



Bestimmung von Schwermetallen in Bremsbelägen von Fahrzeugen



Bericht der Schwerpunktkampagne 2008/2009

Auftraggeber

Chemsuisse, Kantonale Fachstellen für Chemikalien
www.chemsuisse.ch

Unterstützung

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie
3003 Bern

Autoren

Daniel Stahl, Kantonales Labor Zürich
Urs von Arx, Bundesamt für Umwelt
Renato Figi, Empa Dübendorf

Projektgruppe

Max Wey, Dienststelle Lebensmittelkontrolle und Veterinärwesen DILV Luzern
Daniel Heid, Kantonales Labor Zürich
Eva Bantelmann, Kantonales Labor Aargau
François Zosso, Service du pharmaciens cantonal Genève
Josef Tremp, Bundesamt für Umwelt
Renato Figi, Empa Dübendorf

Kontext

In der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) befinden sich die Regelungen über Einschränkungen und Verbote von chemischen Stoffen, Zubereitungen oder Gegenständen. Der Vollzug dieser Bestimmungen ist Aufgabe der kantonalen Vollzugsbehörden für das Chemikalienrecht. Um einen einheitlichen und effizienten Vollzug zu erreichen, wird die Einhaltung bestimmter Vorschriften der ChemRRV in schweizweiten Kampagnen überprüft. Dabei ist es üblich, dass eine Projektgruppe eine Kampagne vorbereitet und koordiniert.

Die vorliegende Kampagne wurde 2007 vorbereitet. 2008 wurde von der EMPA Dübendorf eine nass-chemische Methode zur Analyse von Bremsbelägen entwickelt. Anfang 2009 wurde diese Methode in einer Vorkampagne mit wenigen Bremsbelägen getestet und die erhaltenen Resultate den Resultaten einer röntgenfluoreszenzspektroskopischen Methode gegenübergestellt. Die eigentliche Kampagne wurde im Herbst 2009 durchgeführt. Die Resultate der Kampagne wurden an der Plattform Marktkontrolle der Anmeldestelle Chemikalien vom 4. November 2010 vorgestellt.

Kantonales Labor Zürich, September 2011

Zusammenfassung

Nach Anhang 2.16 Ziffer 5.2 der Chemikalien-Risiko-Reduktionsverordnung (ChemRRV; SR 814.81) dürfen Fahrzeugbauteile von Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen grundsätzlich nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie mehr als 0.1 % Blei, Quecksilber oder sechswertiges Chrom oder mehr als 0.01 % Cadmium je homogenen Werkstoff enthalten. Diese Beschränkung ist identisch mit den Anforderungen der europäischen Altfahrzeug-Richtlinie (RL2000/53/EG, ELV). Im Rahmen einer gesamtschweizerisch koordinierten Kampagne wurden 77 Bremsbeläge auf die Einhaltung der Vorschriften kontrolliert. Dazu wurden die Reibmaterialien nasschemisch aufgeschlossen und Blei sowie Cadmium plasmaspektrometrisch (ICP-OES) bestimmt. Die quantitative Bestimmung von hexavalentem Chrom (Cr-(VI)) erfolgte an rund 10 % der erhobenen Proben. Nachdem keine Evidenz für ein Vorkommen von Quecksilber in Bremsbelägen besteht, wurde auf dessen aufwändige Bestimmung verzichtet. Die Analysewerte der nasschemischen Bestimmung wurden mit jenen verglichen, welche die mobile Röntgenfluoreszenz-Methode (Handy-XRF) liefert.

Die Resultate der Kampagne sind repräsentativ: Im Jahr 2007 wurden in der Schweiz 285'000 neue Fahrzeuge in Verkehr gesetzt. Von den 77 analysierten Belägen sind 56 Beläge für Fahrzeugmodelle bestimmt, deren Verkaufszahlen im Jahre 2007 rund 110'000 betragen.

Bei drei Belägen wurden Grenzwertüberschreitungen festgestellt. In einem Belag wurde der zulässige Cadmium-Gehalt überschritten. In zwei Fällen wurden Überschreitungen des zulässigen Blei-Gehalts festgestellt. Die Abklärungen der zuständigen kantonalen Fachstellen haben ergeben, dass die Beläge vor dem 1. August 2006 importiert wurden. Damit ist deren Abgabe nach den Bestimmungen der ChemRRV zulässig. Wären in der Kampagne allein Handy-XRF-Messungen vorgenommen worden, hätte man keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt.

Die Kampagne hat gezeigt, dass die Hersteller der Reibmaterialien ihre Rohstoffe dahin gehend umgestellt haben, dass heute die Grenzwerte für Blei, Cadmium und sechswertiges Chrom eingehalten werden. Die Eignung der Handy-XRF-Messmethodik kann nicht endgültig beurteilt werden. Die grosse Inhomogenität des Probenmaterials, die kleine Messfläche sowie interferierende Elemente setzen der XRF-Methode jedoch klare Grenzen.

Neben den geregelten Schwermetallen wurden in den Bremsbelägen weitere Elemente quantitativ bestimmt: Für Kupfer wurde ein mittlerer Gehalt von 16 % gefunden. Zinn- und Zink-Gehalte betragen um 4 %. Mittelwerte zwischen 0.1 % und 1 % wurden für Mangan, Wismut, Antimon, Molybdän und Chrom gemessen. Gehalte von weniger als 0.01 % fand man für Nickel, Vanadium und Kobalt. Bremsbelagsabriebe gelangen zu unterschiedlichen Anteilen in die Luft, in strassennahe Böden und mit dem Regenwasser in den Strassenabfluss. Die in dieser Kampagne generierten Daten sind hilfreich für die Interpretation von Immissionsdaten.

Im Hinblick auf zukünftige Marktkontrollen von Fahrzeugen wurde eine Zusammenstellung von potenziell bezüglich Schadstoffgehalten problematischen Fahrzeugbauteilen erarbeitet.

Résumé

Selon l'annexe 2.16, ch. 5.2, de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim ; RS 814.81), il est interdit de mettre sur le marché des composants pour des voitures de tourisme ou des véhicules utilitaires légers qui contiennent plus de 0,1 % de plomb, de mercure ou de chrome hexavalent, ou plus de 0,01 % de cadmium par matériau homogène. Cette limitation correspond aux exigences de la directive européenne 2000/53/CE (ELV) relative aux véhicules hors d'usage. Dans le cadre d'une campagne coordonnée sur le plan national, 77 plaquettes de frein ont été contrôlées pour voir si les prescriptions étaient respectées. A cet effet, les matériaux de friction ont été analysés par voie chimique humide ; le plomb et le cadmium ont été dosés par spectrométrie d'émission optique (ICP-OES). La quantité de chrome hexavalent (Cr-(VI)) a été déterminée sur environ 10 % des échantillons prélevés. Rien ne permettant de confirmer la présence de mercure dans les plaquettes de freins, on a renoncé à un examen spécifique, qui mobiliserait beaucoup de ressources. Les données fournies par le procédé chimique humide ont été comparées à celles issues de la spectrométrie de fluorescence à rayons X (XRF portatifs).

Les résultats de la campagne sont représentatifs : en 2007, 285 000 nouveaux véhicules ont été mis en circulation en Suisse. Sur les 77 plaquettes analysées, 56 concernent des modèles de véhicules qui se sont vendus à environ 110 000 exemplaires l'année en question. Les valeurs limites ont été dépassées dans trois cas. Dans une des plaquettes, la teneur en cadmium autorisée était supérieure aux normes, et dans deux cas, la teneur en plomb autorisée était trop élevée. Les services cantonaux concernés ont confirmé que ces plaquettes ont été importées avant le 1^{er} août 2006. Selon les dispositions de la ORRChim, leur mise en vente est donc autorisée. Si, au cours de cette campagne, on avait uniquement entrepris des mesures au moyen de XRF portatifs, aucun dépassement des valeurs limites n'aurait été constaté.

La campagne a montré que les producteurs des matériaux de friction ont modifié la composition de leurs produits, et que les valeurs limites pour le plomb, le cadmium et le chrome hexavalent sont respectées à l'heure actuelle. Il est encore trop tôt pour juger de manière définitive si les mesures réalisées au moyen de XRF portatifs sont adaptées. L'important manque d'homogénéité des échantillons, la petite surface de mesure et les éléments interférant constituent toutefois des limites claires pour la méthode XRF.

