

UMWELT-MATERIALIEN
NR. 140

Umweltgefährdende Stoffe

Feuerwerkskörper

Umweltauswirkungen
und Sicherheitsaspekte



Bundesamt für Umwelt, Wald und
Landschaft (BUWAL)

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Autoren	Eckhard Plinke und Gunther Wolff, Prognos Urs von Arx, Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie (BUWAL)
Begleitung	Roland Ott und Beat Hohmann, SUVA Claude Muller, Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik, Bundesamt für Polizei (BAP) Konrad Schlatter und Jürg Schärer, Wissenschaftlicher Forschungsdienst (WFD) des Bundes c/o Stadtpolizei Zürich Hans Bögli, Abteilung Lärmbekämpfung (BUWAL) Paul Filliger und Peter Straehl, Abteilung Luftreinhaltung (BUWAL) Andreas Weber und Georg Karlaganis, Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie (BUWAL)

Bezugsquelle Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
3003 Bern
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: <http://www.admin.ch/buwal/publikat/d/>

Bestellnummer UM--D

Preis CHF 15.- (inkl. MWSt)

© BUWAL 2001

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abstracts.....	7
Vorwort.....	9
Zusammenfassung.....	11
Résumé	14
Riassunto	17
Summary	20
1. Problemstellung und Zielsetzung	23
2. Arten von Feuerwerkskörpern und Rechtslage	24
2.1 Klassifizierungen von Feuerwerkskörpern	24
2.2 Gesetze und Verordnungen.....	26
2.2.1 Das Sprengstoffgesetz	26
2.2.2 Die Sprengstoffverordnung	26
2.2.3 Kantonale Vorschriften	27
3. Verbrauch und Inhaltsstoffe von Feuerwerkskörpern.....	28
3.1 Verbrauch von Feuerwerkskörpern in der Schweiz.....	28
3.2 Qualitative Zusammensetzung.....	28
3.3 Quantitative Zusammensetzung	31
4. Sicherheit.....	35
4.1 Unfälle beim Abbrennen von Feuerwerk	35
4.2 Sicherheitsmassnahmen beim Abbrennen von Feuerwerk	37
5. Lärm	40
5.1 Aurale Lärmwirkungen auf den Menschen.....	40
5.2 Extraaurale Lärmwirkungen auf Menschen und Tiere	43

6. Umweltkompartimente.....	44
6.1 Emissionsabschätzung	44
6.2 Bewertung der Umweltbelastung	49
6.2.1 Expositionsabschätzung	49
6.2.2 Luft.....	52
6.2.3 Böden.....	65
6.2.4 Indirekte Effekte	66
6.2.5 Abwasser und Gewässer.....	69
Literatur.....	72

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tabelle 1: Arten von Feuerwerkskörpern	25
Tabelle 2: Wichtige in pyrotechnischen Sätzen verwendete Additive	30
Tabelle 3: Zusammensetzung von Raketen	31
Tabelle 4: Durchschnittliche Zusammensetzung des pyrotechnischen Pulvers	32
Tabelle 5: Elementgehalte pyrotechnischer Sätze Mitte 80er Jahre in der Schweiz	33
Tabelle 6: Elementgehalte pyrotechnischer Sätze 1998 in Schweden	34
Tabelle 7: Ausländische Angaben zu feuerwerksbedingten Unfallraten	35
Tabelle 8: Brandwunden-Ursachen in den USA	36
Tabelle 9: Unfallursachen bei Jugendlichen in den USA	36
Tabelle 10: Akustische Daten von in der Schweiz erhältlichen Feuerwerkskörpern	42
Tabelle 11: Emissionsfaktoren für Schwarzpulver	46
Tabelle 12: Geschätzte Emissionen beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern	
in der Schweiz sowie Emissionsfaktoren	48
Tabelle 13: Modellierte eventbezogene Deposition von Elementen für drei Szenarien	51
Tabelle 14: Gemessene Dioxinkonzentrationen während der Bonfire Night	61
Tabelle 15: Grössenverteilung PM in Honolulu 1973/74	62
Tabelle 16: Grössenverteilung PM in Honolulu 1972/73	64
Tabelle 17: Vergleich feuerwerksbedingter Depositionen mit zulässigen Boden-	
additionen	65
Tabelle 18: Vergleich der feuerwerksbedingten Belastung von Futtermitteln	
mit tolerierbaren Gehalten	67
Tabelle 19: Vergleich zusätzlicher oraler Element-Aufnahmen mit tolerierbaren	
Aufnahmen für Erwachsene	68

Tabelle 20: Vergleich zusätzlicher Element-Aufnahmen mit oraler Staubeinnahme..... durch Kinder mit tolerierbaren Aufnahmen	68
Tabelle 21: Feuerwerksbedingte Elemente im Meteorwasser – Vergleich	
mit Strassenabwasser und bakterientoxischen Gehalten	69
Tabelle 22: Vergleich geschätzter Element-Einträge in Seewasser bei Grossfeuer-	
werken mit üblichen Sedimentationsraten	71

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abbildung 1: Feuerwerkskörper-Importe in der Schweiz	29
Abbildung 2: Brandschadensumme in der Schweiz und Anteil der Feuerwerkskörper	39
Abbildung 3: Anzahl Brände in der Schweiz und Anteil der Feuerwerkskörper	39
Abbildung 4: Lärmpegel in Abhängigkeit der Kaliber.....	41
Abbildung 5: Verlauf der SO ₂ -Konzentrationen bei Feuerwerken in der Schweiz	53
Abbildung 6: SO ₂ - und PM10-Konzentrationen im Rhein-Ruhr-Gebiet.....	53
Abbildung 7: Durchschnittliche SO ₂ -Tagesmittelwerte in der Schweiz	54
Abbildung 8: Kurzzeitige PM10-Konzentrationen bei Feuerwerken in der Schweiz	55
Abbildung 9: Durchschnittliche PM10-Tagesmittelwerte in der Schweiz.....	57
Abbildung 10: PM10-Konzentrationen und Kaliumgehalte im Schwebestaub.....	58
Abbildung 11: Tagesverlauf der Konzentrationen ausgewählter Schadstoffe im Feinstaub in den USA	59

Abstracts

Feuerwerke sind traditionell ein wesentlicher Bestandteil zahlreicher Feierlichkeiten und Volksfeste: der Nationalfeiertag, Seenachtsfeste und in einem zunehmendem Masse auch Silvesterfeiern sind ohne Feuerwerke kaum vorstellbar. Ein Teil der Bevölkerung steht jedoch dem Abbrand von Feuerwerken kritisch gegenüber.

Durch den zunehmenden Verbrauch von Feuerwerkskörpern im Rahmen der Jahrtausendfeiern stand dieses Thema in der Öffentlichkeit häufiger im Vordergrund. In Ermangelung wissenschaftlich fundierter Grundlagen wurde die resultierende Debatte oftmals auf einer gefühlsbetonten, wenig rationalen Ebene geführt.

Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, die bestehende Wissenslücke zu schliessen. Dazu wurden Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen, die mit dem Abbrand von Feuerwerken einhergehen, untersucht. Es wurde auf Messungen und Publikationen im In- und Ausland zurückgegriffen; eigene Messungen wurden nicht durchgeführt. Ergänzend wurden - zur Abschätzung von Umweltauswirkungen, zu denen keine Messungen vorlagen - Modelle angewandt, die einer Plausibilitätsanalyse unterzogen wurden.

Dieser Bericht soll eine bessere Einschätzung der Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von Feuerwerken ermöglichen und somit die Grundlage für eine objektive Auseinandersetzung mit dieser Frage bilden.

Il n'y a plus guère de festivités sans feux d'artifice: que seraient la Fête nationale, les fêtes populaires ou, de plus en plus, les réveillons de Nouvel-An sans les traditionnels feux d'artifice ? Et pourtant, certaines personnes sont très critiques quant à leur utilisation. Ce sujet préoccupe davantage depuis que la consommation d'articles de pyrotechnie a augmenté à l'occasion des festivités du millénaire. Cependant, les débats se limitent souvent à l'aspect émotionnel, peu rationnel, du problème en l'absence de bases scientifiques fondées.

La présente étude entend contribuer à combler les lacunes dans ce domaine. Pour ce faire, les effets de la combustion de feux d'artifice sur l'environnement et la santé ont été analysés. La présente étude est étayée par des mesures et des publications suisses et étrangères ; aucune mesure spécifique n'a été effectuée dans le cadre de ce travail. En revanche, des modèles permettant d'évaluer les répercussions sur l'environnement ont été mis au point à titre d'instrument complémentaire là où aucune mesure n'était disponible. Ils ont ensuite été soumis à une analyse de plausibilité.

Le présent rapport devrait permettre de mieux évaluer les risques pour la santé et l'environnement liés à l'utilisation de feux d'artifice et constituer une base objective pour traiter le problème.

I fuochi d'artificio costituiscono una componente tradizionale importante di numerose celebrazioni e feste popolari: la Festa Nazionale, le feste d'estate al lago e sempre più anche le feste di Capodanno sono pressoché impensabili senza fuochi d'artificio. Nondimeno, una parte della popolazione non ne approva incondizionatamente l'uso.

In seguito all'aumento dell'uso di articoli pirotecnici nel quadro delle festività per il nuovo millennio, il tema si è maggiormente imposto all'attenzione dell'opinione pubblica. Tuttavia, in mancanza di una base scientifica, nel dibattito che ne è risultato sono spesso prevalsi aspetti emotivi a scapito di un'argomentazione razionale.

Il presente studio intende contribuire a colmare questa lacuna. A tal fine sono stati presi in esame i rischi per la salute e l'impatto sull'ambiente che derivano dall'uso di fuochi d'artificio. Sono state considerate misurazioni e pubblicazioni realizzate in Svizzera e all'estero; non sono state invece effettuate misurazioni proprie. A titolo complementare, per una stima degli effetti sull'ambiente per i quali non erano disponibili dati di misurazioni, sono stati utilizzati dei modelli sottoposti a un'analisi di plausibilità.

Il rapporto mira a una valutazione più ponderata dei rischi per la salute e per l'ambiente dovuti ai fuochi d'artificio, offrendo così la base per una trattazione obiettiva di questo tema.

Fireworks are traditionally an important part of many celebrations and public festivals: The Swiss National Day, lakeside festivals and increasingly New Year's Eve can hardly be imagined without fireworks. However, fireworks displays are facing the criticism of a part of the Swiss population.

The increase in fireworks consumption - due to Millennium celebrations - brought this subject to the fore. In the absence of a scientific basis the resulting debate was often carried out on an emotional rather than a rational level.

The present study will contribute to closing this knowledge gap. Environmental and health impacts due to the use of fireworks were investigated. The study is based on Swiss as well as international measurements and publications consulted; own measurements or experiments were not carried out. Some environmental impacts have not been measured to date. In order to assess these effects, adequate models were used and submitted to plausibility analysis.

This report will enable better estimates of firework-related health and environmental risks to be made, thus providing a basis for an objective consideration of the issue.

Vorwort

Feuerwerke sind im BUWAL seit Jahren ein Thema. Insbesondere in der Zeit um den ersten August und zum Jahreswechsel wird das Amt jeweils mit zahlreichen Anfragen und mit Forderungen nach einschränkenden Massnahmen zum Umgang mit Feuerwerkskörpern konfrontiert. Demgegenüber sind viele Leute von Feuerwerken angetan. So locken die Grossfeuerwerke als Höhepunkte des „Zürifäscht“ jeweils gut eine Million Besucher/innen an, die fasziniert das Knall-, Feuer- und Farbenspektakel geniessen. Tatsächlich hat die Feuerwerkerei auch in Europa seit dem Mittelalter Tradition.

Zur Versachlichung der oft sehr kontrovers geführten Diskussion hat sich das BUWAL entschlossen, eine Studie zu den Umweltauswirkungen von Feuerwerkskörpern in Auftrag zu geben. Das BUWAL ist der Meinung, dass für die Bewertung auch Aspekte der Brand- und Unfallgefahr beim Gebrauch der Feuerwerkskörper betrachtet werden müssen. Die Fachkompetenz und die Zuständigkeit für die Beurteilung dieser Fragen liegt beim Bundesamt für Polizei (BAP) in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftlichen Forschungsdienst (WFD) sowie bei der SUVA.

Als Resultat liegt nun dieser Bericht vor. Er richtet sich an einen breiten Adressatenkreis, der Behörden wie interessierte Private miteinschliesst. Besonderen Wert wurde auf die Nachvollziehbarkeit der Beurteilung gelegt. Die Idee ist, dass im Bericht mit Schätzwerten gefüllte Datenlücken allenfalls durch Messwerte ergänzt oder ersetzt werden können. Im Rahmen der Literaturrecherchen hat sich gezeigt, dass Feuerwerke auch Gegenstand von Untersuchungen von Behörden und unabhängigen Instituten im Ausland sind. So werden im Bericht Arbeiten aus den Niederlanden, aus Schweden, Grossbritannien, Deutschland und den USA zitiert. Die Resultate oder Schlussfolgerungen sind unseres Erachtens auf schweizerische Verhältnisse übertragbar.

Der heutige Feuerwerkskörper-Verbrauch beträgt 1000-2000 t/a. Dies verursacht insbesondere Luftbelastungen und Unfallgefahren. Menschen mit Erkrankungen der Atemwege und Kreislauferkrankungen muss empfohlen werden, Feuerwerke zu meiden. Hinsichtlich der Unfallgefahren seien die Verbraucher angesichts der möglichen schwerwiegenden Unfallfolgen daran erinnert, dass Feuerwerkskörper keine Spielzeuge sind. Gestützt auf das Sprengstoffgesetz haben die Kantone die Kompetenz, zeitliche Begrenzungen für den Verkauf und Abbrand von Feuerwerk oder ein Verbot bestimmter Feuerwerkskörper zu erlassen. Es liegt in der Natur der Sache, dass das BUWAL für einen zurückhaltenden Umgang mit Feuerwerkskörpern plädiert und daran interessiert ist, dass die Kantone ihre Kompetenz nutzen. Ein bundesweites Totalverbot von Feuerwerkskörpern wäre unverhältnismässig und ist zur Zeit nicht geplant.

Wir möchten allen Beteiligten danken, die zum Gelingen dieses Berichts beigetragen haben.

Georg Karlaganis
Chef der Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie

Zusammenfassung

Feuerwerkskörper zeichnen sich durch eine Vielfalt an Produkten mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen aus. Die vorliegenden Informationen zu Feuerwerken (Sicherheit, Umwelteffekte) sind teilweise lückenhaft, so auch über die genauen Verbrauchsmengen. Wir schätzen, dass in der Schweiz pro Jahr etwa **1'450 Tonnen** Feuerwerkskörper abgebrannt werden. Davon entfallen etwa 1000 Tonnen auf Materialien wie Hüllen, Konstruktionsteile und Verpackungen (Karton, Holz, Kunststoff) und 360 Tonnen auf die pyrotechnischen Sätze. Davon sind ca. 240 Tonnen Schwarzpulver und 120 Tonnen Effektsätze. Die Effektsätze enthalten umwelt- und gesundheitsrelevante Metallverbindungen.

Die möglichen **Auswirkungen von Feuerwerken auf Umwelt und Gesundheit** können wie folgt zusammengefasst werden:

1. **Unfälle:** Unfälle können bei unsachgemäßem Umgang mit Feuerwerkskörpern bei Verkauf und Gebrauch entstehen:
 - Sicherheitsvorschriften für den **Verkauf** von Feuerwerkskörpern sind in der Schweiz in der Sprengstoffverordnung formuliert. Regeln für den **Gebrauch** mit Feuerwerkskörpern werden unter anderem vom Branchenverband, der Schweizerischen Koordinationsstelle für Feuerwerk (SKF), herausgegeben.
 - Aus Untersuchungen im Ausland¹ geht hervor, dass die Unfallraten beim Abbrennen von Feuerwerken in einem Bereich von 2 – 13 Unfällen mit **Personenschäden** pro 100'000 Einwohner liegen. Unter den Verletzten sind Minderjährige überproportional vertreten. Diese Gruppe ist daher einem erhöhten Risiko ausgesetzt.
 - Jedes Jahr werden in der Schweiz durch Feuerwerke Brände verursacht. Die dabei entstehenden **Sachschäden** betragen 0,6% der gesamten jährlichen Brandschadenssumme in der Schweiz.
2. **Lärm:** In Abständen, in denen sich üblicherweise Zuschauer von Grossfeuerwerken aufhalten, können Lärm-Spitzenpegel erzeugt werden, die als gehörgefährdend einzustufen sind, da sie den Impulslärm-Grenzwert der SUVA überschreiten. Nicht vernachlässigt werden darf das Problem der **Lästigkeit** von Feuerwerkslärm. Gerade bei lärmempfindlichen Bevölkerungsgruppen kann diese Lästigkeit durchaus beträchtlich sein, denn sie kann Angstreaktionen mit entsprechenden Stressreaktionen des ganzen Organismus auslösen. Hierzu sind keine Untersuchungen bekannt.

¹ Entsprechende Statistiken für die Schweiz bestehen zwar nicht, jedoch dürften die ausländischen Ergebnisse in etwa übertragbar sein.

3. **Luftbelastung:** Beim Abbrennen von Feuerwerken entstehen aus dem Hauptbestandteil Schwarzpulver als feste Reaktionsprodukte Kaliumcarbonat, -sulfat und -sulfid neben nicht umgesetztem Schwefel. Bei den Effektsätzen fallen die Reaktionsprodukte im wesentlichen in fester Form an und bestehen aus Metalloxiden sowie in geringerem Umfang aus -chloriden. Die Belastung der Luft durch Feuerwerksreaktionsprodukte ist durch Messungen im In- und Ausland gut dokumentiert. Vor allem Feinstaub erreicht kurzzeitige Spitzenbelastungen. Datenauswertungen von Schweizer Luftmessstationen zeigen, dass sich während kurzer Zeit so hohe Gehalte von lungengängigem Feinstaub (PM10) einstellen, dass die 24h-Mittelwerte über dem in der LRV festgelegten Grenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen können. Dieser Wert ist gesundheitlich begründet und darf nur einmal im Jahr überschritten werden. Auch ausländische Untersuchungen - allerdings bei einem höheren Schadstoffniveau - ergeben, dass bei handicapierten Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen Beschwerden auftreten können.
Beim Abbrennen von kupferhaltigem Feuerwerk können Dioxine entstehen. Aus Laborexperimenten, in denen das Ausmass der Dioxin-Bildung beim Abschiessen verschiedener Pyrotechnika untersucht wurde, sowie aus Messungen während der Bonfire Night in Grossbritannien, in der wie in der Schweiz Brauchtumsfeuer und Feuerwerkskörper abgebrannt werden, schliessen wir, dass Brauchtumsfeuer die weitaus wichtigere Dioxin-Quelle sind als pyrotechnische Gegenstände, insbesondere dann wenn Altholz und andere Abfälle mitverbrannt werden.
4. **Belastung anderer Umweltkompartimente sowie indirekte Effekte:** Durch Deposition gelangen emittierte Feuerwerksreaktionsprodukte in Böden, auf Erntegüter und im Falle von Feuerwerken über Wasser in stehende Gewässer. Hierzu liegen keine Messungen vor. Für die Beurteilung der Belastung müssen deshalb Depositionen der feuerwerkrelevanten Elemente durch Modellrechnungen abgeschätzt werden.
Für alle feuerwerksrelevanten Elemente wurden öko- und humantoxikologisch begründete Beurteilungswerte zusammengetragen. Die vorliegenden Abschätzungen ergeben, dass durch feuerwerksbedingte Depositionen keine problematischen Boden- und Gewässer-Gehalte erreicht werden und auch die Auswertungen hinsichtlich indirekter Effekte (Aufnahme über die Nahrungsmittelkette, Bodeningestion Kinder) ergeben keine kritischen Befunde.
5. **Abfälle:** Abgebrannte Feuerwerkskörper verursachen jährlich maximal 1000 t zusätzlichen Abfall.

Schlussfolgerungen:

Die durch Deposition von Feuerwerkselementen resultierenden **Boden- und Gewässerbelastungen** sind gemäss Modellberechnungen gering. Die angenommenen Depositionsraten sollten durch Messung mindestens von Barium als Leitmetall im Staubniederschlag oder in Umweltproben wie Gras oder Staub von versiegelten Flächen verifiziert werden.

Da nicht bezifferbare Anteile von Feuerwerksreaktionsprodukten auch in den Hülzen als Schlacke anfallen, wird Landwirten und Eltern aus Vorsorgegründen empfohlen, sichtbare Feuerwerksrückstände auf Weiden und Spielplätzen nach dem Abschuss von Feuerwerk zu entfernen.

Die **Luftbelastung** ist vorallem bei grossen Feuerwerken nicht vernachlässigbar. Bei den Immissionen von lungengängigem Feinstaub (PM₁₀) bewegt man sich im Bereich von Effekten für empfindliche Personen. Wenn an zwei Tagen im Jahr (z.B. 1./2. August, 31. Dez./1. Jan.) in grossem Ausmass Feuerwerke abgebrannt und dabei 24-h-Mittelwerte von mehr als 50 µg/m³ PM₁₀ erreicht werden, wäre der Immissionsgrenzwert der LRV allein schon aufgrund dieser Ereignisse überschritten. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass zur Zeit an NABEL-Messstationen der Grenzwert für das 24h-Mittel von PM₁₀ an 20 bis 77 Tagen überschritten wird. Unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit und der im heutigen Ausmass stattfindenden Feuerwerkerei ist ein bundesweites Totalverbot von Feuerwerkskörpern zur Zeit nicht geplant.

Bei Grossfeuerwerken sollten die Veranstalter dem verantwortlichen Feuerwerker zur Auflage machen, dass die **Impulslärm**-Grenzwerte der SUVA eingehalten werden. Bei Feuerwerkskörpern für die breite Öffentlichkeit werden in den Zulassungsvorschriften des WFD/ZSP² Beschränkungen des Schalldruckpegels vorgeschrieben. Das Risiko gesundheitlicher Schäden ist bei korrekter Verwendung daher gering. Bei lärmempfindlichen Personen kann es aber zu Angstreaktionen kommen (Lästigkeit). Das Ausmass, in dem die Bevölkerung, aber auch Haus-, Nutz- und Wildtiere davon betroffen sind, kann derzeit nicht beurteilt werden. Im Vergleich mit anderen Störungsquellen ist die Exposition von kurzer Dauer.

Die bestehenden **Sicherheitsvorschriften** und -empfehlungen bezüglich Verkauf und Gebrauch in der Schweiz genügen, um ein akzeptables Sicherheitsniveau zu erreichen. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen hier in einer noch stärkeren Information, um die Sensibilisierung der Verbraucher für die Unfallgefahren zu erhöhen. Als primäre Zielgruppe sollten dabei Kinder und Jugendliche angesprochen werden, die überproportional von Unfällen betroffen sind.

² Zulassungsvorschriften des Wissenschaftlichen Forschungsdienst (WFD) des Bundes und der Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP) des Bundesamt für Polizei.

Résumé

Les articles de pyrotechnie se caractérisent par une multitude de produits contenant divers composants. Les informations existantes concernant les feux d'artifice (sécurité, effets sur l'environnement) sont lacunaires sur certains points, de même que les quantités réellement consommées. En Suisse, on estime à **1450 tonnes** le nombre d'articles de pyrotechnie brûlés chaque année. Les déchets représentent environ 1000 tonnes de matériaux tels que douilles, éléments de construction et emballages (carton, bois, plastique) et 360 tonnes d'éléments pyrotechniques, dont environ 240 t de poudre noire et 120 t de mélanges chimiques qui créent les effets sonores et visuels. Ces mélanges contiennent des composés métalliques ayant des impacts sur la santé et l'environnement.

Les **conséquences** possibles **des feux d'artifice pour la santé et l'environnement** sont les suivantes :

1. **Accidents:** La manipulation incorrecte d'articles de pyrotechnie lors de la vente ou de l'utilisation peut provoquer des accidents:
 - Les prescriptions de sécurité régissant la **vente** d'articles de pyrotechnie sont mentionnées, en Suisse, dans l'ordonnance sur les explosifs. L'association sectorielle – le bureau suisse de coordination des feux d'artifice (SKF) –, notamment, a publié des règles concernant **l'utilisation** de tels articles.
 - Des études menées à l'étranger³ révèlent que la proportion d'accidents survenant lors de la combustion de feux d'artifice se situe entre 2 et 13 accidents avec **dommages corporels** par tranche de 100 000 habitants. Parmi les blessés, on dénombre en grande majorité des personnes mineures. Ce groupe est donc exposé à un risque élevé.
 - Les feux d'artifice provoquent chaque année des **incendies**. Les dommages matériels qui en résultent constituent 0,6% de la somme annuelle totale des dégâts dus au feu en Suisse.
2. **Bruit:** La distance où se tiennent habituellement les spectateurs de feux d'artifice, peuvent engendrer des niveaux acoustiques qui peuvent porter atteintes au système de l'audition (référence : directives de la CNA sur la sécurité au travail). Un problème à ne pas négliger, cependant, est **l'incommodation** causée par le bruit des feux d'artifice. Elle peut être considérable pour les groupes de personnes sensibles au bruit, car elle peut provoquer des réactions de peur – et, par conséquent, entraîner un stress généralisé de l'organisme. On n'a connaissance d'aucune étude sur le sujet.

³ La Suisse ne possède pas de statistiques équivalentes, mais les résultats étrangers devraient s'appliquer à peu près.

3. **Pollution atmosphérique:** Lors de la combustion de feux d'artifice, le composant principal, la poudre noire, libère des produits de réaction solides : carbonate de potassium, sulfate de potassium et sulfure de potassium, ainsi que du soufre non transformé. Les produits de réaction des mélanges chimiques se présentent pour l'essentiel sous forme solide. Ils consistent en des oxydes de métal et, dans une moindre mesure, en des chlorures de métal. Des mesures effectuées en Suisse et à l'étranger attestent bien la pollution atmosphérique causée par les produits de réaction des feux d'artifice. Les poussières fines, en particulier, atteignent brièvement des valeurs de pointe. L'interprétation des données fournies par les stations suisses de mesure démontre que la teneur très élevée des poussières fines respirables (PM10) pendant un court laps de temps peut suffire pour que les valeurs moyennes sur 24 h dépassent la valeur limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fixée dans l'OPair. Or cette valeur limite, qui a été définie sur la base de critères de protection de la santé, ne doit pas être dépassée plus d'une fois par an ! Des études étrangères font aussi ressortir une gêne pouvant affecter les personnes qui souffrent de maladies chroniques des voies respiratoires. Mais il est vrai que ces études portent sur un niveau de polluants plus élevé.
- La combustion de feux d'artifice contenant du cuivre peut dégager des dioxines. Nous estimons que les feux du 1^{er} Août représentent une source de dioxines bien plus importante que les articles de pyrotechnie, surtout si les feux sont allumés sur du bois usagé et d'autres déchets. Pour arriver à cette conclusion, nous nous référons à des expériences de laboratoire portant sur la formation de dioxines lors de l'utilisation de divers articles de pyrotechnie et à des mesures effectuées lors de la « Nuit des feux de joie » (Bonfire night) en Grande-Bretagne, où la coutume veut aussi que de grands feux soient allumés.
4. **Atteintes à d'autres milieux environnementaux et effets indirects:** Les produits de réaction des feux d'artifice se déposent dans les sols, les récoltes et, dans le cas de feux d'artifice lacustres, dans les eaux. Il n'existe pas de mesures dans ce domaine. Il faut donc recourir à des modèles mathématiques pour estimer la pollution causée par les dépôts de parties de feux d'artifice.
- Pour tous ces éléments, on a réuni des valeurs d'appréciation reposant sur des critères écotoxicologiques et humanotoxicologiques. Selon les estimations disponibles, les dépôts d'éléments de feux d'artifice n'entraînent pas de concentrations problématiques de composants dans le sol et les eaux, et les analyses des effets indirects (ingestion par la chaîne alimentaire, ingestion de sol par les petits enfants) ne donnent pas non plus de résultats critiques.
5. **Déchets:** Les articles de pyrotechnie brûlés engendrent chaque année 1000 t de déchets supplémentaires au maximum.

Conclusions:

D'après les simulations numériques, les atteintes portées aux **eaux** et aux **sols** par les dépôts d'éléments de feux d'artifice sont faibles. On vérifiera les taux supposés de dépôts en mesurant au moins le barium, métal conducteur, dans les précipitations de poussières ou dans des échantillons d'environnement tels que de l'herbe ou de la poussière recueillie sur des surfaces imperméables.

Nous recommandons aux agriculteurs et aux parents, par mesure de prudence, de débarrasser prés et places de jeux, après un feu d'artifice, de tout débris visible. En effet, une partie non quantifiable des produits de réaction se dépose sous forme de scories dans les douilles.

Le problème de la pollution de l'**air** n'est pas négligeable, surtout en cas de grands feux d'artifice. Les immissions de poussières fines respirables (PM10) atteignent des valeurs qui peuvent déjà avoir un effet sur les personnes sensibles. Il suffit d'allumer une grande quantité de feux d'artifice deux fois par an (p. ex. pour le 1^{er} Août et le Nouvel-An) – les valeurs moyennes sur 24 h étant alors supérieures à 50 µg PM10/m³ – pour que la valeur limite d'immission de l'OPair soit déjà dépassée. On signalera à cette occasion que les stations de mesure NABEL enregistrent actuellement un dépassement de la valeur limite pour la moyenne de PM10 sur 24 h pendant 20 à 77 jours. Eu égard au principe de proportionnalité, une interdiction générale des articles de pyrotechnie n'est actuellement pas prévue.

Les organisateurs des feux d'artifice devraient exiger du pyrotechnicien qu'il respecte la valeur limite de la CNA pour le **bruit** d'impulsion. Dans le cas des produits destinés au public les prescriptions du SSR/OCEP⁴ concernant l'homologation prévoient une limitation du niveau de pression acoustique pour les différents articles de pyrotechnie. Le risque de dommages à la santé dus au bruit est donc faible si les produits sont utilisés correctement. Mais les personnes sensibles peuvent connaître des réactions de peur (incommodation). Actuellement, il n'est pas possible d'évaluer dans quelle mesure la population, mais aussi les animaux (animaux domestiques, animaux de rente, animaux sauvages), sont touchés. Quoiqu'il en soit, l'exposition est de courte durée par rapport à d'autres sources de dérangement.

Enfin, le **risque d'accident** ne doit pas être sous-estimé. Les prescriptions et recommandations concernant vente et utilisation en vigueur en Suisse sont suffisantes pour obtenir un niveau de sécurité acceptable. Mais des améliorations sont encore possibles au niveau de l'information des consommateurs. Le travail de sensibilisation doit être entrepris surtout auprès des enfants et des jeunes, car c'est dans ce groupe que l'on recense le plus grand nombre de victimes d'accidents dus aux feux d'artifice.

⁴ Prescriptions concernant l'homologation élaborées par le service scientifique et de recherches (SSR) de la Confédération et l'office central des explosifs et de la pyrotechnie (OCEP) près l'Office fédéral de la police.

Riassunto

Gli articoli pirotecnici sono caratterizzati da una grande varietà di prodotti a composizione assai differenziata. Le informazioni disponibili relative ai fuochi d'artificio (sicurezza, impatto sull'ambiente) sono parzialmente incomplete, anche per quanto concerne i quantitativi d'uso. In base alle nostre stime, riteniamo che in Svizzera vengano utilizzate circa **1'450 tonnellate** di articoli pirotecnici. Di queste, circa 1000 tonnellate sono costituite da materiali come involucri, parti strutturali e imballaggi (cartone, legna, materiali sintetici) e 360 tonnellate da cariche pirotecniche. Di queste, circa 240 tonnellate sono polvere nera e 120 tonnellate cariche di effetto. Le cariche di effetto contengono composti metallici rilevanti per l'ambiente e la salute.

I possibili **effetti di fuochi d'artificio sull'ambiente e la salute** possono essere riassunti come segue.

1. **Incidenti e infortuni:** in caso di manipolazione impropria di articoli pirotecnici durante la vendita e il consumo possono verificarsi incidenti e infortuni.
 - Le prescrizioni di sicurezza per la **vendita** di articoli pirotecnici sono disciplinati in Svizzera dall'ordinanza sugli esplosivi. Le regole per l'**uso** dei fuochi d'artificio sono pubblicate tra l'altro dall'associazione di categoria, l'Ufficio svizzero di coordinamento fuochi d'artificio (SKF).
 - Da ricerche effettuate all'estero⁵ risulta che i tassi d'infortuni dovuti all'uso di articoli pirotecnici si situano nell'ambito di 2 – 13 infortuni con **danni alle persone** su 100'000 abitanti. Tra i feriti prevalgono proporzionalmente i minorenni. Questo gruppo risulta pertanto esposto a un maggiore rischio.
 - Ogni anno, in Svizzera i fuochi d'artificio sono causa **d'incendi**. I danni materiali ammontano allo 0,6% della somma complessiva di danni causati da incendi nel nostro Paese.
2. **Rumore:** alle distanze in cui si trovano generalmente gli spettatori di spettacoli pirotecnici vengono raggiunti livelli massimi di rumore inferiori al limite critico per possibili danni alla salute (base di valutazione: direttive di sicurezza sul lavoro della SUVA). Non può essere trascurato il problema della **molestia** del rumore provocato dai fuochi d'artificio. Segnatamente in gruppi della popolazione sensibili al rumore tale molestia può risultare considerevole poiché può essere all'origine di reazioni fobiche con conseguenti reazioni di stress dell'intero organismo. Non sono note ricerche in proposito.

⁵ Non esistono statistiche in proposito in Svizzera, ma i risultati di ricerche effettuate all'estero dovrebbero essere in linea di massima applicabili anche alla Svizzera.

3. **Inquinamento dell'aria:** in seguito all'accensione di fuochi d'artificio, dalla componente principale polvere nera, oltre a zolfo non trasformato, si formano i prodotti di reazione solidi quali carbonato di potassio, solfato di potassio e solfuro di potassio. I prodotti di reazione delle cariche d'effetto risultano generalmente in forma solida e sono costituiti da ossidi metallici e, in misura minore, da cloruri metallici. L'inquinamento dell'aria dovuto a prodotti di reazione di fuochi d'artificio è ben documentato da misurazioni in Svizzera e all'estero. Specialmente l'inquinamento da polveri fini raggiunge momentaneamente valori di punta. Le analisi dei dati delle stazioni svizzere di misurazione dell'aria mostrano che, per breve tempo, s'instaurano tenori di polveri fini in grado di penetrare nei polmoni (PM 10) talmente elevati che i valori medi su 24 ore possono superare il valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stabilito nell'OIA. Questo valore è stabilito per ragioni di protezione della salute e può essere superato al massimo una volta all'anno. Anche da ricerche compiute all'estero risulta che, sia pure in presenza di un livello più elevato di sostanze nocive, nelle persone con malattie croniche delle vie respiratorie possono comparire disturbi.
In seguito alla combustione di fuochi d'artificio contenenti piombo possono formarsi diossine. Da esperimenti di laboratorio in cui è stata esaminata in termini quantitativi la formazione di diossina in seguito allo sparo di diversi articoli pirotecnici, nonché da misurazioni effettuate in occasione della Bonfire Night in Inghilterra - in cui, come in Svizzera, vengono accesi falò e sparati articoli pirotecnici - concludiamo che i falò costituiscono una fonte di diossina assai più importante degli articoli pirotecnici, segnatamente se viene bruciato anche legname di scarto e altri rifiuti.
4. **Inquinamento di altri comparti ambientali ed effetti indiretti:** mediante deposito, i prodotti di reazione dei fuochi d'artificio pervengono nel suolo, sui raccolti e, in caso di fuochi d'artificio sull'acqua, in specchi d'acqua. A questo proposito non sono disponibili misurazioni. Per la valutazione dell'inquinamento occorre quindi stimare i depositi degli elementi rilevanti di fuochi d'artificio mediante calcoli modello.
Per tutti gli elementi rilevanti di fuochi d'artificio sono stati raccolti dati in base agli effetti eco-tossicologici e umano-tossicologici. Dalle stime così determinate risulta che in seguito a depositi causati da fuochi d'artificio non vengono raggiunti tenori problematici nel suolo e nell'acqua, e anche dall'analisi degli effetti indiretti (assunzione tramite la catena alimentare, ingestione di terra da parte di bambini) non risultano valori critici.
5. **Rifiuti:** una volta esplosi, gli articoli pirotecnici generano al massimo 1000 t di rifiuti supplementari all'anno.

Conclusioni:

In base ai calcoli modello, l'inquinamento **del suolo e dell'acqua** provocato dalla deposizione di elementi di fuochi d'artificio risulta lieve. Mediante la misurazione di almeno il bario come metallo indicatore nella ricaduta di polvere o in campioni ambientali, come erba o polvere su superfici idonee, permetterebbe da verificare i tassi di deposito considerati.

Poiché delle frazioni non quantificabili di prodotti di reazioni di fuochi d'artificio sono presenti anche nei bossoli sotto forma di scorie si raccomanda agli agricoltori e ai genitori di rimuovere i residui visibili di fuochi d'artificio da pascoli e parchi giochi al termine degli spari.

L'inquinamento **dell'aria** non è trascurabile, specie per i grandi fuochi d'artificio. Per quanto riguarda le emissioni di polveri fini penetrabili nei polmoni (PM 10), l'inquinamento raggiunge valori a effetto su persone sensibili. Se durante due giorni all'anno (per es. 1/2 agosto, 31 dicembre/1° gennaio) vengono accesi fuochi d'artificio su ampia scala raggiungendo così valori medi su 24 h di oltre 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM10, il valore limite d'emissione dell'OIA⁶ risulta superato anche solo in seguito a questi due eventi. A questo proposito va tuttavia rilevato che attualmente presso le stazioni di misurazione NABEL il valore limite per la media 24h di PM10 viene superato durante 20 fino a 77 giorni. In considerazione della proporzionalità e della quantità di fuochi d'artificio impiegata attualmente, un divieto totale di articoli pirotecnici non è previsto.

Durante gli spettacoli pirotecnici gli organizzatori dovrebbero assicurarsi che l'artificiere responsabile rispetti le direttive di sicurezza sul lavoro della SUVA. Per quanto riguarda gli articoli pirotecnici destinati al grande pubblico, le disposizioni di omologazione WFD/ZSP⁶ stabiliscono le limitazioni relative al livello di **pressione sonora**. Se i fuochi d'artificio vengono adoperati in modo corretto il rischio di danni alla salute in seguito al rumore è pertanto limitato. In persone sensibili al rumore possono tuttavia manifestarsi reazioni d'ansia (molestia). La misura in cui la popolazione, gli animali domestici, il bestiame da reddito e la selvaggina sono colpiti da tali effetti non può al momento essere valutata. Rispetto ad altre fonti di disturbo, l'esposizione è di breve durata.

Le prescrizioni e raccomandazioni per la sicurezza in Svizzera sono sufficienti ad ottenere un livello di **sicurezza** accettabile durante la vendita e l'uso. Le possibilità di miglioramento consistono a questo proposito in una maggiore informazione al fine di sensibilizzare l'utenza in merito ai pericoli d'infortunio. Tale informazione va indirizzata prioritariamente alle protezioni di bambine e dei giovani, proporzionalmente più esposti a tali infortuni.

⁶ Disposizioni d'ammissione del Servizio scientifico (WFD) della Confederazione e dell'Ufficio centrale per gli esplosivi e la pirotecnica (ZSP) dell'Ufficio federale di polizia

Summary

Fireworks consist of a wide range of products with a highly variable composition. The available data on fireworks (safety, environmental effects) are often incomplete. This applies also to consumption figures, which can only be estimated. Every year, some **1,450 tonnes** of fireworks are set off in Switzerland.

About 1000 tonnes of this consists of materials such as tubes, structural parts and packagings (cardboard, wood, plastic), and 360 tonnes of the pyrotechnic components. These consist of approx. 240 tonnes of black powder (gunpowder) and 120 tonnes of chemicals to produce effects. These effects mixtures contain metallic compounds that may have an impact on the environment or human health.

The possible **impacts of fireworks on the environment and human health** may be summarised as follows:

1. **Accidents:** Accidents can occur if fireworks are handled incorrectly during sale and use:
 - Safety regulations for the **sale** of fireworks in Switzerland are contained in the Ordinance on Explosives. Regulations for the use of fireworks are published by the industrial association, the Swiss Central Fireworks Office (SKF).
 - International surveys⁷ have shown that the accident rates associated with fireworks are around 2 – 13 accidents with **injury to persons** per 100,000 inhabitants. Minors are disproportionately represented among the injured. This group is thus exposed to a higher risk.
 - Every year, fireworks cause fires. The resulting **damage to property** amounts to 0.6% of the total fire damage in Switzerland.
2. **Noise:** At the distances where people watching fireworks usually are, noise levels can exceed the impuls noise limit according to SUVA guidelines. The **nuisance** of firework noise should not be ignored. For noise-sensitive groups, this nuisance can be substantial, since it causes anxiety and corresponding stress reactions. There are no studies of this effect.
3. **Air pollution:** In the combustion of fireworks, the main component gunpowder gives rise to the solid reaction products such as potassium carbonate, potassium sulphate and potassium sulphide, together with unreacted sulphur. The reaction products from effects mixtures are generally solids and consist of metal oxides and, less often, chlorides. The air pollution caused by firework reaction products is well documented by measurements in Switzerland and abroad. Fine particulates are notable in reaching record short-term pollution levels. Evaluation of data from Swiss gauging stations shows that over a short period, such high levels of respirable fine particulates (PM10) may be

⁷ Corresponding statistics do not exist for Switzerland, but may be approximately the same as those from abroad.

reached that the 24h average values may exceed the 50 µg/m³ threshold stipulated in the Ordinance on Air Pollution Control (OAPC). This value is laid down for health reasons and may be exceeded only once a year. International surveys – in more polluted areas – show that susceptible people may be measurably affected.

Dioxins can be released during the combustion of copper containing fireworks. Laboratory experiments, which investigated the extent of dioxin formation caused by setting off various pyrotechnic devices, and measurements taken during Bonfire Night in Great Britain where both bonfires and fireworks are burned as in Switzerland, indicate that bonfires are a far more significant source of dioxin than pyrotechnic devices, especially when waste wood and other wastes are burned.

