbedürftig, wenn im Abstrombereich unmittelbar beim Standort der Pb-Gehalt mehr als 5 µg/l beträgt, - ein Standort über einem unterirdischen Gewässer ist überwachungsbedürftig, wenn im Abstrombereich unmittelbar beim Standort der Pb-Gehalt mehr als 20 µg/l beträgt. - ein Standort ist zum Schutz des Grundwassers sanierungsbedürftig, wenn bei Grundwasserfassungen, die im öffentlichen Interesse liegen, vom Standort stammendes Blei über der Bestimmungsgrenze festgestellt wird, - ein Standort über einem nutzbaren unterirdischen Gewässer ist sanierungsbedürftig, wenn im Abstrombereich unmittelbar beim Standort der Pb-Gehalt mehr als 25 µg/l beträgt, - ein Standort über einem unterirdischen Gewässer ist sanierungsbedürftig, wenn im Abstrombereich unmittelbar beim Standort der Pb-Gehalt mehr als 100 µg/l beträgt.
		<p>- Art. 10 in Verbindung mit Anhang 1 Konzentrationswerte für die Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit zum Schutz des oberirdischen Wassers</p>	<p>Hinsichtlich der Beurteilung zum Schutz des oberirdischen Wassers gilt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ein Standort ist zum Schutz eines Oberflächengewässers überwachungsbedürftig, wenn im Eluat des Materials des Standorts, das auf das Oberflächengewässer einwirken kann, der Pb-Gehalt mehr als 50 µg/l beträgt, - ein Standort ist zum Schutz eines Oberflächengewässers überwachungsbedürftig, wenn der Pb-Gehalt im Wasser, das vom Standort stammt, und in ein Oberflächengewässer gelangt, mehr als 50 µg/l beträgt. - ein Standort ist zum Schutz eines Oberflächengewässers sanierungsbedürftig, wenn der Pb-Gehalt im Wasser, das vom Standort stammt, und das in ein Oberflächengewässer gelangt, mehr als 500 µg/l beträgt.
		<p>- Art. 12 in Verbindung mit Anhang 3 Konzentrationswerte für die Beurteilung der Sanierungsbedürftigkeit zum Schutz vor Belastungen des Bodens</p>	<p>Ein Boden, der ein belasteter Standort oder ein Teil davon ist, ist sanierungsbedürftig, wenn der Gehalt an Blei für nachstehend aufgeführte Bodennutzungsarten die genannten Konzentrationswerte überschreitet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Landwirtschaft und Gartenbau: 2'000 mg/kg - Haus- und Familiengärten: 1'000 mg/kg - Kinderspielplätze und Anlagen, auf denen Kinder regelmässig spielen: 1'000 mg/kg⁽¹⁾ <p>Böden, die nicht sanierungsbedürftig sind, obwohl sie belastete Standorte oder Teile davon sind, und Einwirkungen von belasteten Standorten auf Böden werden gemäss den Vorschriften des Bodenschutzrechts beurteilt</p> <p>⁽¹⁾ Der Wert für die zulässige Bleibelastung von Kinderspielplätzen soll laut einem Vorschlag zur Änderung der AltIV auf 300 mg/kg gesenkt werden.</p>

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
Abfallrecht	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen VVEA (SR 814.600)	- Art. 1 und 2 Zweck und Geltungsbereich	Die VVEA bezweckt, Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften sowie die Gewässer, den Boden und die Luft vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu schützen, die durch Abfälle erzeugt werden, die Belastung der Umwelt durch Abfälle vorsorglich zu begrenzen und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Rohstoffe durch die umweltverträgliche Verwertung von Abfällen zu fördern. Sie regelt die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen sowie das Errichten und Betreiben von Abfallanlagen.
		- Art. 16 Angaben zur Entsorgung von Bauabfällen	Bei Bauarbeiten muss die Bauherrschaft der für die Baubewilligung zuständigen Behörde im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs Angaben über die Art, Qualität und Menge der anfallenden Abfälle und über die vorgesehene Entsorgung machen, wenn Bauabfälle mit umwelt- und gesundheitsgefährdenden Stoffen wie Blei zu erwarten sind.