Outre les métaux lourds dont la teneur est réglementée, on a également déterminé, dans les plaquettes des freins, les quantités présentes d'autres éléments : ainsi, la teneur moyenne en cuivre était de 16 %. Quant aux teneurs en étain et en zinc, elles étaient de 4 %. Le manganèse, le bismuth, l'antimoine, le molybdène et le chrome ont révélé des valeurs moyennes situées entre 0,1 % et 1 %. Les quantités de nickel, de vanadium et de cobalt étaient inférieures à 0,01 %. Différentes proportions d'éléments issus du frottement des plaquettes des freins sont parvenues dans l'air, dans les sols aux abords des routes, et, avec les eaux pluviales, dans les eaux d'évacuation des chaussées. Les données collectées lors de cette campagne sont utiles pour interpréter les données sur les immissions. Dans la perspective de futurs contrôles de véhicules sur le marché, on a élaboré une liste de pièces pouvant s'avérer problématiques en ce qui concerne les substances nocives qu'elles contiennent.

Riassunto

Secondo l'allegato 2.16 numero 5.2 dell'ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim; RS 814.81), di principio è vietata l'immissione sul mercato di componenti per autoveicoli e autoveicoli industriali leggeri il cui contenuto per ogni materiale omogeneo in massa di piombo, mercurio o cromo(VI) è superiore allo 0,1 per cento o il cui contenuto in massa di cadmio è superiore allo 0,01 per cento. Tale limitazione è ripresa dai requisiti espressi nella direttiva europea relativa ai veicoli fuori uso (2000/53/CE). Nel quadro di una campagna coordinata a livello nazionale, è stato controllato il rispetto delle relative disposizioni per 77 guarnizioni dei freni. Inoltre, i materiali di attrito sono stati disgregati secondo digestione chimica, mentre piombo e cadmio sono stati determinati mediante spettrometria di emissione al plasma (ICP-OES). Quantità di cromo esavalente (Cr(VI)) sono state determinate in circa il 10 per cento dei campioni rilevati. Non essendo stata riscontrata alcuna evidenza di mercurio nelle guarnizioni dei freni, si è deciso di rinunciare a determinarne la presenza secondo questa complessa procedura. I valori di analisi determinati mediante digestione chimica sono stati confrontati con quelli ottenuti secondo il metodo della fluorescenza a raggi X (Handy-XRF).

I risultati della campagna sono rappresentativi: nel 2007 in Svizzera sono stati messi in circolazione 285 000 nuovi veicoli. Delle 77 guarnizioni analizzate, 56 sono destinate a modelli di veicoli venduti nel 2007 in quantità pari a 110 000 unità. Superamenti dei valori limite sono stati rilevati in tre guarnizioni. In una guarnizione è stato superato il valore limite di cadmio. In due casi è stato rilevato il superamento del valore limite di piombo. Dagli accertamenti condotti dagli uffici cantonali competenti è emerso che le guarnizioni erano state importate prima del 1° agosto 2006. Pertanto, la loro fornitura è ammessa in virtù delle disposizioni dell'ORRPChim. Se durante la campagna fossero state condotte analisi solo secondo il metodo Handy-XRF, non si sarebbero potuti riscontrare superamenti dei valori limite.

La campagna ha mostrato che i fabbricanti di materiali di attrito utilizzano ora altre materie prime, che permettono loro di rispettare i valori limite di piombo, cadmio e cromo esavalente. L'idoneità del metodo Handy-XRF non può essere valutata in via definitiva. La grande inomogeneità del materiale campione, l'area ridotta per la misurazione e gli elementi d'interferenza impongono a tale metodo chiari limiti.

Oltre ai metalli pesanti oggetto della normativa, nelle guarnizioni sono state individuate quantità di ulteriori elementi. È stato riscontrato un tenore medio del 16 per cento di rame. Il tenore di stagno e zinco era del 4 per cento. Per manganese, bismuto, antimonio, molibdeno e cromo sono stati misurati valori medi compresi tra lo 0,1 e l'1 per cento. Nichelio, vanadio e cobalto sono stati trovati in quantità inferiori allo 0,01 per cento. Particelle abrasive delle guarnizioni dei freni si sono diffuse in quantità differenti nell'aria, nei terreni prossimi alle strade e, attraverso la pioggia, nelle acque di scolo. I dati raccolti durante questa campagna servono per l'interpretazione dei dati d'immissione.

In vista dei futuri controlli di mercato degli autoveicoli, è stato allestito un elenco di componenti di autoveicoli potenzialmente problematici relativamente al loro contenuto d'inquinanti.

Abstract

According to appendix 2.16 clause 5.2 of the Ordinance on Risk Reduction related to Chemical Products (ORRChem, SR 814.81), vehicle components of private cars and light utility vehicles cannot in principle be placed on the market when they comprise more than 0.1 % lead, mercury or hexavalent chromium or more than 0.01 % cadmium per each homogeneous material. This limitation is identical with the requirements of the European End-of-Life Vehicle Directive (2000/53/EC, ELV). In the context of a Swiss-wide coordinated campaign, 77 brake linings were checked for compliance with the standards. For this purpose the friction materials were wet-chemically disintegrated and determined by plasma-spectrometry (ICP-OES) for lead and cadmium. The quantitative determination of hexavalent chromium (CR^{VI}) was carried out on approximately 10 % of the obtained samples. As no evidence for the presence of mercury in brake linings exists, its onerous determination was dispensed with. The analytical results of the wet-chemical measurement were compared with each of the results obtained from the X-ray fluorescence methods (Handy-XRF).

The findings of the campaign are clear: 285 000 new vehicles were put into circulation in Switzerland in 2007. Of the 77 analysed brake linings, 56 were for vehicle models, which made up about 110 000 of the vehicles sold in 2007. Limit values were exceeded for three brake linings. The permitted cadmium content was exceeded in one brake lining. The permitted lead content was exceeded in two cases. The explanations of the responsible cantonal technical centres were that the brake linings were imported prior to August 2006. They are therefore permitted according to the regulations of the ORRChem. Had it been the case that solely Handy-XRF measurements were made, then no values in excess of the limits would have been observed.

The campaign revealed that the manufacturers of the friction materials have reorganised their raw materials, such that the limit values for lead, cadmium and hexavalent chromium are now respected. The suitability of the Handy-XRF measurement technique cannot be conclusively assessed. The extensive inhomogeneity of the sample materials, the small measurement surfaces as well as the interfering elements set clear limits to the XRD methods.

Additional elements were quantitatively determined in addition to the regulated heavy metals: a mean content of 16 % was found for copper. Tin and zinc contents were ca. 4 %. Mean values between 0.1 % and 1 % were found for manganese, bismuth, antimony, molybdenum and chromium. Contents of less than 0.01 % were found for nickel, vanadium and cobalt. Dust from brake linings reaches in different degrees the air, the ground close to roads and with rain water the road drainage. The data generated in this campaign are helpful for the interpretation of immission data.

In regard to future market controls of vehicles, a summary is being drawn up of potentially problematic pollutant contents in vehicle components.

Inhalt

1	Ausgangslage / Problemstellung.....	7
2	Gesetzliche Regelungen	7
3	Konzept, Zielsetzung und Durchführung der Kampagne	8
3.1	Bauteilauswahl.....	8
3.2	Zielsetzung und Durchführung	8
4	Analytik.....	9
4.1	Charakterisierung der Reibmaterialien.....	9
4.2	Gewinnung der Proben.....	9
4.3	Nasschemisches Verfahren.....	9
4.4	Energiedispersive Röntgenfluoreszenzspektrometrie (Handgerät).....	9
5	Teilnehmende Kantone	9
6	Resultate	10
6.1	Repräsentativität der Proben.....	10
6.2	Grenzwertüberschreitungen und eingeleitete Massnahmen.....	10
6.3	Die Resultate im Detail	10
6.4	Vergleich mit den Handy-XRF-Messungen	11
7	Folgerungen und Erkenntnisse	12
8	Literatur	13

Anhänge

- I. Messresultate - Vergleich mit anderen Studien
- II. Fahrzeugbauteile – Kandidaten für die Überprüfung

1 Ausgangslage / Problemstellung

In der Schweiz und in der EU sind bestimmte Schwermetalle in Fahrzeug-Bauteilen grundsätzlich verboten. Ein wichtiges Ziel der Bestimmungen ist, die Abfallfraktionen, welche bei der Altfahrzeugverwertung anfallen, von diesen Schwermetallen zu entlasten. Altfahrzeuge werden in Shredderwerken entsorgt. Hauptprodukte der Entsorgung sind Stahlschrott und Nichteisen-Metalle, die dem sekundären Metallrecycling zugeführt werden. Weiter fallen im Entsorgungsprozess grössere Mengen an Reststoffen (RESH) an. RESH ist ein Gemisch aus Kunststoffen, Gummi, Textilien, Glas und Restmetallen. Heute wird RESH in Kehrichtverbrennungsanlagen und in Sonderabfallanlagen im In- und Ausland verbrannt. Analysenergebnisse von RESH der Jahre 1995 und 2008 deuten darauf hin, dass die Belastung zumindest mit Blei zurückgegangen ist [1] [2]. Ob dies bereits eine Folge der Restriktionen von Schwermetallen in Fahrzeugen ist, bleibt hier offen.