4. **Pollution of other environmental compartments and indirect effects:** The firework reaction products that are emitted are deposited and thus enter the soil, crops and, in the case of fireworks over water, standing waters. This pollution has not been measured yet. Therefore, the deposition of firework-related elements must be estimated from model calculations.

Ecotoxicological and toxicological benchmarks for all firework-related elements were taken from the literature. The present assessment shows that firework-related depositions do not cause problematic soil and water contents, and the evaluations suggest that indirect effects (uptake through the food chain, soil ingestion by children) are also not critical.

5. **Waste:** Some 1000 t additional waste are annually generated by fireworks.

Conclusions:

According to model calculations, the resulting **soil** and **water** pollution due to deposition of fireworks related elements is negligible. The assumed deposition rates should be verified, at a minimum by measuring barium as a marker in the fallout or in environmental samples such as grass or dust from sealed areas.

Since non-quantifiable fractions of firework reaction products also occur in the shells as slag, farmers and parents are advised to remove visible firework residues from fields and playgrounds after use.

Air pollution, particularly associated with large fireworks displays, cannot be ignored. Immissions of respirable fine particles (PM10) are at the level of injury to sensitive persons.

There is some evidence that large fireworks displays may lead to high PM10 concentrations. Thus OAPC immission threshold could be exceeded if major pyrotechnic displays are performed on 1st / 2nd August and 31st Dec. / 1st Jan, respectively. We should point out that, according to NABEL measurements, the 24h average for PM10 is currently been exceeded on 20 to 77 days per year. Putting things into perspective, a general ban of fireworks devices is not intended.

Organizers of large public displays and local authorities should not allow pyrotechnicians exceeding the SUVA impulse **noise** limit. In the case of consumer firework devices the WFD/ZSP⁸ restricts the noise pressure levels of different types of firework devices. The risk of damage to health is therefore minimal if they are used correctly. Persons sensitive to noise however may experience anxiety (nuisance). The extent to which the population, as well as pets, livestock and wild animals are affected, cannot currently be assessed. In comparison with other sources of disturbance the exposure is of short duration.

Finally the **safety risk** posed by fireworks due to the use should not be underestimated. The existing Swiss safety regulations and recommendations regarding retail and use of fireworks are sufficient to obtain an acceptable safety level. There is still some scope for improvement/potential lie in the provision of information, to raise consumer awareness of the risk of accidents. Children and adolescents should be the primary target group, since they are disproportionately involved in accidents.

⁸ Permit regulations of the Police's Scientific Service (WFD) and the Central Office for Explosives and Pyrotechnics (ZSP) of the Federal Office for Police.

1. Problemstellung und Zielsetzung

Alljährlich zum ersten August werden zur Bundesfeier Tonnen von Feuerwerkskörpern verbrannt. Dies entspricht in der Schweiz einer langen Tradition, führt aber auch zu Beschwerden von Bürgern, vor allem aufgrund der Sicherheitsgefahren (Brand- und Unfallgefahr), des Lärms und der Schadstoffemissionen, bzw. -immissionen.

Das BUWAL hat in den letzten Jahren zu dieser Thematik bereits Daten und Informationen gesammelt und ausgewertet. Es vertritt die Ansicht, dass für die Bewertung auch Aspekte der Sicherheit beim Verkauf und Gebrauch von Feuerwerkskörpern mitberücksichtigt werden müssen. Die Fachkompetenz und die Zuständigkeit bei der Beurteilung dieser Fragen liegt beim Bundesamt für Polizei in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftlichen Forschungsdienst (WFD) und bei der SUVA. Experten in den entsprechenden Fachstellen sowie der Branchenverband (Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerk SKF) waren für eine Zusammenarbeit bereit und wurden in die Arbeiten miteinbezogen.

Nicht behandelt werden in diesem Bericht Unfälle, die sich bei der Produktion, Lagerung und dem Transport von Feuerwerkskörpern ereignen können. Wie der Störfall in einem Lagerbetrieb in Enschede zeigte, können die Auswirkungen verheerend sein. Dieses Unglücksereignis hatte Aktivitäten in den Niederlanden wie der EU zur Folge. Deren Analyse sowie Bewertung mit Bezug auf Verhältnisse in der Schweiz gehen über den Rahmen dieser Arbeit hinaus.

In dieser Studie werden die vorhandenen Daten und Informationen über die Belastung der Umwelt und die Auswirkungen auf die Gesundheit durch Feuerwerke aktualisiert, durch weitergehende Informationen ergänzt und bewertet.

2. Arten von Feuerwerkskörpern und Rechtslage

2.1 Klassifizierungen von Feuerwerkskörpern

Feuerwerkskörper fallen als sogenannte **pyrotechnische Gegenstände für Vergnügungszwecke** unter das **Sprengstoffgesetz**. Pyrotechnische Gegenstände werden dort als *„gebrauchsfertige Erzeugnisse mit einem Explosiv- oder Zündsatz, die*

- *nicht zum Sprengen, sondern zu anderen industriellen, technischen oder landwirtschaftlichen Zwecken bestimmt sind*⁹ oder
- *bloss dem Vergnügen dienen (Feuerwerkskörper)*“ definiert.

Die **Sprengstoffverordnung** konkretisiert die Regelungen der Sprengstoffgesetzes. Es werden nach ihrem **Gefährdungspotential** vier Arten von **Feuerwerkskörpern** unterschieden:

Kategorie I: „Pyrotechnische Spielwaren; einen pyrotechnischen Satz aufweisende Gegenstände mit **sehr geringem** Gefährdungspotential, einschliesslich solche, die zur Verwendung in Gebäuden vorgesehen sind.“

Kategorie II: „Feuerwerkskörper mit **geringem** Gefährdungspotential zur Verwendung in kleinen, offenen Bereichen im Freien.“

Kategorie III: „Feuerwerkskörper mit **erhöhtem** Gefährdungspotential zur Verwendung in weiten, offenen Bereichen im Freien.“ Sie dürfen nicht an Personen unter 18 Jahren abgegeben werden.

Kategorie IV: „Feuerwerkskörper mit **erheblichem** Gefährdungspotential, die nicht in den Detailhandel gebracht werden dürfen“. Sie dürfen nur an besonders instruierte Personen ab 18 Jahren abgegeben werden.

Über die Einteilung der Feuerwerkskörper in diese vier Kategorien entscheidet aufgrund der Klassifizierungs- und Untersuchungsberichte des Wissenschaftlichen Forschungsdienstes (WFD) die **Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP)** beim Bundesamt für Polizei, die wichtige Ueberwachungsaufgaben im Zusammenhang mit Feuerwerken wahrnimmt.

Nach der Art ihrer **Konstruktion** werden die Feuerwerkskörper in 14 verschiedene Gruppen eingeteilt (Tabelle 1).

9 Hierunter fallen:

- a) Pyrotechnische Gegenstände für technische oder industrielle Zwecke (Leucht- und Signalmittel, Wetterraketen, Mittel zur Beförderung von Gegenständen, Hilfsmittel bei Arbeitsvorgängen wie z.B. Patronen zum Schweißen oder Härten von Metallen).
- b) Pyrotechnische Gegenstände für land- und forstwirtschaftliche Zwecke, wie Hagelabwehrraketen, Vogelschreckpetarden

Tabelle 1: Arten von Feuerwerkskörpern

Feuerwerkskörper	Beschreibung
Rakete	„Feuerwerkskörper, der einen Treiber und/oder pyrotechnische Bauteile enthält, mit Leitstab oder anderen Mitteln zur Flugstabilisierung ausgerüstet ist und zum Aufstieg in die Luft vorgesehen ist“
Römische Kerze	„Rohr, das ein oder abwechselnd mehrere Treibladungen und pyrotechnische Bauteile mit Verzögerung enthält, welche nach dem Verlassen des Rohres visuelle oder akustische Effekte erzeugen“
Sonne/Feuerrad	„Zusammengesetzter Gegenstand, der aus einer oder mehreren Hülsen besteht, die Treibladungen mit oder ohne funken- und flammenerzeugenden pyrotechnischem Satz enthalten und mit einer Einrichtung versehen ist, die eine Drehung gestattet“
Fliegender Drache/ Feuervogel	„Zusammengesetzter Gegenstand, der aus einer oder mehreren Hülsen besteht, die Treibladungen mit oder ohne funken- und flammenerzeugendem pyrotechnischem Satz enthalten und der sich rotierend in die Luft abhebt“
Vulkan/Fontäne/ Wasserfall	„Hülse, die einen funken- und flammenerzeugendem pyrotechnischem Satz enthält und zum Halten in der Hand, zum Stellen auf den Boden oder zum Aufhängen vorgesehen ist“
Bodenknaller/ Cracker	„Gegenstand, der einen oder mehrere Knall- und Blitz-Knallsätze enthält, und zum Explodieren auf dem Boden vorgesehen ist“
Heuler/Wirbel/ Schwärmer	„Hülse, die einen Treibsatz enthält, welcher einen Ton oder eine Bewegung erzeugt, mit einem kleinen Schlusseffekt kombiniert sein kann und zum Werfen in die Luft oder zum Abbrennen am Boden vorgesehen ist“
Bengalisches Licht/Feuer	„Langsam brennender pyrotechnischer Satz, welcher in einem Gefäß, einer Hülse oder an einem teilweise überzogenen Stab abbrennt und zum Halten in der Hand, zum Stellen auf dem Boden oder zum Aufhängen vorgesehen ist“
Bombe	„Gegenstand, der Treibladung, Verzögerung und Zerlegerladung, zusammen mit pyrotechnischen Bauteilen oder losen pyrotechnischen Sätzen enthält und zum Verschießen aus einem Abschussrohr vorgesehen ist“
Feuerwerksbatterie/ Topf	„Zusammengesetzter Gegenstand aus mehreren Feuerwerkskörpern, die nicht unbedingt alle vom gleichen Typ sind, aber jeweils einem der in dieser Liste aufgeführten Feuerwerkstypen entsprechen.“
Rauch-/Nebekörper	„Gegenstand mit pyrotechnischem Satz, der Rauch und/oder Nebel erzeugt“
Tischbombe	„Hülse, die eine Treibladung enthält, welche zum Ausstossen nicht pyrotechnischer Bestandteile vorgesehen ist“
Scherzartikel/ Knallerbse	„Juxartikel mit pyrotechnischem Satz“
Amorce	„Umhüllung oder Behältnis, welches einen schlagempfindlichen Satz enthält und durch eine mechanische Schlagvorrichtung ausgelöst wird“

Quelle: Zulassungsvorschriften und Prüfkriterien für pyrotechnische Gegenstände des Wissenschaftlichen Forschungsdienstes (WFD) und der Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP) des Bundesamtes für Polizei (BAP).

2.2 Gesetze und Verordnungen

Die Einfuhr und Herstellung, der Transport und der Handel mit Feuerwerkskörpern unterliegen Bundesgesetzen, aber auch kantonalen und kommunalen Vorschriften. Hier wird primär auf die Bundesvorschriften eingegangen.

- Massgeblich sind vor allem das **Sprengstoffgesetz** vom 25. März 1977 und die **Sprengstoffverordnung** vom 27. November 2000.
- Im Ausführungsrecht zum **Umwelt-** und Gewässerschutzgesetz werden Feuerwerke nicht explizite geregelt. In den entsprechenden Verordnungen (z.B. Lärmschutzverordnung LSV, Luftreinhalteverordnung LRV, Verordnung zum Schutz des Bodens VBBo, Gewässerschutzverordnung GSchV, Stoffverordnung StoV) wird jedoch sichergestellt, dass Emissionen keine nachteiligen Wirkungen unmittelbar für die Umwelt sowie mittelbar über die Umwelt für den Menschen haben.

2.2.1 Das Sprengstoffgesetz (SR 941.41)

Das Sprengstoffgesetz enthält die Regeln für den Verkehr mit Sprengmitteln und pyrotechnischen Gegenständen, insbesondere:

- Für die Herstellung und den Import bedarf es einer Bewilligung des Bundes; Bewilligungen für den Verkauf im Inland werden vom Kanton erteilt.
- Feuerwerkskörper müssen bestimmten Sicherheitsstandards genügen.
- Feuerwerkskörper dürfen nur nach bestimmten Verkaufsbestimmungen verkauft werden (siehe unten, Sprengstoffverordnung)
- Pyrotechnische Gegenstände, die für andere Zwecke bestimmt sind, dürfen nicht zu Vergnügungszwecken verwendet werden.

Für den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen ist nicht das Sprengstoffgesetz, sondern sind die besonderen Vorschriften der Transportgesetze (wie z.B. ADR/SDR) massgeblich.

2.2.2 Die Sprengstoffverordnung (SR 941.411)

Die Sprengstoffverordnung konkretisiert die Regelungen des Sprengstoffgesetzes. Sie enthält unter anderem folgende Bestimmungen für Feuerwerkskörper:

- **Abgrenzungen:** Wie oben dargelegt, werden die Feuerwerkskörper nach ihrem Gefährdungspotential in vier Kategorien eingeteilt, die von „sehr geringem Gefährdungspotential“ bis zu „erheblichem Gefährdungspotential“ reichen. Ueber die Kategorieinteilung konkreter Feuerwerkskörper entscheidet die Zentralstelle. Für Feuerwerkskörper der Kategorie I ist nur die Einfuhr und die Herstellung bewilligungspflichtig. Die übrigen Vorschriften für pyrotechnische Erzeugnisse gelten für sie nicht.

- **Zulassung:** Herstellung, Einfuhr und Verkauf von Feuerwerkskörpern sind bewilligungspflichtig und werden von der Zentralstelle, den Kantonen und Zollorganen überwacht. Die Bewilligung zum Verkauf setzt unter anderem voraus, dass die Verkäufer vertrauenswürdig sind und genügend Erfahrungen, rechtliche und technische Kenntnisse im Umgang mit explosionsgefährlichen Stoffen haben.
- **Verkaufsbestimmungen und Kennzeichnung:** Auf der Verpackung eines Feuerwerkskörpers müssen die wichtigsten Daten angegeben werden (z.B. Bezeichnung des Gegenstandes, Hersteller, Bruttogewicht und CH-Zulassungsnummer). Feuerwerkskörper sind „mit einer Gebrauchsanweisung zu versehen, welche Handhabung und Sicherheitsvorkehrungen umschreibt und auf produktspezifische Risiken aufmerksam macht“. Feuerwerkskörper der Kategorien III und IV dürfen nicht an Personen unter 18 Jahren abgegeben werden. Für die Kategorie IV bedarf es zusätzlich einer Instruktion des Verbrauchers. Diese Feuerwerkskörper dürfen nicht im Detailhandel (Offener Verkauf) verkauft werden. Feuerwerkskörper der Kategorie III müssen auf den Verpackungen eine entsprechende Aufschrift aufweisen.
- **Sicherheitsbestimmungen:** Pyrotechnische Gegenstände unterliegen strikten Sicherheitsnormen. Sie müssen in ihrer Zusammensetzung und Beschaffenheit dem Stand der Technik entsprechen und bei bestimmungsgemässer Anwendung handhabungssicher und gefahrlos für Leben und Gut sein. Sie dürfen keine gefährlichen Splitter bilden und keine selbstentzündlichen Sätze aufweisen¹⁰. Generell sind im Umgang mit Feuerwerkskörpern Rauchen, Feuer und offenes Licht verboten. Sicherheitsbestimmungen bei der Herstellung der Feuerwerkskörper richten sich nach dem Arbeitsgesetz. Bei der Lagerung der Feuerwerkskörper sind bestimmte gebäudetechnische Vorkehrungen vorgeschrieben (z.B. Mindestabstände, nicht brennbare Baustoffe, Höchstlagermengen, Explosionsschutz-Elektroinstallationen). Ferner müssen Aufsichtspersonen mit entsprechenden Erfahrungen vorhanden sein.

2.2.3 Kantonale Vorschriften

Die Kantone haben Vollzugsverordnungen zum Sprengstoffgesetz erlassen. Diese enthalten Vorschriften, die zum Teil strenger als die eidgenössische Verordnung sind. So können zeitliche Begrenzungen für den Verkauf und den Abbrand von Feuerwerk, Verbote bestimmter Feuerwerkskörper sowie weitere Auflagen betreffend Lagerung und Verkauf erfolgen.

¹⁰ Die detaillierten technischen Zulassungsvorschriften und Prüfkriterien für pyrotechnische Gegenstände werden durch den Wissenschaftlichen Forschungsdienst (WFD) und die Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP) des Bundesamtes für Polizei (BAP) festgelegt.

3. Verbrauch und Inhaltsstoffe von Feuerwerkskörpern

3.1 Verbrauch von Feuerwerkskörpern in der Schweiz

Über die in der Schweiz produzierten bzw. verbrauchten Mengen an Feuerwerkskörpern können keine sicheren Aussagen getroffen werden, da sie in der Produktionsstatistik nicht separat aufgeführt werden. Es liegen nur Angaben zu Importen und Exporten aus der Außenhandelsstatistik vor¹¹.

Auf dieser Basis wurde die Menge der in der Schweiz verkauften Feuerwerkskörpern abgeschätzt: Hierzu wurde davon ausgegangen, dass der inländische Absatz der heimischen Produzenten erfahrungsgemäss etwa ein Zehntel der Importe beträgt. Im Jahr 2000 wurden 1'376 Tonnen Feuerwerkskörper importiert und 76 Tonnen exportiert [AHSt]. Damit ergab sich eine **geschätzte Verkaufszahl von ca. 1'514 Tonnen** Feuerwerkskörper. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, unterliegt der Verkauf jährlichen Schwankungen. Insbesondere nahm der Absatz anlässlich der Jahrtausendwende deutlich zu und sank im folgenden Jahr wieder.

Zur Abschätzung der Umwelteinträge wurde die verkaufte Menge mit 1450 Tonnen, dem Durchschnitt der Jahre 1998-2000, angenommen. Ferner basiert die Schätzung auf der Annahme, dass die verkaufte Menge mit der abgebrannten Menge übereinstimmt. Dies ist allerdings nicht genau gegeben. Beispielsweise können klimatische Faktoren zu Lagerhaltung führen. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ergibt sich daraus, dass in den statistischen Mengenangaben auch der Verpackungsanteil enthalten ist, der einen Grossteil der Gesamtmengen ausmachen kann.

3.2 Qualitative Zusammensetzung

Feuerwerkskörper bestehen aus:

- „inerten“ Konstruktionsmaterialien und;
- pyrotechnischen Sätzen.

„Inerte“ **Konstruktionsmaterialien** sind Hüllen, Stäbchen und andere Teile, die den Feuerwerkskörpern ihre Form und Stabilität verleihen. Sie werden beim Abbrennen der Feuerwerkskörper nicht mit verbrannt und bestehen z.B. aus Karton, Kunststoff und Holz.

¹¹ Die Tarifnummer 3604 umfasst folgende Waren: Feuerwerkskörper, Signalaraketen, Hagelraketen und dergleichen, Knallkörper und andere pyrotechnische Artikel ausser Platzpatronen

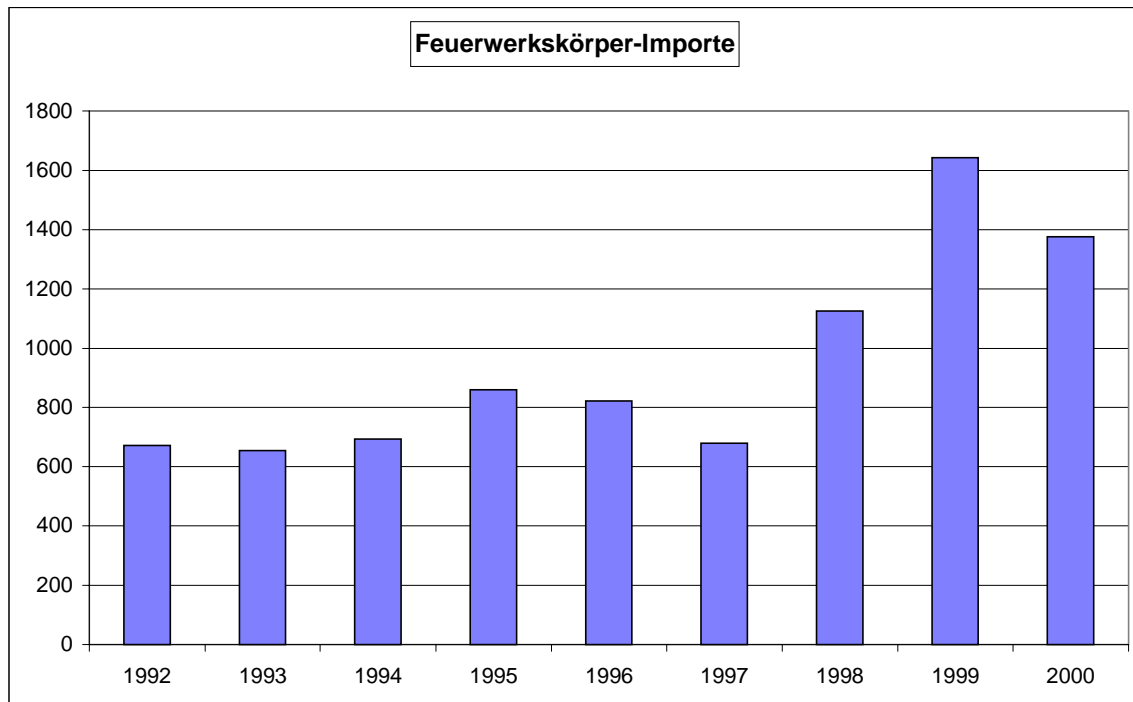


Abbildung 1: **Feuerwerkskörper-Importe in der Schweiz (in Tonnen)**

Pyrotechnische Sätze erzeugen die gewünschten Effekte der Feuerwerkskörper (Antrieb, Knalleffekte, Leuchteffekte, usw.). Sie enthalten üblicherweise mehrere Komponenten, die gepresst, in loser Form oder als Granulate und Pellets verwendet werden können und in Karton-, Plastik- oder Leichtmetallhüllen gegeben werden. Zu den wichtigsten Sätzen gehören Schwarzpulver, sowie Leucht-, Knall- und Pfeifsätze:

- Schwarzpulver ist seit dem Mittelalter bekannt und besitzt auch heute noch eine dominierende Stellung in der Pyrotechnik. Es besteht aus Kaliumnitrat, Holzkohle und Schwefel.
- Leuchtsätze werden in grossen Mengen zur Lichterzeugung verwendet. Für Farbeffekte werden auch Barium-, Strontium- und Kupfersalze eingesetzt.
- Knallsätze stellen sehr energiereiche pyrotechnische Systeme mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit dar. Sie bestehen üblicherweise aus Gemischen von feinen Metallpulvern mit Oxidationsmitteln.
- Pfeifsätze zeichnen sich durch einen oszillierenden Abbrand aus, der den charakteristischen Pfeifton erzeugt. Dafür werden Chlorate und Perchlorate sowie Salze aromatischer Säuren eingesetzt.
- Darüber hinaus gibt es weitere Sätze. Zum Beispiel enthalten „Rauchsätze“ nebst dem verbrennbaren Teil verdampfbare oder sublimierbare Stoffe.

Bei den in den pyrotechnischen Sätzen enthaltenen Stoffen (**Additiven**) handelt es sich oft um Salze von Alkali- und Erdalkalimetallen (Tabelle 2). Um das Abbrandverhalten und die Reaktionsgeschwindigkeit zu modifizieren, werden darüber hinaus Katalysatoren und Inhibitoren verwendet. Ferner werden Zusatzstoffe zur Vermeidung der Klumpenbildung sowie

Bindemittel und Schmiermittel dazugegeben. Ausgangsstoffe für pyrotechnische Sätze und Gegenstände müssen aus Sicherheitsgründen sehr rein sein.

Tabelle 2: Wichtige in pyrotechnischen Sätzen verwendete Additive (diverse Quellen)

Additive	Stoffe und Materialien ^{a)}
1. Oxidationsmittel	
Nitrate	KNO₃ , Ba(NO₃)₂ , Sr(NO ₃) ₂ , NH ₄ NO ₃
Chlorate	KClO₃
Perchlorate	KClO₄ , NH ₄ ClO ₄
Peroxide und Oxide	BaO ₂ , SrO ₂ , PbO ₂ ^{b)} , Pb ₃ O ₄ ^{b)} , MnO ₂ , ZnO, Fe ₂ O ₃ , Cu ₂ O, CuO
Halogenierte Verbindungen	Halogenierte Polymere
Sulfide	Sb ₂ S ₃
2. Brennstoffe (Reduktionsmittel)	
A. Anorganische Verbindungen	
-Metalle	Al , Al/Mg , Ca/Si, Fe, Mg, Ti
-Nichtmetalle	S , C (Graphit, Holzkohle, aktivierte Kohle), P, Si
-Kohlenhydrate	Sucrose, Lactose
B. Organische Verbindungen	Natriumsalicylat, Kaliumbenzoat, Sorbitol, Hexamethylentetramin, Oxalate, Dicyandiamid, Stärke, und natürliche Harze
3. Bindemittel	Naturharze (Akaroidharz, Gummiarabicum, Schellack, Stärke, Kunststoffe (PVC , PE, Polyester, Polyurethan)
4. Zusatzstoffe	Fliessmittel (pyrogenes SiO ₂ , pyrogenes Al ₂ O ₃ , CaCO ₃ , MgCO ₃), Schmiermittel (Graphit, Talk, Wachs , PTFE)
5. Abbrandregler	
A. Katalysatoren	Fe ₂ O ₃ , V ₂ O ₅ , MnO ₂ und CuO, TiO ₂ und K ₂ Cr ₂ O ₇
B. Inhibitoren	Graphit, Wachse, Paraffin und Stearin
6. Flammenfärbende Zusätze	
Rot	Strontiumoxalat, -carbonat und -nitrat; Calciumsulfat
Gelb	Kryolith (Na ₃ AlF ₆), Natriumoxalat und -nitrat
Blau	Kupfercarbonat Cu(OH)CO ₃ und Kupferoxide
Grün	Ba(NO ₃) ₂ , BaSO ₄ , BaCO ₃
Weiss	Mg, Al, Ti, Sb ₂ S ₃

a) Die wichtigsten Bestandteile sind fett gedruckt;

b) In Zukunft werden gemäss Zulassungsvorschriften des Wissenschaftlichen Forschungsdienst (WFD) des Bundes und der Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP) des Bundesamt für Polizei Feuerwerkskörper kein Blei, Arsen und Quecksilber mehr enthalten.

3.3 Quantitative Zusammensetzung

Aufgrund der Vielzahl der verschiedenen Feuerwerksprodukte (siehe oben, 2.1) mit unterschiedlichen Zusammensetzungen, deren Mengen nicht genau bekannt sind, kann nur eine grob geschätzte durchschnittliche Zusammensetzung der Feuerwerkskörper angegeben werden.

Das BUWAL untersuchte ein Sortiment von 6 Raketen schweizerischer Provenienz der mittleren Preislage (Tabelle 3). Danach ergibt sich ein durchschnittlicher Inertstoffanteil von ca. 62%.

Tabelle 3: *Zusammensetzung von Raketen*

	Rohstoff	Masse (g)	Anteile (%)
„Inertes“ Material	Karton	104,0	45,1
	Kunststoff	9,5	4,1
	Holz	21,0	9,1
	Ton / Tonerde / Sonstige	9,0	3,9
Pulver	Treibsatz / Sterne	87,0	37,7
Totalgewicht		230,5	100,0

Quelle: Mitteilung des BUWAL

Die Daten sind allerdings unsicher bzw. nur bedingt auf den gesamten Markt verallgemeinbar. In einer neueren unveröffentlichten Studie [Herrchen] wurde eine grössere Zahl unterschiedlicher Feuerwerkskörper analysiert und ein Inertstoffanteil von ca. 75% berechnet. Im folgenden gehen wir daher von einer durchschnittlichen Zusammensetzung von 75% Inertstoffen und 25% pyrotechnisches Pulver aus.

In [Herrchen] wurde auch die Zusammensetzung des pyrotechnischen Pulvers untersucht (Tabelle 4). Danach ist Schwarzpulver mit 53% der weitaus wichtigste Bestandteil. Unter den Chemikalien werden vor allem Perchlorate (K), Nitrate (Ba, K) sowie Metalle (Al und Al/Mg) verwendet. Andere Abschätzungen weichen allerdings teilweise deutlich von diesen Angaben ab. Dies resultiert vor allem aus den grossen Unterschieden zwischen den einzelnen Feuerwerksprodukten.

Nach Angaben der Schweizerischen Koordinationsstelle für Feuerwerke (SKF) besteht das pyrotechnische Pulver zu 2/3 aus Schwarzpulver und zu 1/3 aus Effektsätzen. Verwendet man diese Angaben zu Abschätzungszwecken als Grundlage, ergibt sich für den **Gesamtverbrauch** an Feuerwerkskörpern in der Schweiz, dass in den durchschnittlich pro Jahr abgebrannten 1'450 Tonnen Feuerwerkskörpern **360 Tonnen pyrotechnische Sätze** enthalten sind, die seinerseits – nach Einschätzung der SKF - aus 240 Tonnen Schwarzpulver und 120 Tonnen Effektsätzen bestehen.

Im Vergleich zum Verbrauch von Silvesterfeuerwerk in Deutschland [Herrchen] und von frei erhältlichen schwedischen Feuerwerkskörpern [Alenfelt] liegt der jährliche pro Kopf-Verbrauch pyrotechnischer Sätze in der Schweiz bei ca. 50 g gegenüber je ca. 30 g¹². Ein Grossteil der pyrotechnischen Sätze wird im privaten Rahmen abgebrannt.

Tabelle 4: *Durchschnittliche Zusammensetzung des pyrotechnischen Pulvers*

Stoff	Gewichtsanteil
A. Schwarzpulver	53%
B. Chemikalien	47%
-Perchlorate	12,2%
-Nitrate	10,7%
-Metalle	8,5%
-Bindemittel, Harze, Wachs	3,3%
-Kohle	3,0%
-Nichtmetalle	1,5%
-Chlorate	1,2%
-PVC	1,2%
-Sonstige	5,4%

Quelle: [Herrchen]

In der folgenden Tabelle sind Metallgehalte eines willkürlichen Sortiments von in der Schweiz gekauften Feuerwerkskörpern aufgelistet. Dabei wird erkennbar, dass die Stoffgehalte in Abhängigkeit vom beabsichtigten Effekt erwartungsgemäss eine hohe Varianz aufweisen.

¹² Jede über 18jährige Person in Schweden kann Bomben mit einem Kaliber bis 100 mm, Raketen mit bis zu 250 g pyrotechnischen Sätzen sowie China-Feuerwerksbatterien mit bis zu 1000 g pyrotechnischen Sätzen frei kaufen.

Tabelle 5: *Elementgehalte pyrotechnischer Sätze Mitte 80er Jahre in der Schweiz in mg/kg nach [Karlaganis]*

Feuerwerksprodukte	Elemente						
	Ba	Sr	Cu	As	Sb	Pb	Cd
Spring Beach (China)	125000	37000	1300	70	84	60	5
Vulkan Goldeffekt (Schweiz)	11000	100	900	42	51	50	2
Vulkan Silbereffekt (Schweiz)	6000	100	100	51	14	10	14
Golden Flowers Fountain (China)	15000	4600	1300	127	395	40	8
Green Jade Vulkan (China)	145000	700	1400	53	25	50	32
Rakete Phantom (Deutschland)	69000	32000	19600	87	23	30	5
Colour Stars around the Moon (China)	47000	29000	700	66	42	30	5
Helvetia Rakete blanche (Deutschland)	71000	2000	100	155	26	10	2
Helvetia Rakete rouge (Deutschland)	9000	75000	0	76	36	20	4
Tube colour pearls (China)	5000	5700	100	32	18	20	6
Minimum	5000	100	0	32	14	10	2
Maximum	145000	75000	19600	155	395	60	32
Mittelwert	50300	18620	2550	75.9	71.4	32	8
Relative Varianz s_x/x [%]	97	125	224	48	153	52	103

In Klammer angegeben ist das Ursprungsland. Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf die Effektsätze. Für den Vergleich mit Tabelle 6 sind die Gehalte mit dem Faktor 3 zu dividieren.

In Schweden wurde im Jahr 1998 auf der Basis einer repräsentativen Stichprobe die Zusammensetzung von Feuerwerksartikeln untersucht. Dabei wurden 19 Elemente analysiert (Tabelle 6). Im Unterschied zur Schweizerischen Analysenkampagne zeigt sich, dass Blei in schwedischen Feuerwerkskörpern in viel höheren Konzentrationen enthalten ist (11'000 ppm versus 10 ppm). Wie in der Schweiz stammt in Schweden der überwiegende Teil der Fabrikate aus Asien.

Tabelle 6: *Elementgehalte pyrotechnischer Sätze 1998 in Schweden in mg/kg nach [Alenfelt]*

Elemente	Feuerwerksprodukte						
	1	2	3	4	5	6	Mittel
Aluminium (Al)	36'000	32'000	59'000	54'000	64'000	43'000	48'000
Arsen (As)	2.4	44	13	10	46	30	20
Barium (Ba)	38'000	12'000	26'000	51'000	37'000	72'000	39'000
Bor (B)	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmium (Cd)	3.2	20	3.7	4.4	21	3.5	9.3
Calcium (Ca)	2400	3400	850	720	880	570	1500
Chrom (Cr)	28	950	7.6	7.8	500	6.8	250
Kobalt (Co)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Kupfer (Cu)	10'900	750	23'000	10'400	770	310	7700
Eisen (Fe)	1300	9200	580	570	250	1400	2200
Blei (Pb)	46'000	3200	6800	2500	5300	37	11'000
Magnesium (Mg)	21'000	22'000	27'000	30'000	32'000	42'000	29'000
Mangan (Mn)	230	500	99	110	250	120	220
Quecksilber (Hg)	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3
Nickel (Ni)	12	808	8.6	8.2	20	36	150
Phosphor (P)	<100	<100	160	<100	<100	<100	<160
Kalium (K)	160'000	190'000	170'000	160'000	180'000	140'000	167'000
Strontium (Sr)	3200	56	9700	96	3800	340	2900
Zink (Zn)	820	1500	1400	1400	2500	440	1300

- 1 7 Raketen (5 verschiedene Typen)
- 2 7 Raketen (4 verschiedene Typen) + 2 Mini Cakes
- 3 25-Schuss China-Feuerwerksbatterie (25-shot cake)
- 4 25-Schuss China-Feuerwerksbatterie (25-shot cake)
- 5 52-Schuss China-Feuerwerksbatterie (52-shot cake)
- 6 95 mm Bombe

4. Sicherheit

4.1 Unfälle beim Abbrennen von Feuerwerk

Aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften sind Feuerwerkskörper gefährliche Produkte, deren Umgang wegen der Verbrennungs- und Explosionsgefahr besondere Vorsicht erfordert. Unfälle beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern können zum einen zu **Verletzungen von Personen** bis hin zu Todesfällen führen. Zum anderen können durch Funkenwürfe Brände entstehen und **Sachschäden** verursachen.

Genaue **Zahlen der Unfälle** beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern liegen für die Schweiz nicht vor. Fest steht, dass sich die meisten Unfälle nicht bei den organisierten Grossfeuerwerken, sondern im privaten Bereich ereignen. Gewisse Rückschlüsse lassen sich aus **ausländischen** Untersuchungen ziehen (Tabelle 7). Daraus geht hervor, dass beim Abbrennen von Feuerwerken mit 2 bis 13 Unfällen mit Personenschäden pro 100'000 Einwohner und Jahr zu rechnen ist, wobei solche mit Todesfolgen die Ausnahme darstellen. In **UK** (58.8 Mio. Einw.) ereigneten sich zwischen 1994 und 1999 in den 4 Wochen um die Bonfire Night insgesamt 4 Todesfälle [DTI]. 1999 wurden in den Notfallaufnahmen der Spitäler 1056 Verletzte behandelt. Davon mussten 43 (4%) für mindestens eine Nacht hospitalisiert werden. Weitere 327 Verunfallte verzeichnete man während der Millenniumfeiern. Ausgehend von einer Unfallrate von 2.4 pro 100'000 Einw. und Jahr und einem Feuerwerkskörper-Verbrauch wie in der Schweiz von ca. 200 g pro Einw. und Jahr errechnet sich eine auf den Feuerwerksverbrauch bezogene Unfallrate von 1.2 pro 10 t Feuerwerk und Jahr.

Tabelle 7: Ausländische Angaben zu feuerwerksbedingten Unfallraten

Land	Unfälle pro 100'000 Einwohner	Zeitraum	Jahr	Quelle
USA	3.7 – 6.3	1 Jahr	1990-1998	[NCICP]
Provinz Neapel	10.1	24. Dez. - 6. Jan.	1992/93	[D'Argenarior]
Provinz Neapel	5.2	24. Dez. - 6. Jan.	1993/94	[D'Argenarior]
Dänemark	13.1	1 Jahr	1991	[Morell]
Dänemark	7.2	31. Dez. - 1. Jan.	1995/96	[Ipsen]
Dänemark	8.2	31. Dez. - 1. Jan.	1996/97	[Ipsen]
Grossbritannien	1.8	14. Okt. - 10. Nov.	1999	[DTI]
Grossbritannien	0.6	Jahreswechsel	1999/2000	[DTI]

Im Jahr 2000 wurden in den **USA** (ca. 265 Mio. Einw.) in Notfallaufnahmen der Spitäler wegen Feuerwerkskörpern 11'000 Verunfallte behandelt [Greene]. Insgesamt verzeichnete man 10 Todesfälle gegenüber 17 im Vorjahr. Von den 10 Todesfällen waren 4 auf Hausbrände zurückzuführen. Zwischen 1980 und 1997 starben in den USA im Durchschnitt 6.5 Menschen pro Jahr durch Feuerwerksunfälle. Wie in UK konnten die meisten Verunfallten in den USA die Notfallaufnahme nach der Behandlung umgehend verlassen. 10% mussten für

mindestens eine Nacht im Spital behalten werden. Diese Rate ist etwas höher als die Hospitalisationsrate von 4.5% für alle Konsumgüter bedingten Unfälle in den USA. Die Unfallrate um den Independence Day (23. Juni - 23. Juli 2000) betrug total 2.4 pro 100'000 Einwohner bei Raten von 4.9, 5.8 und 3.5 für weniger als 5jährige, 5-14 und 15-24jährige. Die höchste Unfallrate ergab sich für die 10 bis 14jährigen mit 7.7 pro 100'000.

Auf Basis der Unfallzahlen errechnete der amerikanische Branchenverband, die American Pyrotechnics Association APA, für das Jahr 1999 eine auf den Feuerwerksverbrauch bezogene Unfallrate von 1.2 pro 10 t Feuerwerk. 1990 betrug sie noch 3.9.

Da die Zulassung und der Verkauf von Feuerwerkskörpern in jedem Land unterschiedlich geregelt sind, können obige Unfallstatistiken nur einen indikativen Charakter haben und nur bedingt miteinander verglichen werden. Darüber hinaus lancierte beispielsweise in Grossbritannien die zuständige Behörde eine grosse Kampagne zum sicheren Umgang mit Feuerwerkskörpern.

Bei der Bewertung der Zahlen stellt sich die Frage der Vergleichbarkeit mit anderen Risiken. Feuerwerke nehmen als einmaliges Ereignis eine Sonderstellung ein (jährlich 1-2 Feuerwerke). Vergleicht man die als allgemeine Risiken ausgedrückten Zahlen mit anderen Unfallursachen, so zeigt sich, dass sich in der Schweiz für andere (ungefährliche) Freizeitaktivitäten wie die Gartenarbeit oder das Tennisspielen höhere Unfallraten von 210 bzw. 63 pro 100'000 Einwohner und Jahr errechnen (1997). Auch bei Volksfesten, Versammlungen und Vergnügungsparks liegt die Unfallrate mit 157 Verunfallten pro 100'000 Einwohner und Jahr weit über den üblichen Werten für Feuerwerke [bfu]. Dieser Befund wird auch durch Angaben aus den USA [CPSC] bestätigt (Tabellen 8 und 9). Unfallraten beim Umgang mit Feuerwerkskörpern und anderen Konsumgütern, die sich auf exponierte Jugendliche beziehen, sind in Anhang 4 aufgelistet. Erwartungsgemäss ist für Feuerwerksprodukte die expositionsbezogene Unfallrate hoch.

Tabelle 8: Brandwunden-Ursachen in den USA 1997

Ursache / Produkt	Verunfallte pro 100'000 Einw. und Jahr
Herdplatten und Oefen	12.8
Kamine	6.6
Benzine und Treibstoffe	6.2
Zigaretten und Feuerzeuge	3.7
Feuerwerke	3.1

Tabelle 9: Unfallursachen bei Jugendlichen in den USA (1997)

Tätigkeit / Produkt	verunfallte 5-14jährige pro 100'000 und Jahr
Velo	806
Baseball	321
Angeln	48
Feuerwerkskörper	8

Ausländische Statistiken belegen, dass feuerwerksbedingte Verletzungen vorwiegend Hände, Kopf und Augen betreffen (Anhang 4). Die Unfallursachen sind vielfältig. Die überwiegende Zahl der Unfälle dürfte auf den unsachgemässen Umgang oder auf mangelnde Sicherheitsmassnahmen zurückzuführen sein; das Basteln mit Feuerwerkskörpern ist eine weitere Ursache, der in verschiedenen Studien eine unterschiedliche Bedeutung beigemessen wird. Auch der Alkoholkonsum kann zu einem unvorsichtigen Umgang mit Feuerwerkskörpern verleiten und das Unfallrisiko erhöhen. In einer Untersuchung in Dänemark [Ipsen] wurden mehr als 60% der Verletzungsfälle durch selbst gebastelte Feuerwerke verursacht. In Grossbritannien hingegen waren nur 2% der Unfälle auf selbst hergestellte Feuerwerke zurückzuführen. Für die Schweiz liegen keine entsprechenden Untersuchungen vor.