		- Art. 36 Abs. 1 in Verbindung mit Anhang 2, Art. 25 Abs. 1 in Verbindung mit Anhang 5 Anforderungen an Deponien sowie an Abfälle zur Ablagerung	Die VVEA legt bauliche Anforderungen an Standort und Bauwerk von fünf Typen von Deponien fest. Die auf Deponien der Typen A – E zugelassenen Abfälle werden namentlich beschrieben, für bestimmte Abfälle sind Grenzwerte u.a. für den Pb-Gehalt im Abfall oder im Eluat festgelegt.
		- Art. 19 in Verbindung mit Anhang 3 Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial	Für Aushub- und Ausbruchmaterial gelten für Blei folgende numerischen Werte: <ul style="list-style-type: none"> - Aushub- und Ausbruchmaterial zur Verwertung als Baustoff auf Baustellen oder Deponien, als Rohstoff für die Herstellung von Baustoffen, für die Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen oder für bewilligte Terrainveränderungen darf nicht mehr als 50 mg Pb/kg enthalten. - Aushub- und Ausbruchmaterial zur Verwertung als Rohstoff für die Herstellung von hydraulisch oder bituminös gebundenen Baustoffen, als Rohmaterial für die Herstellung von Zementklinker, als Baustoff auf bestimmten Deponien (Typen B – E) oder bei Tiefbauarbeiten am Ort, an dem das Material anfällt, darf nicht mehr als 250 mg Pb/kg enthalten. - Aushub- und Ausbruchmaterial, das mehr als 250 mg Pb/kg enthält, darf grundsätzlich nicht verwertet werden. Ausgenommen ist die Verwertung im Zementwerk und die Verwertung als Baustoff auf Deponien der Typen C – E oder im Rahmen der Sanierung einer Altlast, auf der das Material anfällt, wenn der Pb-Gehalt kleiner als 500 mg/kg ist.
		- Art. 24 in Verbindung mit Anhang 4 Verwertung von Abfällen bei der Herstellung von Zement und Beton	Abfälle dürfen als Rohmaterial bei der Herstellung von Zementklinker verwendet werden, wenn sie nicht mehr als 500 mg Pb/kg enthalten und der Gehalt des mit Abfällen hergestellten Zementklinkers 250 mg Pb/kg nicht übersteigt. Stäube, die beim Brennen von Zementklinker anfallen, müssen bei der Zementherstellung als Zumahl- oder Zuschlagstoffe verwertet werden. Zudem sind die bei der Herstellung von Klinker zulässigen Abfallbrennstoffe sowie bei der Herstellung von Zement und Beton zulässigen Zumahl- und Zuschlagstoffe abschliessend aufgelistet.
	Verordnung über den Verkehr mit Abfällen VEVA (SR 814.610)	- Art. 1 Zweck und Geltungsbereich	Die VeVa bezweckt, dass Abfälle nur an geeignete Entsorgungsunternehmen übergeben werden. Sie regelt den Inlandverkehr mit Sonderabfällen und anderen kontrollpflichtigen Abfällen, den grenzüberschreitenden Verkehr mit allen Abfällen und den Verkehr mit Sonderabfällen zwischen Drittstaaten, sofern er von Unternehmen in der Schweiz organisiert ist oder solche daran beteiligt sind.