Andererseits verursachen gewisse Fahrzeug-Bauteile, wie Auswuchtgewichte, Kohlebürsten für Elektromotoren und Reibmaterialien von Bremsbelägen, Schwermetalleinträge in die Umwelt während der Nutzung durch Materialverluste und -abriebe. So werden bei jedem Bremsvorgang Partikel freigesetzt. In erster Näherung resultieren bei Personenwagen durch Bremsabriebe Totalstaub-Emissionen von 8 mg pro gefahrenen Kilometer [3]. Nach Angaben des Europäischen Branchenverbands FEMFM (Federation of European Manufacturers of Friction Materials) enthielten im Jahr 2000 produzierte Bremsbeläge im Durchschnitt rund 2 % Blei. Mit diesen Angaben und der Fahrleistung von Personenwagen im Jahr 2000 von ca. 46'350 Mio. Kilometern lassen sich die früheren Blei-Emission durch Bremsabriebe in der Schweiz auf jährlich 7'000 kg schätzen.

In der EU wurde der Blei-Gehalt in den Reibmaterialien im Jahr 2003 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. Ein mögliches Substitut für Blei ist Graphit. Gemäss Branchenverband FEMFM war allerdings eine 1:1-Substitution in den meisten Fällen nicht möglich, sodass die Zusammensetzung der Reibmaterialien komplett verändert werden musste. Neben Graphit weisen Sulfide des Antimons, Molybdäns, Eisens, Zinks oder Zinns sowie niedrigschmelzende Metalle (Wismut, Cadmium, Antimon) die in Reibmaterialien gewünschten gleitfördernden Eigenschaften auf.

Unseres Wissens wurde in der EU die Einhaltung der Verbote von Blei, Cadmium und sechswertigem Chrom in Reibmaterialien von Bremsbelägen noch nicht in einer grossangelegten Kampagne überprüft. Angesichts der geschilderten Umweltrelevanz wurde deshalb unter Federführung des Kantons Zürich eine nationale Kampagne geplant und durchgeführt. Dank der finanziellen Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) konnten die Bremsbeläge auch auf das Vorkommen von Substituten des verbotenen Bleis (wie Molybdän oder Wismut) und andere bekannte Inhaltsstoffe (Kupfer) hin untersucht werden. Damit können die in dieser Kampagne gewonnenen Daten für die Interpretation von Immissionswerten und die Quellenzuordnung von Immissionen hilfreich sein.

2 Gesetzliche Regelungen

Nach Anhang 2.16 Ziffer 5.2 der Chemikalien-Risiko-Reduktionsverordnung (ChemRRV; SR 814.81) dürfen Fahrzeugbauteile von Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen grundsätzlich nicht mehr in Verkehr gebracht werden, wenn sie mehr als 0.1 % Blei, Quecksilber oder sechswertiges Chrom oder mehr als 0.01 % Cadmium je homogenen Werkstoff enthalten. Da das Blei in den Bremsbelägen häufig im Kupfer der Reibmaterialien vorkommt, wurde bis zum 1. Februar 2011 ein Blei-Gehalt bis zu 0.4 % bezogen auf den Kupfer-Gehalt toleriert. Seither gilt wie in der EU auch für Blei der allgemeine Grenzwert von 0.1 % bezogen auf den homogenen Werkstoff.

3 Konzept, Zielsetzung und Durchführung der Kampagne

3.1 Bauteilauswahl

Wie bereits ausgeführt sind in der Schweiz und der EU bestimmte Schwermetalle in Fahrzeug-Bauteilen grundsätzlich verboten. Wo ein Ersatz für Schwermetalle nach dem Stand der Technik noch fehlt, sind Ausnahmen festgelegt. Sie finden sich im Anhang II der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge, auf den auch in der ChemRRV verwiesen wird. Der Anhang II wurde seit dem Jahre 2003 viermal an den Stand der Technik angepasst. Die meisten Ausnahmen sind zeitlich befristet. Damit sind Fahrzeug-Bauteile, die infolge Ablaufens von Übergangsfristen keine Schwermetalle mehr enthalten dürfen, Kandidaten für eine Kontrolle. In Anhang 2 dieses Berichts sind solche Bauteile aufgelistet. Sie wurden mit zusätzlichen Informationen wie dem Beitrag zur Gesamtbelastung von Fahrzeugen mit dem entsprechenden Schwermetall und dem wahrscheinlichen Verbleib in der Entsorgung versehen [4] [5] [6]. Für die hier beschriebene Kampagne wurde der Fokus auf Reibmaterialien von Bremsbelägen gelegt. Diese Bauteile sind von grosser Umweltrelevanz, weil bei jedem Bremsvorgang Bremsabrieb-Partikel freigesetzt werden. Nichtsdestotrotz soll die Liste des Anhangs 2 denjenigen Fachstellen der Kantone hilfreich sein, die im Rahmen des kantonalen Vollzugs die Bestimmungen über Fahrzeuge überprüfen und den Schwerpunkt anders setzen wollen.

3.2 Zielsetzung und Durchführung

Für den Vollzug der Vorschriften über Schwermetalle in Fahrzeugbauteilen sind die Kantone zuständig. Ziel der Kampagne war zu prüfen, ob Bremsbeläge die in der ChemRRV festgelegten Anforderungen erfüllen. Dazu wurden die Reibmaterialien nasschemisch aufgeschlossen und Blei, Cadmium sowie Gesamtchrom spektrometrisch bestimmt. Die quantitative Bestimmung von hexavalentem Chrom (CrVI) erfolgte an rund 10 % der erhobenen Proben. Nachdem keine Evidenz für ein Vorkommen von Quecksilber in Bremsbelägen besteht, wurde auf die aufwändige Bestimmung des ebenfalls den Verboten unterliegenden Quecksilbers verzichtet.

Die Untersuchungsmethoden wurden von der EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) im Rahmen einer Vorkampagne entwickelt. Die EMPA hat auch die Analysen der in der Hauptkampagne von den Kantonen erhobenen Bremsbeläge durchgeführt. Dabei erfolgte gleichzeitig ein Vergleich mit den Resultaten, welche die mobile Röntgenfluoreszenz-Methode (Handy-XRF) liefert. Ziel ist das Aufzeigen der Möglichkeiten und Grenzen der Screening Methode. Die in dieser Kampagne gewonnenen Erkenntnisse wurden bereits in einem Fachjournal publiziert [7]. Um aussagekräftige Resultate zu erhalten, wurde in der Kontrollaktion ein Probenumfang von etwa 80 Belägen angestrebt.

4 Analytik

4.1 Charakterisierung der Reibmaterialien

Grundsätzlich gibt es vier Kategorien von Bremsbelägen:

- Semi-Metallic: 30-65 % Metall gemischt mit Graphit, Füllstoffen und Bindemitteln;
- Organic: Fasern, welche aus Glas, Gummi und Kohlenstoff bzw. Keflar und Twaron gewonnen werden können. Ferner bestehen sie aus Füllstoffen und Temperatur resistenten Kunst- und Naturharzen;
- Low metallic: sie bestehen aus den vorgenannten organischen Stoffen gemischt mit einem Anteil von 10-30 % an Metall, meist Kupfer oder Stahl;
- Ceramic: sie bestehen aus keramischen Fasern, Füllstoffen, Bindemitteln und möglicherweise kleinen Anteilen von Metall.

Für eine quantitative Erfassung der Metalle in Bremsbelägen ist eine Extraktion mit Mineralsäuren unter hoher Temperatur und hohem Druck unumgänglich.