Feuerwerkskörper verursachen auch **Sachschäden**: Die Zahl der durch Feuerwerke verursachten Brände lag 1998 laut Schadenstatistik der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)¹³ bei 146 (1998). Dabei entstand ein Sachschaden von etwa 1,58 Mio. Franken. Dank erhöhter Sicherheitsmassnahmen ist die Tendenz rückläufig: 1989 wurden noch 238 Brände mit einer Schadenssumme von 2,19 Mio. Franken gemeldet.

Der Vergleich mit anderen Brandursachen zeigt folgendes: 1998 wurden von den 14'698 Bränden ca. 1% durch Feuerwerke verursacht. Der Anteil an der Schadenssumme lag geringer bei 0,6% (Abbildungen 2 und 3).

4.2 Sicherheitsmassnahmen beim Abbrennen von Feuerwerk

Die **Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerk (SKF)** in Binningen hat in einer Broschüre die wichtigsten Regeln für den Umgang mit pyrotechnischen Gegenständen zusammengefasst (s. Kasten).

Beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern muss aus Sicherheitsgründen genügend Abstand genommen werden. Die Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik (ZSP) gibt für Feuerwerkskörper keine kategorienspezifischen Sicherheitsabstände vor. Die Zulassungsvorschriften und Prüfkriterien verlangen jedoch, dass vom Hersteller definierte Sicherheitsdistanzen angegeben werden müssen¹⁴. Der SKF empfiehlt auch bei kleinen Feuerwerkskörpern wie kleinen Raketen (als Faustregel: Länge inkl. Stab ca. 60 cm) eine Sicherheitsdistanz von mindestens 10 m einzuhalten.

¹³ ohne die Kantone Appenzell Innerrhoden, Genf, Tessin, Schwyz, Obwalden Uri, Wallis

¹⁴ Diesbezüglich muss angemerkt werden, dass nach Inkrafttreten der revidierten Sprengstoffverordnung am 1. Februar 2001 eine Uebergangsfrist gilt.

Wichtigste Regeln für den Umgang mit Feuerwerkskörpern [SKF]

- *Der Benutzer sollte sich beim Kauf über die Handhabung beraten lassen.*
- *Das Rauchen in der Nähe von Feuerwerk und Verkaufsständen soll vermieden werden.*
- *Das Feuerwerk sollte an einem trockenen und kühlen Ort gelagert werden.*
- *Kinder sollten keinen Zugang zu Feuerwerk haben. Grössere Kinder müssen den richtigen Umgang mit Feuerwerk erlernen.*
- *Die Gebrauchsanweisung soll frühzeitig gelesen und deren Hinweise sorgfältig beachtet werden.*
- *Von selbstgebastelten Feuerwerkskörpern geht eine erhöhte Gefahr aus, da das Verhalten unberechenbar sein kann. Daher ist von einer selbständigen Manipulation von Feuerwerk abzuraten.*
- *Feuerwerkskörper sollten nicht in einer Menschenmenge abgebrannt werden; Fenster und Türen sollten zur Sicherheit geschlossen werden.*
- *Bei grosser Trockenheit sollte kein Feuerwerk in der Nähe von Wäldern oder Getreidefeldern abgebrannt werden.*
- *Auf dem Festplatz sollte der Vorrat an Feuerwerkskörpern durch Abdecken oder Trennen vor Funkenwurf geschützt werden.*
- *Kleine Raketen können aus gut verankerten Flaschen gestartet werden, grössere nur aus Abschussstäben oder -rohren. Der Raketenstab darf nicht in die Erde gesteckt werden.*
- *Sollte ein Abbrennversuch scheitern, so sollte man sich erst nach 5 Minuten dem Feuerwerkskörper nähern. Nachzündversuche sollten auf keinen Fall unternommen werden.*
- *„Blindgänger“ sollen dem Verkaufsgeschäft zurückgegeben werden.*
- *Beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern ist - wegen der Lärmbelästigung - Rücksicht auf die Nachbarn zu nehmen.*

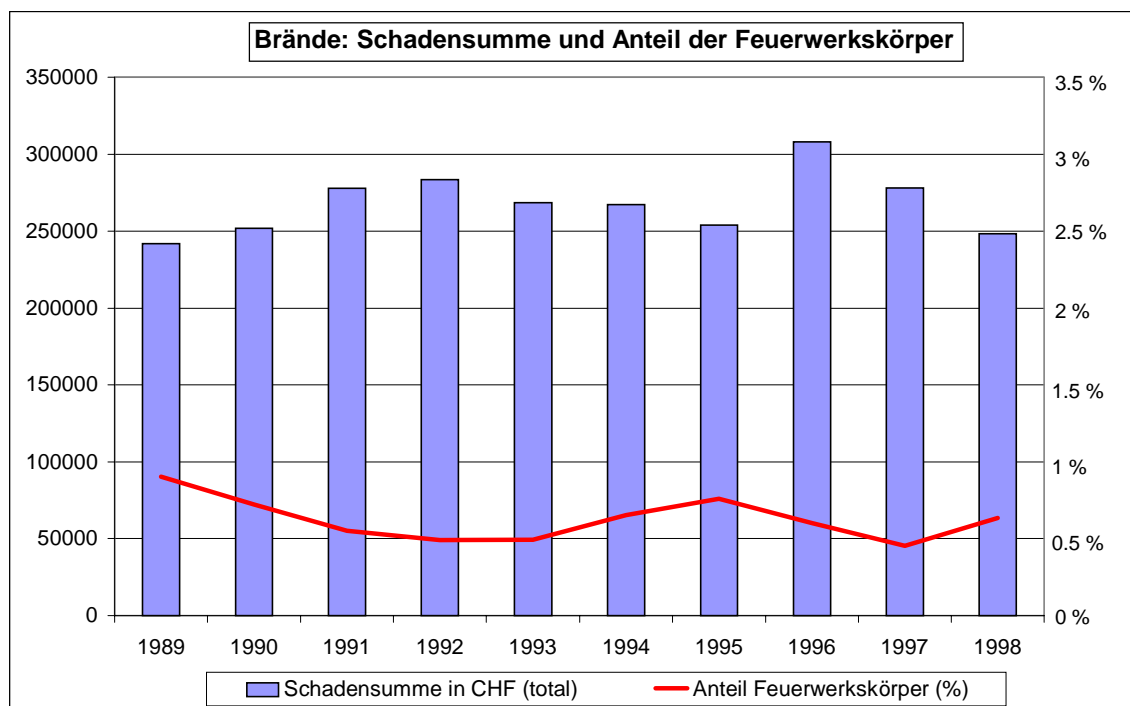


Abbildung 2: **Schadenssumme und Anteil der Feuerwerkskörper**

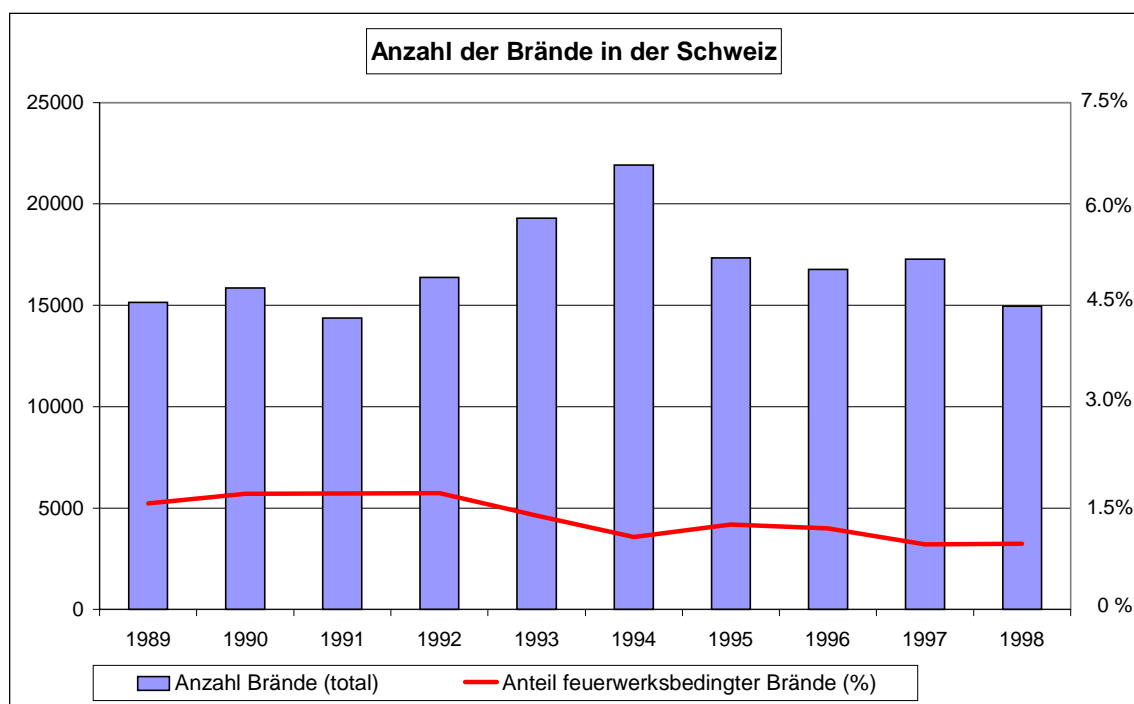


Abbildung 3: **Anzahl Brände und Anteil der Feuerwerkskörper**

5. Lärm

Uebermässiger Lärm kann die Gesundheit gefährden. Grundsätzlich ist zwischen

- **auralen Lärmwirkungen** (Verursachung von Gehörschäden) und
- **extraauralen Lärmwirkungen** (Lästigkeit, d.h. Beeinträchtigung des Wohlbefindens)

zu unterscheiden.

Im Gegensatz zu anderen, besser erforschten, dauerhaften Lärmquellen (Verkehr und Industrie) handelt es sich bei den Feuerwerken um relativ seltene Ereignisse, bei denen eine intensive, kurzzeitige Belastung auftritt.

5.1 Aurale Lärmwirkungen auf den Menschen

Einleitung

Unfälle, die zu **Hörschäden** führen, können auftreten, wenn bei Knallkörpern aus Fahrlässigkeit oder Unachtsamkeit kein genügender Sicherheitsabstand eingehalten wird, insbesondere bei Feuerwerkskörpern, die am Boden oder in Bodennähe explodieren.

Bei der Beurteilung der Schädlichkeit von Feuerwerken sind die Parameter Schalldruckpegel, Pegelanstieg, Expositionszeit sowie individuelle Kriterien (Vulnerabilität des Innenohrs) zu berücksichtigen. Die Gefahr einer irreversiblen Innenohrschädigung wächst mit Höhe und Dauer der Belastung. Feuerwerkslärm ist als Impulslärm zu charakterisieren und kann deswegen zu ausgeprägteren Verletzungen des Innenohrs führen als Dauerlärm. Da die neurale Verarbeitung 150-200 msec zum Aufbau der vollständigen Lautstärkenempfindung benötigt, wird impulsartiger Lärm subjektiv leiser wahrgenommen. Zudem werden die Feuerwerke meist mit Freizeiterlebnissen in Verbindung gebracht. Dies kann zu einer Unterschätzung der Verletzungsgefahr führen.

Schäden durch übermässige Schalldruckspitzen können reversibler oder irreversibler Natur sein:

- Hohe Schalldruckspitzen können Schäden im Innenohr hervorrufen, die sich meist bei höheren Frequenzen (4-8 KHz) bemerkbar machen. Eventuell kann bei sofortiger Behandlung ein Teil der Gehöreinschüsse behoben werden. Die Hörverluste im Hochtonbereich sind im alltäglichen Leben bei günstiger Akustik nicht gravierend. Bei lärmiger Umgebung und mit zunehmendem Alter können sie sich besonders nachteilig auswirken.
- Eine weitere Folge der Innenohrschädigung kann der Tinnitus - ein ständiges Pfeifen oder Rauschen im Ohr - sein.

Beurteilungswerte

Es gibt in Europa keinen allgemein anerkannten Grenzwert für Knallereignisse. Zur Beurteilung von Feuerwerkslärm werden von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt SUVA festgelegte Grenzwerte für den Arbeitsschutz beigezogen [SUVA]. Es werden sowohl Spitzen- wie Schallexpositionspegel (SEL) berücksichtigt (s. a. Anhang 3). Der SEL ist das Integral des Schallpegels L über das gesamte Ereignis, referenziert auf $t_0 = 1$ Sekunde.

- Schalldruckspitzen über 140 dB(C Peak) dürfen bei ungeschütztem Gehör den über eine Stunde aufsummierten Schallexpositionspegel SEL von 125 dB(A) nicht überschreiten. Schon eine einmalige Ueberschreitung dieser beiden Kriterien kann eine Schädigung des Gehörs herbeiführen [Hohmann'99].
- Knallereignisse mit einem Spitzenpegel über 140 dB(C), deren - während einer Stunde aufsummierter - SEL aber 125 dB(A) nicht erreicht, werden als Belastung im Grenzbereich der Gehörgefährdung betrachtet.

Darüber hinaus haben der WFD und die ZSP in den Zulassungsvorschriften folgende Beschränkungen des Schallexpositionspegels SEL vorgeschrieben:

- Für Feuerwerkskörper der Kategorie I: 115 dB (A SEL) in 1 m Entfernung;
- Für Feuerwerkskörper der Kategorien II und III: 115 dB (A SEL) in 8 m Entfernung;
- Feuerwerkskörper der Kategorie IV unterliegen nicht den Zulassungsvorschriften.

Der SEL erhöht sich mit der Anzahl Knalle (N) gemäss $SEL_{total} = SEL_1 + 10 \log N$. Die maximal zulässige Anzahl Ereignisse pro Stunde bei einem SEL_1 von 115 dB(A) errechnet sich demnach auf 10 bei Spitzenpegeln über 140 dB(C).

Expositionsdaten und Bewertung

In den USA wurden im Jahre 1973 Messungen und Berechnungen von Wissenschaftlern des NASA-Forschungszentrums [Maglieri] durchgeführt. Bei einem Grossfeuerwerk wurden die Spitzenpegel L_{peak} im Zuschauerareal auf weniger als 140 dB geschätzt (Abbildung 4).

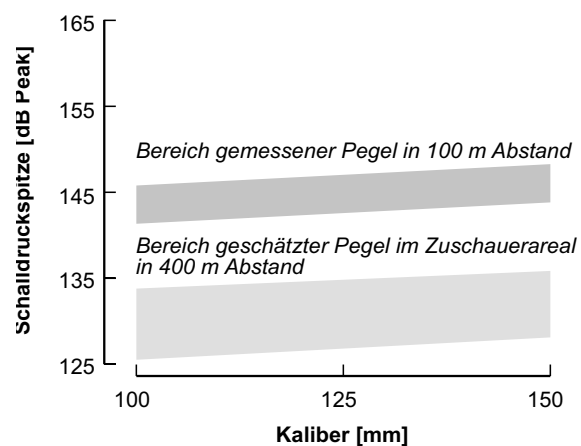


Abbildung 4: **Lärmpegel in Abhängigkeit der Kaliber**

Ein ereignisbezogener SEL für das Grossfeuerwerk wird von den Autoren nicht gegeben. Für die Schweiz liegen Daten von Hohmann vor, der 1984 und 1985 Messungen am 1. August-Feuerwerk der Stadt Interlaken durchführte [Hohmann'85]. Im Zuschauerareal in ca. 80 m Abstand zu den Startbasen mass man einen L_{peak} von weniger als 145 dB(A). SELs für die einzelnen von insgesamt 6 Bildern betrugen zwischen 112.2 und 118.2 dB(A). Für das gesamte Feuerwerk ergab sich ein SEL von 123.75 dB(A) bei einem Mittelungspegel L_m von 93 dB(A). Der Mittelungspegel L_m über 8 Stunden errechnet sich auf 79.2 dB(A). Diese Gehörbelastung ist ungefährlich. Demgegenüber ergaben jüngste Messungen (16. Aug. 2001) an einem Feuerwerk in Luzern eine Überschreitung des Impulslärm-Grenzwerts der SUVA: Bei einem L_{peak} von ca. 142 dB(C) betrug der SEL 130 dB(A) [Hohmann'01].

Bei öffentlich erhältlichen Pyrotechnika fokussieren sich Messkampagnen besonders auf bestimmte Typen wie Amorces für Kinderknallpistolen oder Bodenknaver, weil deren Gefährlichkeit für das Gehör seit einiger Zeit Gegenstand von Diskussionen ist. Erstere sind als Bestandteil von Spielzeugen nicht Thema dieses Berichts, bei letzteren ist festzuhalten, dass bodenknavende Feuerwerkskörper wie die z.B. in Deutschland üblichen China-Böller oder Kanonenschläge in der Schweiz nicht zugelassen werden¹⁵. Eine Zusammenstellung typischer Werte frei erhältlicher Feuerwerkskörper ist in Tabelle 10 zusammengefasst. Die Messungen wurden 1995 von Hohmann durchgeführt (Hohmann'95)

Tabelle 10: Akustische Daten von in der Schweiz erhältlichen Feuerwerkskörpern

Produkt		Peak dB(C)	SEL dB(A)	Bemerkungen
Knallteufel/-erbsen	einzel	138	93	Auslösen durch Zertreten
Knallkörper 40er	Reihe à 40	153	121	
Knallkörper 40er	Reihe à 40	147	118	auf Rasen statt Eternitplatte
Dragon Banger	Reihe à 40	150	120	
Blitz Knatterball	einzel	148	120	Grüne „Bömbchen“
Flashing Thunder	einzel	141	106	normale Detonation in der Luft
Flashing Thunder	einzel	165	128	am Boden unter Stein; falsche Anw.
„Luftknaller“	dreifach	125	98	

Messanordnung und Umgebungsbedingungen: Feuerwerkskörper auf Eternitplatte. Messdistanz 1 m zum Feuerwerkskörper. Messpunkt 85 cm über Boden. Temperatur ca. 22°C, Windstille

Eine deutsche Studie [Plontke], die zur Jahreswende 1998/99 durchgeführt wurde, ergab eine feuerwerksbedingte Gehörschädensrate von ca. 1,3 Menschen pro 100'000 Einwohner. Da nicht alle Fälle gemeldet und mit Feuerwerken in Zusammenhang gebracht werden, dürfte die tatsächliche Unfallrate höher sein. Studien aus Indien und Norwegen zeigen ebenfalls den Zusammenhang zwischen Feuerwerken und Gehörverlust¹⁶.

[Plontke] liefert auch erste Hinweise auf die Art der Gehörschädigungen: in den meisten Fällen erlitten die Patienten einen Knalltrauma (90%); Trommelfell- und Innenohrverletzungen wurden bei 10% der Verunfallten registriert. Ueber die Spätfolgen und eine mögliche Genesung lagen keine Informationen vor.

¹⁵ Mit Ausnahme von Crackers mit einer maximalen Länge von 22 mm und einem Durchmesser von höchstens 3 mm.

¹⁶ In Norwegen führte Feuerwerkslärm am Unabhängigkeitstag bei 0,7% der untersuchten Kindern zu einem Gehörverlust von 30 dB oder mehr im Bereich von 4 kHz.

Ueber die Inzidenz von Gehörschäden durch Feuerwerkskörper in der Schweiz liegen keine Erhebungen vor. Es darf angenommen werden, dass wegen der restriktiveren Zulassungspraxis von Bodenknallern feuerwerksbedingte Gehörschädenraten deutlich unter den deutschen Werten liegen und sich Unfälle auf den unsachgemässen Umgang beschränken. Diesbezüglich sind die Daten in Tab. 10 für die Flashing Thunder bemerkenswert: Während bei korrekter Anwendung in einer Stunde über 70 Knalle tolerierbar sind, überschreiten bei einmaligem falschem Umgang sowohl L_{peak} wie SEL die SUVA-Kriterien. Im Falle der in den Zulassungsvorschriften des WFD/ZSP festgelegten Grenzwerte muss angemerkt werden, dass nach Inkrafttreten der revidierten Sprengstoffverordnung am 1. Februar 2001 eine Uebergangsfrist gilt. Die Ueberprüfung der Feuerwerkskörper ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

5.2 Extraaurale Lärmwirkungen auf Menschen und Tiere

Menschen

Das Umweltschutzgesetz hat u.a. das Ziel, die Bevölkerung vor lästigem und schädlichem Lärm zu schützen. In der Lärmschutzverordnung sind keine spezifischen Grenzwerte für Lärm freizeitlicher und festlicher Ereignisse festgelegt. Lärmbelastungen, für die keine Grenzwerte vorliegen, sind daher so zu begrenzen, dass sie die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören. Feuerwerkslärm kann von einem Teil der schweizerischen Bevölkerung subjektiv als lästig empfunden werden. Empirische Untersuchungen bzw. Befragungen zu diesem Thema liegen nicht vor. In Anbetracht der Seltenheit von Feuerwerken ist die Belastung im Vergleich zu kontinuierlichen Quellen (wie z.B. Verkehr) als gering einzustufen. Dennoch sollte bei der privaten Feuerwerkerei auf die Nachbarschaft Rücksicht genommen werden, indem diese über die geplanten Aktivitäten zumindest informiert wird. Rücksicht und Toleranz gehen so einher.

Haus- und Wildtiere

Impulshaltiger Lärm erschreckt neben dem Menschen ebenso Haustiere. Als indirekte Folge können sich Unfälle ereignen, die auf unberechenbare Schreckreaktionen zurückzuführen sind. Oft werden nach den Feuerwerken Haustiere tagelang vermisst. Daher sind vorbeugende Massnahmen (Anleinen oder Einsperren der Haustiere während der Feuerwerke) zu empfehlen.

Auch Wildtiere werden durch Feuerwerkslärm gestört. Beispielsweise liessen sich Schwarzhalsstaucher nach einem Seenachtsfest am Thunersee in einem anderen einige Hundert Meter entfernten Gebiet des Sees nieder (s. Anhang 3). Die Bedeutung dieser Fluchtreaktionen muss auch hier relativiert werden: Andere, häufig stattfindende Freizeitaktivitäten wie Bootsfahrten, Angeln und Schifffahrt oder auch der Flugverkehr sind im Falle von Wasservögeln anerkanntermassen die dominierenden Störungsquellen. Dennoch sollte bei der Organisation von Grossanlässen die zuständige Naturschutzfachstelle kontaktiert werden.

6. Umweltkompartimente

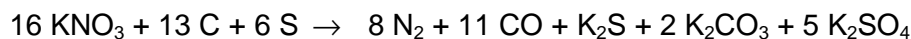
6.1 Emissionsabschätzung

Verbrennungsreaktionen

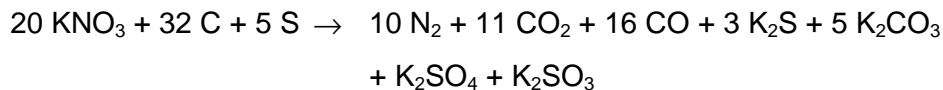
Der Abbrand pyrotechnischer Mischungen erfolgt bei hohen Temperaturen (zwischen 1000 und 3000°C) innert kürzester Zeit und führt zu einer Vielzahl chemischer Reaktionen. Nach [Menke] basiert die Umsetzung von **Schwarzpulver** auf der Reaktion zwischen geschmolzenem Schwefel mit triklinem Kaliumnitrat und der Reaktion zwischen festem Kohlenstoff und geschmolzenem Kaliumnitrat.



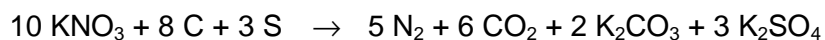
Anhand von Analysen der Reaktionsprodukte stellte bereits Berthelot (1827-1907) folgende Reaktionsgleichung auf:



Nach [Wisniak] sind stöchiometrisch folgende Umsetzungen möglich:



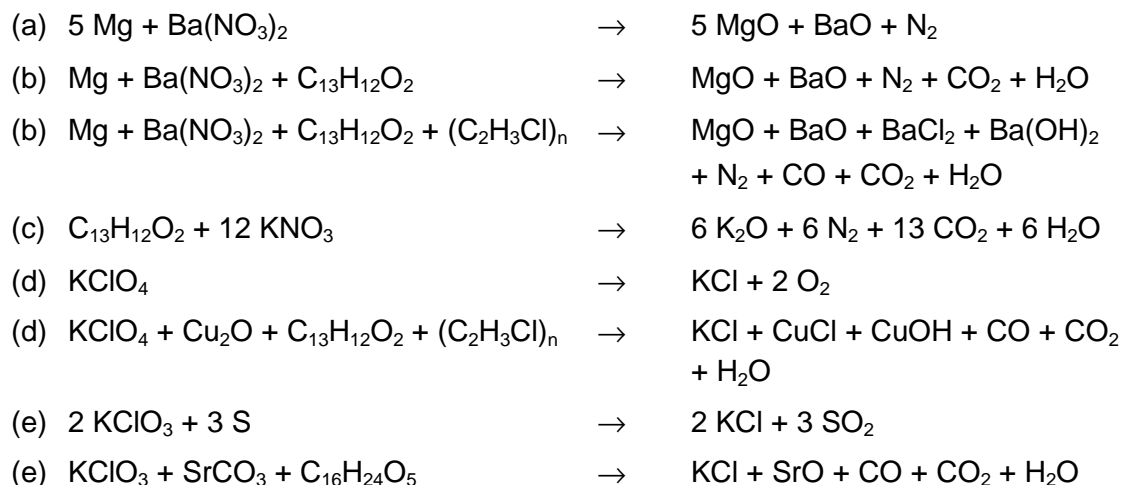
sowie



In Zahlen ausgedrückt fallen beim Schwarzpulver die Verbrennungsprodukte überwiegend als Feststoff an und zwar zu 56% [Herrchen], bzw. 69% [Menke]. Neben Kaliumcarbonat (K_2CO_3), Kaliumsulfat (K_2SO_4), Kaliumsulfid (K_2S) und Kaliumsulfat (K_2SO_3) werden als Reaktionsprodukte Kaliumthiosulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$) und Kaliumthiocyanat (KCNS) angegeben. Daneben werden nicht umgesetzte Schwarzpulverbestandteile in fester Form emittiert.

Neben Kalium enthalten Feuerwerkskörper weitere Metalle wie Barium, Magnesium, Aluminium, Strontium und Kupfer sowie organische Bestandteile in den **Effektsätzen** (Tabelle 2). Es wird geschätzt, dass die Verbrennungsprodukte bei der Effektmasse zu 80-90% als feste Bestandteile anfallen [Herrchen].

In [Herrchen] sind Reaktionsgleichungen für Metall-Nitrat-Gemische (a), Metall-Nitrat-Gemische und organische Bestandteile (b), Nitrat-Binder-Gemische (c) sowie Metall-Perchlorat- (d) und Chlorat-Gemische (e) aufgeführt. Ausgewählte Reaktionen sind unten aufgelistet. Für Phenolharz wird vereinfachend $C_{13}H_{12}O_2$, für Shellack $C_{16}H_{24}O_5$ angenommen; die Reaktionsgleichungen mit PVC sind aufgrund des Polymers $(C_2H_3Cl)_n$ stöchiometrisch nicht korrekt.



Emissionsfaktoren

Aus obigen Angaben und unter der Annahme, dass das Pulver in pyrotechnischen Sätzen zu 67% aus reinem Schwarzpulver und zu 33% aus Effektsätzen besteht, lässt sich für die **festen Produkte** ein Emissionsfaktor (EF) von ca. 700'000 g/t pyrotechnischer Satz (Schwarzpulver + Effektsätze) ableiten¹⁷. Die festen Produkte werden in der Luft als **Feinstaub** verteilt, ein gewisser Anteil dürfte in den Hülzen als Schlacke anfallen.

Angaben zu Art und Menge der festen Reaktionsprodukte und der nicht umgesetzten Edukte sowie der gasförmigen Reaktionsprodukte von Schwarzpulver werden von verschiedenen Autoren unterschiedlich angegeben. In Tabelle 11 sind Emissionsfaktoren für die Verbrennung von Schwarzpulver zusammengefasst.

Bei den schwefelhaltigen Kaliumsalzen wird in den folgenden Expositionsabschätzungen (Kap. 6.2) von maximalen Kaliumsulfid-Emissionen ausgegangen. Bezogen auf die pyrotechnischen Sätze ergibt sich für **Sulfid** ein EF von ca. 13'200 g/t. Für den nicht umgesetzten Schwefel wird der EF mit ca. 26'500 g/t pyrotechnischer Satz angenommen.

¹⁷ Gemäss Kap. 3.3 enthalten Feuerwerkskörper im Durchschnitt 25% pyrotechnische Sätze und 75% „inertes“ Material wie Karton, Kunststoff und Holz (EF für Inertmaterial: 750'000 g/t Feuerwerksartikel). Der auf Feuerwerksartikel bezogene EF für Feinstaub beträgt 175'000 g/t.

Messstandorte für **Schwefelwasserstoff** H_2S sind i.d.R. emittentenbezogen angelegt und beschränken sich auf Industriestandorte. Immerhin lässt sich aus den Schadstoffverläufen für Partikel PM_{10} und Schwefelwasserstoff in der Silvesternacht 2000/2001 im österreichischen Linz ablesen (s. Anhang 1), dass unten aufgeführte EFs für H_2S plausibel sind. H_2S hat eine kurze Lebensdauer und reagiert schnell mit OH-, O- und HO_2 -Radikalen sowie O_2 zu SO_2 .¹⁸

Tabelle 11: Emissionsfaktoren für Schwarzpulver

Stoff	Emissionsfaktor [g/t]	Quelle
Kohlendioxid	≈260'000	[Herrchen]
Kohlenmonoxid	≈44'500 85'000 (38'000-120'000)	[USEPA]
Schwefelwasserstoff	12'000 12'000 (0-37'000)	[Herrchen] [USEPA]
Schwefeldioxid	1000 1500	[Herrchen] [Menke]
Stickstoffmonoxid	1000	
Methan	600 2100 (300-4900)	[Herrchen] [USEPA]
Staub	560'000 685'000	[Herrchen] [Menke]
Kaliumsulfat	85'000-385'000	[Herrchen], [Menke]
Kaliumcarbonat	185'000-335'000	
Kaliumsulfid	7000-85'000	
Kaliumthiocyanat	2000-7000	
Kaliumthiosulfat	55'000	[Menke]
Kaliumnitrat	3500-35'000	[Herrchen], [Menke]
Kohlenstoff	4000-7000	
Schwefel	50'000	[Herrchen]

Messungen in England während der Bonfire Night - bei der Feuerwerke und Brauchtumsfeuer abgebrannt werden - ergaben erhöhte **Dioxin**-Gehalte in der Luft. In verschiedenen nationalen Dioxin-Emissionsinventaren (USA, Dänemark) und auch im europäischen Dioxin-Inventar werden Feuerwerke als mögliche Emittenten erwähnt. In Laborversuchen [Fleischer] wurde die Dioxinbildung insbesondere beim Abbrennen von kupferhaltigem Feuerwerk nachgewiesen; es wurden jedoch keine Emissionsfaktoren angegeben (Anhang 1).

¹⁸ In Rauchfahnen geothermisch aktiver Flächen wurde durch Messungen von H_2S und SO_2 für H_2S eine Halbwertszeit von 5 ½ h bestimmt [Spedding].

Zur Abschätzung der Schweizer Emissionsfaktoren für **Metalle** wurden die schwedischen EFs aus Tabelle 6 sowie Daten aus Deutschland [Herrchen] ausgewertet und Durchschnittswerte errechnet (Tabelle 12).

Emissionen

Die Abschätzung der Feuerwerksemissionen basiert auf den in Kapitel 3 ermittelten Mengenströme. Im Durchschnitt der Jahre 1998-2000 wurden in der Schweiz ca. 1'450 Tonnen Feuerwerkskörper abgebrannt, die rund 360 Tonnen pyrotechnischer Sätze enthalten.

Jährlich fallen demnach rund 1000 t **Abfälle** von abgebrannten Feuerwerkskörpern an. Hierzu gehören z.B Teile aus Karton, Kunststoff und Holz. Zudem fallen nicht bezifferbare Anteile von Feuerwerksreaktionsprodukten auch in den Hülzen als Schlacke an¹⁹.

Die Rechnung ergibt für **Feinstaub** Einträge von $700'000 \text{ g/t} \times 360 \text{ t/a} = 250 \text{ t/a}$. Die **SO₂**-Emissionen werden unter Annahme einer schnellen Oxidation von gebildetem H₂S gemäss $(12'000 \times 1.9 + 1500) \text{ g/t} \times 240 \text{ t/a}$ auf $<10 \text{ t/a}$ geschätzt. Mit den EFs für **Metalle** errechnen sich die in Tabelle 12 aufgeführten korrespondierenden Emissionen.

Vergleich mit Emissionen aus anderen Quellen

Feuerwerke als Emissionsquelle sind gemessen an den in [BUWAL 95] ausgewiesenen Gesamtemissionen von untergeordneter Bedeutung. Beim Gesamtstaub sind rund 1% auf Feuerwerke zurückzuführen. Aufgrund der hohen Emissionsfaktoren und der zeitlich kurzen Aktivitäten ist jedoch absehbar, dass sich kurzfristig hohe Immissionsbelastungen ergeben können.

Von den in Tabelle 12 aufgeführten Elementen existieren schweizerische Emissionsinventare für Blei, Zink, Cadmium und Quecksilber [BUWAL 95] sowie Kupfer [BUWAL 99]. Danach entfallen von den Luftemissionen (einschliesslich Abriebe) bei Blei und Kupfer 2-3%, bei Cadmium ca. 0,1%, bei Zink weniger als 0,1% und bei Quecksilber weniger als 0,005% auf Feuerwerke.

Behilft man sich für eine Standortbestimmung mit niederländischen pro Kopf Emissionen [Berdowski], zeigt sich weiter, dass bei Nickel 0,1%, bei Chrom 1% und bei Antimon ca. 10% der Emissionen auf Feuerwerke entfallen. Im Falle von Antimon gibt es jedoch wie bei Barium Hinweise ([Rauterberg] sowie [Mayer]), dass Einträge mit Bremsbelagsabrieben sehr bedeutend sein könnten.

¹⁹ Mit der Reinigung von Wegen, Strassen, Plätzen und Gärten durch die öffentliche Hand gelangt ein Teil der Materialien als Siedlungsabfall zur Entsorgung, der andere Teil verrottet mehr oder weniger schnell.

Auch bei den Elementen gilt, dass die Emissionsfaktoren für Feuerwerke im Vergleich zu solchen z.B. für die Abfallverbrennung [Belevi] um Grössenordnungen höher sind und dass sich deshalb kurzfristig hohe Immissionsgehalte einstellen werden.

Tabelle 12: *Geschätzte Emissionen beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern in der Schweiz sowie Emissionsfaktoren*

Schadstoff	Emissionen [t/a]	EF [g/t pyrotechn. Satz]
Kalium (K)	66	≈180'000
Aluminium (Al)	16	≈44'500
Barium (Ba)	13	≈35'500
Magnesium (Mg)	10	≈28'000
Blei (Pb)	2	≈6000
Kupfer (Cu)	2	≈5500
Strontium (Sr)	1,5	≈4000
Eisen (Fe)	1,3	3650
Titan (Ti)	0,6	1750
Calcium	0,5	1500
Zink (Zn)	0,4	1050
Antimon (Sb)	0,13	360
Mangan (Mn)	0,08	220
Nickel (Ni)	0,05	150
Chrom (Cr)	0,05	145
Silber (Ag) ¹	0,03	-
Arsen (As)	0,01	20
Cadmium (Cd)	0,003	9
Kobalt (Co)	0,001	3
Quecksilber (Hg)	0,0001	0,3

pyrotechnische Sätze = Schwarzpulver + Effektsätze

¹ s. Legende zu Tabelle 13

6.2 Bewertung der Umweltbelastung

6.2.1 Expositionsabschätzung

Feuerwerksreaktionsprodukte belasten unmittelbar die Luft, durch Deposition gelangen sie auch in Böden, auf Erntegüter und in Gewässer. Folgende Expositionspfade werden im Folgenden betrachtet und diskutiert:

- **Belastung des Menschen unmittelbar durch Luftschadstoffe:** Vergleich der Immissionsgehalte mit Beurteilungswerten für die menschliche Gesundheit sowie Zusammenhang zwischen Immissionsbelastung und Beeinträchtigung der Lungenfunktion (Fallstudien aus Hawaii);
- **Belastung von Böden:** Vergleich der feuerwerksbedingten Bodeneinträge mit ökotoxikologisch begründeten tolerierbaren Bodenadditionen;
- **Belastung von Erntegütern:** Vergleich der durch Deposition auf Futter- und Nahrungsmitteln bedingten zusätzlichen Elementaufnahmen durch Nutztiere und den Menschen mit tolerierbaren Aufnahmen;
- **Staubingestion Kinder:** Vergleich der zusätzlichen Elementaufnahmen durch orale Aufnahme von Staub mit tolerierbaren Aufnahmen;
- **Belastung von Abwasser:** Abschätzung der Elementgehalte in Meteorwasser und Vergleich mit Meteorwassergehalten aus der Literatur sowie mit bakterientoxischen Gehalten;
- **Belastung von stehenden Gewässern** durch Grossfeuerwerke über Wasser: Abschätzung der zusätzlichen Elementgehalte in der Wassersäule und Vergleich mit ökotoxikologisch begründeten Beurteilungswerten.

Die Belastung der Luft durch feuerwerksbedingte Einträge ist durch in- und ausländische Messungen dokumentiert. Zur Höhe der ereignisbezogenen Staubdeposition sowie zur Belastung von deponiertem Staub oder Abschwemmwasser mit Feuerwerksreaktionsprodukten sind keine Messungen bekannt²⁰. Für die Beurteilung der Boden- und Gewässerbelastung sowie von möglichen indirekten Effekten müssen deshalb die Depositionen der feuerwerkrelevanten Elemente modelliert werden.

²⁰ In einer Pressemitteilung aus dem Jahre 1995 schreibt das deutsche UBA ohne nähere Quellenangabe, dass Untersuchungen von Gemüsepflanzen in unmittelbarer Nachbarschaft eines Sommerfeuerwerks keine Hinweise auf besondere Belastungen ergaben (UBA'95).

Dazu wurden mit dem Gaußschen Ausbreitungsmodell nach TA Luft drei Szenarien betrachtet. Das Modell ist ausführlich in der VDI-Richtlinie 3782 (Oktober 1992) beschrieben.

- Ein **übliches Event** beschreibt ein 20-minütiges Feuerwerk, bei dem 200 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte (500 m Breite und 50 m Höhe) wird durch eine Normalverteilung mit $\sigma_y = 250$ m und $\sigma_z = 25$ m approximiert. Die Quellenhöhe wird mit 100 m, die Windgeschwindigkeit mit 2 m/s und die Depositionsgeschwindigkeit mit 0,01 m/s angenommen.
- Das **Seenachtsfest** beschreibt ein aussergewöhnlich grosses Feuerwerk von 30 Minuten Dauer, bei dem 2000 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte (1000 m Breite und 80 m Höhe) wird durch eine Normalverteilung mit $\sigma_y = 500$ m und $\sigma_z = 40$ m approximiert. Die Quellenhöhe wird mit 120 m, die Windgeschwindigkeit mit 2 m/s und die Depositionsgeschwindigkeit mit 0,01 m/s angenommen.
- Das Szenarium **1. August** beschreibt die private Feuerwerkerei am 1. August in einer Stadt mit ca. 200'000 Einwohnern. Es wird angenommen, dass während 3 Stunden 8500 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte wird durch eine Normalverteilung mit $\sigma_y = 3000$ m und $\sigma_z = 25$ m approximiert. Die Quellenhöhe wird mit 100 m, die Windgeschwindigkeit mit 2 m/s und die Depositionsgeschwindigkeit mit 0,01 m/s angenommen.

Für die Berechnung der Luftschadstoffgehalte und der eventbezogenen Depositionsraten (Tabelle 13) wurden die maximalen Konzentrationen entlang der Plumeachse und die bereits errechneten Emissionsfaktoren (Tabelle 12) zugrundegelegt.

Daraus ergeben sich für das übliche Event maximale PM₁₀-Konzentrationen von 300 µg/m³ (20-minütige Spitze) und für das Seenachtsfest eine 30-minütige Spitzenkonzentration von ca. 1000 µg/m³. Die PM₁₀-Daten und -Abbildungen in Anhang 1 zeigen, dass die Szenarien nicht unrealistisch sind. Ausgehend von einer Hintergrundbelastung von 20 µg/m³ und dem 3h-Mittel von 240 µg/m³ im Szenarium 1. August wird das 24h-Mittel grob auf 45 µg/m³ geschätzt. Auch dieser Wert ist realistisch.

In Anhang 1 (Tabelle A8) sind den eventbezogenen Depositionsraten der Elemente des Szenariums 1. Augusts aus Immissionsdaten abgeschätzte Depositionen gegenübergestellt. Zusätzlich findet man für urbane Gebiete übliche Depositionsraten.