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
		<ul style="list-style-type: none"> - Art. 2 in Verbindung mit der Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen - Art. 8 Bewilligungspflicht - Art. 12 Meldepflicht - Art. 13 Transport - Art. 14 ff. Grenzüberschreitender Verkehr mit Abfällen 	<p>Mit Bezug zu Blei gelten Abfälle aus der thermischen Bleimetallurgie (Codes 10 04 01 – 10 04 09) sowie Bleibatterien und -akkumulatoren (Code 16 06 01) explizite als Sonderabfälle. Weiter sind Abfälle verschiedener Provenienz, die gefährliche Stoffe wie Blei enthalten oder mit solchen Stoffen verunreinigt sind, als Sonderabfälle zu klassieren, darunter fallen Reststoffe aus dem Schredder (Code 19 10 03), Filterkuchen aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (Code 19 01 05) oder gegebenenfalls abgetragener Ober- oder Unterboden (Code 17 05 03). Beispiele für «andere kontrollpflichtige Abfälle» sind aus Fernsehgeräten und PC-Monitoren stammende Kathodenstrahlröhren (Code 16 02 97) oder Altholz von Baustellen, Abbrüchen, Renovationen und Umbauten (Code 17 02 97). Metallabfälle aus Blei und Abfälle von Bleilegierungen sind Abfälle der «Gelben Liste» des OECD-Beschlusses C(2001)107/FINAL, soweit diese Abfälle eine disperse Form (wie Pulver, Staub) haben.</p> <p>Entsorgungsunternehmen, die Sonderabfälle oder andere kontrollpflichtige Abfälle entgegennehmen, benötigen für jede Betriebsstätte eine Bewilligung der kantonalen Behörde. Die Unternehmen müssen jede Entgegennahme solcher Abfälle, soweit eine Begleitscheinplicht besteht, der kantonalen Behörde und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) melden. Transporteure dürfen Abfälle, die mit Begleitscheinen übergeben werden müssen, nur den auf diesen Scheinen genannten Entsorgungsunternehmen übergeben.</p> <p>Die Ausfuhr von Sonderabfällen, anderen kontrollpflichtigen Abfällen und weiterer Abfälle (Abfälle nach Anlage I des Basler Übereinkommens mit einer gefährlichen Eigenschaft nach Anlage III des Übereinkommens, Abfälle nach Anlage II oder VIII des Basler Übereinkommens und Abfälle nach der gelben Abfallliste des OECD-Ratsbeschlusses) ist durch das BAFU zu bewilligen und darf nur in Staaten erfolgen, die Mitglieder der OECD oder der EU und die Vertragsparteien des Basler Übereinkommens (SR 0.814.05) sind. Die Einfuhr von Abfällen bedarf grundsätzlich der Zustimmung des BAFU.</p>
	Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte VREG (SR 814.620)	- Art. 3, 4, 5 und 6	Altgeräte dürfen nicht mit anderen Abfällen vermischt, sondern müssen separat gesammelt und umweltverträglich und nach dem Stand der Technik entsorgt werden. Um eine hohe Sammelquote zu erreichen und um die Behandlung sicherzustellen, wird auf die Geräte eine vorgezogene Entsorgungsgebühr erhoben. Hersteller und Händler sind verpflichtet, Altgeräte zurückzunehmen, während für Verbraucher eine Rückgabepflicht besteht.

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften																		
Störfallrecht	Störfallverordnung StFV (SR 814.012)	- verschiedene Artikel	Blei und viele Blei-Verbindungen sind gemäss Chemikalienrecht als umweltgefährlich mit den Gefahrenhinweisen H400 und H410 (sehr giftig für Wasserorganismen bzw. sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung) eingestuft. Aufgrund dieser Einstufung unterstehen Betriebe der StFV, auf deren Areal die Mengenschwelle von 2'000 kg überschritten wird. Wegen der ausgeprägten akuten Säugertoxizität von Tetraethyl- oder Tetramethylblei liegt der Schwellenwert für diese Verbindungen tiefer bei 200 kg. Die Inhaber von Anlagen, die der StFV unterstehen, sind dazu verpflichtet, alle erforderlichen Sicherheitsmassnahmen eigenverantwortlich zu treffen. Die Massnahmen müssen dazu dienen, das Gefahrenpotenzial herabzusetzen, Störfälle zu verhindern und die Auswirkungen von Störfällen ausserhalb des Betriebsareals zu bewältigen. Die Behörden kontrollieren die Erfüllung dieser Vorsorgepflicht im Rahmen eines zweistufigen Kontroll- und Beurteilungsverfahrens mittels zweier Instrumente: einem Kurzbericht (1. Stufe) und einer allfälligen Risikoermittlung (2. Stufe). Die Kantone informieren das Bundesamt für Umwelt (BAFU) periodisch in Form einer Übersicht über die auf ihrem Gebiet vorhandenen Gefahrenpotenziale und Risiken sowie über die getroffenen Massnahmen.																		