4.2 Gewinnung der Proben

Die Gewinnung der Proben erfolgte durch vorsichtiges Abfräsen des gesamten Reibmaterials von der Grundplatte. Dazu diente ein gehärteter Wolframcarbid-Fräser der Marke „*STARMAX*“ *Prealpina Suisse 732.060.00*. Das gesamte Material wurde anschliessend homogenisiert und durch ein Chromstahl-Sieb auf eine Korngrösse von < 0.5 mm abgesiebt.

4.3 Nasschemisches Verfahren

Die nasschemische Extraktion der Elemente wurde mit einem *Paar-Hochdruckverascher HPA-S* ausgeführt. Die Extraktion erfolgte mit 0.1 g pulverisiertem Probenmaterial in fünffacher Ausführung. Das Material wurde in einer Säuremischung bestehend aus 5 ml HCl 37% p.a., 1.6 ml HNO₃ 65% p.a. und 0.25 ml HClO₄ 70% p.a. in einem 70 ml Quarzaufschlussgefäss bei einer Endtemperatur von 320°C und einem Druck von 135 bar extrahiert.

Die Quantifizierung der interessierenden Elemente erfolgt mittels Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-OES) unter der Verwendung von zertifizierten Standardreferenzmaterialien. Die quantitative Bestimmung von hexavalentem Chrom (Cr-(VI)) erfolgte nach einer alkalischen Heiss-Extraktion mittels Photometrie.

4.4 Energiedispersive Röntgenfluoreszenzspektrometrie (Handgerät)

Die Untersuchungen wurden direkt an der unbehandelten Oberfläche des Bremsbelages mittels eines Handgerätes der Marke *Niton XL3t* (NITON Corporation, Billerica, MA) durchgeführt. Als Messmode wurde der „*MINING Mode CuZn*“ mit einer Messzeit von 180 Sekunden und einer Messfläche im Durchmesser von 1 cm² verwendet. Die quantitative Auswertung erfolgte mittels geräteinterner Kalibration für Silikat-Oxid-Matrices. Der Anteil der nicht detektierbaren Elemente mit Z<16 wird über die Analyse des Compton-Peaks ermittelt.

5 Teilnehmende Kantone

Die Kampagne wurde vom Kantonalen Labor Zürich koordiniert. Die Proben der Vorkampagne wurden Ende 2008 erhoben und der EMPA zur Methodenentwicklung und Validierung übergeben. Die Proben der Hauptkampagne wurden vom September 2009 bis Februar 2010 gestaffelt in 5 Serien der EMPA angeliefert. Die Beläge wurden von neun mitwirkenden kantonalen Fachstellen beschafft, namentlich derjenigen aus den Kantonen Aargau, Basel-Landschaft, Bern, Genf, Luzern, St. Gallen, Thurgau, Zürich und Zug.

6 Resultate

6.1 Repräsentativität der Proben

Direkt bei Automobilimporteuren von 33 Marken wurden 73 Bremsbeläge beschafft. Bei 56 Belägen war eine Zuordnung zu den Fahrzeugmodellen möglich. Deren Verkaufszahlen betragen im Jahr 2007 ca. 110'000. Weitere vier Bremsbeläge wurden bei zwei Anbietern für Fahrzeug-Ersatzteile besorgt. Auf dem Schweizer Fahrzeug-Markt werden rund 400 Modelle von 50 bis 60 Marken angeboten. Im Jahr 2007 wurden ca. 285'000 neue Fahrzeuge in Verkehr gesetzt. Diese Daten zeigen, dass der Probenumfang der Kampagne gross genug ist, um aussagekräftige Resultate zu erhalten¹.

6.2 Grenzwertüberschreitungen und eingeleitete Massnahmen

Vorauszuschicken ist, dass der Bundesrat am 10. Dezember 2008 eine Anhörung zu einer Änderung der ChemRRV eröffnet hat, in der u.a. auch eine Angleichung des Blei-Grenzwerts in Bremsbelägen an den im August 2008 geänderten EU-Wert vorgesehen ist. Darum wurde in dieser Kampagne bereits der EU-Wert zum Massstab genommen (1000 mg/kg im Reibmaterial).

Bei drei von 77 Belägen (4 %) wurden Grenzwertüberschreitungen festgestellt. In einem Belag eines Ersatzteil-Anbieters wurde der zulässige Cadmium-Gehalt im Reibmaterial von 100 mg/kg um 40 % überschritten. Bei zwei weiteren Belägen von Automobilimporteuren wurden Cadmium-Gehalte von gerade 100 mg/kg gefunden. Bei einer relativen Standardabweichung von ca. 10% erfolgten in diesen Fällen keine weiteren Abklärungen.

In zwei Fällen wurde der zulässige Blei-Gehalt im Reibmaterial von 1000 mg/kg überschritten. Die zwei Beläge übersteigen auch den auf das Kupfer bezogenen Grenzwert der ChemRRV von 0.4 % deutlich, welcher bis Februar 2011 gültig war².

Ob die Abgabe der drei fraglichen Beläge zulässig ist, hängt von deren Importdaten ab. Für Cadmium und Blei gilt folgendes:

Gehalt	Importdatum	Abgabe
> 0.01 % Cd	vor 1. Aug. 2006	Abgabe zulässig
> 0.1 % Pb	vor 1. Aug. 2006	Abgabe zulässig
> 0.4 % Pb bezogen auf Cu	vor 1. Juli 2007	Abgabe zulässig

Die Abklärungen der zuständigen kantonalen Fachstellen haben ergeben, dass die Beläge vor dem 1. August 2006 erstmals in Verkehr gebracht wurden. Damit ist deren Abgabe nach den Bestimmungen der ChemRRV zulässig.

6.3 Die Resultate im Detail

Beim Chrom betrug der Gesamtchrom-Gehalt in 30 Belägen (40 %) weniger als 1000 mg/kg, sodass der zulässige Chrom(VI)-Gehalt (1000 mg/kg) per se eingehalten wird. In den andern 46 Belägen wurden Gesamtchrom-Gehalte zwischen 2500 und 20'600 mg/kg (Median: 8100 mg/kg) gemessen. Bei 7 der 46 Beläge (15 %) wurde der Chrom(VI)-Gehalt bestimmt. Mit Gehalten zwischen 40 bis 130 mg/kg wurde der zulässige Gehalt sicher eingehalten (Grenzwertausschöpfung: 4 – 13 %).

Für Blei und Cadmium errechnen sich in den 76 Belägen 95-Perzentile von 95 mg/kg und 388 mg/kg. Das bedeutet, dass der Grenzwert beim Cadmium mehr ausgeschöpft wird als beim Blei. Die 50-Perzentile betragen beim Cadmium rund 50 % und beim Blei 15 % des 95-Perzentils. 50-Perzentil und Mittelwert ergeben für Cadmium etwa denselben Wert, während der Mittelwert für Blei vom höchsten gefundenen Wert von 18'300 mg/kg beeinflusst wird (Mittelwert ohne Höchstwert: 105 mg/kg):

Wertart	Cd	Pb
Mittelwert	42 mg/kg	345 mg/kg
50-Perzentil	45 mg/kg	58 mg/kg
95-Perzentil	95 mg/kg	388 mg/kg

¹ Der Vollständigkeit halber sei festgehalten, dass auch drei Bremsbeläge für Motorräder beprobt wurden. Motorräder fallen nicht in den Geltungsbereich der Bestimmungen über Fahrzeuge des Anhangs 2.16 ChemRRV. Die Resultate der Analysen wurden in der Auswertung deshalb nicht berücksichtigt. In den drei Belägen wurden um 10 mg/kg Cadmium, 25 bis 65 mg/kg Gesamtchrom und 160 mg/kg, 390 mg/kg sowie 5700 mg/kg Blei gefunden.

² Bei Blei-Gehalten von 1200 mg/kg und 18'300 mg/kg errechnen sich mit den Kupfer-Gehalten von je rund 100'000 mg/kg auf das Kupfer bezogene Blei-Gehalte von rund 1 % und 18 %.