Tabelle 13: *Modellierte eventbezogene Deposition von Elementen für drei Szenarien*

Element	Übliches Event		Seenachtsfest		1. August	
	C(Luft) [ng/m ³]	Deposition [mg m ⁻²]	C(Luft) [ng/m ³]	Deposition [mg m ⁻²]	C(Luft) [ng/m ³]	Deposition [mg m ⁻²]
Kalium	77'562	0.931	251'856	4.533	43'403	4.688
Aluminium	18'909	0.227	61'400	1.105	10'581	1.143
Barium	14'997	0.180	48'696	0.877	8'392	0.906
Magnesium	11'870	0.142	38'544	0.694	6'642	0.717
Blei	2'505	0.030	8'132	0.146	1'401	0.151
Kupfer	2'378	0.029	7'722	0.139	1'331	0.144
Strontium	1'724	0.021	5'598	0.101	965	0.104
Eisen	1'554	0.019	5'047	0.091	870	0.094
Titan	751	0.009	2'438	0.044	420	0.045
Calcium	637	0.008	2'069	0.037	357	0.039
Zink	456	0.005	1'481	0.027	255	0.028
Antimon	154	0.002	502	0.009	86	0.009
Mangan	93	0.001	304	0.005	52	0.006
Nickel	64	0.001	207	0.004	36	0.004
Chrom	61	0.001	197	0.004	34	0.004
Silber ¹	39	0.0005	127	0.002	22	0.002
Arsen	8	0.0001	28	0.0005	5	0.001
Cadmium	4	0.00005	13	0.0002	2	0.0002
Kobalt	1	0.00002	4	0.0001	0.7	0.0001
Quecksilber	0.1	0.000002	0.4	0.00001	0.07	0.00001
Sulfid	5'597	0.067	18'175	0.327	3'132	0.338
Schwefel	11'227	0.135	36'454	0.656	6'282	0.678
PM10	297'406	3.569	965'719	17.383	166'426	17.974

¹ Silber wurde nur in deutschen Fabrikaten identifiziert. Es wird als Silberfulminat (sog. Knallsilber) als Knallsatz in Knallerbsen oder -bonbons eingesetzt und ist nach Angaben von Pyrotechnikexperten in aufsteigenden Feuerwerkskörpern wie Raketen nicht enthalten. Silber wird daher nicht in die folgenden Expositionsbeurteilungen (Kap. 6.2) miteinbezogen. Dagegen zeigen Immissionsmessungen (Anhang 1 Tabelle A8) sowie Tabelle 2 in Kap. 3.2, dass **Vanadium** und **Silicium** Bestandteile von Feuerwerkskörpern sind. Depositionsraten (Szenarien Seenachtsfest und 1. August) werden mit 0,05 und 0,2 mg/m² angenommen.

6.2.2 Luft

Bei Feuerwerken werden Luftschadstoffe freigesetzt, die **zeitlich begrenzt**, d.h. im Laufe weniger Stunden während der Feiern, zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen in der Umgebungsluft führen. Die Auswirkungen sind in der Regel auf die Siedlungsgebiete beschränkt, in denen die Feuerwerke stattfinden. Die Zunahme der Luftschadstoffkonzentrationen hängt dabei auch von meteorologischen Einflüssen wie Niederschläge oder Windgeschwindigkeiten ab.

Schwefeldioxid (SO₂)

SO₂ ist ein farbloses Gas, das vor allem bei der Verbrennung von Kohle und Heizöl sowie anderer schwefelhaltiger Brennstoffe gebildet wird. Es kann Pflanzen, Tiere und Menschen beeinträchtigen und ist als Vorläufersubstanz von saurem Regen bekannt. Dank der Massnahmen, die in den letzten Jahren vor allem im Bereich der Feuerungsanlagen getroffen wurden, konnten die SO₂-Emissionen stark gesenkt werden, sodass die SO₂-Immissionsgrenzwerte nach Luftreinhalteverordnung (LRV) in der Schweiz sicher eingehalten werden.

Der Verlauf der SO₂-Immissionen bei Feuerwerken in der Schweiz ist gut dokumentiert. Abbildung 5 zeigt die SO₂-Konzentrationen bei Feuerwerken in Zürich, Wallisellen und Luzern, die im Rahmen von Seenachtsfesten (Luzern, 7./8. August 1999), der Millenniumsfeier (Zürich) und der Nationaltagsfeier (Zürich und Wallisellen, 1999) abgebrannt wurden.

Während der Durchführung der Feuerwerke stiegen die SO₂-Konzentrationen deutlich an (in Zürich um das 2- bis 4-fache, in Wallisellen um das 10-fache der Konzentrationen vor und nach den Feuerwerken). Bei der Feier anlässlich des Jahrtausendwechsels in Zürich wurden absolut die höchsten Werte gemessen (ca. 20 µg/m³); was jedoch teilweise auf die saisonal bedingten höheren Ausgangskonzentrationen zurückzuführen ist (Heizperiode). Die Messwerte zeigen, dass die Konzentrationsspitzen nur relativ kurzzeitig auftraten. Innerhalb 2 bis 4 Stunden wurden wieder die üblichen Werte erreicht.

Die kurzzeitige feuerwerksbedingte Erhöhung der SO₂-Konzentrationen wird durch Immissionsdaten ausländischer Messnetze bestätigt:

- In der **Rhein-Ruhr-Agglomeration**²¹ (Deutschland) wurde 1998/99 nach dem Silvesterfeuerwerk ebenfalls ein signifikanter Anstieg der SO₂-Konzentrationen gemessen. Saisonal und regional bedingt (Wintersaison, Industrieregion) liegt die Hintergrundbelastung hier allerdings deutlich höher als bei den Messungen in der Schweiz. Deshalb wurden deutlich höhere maximale Schwefeldioxidkonzentrationen (ca. 200 µg/m³ im halbstündigen Mittel) erreicht. Da üblicherweise maximale 1/2h-Werte im Bereich von 70-80 µg/m³ gemessen werden, dürfte die feuerwerksbedingte Zunahme der SO₂-Konzentration ca. 110-120 µg/m³ betragen (Abbildung 6).

²¹ Quelle: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. www.lua.nrw.de

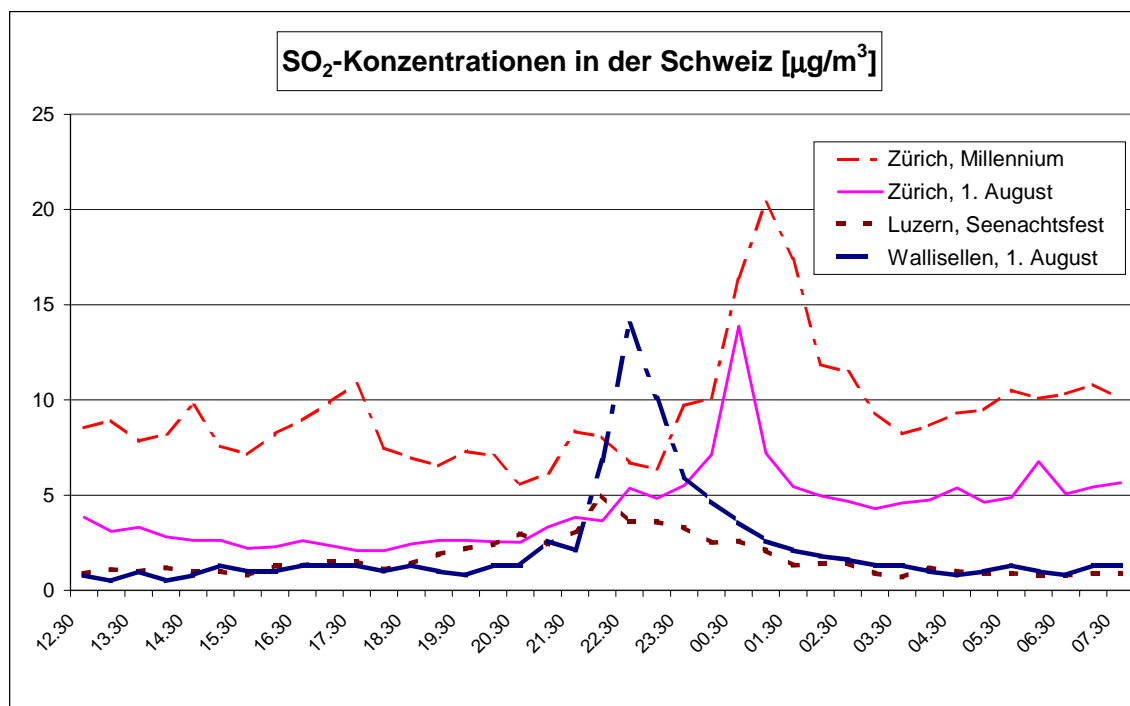


Abbildung 5: Verlauf der SO₂-Konzentrationen bei Feuerwerken in der Schweiz

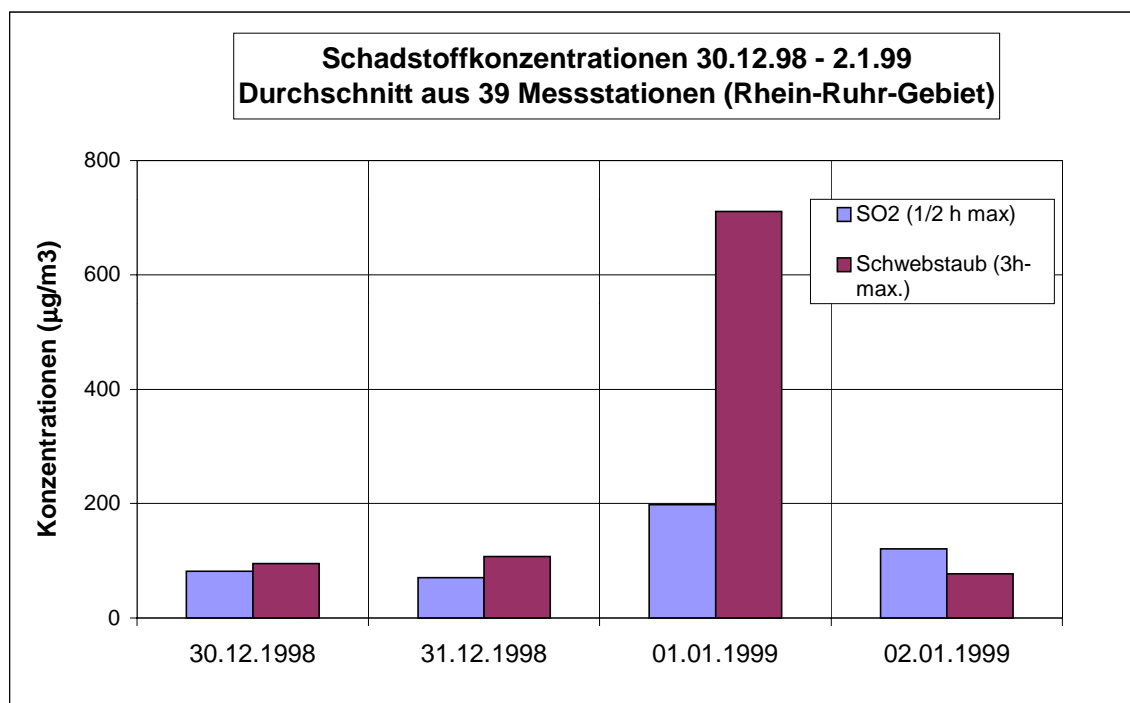


Abbildung 6: SO₂- und PM₁₀-Konzentrationen im Rhein-Ruhr-Gebiet 1998/99

- Während der Millenniumsfeuerwerke in einigen **hessischen Städten**²² (u.a. Frankfurt, Darmstadt und Offenbach) wurden 1/2h-Maximalwerte von 19 bis 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber 12 bis 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ am Vortag registriert (siehe Anhang 1).
- In den **Niederlanden** wurden zum Jahreswechsel 1993/94 an mehreren Standorten SO_2 -Messungen durchgeführt [Noordijk]. Bei Ausgangsgehalten zwischen 5 und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden Maximalwerte von ca. 30 bis 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Auch hier sanken die SO_2 -Konzentrationen nach der Feier schnell und erreichten nach einigen Stunden die durchschnittlichen Werte.

Als **Fazit** aus den Messergebnissen ergibt sich, dass Feuerwerke zur Bundesfeier, zu Silvester und zu anderen grösseren Feierlichkeiten lokal (urbane Gebiete) zu einer signifikanten Erhöhung der SO_2 -Konzentrationen führen. Die erhöhten Konzentrationen beschränken sich auf einen Zeitraum von wenigen Stunden. Die Messwerte im Ausland liegen zum Teil deutlich höher als bei den Messungen in der Schweiz.

Zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung der durch Feuerwerke bedingten SO_2 -Belastungsspitzen werden Grenzwerte der **LRV** beigezogen. Danach dürfen

- die **24 h-Mittelwerte** höchstens einmal pro Jahr den Grenzwert von 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreiten und
- 95% der $\frac{1}{2}\text{h}$ -Mittelwerte müssen einen Grenzwert von ebenfalls 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ einhalten.

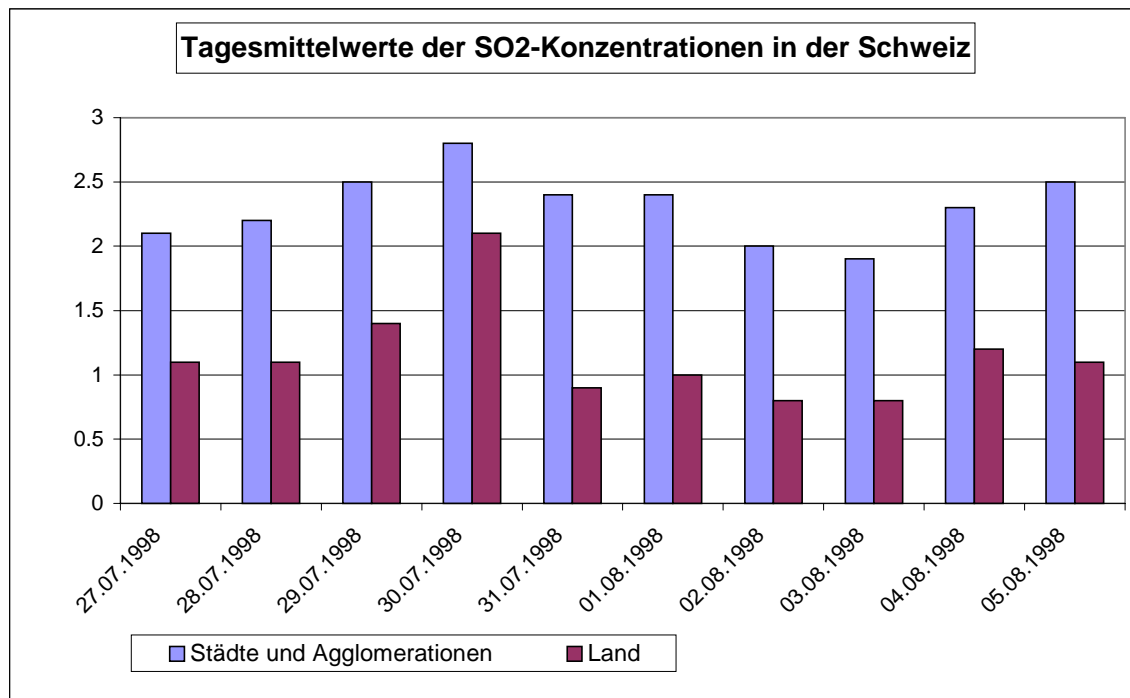


Abbildung 7: **Durchschnittliche SO_2 -Tagesmittelwerte in der Schweiz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

²² Quelle: Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLFU). www.herasum.de/luft

Die Auswertung der Messwerte des Schweizerischen Luftmessnetzes NABEL für den Zeitraum vom 27.7. bis 5.8.1998 zeigt, dass der Einfluss der Belastungsspitzen durch die Feuerwerke am 1. August auf die 24 h-Mittelwerte relativ gering ist. Im Vergleich mit den Werten an den Tagen vor- und nachher sind die Tagesmittelwerte am 1. August nicht erhöht. Darüber hinaus wird sowohl in ländlichen Regionen als auch in urbanen Gebieten der LRV-Grenzwert sicher eingehalten. Auch alle 1/2h-Mittelwerte, die in den oben dargestellten Messungen in der Schweiz ermittelt wurden, lagen ebenfalls deutlich unter $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Staub

Staub ist ein Sammelbegriff für partikelförmige Luftverunreinigungen. Sie entstehen vor allem bei Verbrennungsprozessen (Russ). Gesundheitlich besonders problematisch sind Feinstäube, da sie lungengängig sind. Feinpartikel mit einem Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ oder weniger werden als PM10 bezeichnet.

Je nach Emissionsquelle (z.B. Dieselfahrzeuge, offene Feuer oder eben Feuerwerke) unterscheiden sich Schadstoffzusammensetzung und -gehalte des Feinstaubes. Für die gesundheitliche Beurteilung wird von der Staubkonzentration insgesamt ausgegangen, unabhängig von der konkreten Zusammensetzung. Die Grenzwerte der LRV sind dabei auf lungengängigen Feinstaub PM10 bezogen.

Messungen in Luzern [Zünd] sowie Zürich und Wallisellen [Meier] aus dem Jahre 1999 zeigen, dass Feuerwerke kurzzeitig einen beträchtlichen Anstieg der Feinstaub-Konzentrationen verursachen können (Abbildung 8).

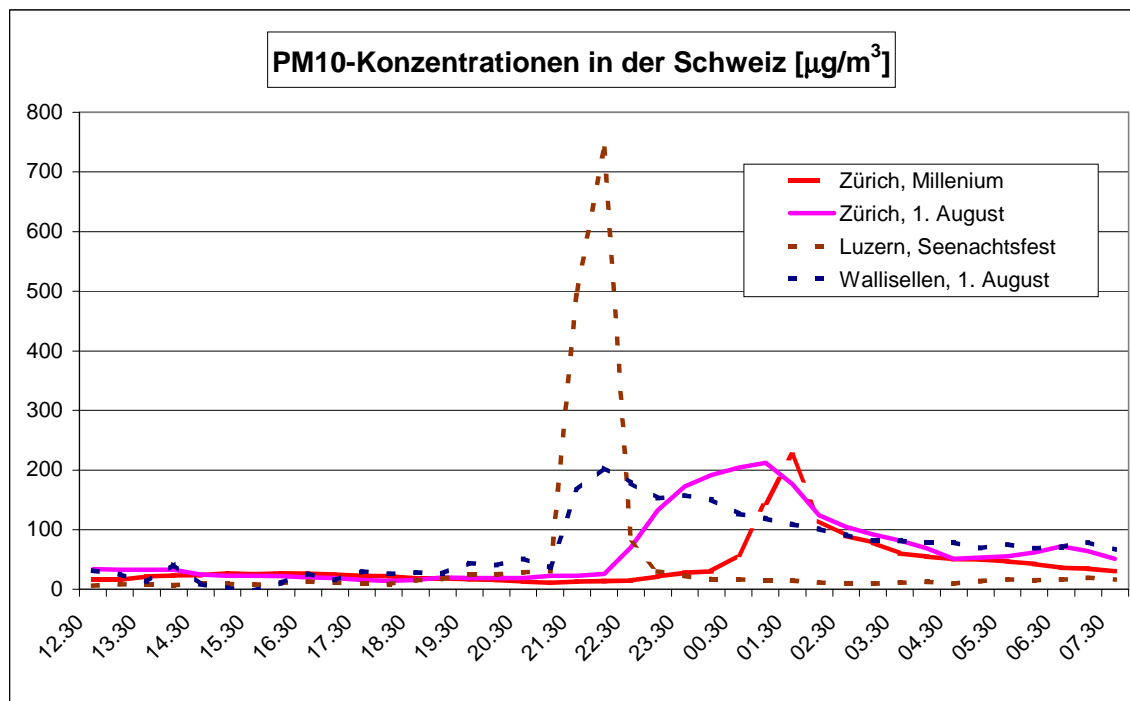


Abbildung 8: **Kurzzeitige PM10-Konzentrationen bei Feuerwerken in der Schweiz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Der Anstieg der PM10-Konzentrationen fiel je nach Anlass unterschiedlich aus: In Zürich und Wallisellen wurden bei Ausgangswerten um $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innert 1 bis 2 Stunden Spitzenkonzentrationen von $200\text{-}220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Beim Seenachtsfest in Luzern hingegen wurde bei einer ähnlichen Ausgangskonzentration ein $\frac{1}{2}$ -h-Maximalwert von $740 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Bereits nach kurzer Zeit wurden hier wieder die Ausgangsgehalte gemessen, während der Rückgang an den andern Standorten langsamer erfolgte, so dass noch am folgenden Morgen erhöhte Konzentrationen gemessen wurden.

Messdaten aus dem Ausland bestätigen den Befund der feuerwerksbedingten Spitzenbelastungen:

- In der **Rhein-Ruhr-Agglomeration**²³ in Deutschland (siehe Abbildung 6) wurde 1998/99 nach dem Silvesterfeuerwerk ein signifikanter Anstieg der Schwebstaub-Konzentrationen gemessen. Bei einer relativ hohen Ausgangsbelastung (maximales gleitendes 3 h-Mittel von ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde am 1. Januar in 39 Messstationen ein 3 h-Maximalwert von $710 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Die Schwebstaubkonzentrationen sanken schnell, so dass am folgenden Tag keine erhöhten Werte mehr zu verzeichnen waren. Da hier Schwebstaub gemessen wurde, sind diese Messreihen nicht direkt mit den obengenannten Messungen in der Schweiz vergleichbar.
- Messdaten **hessischer** Messstationen²⁴ belegen den Einfluss der Millenniumsfeuerwerke auf die Schwebstaubgehalte: am 31. Dezember wurden Tagesmittelwerte von $19\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, denen solche von $64\text{-}131 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am 1. Jan. gegenüberstehen (s. Anhang 1).
- In den **Niederlanden** ergaben die Messungen vor der Silvesterfeier 1993/94 an mehreren Standorten Feinstaubgehalte zwischen 20 und $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Noordijk]. Zwei Stunden später wurden 15- bis 30-fache Werte gemessen, die schnell wieder sanken. Die Spitzenwerte lagen in Amsterdam bei ca. $1100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in Rotterdam bei über $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (siehe Anhang 1).

Als **Fazit** bestätigen die ausländischen Messreihen, dass Feuerwerke lokal zu einer signifikanten Erhöhung der Staubkonzentrationen führen. Die erhöhten Konzentrationen beschränken sich auf einen Zeitraum von wenigen Stunden. Die Messwerte im Ausland liegen wie bei SO_2 zum Teil deutlich höher als bei den Messungen in der Schweiz. Einerseits spielen jahreszeitliche, d.h. meteorologische Einflüsse, andererseits die Lage der Messstationen eine wichtige Rolle. Trotzdem sind die deutschen Daten bemerkenswert, da der pro Kopf-Verbrauch von pyrotechnischen Sätzen in Deutschland und der Schweiz vergleichbar ist.

²³ Quelle: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. www.lua.nrw.de

²⁴ Quelle: Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLFU). www.herasum.de/luft

Für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch feuerwerksbedingte PM10-Belastungsspitzen wird der Grenzwert der **LRV** von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (als Tagesmittelwert) beigezogen. Er darf pro Jahr höchstens einmal überschritten werden²⁵.

Die Auswertung der Messwerte des Schweizerischen Luftmessnetzes NABEL für den Zeitraum vom 27.7. bis 5.8.1999 zeigt, dass zumindest in urbanen Gebieten für den 1. August ein signifikanter Anstieg der PM10-Tagesmittelwerte gegenüber den Tagen vor- und nachher festgestellt werden kann. *Im Mittel* über die betrachteten Messstationen wurde der Grenzwert der LRV 1999 zwar eingehalten. In einigen *einzelnen auch kantonalen oder kommunalen Messstationen* werden bei Feuerwerksaktivitäten allerdings Gehalte gemessen, die nahe beim, bzw. über dem Grenzwert liegen (siehe Anhang 1).

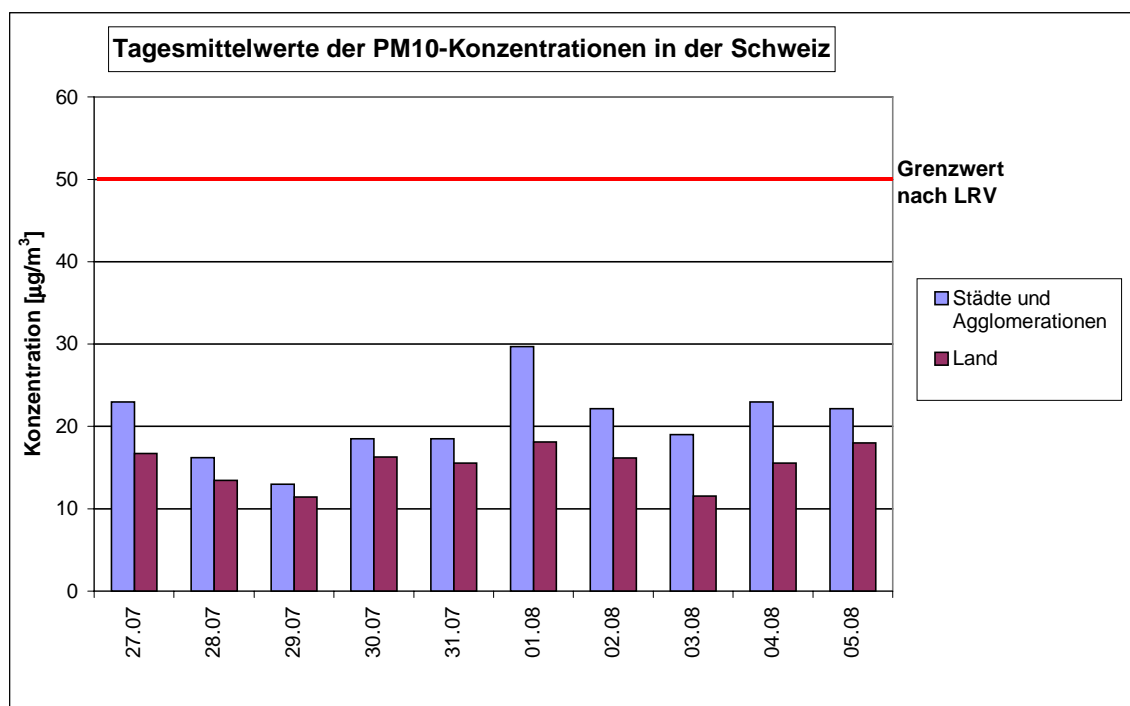


Abbildung 9: **Durchschnittliche PM10-Tagesmittelwerte in der Schweiz [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]**

²⁵ Im Jahre 1999 wurde er in Städten und Agglomerationen an 20 bis 77 Tagen überschritten. Zusätzliches Risiko bei einem Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$: 1 zusätzlicher Todesfall und 1 zusätzlicher Spitaleintritt wegen PM10 pro 1 Mio. Einwohner [BUWAL 96].

Schwebstaubinhaltsstoffe

Metalle

Immissionsmessungen, die erhöhte Gehalte pyrotechnischer Elemente in Schwebstaub belegen, liegen aus den USA [Perry], den Niederlanden [Noordijk] und der Schweiz [BRISKA] vor. In Basel wurde gezeigt, dass z.B. die Kaliumkonzentration am 1. August rund 100mal höher war, als vor- und nachher, während die Gesamtmasse von PM10 am 1. August nur wenig erhöht war. Während an gewöhnlichen Tagen Kalium hauptsächlich in den groben Teilchen enthalten war, wurde am 1. August Kalium hauptsächlich in kleinen Partikeln nachgewiesen. Emissionen von Feuerwerken kumulieren sich demnach hauptsächlich in den kleinen Partikel (Abbildung 10).

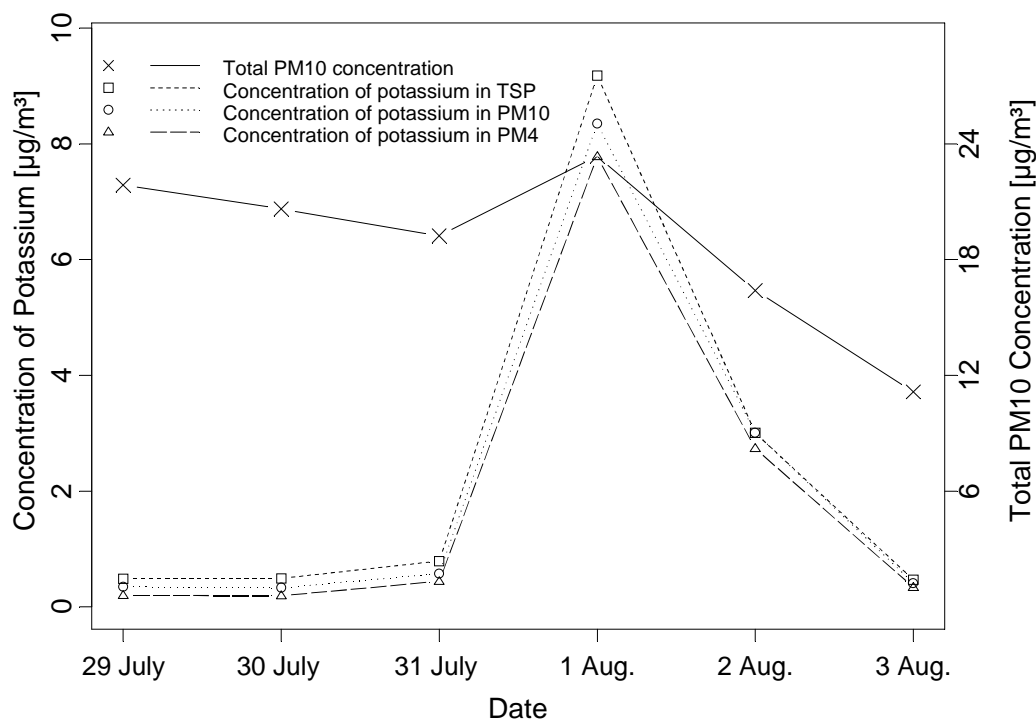


Abbildung 10: **PM10-Konzentrationen und Kaliumgehalte im Schwebstaub**

Die im Bundesstaat Washington am 4. Juli 1990, dem amerikanischen Nationalfeiertag, im Feinstaub PM2.5 gemessenen Metallgehalte (Abbildung 11) widerspiegeln recht gut die in Tabelle 12 dargestellte mengenmässige Bedeutung. So stiegen Konzentrationen der charakteristischen Inhaltsstoffe von Feuerwerkskörpern wie Strontium und Barium im Tagesmittel um das 20- bzw. 50-fache an. Die grossräumig ermittelten Konzentrationen (Mittelwerte von 34 Luftmessstationen) liegen unter den Gehalten, die in den Niederlanden am Jahreswechsel 1993/94 an einem urbanen Standort im Schwebstaub festgestellt wurden (s. Anhang 1).

Ausgehend von den in Tabelle 13 aufgeführten Blei- und Chrom- sowie Nickel-Gehalte können die Tagesmittelwerte abgeschätzt werden (ca. 200 ng/m³, bzw. <10 ng/m³). Sie unterschreiten für das Jahresmittel gültige Beurteilungswerte (Anhang 1, Tabelle A10). Dies trifft auch auf Cadmium, Arsen und Quecksilber zu, die in pyrotechnischen Sätzen als unvermeidliche Verunreinigungen vorkommen.

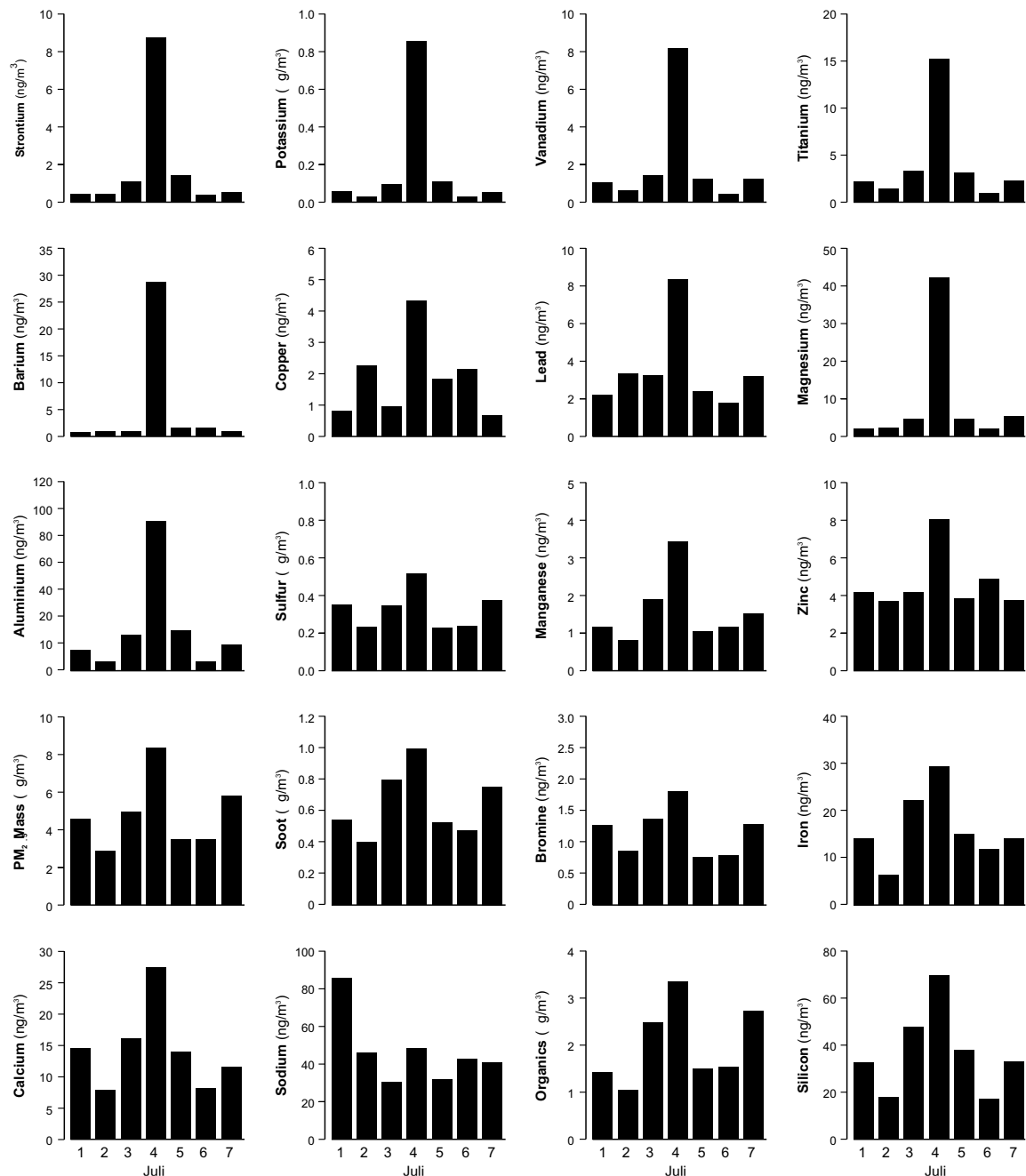


Abbildung 11: Tagesverlauf der Konzentrationen ausgewählter Schadstoffe im Feinstaub in Washington 1990 (Mittelwert aller Messstationen)

Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs)

PAHs sind eine Stoffgruppe, die aus annelierten Benzolringen aufgebaut ist. Sie haben umwelt- und gesundheitsgefährdende Eigenschaften; einige Vertreter sind als krebserzeugend und erbgutschädigend eingestuft. Als Leitkomponente zur Beurteilung des krebserzeugenden Potentials von PAHs dient oft Benzo[a]pyren (B[a]P).

PAHs entstehen vor allem bei unvollständigen Verbrennungsprozessen. Als wichtige Quellen wurden der Strassenverkehr, Holzfeuerungen und die Aluminiumindustrie identifiziert.

Neben Metallen wurden am Jahreswechsel 1993/94 in Eindhoven auch 9 PAHs im Schwebstaub bestimmt. Summenwerte (Σ PAH) von 2.2 ng/m^3 und 2.7 ng/m^3 am 31. Dezember und 2. Januar stand eine Σ PAH von 10.2 ng/m^3 am 1. Januar gegenüber. Für B[a]P betrugen die entsprechenden Werte 0.07 ng/m^3 und 0.20 ng/m^3 , bzw. 0.8 ng/m^3 [Noordijk].

Diese Werte können mit üblichen Gehalten verglichen werden. In der Schweiz wurden Mitte der 90er Jahre an einem verkehrsexponierten Standort 0.73 ng/m^3 und an zwei urbanen, nicht direkt verkehrsexponierten Standorten je 0.5 ng/m^3 B[a]P gemessen (Jahresmittel). An einem emissionsfernen Standort betrug der B[a]P-Gehalt 0.11 ng/m^3 [ATAL]. In Deutschland wurde vom LAI ein Zielwert für PAHs als B[a]P von 1.3 ng/m^3 (im Jahresmittel) festgelegt. Aus diesen Ausführungen ergibt sich, dass das Ausmass der PAH-Bildung bei Feuerwerken von untergeordneter Bedeutung ist.

Dioxine und Furane (PCDD/Fs)

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/Fs) sind eine Stoffgruppe, die viele Einzelverbindungen mit stark umwelt- und gesundheitsschädlicher Wirkung enthält, so das als „Seveso-Gift“ bekannte 2,3,7,8-TCDD. Dioxine sind persistent (schwer abbaubar) und reichern sich in der Nahrungskette an. PCDD/F können sich bei fast allen Verbrennungsprozessen bei Anwesenheit von Chlor bilden.

Zunächst stellt sich die Frage, ob und in welchem Umfang Feuerwerke zu erhöhten Dioxinbelastungen in der Umwelt führen. Bei Abbrandversuchen mit verschiedenen Feuerwerkskörpern [Fleischer] stellte man fest, dass Dioxine vor allem beim Abbrand von Feuerwerken mit Kupferanteilen gebildet werden (Cu wirkt als Katalysator). Bei anderen Feuerwerkskörpern waren die nach dem Abbrand in Luft und Verbrennungsrückständen gemessenen Dioxinmengen etwa gleich gross oder sogar geringer als die bereits in den Feuerwerkskörpern enthaltenen Dioxinmengen, d.h. es fand keine zusätzliche Dioxinbildung statt. Der Grossteil der Dioxine findet sich nach dem Abbrand in den Verbrennungsrückständen. Die höchsten dort gefundenen Dioxin-Gehalte betrugen 142 ng I-TEQ/kg .

In der Praxis liegen Messungen zu Dioxin-Gehalten in der Luft während der Bonfire Night in Oxford, Cardiff, Leicester und Lancaster vor ([Dyke], [Lohmann], [DETR]). Die Aktivitäten in der Bonfire Night umfassen - wie in der Schweiz am 1. August - Brauchumsfeuer und das Abschiessen von Feuerwerkskörpern. In Cardiff fanden sowohl ein organisiertes Feuerwerk wie ein grösseres Brauchumsfeuer statt. An allen Standorten wurde ein signifikanter Anstieg der Dioxingehalte festgestellt. Im ruralen Hazelrigg ausserhalb Lancasters wurden in zwei

Messkampagnen im Herbst 1995 Dioxin-Konzentrationen von 3.0 bis 54 fg I-TEQ/m³ bei einem Mittelwert von 14 fg I-TEQ/m³ und Median von 11 fg I-TEQ/m³ bestimmt. Die zwei Maximalwerte von 47 und 54 fg I-TEQ/m³ mass man am 6. November. Mittelwert und Median ohne diese 2 Messwerte betragen 6 und 5 fg I-TEQ/m³. Zum Vergleich wurde vom deutschen LAI für PCDD/F ein Richtwert (Jahresmittel) von 150 fg I-TEQ/m³ festgelegt.

Die Konzentrationen in Cardiff aus dem Jahre 1994 fallen aus dem Rahmen. Hier lässt sich errechnen, dass die in der Bonfire Night inhalativ aufgenommene Dioxinmenge bezogen auf die jährliche Dioxinaufnahme (v.a. mit Nahrungsmitteln) etwa 1% beträgt. In Leicester sind es 0.01%²⁶.

Tabelle 14: *Gemessene Dioxinkonzentrationen während der Bonfire Night (November) in Oxford, Cardiff [Dyke] und Leicester [Lohmann]*

	Konzentration in der Atmosphäre [fg I-TEQ/m ³]		
	vor Bonfire Night	während Bonfire Night	nach Bonfire Night
Oxford (1994)	120 – 150	620 – 650	140 – 170
Cardiff (1994)	k.A.	16'000	900 – 1400
Leicester (1997)	24	220	59

Dyke et al. [Dyke] vermuten, dass in der Bonfire Night bei vielen privaten Feuern neben naturbelassenem Holz auch verschiedene Abfälle mitverbrannt werden. Dass bei der illegalen offenen Verbrennung von Altholz und brennbarem Kehrriech hohe Dioxin-Emissionen entstehen, ist bekannt [BUWAL 93]. Fleischer et al. [Fleischer] folgern aufgrund ihrer Arbeiten, dass erhöhte Dioxin-Konzentrationen in der Bonfire Night nicht auf Feuerwerke zurückgeführt werden können. Dazu kann folgende Überschlagsrechnung angestellt werden: Ausgehend von einem angenommenen PM10-Tagesmittel in Cardiff von 150 µg/m³ errechnet sich mit einer Dioxin-Beladung von 142 ng I-TEQ/kg (maximaler Gehalt in Feuerwerk-Rückständen nach Fleischer et al.) ein Dioxin-Gehalt in der Luft von ca. 20 fg I-TEQ/m³. Demnach tragen Feuerwerke mit weniger als 1% zur PCDD/F-Belastung in Cardiff bei. Mit denselben Annahmen sind es in Oxford weniger als 3% (Dyke et al. geben keine Angaben zu PM10-Tagesmitteln. Dem PM10-Verlauf in Oxford kann jedoch entnommen werden, dass das 24h-Mittel mit Sicherheit <90 µg/m³ war).

²⁶ Die Rechnung basiert auf folgenden Annahmen: 24-stündige erhöhte Dioxinkonzentrationen bei einer Atemrate von 0,8 m³/h; tägliche Dioxinaufnahme nach [BUWAL99] von 110 pg I-TEQ/Person (die akzeptierbare tägliche Aufnahme ADI beträgt 1-4 pg I-TEQ/kg BW [van Leeuwen]).

Folgerungen

Die Erkenntnisse über die feuerwerksbedingten Staubinhaltsstoffe können wie folgt zusammengefasst werden: Untersuchungen aus dem In- und Ausland ergeben, dass erhöhte Metall-Gehalte in der Luft an speziellen Feiertagen auf Feuerwerke zurückzuführen sind. Hingegen werden polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) und Dioxine (PCDD/Fs) im wesentlichen durch Brauchfeuer freigesetzt, besonders dann, wenn Altholz und andere Abfälle mitverbrannt werden. Feuerwerksbedingte Stäube unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung wesentlich von Stäuben aus anderen Emissionsquellen. Die gesundheitlichen Risiken sind nur unzureichend erforscht. Folgende Fallstudien befassen sich mit diesen Aspekten.