Arbeitnehmerschutzrecht	Bundesgesetz über die Unfallversicherung UVG (SR 832.20) Verordnung über die Unfallversicherung (UVV) (SR 832.202) Verordnung über die Unfallverhütung VUV (SR 832.30)	- Art. 9 UVG in Verbindung mit Art. 14 und Anhang 1 UVV Berufskrankheiten - Art. 50 VUV Berufskrankheiten und Grenzwertliste der Suva	<p>Blei, seine Verbindungen und Legierungen gelten als schädigende Stoffe und können Berufskrankheiten im Sinne von Art. 9 UVG verursachen.</p> <p>Die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva) beaufsichtigt die Anwendung der Vorschriften über die Verhütung von Berufskrankheiten in allen Betrieben. Sie hat die Kompetenz nach vorgängiger Anhörung der betroffenen Kreise Richtlinien über die maximale Arbeitsplatzkonzentration gesundheitsgefährdender Stoffe zu erlassen.</p> <p>Für die einatembare Fraktion von Blei und seine Verbindungen sowie für Bleialkylverbindungen gelten nachstehende Werte. Eine Schädigung der Leibesfrucht kann auch bei Einhaltung des MAK-Wertes nicht ausgeschlossen werden.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- MAK-Wert Blei und Verbindungen:</td> <td style="text-align: right;">100 µg Pb m⁻³</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- KZG-Wert Blei und Verbindungen:</td> <td style="text-align: right;">800 µg Pb m⁻³</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- MAK-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:</td> <td style="text-align: right;">50 µg Pb m⁻³</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- KZG-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:</td> <td style="text-align: right;">100 µg Pb m⁻³</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- BAT-Wert Blei und Verbindungen</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">- Vollblut Männer und Frauen älter als 45 Jahre:</td> <td style="text-align: right;">400 µg Pb l⁻¹</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">- Vollblut Frauen jünger als 45 Jahre:</td> <td style="text-align: right;">100 µg Pb l⁻¹</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">- BAT-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl bzw. Gemische</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 40px;">- Urin (Gesamtblei):</td> <td style="text-align: right;">50 µg Pb l⁻¹</td> </tr> </table> <p>Der Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswert (MAK-Wert) ist die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis in der Regel bei Einwirkung während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich und bis 42 Stunden pro Woche auch über längere Perioden bei der ganz stark überwiegenden Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten die Gesundheit nicht gefährdet. Der Kurzzeitgrenzwert</p>	- MAK-Wert Blei und Verbindungen:	100 µg Pb m ⁻³	- KZG-Wert Blei und Verbindungen:	800 µg Pb m ⁻³	- MAK-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:	50 µg Pb m ⁻³	- KZG-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:	100 µg Pb m ⁻³	- BAT-Wert Blei und Verbindungen		- Vollblut Männer und Frauen älter als 45 Jahre:	400 µg Pb l ⁻¹	- Vollblut Frauen jünger als 45 Jahre:	100 µg Pb l ⁻¹	- BAT-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl bzw. Gemische		- Urin (Gesamtblei):	50 µg Pb l ⁻¹
- MAK-Wert Blei und Verbindungen:	100 µg Pb m ⁻³																				
- KZG-Wert Blei und Verbindungen:	800 µg Pb m ⁻³																				
- MAK-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:	50 µg Pb m ⁻³																				
- KZG-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl:	100 µg Pb m ⁻³																				
- BAT-Wert Blei und Verbindungen																					
- Vollblut Männer und Frauen älter als 45 Jahre:	400 µg Pb l ⁻¹																				
- Vollblut Frauen jünger als 45 Jahre:	100 µg Pb l ⁻¹																				
- BAT-Wert Bleitetramethyl bzw. -tetraethyl bzw. Gemische																					
- Urin (Gesamtblei):	50 µg Pb l ⁻¹																				

Bereich	Erlass Abkürzung SR Nr.	Regelungsort	Beschreibung der Vorschriften
			(KZGW) ist jener Wert, welcher auch kurzfristig nicht überschritten werden darf. Messtechnisch gesehen bedeutet dies, dass der Mittelwert einer 15minütigen Messung nicht über dem KZGW liegen darf. Es sind maximal vier 15-minütige Überschreitungen des MAK-Werts pro Schicht in Höhe des KZGW im Abstand von mindestens einer Stunde erlaubt. Der BAT-Wert (Biologischer Arbeitsstofftoleranzwert) beschreibt die arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitete Konzentration eines Arbeitsstoffes, seiner Metaboliten oder eines Beanspruchungsindikators im entsprechenden biologischen Material, bei dem im Allgemeinen die Gesundheit eines Beschäftigten, auch bei wiederholter und langfristiger Exposition nicht beeinträchtigt wird.