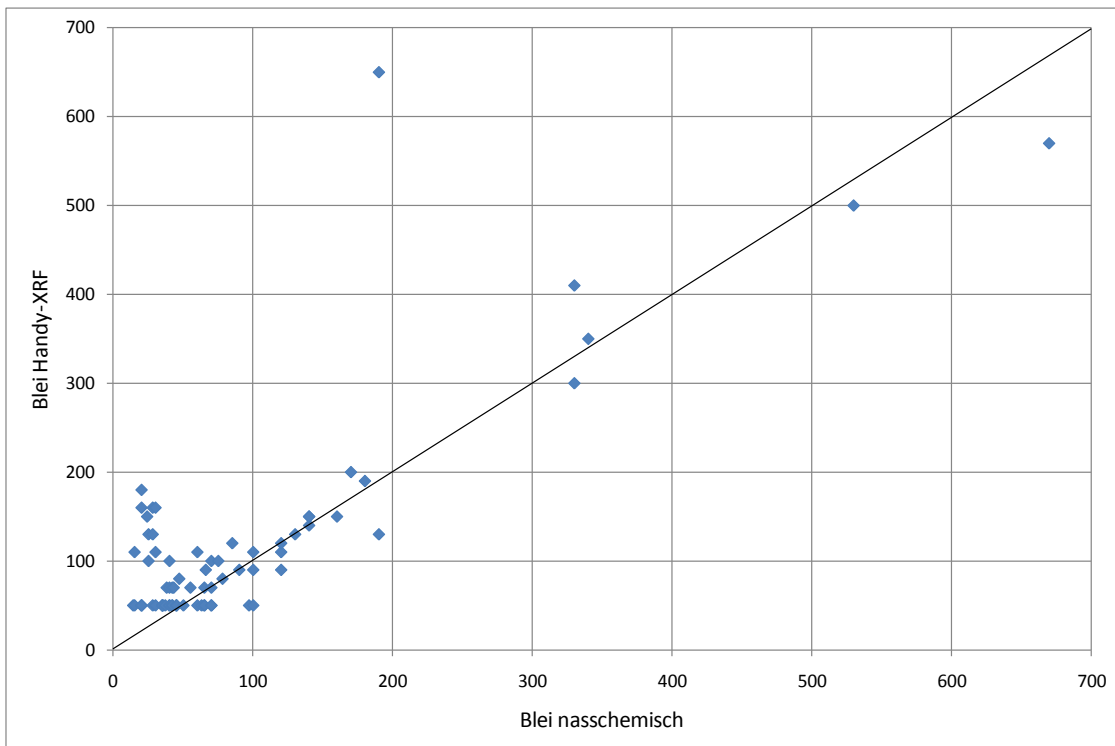
6.4 Vergleich mit den Handy-XRF-Messungen

Wären in der Kampagne allein Handy-XRF-Messungen vorgenommen worden, hätte man weder beim Cadmium noch beim Blei Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Untenstehend sind den sieben nasschemisch bestimmten Höchstwerten für Cadmium und Blei die Resultate der Handy-XRF-Messungen gegenüber gestellt. Offensichtlich ist die Screening Methode für das Cadmium zu wenig empfindlich. Zudem ist die gefundene Grenzwertüberschreitung um weniger als den Faktor 2 moderat. Beim Blei sind massive Abweichungen ausgerechnet bei den zwei nasschemisch gefundenen Höchstwerten zu registrieren.

Cd _{nasschem} [mg/kg]	85	89	95	96	100	100	140
Cd _{Handy-XRF} [mg/kg]	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

Pb _{nasschem} [mg/kg]	330	330	340	530	670	1200	18'300
Pb _{Handy-XRF} [mg/kg]	300	410	350	500	570	690	380

Nachstehende Grafik zeigt die nasschemisch bestimmten Blei-Gehalte versus die mit der Handy-XRF-Methodik gefundenen Blei-Gehalte ohne die zwei nasschemisch bestimmten Höchstwerte:



Viele Messpunkte liegen für Blei-Gehalte bis 200 mg/kg vor. Die Handy-XRF-Methodik liefert hier oft falsch-negative Resultate. Ein Grund für die Mehrbefunde ist die Anwesenheit von Wismut, welches das Blei positiv stört. Wismut kam 15-mal in Gehalten > 2000 mg/kg in den Belägen vor (ca. 20 %). Trotzdem ist die Handy-XRF-Methodik in diesem Messbereich ein sicheres Screening Tool. Für höhere Gehalte insbesondere im Bereich des Grenzwerts von 1000 mg/kg liegen zu wenige Datenpaare für eine gesicherte Aussage vor. Die XRF-Messmethode ist eine Oberflächen-Analysenmethode mit einem relativ kleinen Messfeld und das vorliegende Probenmaterial ist sehr inhomogen. Dies ist eine mögliche Erklärung für die Abweichungen.

7 Folgerungen und Erkenntnisse

- Die Resultate der hier präsentierten Kampagne sind repräsentativ. 56 von 77 analysierten Belägen von 33 Marken sind für Fahrzeugmodelle bestimmt, deren Verkaufszahlen im Jahre 2007 rund 110'000 betragen. Zum Vergleich wurden im selben Jahr 285'000 neue Fahrzeuge in Verkehr gesetzt.
- Die Hersteller der Reibmaterialien haben ihre Rohstoffe dahin gehend umgestellt, dass heute die Grenzwerte für Blei, Cadmium und sechswertiges Chrom eingehalten werden.
- Der auf das Reibmaterial bezogene Grenzwert für Blei sorgt für die Vollzugsbehörden und die Hersteller für Rechtssicherheit. Dies trifft auf die bis zum Februar 2011 gültige Maximalkonzentration von Blei in Kupfer, das bei der Herstellung der Reibmaterialien eingesetzt wird, nicht zu.
- Die Eignung der Handy-XRF-Messmethodik als Screening Tool kann nicht endgültig beurteilt werden. Beim Cadmium wurde mittels nasschemischer Analyse nur eine Grenzwertüberschreitung festgestellt, die mit 40 % zudem sehr moderat ausfiel. Sie wurde durch das XRF-Handy nicht angezeigt. Für Blei liegen im interessierenden Bereich um 1'000 mg/kg zu wenige Datenpaare für eine Beurteilung vor. Die XRF-Messmethode ist eine Oberflächenanalysemethode. Die grosse Inhomogenität des Probenmaterials und die kleine Messfläche setzen dieser Screening Methode Grenzen.
- Der Grenzwert für Blei von 1'000 mg/kg wird i.d.R. sicher eingehalten. Würde er um den Faktor 10 auf das Niveau von Cadmium gesenkt, wären in 19 der 77 Beläge (25 %) Grenzwertüberschreitungen festzustellen.
- Neben den geregelten Schwermetallen wurden in den Bremsbelägen weitere Elemente quantitativ bestimmt: Der höchste mittlere Metall-Gehalt von ca. 16 % wurde für Kupfer gefunden. Zinn- und Zink-Gehalte betragen um 4 %. Mittelwerte zwischen 0.1 % und 1 % wurden für Mangan, Wismut, Antimon, Molybdän und Chrom gemessen. Gehalte von weniger als 0.01 % fand man für Nickel, Vanadium und Kobalt (vgl. Anhang 1).
- Die Metallgehalte in den 76 Bremsbelägen streuen unterschiedlich stark: Bei den Elementen Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Vanadium, Zink und Zinn liegen Mittelwerte und Mediane innerhalb von 50 %. Hingegen liegen diese Werte bei Blei, Wismut, Molybdän und Antimon weit auseinander. So beträgt der Mittelwert beim Antimon rund das 40-fache des Medians. Beim Blei wird der Mittelwert vom Maximalwert von 18'300 mg/kg beeinflusst. Ohne den Höchstwert beträgt er 105 mg/kg und liegt noch um den Faktor 2 über dem Median.
- In Bremsbelägen diente Blei als gleitfördernder Zusatz, entweder als Sulfid aufgrund seiner Schichtgitterstruktur oder als Metall wegen des niedrigen Schmelzpunkts. Als Substitute werden in der Literatur die Sulfide von Molybdän, Antimon, Zink oder Zinn sowie Antimon und Wismut in metallischer Form genannt. Aus den Analysedaten geht hervor, dass der Einsatz von Zink und Zinn in den Reibmaterialmischungen üblich ist. Antimon, Molybdän und Wismut hingegen werden nur in gewissen Fabrikaten eingesetzt.
- Bremsbelagsabriebe gelangen zu unterschiedlichen Anteilen in die Luft, in strassennahe Böden und mit dem Regenwasser in den Strassenabfluss. Die in dieser Kampagne generierten Daten zu Metall-Gehalten von Bremsbelägen sind hilfreich für die Interpretation von Immissionsdatendaten und können der Quellenzuordnung dienen.