Schwebstaub und Lungenfunktionsparameter (Fallstudien Hawaii)

Unmittelbare Auswirkungen von Schwebstaubimmissionen auf verschiedene Lungenfunktionsparameter wurden in zwei hawaiianischen Studien ([Bach], [Smith]) untersucht. Die Messung der Beeinträchtigung der Lungenfunktion ist der sensitivste Parameter zur Beurteilung möglicher negativer Auswirkungen von feuerwerksbedingten erhöhten Staubkonzentrationen.

Bach et al. [Bach] schätzen den Verbrauch von Feuerwerkskörpern in Hawaii Mitte der 70er Jahre auf jährlich ca. 450 Tonnen (entsprechend ca. 470 g pro Kopf). Beim Jahreswechsel 1973/74 wurden die Schwebstaub-Tagesmittelwerte (20.00-20.00) an 14 Messtationen auf Oahu gemessen und variierten zwischen 48 und 273 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einem Mittelwert von 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies stellte eine signifikante Zunahme gegenüber dem Vortag (12 bis 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einem Mittelwert von 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dar. Die Zunahme war bei den Partikeln mit einem Durchmesser $<4.7 \mu\text{m}$ besonders ausgeprägt, wie [Bach] beispielhaft an zwei Standorten in Honolulu zeigte (Tabelle 15).

Tabelle 15: Grössenverteilung PM in Honolulu 1973/74 (24h-Mittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Partikeldurchmesser [μm]	Tal		Anhöhe	
	vor	während	vor	während
>11	1	3	2	3
7-11	1	3	0	2
4.7-7	4	6	1	4
3.3-4.7	4	5	2	4
2.1-3.3	2	2	1	3
1.1-2.1	1	22	0	2
0.65-1.1	1	24	0	4
0.43-0.65	1	25	1	6
Total	15	90	7	28

Um den Einfluss von Feuerwerksstäuben auf Atemfunktionen zu untersuchen, mass [Bach] als dynamische Funktionsgrösse den expiratorischen Spitzenfluss (Peak-Flow PEF) von 12 weiblichen Versuchspersonen im Alter zwischen 50 und 95 Jahren (im Mittel: 82 Jahre) jeweils morgens am 31. Dezember 1973 und 1. Januar 1974 in einem Pflegeheim in Palolo (Oahu). Drei der Versuchspersonen hatten chronische Atemwegserkrankungen (Asthma und/oder chronische Bronchitis). An der Messtation in Palolo betrug am 1. Januar der 24h-Mittelwert $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Vortag (jeweils von 20.00-20.00).

Die Mittelwerte der PEFs betrugen 323 l/min vor und 296 l/min. nach der Episode. Die Senkung des PEFs um 8% war statistisch nicht signifikant. Bei den drei handicapierten Versuchspersonen betrug sie 24% (von 393 l/min. auf 298 l/min.).

Die Auswertung der Behandlungen in der Notfallaufnahme aufgrund von chronischen Atembeschwerden in fünf grossen Spitälern Honolulu ergab folgendes Bild: In der Periode vom 31. Dezember 1971 bis zum 1. Januar 1972 wurden 68 Fälle registriert während in der Kontrollperiode vom 24.-26. Dezember 32 Fälle gezählt wurden. Die Zunahme von 113% war statistisch signifikant. Bezüglich Todesfällen konnte in der Auswertung kein statistischer Zusammenhang gefunden werden.

Möglicherweise wird der Zusammenhang zwischen Feuerwerken und Atembeschwerden unterschätzt. [Bach] und [Smith] zitieren die Resultate einer 1973 durchgeführten Umfrage, an der 175 Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen teilnahmen: 68% der Patienten blieben in der Neujahrsnacht vorsorglich zu Hause und erhöhten die Dosis der Medikamente. Trotzdem klagten 73% von ihnen über Atemschwierigkeiten während der Feuerwerke; 6% mussten die Notaufnahme aufsuchen.

[Smith] massen statische und dynamische Lungenfunktionsgrössen²⁷ an 9 Versuchspersonen in der Neujahrsnacht 1972/73 in Honolulu. Zwei Versuchspersonen wiesen chronische Atemwegserkrankungen auf. Die Lungenfunktionsmessungen begannen um 23.35 Uhr und dauerten bis 00.30 Uhr. Während der 15 Minuten vor Mitternacht stiegen die Schwebstaubkonzentrationen von bereits $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Um Mitternacht mass man über $3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die normalen Ausgangsgehalte stellten sich um 1.30 Uhr wieder ein. Während der Lungenfunktionstests betrug der mittlere Schwebstaubgehalt mindestens $2150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In Tabelle 16 sind die 18h-Mittelwerte der Schwebstaubgehalte nach Partikeldurchmesser für den 30./31. Dezember, bzw. 31. Dezember/1. Januar aufgeführt.

²⁷ Als statische Funktionsgrösse wurde die forcierte expiratorische Vitalkapazität (FVC) gemessen. Dynamische Funktionsgrössen waren die relative 1-Sekunden-Kapazität (FEV1) und der forcierte expiratorische Fluss zwischen 25 und 75% der Vitalkapazität (FEV25-75%).

Tabelle 16: Grössenverteilung PM in Honolulu 1972/73

Durchmesser [µm]	Konzentration am 30./31.12 (18.00-12.00) [µg/m ³]	Konzentration am 31.12/01.01 (20.00-13.00) [µg/m ³]
>8.8	2	5
5.6-8.8	1	4
3.8-5.6	7	7
2.7-3.8	3	10
1.7-2.7	2	7
0.84-1.7	1	14
0.52-0.84	2	40
0.34-0.52	2	28
Total	20	113

Die Auswertung der Lungenfunktionstests ergab für die zwei Versuchspersonen, die unter Atemwegserkrankungen litten, eine 26%-ige Abnahme des FEV_{25-75%}. Bei 5 der 7 gesunden Probanden wurde eine geringe, nicht signifikante, Absenkung des FEV_{25-75%} festgestellt. Die Autoren kommen zum **Fazit**, dass feuerwerksbedingte Immissionen keine oder eine nur vernachlässigbare Wirkung auf gesunde Menschen haben. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die in der Schweiz registrierten Spitzen- und Mittelwerte für Schwebstaub signifikant unter den hawaiianischen Messwerten liegen.

6.2.3 Böden

Ein Vergleich der errechneten feuerwerksbedingten Depositionsraten mit üblichen Depositionsraten in urbanen Gebieten ergibt, dass erstere neben Kalium für Aluminium, Barium, Blei, Kupfer, Strontium und Vanadium von gewisser Bedeutung sind (>1% im Jahresmittel). Die hinsichtlich phytotoxischer Wirkungen in Tabelle 17 aufgelisteten zulässigen Bodenadditionen für Al, Ba, Pb und Cu²⁸ sind Screening Levels und entsprechen chronischen NOAELs (No Observed Adverse Effect Levels). Sie wurden in [USEPA'99] unter Anwendung bestimmter Sicherheitsfaktoren aus Dosis-Wirkungs-Beziehungen von „spiked soil toxicity tests“ abgeleitet. Zulässige Additionen für Sr und V wurden mittels Equilibrium-Partitioning-Approach²⁹ erhalten. Die Werte liegen in der Einheit mg/kg vor und wurden via eine Belastungstiefe von 20 cm und einer Bodendichte von 1400 kg/m³ in die Einheit g ha⁻¹ umgerechnet. Den zulässigen Additionen sind in Tabelle 17 die abgeschätzten feuerwerksbedingten Depositionen (Szenarium 1. August) gegenübergestellt (s. Tabelle 13).

Tabelle 17: Vergleich feuerwerksbedingter Depositionen mit zulässigen Bodenadditionen

Stoff	Deposition [g ha ⁻¹ a ⁻¹]	Zulässige Addition [g ha ⁻¹]
Aluminium (Al)	11	14'000
Barium (Ba)	9	14'000
Blei (Pb)	1.5	12'880
Kupfer (Cu)	1.4	2800
Strontium (Sr)	1.0	16'800
Vanadium (V)	0.05	310

Als **Fazit** ergibt sich, dass feuerwerksbedingte Bodeneinträge im Hinblick auf eine multifunktionale Bodennutzung unproblematisch sind. Bei K und Mg betragen die feuerwerksbedingten Einträge weniger als 0.05% bezogen auf die Austräge mit dem Erntegut. Sulfid (Eintrag: 3.4 g/ha) wird in Böden unter aeroben Bedingungen zu Sulfat oxidiert oder mit Metallen ausgefällt. Schwefel (Eintrag: 6.8 g/ha) ist schliesslich ein in der Schweiz in relativ hohen Konzentrationen eingesetztes Fungizid (im Obstbau 5 g/l, im Weinbau mehrere kg/ha).

²⁸ siehe Anhang 2: TRV_{Plant}

²⁹ siehe Anhang 2: MPA EqP

6.2.4 Indirekte Effekte

Folgende drei **Expositionspfade** wurden untersucht:

- **Futtermittel:** Es wird angenommen, dass durch Deposition von Feuerwerks-Reaktionsprodukten ein Gras-Schnitt kontaminiert wird.

Gleichung 1:		$C_z(\text{FM}) = \frac{D}{E}$	
$C_z(\text{FM})$	zusätzliche Elementgehalte in Gras	[mg/kg TS]	
D	feuerwerksbedingte Elementdeposition	[g ha ⁻¹]	Tab. 13 ^a
E	Ernteertrag Gras pro Schnitt	[t TS ha ⁻¹]	2

^a in Ermangelung von Messdaten werden die Schätzwerte in Tabelle 13 eingesetzt (Faktor mg m⁻² → g ha⁻¹ = 10)

- **Nahrungsmittel:** Als Szenarium wird die Deposition auf von in Haus- und Familiengärten gezogenem Salat gewählt.

Gleichung 2:		$A_z(\text{NM}) = \frac{D \cdot K}{n \cdot bw} \cdot 1000$	
$A_z(\text{NM})$	zusätzliche Elementaufnahme mit Salat	[μg (kg b.w.) ⁻¹ d ⁻¹]	
D	feuerwerksbedingte Elementdeposition	[mg m ⁻²]	Tab. 13 ^a
n	Anzahl gepflanzte Salate pro m ²	[1/m ²]	16
K	Anzahl konsumierte Salate pro Tag u. Person	[1/d]	1
bw	Körpergewicht Erwachsene	[kg]	60

^a in Ermangelung von Messdaten werden die Schätzwerte in Tabelle 13 eingesetzt

- **Staubingestion:** Hier wurde wie folgt gerechnet.

Gleichung 3:		$A_z(\text{Ing}) = \frac{D}{bw} \cdot \frac{L \cdot \text{Ing}}{1000} \cdot 1000$	
$A_z(\text{Ing})$	zus. Elementaufnahme durch Staubingestion	[μg (kg b.w.) ⁻¹ d ⁻¹]	
D	feuerwerksbedingte Elementdeposition	[mg m ⁻²]	Tab. 13 ^a
L	Surface Load Staub	[g m ⁻²]	3 ^a
Ing	Orale Staubaufnahme Kinder	[mg/d]	200
bw	Körpergewicht Kinder	[kg]	15

^a in Ermangelung von Messdaten (z.B. Wischproben, Staubsaugerproben) wurden die zusätzlichen Elementgehalte im Staub aus den jeweiligen feuerwerksbedingten Depositionsraten (Tabelle 13) und dem angenommenen „Surface Load“ nach [Bris] von 3 g/m² errechnet.

1. **Futtermittel:** Verglichen mit üblichen Gehalten resultiert durch feuerwerksbedingte Einträge eine Gehaltserhöhung über 1% bei den Elementen Al, Ba, Pb, Cu, V, Cr, Ti, Sb und As. In Tabelle 18 sind den zusätzlichen Elementgehalten im Gras C₂(FM) übliche Grasgehalte sowie amerikanische Beurteilungswerte für die Tiergesundheit (Maximum Tolerable Levels MTLs) gegenübergestellt. MTLs geben an, bis zu welcher Konzentration der einzelnen Stoffe schädliche Auswirkungen erfahrungsgemäss ausgeschlossen werden können. Für Pb, Cu und As sind Schweizer Limiten gemäss Futtermittelbuch-Verordnung (FMBV) aufgeführt (s. Anhang 2).

Tabelle 18: Vergleich der feuerwerksbedingten Belastung von Futtermitteln mit tolerierbaren Gehalten

Stoffe	Konzentrationen im Gras [mg/kg TS]		zulässige Gehalte [mg/kg 88%TS]
	zusätzliche Gehalte	übliche Gehalte	
Aluminium (Al)	6	80	1000
Barium (Ba)	5	10	20 (löslich)
Blei (Pb)	1	0,5	5
Kupfer (Cu)	1	9	15
Vanadium (V)	0,3	0,2	50
Chrom (CrIII)	0,02	0,5	1000
Titan (Ti)	0,2	2	...
Antimon (Sb)	0,05	0,02	...
Arsen (As)	0,003	0,05	2

Zusammenfassend kann man feststellen, dass Feuerwerke nicht zu einer Ueberschreitung von Beurteilungswerten für die Tiergesundheit führen.

Bei Titan wurden in Versuchen keine Hinweise auf toxische Effekte festgestellt. Screening Levels für Antimon im Gras liegen bei 0,4 mg/kg (tolerierbare Gehalte) und 7,5 mg/kg (obere Grenze s. Anhang 2) bei einem geschätzten zusätzlichen Gehalt von 0.05 ppm. Toxische Gehalte von anorganischen S-Verbindungen in Futtermitteln betragen 4000 ppm (als S) und mehr. Die Toxizität ist auf die Bildung von Schwefelwasserstoff im Magen-Darm-Trakt (auch von Wiederkäuern) zurückzuführen (zusätzliche S-Gehalte durch Feuerwerke: ca. 5 ppm).

Bei Barium basiert der Maximum Tolerable Level MTL von 20 ppm auf einer Extrapolation von Toxizitätsdaten (Endpunkte: Mortalität) sowie Daten zur Inhibition des Cellulose-Abbaus durch Pansen-Mikroorganismen. Auf Basis eines chronischen LOAELs (Lowest Observed Adverse Effect Level) wird eine obere Grenze für Ba im Gras von 100 mg Ba/kg abgeleitet (s. Anhang 2). Die Beurteilungswerte gelten explizit nur für lösliche Ba-Salze. Unlösliche Bariumsalze werden als unbedenklich eingestuft.

2. Nahrungsmittel und Staubingestion Kinder: Verglichen mit üblichen Elementaufnahmen mit der Nahrung resultiert durch feuerwerksbedingte Elementaufnahmen durch Salatkonsum, bzw. durch Staubingestion von Kindern bei den Elementen Al, Ba, Pb, V und Sb, bzw. Al, Ba, Pb, Cu, Sr, Sb, Cr, As und V eine zusätzliche Aufnahme von mehr als 1%. In den Tabellen 19 und 20 sind den abgeschätzten zusätzlichen Elementaufnahmen übliche -Aufnahmen sowie als Beurteilungswerte PTWIs der WHO (Provisional tolerable weekly intake) oder RfDs (Oral Reference Dose) der US-Umweltbehörde EPA Region IX gegenübergestellt. RfDs bezeichnen duldbare lebenslange Aufnahmen ohne nachteilige Wirkungen auch für empfindliche Subgruppen

Tabelle 19: Vergleich zusätzlicher oraler Element-Aufnahmen mit tolerierbaren Aufnahmen für Erwachsene [$\mu\text{g (kg b.w.)}^{-1} \text{ d}^{-1}$]

Stoff	Zusätzliche Aufnahme mit «Salat»	Übliche Aufnahme mit der Nahrung	Beurteilungswerte	
Aluminium (Al)	1	65	1000	PTWI
Barium (Ba)	1	18	70	RfD _o
Blei (Pb)	0,2	0,4	3,5	PTWI
Vanadium (V)	0,1	0,3	7	RfD _o
Antimon (Sb)	0,01	0,02	0,4	RfD _o

Tabelle 20: Vergleich zusätzlicher Element-Aufnahmen mit oraler Staubeinnahme durch Kinder mit tolerierbaren Aufnahmen [$\mu\text{g (kg b.w.)}^{-1} \text{ d}^{-1}$]

Stoff	Zusätzliche Aufnahme mit «Staub»	Übliche Aufnahme mit der Nahrung	Beurteilungswerte	
Aluminium (Al)	5	65	1000	PTWI
Barium (Ba)	4	18	70	RfD _o
Blei (Pb)	1	0,4	3,6	PTWI
Kupfer (Cu)	1	42	500	PTWI
Strontium (Sr)	0,5	27	600	RfD _o
Vanadium (V)	0,2	0,3	7	RfD _o
Antimon (Sb)	0,05	0,02	0,4	RfD _o
Chrom (Cr)	0,02	1	1500	RfD _o
Arsen (As)	0,002	0,2	2	PTWI

Zwar liegt für einige Elemente in den beiden Szenarien die feuerwerksbedingte zusätzliche gegenüber der üblichen Aufnahme in einer signifikanten Grössenordnung, jedoch werden Beurteilungswerte nicht überschritten. Als **Fazit** ergibt sich, dass die zusätzlichen Elementaufnahmen in Anbetracht der kurzen Expositionszeit nicht problematisch sind.

6.2.5 Abwasser und Gewässer

Abwasser

Auf versiegelten Flächen deponierte Schadstoffe werden mit dem Regenwasser abgeschwemmt. In Abhängigkeit der Abwasserführung gelangt das Regenwasser direkt in Oberflächengewässer (Trennkanalisation), zur Versickerung (Dachwasser, Strassenwasser) oder in Kläranlagen (Mischwasserkanalisation). Die Ableitung des Regenwassers via Mischkanalisation ist heute noch am meisten verbreitet. Es wird ein Regenereignis am 2. August mit einer Intensität von 1.5 mm/h angenommen. Tabelle 21 fasst die abgeschätzten feuerwerksbedingten und übliche Gehalte im Abschwemmwasser zusammen. Als Screening Levels für die Beurteilung sind toxische Grenzkonzentrationen für Bakterien (Hemmung der Zellvermehrung) mitaufgeführt.

Tabelle 21: *Feuerwerksbedingte Elemente im Meteorwasser – Vergleich mit Strassenabwasser [mg/l gesamt] und bakterientoxischen Gehalten [mg/l gelöst]*

Stoff	Runoff nach 1. August*	Schnee neben Strassen CAN	Runoff Strassen allgemein	Toxische Grenzkonz. TGK
Aluminium (Al)	1	12	19	2,5
Barium (Ba)	1	0,25	0,15 (gelöst)	≈20'000
Blei (Pb)	0,1	2	0,15-0,45	2
Kupfer (Cu)	0,1	0,1	0,05-0,25	0.03
Strontium (Sr)	0,1	0,1	...	<200
Eisen (Fe)	0,1	24	2-10	>3400
Titan (Ti)	0,03	1	0,025 (gelöst)	...
Vanadium	0,03	...	0,002 (gelöst)	≈30
Antimon (Sb)	0,01	...	...	>2
Sulfid	0,2	...	...	1,6

* Die Konzentration von feuerwerksbedingten Schadstoffen im Abschwemmwasser errechnet sich aus den geschätzten Depositionsraten nach Tabelle 13 (Szenarium 1. August) dividiert durch die Regenintensität von 1.5 l/m².

Für das moderate einstündige Regenereignis nach dem 1. August errechnen sich für einige Elemente zwar hohe Gehalte von Feuerwerks-Reaktionsprodukten im Abschwemmwasser, die jedoch in ARAs keine Probleme bereiten. Die hohe Bakterientoxizität von Cu kann dahingehend relativiert werden, als dass Cu-Gesamtgehalte im ARA-Zulauf auch bei Trockenwetter i.d.R. grösser als 30 µg/l sind und Cu zu einem Grossteil an Feststoffe sorbiert.

Im Falle der Einleitung von Feuerwerksreaktionsprodukte enthaltendem Meteorwasser in Gewässer (Trennkanalisation) variiert die Belastung aufgrund der regional grossen Unterschiede der Verdünnungsverhältnisse und der enormen Dynamik der Regenabflüsse stark. Dabei werden die Schadstoffe in unkontrollierter Weise verfrachtet. Verglichen mit den kon-

tinuierlichen Gewässereinträgen mit ARA-Abläufen und unter Berücksichtigung üblicher Elementgehalte im Meteorwasser sowie der Seltenheit von Feuerwerksevents ergeben Grobschätzungen, dass Feuerwerkselemente mit Sicherheit nicht bedeutend zur Belastung von Fließgewässern beitragen.

Gewässer

Es soll nun eine Abschätzung der Belastung von stehenden Gewässern durch **Grossfeuerwerke** vorgenommen werden, die beispielsweise im Rahmen von Seenachtsfesten abgefeuert werden.

Gleichung 4:		$C_z(\text{WS}) = \frac{D}{V}$	
$C_z(\text{WS})$	Zusätzliche Elementgehalte in der Wassersäule	[µg/l]	
D	Feuerwerksbedingte Elementdeposition	[mg/m ²]	Tab. 13 ^a
V	Durchmischungstiefe	[m]	...

^a in Ermangelung von Messdaten werden die Schätzwerte in Tabelle13 (Szenarium Seenachtsfest) eingesetzt

Gleichung 4 ergibt, dass bei einer Durchmischungstiefe von 1 m die im Szenarium Seenachtsfest abgeschätzten Depositionsraten gerade den zusätzlichen Gehalten in der Wassersäule in µg/l entsprechen. Verglichen mit auf langfristige Belastungen ausgelegten Beurteilungswerten ergeben sich Verhältnisse von ca. 0,15 bei Blei und Kupfer und von <0,01 für die übrigen Metalle. Amerikanische Schwellenwerte für kurzzeitige Belastungen (CMCs) betragen 13 µg/l für Cu und 65 µg/l für Pb. Damit errechnen sich mit den abgeschätzten Gehalten von je ca. 0,1 µg/l Verhältnisse von <0,01.

Auch für Sulfid wurde als Beurteilungswert ein Schwellenwert für kurzfristige Belastungen gewählt. Sulfid ist ein Reduktionsmittel³⁰; die Oxidation erfolgt schnell, die Halbwertszeit von H₂S für ein Wasser mit 5 mg/l O₂ wird mit 20 Minuten angegeben [DVWK'96]. Dem errechneten Sulfidgehalt von 0,3 µg/l steht ein Beurteilungswert (s. Anhang 2) von 50 µg/l gegenüber. Im Sommer betragen übliche Durchmischungstiefen in Seen rund 10 m. Damit werden bei einem gewählten V = 1 m Unsicherheiten in der Depositionsabschätzung genügend Rechnung getragen.

³⁰ Standardelektrodenpotential $\epsilon^- = -0,51 \text{ V}$ für den Elektrodenprozess $\text{S}^{2-} \leftrightarrow \text{S} + 2\text{e}^-$

Quantitative Angaben zum Ausmass der **Sedimentbelastung** durch depositionsbedingte Einträge aus der Luft sind unsicher. Einflussfaktoren sind Fällungsreaktionen, Adsorption an mineralische Partikel, bzw. Einbau in Biomasse, Partikelgrösse, bzw. Sinkgeschwindigkeit und damit in Abhängigkeit der Distanz zu Zuflüssen sowie der Strömungsbedingungen variierende Sedimentationsraten in Seen. Beispielsweise errechnen sich in Abhängigkeit der Partikelgrösse für eine Falltiefe von 10 m Sedimentierzeiten in der Grössenordnung von Stunden ($d=10-50\ \mu\text{m}$) bis Wochen ($d=1\ \mu\text{m}$). So zeigen Metallgehalte in Seesedimenten grosse Streubreiten; an 7 Standorten im Bodensee betragen die Sr-Gehalte zwischen 300 und 700 ppm³¹.

Zur Illustration sind in Tabelle 22 den errechneten feuerwerksbedingten Einträgen aus der Luft Sedimentationsraten in Seen gegenübergestellt.

Tabelle 22: Vergleich geschätzter Element-Einträge in Seewasser bei Grossfeuerwerken mit üblichen Sedimentationsraten

Stoff	Eintrag mit Grossfeuerwerk [mg/m^2]	Sedimentationsraten [$\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$]	
		See (USA) ^a	Bergsee (CAN) ^b
Aluminium (Al)	1	$\approx 100'000$	5500
Barium (Ba)	1	...	65
Blei (Pb)	0,15	133	43
Kupfer (Cu)	0,15	83	17
Strontium (Sr)	0,1	250	46
Titan (Ti)	0,05	6500	112
Vanadium (V)	$\approx 0,05$	...	17

^a Der amerikanische Lake Champlain liegt in New York State und hat eine Fläche von 50'000 ha bei einem Einzugsgebiet von 980'000 ha. Die Sedimentationsraten wurden errechnet aus den mittleren Elementgehalten in den Sedimenten (bis ca. 40 cm Tiefe) und der von den Autoren [Wahlen] angegebenen Sedimentationsrate von $1400\ \text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$. Die nach Abzug der Hintergrundgehalte angegebenen „Nettoflüsse“ (excess flux) betragen $160\ \text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ und $50\ \text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ für Pb und Cu. In einer Arbeit von Sanders et al. [Sanders] errechnen sich in einem englischen See mit ruralem Einzugsgebiet für rezente Sedimente (0-2 cm) „Bruttoflüsse“ von $150\ \text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ und $47\ \text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ für Pb und Cu.

^b Der kanadische Lake Hertel ist ein kleines mesotrophes Gewässer (33 ha, maximale Tiefe: 8m) mit einem Einzugsgebiet von ca. 280 ha in einem anthropogen unbelastetem Gebiet mit drei intermittierenden Zuflüssen mit einem wesentlichen Volumenstrom jeweils während der Schneeschmelze. Die semi-quantitative Bestimmung der Sedimentationsrate der Elemente erfolgte durch Gélinas et al. [Gélinas] mit Hilfe der Elementgehalte in den Sedimenten und der mittleren Sedimentationsrate von $430\ \text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$.

³¹ Nimmt man im Falle der feuerwerksbedingten Einträge trotzdem eine orientierende Grobschätzung vor, zeigt sich folgendes: Bei einem vollständigen Transfer der Einträge in die Sedimente und einer relativ tiefen Sedimentationsrate im See von 1 mm/a entsprechend ca. 100 g TS/a errechnen sich relevante Gehaltszunahmen für Ba, Cu, Sr und V. Das Verhältnis der errechneten zusätzlichen Gehalte mit im EqP-Approach erhaltenen tolerierbaren zusätzlichen Gehalten beträgt jedoch maximal 0.05.

Literatur

[AHSt]

Schweizerische Aussenhandelsstatistik Jahresstatistiken

[Alenfelt]

Chemical Analysis of Consumer Fireworks. Journal of Pyrotechnics, Issue 11, Summer 2000 (auch als Kap. 6.6.3 in der schwedischen Studie über pyrotechnische Artikel (N 1998:7): Ja till Fyrverkeriermen med färre skador. Nordstedts Tryckeri AB, Stockholm.

[ATAL]

Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich: Luft-Schadstoffe im Kanton Zürich – Immissions-Messbericht 1995.

[Bach]

Bach, W. Daniels A., Dickinson L., Hertlein F., Morrow J., Margolis S., Dinh Dinh V.: Fireworks pollution and health. International Journal for Environmental Studies 1975, Vol. 7 pp. 183-192.

[Belevi]

Belevi H.: Environmental Engineering of Municipal Solid Waste Incineration; vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 1998.

[bfu]

Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu): Unfallgeschehen in der Schweiz. Statistik 2000. <http://www.bfu.ch/forschung/statistik/index.htm>

[Berdowski]

Berdowski J.J.M., Brouwer J.G.H., Draaijers G.P.J., Evers C.W.A.: Emission Data for the Netherlands. 1995 and estimates for 1996. Publication series Emission Inventory Nr. 42, December 1997. Ed. Inspectorate General for Environmental Protection.

[Bris]

Bris F.-J. et al.: A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment. The Science of the Total Environment 235 (1999) 211-220.

[BRISKA]

Braun-Fahrländer Ch., Theis G., Künzli N., Camenzind M., Rösli M., Monn Ch.: Gesundheitsrisiko durch Luftschadstoffe in der Region Basel. 1. Bericht der Studie BRISKA. Hrsg. Lufthygieneamt beider Basel, Liestal & Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Basel (1999).

[BUWAL 93]

Schriftenreihe Nr. 208: Dioxin-Emissionen von Holzfeuerungen.

[BUWAL 95]

Schriftenreihe Nr. 256: Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900-2010.

[BUWAL 96]

BUWAL: Schriftenreihe Umwelt Nr. 270. Schwebestaub. Messung und gesundheitliche Beurteilung. Bern, 1996.

[BUWAL 97]

BUWAL: Dioxine und Furane: Standortbestimmung - Beurteilungsgrundlagen - Massnahmen. Bern, 1997.

[BUWAL 99]

Kupfer in der Schweiz – Standortbestimmung (Berichtsentwurf); BUWAL Bern, 1999.

[CPSC]

U.S. Consumer Product Safety Commission CPSC injury surveillance report. Washington, 1998. Zitiert in: <http://www.fireworksafety.com/stats/>

[D'Argenarior]

D'Argenarior, P.; Cafaro, L.; Santonastasi, F.; Taggi, F.; Binkin, N.: Capodanno Senza Danno: the effects of an intervention programme on fireworks injuries in Naples; Am J. Public Health, 86:1:84-6; Jan. 1996.

[DETR]

UK Department of the Environment Transport and the Regions: Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data (Summary Report produced for European Commission DG Environment), October 1999.

[DTI]

Department of Trade and Industry: Firework Injuries in Great Britain. www.dti.gov.uk/CACP/ca/firestat.htm

[Dyke]

Dyke, P.; Coleman, P.; James, R.: Dioxins in Ambient Air, Bonfire Night 1994 in: Chemosphere, Vol. 34, Nos. 5-7 pp. 1191-1201. Elsevier, 1997.

[DVWK'96]

Merkel B., Sperling B.: Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil I. DVWK-Schriften 110. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 1996.

[Encyclopedia]

N.N.: Pyrotechnics. Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc., New York. 1986.

[Fleischer]

Fleischer, O.; Wichmann, H.; Lorenz, W.: Release of Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxins and Dibenzofurans by Setting Off Fireworks in Chemosphere, Vol. 39, No.6, pp. 925-932. Elsevier, 1999.

[Gélinas]

Gélinas Y., Lucotte M., Schmit J.-P.: History of the atmospheric deposition of major and trace elements in the industrialized St. Lawrence Valley, Quebec, Canada. Atmospheric Environment 34 (2000) 1797-1810.

[Greene]

Greene M.A., Race P.M.: 2000 Fireworks Annual Report. U.S. Consumer Product Safety Commission, Washington, DC, June 2001.

[Herrchen]

Herrchen, M.; Keller, D.: Analyse der ökologischen Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks - ökologische Bilanzierung. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Oekotoxikologie. (unveröffentlichte Studie). Schmollenberg, 1996.

[Hohmann'85]

Schallmessprotokoll 302-688/8.85 Kunstfeuerwerk (1. August-Feuerwerk der Stadt Interlaken 1984 und 1985). SUVA, Luzern 1985.

[Hohmann'95]

Schallmessprotokoll 00000/08.95 Feuerwerkskörper (Knallteufel, Corsait, Dragon Banger, Blitz Knatterball, Flashing Thunder). SUVA, Luzern 1995.

[Hohmann'99]

SUVA: Impulslärm und Gehörschäden. Internes Papier. Luzern, 1999.

[Hohmann'99]

SUVA: Impulslärm und Gehörschäden. Internes Papier. Luzern, 1999.

[Hohmann'01]

Hohmann, B.: Messergebnisse Feuerwerk "Prometheus", 16.08.01, Luzern.

[Karlagnis]

Karlagnis, G.: Schadstoffgehalte von Feuerwerkskörpern. In: BUWAL-Bulletin 2/90

[Lohmann]

Lohmann R., Green N.J.L., Jones K.C.: Detailed Studies of the Factors Controlling Atmospheric PCDD/F Concentrations. Environ. Sci. Technol. 1999, 33, 4440-4447.

[Maglieri]

Maglieri D. J., Henderson H. R.: Noise from aerial bursts of fireworks. The Journal of the Acoustical Society of America. Volume 54, Number 5, 1973

[Mayer]

Mayer A.: Emissionsfaktoren für Feinstäube aus dem Strassenverkehr. Im Auftrag des BUWAL Abteilung Luftreinhaltung (310.96.41).

[Meier]

Meier Markus (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL Kt. Zürich): Datenlieferungen aus dem kantonalen Luftmessnetz.

[Menke]

Menke, K.: Die Chemie der Feuerwerkskörper. In: Chemie in unserer Zeit, 1978, Nr.1.

[Morell]

Morell, T.; Lohmann, M.; Basse, P.N.: Injuries due to fireworks; in: Ugeskr Laeger, 154:52:3736-8; 21. Dezember 1992.

[NCIPC]

National Center for Injury Prevention and Control (USA): Internet-Seite. www.cdc.gov/ncipc/duip/fworks.htm.

[Noordijk]

Noordijk, H.: Luchtverontreiniging door vuurwerk tijdens jaarwisseling van 1993-1994. RIVM Rapport Nr. 722101007. Bilthooven 1994.

[Perry]

Perry, K.: Effects of outdoor pyrotechnic displays on the regional air quality of Western Washington State. Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 49, Febr. 1999.

[Plontke]

Plontke St., Herrmann C., Zenner H.P.: Gehörschäden durch Silvester-Feuerwerkskörper. HNO 12/99. 1017-1018.

[Rauterberg]

Rauterberg-Wulff A: Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Russemission an Strassen. Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 202. VDI Verlag 1998.

[Sanders]

Sanders G., Jones K.C., Hamilton-Taylor J.: Concentrations and Deposition Fluxes of PAHs and Heavy Metals in the Dated Sediments of a Rural English Lake. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 12, pp. 1567-1581, 1993.

[SKF]

Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerke (SKF): Broschüren und Internet-Seite.

[Smith]

Smith, R.M.: Changes in forced expiratory flow due to air pollution from fireworks. Environmental Research 9, 321-331 (1975).

[Spedding]

Spedding D. J., Cope D. M.: Field Measurements of Hydrogen Sulphide Oxidation. Atmospheric Environment, Vol. 18, No. 9, pages 1791-1795, 1984. Abstract in toxline: <http://toxnet.nlm.nih.gov>

[SUVA]

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Arbeitssicherheit Akustik): Akustische Grenz- und Richtwerte. 86048.d - 9.98.

[UBA]

Umweltbundesamt Pressestelle: Umwelt- und Gesundheitsaspekte von Weihnachts- und Silvesterartikeln. Berlin, Dez. 1995.

[Ullmann]

Krone, U.; Diederichs, H.-J.: Pyrotechnics. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 22. VCH, Weinheim, 1992.

Siegelin, W.: Pyrotechnik. In: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Verlag Chemie, Weinheim, 1980.

[USEPA]

U.S. EPA Emission Factor Documentation for AP-42 Chapter 13.3: Explosives Detonation (www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html).

[USEPA'99]

Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol For Hazardous Waste Combustion Facilities, Volume 3, App. B-H. Appendix E: Toxicity Reference Values. EPA 530D99001C

[van Leeuwen]

van Leeuwen F.X.R et al.: Dioxins: WHO's tolerable daily intake (TDI) revisited. Chemosphere 40 (2000) 1095-1101.

[VKF]

Verband Kantonal Feuersicherungen: Persönliche Mitteilung.

[VWS]

Ministerium für Volksgesundheit, Gemeinwohl und Sport (VWS): Erste Ergebnisse der Gesundheitsuntersuchung der Feuerwerkskatastrophe Enschede. (sowie RIVM Rapport Nr. 630830001. Abstract unter: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/630830001.html>)

[Wahlen]

Wahlen M., Thompson R.C.: Pollution records from Sediments of three lakes in New York State. Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 44, pp. 333 to 339.

[Wisniak]

Wisniak J.: The History of Salpeter Production with a Bit of Pyrotechnics and Lavoisier. Chem. Educator 2000, 5, 205-209.