	Verordnung 1 zum Arbeitsgesetz ArgV1 (SR 822.111) Verordnung des WBF über gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschaft (SR 822.111.52)	- Art. 62 ArgV1 in Verbindung mit Art. 13 Mutterschaftsverordnung Gefährliche und beschwerliche Arbeiten bei Schwangerschaft und Mutterschaft	Die Arbeit mit Blei oder Bleiverbindungen ist aufgrund deren fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (Kat. 1A) für schwangere Frauen und stillende Mütter besonders gefährlich und verboten.
	Jugendarbeitsschutzverordnung ArGV5 (SR 822.115) Verordnung des WBF über gefährliche Arbeiten für Jugendliche (SR 822.115.2)	- Art. 4 ArgV5 in Verbindung mit Art. 1 Bst. f der Verordnung über gefährliche Arbeiten für Jugendliche Gefährliche Arbeiten	Aufgrund der fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften (Kat. 1A) von Blei und seinen Verbindungen dürfen Jugendliche (bis zum vollendeten 18. Altersjahr) nicht für Arbeiten mit diesen Stoffen beschäftigt werden, es sei denn, sie verfügen über einen eidgenössischen Berufsattest (EBA) oder ein Fähigkeitszeugnis (EFZ) und führen die Arbeiten im Rahmen des erlernten Berufs aus. Jugendliche ab 15 Jahren dürfen mit Blei oder Bleiverbindungen während der Ausbildung arbeiten, wenn in den Bildungsverordnungen Ausnahmen vorgesehen sind, sofern dies für das Erreichen der Ziele der beruflichen Grundbildung oder von behördlich anerkannten Kursen unentbehrlich ist.
Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen	Verordnung zum Register über die Freisetzung von Schadstoffen sowie den Transfer von Abfällen und von Schadstoffen in Abwasser PRTR-V, (SR 814.017)	- verschiedene Artikel	Das Schadstofffreisetzungs- und -transferregister der Schweiz liefert Informationen zu Freisetzungen von Schadstoffen und Transfers von Abfällen aus Betrieben und aus diffusen Quellen. Emissionen von Blei sind zu melden, wenn die Pb-Einträge in die Luft 200 kg, das Wasser 20 kg, den Boden 20 kg und das Abwasser 20 kg pro Jahr überschreiten. Meldepflichtig werden Betreiber von Anlagen aus dem Energiesektor, zur Herstellung und Verarbeitung von Metallen, der Mineralien verarbeitenden Industrie, der chemischen Industrie, der Abfall- und Abwasserbewirtschaftung, der Be- und Verarbeitung von Holz, der tierischen Intensivhaltung und Aquakultur, der Lebensmittel und Getränkeindustrie sowie verschiedener anderer Industriezweige (Textil- und Lederverarbeitung, Oberflächenbehandlung mit Lösemitteln), wenn sie bestimmte Produktionskapazitäten aufweisen.