8 Literatur

- [1] Paul Scherrer Institut: RESH Behandlung mit KVA^{plus} „Management Summary“. 05.02.2009
- [2] Tremp J.: Bericht über die Untersuchung der stofflichen Zusammensetzung und des Auswaschverhaltens von Rückständen aus einer Shredderanlage (RESH). Amt für Umweltschutz und Energie Kanton Basel-Landschaft. Umweltschutzzlabor im Juni 1995.
- [3] EEA (European Environment Agency): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006. Technical Report No 11/2006.
- [4] Sander K., Lohse J. Pirntke U.: 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.
- [5] Sander K., Lohse J. Pirntke U.: Heavy Metals in Vehicles II (Final Report compiled for the Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the Commission of the European Communities). July 2001.
- [6] Öko-Institut e.V.: 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). Freiburg, 28 July 2010.
- [7] R. Figi, O. Nagel, M. Tuchs Schmid, P. Lienemann, U. Gfeller, N. Bukowiecki: Quantitative analysis of heavy metals in automotive brake linings: A comparison between wet-chemistry based analysis and in-situ screening with a handheld X-ray fluorescence spectrometer. *Analytica Chimica Acta* 676 (2010) 46-52.
- [8] Thorpe A., Harrison R.M.: Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of the total Environment* 400 (2008) 270-282.

Anhänge

I Messresultate - Vergleich mit anderen Studien

II Fahrzeugbauteile – Kandidaten für die Überprüfung

Anhang I Messresultate - Vergleich mit anderen Studien

Tabelle A1.1: Metalle in 76 auf dem Schweizer Markt erhobenen Bremsbelägen

Wertart [mg/kg]	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	V	Zn
25-Perzentil	< 70	25	33	338	67'475	1100	< 100	70	35	< 100	863	< 65	27	6225
50-Perzentil (Median)	< 190	45	< 50	4950	128'000	1600	180	98	58	135	25'050	275	55	22'400
75-Perzentil	2225	60	< 50	9790	169'560	2400	6650	130	105	2725	41'700	735	113	40'175
90-Perzentil	6100	75	< 50	17'750	205'500	3050	12'850	175	190	23'100	51'185	1300	175	66'030
Maximum	10'300	140	55	29'000	322'000	18'000	27'680	950	18'300	46'600	105'200	1900	310	102'200
Mittelwert*	1445	42	23	6484	119'436	2450	3896	117	345**	5634	25'542	477	79	27'102
Mit dem Absatz der Bremsbeläge gewichteter Mittelwert	1976	45	22	9429	158'199	1493	5440	95	69	3261	39'619	339	73	36'243

* Für Werte kleiner als die Nachweisgrenze wurde zur Berechnung des Mittelwerts die Hälfte der Nachweisgrenze verwendet; ** Mittelwert ohne Maximalwert: 105 mg Pb/kg

Tabelle A1.2: Vergleich der Resultate mit jenen anderer Studien [8]

Wertart [mg/kg]	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo
Bremsbeläge vorliegende Arbeit (25-75 Perzentil)	< 70 - 2225	25 - 60	< 50	338 – 17'750	67'475 – 169'560	1100 - 2400	< 100 - 6650
Bremsbeläge 1991 - 2003	...	< 1 - 41	6 - 46	< 10 - 411	11 - 234'000	181 - 3220	< 1 - 215
Bremsstaub 1991 - 2003	...	< 0.1 - 3	12 - 42	135 - 1320	70 - 39'400	620 - 5640	5 - 740

Tabelle A1.2ff: Vergleich der Resultate mit jenen anderer Studien [8]

Wertart [mg/kg]	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	V	Zn
Bremsbeläge vorliegende Arbeit (25-75 Perzentil)	70 - 130	35 - 105	< 100 - 2725	863 – 41'700	< 65 - 735	27 - 113	6225 - 40'175
Bremsbeläge 1991 - 2003	4 - 660	1 - 119'000	< 1 - 201	...	81	...	25 - 188'000
Bremsstaub 1991 - 2003	80 - 730	4 - 1290	4 - 16'900	...	300 - 990	...	120 - 27'300

Anhang II Fahrzeugbauteile – Kandidaten für die Überprüfung

Tabelle A2 : Fahrzeug-Bauteile, die infolge Ablaufens von Übergangsfristen keine Schwermetalle mehr enthalten dürfen, als Kandidaten für eine Kontrolle