[Zünd]

Zünd Thomas (Amt für Umweltschutz Luzern Abt. Luftreinhaltung): Datenlieferungen aus dem interkantonalen Luftmessnetz (www.in-luft.ch/in-luft)

Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

Anhang 1: Luft

- SO₂- und Schwebstaub-Immissionen
- Immissionen anderer Luftschadstoffe (CO, NO, PAHs, Metalle)
- Abschätzung der feuerwerksbedingten Elementdeposition
- Übliche Metallgehalte in der Luft
- Bildung von Dioxinen und Furanen (PCDD/Fs) beim Abbrand von Feuerwerk
- Ausgewählte Beurteilungswerte für Luftschadstoffe

Anhang 2: Böden, Gewässer und indirekte Effekte

- Physikalisch-chemische und empirische Daten
- Toxikologische Daten
 - Bakterientoxizität
 - Aquatische Toxizität (Fische, Daphnien, Algen)
 - Sediment-Toxizität
 - Terrestrische Toxizität
 - Sekundäre Toxizität
- Übliche Metall-Gehalte in Gewässern, Böden und Biota

Anhang 3: Lärm

- Grundlagen
- Beurteilungswerte Gehörgefährdung
- Messdaten und Expositionsabschätzung
- Beeinträchtigung von Tieren

Anhang 4: Unfälle mit Feuerwerkskörpern

Anhang 5: Literatur

Anhang 1: Luft

SO₂- und Schwebstaub-Immissionen

Tab. A1: Feuerwerksbedingte Schadstoffgehalte an Schweizer Luftmessstationen

Standort	SO ₂ [µg/m ³]			PM10 [µg/m ³]		
	24-h Wert	½-h Max.	Zeitp. Max.	24-h Wert	½-h Max.	Zeitp. Max.
Luzern 31.07.99	2.2			22		
Luzern 01.08.99	2.9	12		32	120	
Zug 31.07.99				24		
Zug 01.08.99				47	266	
Zug 02.08.99				34		
Schwyz 24.07-31.07.99 ¹				22	33	9.30
Schwyz 01.08/02.08.99 ¹				34	176	20.30
Zug 24.07-31.07.99 ¹				23	29	7.30
Zug 01.08/02.08.99 ¹				56	266	21.00
Luzern 24.07-31.07.99 ¹	2.1	4.4	6.00	23	32	10.00
Luzern 01.08/02.08.99 ¹	3.4	12	22.30	40	120	22.30
Luzern 31.12.99 ³	11.2	28	10.00	16	27	17.30
Luzern 31.12/01.01 ^{1,3}	12	27	1.00	26	77	1.30
Zug 31.12/01.01 ¹				28	100	1.00
Luzern 06.08.99	1.8			21		
Luzern 07.08.99 ²	1.5			37		
Luzern 06.08/07.08.99 ¹	1.5	3.4	16.00	17	54	15.30
Luzern 07.08/08.08.99 ^{1,2}	1.6	5.0	22.00	41	739	22.00
Luzern 08.08 (11-24h)	1.1	1.8	14.00	13	22	19.00
Basel 31.07.99	3			32		
Basel 01.08.99	7			45		
Zürich 31.07.99	3			25		
Zürich 01.08.99	6			46		
Basel 31.07.00	2			17		
Basel 01.08.00	6			53		
Zürich 31.07.00	3			15		
Zürich 01.08.00	6			46		
Zürich 01.08.00 ⁴				35		
Zürich 02.08.00 ⁴				67		ca. 0.00
Zürich 03.08.00 ⁴				17		
Dübendorf 31.07.00				11		
Dübendorf 01.08.00				53		
Basel 31.12.99	11			30		
Basel 01.01.00	11			50		
Basel Mittel Jan.'00	9			34		
Zürich 30.12./31.12.00 ^{4,5}	9			28		
Zürich 31.12.00/01.01.01 ^{4,5}	23			82		

¹ von 11.00-11.00

² Seenachtsfest (Messstation ca. 500 m nordwestlich des Seebeckens)

³ organisiertes Feuerwerk (Messstation ca. 500 m nordwestlich des Seebeckens)

⁴ Kommunale Messung an Stampfenbachstrasse; übrige Daten für Zürich: NABEL-Messstation im Hof der alten Kaserne

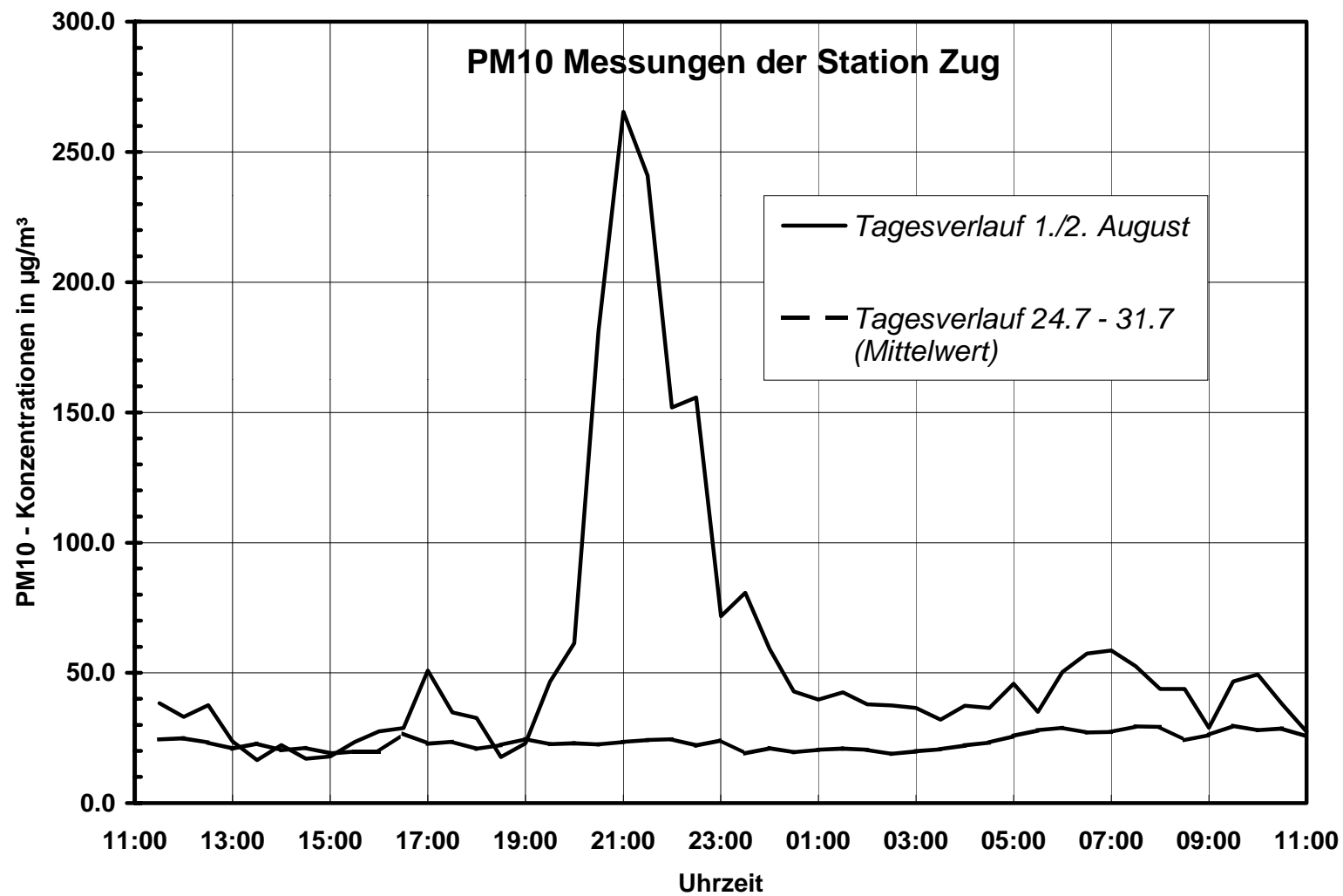
⁵ von 16.00-16.00

Tab. A2: Feuerwerksbedingte Schadstoffgehalte an Deutschen Luftmessstationen

Standort	SO ₂ [µg/m ³]			Schwebstaub ^{1,2} [µg/m ³]			PM10 [µg/m ³]		
	24-h Wert	½-h Max.	Zeitp. Max.	24-h Wert	½-h Max.	Zeitp. Max.	24-h Wert	½-h Max.	Zeitp. Max.
Berlin 28./29.12.99									
Alle 26 Stationen	6	49	11.30	22	60	23.30	32	110	17.30
Berlin 30./31.12.99									
Alle 26 Stationen	6	27	11.00	19	118	12.30	28	77	11.00
Berlin 31.12/01.01.99/00									
Alle 26 Stationen	14	158	1.30	221	2080	1.00	275	3644	1.00
Schildhornstrasse	34	120	1.00				352	3644	1.00
Berlin 01.01/02.01.00									
Alle 26 Stationen	6	172	0.30	29	109	16.30	29	72	14.30
Baden-Württemberg 01.01.00									
Konstanz	18	375		30	112				
Freiburg Mitte	8	27		27	143				
Karlsruhe Mitte	8	17		64	210				
Stuttgart Mitte	6	16		39	208				
Baden-Württemberg 02.01.00									
Konstanz	7	14		25	31				
Freiburg Mitte	7	9		2	8				
Karlsruhe Mitte	8	12		16	17				
Stuttgart Mitte	6	7		15	16				
Hessen 31.12.99 ¹									
Darmstadt	9	13	22.00	20	49	24.00			
Frankfurt Höchst	10	24	21.00	26	79	24.00			
Hanau	9	22	23.00	22	51	24.00			
Offenbach	6	12	23.30	40	71	24.00			
Viernheim	8	21	19.30	19	38	24.00			
Hessen 01.01.00 ¹									
Darmstadt	10	19	1.00	67	228	2.00			
Frankfurt Höchst	11	107	0.30	73	621	1.00			
Hanau	16	76	0.30	64	290	2.00			
Offenbach	8	41	0.30	131	883	1.00			
Viernheim	11	29	1.00	98	437	1.00			
Nordrhein-Westfalen 31.12.98 ²									
Rhein-Ruhr-Gebiet	9	71		38	108				
Dortmund-Hörde	7	26	18.30	30	54	0.30			
Gelsenkirchen	10	34	24.00	43	73	3.00			
Essen-Vogelheim	14	27	23.00	37	57	24.00			
Nordrhein-Westfalen 01.01.99 ²									
Rhein-Ruhr-Gebiet	14	198		80	711				
Dortmund-Hörde	24	126	12.00	137	545	3.30			
Gelsenkirchen	44	198	1.00	154	545	3.30			
Essen-Vogelheim	34	89	2.30	205	711	5.30			

¹ Staub in Hessen: Unter der Spalte ½-h Max. ist der max. 1h-Mittelwert aufgeführt² Staub in Nordrhein-Westfalen: Unter der Spalte ½-h Max. ist das maximale zeitlich gleitende 3h-Mittel aus den ½-h Mittelwerten aufgeführt

Abb. A1: PM10 am 1. August 1999 in Zug



Immissionen anderer Luftschadstoffe (CO, NO, PAHs, Metalle)

Tab. A3: Feuerwerksbedingte Schadstoffgehalte an Niederländischen Luftmessstationen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Standort	Jahreswechsel Niederlande 1993/1994 ¹									
	Feinstaub				Schwefeldioxid				andere	
	23.00	01.00	02.00	Δ FS	23.00	01.00	02.00	Δ SO ₂	Δ CO	Δ NO
Eindhoven	24	121	40	97					180	10
Den Haag	34	679	176	645	11	70	29	59		10
Maassluis					19	35	20	16		
Vlaardingen	13	215	25	202	9	34	19	25		7
Rotterdam	67	>1000	>1000	± 1000	15	177	60	162	420	69
Dordrecht	25	470	135	445					270	5
Amsterdam I	44	573	117	529	14	97	32	83		9
Amsterdam II					7	30	32	23	100	4
Amsterdam III	150	± 1100	470	± 1000	12	184	61	172		22
Bilthoven					5	41	24	36	-40	
Utrecht	23	771	123	748					250	12
Apeldoorn	21	499	85	478					120	12

¹ Noordijk'94

Tab. A4: Organische Schadstoffgehalte [ng/m^3] an Niederländischen Luftmessstationen an Silvester

Stoff	Tagesmittelwerte und 1h-Maximalwerte Eindhoven ¹				
	31.12	01.01	02.01	Δ 24h	Δ 1h
Schwebstaub	<25'000	47'000	<25'000	$\pm 10'000$	$\pm 250'000$
Phenanthren	0.15	0.60	0.15	0.45	11
Anthracen	0.02	0.03	<0.01	± 0.1	± 2
Fluoranthren	0.3	1.5	0.4	1.1	25
Benzo[a]anthracen	0.25	1.30	0.25	1.0	25
Chrysen	0.45	2.10	0.45	1.6	40
Benzo[k]fluoranthren	0.16	0.70	0.20	0.5	12
Benzo[a]pyren	0.07	0.80	0.20	0.7	20
Benzo[ghi]perylene	0.45	1.80	0.60	1.3	30
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0.35	1.40	0.45	1.0	25

¹ Noordijk'94

Tab. A5: Anorganische Schadstoff-Gehalte in der Schweiz am Nationalfeiertag [ng/m³]

Stoff	Tagesmittelwerte in Basel 1997				
	30.07	31.07	01.08	02.08	03.08
TSP	28'060	26'240	23'010	17'600	15'330
PM10	20'620	19'230	23'360	16'400	11'140
PM4	16'820	13'360	20'340	14'760	10'460
Blei in TSP	30	30	140	60	40
Blei in PM10	40	40	50	80	20
Blei in PM4	30	40	30	70	30
Calcium in TSP	1238	1133	135	206	303
Calcium in PM10	635	586	128	146	147
Calcium in PM4	162	172	73	68	71
Chrom in TSP	5	6	1	1	6
Chrom in PM10	6	2	2	4	2
Chrom in PM4	7	2	2	2	2
Eisen in TSP	820	810	400	360	350
Eisen in PM10	600	550	350	330	230
Eisen in PM4	260	240	170	190	140
Kalium in TSP	490	790	9180	3000	470
Kalium in PM10	320	570	8350	3010	410
Kalium in PM4	190	440	7780	2730	330
Kupfer in TSP	50	70	80	60	50
Kupfer in PM10	80	50	90	80	40
Kupfer in PM4	70	70	90	90	130
Mangan in TSP	18	17	6	9	9
Mangan in PM10	17	8	7	4	2
Mangan in PM4	6	8	3	3	3
Nickel in TSP	6	3	3	9	3
Nickel in PM10	9	10	4	4	9
Nickel in PM4	3	20	9	4	10
Titan in TSP	40	40	140	60	20
Titan in PM10	20	20	120	50	10
Titan in PM4	10	20	100	40	10
Zink in TSP	70	60	80	60	50
Zink in PM10	50	40	50	70	50
Zink in PM4	40	20	70	60	50

Die Messstation Im langen Loh in Basel entspricht hinsichtlich Verkehrs- (PWs: ca. 5000 pro Tag, LKWs: 370 pro Tag) und Bebauungsdichte innerhalb Basels einer Station mit Hintergrundbelastung. Neben der Feuerwerkerei am 1. August fand in Basel am Abend des 31. Juli ein grosses Feuerwerk statt (Röösl'i'99).

Tab. A6: Anorganische Schadstoff-Gehalte [ng/m³] an Silvester (NL) und bei einem Indoorfeuerwerk (USA)

Stoff	Tagesmittelwerte und 1h-Maximalwerte Eindhoven ¹					Indoor-Feuerwerk USA 1h ^{2,3}
	31.12	01.01	02.01	Δ 24h	Δ 1h	
PM <2.5 μm	...	...	...	...	...	175'000
PM 2.5-15 μm	...	...	...	...	...	140'000
Schwebestaub	<25'000	47'000	<25'000	±10'000	±250'000	...
Aluminium	...	...	...	...	...	3130
Antimon	<1	7	<1	7	150	...
Barium	17	186	6	150	3600	...
Blei	30	65	25	±30	±700	800
Calcium	...	...	...	...	...	2670
Chlor	...	...	...	...	...	4570
Eisen	165	255	205	±50	±1200	...
Kalium	100	2200	100	2100	50'400	44'400
Kupfer	6	22	3	15	350	...
Magnesium	...	...	...	...	...	18'600
Mangan	5	8	4	±3	±70	100
Schwefel	2500	4000	2200	1500	36'000	15'600
Silicium	...	...	...	...	...	4400
Strontium	4	47	2	45	1100	5200
Titan	3	6	2	±3	±70	8600
Vanadium	12	25	8	±10	±300	700
Zink	27	74	17	±50	±1200	130

¹ Noordijk'94; ² Dutcher'99

³ Die Element-Gehalte im Houston Astrodrome wurden in der Feinstaubfraktion <2.5 μm gemessen (Mittelwerte von 3 identischen Feuerwerken)

Tab. A7: Grossräumige feuerwerksbedingte anorg. Schadstoff-Gehalte [ng/m³] in den USA

Komponente	24h-Mittel in PM 2.5 [ng/m ³] ¹	
	Independence Day	davor/danach
Aluminium	90	≈10
Barium	28	≈0.5
Blei	8	≈2.5
Calcium	≈25	≈10
Eisen	≈30	≈15
Kalium	≈900	≈50
Kupfer	4	≈1
Magnesium	40	<5
Mangan	≈3.5	≈1.5
Schwefel	500	≈300
Silicium	70	30
Strontium	9	≈0.5
Titan	15	≈2
Vanadium	8	≈1
Zink	8	≈4

¹ Perry'99

Abb. A2: Kohlenmonoxid am 1. August 1999 in Zug

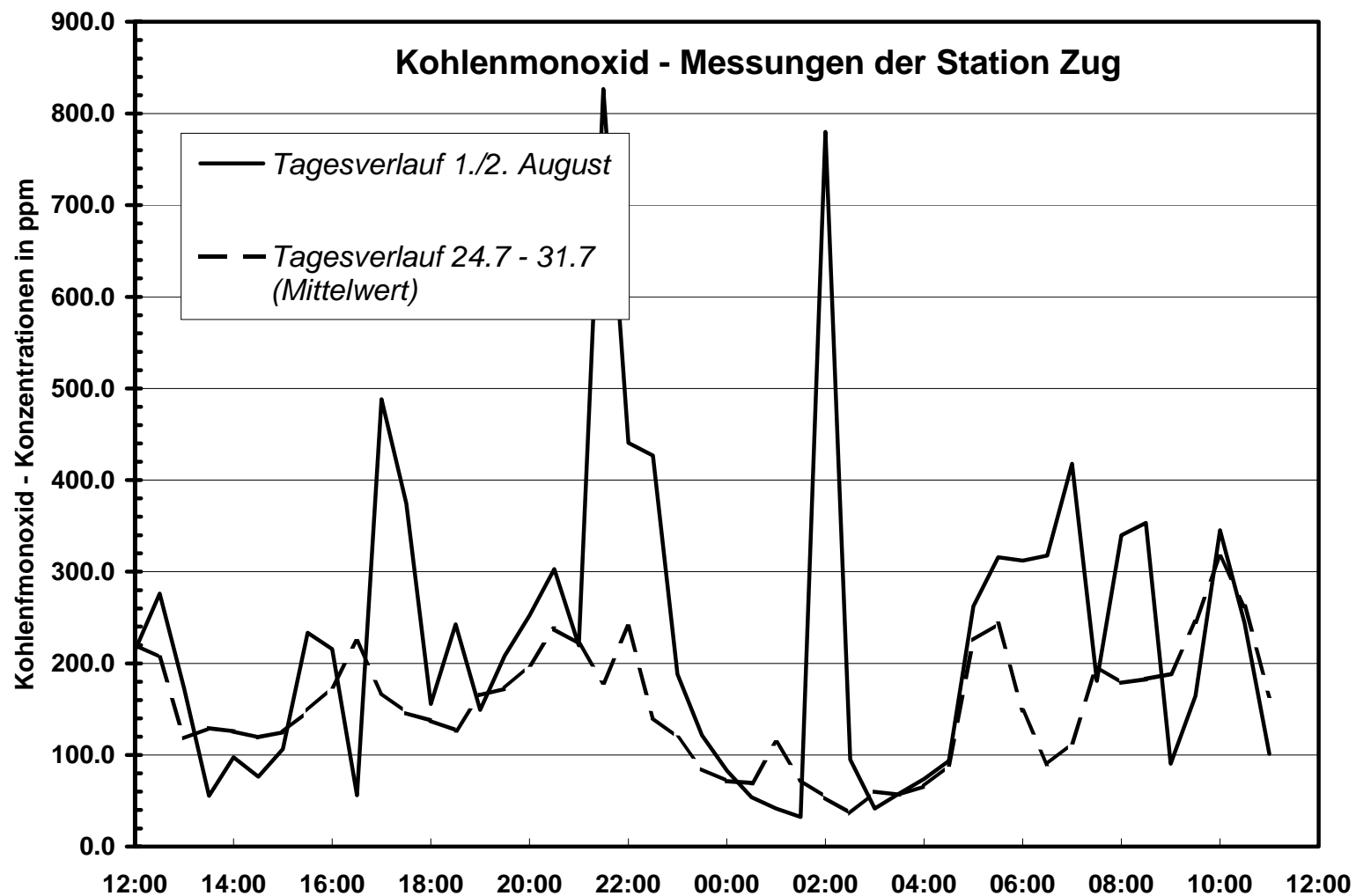


Abb. A3: Stickstoffmonoxid am 1. August 1999 in Zug

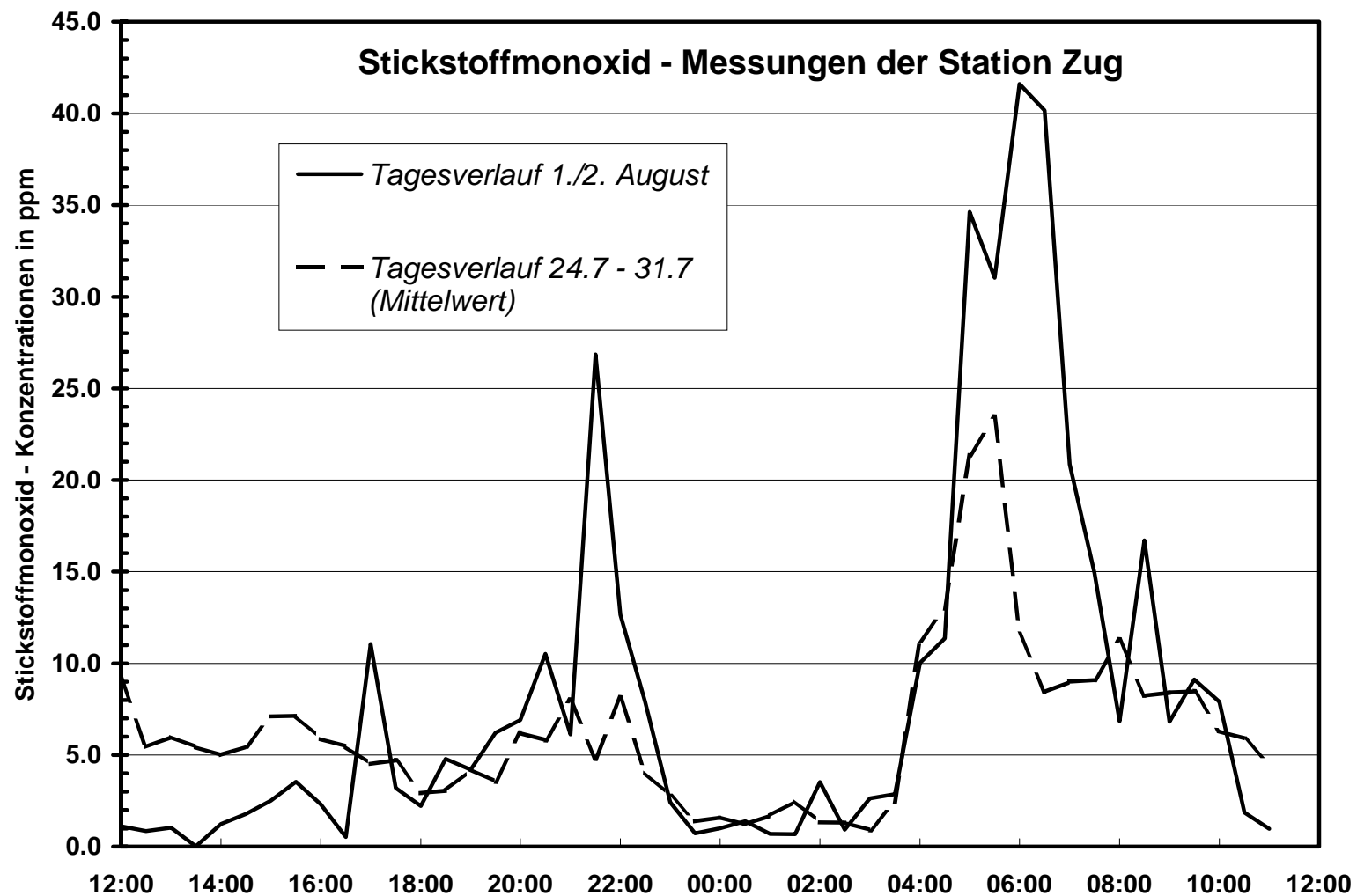
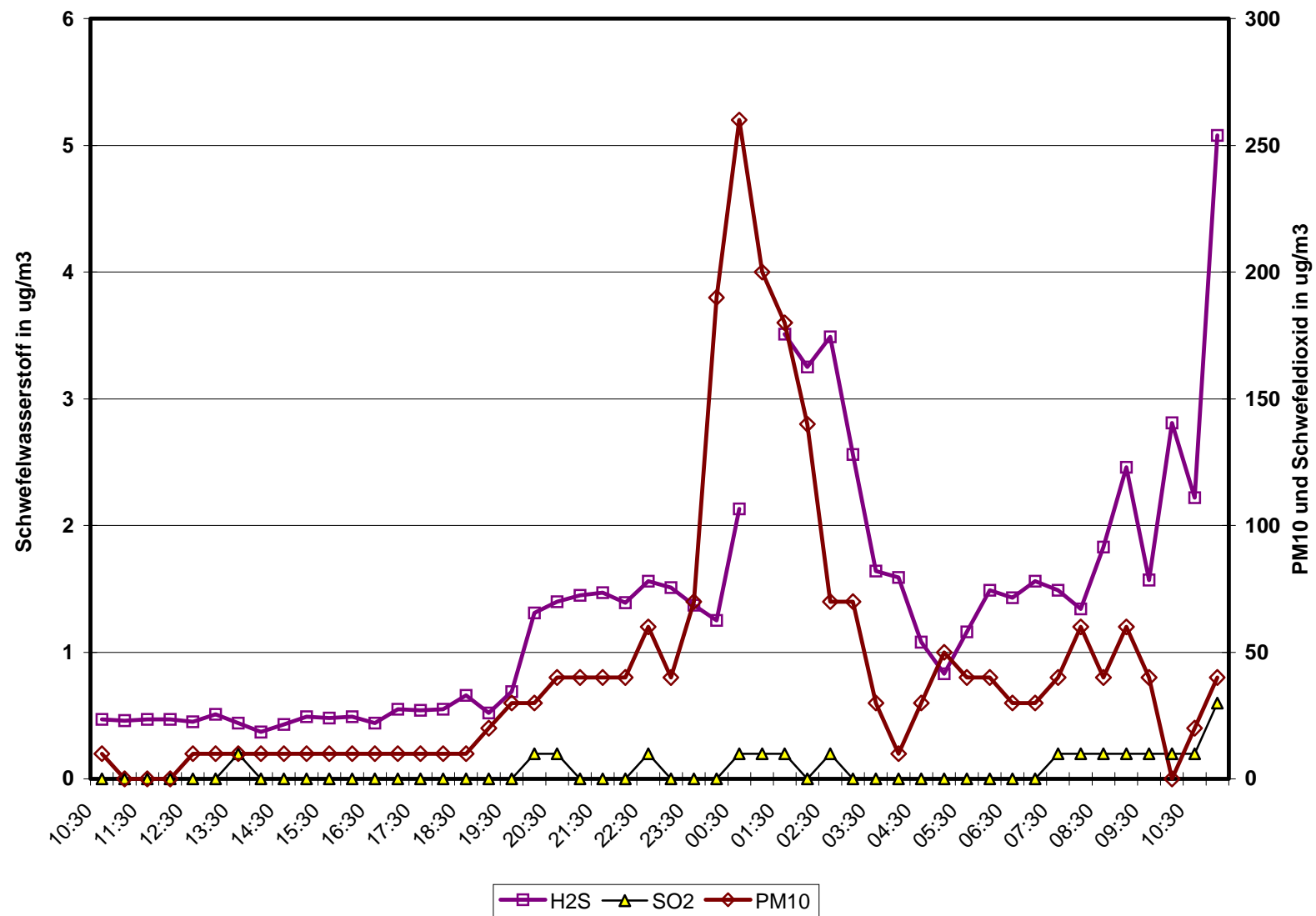
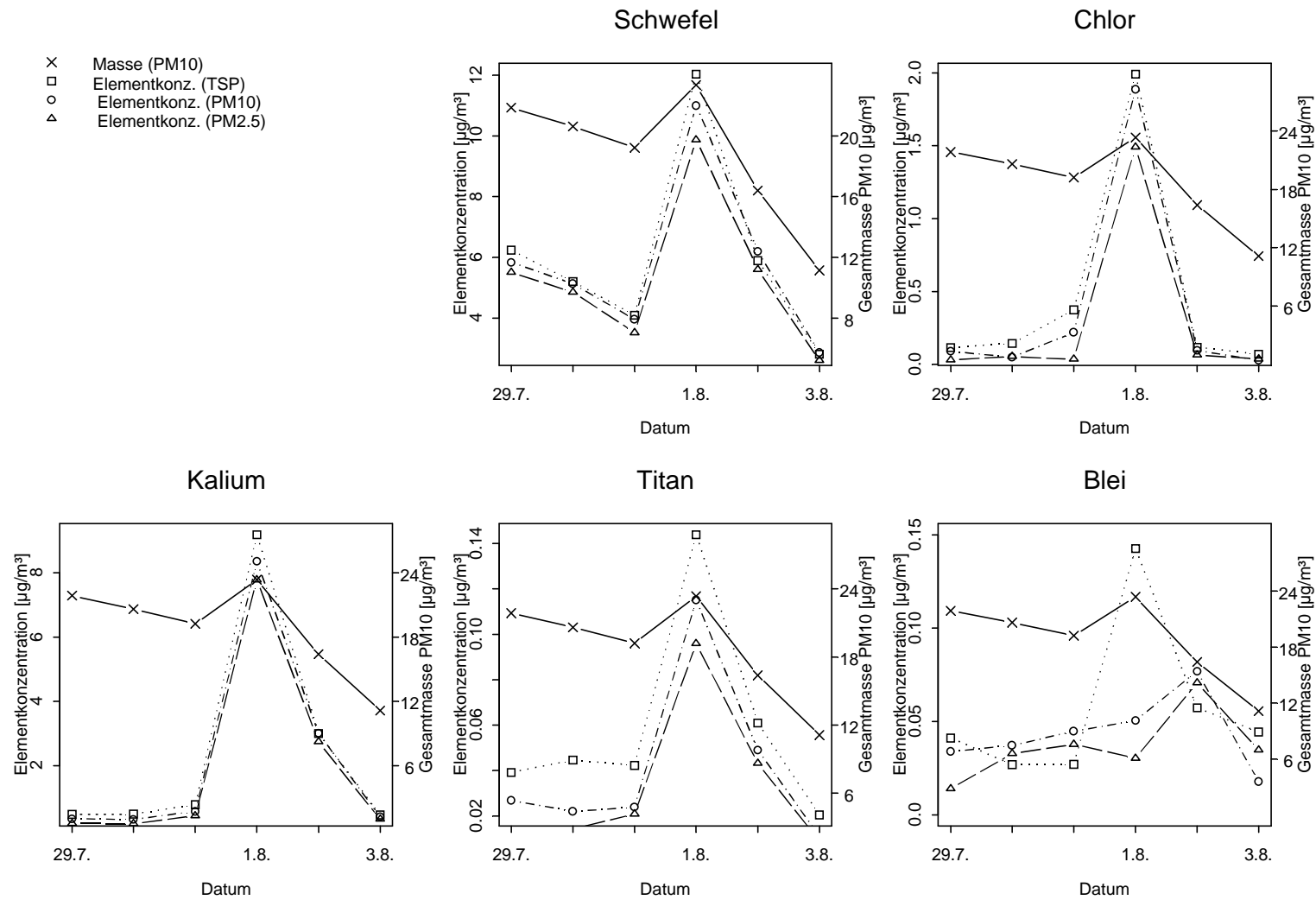


Abb. A4: Schadstoffverläufe für Partikel, Schwefeldioxid und Schwefelwasserstoff in Linz (A) in der Silvesternacht 2000/2001



Quelle: <http://www.ooe.gv.at/umwelt/luft/>

Abb. A5: Schadstoffgehalte am 1. August 1997 in Basel



Bemerkung: Bei S und Cl bestanden Kalibrationsprobleme. Das bedeutet, dass der zeitliche Verlauf richtig ist, alle Werte jedoch zu hoch sind

Abschätzung der feuerwerksbedingten Elementdeposition

Tab. A8: Abschätzung der feuerwerksbedingten Elementdeposition

		K	Al	Ba	Mg	Pb	Cu	Sr	Fe	Ti	Ca	Zn	Sb
Gehalte Luft:													
Tagesmittelwert Eindhoven	ng m ⁻³	2200		186		65	22	47	255	6		74	7
Tagesmittelwert Basel		9180				140	90		400	140	135	80	
1h-Mittelwert Indoor		44400	3130		18600	800		5200		8600	2670	130	
Errechnete Deposition:													
Eindhoven ¹	mg m ⁻² d ⁻¹	1.9		0.2		0.06	0.02	0.04	0.20	0.01		0.06	0.01
Basel ¹		7.9				0.12	0.08		0.35	0.12	0.10	0.07	
Indoor ¹	mg m ⁻² event ⁻¹	1.6	0.1		0.7	0.03		0.19		0.31	0.10	0.005	
Deposition bezogen auf Verbrauch CH und K-Gehalt in Basel ²	mg m ⁻² d ⁻¹	7.9	1.9	1.6	1.2	0.24	0.24	0.18	0.15	0.07	0.05	0.05	0.02
Modellierte Deposition:													
übliches Event	mg m ⁻² event ⁻¹	0.9	0.2	0.2	0.1	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.005	0.002
Seenachtsfest		4.5	1.1	0.9	0.7	0.15	0.14	0.10	0.10	0.04	0.04	0.03	0.01
urban 1. August		4.7	1.1	0.9	0.7	0.15	0.14	0.10	0.10	0.05	0.04	0.03	0.01
Übliche Deposition urban:													
Städte ³	mg m ⁻² d ⁻¹	0.3	0.25	0.05	...	0.03	0.04	0.004	0.7	0.03	0.6	0.08	0.01

¹ errechnet aus den 24h-Mittelwerten, bzw. 1h-Mittelwerten bei einer Sinkgeschwindigkeit der Partikel von 0.01 m/s.

² Errechnet aus dem Verhältnis des Verbrauchs der betreffenden Elemente und von Kalium in pyrotechnischem Pulver multipliziert mit der abgeschätzten Depositionsrate von K in Basel. Beim Schwefel bezogen auf nicht umgesetzten Schwefel (10 t) und Sulfid als Reaktionsprodukt (5 t).

³ Daten aus Tab. A9 für Linz (A), Basel (CH) und Aalborg (DK)

Tab. A8ff: Abschätzung der feuerwerksbedingten Elementdeposition

		Ni	Cr	As	Cd	Co	Hg	Si	V	S ^{4,5}	Cl ⁴
Gehalte Luft:											
Tagesmittelwert Eindhoven	ng m ⁻³								25	4000	
Tagesmittelwert Basel										12030	2000
1h-Mittelwert Indoor								4400	700	15600	4570
Errechnete Deposition:											
Eindhoven ¹	mg m ⁻² d ⁻¹								0.02	3.5	
Basel ¹										10.5	1.7
Indoor ¹	mg m ⁻² event ⁻¹							0.2	0.03	0.5	0.2
Deposition bezogen auf Verbrauch CH und K-Gehalt in Basel ²	mg m ⁻² d ⁻¹	0.006	0.006	0.001	0.0004	0.0001	0.00001			2	
Modellierte Deposition:											
übliches Event	mg m ⁻² event ⁻¹	0.001	0.001	0.0001	0.00005	0.00002	0.000002			0.2	
Seenachtsfest		0.004	0.004	0.0005	0.0002	0.0001	0.00001			1.0	
urban 1. August		0.004	0.004	0.001	0.0002	0.0001	0.00001			1.0	
Übliche Deposition urban:											
Städte ³	mg m ⁻² d ⁻¹	0.004	0.005	0.001	0.001	0.0003	0.0002	0.8	0.004		

¹ errechnet aus den 24h-Mittelwerten, bzw. 1h-Mittelwerten bei einer Sinkgeschwindigkeit der Partikel von 0.01 m/s.

² Errechnet aus dem Verhältnis des Verbrauchs der betreffenden Elemente und von Kalium in pyrotechnischem Pulver multipliziert mit der abgeschätzten Depositionsrate von K in Basel. Beim Schwefel bezogen auf nicht umgesetzten Schwefel (10 t) und Sulfid als Reaktionsprodukt (5 t).

³ Daten aus Tab. A9 für Linz (A), Basel (CH) und Aalborg (DK)

⁴ bei S und Cl bestanden in Basel Kalibrationsprobleme. Die Gehalte in der Luft und die errechnete Depositionsrate sind zu hoch.

⁵ Deposition teilt sich auf in 1/3 Sulfid und 2/3 nicht umgesetzten Schwefel

Übliche Metallgehalte in der Luft

Tab. A9: Übliche Schadstoffgehalte in der Luft und der Deposition

Standort	Jahr	Sr	Ba	Ti	V	Cu	Zn	Al	Sb	Pb	Mn	Literatur
Gehalte in der Luft (Schwebstaub) [ng/m³]												
UK rural	1982-91	...	...	<25	6.7 3.3-9.2	16 11-27	59 22-125	200 109-355	2.4 0.8-4.7	64 28-102	12 4-25	Bertorelli
UK urban	1990	...	...	...	≈20	33 11-34	113 54-212	560	...	112	26 11-58	
Kopenhagen an Strasse ²	1996	12 ± 2	65 ± 11	156 ± 33	12 ± 4	80 ± 11	160 ± 30	1400 ± 400	...	34 ± 5	116 ± 31	Nielsen'99
Aalborg (DK) an Strasse	1998	4.1	23	40.6	4.4	37.5	54.7	428	8.9	13.0	12.0	NERI'99
Lille Valby (DK) rural	1998	1.0	<3	7.0	3.8	2.2	16	108	2.3	7.3	3.0	
Linz innerstädtisch ³	1996/97	4.2 2-12	13 5-34	...	4.4 1.6-15	17 8-44	135 26-549	193 43-816	3.4 1.8-8.7	48 13-144	94 16-396	oö. LR
Sao Paulo (Brasilien), Partikel <2 µm	1994	1.4 1.06-2.12	...	15 0.9-37	7 0.7-19	15 2-53	127 5-530	115 4-253	...	44 3-178	22 0.3-69	Macchione'99
Basel, Partikel <10 µm, Mittelwert von 3 Messperioden ⁵	1997/98	...	110 54-223	32 23-109		73 48-109	84 49-135		24 15-71	55 23-109	16 8-28	Rössli'01
Depositionsraten [µg m⁻² d⁻¹]												
Berlin 70 Standorte ¹	1988	50 22-115	98 26.5-307	...	11.5 4.1-28.6	78.2 12.6-555	325 115-1079	3905 990-12'095	4.38 2.28-17.56	129 27-544	...	Lahmann'97
Kopenhagen an Strasse ²	1996	12 ± 2	65 ± 11	156 ± 33	12 ± 4	80 ± 11	160 ± 30	1400 ± 400	...	34 ± 5	116 ± 31	Nielsen'99
Linz innerstädtisch ³	96-97	4.2	13	...	4.4	17	135	193	3.4	48	94	oö. LR
Kanada rural	94-95	5 ± 2	9 ± 3	2.5 ± 1	1 ± 0.4	3 ± 0.8	39 ± 13	102 ± 35	0.25 ± 0.1	7 ± 2	14 ± 6	Gélinas'00
emittentenferne St'orte CH ⁴	93-95	...	...	...	≈ 2	≈ 5	≈ 20	400-600	...	13	...	BUWAL'98
Nassdeposition Kanada 2 St'orte (residential), 1 Regenereignis	1997	22-30 gelöst: 83-100%	44-62 gelöst: ≈80%	...	nn (<1 µg/l)	61-82 gelöst: ≈80%	252-381 gelöst: 100%	909-1142 gelöst: ≈25%	4-5 gelöst: ≈90%	30-47 gelöst: 52-56%	59-74 gelöst: 68-75%	Belzer'97
Hausstaub (D) n=2178-2191	...	50 th : 0.22 90 th : 0.76	50 th : 0.36 90 th : 1.17	...	...	50 th : 0.47 90 th : 1.29	50 th : 2.9 90 th : 7.1	50 th : 6.1 90 th : 19.9	...	50 th : 0.42 90 th : 1.04	50 th : 0.4 90 th : 1.6	UBA'92

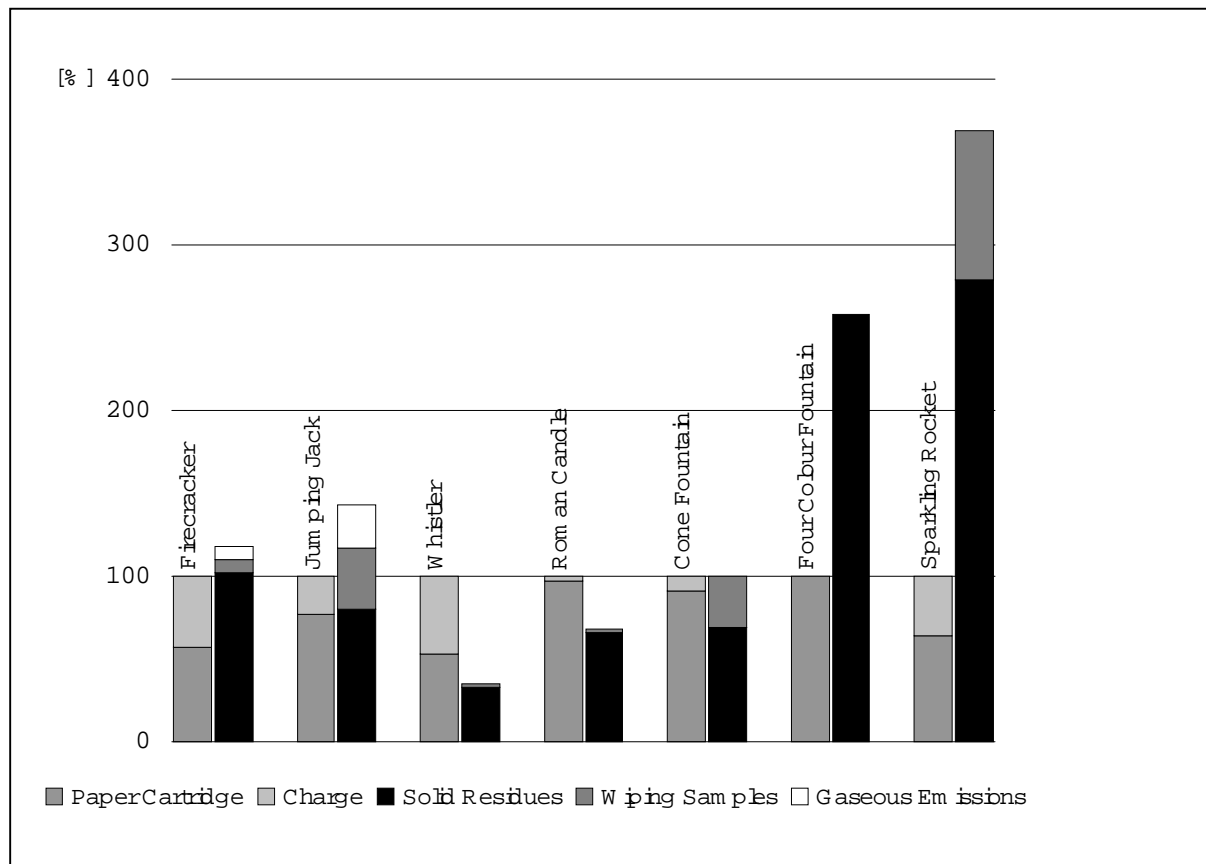
Tab. A9ff: Übliche Schadstoffgehalte in der Luft und der Deposition

Standort	Jahr	Ca	Fe	Si	Ni	Cr	As	Cd	Co	Hg	Literatur
Gehalte in der Luft (Schwebestaub) [ng/m³]											
Kopenhagen an Strasse ²	1996	3600 ± 700	2700 ± 500	4000 ± 800	6.3 ± 1.2	20 ± 5	...	24 ± 18	...	...	Nielsen'99
Kopenhagen an Strasse	1998	709	983	906	3.1	5.2	1.2	1.2	...	...	NERI'99
Aalborg (DK) an Strasse	1998	763	889	929	2.6	4.0	1.1	0.9	...	...
Lille Valby (DK) rural	1998	148	85	179	1.5	0.6	0.8	1.1	...	...
Berlin	1993/94	...	...	...	4.7	9.9	6.2	1.3	...	...	Lahmann'97
					3.7-5.9	5.5-13.9	5.8-6.9	1.1-1.5			
Linz innerstädtisch ³	1996/97	...	...	...	3.5	4.7	1.9	0.8	0.34	0.19	oö. LR
					1.4-9.3	1.8-13	0.4-10	0.2-3.0	0.15-0.88	0.02-1.3	
Basel, Partikel <10 µm, Mittelwert von 3 Messperioden ⁵	1997/98	630	720	...	9	8	1	1	...	...	Röösli'01
		240-1290	370-1180		4-14	3-15	0-3	1-19			
Depositionsraten [µg m⁻² d⁻¹]											
Berlin 70 Standorte ¹	1988	8725	3754	...	17	17	6.5	1.9	4.2	0.61	Lahmann'97
		3446-18'640	1241-10'124		6-36	5-89	2-17	0.7-5.5	1-69	0.11-1.78	
Berlin 10 Standorte	1993/94	...	...	...	13	24.6	3.4	1.8	...	...
					4.6-23.7	6-48	1.3-6.8	0.7-3.6			
Linz innerstädtisch ³	1996/97	...	...	...	3.5	4.7	1.9	0.8	0.34	0.19	oö. LR
Kanada rural	1994/95	1340 ± 499	100 ± 31	...	1.6 ± 0.5	0.6 ± 0.2	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.2	0.17 ± 0.06	0.04	Gélinas'00
emittentenferne St'orte CH ⁴	93-95	...	≈300	...	≈3	≈1	≈0.6	0.2-0.3	0.25-0.5	...	BUWAL'98
Nassdeposition 2 St'orte CAN residential, 1 Regenereignis	1997	3264-5301	...	...	10.1-16.3	nd	7.6-8.2	1.5-44.1	nd-2.7	...	Belzer'97

- (1) Die Depositionsraten 1988 in Berlin (D) sind Mittelwerte von 70 Messstellen. Ein Teil der Messstellen lag auf dem Mittelstreifen oder am Rand vielbefahrener Strassen. Keine Angaben liegen zur Messperiode und Sammelzeit vor (Sekundärquelle).
- (2) Die Messstelle in Kopenhagen (DK) lag an einer stark befahrenen Strasse (60'000 Fahrzeuge pro Tag). Aufgeführt sind die 24h-Mittelwerte ± 2 s_x. Anhand der Gehalte in der Luft wurde die Deposition mit Hilfe einer angenommenen Sedimentationsgeschwindigkeit von 1000 m/d abgeschätzt.
- (3) Die Messperiode an einem innerstädtischen Standort in Linz (A) erstreckte sich über den Zeitraum von März 1996 bis April 1997. Anhand der Gehalte in der Luft wurde die Deposition mit Hilfe einer angenommenen Sedimentationsgeschwindigkeit von 1000 m/d abgeschätzt.
- (4) Schwermetallgehalte in Moosen sind ein Mass für die atmosphärische Belastung. Moose eignen sich als Bioindikatoren, weil echte Wurzeln fehlen, Nähr- sowie Schadstoffe aus der Luft aufgenommen werden und die Pflanzenoberfläche im Verhältnis zum Volumen gross ist. Die Gehalte in Moosen widerspiegeln die Immissionsverhältnisse dreier vorangehender Jahre. Aus den Metall-Gehalten der Moose können keine direkten Rückschlüsse auf die Höhe der Deposition gezogen werden. Vergleiche mit technischen Messungen erlauben grobe Abschätzungen.
- (5) Mittelwert der Mittel dreier Messperioden (22. Jan. - 28. April, 23. Juli - 13. Okt. und 15. Okt. - 5. Jan.) an 6 Standorten. Als Minimum ist das tiefste und als Maximum das höchste saisonale Mittel der verschiedenen Standorte aufgeführt.

Bildung von Dioxinen und Furanen (PCDD/Fs) beim Abbrand von Feuerwerk

Abb. A6: PCDD/Fs in pyrotechnischen Erzeugnissen vor und nach dem Abfeuern in Stahlkammern I



Quelle: Fleischer'99

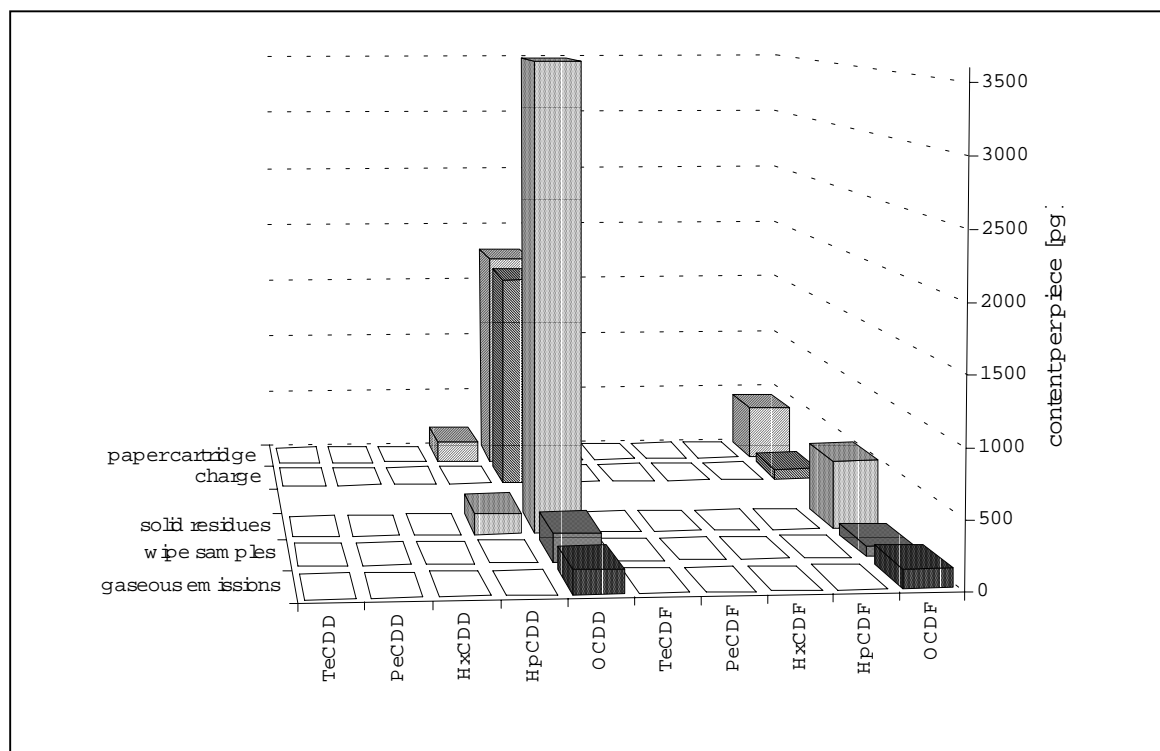
Grobgut: Asche und zerissenes Papier

Wischgut: mit Toluol imprägniertem Papier von der Kammeroberfläche erfasste Rückstände

Die Erzeugnisse „Four-Colour Fountain“ und „Sparkling Rocket“ enthalten bis 1200 ppm, bzw. 10'300 ppm Cu, die übrigen <10-28 ppm. Die Rückstände von Feuerwerken enthalten bis 142 ng I-TEQ/kg sowie 0.05-1400 mg/kg Hexachlorbenzol.

Abb. A7: PCDD/Fs in pyrotechnischen Erzeugnissen vor und nach dem Abfeuern in Stahlkammern II

A. Characteristic congener pattern of detonating fireworks before and after set off (here: firecracker)



B. Characteristic congener pattern of continuously burning fireworks before and after set off (here: whistler)

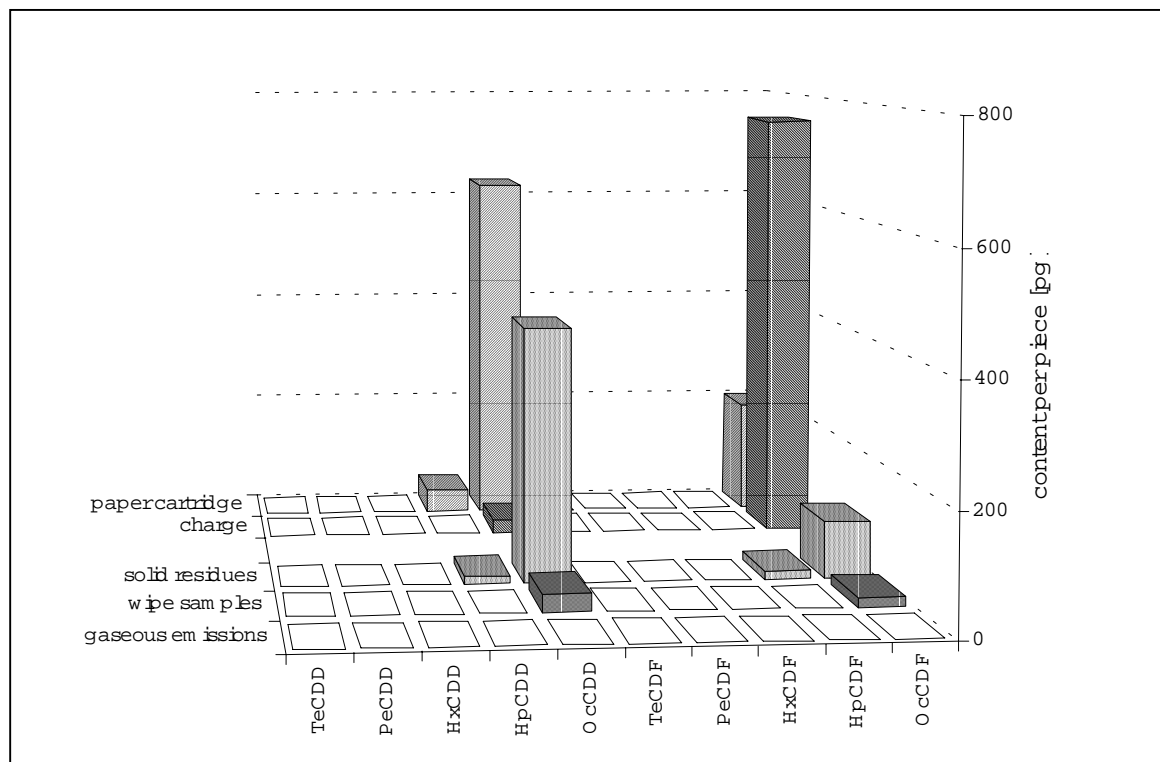
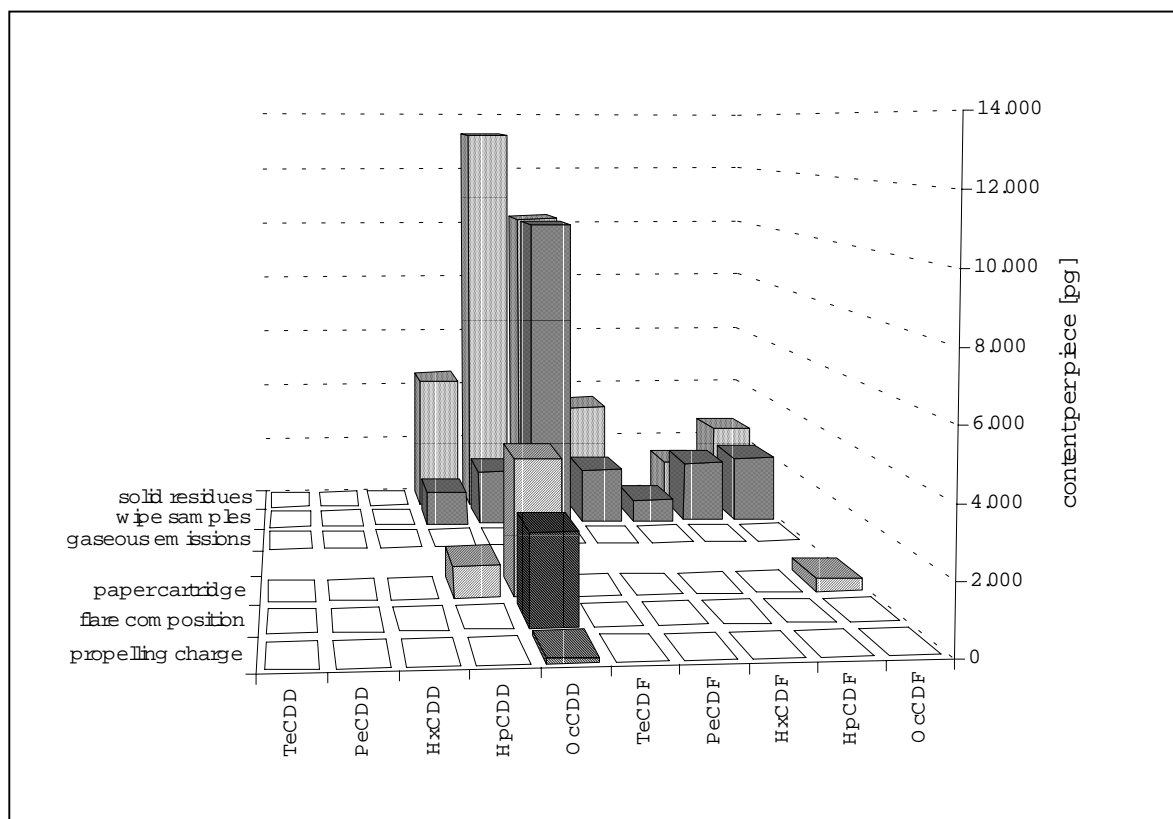


Abb. A7ff: PCDD/Fs in pyrotechnischen Erzeugnissen vor und nach dem Abfeuern in Stahlkammern II

C: Distribution and congener pattern of a blue-lightning sparkling rocket before and after set off



Ausgewählte Beurteilungswerte für Luftschadstoffe

Tab. A10: Bewertungsmaßstäbe für Luftschadstoffe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Stoff und Zeitbezug	Einheit	Bem.	Beurteilungswert	Vorschrift/Organ
Schwefeldioxid				
98%-Wert der 1/2h-Mittelwerte	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1)	400 (IW2)	TA Luft
Einstundenwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2)	350 (ab dem 1. Jan. 2005)	1999/30EG
95%-Wert der 1/2h-Mittelwerte	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		100	LRV
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7)	100	LRV
Schwefelwasserstoff				
1/2h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		7 (Geruchsbelästigung)	WHO
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		150 (Leitwert)	WHO
Schwebstaub				
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3)	250 (24-h-MIK-Wert)	VDI-2310, Bl. 19
Einstundenwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	4)	500 (1-h-MIK-Wert)	VDI-2310, Bl. 19
PM10				
99%-Wert der Tagesmittel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5)	150 (NAAQS)	U.S. OAQPS
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	6)	50 (ab dem 1. Jan. 2005)	1999/30/EG
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7)	50	LRV
Stickstoffdioxid				
Einstundenwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8)	200 (ab dem 1. Jan. 2010)	1999/30/EG
95%-Wert der 1/2h-Mittelwerte	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		100	LRV
24h-Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7)	80	LRV
Stickstoffmonoxid				
Halbstundenwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		1000 (0,5-h-MIK-Wert)	VDI-2310
Organische Schadstoffe				
PCDD/PCDF („Dioxine“)	fg I-TE/ m^3	9)	150 (Richtwert)	LAI
PAHs als Benzo[a]pyren	ng/m^3	9)	1.3 (Zielwert)	LAI
Metalle				
Aluminium	ng/m^3	10)	5100 (PRG)	U.S. EPA Region 9
Arsen im Jahresmittel	ng/m^3		5 (Zielwert)	LAI
Barium	ng/m^3	10)	520 (PRG)	U.S. EPA Region 9
Blei im Jahresmittel	ng/m^3		500	1999/30/EG
Blei im Schwebstaub (PM10) im Jahresmittel	ng/m^3		500	LRV
Cadmium im Jahresmittel	ng/m^3		1.7 (Zielwert)	LAI
Cadmium im Schwebstaub (PM10) im Jahresmittel	ng/m^3		1.5	LRV
Chrom (gesamt) im Jahresmittel	ng/m^3	9)	17 (Zielwert)	LAI
Nickel im Jahresmittel	ng/m^3	9)	10 (Zielwert)	LAI
Quecksilber im Jahresmittel	ng/m^3	9)	50 (Orientierungswert)	LAI
Vanadium im Jahresmittel	ng/m^3	9)	20 (Zielwert)	LAI

- 1) darf von 2% der Halbstundenwerte eines Kalenderjahres überschritten werden;
- 2) darf maximal 24mal im Jahr überschritten werden;
- 3) einmalige Exposition; $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an aufeinanderfolgenden Tagen (es handelt es sich um Richtwerte des Vereins Deutscher Ingenieure VDI, die die Kombination von SO_2 und Schwebstaub berücksichtigen. Die Werte besitzen keine Gesetzeskraft);
- 4) bis zu 3 aufeinanderfolgende Stunden;
- 5) 99th-Perzentil der Tagesmittel des Jahres gemittelt über 3 Jahre (vom U.S. Office of Air Quality Planning and Standards festgelegte Luftqualitätsstandard: National Ambient Air Quality Standards NAAQS);
- 6) darf maximal 35mal im Jahr (Stufe 1 bis 2005), bzw. 7mal im Jahr (Stufe 2 bis 2010) überschritten werden;
- 7) darf 1mal im Jahr überschritten werden;
- 8) darf maximal 18mal im Jahr überschritten werden;
- 9) Jahresmittelwerte vorgeschlagen vom deutschen Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI). As und Cd sowie Hg sind in pyrotechnischen Sätzen als unvermeidliche Verunreinigungen enthalten;
- 10) Auf Basis von inhalatorischen Referenzdosen (RfDi) von $1.4\text{E}-03 \text{ mg (kg bw d)}^{-1}$ für Al und $1.4\text{E}-04 \text{ mg (kg bw d)}^{-1}$ für Ba leitete die U.S. EPA Region 9 Preliminary Remediation Goals (PRGs) von $5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Der „Target Hazard Quotient“ THQ wurde jeweils mit 1 angenommen. (EPA'99 Region IX). Bei Belastung mit mehreren Kontaminanten sollte der Hazard Index für Nichtkarzinogene HI_{nc} nach EPA'99 Region IX kleiner 1 sein, wobei gilt: $\text{HI}_{\text{nc}} = [(\text{conc}_x/\text{PRG}_x) + (\text{conc}_y/\text{PRG}_y) + \dots]$.

Anhang 2: Böden, Gewässer und indirekte Effekte

Physikalisch-chemische und empirische Daten

Tab. A11: Verteilungskoeffizienten $\log K_p$ [l/kg]

		RIVM'97	ORNL	Weitere Quellen
As	Schwebstoff $K_{p(p/m/w)}$	4.00		
	Boden $K_{p(soil/w)}$	2.28	2.30	
	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.82		
Sb	Schwebstoff $K_{p(p/m/w)}$	3.57		
	Boden $K_{p(soil/w)}$	1.93	1.65	
	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.41		
Ba	Schwebstoff $K_{p(p/m/w)}$	3.13		
	Boden $K_{p(soil/w)}$	1.78	1.61	
	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.00		
Pb	Sediment $K_{p(sed/w)}$	5.63		
Cd	Sediment $K_{p(sed/w)}$	4.93		
Cr(III)	Sediment $K_{p(sed/w)}$	5.28		
Co	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.60		
Cu	Sediment $K_{p(sed/w)}$	4.53		
Ni	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.72		
Sr	Boden $K_{p(soil/w)}$		1.54	mean: 2.55 (EPA'99b) 50 th : 1.18 (0.2-4.0)
	Sediment $K_{p(sed/w)}$			1.08-1.93 ¹ (Bunde'97) 1.77 ² (Bunde'98)
V	Schwebstoff $K_{p(p/m/w)}$	3.74		
	Boden $K_{p(soil/w)}$	2.49	3.00	
	Sediment $K_{p(sed/w)}$	3.59		
Zn	Sediment $K_{p(sed/w)}$	4.86		

¹ höhere Adsorption bei tieferen Ca- und Mg-Gehalten;

² bei Na- u. K-Gehalten ≤ 300 mg/l und ≤ 150 mg/l;

In Tab. A12 wurden mit Hilfe von Transferfaktoren aus Bodengehalten der verschiedenen Elemente die Pflanzengehalte abgeschätzt. Zum Vergleich sind auch übliche gemessene Pflanzen-Gehalte mitaufgeführt. Sie wurden in folgenden Quellen gefunden:

- 1) Cd, Cu und Zn in BUWAL'00;
- 2) Pb, Cr, Fe, Co, Mn, Ni, Hg und S in Lindt'90;
- 3) Ba, Mn, Ag, Sr und Ti in NRC'80;
- 4) Al, Ba, Sr, Ti und V in Winter'00;
- 5) Al und Sr in Mennen'00.

Übliche Bodengehalte stammen aus unten aufgeführten Quellen:

- 1) Median für Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Hg und Zn von 102 Oberböden des NABO (BUWAL'93);
- 2) Median für V von 102 Oberböden des NABO (Keller'97);
- 3) Median für As von 105 Oberböden des NABO (Knecht'99);
- 4) Jeweils tiefster Wert für „leichte Lehm Böden“ oder „Bodenart Ton und Ton/Lehm“ nach ORNL für Ba, Mn, Sr und Ti (die Werte aus ORNL stammen aus: Kabata'85);
- 5) Jeweils tiefster Wert für „Böden über Granit und Gneiss“ oder „Böden über Kalkstein“ für Al und Fe nach ORNL;
- 6) Mittelwert des Ranges für „verschiedene Böden“ für Sb und Ag nach ORNL.

Tab. A12: Abgeschätzte und gemessene Element-Gehalte [mg/kg TS] in Pflanzen

	Soil-to-Plant Dry Uptake	Boden-Gehalte [mg/kg]	Pflanzen gerechnet [mg/kg]	Pflanzen gemessen [mg/kg]
Al	4.00E-03	8650	35	80
Sb	5.00E-02	0.4	0.02	
As (anorg.)	4.00E-02	3.2	0.15	0.05
Ba	1.00E-01	535	54	10
Pb	9.00E-02	24	2	0.5
Cd	5.50E-01	0.23	0.15	0.1
Cr	4.00E-02	25	1	0.5
Fe	1.00E-02	7000	70	100

Tab. A12ff: Abgeschätzte und gemessene Pflanzen-Gehalte [mg/kg TS]

	Soil-to-Plant Dry Uptake	Boden-Gehalte [mg/kg]	Pflanzen gerechnet [mg/kg]	Pflanzen gemessen [mg/kg]
Co	5.40E-02	5.7	0.3	0.1
Cu	8.00E-01	18	14	9
Mn	6.80E-01	480	326	60
Ni	1.80E-01	22	4	2.5
Ag	1.00E+00	0.06	0.06	0.06
Sr	1.10E+00	120	132	40
Ti	5.50E-03	2700	15	2
V	5.50E-03	30.3	0.3	0.2
Zn	9.90E-01	53	52	39

Toxikologische Daten

Bakterientoxizität

Für die Einteilung von Stoffen in deutsche Wassergefährdungsklassen war bis Anfang 1999 die Bestimmung der Bakterientoxizität (vorzugsweise Hemmung der Zellvermehrung nach 16 h) obligatorisch. In Tab. A13 sind die Bewertungszahlen für die Bakterientoxizität sowie die entsprechende toxische Grenzkonzentration (TGK) aufgeführt (UBA'96). Die Angaben haben orientierenden Charakter.

Tab. A13: Bewertungszahlen Bakterientoxizität

	BWZ _{Bakt}	TGK _e [mg/l]	TGK [mg/l]
Aluminium	Al ₂ (SO ₄) ₃ : 4.8 ¹	2.5	
Antimon	K[C ₄ H ₂ O ₆ Sb(OH) ₂] ₂ : 4.2-5.2	>2	[SbO ₄] ³⁻ : >2000
Barium	BaCl ₂ : 1.5	≈20'000	
Blei	Pb(Ac) ₂ : 5.5	2	1.8
Chrom(III)	CrCl ₃ x 6H ₂ O: <3.7-6.3	>0.2	
Chrom(VI)	Na ₂ Cr ₂ O ₇ : 6	0.4	0.3
Eisen	FeCl ₃ : <2	>3400	
Kalium	K ₂ SO ₄ : <1.7 KNO ₃	>9000 ... ²	
Kupfer	CuSO ₄ : 7.1	0.03	0.03
Magnesium	Mg(NO ₃) ₂ wie KNO ₃	... ²	
Mangan	MnCl ₂ : 5	4.5	
Nickel	NiCl ₂ : 8.3	0.002	0.003
Silber	AgNO ₃ : 8.2	0.004	0.006
Strontium	SrCl ₂ x 6H ₂ O: >3.2	<200	
Sulfid	Na ₂ S: 5.4	1.6	1.6
Thiosulfat	Na ₂ S ₂ O ₃ : 1.3	≈35'000	
Titan			
Vanadium	V ₂ O ₅ : 4.3	≈30	
Zink			

Eine BWZ von 7 ergibt eine TGK_e von 10E-07 kg/l. Die Angaben in der Spalte BWZ beziehen sich auf die Verbindung, während die Angaben in der Spalte TGK_e auf das Wirkion umgerechnet wurden. Demgegenüber sind TGKs aus Bringmann'76 aufgelistet.

¹ Testlösung nicht neutralisiert

² Kein feststellbarer toxischer Effekt in gesättigter Lösung

Aquatische Toxizität (Fische, Daphnien, Algen)

Für einige Metalle wurden vom Niederländischen RIVM Maximum Permissible Additions MPAs abgeleitet; für weitere liegen National Quality Criteria der U.S. EPA und von Suter & Tsao (Suter'96) abgeleitete Secondary Acute, bzw. Chronic Values (SAVs, SQVs) vor. In der Schweiz wurden ökotoxikologische Werte von Behra et al. (Behra'94) abgeleitet.

- Die Herleitung der Niederländischen Qualitätsziele (MPCs) von Crommentuijn et al. ist ausführlich in RIVM'97 beschrieben. Bei Vorliegen von Daten zur chronischen Toxizität (NOEC) für Spezies aus mindestens 4 taxonomischen Gruppen ergibt sich die **Maximum Permissible Addition MPA** mittels statistischer Extrapolation (Log-Normalverteilung, Potentially Affected Fraction PAF = 5%). Dabei wird pro Spezies ein Wert verwendet, der sich gegebenenfalls aus dem geometrischen Mittel zusammensetzt. Nach Addition der Hintergrundkonzentration erhält man die Maximum Permissible Concentration MPC. Reichen die Daten für eine statistische Extrapolation nicht aus, werden MPAs mit Hilfe von Sicherheitsfaktoren (Assessment Factors AFs) abgeleitet.
- In den USA existieren Qualitätskriterien für kurz- und langfristige Belastungen (**Criteria Maximum Concentration CMC** und **Criterion Continuous Concentration CCC**). Die Beurteilungswerte für Pb, Cd, Cu, Ni, Ag und Zn sind von der Wasserhärte abhängig; die in Tab. A14 aufgelisteten Werte gelten für eine Härte von 100 mg/l CaCO_3 (10° fH). Für die Ableitung von Final Acute Values (FAVs) und Final Chronic Values (FCVs) sind Daten zur akuten Toxizität gegenüber Wasserorganismen aus mindestens 8 definierten taxonomischen Familien und chronische Tests an Spezies aus mindestens drei der acht Familien erforderlich. Der FAV ist die geschätzte Konzentration, oberhalb derer 95% der Gattungen höhere „Genus Mean Acute Values“ (geom. Mittel der entsprechenden „Species Mean Acute Values“) aufweisen. Die Hälfte des FAVs ergibt das CMC. FCVs werden in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit wie FAVs oder durch Division des FAVs durch das Acute-Chronic Ratio abgeleitet. Als CCC wird der FCV oder der zum Schutz von Wasserpflanzen separat erhaltene Final Plant Value (FPV) gewählt. FAVs und FCVs werden gegebenenfalls in Abhängigkeit der Wasserhärte errechnet.
- Suter & Tsao (Suter'96) leiteten **Secondary Acute Values (SAVs)** und **Secondary Chronic Values (SCVs)** nach einer von der U.S. EPA empfohlenen Methode ab (Tier II method). Liegen weniger als die für FAVs, bzw. CMCs erforderlichen 8 „Genus Mean Acute Values“ (GMAVs) vor, wird der SAV durch Division des tiefsten GMAVs durch einen Faktor (Final Acute Value Factor FAVF) abgeleitet (z.B. beträgt der FAVF 20.5 wenn nur ein akuter Daphnien-Test vorliegt, für 7 GMAVs beträgt der FAVF noch 3.6). SCVs werden durch Division des SAVs durch das „Acute-Chronic Ratio (ACR)“ erhalten. Das ACR ist das geometrische Mittel der Quotienten von mindestens drei LC_{50}/CV aus definierten taxonomischen Familien. Liegen nicht drei ACRs vor, wird ein Default Value von 17.9 eingesetzt, bis die Anzahl Secondary Acute-Chronic Ratios SACRs = 3 ist (d.h. wenn kein chronischer Test vorhanden: SACR = 17.9).

- Nach Behra et al. bezeichnet der ökotoxikologische Wert öW jene Konzentration, unterhalb derer keine toxischen Wirkungen auftreten. Der öW wird durch Multiplikation eines Toxizitätswertes mit einem Extrapolationsfaktor erhalten. Unter Berücksichtigung der Hintergrund-Gehalte wurden dann sog. **Qualitätsziele (QZ)** für Fließgewässer festgelegt.

In Tab. A14 sind die Beurteilungswerte zusammengefasst. Für Sr wurde ein provisorischer PNEC von 420 µg/l und für Sulfid ein provisorisches SAV von 50 µg/l abgeleitet (s. Text).

Tab. A14: Beurteilungswerte (gelöste Gehalte mit Ausnahme von Al) für Gewässer [µg/l]

	Wertart	NL	USA	Tier II	CH
Al	CMC		750		
	CCC		87		
As	CMC		340		
	CCC		150		
	MPA	24			
	QZ				10
Sb	SCV			30	
	MPA	6.2			
Ba	SAV			110	
	SCV			4	
	MPA	150			
Pb	CMC		65		
	CCC		2.5		
	MPA	11			
	QZ				1
Cd	CMC		4.3		
	CCC		2.2		
	MPA	0.34			
	QZ				0.05
Cr gesamt	MPA	8.5			
	QZ				2
Fe	CCC		1000		

Tab. A14ff: Beurteilungswerte (gelöste Gehalte mit Ausnahme von Al) für Gewässer [$\mu\text{g/l}$]

	Wertart	NL	USA	Tier II	CH
Co	SAV			1500	
	SCV			23	
	MPA	2.6			
	QZ				10
Cu	CMC		13		
	CCC		9		
	MPA	1.1			
	QZ				2
Mn	SAV			2300	
	SQV			120	
Ni	CMC		470		
	CCC		52		
	MPA	1.8			
	QZ				5
Ag	CMC		3.4		
	SCV			0.36	
	QZ				0.1
Sr	SAV			15'000	
	SCV			1500	
H ₂ S	CCC		2		
V	SAV			280	
	SCV			20	
	MPA	3.5			
Zn	CMC		120		
	CCC		120		
	MPA	6.6			
	QZ				5

- Amerikanische CMC und CCC für **Al** (gesamt) gelten für pH-Werte zwischen 6.5-9. Kanadische Qualitätsziele (gesamt) betragen nach CCME'99a 5 $\mu\text{g/l}$ (pH <6.5, $\text{C}[\text{Ca}^{2+}] < 4 \text{ mg/l}$, DOC <2 mg/l), bzw. 100 $\mu\text{g/l}$ (pH ≥ 6.5 , $\text{C}[\text{Ca}^{2+}] \geq 4 \text{ mg/l}$, DOC $\geq 2 \text{ mg/l}$). pH-Werte, Ca- und DOC-Gehalte im Rhein bei Basel betragen z.B. 7.9-8.3 sowie 45-62 mg/l und 1.7-2.8 mg/l.
- Dem von Suter & Tsao (Suter'96) abgeleiteten SCV für **Sr** von 1500 $\mu\text{g/l}$ liegt ein tiefster Genus Mean Acute Value von 125'000 $\mu\text{g/l}$, ein FAVF von 8.6 sowie ein Acute-Chronic Ra-

tio von 9.85 zugrunde. Der tiefste in Aquire gefundene akute Wert für Fische und Daphnien beträgt 8.58 mg/l (7d LC₅₀ Carassius auratus).

In einem 28d-Reproduktionstest mit Regenbogenforellen (Oncorhynchus mykiss) ermittelten Birge et al. (Birge'80) einen LC₁ von 13 $\mu\text{g/l}$ (NOEC). Auch ein weiterer 28d-Reproduktionstest ergab für die Regenbogenforelle einen tiefen LC₁ von 6 $\mu\text{g/l}$. Ähnlich empfindlich reagierte die Amphibie Gastrophryne carolinensis (LC₁ = 2.4 $\mu\text{g/l}$), während für den Goldfisch (Carassius auratus) ein LC₁ von 45 $\mu\text{g/l}$ extrapoliert wurde (Birge). Diesen Werten stehen übliche Gehalte in Fließgewässern von 70 $\mu\text{g/l}$ gegenüber (DVWK'98). Gelöste Gehalte in U.S. Flüssen betragen bis 550 $\mu\text{g/l}$ (Median), Biesinger & Christensen massen im Lake Superior (USA) Sr-Gehalte von 12-27 $\mu\text{g/l}$. Offenbar ist die Toxizität von Sr von der Anwesenheit anderer Wasserinhaltsstoffe abhängig.

In einem 21d Daphnien-Reproduktionstest in Seewasser resultierte ein EC₁₆ von 42 mg/l (Biesinger'72). Weiter liegt ein NOEC von >150 mg/l (90-120 d) für Algen vor (Aquire). Daraus ergibt sich ohne Berücksichtigung der Daten von Birge mit einem AF von 50 ein MPA von 420 $\mu\text{g/l}$ (NOEC = EC₁₆/2), der als Beurteilungswert gewählt wird.

- Der von Suter & Tsao (Suter'96) abgeleitete SAV für **Ba** von 110 $\mu\text{g/l}$ beruht auf dem tiefsten von 3 Genus Mean Acute Values, dem ein FAVF von 8.6 unterlegt wurde. Mit einem Acute-Chronic Ratio von 28 erhielt man schliesslich den SCV von 4 $\mu\text{g/l}$. Dem Niederländischen MPC von 220 $\mu\text{g/l}$ liegt eine zulässige Addition von 150 $\mu\text{g/l}$ zugrunde, die aus Daten zur akuten Toxizität abgeleitet wurde (AF = 100). Im oben erwähnten Reproduktionstest mit Regenbogenforellen ergab sich ein LC₁ von 2813 $\mu\text{g/l}$ (Birge'80). Für Daphnia magna liegt ein 21d EC₁₆ von 5.8 mg/l (NOEC = EC₁₆/2) vor (Biesinger'72). Der NOEC für Algen wird mit 4 mg/l angegeben (Aquire). Daraus errechnet sich ein MPA von 280 $\mu\text{g/l}$ (AF = 10). Als Beurteilungswert wird der niederländische MPA von 150 $\mu\text{g/l}$ gewählt.
- Beim **Ti** betrug der LC₁ im 28d-Reproduktionstest mit Regenbogenforellen 191 $\mu\text{g/l}$. Der NOEC im Algentest (90-120 d) ist 6500 $\mu\text{g/l}$ (Aquire). Daneben liegt nur ein Wert zur akuten Toxizität gegenüber der Elritze vor (96 h LC₅₀ = 8200 $\mu\text{g/l}$ aus Aquire). Anhand dieser Datenlage kann kein Beurteilungswert festgelegt werden.
- Erwartungsgemäss wenig toxisch sind **K** und **Mg**. Die tiefsten von Suter & Tsao (Suter'96) in ihrer Kompilation aufgeführten chronischen Werte von 53 mg/l und 82 mg/l stammen aus der Arbeit von Biesinger & Christensen (Biesinger'72) und sind 21d EC₁₆ für Daphnia magna. Im 28d-Reproduktionstest mit Regenbogenforellen extrapolierten Birge et al. für Mg einen LC₁ von 368 mg/l. Auch die tiefsten gefundenen akuten Daten für K und Mg stammen von Biesinger & Christensen. Die 48h EC₅₀ für Daphnia magna betragen 93 mg/l und 140 mg/l.
- Für H₂S findet man in der Aquire-Datenbank akute Toxizitäten von 3 $\mu\text{g/l}$ (96h LC₅₀ Fisch). Die 1h LC₅₀ für Fische betragen immer noch um 40 $\mu\text{g/l}$. Demgegenüber ist **Sulfid** weniger toxisch. Die akute Toxizität für Na₂S gegenüber Daphnia pulex und magna beträgt 550 $\mu\text{g/l}$, bzw. 2100 $\mu\text{g/l}$ (48h EC₅₀). Unterlegt man dem daraus errechneten „Genus Mean Acute Value“ für Na₂S von 1075 $\mu\text{g/l}$ einen FAVF von 8.6 gemäss der in Suter'96 beschriebenen Methode resultiert ein SAV von ca. 50 $\mu\text{g/l}$ für Sulfid (Datenbasis s. Tab. A15).

Tab. A15: Daten zur aquatischen Toxizität von Sulfid

Spezies	Effekt	C [mg/l]	Literatur
Daphnia magna	48 h EC ₅₀	NH ₄ HS: 1 ≤ EC ₅₀ ≤ 10	TemaNord'97
Daphnia magna	48 h LC ₅₀	Na ₂ S: 2.1	Aquire
Daphnia pulex	48 h LC ₅₀	Na ₂ S: 0.55	
	24 h LC ₅₀	Na ₂ S: 0.80	
Fisch	96 h LC ₅₀	BaS: 4.1	TemaNord'97
Pimephales promelas (Fathead minnow)	48 h LC ₅₀	Na ₂ S: 1.38	Aquire
Macrobrachium rosenbergii (Giant River prawn; eine Krustazee)	96 h LC ₅₀	Na ₂ S: 2.57	
Chlorella pyrenoidosa (Grünalge)	96 h EC ₅₀	Na ₂ S: 75	
Faktor Na ₂ S → S = 0.41; Faktor BaS → S = 0.19			

Tab. A16: Daten zur aquatischen Toxizität von Thiosulfat

Spezies	Effekt	C [mg/l]	Literatur
Daphnia magna	100 h LC ₅₀	Na ₂ S ₂ O ₃ : 805	Aquire
	24 h LC ₅₀	2245	
Fisch	96 h LC ₅₀	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ : 265	TemaNord'97
Gambusia affinis (Koboldkärpfing)	96 h LC ₅₀	Na ₂ S ₂ O ₃ : 24'000	Aquire

Sediment-Toxizität

Für die Beurteilung der Schadstoff-Belastung von Sedimenten werden verschiedene Verfahren angewandt oder kombiniert. In den USA wurden u. a. mit Hilfe von Toxizitätstests an Sedimentproben aus Fließgewässern und/oder der An-, bzw. Abwesenheit von Sedimentbewohnern in Abhängigkeit der Schadstoff-Konzentrationen mit statistischen Methoden Orientierungswerte abgeleitet. Ähnlich wurde in Kanada bei der Festlegung von Interim sediment quality guidelines (ISQG) vorgegangen (CCME'99b). Bei den unteren Schwellenwerten zeigt sich, dass sie für einige Elemente (z.B. Pb, Cu, Zn) im Bereich natürlich vorkommender Gehalte liegen. Als Screening Levels werden hier mit dem niederländischen Approach erhaltene Werte gewählt (RIVM'97):

- Maximal zulässige Sediment-Additionen **MPA_{Sed}** werden aus den MPA_W für die Wasserphase und dem Verteilungskoeffizienten $K_{p(sed/w)}$ abgeleitet (Equilibrium partitioning approach EqP). Verteilungskoeffizienten $K_{p(sed/w)}$ sind in Tab. A11 aufgelistet, Beurteilungswerte für die Wasserphase findet man in Tab. A14. Als Beispiel errechnet sich aus dem provisorischen MPA von 420 µg/l für Sr mit dem $K_{p(sed/w)}$ von 59 ein MPA_{Sed} von 25 ppm.

Auch Crommentuijn et al. (RIVM'97) erhalten unter Berücksichtigung möglicher Kombinationseffekte und Ungewissheiten erwartungsgemäss tiefe „Negligible Concentrations“ NCs im Bereich der Hintergrund-Gehalte, wenn sie die „Negligible Addition“ NA als MPA/100 definieren (NC = MPA/100 + Background).

Terrestrische Toxizität

In Deutschland sind in der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BodSchV) für einige Metalle zulässige zusätzliche jährliche Frachten festgelegt. Sie bilden für alle Eintragspfade heute beobachtete durchschnittliche diffuse Einträge in Böden ab, die als typisch gelten können. Beispielsweise beträgt für Pb die zulässige Fracht 400 g ha⁻¹ a⁻¹. Demgegenüber werden in der TA Luft für einige Metalle Depositionswerte vorgeschlagen, welche auf Prüf- und Massnahmenwerten der BodSchV beruhen (Kontaminationsgefahr von Mensch und Tier für Kinderspielflächen, Ackerböden und Grünland bei einem Anreicherungszeitraum von 200 Jahren). Im Falle von Pb errechnet sich ein Immissionswert von 365 g ha⁻¹ a⁻¹.

In der Schweiz ist gemäss VBBo die Bodenfruchtbarkeit bei Pb-Gehalten von maximal 50 mg/kg langfristig gewährleistet. Basierend auf diesem Richtwert und einem Ausgangsgehalt von 24 ppm nach Tab. A12 errechnet sich bei einem Anreicherungszeitraum von 200 Jahren in einer Tiefe bis 20 cm ein schweizerischer Immissionswert von 365 g ha⁻¹ a⁻¹ (entspricht dem LRV-Immissionsgrenzwert im Staubbiederschlag).

Hier werden auf einem konservativen Ansatz basierende Beurteilungswerte gewählt: Screening Levels SLs für die entsprechenden Elemente sind die jeweils tiefsten in Tab. A17 aufgelisteten Werte (s. Erläuterungen zu Tab. A17). Um die feuerwerksbedingten Depositionsraten mit den SLs vergleichen zu können, werden letztere (mit der Einheit mg/kg) via eine Belastungstiefe von 20 cm und einer Boden-Dichte von 1400 kg/m³ in tolerierbare Einträge in g ha⁻¹ umgerechnet.

Tab. A17: Beurteilungswerte für Böden [mg/kg]

	TRV _{Plant}	TRV _{Spec./Proc.}	SL _{Plant}	SL _{Spec./Proc.}	MPA
Aluminium	5		50	600	
Antimon	0.5		5		0.53 (EqP)
Arsen	1	0.25	10	60	MPA _{Spec.} : 4.5 MPA _{Proc.} : 25
Blei	4.6	100	50	500	MPA _{Spec.} : 64 MPA _{Proc.} : 55
Barium	5		500	3000	9 (EqP)
Cadmium	0.2	10	4	20	MPA _{Spec.} : 0.76 MPA _{Proc.} : 11
Chrom	Cr(VI): 0.02	0.2	Cr(VI): 1	0.4	MPA _{Spec.} : 3.8 (CrIII) MPA _{Proc.} : 8.6 (CrIII) MPA _{Proc.} : 68 (CrVI)
Eisen				200	
Kobalt			20		MPA _{Spec.} : 24
Kupfer	1	32	100	50	MPA _{Spec.} : 24 MPA _{Proc.} : 3.5
Mangan			500	100	
Nickel	25	100	30	200	MPA _{Spec.} : 6.5 MPA _{Proc.} : 2.6
Silber	0.02		2	50	
Strontium ¹					
Titan				1000	
Vanadium			2	20	1.1 (EqP)
Zink	0.9	199	50	100	MPA _{Spec.} : 132 MPA _{Proc.} : 16

¹ Mit dem provisorischen MPA_w von 420 µg/l für Sr und dem K_{p(soil/w)} von 15 errechnet sich ein provisorischer MPA_{soil} von 6 ppm.