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
<p>Aluminium in Felgen, Motorteilen und Fensterhebern mit einem Pb-Anteil bis zu 4 %</p> <p>Aluminium für Bearbeitungszwecke mit einem Pb-Anteil bis zu 2 %</p> <p>Aluminium für Bearbeitungszwecke mit einem Pb-Anteil bis zu 1.5 %</p> <p>Bemerkung: In Fahrzeugbauteilen wird Aluminium mit einem Gehalt bis zu 0.4% Pb toleriert</p>	<p>1.7.2003</p> <p>1.7.2005</p> <p>1.7.2008</p>	<p>Mengen / Einsatzgebiete</p> <p>Blei in Al-Legierungen führt zu einer verbesserten maschinellen Verarbeitbarkeit und wird auch zur Erhöhung des Korrosionsschutzes zugesetzt. Daneben kann Blei ohne bestimmungsgemäße Verwendung zugegen sein, wenn Pb-haltiger Al-Schrott dem Recycling zugeführt wird.</p> <p>In Personenwagen sind durchschnittlich 70 kg Aluminium, zur Hauptsache in Form von Gussteilen aus Sekundäraluminium, enthalten. Die aktuellen Pb-Gehalte der Al-Legierungen variieren zwischen 0.1 % und 0.35 % bei einem Mittelwert von rund 0.2 %. Damit werden mit Al-Legierungen heute ca. 140 g Pb in Fahrzeuge eingebracht. Nur wenige Aluminium-Bauteile enthielten früher mehr als 0.4 % Blei. Es wird geschätzt, dass mit solchen Bauteilen zusätzlich 1 g bis 5 g Blei in einen Mittelklassewagen eingebracht wurden.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>Bleihaltiges Aluminium gelangt im Shredderprozess in die NE-Metall-Fraktion. Nach einem Sortierprozess kann es dem Aluminium-Recycling zugeführt werden. Betreffend der Pb-Belastung von RESH kann der Beitrag von bleihaltigen Al-Legierungen nicht abgeschätzt werden.</p>
<p>Kupferlegierung mit einem Pb-Gehalt über 4 % ausgenommen Bremsbeläge sowie Blei-Bronze-Lagerschalen und -Buchsen</p> <p>Bemerkung: In Fahrzeugbauteilen werden Kupferlegierungen mit einem Gehalt bis zu 4 % Pb toleriert</p>	<p>1.7.2003</p>	<p>Mengen</p> <p>Ein moderner Personenwagen enthält 16 kg bis 27 kg Kupfer. Rund 12 kg bis 16 kg entfallen auf Drähte und Kabel für elektrische und elektronische Anwendungen. Die Menge bleihaltiger Kupferlegierungen wird auf 1 kg bis 2 kg geschätzt. Die aktuellen Pb-Gehalte der Cu-Legierungen variieren zwischen 0.15 % und 4 % bei einem Mittelwert von rund 2 %. Damit werden mit Cu-Legierungen heute 20 g bis 40 g Pb in Fahrzeuge eingebracht. Früher betrug der Pb-Gehalt bis 10 %.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>Bleihaltige Kupferlegierungen gelangen im Shredderprozess in die NE-Metall-Fraktion. Das Recycling bleihaltiger Kupferlegierungen beim sekundären Kupfer-Recycling ist möglich.</p> <p>Betreffend der Pb-Belastung von RESH kann der Beitrag von bleihaltigen Cu-Legierungen nicht abgeschätzt werden.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
<p>Bleihaltige Lagerschalen und Buchsen</p> <p>Lagerschalen und Buchsen in Motoren, Getrieben und Kompressoren für Klimaanlage</p>	<p>1.7.2008</p> <p>1.7.2011</p>	<p>Mengen</p> <p>Gewisse Lagerschalen und Buchsen bestanden aus Legierungen mit Pb-Gehalten zwischen 21 % und 25 %. Nach Schätzungen eines Automobilherstellers wurden mit solchen Lagerschalen und Buchsen etwa 30 g Blei in Fahrzeuge eingebracht.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>vgl. Ausführungen zu Kupferlegierungen</p>
<p>Kupfer in Reibmaterialien der Bremsbeläge mit einem Bleianteil von mehr als 0.5 %</p> <p>Kupfer in Reibmaterialien der Bremsbeläge mit einem Bleianteil von mehr als 0.4 %</p>	<p>1.7.2004</p> <p>1.7.2007</p>	<p>Mengen</p> <p>Gemäss Branchenverband FEMFM (Federation of European Manufacturers of Friction Materials) wurden im Jahr 2000 rund 100'000 t Bremsbeläge für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge produziert. Sie enthalten 40'000 t Reibmaterialien und 60'000 t Trägermaterialien.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>Während Servicearbeiten und bei der Altfahrzeug-Entsorgung gelangen die Bremsbeläge in den Metall-Recycling-Prozess.</p> <p>Verbleib während der Nutzung</p> <p>Gemäss „EMEP/CORINAIR Handbuch“ resultieren bei Personenwagen bremsabriebbedingte Totalstaub-Emissionen von 8 mg pro gefahrenen Kilometer [3]. Die FEMFM schätzt die jährlichen Reibmaterialverluste in der EU auf 26'000 t pro Jahr. Damit gelangen auch in den Reibmaterialien enthaltene Metalle in die Umwelt.</p>
<p>Ventilsitze mit Blei</p>	<p>1.7.2007</p>	<p>Mengen</p> <p>Der Blei-Gehalt von Ventilsitzen variierte zwischen 8 % und 18 %. Ein Fahrzeug mit 16 Ventilsitzen enthielt rund 24 g Blei. Blei wurde inzwischen durch andere Festschmierstoffe (z.B. MnS, MoS₂, CaF₂) ersetzt.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>Ventilsitze gelangen im Shredderprozess in die NE-Metall-Fraktion und in RESH. Der Beitrag von Blei aus Ventilsitzen zur Pb-Belastung von RESH kann nicht abgeschätzt werden.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
Bleihaltige Innenbeschichtung von Kraftstoffbehältern	1.7.2003	<p>Mengen Über die in der Innenbeschichtung von Tanks enthaltenen Blei-Mengen sind keine Daten verfügbar. Die Beschichtung erfolgte mit sog. „Terne Metall“ – einer Blei-Zinn-Legierung im Schmelztauchverfahren.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Es wird angenommen, dass die Kraftstoffbehälter in den Stahlschrott gelangen.</p>
Blei als Stabilisator in Schutzanstrichen	1.7.2005	<p>Mengen Bei einer Schichtdicke des bleihaltigen Anstrichs (sog. electrodeposited coating) von rund 18 µm resultierten Pb-Mengen zwischen 0.2 und 0.4 g/m². Mit den Anstrichen wurden bis 50 g Blei in ein Fahrzeug eingebracht.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Bleihaltige Schutzanstriche gelangen im Shredderprozess zur Hauptsache in RESH. Der Beitrag von Blei in Schutzanstrichen zur Pb-Belastung von RESH wird zurzeit noch als bedeutend eingeschätzt.</p>
<p>Blei in Lötmitteln zur Befestigung elektrischer und elektronischer Bauteile auf elektronischen Leiterplatten und Blei in Beschichtungen von Anschlüssen von anderen Bauteilen als Aluminium-Elektrolytkondensatoren, auf Bauteilanschlussstiften und auf elektronischen Leiterplatten</p> <p>Blei in Lötmitteln in anderen elektrischen Anwendungen als auf elektronischen Leiterplatten oder auf Glas</p> <p>Blei in der Beschichtung von Anschlüssen von Aluminium-Elektrolytkondensatoren</p> <p>Blei in Lötmitteln zum Löten auf Glas in Luftmassenmessern</p>	<p>nach 1.1.2016 typgenehmigte Fahrzeuge</p> <p>nach 1.1.2011 typgenehmigte Fahrzeuge</p> <p>nach 1.1.2013 typgenehmigte Fahrzeuge</p> <p>nach 1.1.2013 typgenehmigte</p>	<p>Mengen Fahrzeuge enthalten 4 – 8 kg elektronische Bauteile (ohne Gehäuse). In einem japanischen Mittelklassewagen sollen auf Leiterplatten um 50 g Blei enthalten sein. Andere Schätzungen gehen dahin, dass in den in der EU jährlich produzierten 18 Millionen Fahrzeugen 500 – 700 t Blei auf Leiterplatten zu finden sind (28 – 39 g Pb pro Fahrzeug). Lötmittel in elektrischen Anwendungen auf Glas umfassen bleihaltige Anschlüsse für Konnektoren z.B. zum Beheizen von Heckscheiben oder in Radioantennen. Für solche Anwendungen werden rund 0.9 g Pb pro Fahrzeug (oder 16 t Blei für 18 Millionen Fahrzeuge) benötigt. Ein bereits eingesetztes Substitut ist Indium. Der Verbrauch beträgt 0.15 g pro Fahrzeug.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Bleihaltige Lötmittel gelangen im Shredderprozess zur Hauptsache in RESH. Der Beitrag von Blei in Lötmitteln zur Pb-Belastung von RESH wird heute und in naher Zukunft als bedeutend eingeschätzt.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
<p>Blei in Lötmitteln in elektrischen Anwendungen auf Glas, ausgenommen zum Löten in Verbundglas</p> <p>Folgende Ausnahmen gelten zurzeit unbefristet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blei in hochschmelzenden Loten (d.h. Legierungen auf Bleibasis mit einem Bleianteil von mindestens 85 %) - Blei in Einpressteckverbindern (z.B. Compliant-Pin-Technik) - Blei in Lötmitteln zum Herstellen einer stabilen elektrischen Verbindung zwischen dem Halbleiterchip und dem Träger in integrierten Flip-Chip-Baugruppen - Blei in Lötmitteln zur Befestigung von Wärmeverteilern an Kühlkörpern in Halbleitermodulen mit einer Chipgröße von mindestens 1 cm² Projektionsfläche und einer Nennstromdichte von mindestens 1 A/mm² Siliziumchipfläche - Blei in Lötmitteln zum Löten in Verbundglas 	<p>Fahrzeuge</p> <p>nach 1.1.2013 typgenehmigte Fahrzeuge</p>	
<p>Bleihaltige Vulkanisierungsmittel und Stabilisatoren für Elastomere in Brems- und Kraftstoffschläuchen, Belüftungsschläuchen, in elastomer- / metallhaltigen Teilen der Fahrzeuggestelle und Motorblöcken</p> <p>Bleihaltige Vulkanisierungsmittel und Stabilisatoren für Elastomere in Brems- und Kraftstoffschläuchen, Belüftungsschläuchen, in elastomer- / metallhaltigen Teilen der Fahrzeuggestelle und Motorblöcken mit einem Pb-Gehalt von bis zu 0.5 %</p> <p>Bindemittel für Elastomere in Anwendungen der Kraftübertragung mit einem Pb-Gehalt von bis zu 0.5 %</p>	<p>1.7.2005</p> <p>1.7.2006</p> <p>1.7.2009</p>	<p>Mengen</p> <p>Pb-Verbindungen wurden in Elastomeren auf Basis von Epichlorhydrin und chloresulfoniertem Polyethylen in Anwendungen eingesetzt, in denen eine hohe Temperaturbeständigkeit erforderlich ist. Vor 2005 enthielten die Elastomere bis 5 % Pb. Die Pb-Verbindungen dienten als Vulkanisationsaktivatoren und Antioxidantien. Demgegenüber wurden Pb-haltige Bindemittel dort eingesetzt, wo ein Verbund zwischen Elastomer und Metall beabsichtigt wird, z.B. in Antriebssystemen. Die Blei-Mengen, die mit Elastomeren in Fahrzeuge eingebracht wurden, sind nicht bekannt. Allein in Kraftstoffschläuchen waren es in Abhängigkeit der Länge 4 – 40 g Blei.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung</p> <p>Bleihaltige Elastomere gelangen im Shredderprozess in RESH. Der Beitrag zur Pb-Belastung von RESH kann nicht beziffert werden, wird aber zurzeit noch als bedeutend eingeschätzt.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
Blei als Stabilisator in Kunststoffen (v.a. PVC)	1.7.2003	<p>Mengen Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt E.V. enthält ein Fahrzeug rund 16 kg PVC. Etwa 60 % entfallen auf Dichtmassen und PVC-Plastisole als Unterbodenschutz zur Verhinderung der Korrosion, 25 % auf Innenraumanwendungen, 10 % auf Kabel und 5 % auf Anwendungen im Aussenbereich. Nach dem Ausstieg der Verwendung von Stabilisatoren auf Cd-Basis wurden in PVC vorerst solche auf Pb-Basis eingesetzt. Substitute für Pb existieren und basieren auf Ca/Zn- oder Ba/Zn-Systemen.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Bleihaltiges PVC gelangt im Shredderprozess in RESH. Die Belastung mit Blei wird aufgrund des bereits 2003 eingeführten Verbots in Zukunft stark abnehmen. Es wurde geschätzt, dass früher zwischen 3 % und 20 % der Pb-Belastung von RESH aus bleihaltigem PVC stammten.</p>
Bleihaltige Kohlebürsten für Elektromotoren	1.1.2005	<p>Mengen Blei wurde in Kohlebürsten der Kupfer / Graphit-Mischung zur Erhöhung der Gleiteigenschaften zugesetzt. Ein typischer Starter-Motor mit vier Kohlebürsten enthielt bis 10 g Blei. Substitute für Blei sind andere Elemente und/oder deren Verbindungen wie Zinn, Zink, Zinkoxid oder Molybdändisulfid.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Das in den Kohlebürsten enthaltene Blei gelangt im Shredderprozess zu einem Teil in den Stahlschrott und zum anderen Teil in RESH.</p> <p>Verbleib während der Nutzung Es wird geschätzt, dass während der Lebensdauer der Kohlebürsten von 10 Jahren mindestens 60 % des darin enthaltenen Bleis (ca. 6 g) in Form von Partikeln in die Umwelt gelangten. Im Jahr 2005 waren in der Schweiz rund 3'900'000 Personenwagen immatrikuliert. Werden Pb-Emissionen von 0.6 g pro Fahrzeug und Jahr angenommen, lassen sich die früheren jährlichen Pb-Emissionen auf rund 2000 kg schätzen.</p>
Bleihaltige Auswuchtgewichte	1.7.2005	<p>Mengen Bei einer Ausrüstung mit 10 Auswuchtgewichten ergab sich eine Pb-Menge von 200 – 250 g pro Fahrzeug. Rund 3500 t Blei pro Jahr wurden in Europa mit Neufahrzeugen in Verkehr gebracht, der Markt für Abnehmer wie Pneuhäuser betrug 8600 t pro Jahr.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
		<p>Verbleib in der Entsorgung Während Servicearbeiten gelangen die Bremsbeläge in den Metall-Recycling-Prozess. Bei der Entsorgung von Altfahrzeugen dürften insbesondere Alu-Felgen und damit auch Auswuchtgewichte vor dem Shreddern entfernt werden. Findet dies nicht statt, gelangen die Auswuchtgewichte zu einem Teil in den Stahlschrott und zum anderen Teil in RESH.</p> <p>Verbleib während der Nutzung Auswuchtgewichte können auch während des Fahrens verloren gehen. Bei einer Verlustrate von 0.1 % bezogen auf die immatrikulierte Fahrzeug-Anzahl von 3'900'000 mit 200 g Auswuchtgewichten pro Fahrzeug lassen sich die früheren Pb-Verluste auf rund 800 kg pro Jahr schätzen.</p>
Blei in pyrotechnischen Auslösegeräten	nach 1.1.2006 typgenehmigte Fahrzeuge	<p>Mengen Für diese Applikation wird mit 0.05 g bis 0.3 g Pb pro Fahrzeug nur wenig Blei verbraucht.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Es wird angenommen, dass ein beträchtlicher Teil der Auslösegeräte im Zuge von Servicearbeiten ersetzt wird.</p>
Blei in der Glasur von Zündkerzen	1.1.2005	<p>Mengen Die Glasur einer Zündkerze besteht aus Bleisilikat-Glas und enthält rund 50 % Blei bzw. ca. 0.15 g Pb. Mit Glasuren von Zündkerzen werden 0.6 g bis 1.8 g Blei in Fahrzeuge eingebracht. Etwa 10 % der produzierten Zündkerzen werden für neue Fahrzeuge benötigt, ca. 90 % des Produktionsvolumen dienen als Ersatzteile.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Es wird angenommen, dass ein beträchtlicher Teil der bleihaltigen Zündkerzen im Zuge von Servicearbeiten ersetzt wurde.</p>
Blei im Glas von Glühlampen	1.1.2005	<p>Mengen In Abhängigkeit von Marke und Modell enthält ein Fahrzeug 30 - 40 Leuchten. Scheinwerferleuchten waren i.d.R. bleifrei. Demgegenüber enthielt das Glas von Signal- und Innenraumleuchten zwischen 0.2 g und 0.75 g Pb pro Leuchte. Die Mehrzahl dieser Lampen enthielt im Sockel zudem ein Pb-haltiges Lot (0.4 – 0.5 g pro</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
		<p>Leuchte). Mit Pb-haltigem Glas von Leuchten wurden früher rund 12 g Pb in Fahrzeuge eingebracht. Dieselbe Menge dürfte mit Pb-haltigen Sockelloten eingebracht worden sein.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Wegen des oft aufwändigen Ersetzens haben Fahrzeugleuchten eine so lange Lebensdauer wie das Fahrzeug selbst. Das Blei in Leuchten gelangt im Shredderprozess in RESH. Der aktuelle Beitrag zur Pb-Belastung von RESH kann nicht beziffert werden.</p>
<p>Quecksilber in Entladungslampen für Scheinwerfer</p> <p>Quecksilberhaltige Leuchtstoffröhren in Instrumententafelanzeigen</p>	<p>nach 1.7.2012 typgenehmigte Fahrzeuge</p> <p>nach 1.7.2012 typgenehmigte Fahrzeuge</p>	<p>Mengen In gewissen Fahrzeugmodellen werden als Scheinwerferleuchten Hg-haltige Hochdruck-Gasentladungslampen (HID) eingesetzt. Eine HID-Leuchte enthält 0.5 mg Hg. Nach Angaben der Fahrzeugindustrie beträgt in der EU das Marktvolumen der HID-Leuchten ca. 2.5 Mio. Stück (ca. 1.25 kg Hg).</p> <p>Für die Hintergrundbeleuchtung von Instrumententafelanzeigen werden zurzeit noch Hg-haltige Kaltkathodenlampen verwendet (CCFL). CCFL enthalten bis 10 mg Hg (im Durchschnitt 3 – 5 mg Hg). In der EU werden mit CCFL um 20 kg Hg in Fahrzeuge eingebracht (4 mg Hg pro Fahrzeug).</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Nicht separierte Hg-haltige Leuchten belasten im Shredderprozess die Abluft sowie die Metallschrotte und RESH. Die heutige Hg-Belastung von RESH stammt zur Hauptsache von anderen früheren automobilen Anwendungsgebieten wie Hg-Schaltern (z.B. in ABS Bremssystemen).</p>
<p>Cadmium in Dickfilmpasten</p> <p>Optische Komponenten in Glasmatrixen für Fahrunterstützungssysteme</p>	<p>1.7.2006</p> <p>1.7.2007</p>	<p>Mengen In cadmiumhaltigen Dickfilmpasten befindet sich Cd in einer Glasmasse mit einem Gehalt von rund 1 %. Die in Fahrzeugen resultierenden Cd-Mengen betragen in der EU 10 bis 20 kg.</p> <p>Verbleib in der Entsorgung Cadmiumhaltige Dickfilmpasten gelangen im Shredderprozess in RESH. Ihr Beitrag zur Cd-Belastung von RESH ist gering.</p>
<p>Korrosionsschutzschichten</p>	<p>1.7.2007</p>	<p>Mengen In Korrosionsschutzschichten waren im Durchschnitt 4 bis 8 g sechswertiges Chrom pro Fahrzeug enthalten.</p>

Werkstoff und Bauteil	Verbot in EU	Bemerkungen (Bedeutung in Fahrzeugen / Verbleib in der Entsorgung)
Korrosionsschutzschichten für Schrauben und Muttern zur Befestigung von Teilen des Fahrzeuggestells	1.7.2008	Verbleib in der Entsorgung Chromat in Korrosionsschutzschichten gelangt im Shredderprozess in Stahlschrott und RESH.

Hinweis: Für die Einschätzung der Bedeutung schadstoffhaltiger Bauteile, die teilweise oder zur Hauptsache in RESH enden, können folgende Zahlen beigezogen werden: Im Jahr 2008 wurden in zwei Fahrzeug-RESH-Proben mittlere Pb-, Cd- und Hg-Gehalte von 1800 mg/kg, 33 mg/kg und 0.75 mg/kg gemessen [1]. Damit errechnen sich Pb-, Cd- und Hg-Einträge in RESH von ca. 400 g, 7 g und 165 mg pro Fahrzeug (bei 220 kg RESH pro Fahrzeug).