Erläuterungen zu Tab. A17:

- Niederländische tolerierbare Bodenadditionen **MPAs** wurden aus NOECs für Species (z.B. Mollusken, Ringelwürmer) und mikrobielle Prozesse (z.B. Respiration, Phosphatase) mittels statistischer Extrapolation (Log-Normalverteilung, Potentially Affected Fraction PAF = 5%) oder mittels EqP-Approach erhalten (RIVM'97).
- Screening Levels für phytotoxische Bodengehalte **SL_{Plant}** stammen aus Efromson'97a. Als Schwellenwert wurde eine 20%ige Reduktion des Wachstums oder Ertrags gewählt (zum Vergleich: für die Ableitung der VBBo-Richtwerte wurde eine Ertragsminderung von 10% bezogen auf den 90th-Perzentil des Normalertrags zugrundegelegt). Sind mindestens 10 LOECs vorhanden, wird als Screening Level der 10%-Perzentil gewählt (Effects Range Low ERL). Liegt als Endpunkt ein LC₅₀ vor, wurde der LOEC mit 1/5 LC₅₀ angenommen (expert judgment). Die SL_{Plant} wurden in „spiked-soil toxicity tests“ erhalten und entsprechen darum maximal zulässigen Additionen. Eine 20%ige Reduktion des Wachstums, der Reproduktion oder Aktivität wurde auch als LOEC für Bodenorganismen und mikrobielle Prozesse gewählt. Die aufgeführten **SL_{Spec./Proc.}** sind ERLs oder die tiefsten LOECs (Efromson'97b) und entsprechen wiederum maximal zulässigen Additionen.
- Ertrag oder Wachstum waren auch Endpunkte bei der Ableitung von Toxicity Reference Values **TRV_{Plant}** in EPA'99a. Teilweise basierend auf denselben Daten wie Efromson et al. (Efromson'97a) wurden hier als Beurteilungswerte chronische NOAELs gewählt und sub-chronischen NOAELs oder chronischen LOAELs entsprechende Sicherheitsfaktoren unterlegt.

Sekundäre Toxizität

Mensch

Als Beurteilungswerte für die menschliche Gesundheit werden Recommended Dietary Allowances **RDAs** (NAS), Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung **DGE** (BAG'91), **PTWIs** oder **PMTDIs** der WHO sowie Oral Reference Doses **RfD_s** (duldbare lebenslange Aufnahme ohne nachteilige Wirkungen auch für empfindliche Subgruppen) der U.S. EPA Region 9 beigezogen (Tab. A18 und A19). RDAs für Erwachsene (m = männlich, w = weiblich) können unter Annahme eines Körpergewichts (b.w.) von 60 kg von mg/d in mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹ umgerechnet werden. Für Kinder zwischen 4 und 8 Jahren und Säuglinge werden Körpergewichte von 20 kg, bzw. 5 kg angenommen.

Tab. A18: Empfohlene und tägliche Aufnahme von Elementen [mg/d] mit Nahrungsmitteln

	Empfehlungen DGE ¹	Recommended Dietary Allowances					Tägliche Zufuhr ¹
		Erw. m 31-50 a	Erw. w. 31-50 a	Kinder 4-8 a	Säuglinge 7-12 Mte.	Schwangere & Stillende	
Cr		0.05-0.2	0.05-0.2	0.05-0.2	0.01-0.06	0.05-0.2	0.05
Fe	12 (m) 18 (w)	10	15	10	10	30	17.7
K	3000-4000	2000	2000	1600	500-700	2000	3890
Cu	2-4	1.5-3	1.5-3	1-2	0.6-0.7	1.5-3	2.5
Mg	350 (m) 300 (w)	420	320	130	75	320-360	400
Mn		2-5	2-5	2-3	0.3-1	2-5	3.5
Zn	15	15	12	10	5	19	14.9

¹ Tägliche Zufuhr in der Schweiz nach BAG'91. Die Empfehlungen des DGEs wurden aus dieser Quelle entnommen

Tab. A19: Duldbare und tägliche Aufnahme von Elementen [mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹]

	RfD _o	PTWI oder PMTDI	Tägliche Zufuhr CH 1983	Tägliche Zufuhr D 1990/92	Tägliche Zufuhr UK 1997
Al	1.00E+00	1.00E+00	0.06E+00		0.05E+00
Sb	4.00E-04		0.20E-04		
As anorg.	3.00E-04	2.00E-03	1.50E-04		
Ba	7.00E-02		1.85E-02		
Pb		3.50E-03	3.60E-04	5.20E-04	4.00E-04
Cd	5.00E-04	1.00E-03	2.00E-04		2.30E-04
Cr(III)	1.50E+00		8.33E-04	2.60E-04	17E-04
Cr(VI)	3.00E-03				
Co	6.00E-02				0.02E-02*
Fe	3.00E-01		2.53E-01		2.50E-01*
Cu	3.70E-02	5.00E-01	3.57E-02	1.10E-02	2.33E-02
Mn	2.40E-02		5.00E-02	4.80E-02	7.50E-02*

Tab. A19ff: Duldbare und tägliche Zufuhr von Elementen [mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹]

	RfD _o	PTWI oder PMTDI	Tägliche Zufuhr CH 1983	Tägliche Zufuhr D 1990/92	Tägliche Zufuhr UK 1997
Ni	2.00E-02	5.00E-03	1.83E-03	1.40E-03	2.00E-03
Ag	5.00E-03				
Sr	6.00E-01		0.27E-01		
V	7.00E-03		0.30E-03		
Zn	3.00E-01	1.00E+00	2.12E-01	1.28E-01	1.83E-01

Die in mg pro Tag angegebenen PTWIs wurden unter Annahme eines Körpergewichts von 60 kg umgerechnet. Die Werte stammen aus MAFF'99.

Tägliche Zufuhr CH aus BAG'91 mit Ausnahme von Ba, Sr und V aus „Hazardous Substances Databank HSDB (<http://toxnet.nlm.nih.gov>)“. Tägliche Zufuhr D (Mediane) aus UBA'97. Tägliche Zufuhr UK aus MAFF'99; Daten mit Asterix für das Jahr 1994 aus MAFF'97.

Wildtiere

Mit Hilfe von NOAELs aus Sample'96 und EPA'99a und Biokonzentrationsfaktoren (BCFs) aus ORNL sowie entsprechenden Futter- und Wasser-Aufnahmen leiten sich für Säuger (Nerz, Fischotter) und Vögel (Reiher, Eisvogel) tolerierbare **Gewässergehalte** (Screening Levels SLs) ab, die für die wichtigen Feuerwerksmetalle Ba, Sr, Cu und V über den gewählten Beurteilungswerten für direkte Effekte liegen (Tab. A14). Für Pb errechnen sich tiefe SLs für Säuger und Vögel, die im Bereich des CH-QZ liegen.

Efroymson et al. (Efroymson'97c) errechneten ausgehend von einem typischen Futterkonsum sowie entsprechenden Uptake-Faktoren und -Modellen für verschiedene Metalle für Wildtiere tolerierbare **Bodengehalte** auf Basis der LOECs (Preliminary Remedial Goals PRGs). Aufgrund hoher Bodeningestionen und einer relativ hohen Chemikalienaufnahme mit dem Futter (v.a. Regenwürmer) waren eine nordamerikanische Mäuseart (short tailed shrew) und die Waldschnepfe (Scolopax minor) die empfindlichsten Arten. Die Beurteilungswerte für direkte Effekte für Ba, Pb und Cu (TRV_{Plant}) sowie V (MPA) liegen mindestens eine Grössenordnung unter den PRGs.

Nutztiere

In den EU-Richtlinien 70/524/EG (Zusatzstoffe in der Tierernährung) und 1999/29/EG (unerwünschte Stoffe und Erzeugnisse in der Tierernährung), bzw. in der Schweizer Futtermittelbuch-Verordnung (FMBV) in Anhang 2 (Zusatzstoffliste) und Anhang 10 (unerwünschte Stoffe und Produkte in Futtermitteln) sind u.a. für Eisen, Kupfer, Mangan und Zink sowie Arsen, Blei und Cadmium Höchstgehalte in Futtermitteln festgelegt. Maximum Tolerable Levels (MTLs) werden vom U.S. Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals (National Research Council) gegeben. MTLs sind zulässige Höchstgehalte in Futtermitteln, die über einen limitierten Zeitraum verfüttert werden dürfen, ohne dass das Tier Schaden nimmt und ohne dass sich kritische Gehalte in tierischen Nahrungsmitteln einstellen (Tab. A20).

Tab. A20: Zulässige Element-Gehalte in Futtermitteln [mg/kg 88% TS]

	Maximum Tolerable Levels	Regelungswerte EU/CH
Aluminium	Rindvieh, Schaf: 1000	
Arsen	Rindvieh, Schaf: 50 (anorg.)	Alleinfuttermittel: 2
Antimon	Kaninchen: 70-150	
Barium	Rindvieh, Schaf: 20 ¹	
Blei	Rindvieh, Schaf: 30	Grünfutter: 40 Alleinfuttermittel: 5
Cadmium	Rindvieh, Schaf: 0.5	Alleinfuttermittel: 0.5-1
Chrom	Rindvieh, Schaf: 3000 (Cr ₂ O ₃) Rindvieh, Schaf: 1000 (CrCl ₃)	
Eisen	Rindvieh: 1000 Schaf: 500	Alleinfuttermittel: 1250
Kalium	Rindvieh, Schaf: 30'000	
Kobalt	Rindvieh, Schaf: 10	Alleinfuttermittel: 10
Kupfer	Rindvieh: 100 Schaf: 25	Schaf: 15 sonstige Tierarten oder - kategorien ² : 35
Magnesium	Rindvieh, Schaf: 5000	
Mangan	Rindvieh, Schaf: 1000	Alleinfuttermittel: 250
Nickel	Rindvieh, Schaf: 50	
Schwefel	Rindvieh, Schaf: 4000 ³	
Silicium	Rindvieh, Schaf: 2000	
Strontium	Rindvieh, Schaf: 2000	
Titan	... ⁴	
Vanadium	Rindvieh, Schaf: 50	
Zink	Rindvieh: 500 Schaf: 300	Alleinfuttermittel: 250

¹ Lösliche Barium-Salze mit hoher Bioverfügbarkeit. Höhere Gehalte in wenig löslicher Form werden toleriert

² ausgenommen Schweine und Kälber

³ Die Toxizität anorganischer S-Verb ist auf die Bildung von Schwefelwasserstoff im Magen-Darm-Trakt (auch von Wiederkäuern) zurückzuführen

⁴ es wurden keine Hinweise auf orale Toxizität gefunden

Weitere Orientierungswerte für Ba und Sb ergeben sich wie unten beschrieben:

- Nach Sample et al. [Sample'96] ergibt sich anhand von Fütterungsversuchen an Ratten für **Ba** ein subchronischer LOAEL von 198 mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹ (Endpunkt: Mortalität) und daraus ein chronischer LOAEL von 19.8 mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹. Mit dem LOAEL für die Testspezies (LOAEL_T) ergibt sich der LOAEL für das Rindvieh (LOAEL_R) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Metabolismus-Raten wie folgt: LOAEL_R = LOAEL_T x (bw_T/bw_R)^{1/4} mit bw_T = 0.35 kg und bw_R = 600 kg. Mit dem chronischen LOAEL_R von 3.1 mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹ lässt sich bei einem Graskonsum von 15 kg TS/d eine LOAEL basierte Maximalkonzentration im Gras von 125 mg/kg ableiten.
- Basierend auf einem chronischen NOAEL für **Sb** von 0.066 mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹ (Testorganismus: Ratten; Endpunkt: Mortalität) nach USEPA'99 und einem chronischen LOAEL von 1.25 mg (kg b.w.)⁻¹ d⁻¹ (Testorganismus: Mäuse; Endpunkt: Mortalität) nach Sample'96 errechnen sich Screening Levels für das Tierfutter (Gras) von 0.4 ppm und 7.5 ppm (s. Ausführungen unter Ba).

Übliche Metall-Gehalte in Gewässern, Böden und Biota

In den folgenden Tabellen sind Gehalte von feuerwerksrelevanten Metallen in

- Abwasser
- Oberflächengewässern
- Grundwasser
- Schwebstoffen und Sedimenten
- Böden
- Biota

aufgelistet. Daten für Kalium und Magnesium sind der Vollständigkeit halber mitaufgeführt. Beim Vanadium liegen keine Angaben zum Verbrauch in Effektsätzen vor. Niederländische und amerikanische Messreihen belegen, dass V in Pyrotechnika formuliert wird. Übliche V-Gehalte in Umweltproben wurden deshalb in die folgenden Tabellen integriert.

Tab. A21: Übliche Schadstoffgehalte in Gewässern, Böden und Biota

	Jahr	K	Mg	Sr	Ba	Ti	V	Cu	Zn	Al	Sb	Literatur
Gehalte in Abwasser und Gewässern (in µg/l; g = gelöste Gehalte)												
ARA-Zulauf (D), Mittel von 2 kommunalen Anlagen	92-97				180 ¹ 127-282	365	5.6	86.5	415			LUA NRW'98
ARA-Zulauf (D), 10 Anlagen der chem. Industrie	92-97					50 th : 185 20-38'000	50 th : 8.6 2-1900	50 th : 87 6-1400	50 th : 230 28-760			
ARA-Zulauf (D) Herstellung Erfrischungsgetränke (Stichproben, n=4)	...			335 315-352	136 112-153			86 28-129	376 333-426	1528 1240-1870		WaBoLu'98
Schnee (geschmolzen) von Strassen (n=4) und unbelastetem Standort (CAN)	...	5000 <2000	8000 <50	108 <1	260 <10	1050 <10		120 <10	8640 <6	12'000 <200		Warrington'98
Strassenablauf allgemein	...	3600	1.5-29 mg/l		130 (g)	26 (g)	2 (g)	60-230	320-1000	19'000		BUWal'96
ARA-Ablauf (D), Mittel von 2 kommunalen Anlagen	92-97					20	2	10.4	23			LUA NRW'98
ARA-Ablauf (D), Mittel 10 Anlagen der chem. Industrie	92-97					50 th : 20 10-97	50 th : 8 2-850	50 th : 13 2-120	50 th : 39 3-430			
Flusswasser allgemein	...	4100	2300	70	20	3	0.9	<7	<20	50	0.07	DVWK'98
Hintergrund-Gehalte Fließgewässer						...	...	0.5-2.0	1.8-7	...		UBA'94
						1 (g)	0.3 (g)	<0.1-0.2 (g)	<1-2 (g)	<1-5 (g)		Wachs'98
Hintergrundgehalte NL					76 73 (g)		0.96 0.82 (g)	1.1 0.44 (g)	12 2.8 (g)		0.32 0.29 (g)	RIVM'97
Willamette River, Columbia Basin USA (Q≈1000 m³/s)	96-98	50 th : 760 95 th : 1110	50 th : 2009 95 th : 2623	50 th : 39 (g) 95 th : 46 (g)	50 th : 5.9 (g) 95 th : 7.3 (g)			50 th : 1.0 (g) 95 th : 3.0 (g)	50 th : 2.0 (g) 95 th : 7 (g)	50 th : 9.5 (g) 95 th : 141 (g)		NASQN
Green River, Colorado Basin USA (Q≈135 m³/s)	96-98	50 th : 2245 95 th : 2900	50 th : 21'880 95 th : 29210	50 th : 555 (g) 95 th : 720 (g)	50 th : 63 (g) 95 th : 85 (g)			50 th : 1.8 (g) 95 th : 3.0 (g)	50 th : <1 (g) 95 th : 3.0 (g)	50 th : 3.4 (g) 95 th : 6.3 (g)		

¹ Abwasser vorwiegend aus Haushalten (5 St'orte D 80er Jahre) nach TU München'81

	Jahr	K	Mg	Sr	Ba	Ti	V	Cu	Zn	Al	Sb	Literatur
Gehalte in Abwasser und Gewässern (in µg/l; g = gelöste Gehalte)												
South Umpqua River Basin USA 10 Standorte	1998	50 th : 750 0.3-2.4 mg/l 90 th : 1230	50 th : 6550 1.8-17 mg/l 90 th : 11'600		50 th : 20 (g) 4-41 (g) 90 th : 28 (g)			50 th : <1 (g) <1-97 (g) 90 th : 17 (g)	50 th : 2 (g) 1-1450 (g) 90 th : 266 (g)	50 th : 3 (g) 1-9 (g) 90 th : 8 (g)	alle: nd (<1) (g)	Hinkle'99
Rhein bei Köln und Düsseldorf; Mittel- und in Klammern Maximalwerte	1993				56 (100) ...		1988: 4-7 ¹	... 4 (9)	25 (60) 24 (76)	200 (990) 410 (1880)	<0.5 (0.7) ...	IAWR'95
Rhein bei Rekingen (CH)	1995	1800 (n=26) 1.2-2.3 mg/l 90 th : 2100	9500 (n=26) 7.8-13 mg/l 90 th : 11'000					1.2 (n=22) 0.4-3.0 90 th : 2.2	5.0 (n=23) 2.0-12 90 th : 10.0			IKSR'95
Lake Superior USA	70er Jahre	534 480-590	3123 2940-3590	16 12-27	14 8-22			1.51 0.3-3.2	0.78 1-2.7	1-26		Biesinger'72
Lac Léman Tiefenprofile April und September	1990		6200					3.5 (3-5) ² 1.1 (0.9-1.3)	... ²	7 (4-10) 14 (3-21)		CIPEL'90
Grundwasser (NL)	...				100 1-1300		0.8 0.1-3.4	0.7 0.3-14	25 3-2800			RIVM'92
Grundwasserleiter a.) Granit-Syenit, Gabbro (D)	80er			292 233-456	90 11-352			2 <2-7.2	33 8-79			DVWK'98
b.) Sandsteine, Untergeordnet Schluffsteine (D)	80er			145 105-203	162 46-195			3 <2-9.4	44 16-201			
Grundwasser Urkantone	1997	160-2600	2000-18'000	20-1900	5-240			alle: <2	<2-160	alle: <10		Urkt.'97
Grundwasser Basel	90/91							<0.3-3.7	2-70	<0.1-2.3		BS'91
Quellwasser Schweiz	1991		≈16'000					<2-3	<10	<5-6		ZH'91
Mineralwässer	...	50 th : 2300 ³ 0.75-12 mg/l	50 th : ≈40'000 ³	50 th : 620 10-11'300	50 th : 54 <20-385			50 th : 2 0.5-8 ⁵	50 th : 0.9 <0.2-66.5	50 th : 10 <3-68		Mitt. Lebensm Hyg.'99
Trinkwasser (D) Ruhrtal	1998	3300 2.5-4.1 mg/l	5800 4.8-6.6 mg/l	168 113-191	33 16-40		alle: <2	3 <1-6	<5 <5-6	<10 <10-14	alle: <0.5	www.dew.de

¹ Rhein bei Lobith (D/NL)

² zum Vergleich Zürichsee: 0.4-0.8 µg/l Cu und 0.5-3 µg/l Zn nach Behra'94

³ Mineral- und Thermalquellen Schweiz (3-7 Standorte) nach Jäckli'85

	Jahr	K	Mg	Sr	Ba	Ti	V	Cu	Zn	Al	Sb	Literatur
Gehalte in Sedimenten (in mg/kg)												
Hintergrundwerte NL					155		42	36	140		3.0	RIVM'97
Hintergrundwerte USA				49	700		50	10-25	7-38			Buchman'99
Lower Snake River Basin	92-97			50 th : 225	50 th : 390	50 th : 3300	50 th : 66	50 th : 17	50 th : 89	50 th : 54'500	50 th : 0.4	Clark'98
USA 20 Standorte				120-320	13-1100	1.9-6.1 g/kg	49-180	11-62	62-250	39-76 g/kg	<0.2-3.1	
				90 th : 282	90 th : 662	90 th : 4400	90 th : 121	90 th : 34	90 th : 150	90 th : 72'100	90 th : 1.1	
Tualatin River Basin USA	92-96	50 th : 13'000	50 th : 7500	50 th : 250	50 th : 640	50 th : 8300	50 th : 160	50 th : 32	50 th : 150	50 th : 72'000	50 th : 1.0	Bonn'99
16 Standorte		25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	25 th -75 th :	
		12-15 g/kg	6.9-8.7 g/kg	220-260	580-680	7.1-9.8 g/kg	130-170	24-45	130-220	42-56 g/kg	0.9-2.0	
		90 th : 15'000	90 th : 15'000	90 th : 280	90 th : 690	90 th : 14'000	90 th : 240	90 th : 55	90 th : 340	90 th : 76'000	90 th : 2.0	
Rhein bei Somvix und Aare	86-89		10'250	141	379	1750	77	30	88			BUWAL'95
im Haslital (quellnah)			10'850	122	390	3150	103	46	167			
Rhein bei Basel			11'450	189	226	921	71	52	243			
Aare bei Bern			9050	178	203	1080	73	54	170			
Median Fließgewässer CH	86-90		8450	153	192	1070	68	39	146			
75 Standorte, n=333												
Bodensee, 7 Standorte	1982	14'000	14'070	455				31	169			IGKB'84
		6-26 g/kg	7.5-27 g/kg	326-705				16-40	79-309			
Bodensee (Obersee), Sedi- ment 1976-1981	76-81	12'300	13'600	621				37	106			
Bodensee (Obersee), Sedi- mentkern 1944-1954	44-54	13'400	15'200	425				30	109			
Lake Miccosukee Florida	...			50 th : 37	50 th : 98		50 th : 10	50 th : 4	50 th : 3			Donoghue'98
USA, 9 Standorte				6-291	16-526		2-58	1-48	1-55			
Lake Champlain New York	1976	28'900		177		4655		59	192	70'800		Wahlen'80
State USA		s _x =2000		s _x =11		s _x =219		s _x =55	s _x =58	s _x =3400		
3 Seen New York State	75-78	19-29 g/kg		64-340		1.9-4.7 g/kg		24-59	89-278	64-71 g/kg		

	Jahr	K	Mg	Sr	Ba	Ti	V	Cu	Zn	Al	Sb	Literatur
Gesamtgehalte [mg/kg] in ausgewählten Böden (mit Asterix* nach VBBo)												
Hintergrundgehalte		25'000 ¹		50-120 ²	155 ³	2530 ¹	42 ³	36 ³	140 ³	55'600 ¹	3.0 ³	s. Legende
Sachsen (D) immissions- belastet 57 Probenahme- stellen (Mediane)	1999	11'900 ± 253	499 ± 146	84 ± 5	393 ± 10	3593 ± 149	65 ± 3	54 ± 5	148 ± 22	7640 ± 815	...	Winter'00
Wald (Winterthur), Mittel- und Extremwerte*	...	13'958 7-21 g/kg	7980 4-21 g/kg		254 129-366	3785 2352-4836	74 50-110	50 th : 11 ⁴ 90 th : 19 ⁴	57 44-59	47'340 27-67 g/kg		Meyer'91
Gehalte in Biota [mg/kg TS]												
Löwenzahn (D) 57 Probe- nahmestellen (gewaschene Blätter)	1999	Gesamtme- dian: 42'545 ± 1485	Gesamtme- dian: 2916 ± 105	Stadt: 39 Feld: 46 Wiese: 47	Stadt: 13.6 Feld: 9.0 Wiese: 18.8	Stadt: 5.6 Feld: 5.0 Wiese: 5.4	Stadt: 0.19 Feld: 0.16 Wiese: 0.16	Stadt: 13.4 Feld: 12.5 Wiese: 16.2	Stadt: 46 Feld: 34 Wiese: 57	Stadt: 84 Feld: 80 Wiese: 74	...	Winter'00
Gehalte in Biota [mg/kg FS]												
Forellen Alpengewässer (n=15)				50 th : 7.8 90 th : 16.2				50 th : 0.5 90 th : 0.7	50 th : 12.5 90 th : 16.7	50 th : 0.2 90 th : 0.6		ZH'98
Forellen Fließgewässer Mittelland (n=19)				50 th : 2.3 90 th : 4.4				50 th : 0.2 90 th : 0.3	50 th : 8.8 90 th : 14.9	50 th : 0.2 90 th : 0.56		
Fische ⁵ Tualatin River Basin USA 16 Standorte	92-96			50 th : 20 75 th : 26	50 th : 2.3 75 th : 2.6		50 th : 0.28 75%: 0.37	50 th : 0.65 75 th : 0.8	50 th : 22 75 th : 26	50 th : 6.5 75 th : 13.5		Bonn'99
Fische ⁵ Lower Snake River Basin USA 3 St'orte, n=5	92-97			50 th : 1.0 0.14-2.1	50 th : 0.07 0.02-0.08		50 th : 0.05 0.04-0.06	50 th : 0.24 0.15-0.3	50 th : 4.7 3.9-5.8	50 th : 0.13 0.02-0.6	50 th : <0.05 0.04-0.06	Clark'98

¹ Mittelwerte und Range allgemein nach Fishbein

² Übliche Gehalte nach DVWK'98

³ Hintergrund-Gehalte NL nach RIVM'97

⁴ Wald (CH), n=16, nach BUWAL'93

⁵ Gehalte bezogen auf Trockengewicht in FS umgerechnet mit dem von den Autoren angegebenen mittleren Frischgewicht

Anhang 3: Lärm

Grundlagen

Lärm

Lärm ist unerwünschter Schall. Beim Luftschall handelt es sich um kleine Schwankungen des Luftdrucks. Der Hörbereich des Menschen umfasst einen Druckbereich von 2×10^{-5} Pa bis 20 Pa. Luftdruckänderungen werden im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20'000 Hz wahrgenommen.

Lärmwirkungen reichen von körperlichen bis zu psychischen Beeinträchtigungen. Bei Feuerwerken steht die Beurteilung möglicher Gehörschäden im Vordergrund. Darüberhinaus erschreckt impulsartiger Lärm Mensch und Tier. Als indirekte Folge können sich insbesondere bei Tieren Unfälle ereignen, die auf unberechenbare Schreckreaktionen („fight-or-flight“) zurückzuführen sind. Beurteilungswerte, z.B. als maximal zulässige Schalldrucke, können für solche Wirkungen nicht gegeben werden. Im Falle der Gehörgefährdung gilt als einfachste Näherung, dass Tiere bei Anwendung von für den Menschen abgeleiteten Beurteilungswerten zumindest teilweise geschützt sind.

Schalldruck

Der Schalldruck p hat die Einheit [Pa] oder $[N/m^2]$, die Hörschwelle ist definiert mit $p_0 = 2 \times 10^{-5} N/m^2$.

Schallintensität

Die Schallintensität I ist definiert als Schalleistung pro Fläche. Die Herleitung führt zur Gleichung $I = p^2/(c \cdot \rho)$. Dabei entspricht p dem Schalldruck, c der Schallgeschwindigkeit und ρ der Dichte. Die wichtigste Aussage ist, dass die Schallintensität proportional zum Quadrat des Schalldruckes ist. Dies hat einen Einfluss auf das Verhalten der Schallausbreitung und erlaubt die Berechnung des Schallpegels sowohl basierend auf dem Schalldruck oder der Schallintensität. Die Hörschwelle ist definiert mit $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ (definiert bei einer Frequenz von 1kHz).

Schallpegel

Der Schallpegel L ist der Vergleich des Schalldruckes p zum Schalldruck der Hörschwelle $p_0 = 2 \times 10^{-5} N/m^2$ (20µPa oder 0.0002µbar) oder der Vergleich der Schallintensität I zur Hörschwelle $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ definiert bei einer Frequenz von 1kHz. Die Formel lautet:

$$L = 20 \log (p/p_0) = 10 \log (I/I_0) \quad (1)$$

PSF

Pounds per Square Foot PSF ist ein Mass für den Schalldruck p und lässt sich nach $1 \text{ PSF} = 1 \times 9.81 m/s^2 \times (0.45359 \text{ kg} / 0.0929 \text{ m}^2) = 47.898 N/m^2$ in $[N/m^2]$ umrechnen. Daraus ergibt sich:

$$L = 20 \log (47.898 p_{[PSF]} / p_0) \text{ oder } L = 127.6 + 20 \log p_{[PSF]} \quad (2)$$

Bewertete Pegelmasse

Bei gleichem Schalldruckpegel werden v.a. tiefe aber auch hohe Töne leiser wahrgenommen als Töne mit Frequenzen um 2 KHz. Die Pegel- und Frequenzabhängigkeit der akustischen Wahrnehmung wird durch Frequenzbewertungskurven (A, B, C und D) berücksichtigt. Kurze Geräuschimpulse, wie sie insbesondere bei explodierenden Feuerwerkskörpern auftreten, werden wegen der Trägheit des Gehörs leiser wahrgenommen, als es der Schallpegel erwarten liesse. Bei der Pegelmessung wird mit der Geräte-Einstellung SLOW die Energie über eine Sekunde und mit der Einstellung FAST über 125 ms gemittelt. Seit einiger Zeit existieren auch Messgeräte, welche die Schallenergie auch sehr kurzer Impulse erfassen und als Sound Exposure Level (SEL) auswerten können.

Sound Exposure Level SEL

Der Sound Exposure Level SEL ist das Integral des Schallpegels L über das gesamte Ereignis, referenziert auf $t_0 = 1$ Sekunde (Gl. 3). Bei der Messung des Schallpegels kommen oben genannte Messfilter zum Einsatz, welche Korrekturen in den Frequenzbereichen bei der Messung vornehmen. Man spricht dann von Schallpegel dBA oder dBC und von Sound Exposure Level ASEL oder CSEL. Mittelungspegel werden oft in der Form L_{Aeq} oder L_{Ceq} angegeben.

$$SEL = 10 \log \left(\frac{1}{1s} \int_0^T \frac{p^2}{p_0^2} dt \right) \quad (3)$$

Mittelungspegel L_{eq} (L_m)

Wird der Durchschnitt der Schallintensitäten über längere Zeit gebildet und der Pegel errechnet, erhält man den Mittelungspegel L_{eq} (eq = energieäquivalent). Die Umformung von Gleichung (4) ergibt, dass z.B. eine 8stündige Exposition mit 85 dBA ($L_{eq(8h)}$) die gleiche Gehörgefährdung beinhaltet wie eine einstündige Exposition bei 94 dBA ($L_{eq(1h)}$ - $L_{eq(8h)} = 9$). Der Halbierungsparameter q von 3 dB (Pegelerhöhung um 3 dB wird kompensiert durch halbierte Einwirkungszeit) wird international in vielen Regelwerken angewandt.

$$T(\text{Min}) = 480 * 1/(2^{(LeqT - Leq8h)/3}) \quad (4)$$

Beziehung zwischen SEL und L_{eq}

Der mit dem L_{eq} korrespondierende SEL errechnet sich nach Gleichung 5. Für $T = 3600$ s und $t_0 = 1$ s ergibt sich z.B. bei einem $L_{eq(1h)}$ von 94 dBA ein SEL (1h) von 130 dBA.

$$SEL = L_{eq} + 10 \log (T/t_0) \quad (5)$$

Der $L_{eq(1h)}$ errechnet sich aus dem ereignisbezogenen SEL₁ bei n Ereignissen nach Gleichung 6:

$$L_{eq(1h)} = SEL_1 + 10 \log (n) - 10 \log (3600) \quad (6)$$

Schallausbreitung

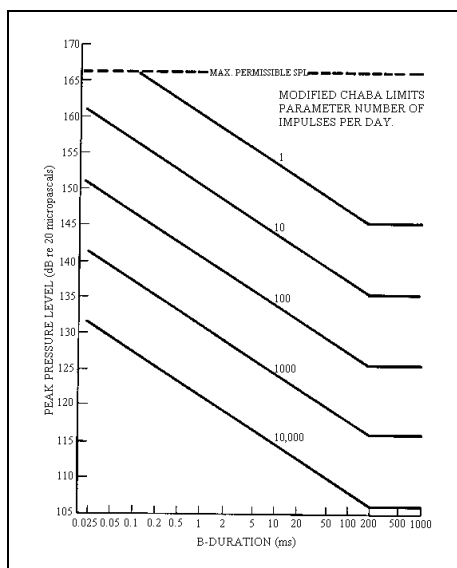
Für eine punktförmige Quelle mit dem Schalldruckpegel L_1 im Abstand s_1 gilt im Abstand s_2 von der Quelle für den Pegel L_2 Gl. 7.

$$L_2 = L_1 - 20 \log(s_2/s_1) \quad (7)$$

Beurteilungswerte Gehörgefährdung

Es gibt in Europa keinen allgemein anerkannten Grenzwert für Knallereignisse. Eine Auswertung von audiometrischen Daten zur vorübergehenden Schwellenabwanderung (temporary threshold shift TTS) der U.S. EPA (EPA'74) im Jahre 1974 ergab, dass zur Vermeidung eines Hörverlustes von mehr als 5 dB bei 4000 Hz bei mehr als 10% der Leute nach 10 Jahren täglicher Exposition ein L_{peak} von 145 dB nicht überschritten werden darf.

Abb. A8: Modifizierte CHABA-Limiten für Impulslärm



In EPA'74 wird weiter empfohlen, die Dauer des impulshaltigen Schalls und die Anzahl der Impulse zu berücksichtigen. So beträgt z.B. der zulässige L_{peak} für einen Impuls von 10 ms Dauer (B-Duration) bei 100 Impulsen/Tag 135 dB und bei 1000 Impulsen/Tag 125 dB. Die Annahme einer B-Duration (oszillatorisches Ausklingen) ist für Impulse mit einfachen Spitzen wie z.B. Gewehrschüsse im Freien (A-Duration) konservativ. Für 100 Impulse mit einer A-Duration ab 1 ms beträgt der L_{peak} 140 dB (für $n = 1000$ gemäss $n = 10^{16-L/10} = 130$ dB).

Nach Matéfi & Hohmann (Matéfi'98) erlaubte die Messtechnik der 70er Jahre noch keine Integration der Schallenergie kurzer Knalle. Heute ersetzt der Sound Exposure Level SEL frühere Pegel/Wirkzeit-Kriterien wie obige CHABA-Limiten. Für gehörgefährdenden Lärm am Arbeitsplatz wurden deshalb in der Schweiz von der SUVA (SUVA'98) für Impulsschallereignisse Grenzwerte für Peakpegel und SEL festgelegt:

- Lärm am Arbeitsplatz ist gehörgefährdend, wenn Impulsschallereignisse über 140 dB(C Peak) liegen und der über eine Stunde aufsummierte Schallexpositionspegel SEL 125 dB(A) überschreitet.
- Impulsschallereignisse mit einem Spitzenpegel über 140 dB(C), deren - während einer Stunde aufsummierter - SEL aber 125 dB(A) nicht erreicht, werden als Belastung im Grenzbereich der Gehörgefährdung betrachtet. Der auf einen Arbeitstag von 8 Stunden berechnete energieäquivalente Dauerschallpegel (L_{eq}) darf höchstens 85 bis 87 dB(A) betragen.

Von der WHO wurden 1999 Guideline Values u.a. für spezifische gehörgefährdende Tätigkeiten festgelegt (WHO'99). Danach sollte für Feuerwerke typischer Impulslärm einen L_{peak} gemessen in Gehörsnähe (10 cm) von 140 dBA nicht überschreiten. Für Kinder beträgt der Wert 120 dB. Einerseits wurde aus Tierversuchen gefolgert, dass das kindliche Gehör empfindlicher als das Erwachsener ist, andererseits ist die Exposition von Kindern mit lauten Spielzeugen wie Spielzeugwaffen aber auch Knackfröschen, Trompeten oder Trillerpfeifen bedeutend. Zum Schutz des Gehörs Jugendlicher bei Aktivitäten wie Besuchen von Indoor- und Open Air-Konzerten sowie Diskotheken legte die WHO einen provisorischen Guideline Value von 100 dB L_{Aeq} gemittelt über 4 Stunden fest (L_{Amax} 110 dB gemessen mit der Geräteeinstellung FAST). Der in der Schweiz für solche Expositionen in der Schall- und Laserverordnung 1996 festgelegte L_{Aeq} beträgt 93 dB gemittelt über 60 Minuten. Ausnahmen sind möglich; dann müssen die Veranstalter es vorher ankündigen und gegebenenfalls Ohrenschutz anbieten. Es gilt jedoch: Auf keinen Fall dürfen die Immissionen den Mittelungspegel L_{Aeq} von 100 dB und den Maximalpegel von 125 dBA (FAST) für die gesamte Dauer der Veranstaltung übersteigen. Die Schallimmissionen werden am Ort ermittelt, an dem das Publikum dem Schall am stärksten ausgesetzt ist.

Messdaten und Expositionsabschätzung

Schallpegel von ausgewählten Feuerwerkskörpern

In Tabelle A22 sind Immissionspegel aufgeführt, die beim Abfeuern von Bodenknaallern (Cracker) resultieren. Messkampagnen fokussieren sich besonders auf diese Typen, weil deren Gefährlichkeit für das Gehör seit einiger Zeit Gegenstand von Diskussionen ist. Bodenknaallendes Feuerwerk wie China-Böllern werden in der Schweiz nicht zugelassen. Als Anhaltspunkt für die akustische Belastung durch Feuerwerkskörper können die von der Kantonspolizei Sankt Gallen sowie die von Hohmann ermittelten Messwerte dienen (Tabellen A23 und A24).

Tab. A22: Mittlere Schallpegel (L_{peak}) für Cracker zitiert in Maschke

Knallkörper*	Bodenentfernung zum Knallkörper			
	1m	2m	4m	8m
Kanonenschlag, kubisch C	159,2	154,5	149,3	144,3
Super-Böller II	155,9	151,7	145,1	139,2
China-Böller D	151,6	148,0	143,0	137,8
China-Böller B	157,1	152,3	148,9	142,9
China-Böller A	152,1	147,1	144,9	138,2

*aufgeführt sind Artikel mit ihrem Markennamen

Tabelle A23: Schallpegel (SEL) in der Schweiz erhältlicher pyrotechnischer Gegenstände gemessen in 8 m Entfernung nach Steiner'00

Produkt	Herkunft	Länge	Durchmesser	SEL (dB)
Schweizerkracher Nr. 1*	Schweiz	70 mm	7 mm	108,4
Schweizerkracher Nr. 2*	Schweiz	80 mm	10 mm	113,3
Schweizerkracher Nr. 3*	Schweiz	90 mm	13 mm	116,5
Kanonenkracher Nr. 1*	Schweiz	104 mm	20 mm	120,0
Donnerschlag klein Nr. 2*	Schweiz	56 mm	39 mm	123,2
Donnerschlag gross Nr. 4**	Schweiz	71 mm	58 mm	120,9
Flashing Thunder Nr.1	China	96 mm	20 mm	116,5
Lady Cracker's, 1 Kette	Deutschland	22 mm	3 mm	95,0
Luftpfeifer Nr. 1708-05	Deutschland	70 mm	6 mm	85,9

* Nur mit Knallartikelerklärung, nicht im Detailhandel erhältlich

** Erwerbsschein erforderlich

Tabelle A24: Schallpegel (L_{peak} und SEL) in der Schweiz erhältlicher pyrotechnischer Gegenstände gemessen in 1 m Entfernung nach Hohmann'95

Produkt	N_{total}	Peak dB(C)	SEL_N dB(A)	SEL_1 dB(A)	Bemerkungen
Knallteufel	1	135.9	93.6	93.6	Zertreten
Knallteufel	8	138.4	101.7	92.4	Zertreten
Knallteufel	20	133.6	101.7	88.7	
Knallkörper 40er	40	155.3	120.2	104.2	„Corsair“, 40/Schnur
Knallkörper 40er	40	149.4	121.1	105.1	
Knallkörper 40er	40	149.0	121.0	105.0	
Dragon Banger	40	149.8	120.2	104.2	
Dragon Banger	40	148.0	118.6	102.2	
Dragon Banger	40	147.8	118.2	102.2	
Blitz Knatterball	1	146.3	119.4	119.4	Grüne „Bömbchen“
Blitz Knatterball	1	147.3	118.3	118.3	
Blitz Knatterball	1	147.6	120.6	120.6	
Blitz Knatterball	1	147.0	120.2	120.2	
Blitz Knatterball	1	147.6	118.4	118.4	
Flashing Thunder	1	138.9	105.7	105.7	Luft, korrekte Anw.
Flashing Thunder	1	140.1	105.8	105.8	
„Luftknaller“	3	125.0	98.1	93.1	
Flashing Thunder	1	141.8	105.5	105.5	Luft, korrekte Anw.
Flashing Thunder	1	165.0	128.2	128.2	am Boden, unter Stein
Flashing Thunder	1	151.7	115.9	115.9	am Boden, Fehlzündung
Flashing Thunder		163.1	127.0	127.0	am Boden, unter Stein
Knallkörper 40er	40	146.7	117.0	101.0	auf Gras, ohne Platte
Knallkörper 40er	40	145.9	117.5	101.5	auf Gras, ohne Platte

Messanordnung und Umgebungsbedingungen: Feuerwerkskörper auf Eternitplatte. Messdistanz 1 m zum Feuerwerkskörper. Messpunkt 85 cm über Boden. Temperatur ca. 22°C, Windstille

Fallbeispiele organisierte Feuerwerke

Von Maglieri & Henderson (Maglieri'73) wurden 1973 in den USA an einem Feuerwerk Messungen durchgeführt. In ihrem Artikel beschränken sich Maglieri & Henderson auf die Darstellung der Schallereignisse von Feuerwerkskörpern mit Kalibern von 100 mm, 127 mm und 152 mm, welche 900 bis 1360 g pyrotechnische Sätze enthalten, und die höchsten gemessenen Schallpegel verzeichneten. Nach Angaben von Feuerwerkern werden bei kleineren Feuerwerken Kaliber von 30-125 mm abgeschossen, bei grösseren Feuerwerken von rund 20 Min. Dauer auch grössere (125, 150, 200-300 mm).

Abb. A9: Schalldruck-Zeitverlauf eines Saluts

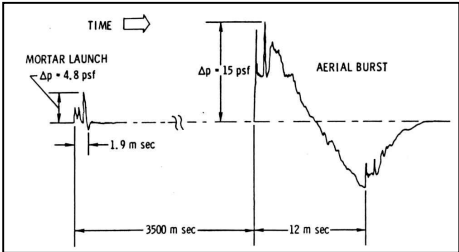


Abb. A9 zeigt den Schalldruck-Zeitverlauf eines Feuerwerkskörpers mit einem Kaliber von 152 mm, der als Effekt einen kräftigen Knall (Salut, Schlag, Thunder, Report, Maroon) erzeugt. In der Signatur erkennbar ist der Start mit einem L_{peak} von 140 dB und einer Dauer von 1.9 ms, gefolgt vom Salut nach 3.5 s mit einer Dauer von 12 ms und einem L_{peak} von 151 dB. Der L_{peak} von Reports mit Kalibern von 152 mm (6 in), die 1360 g (3 lb) pyrotechnische

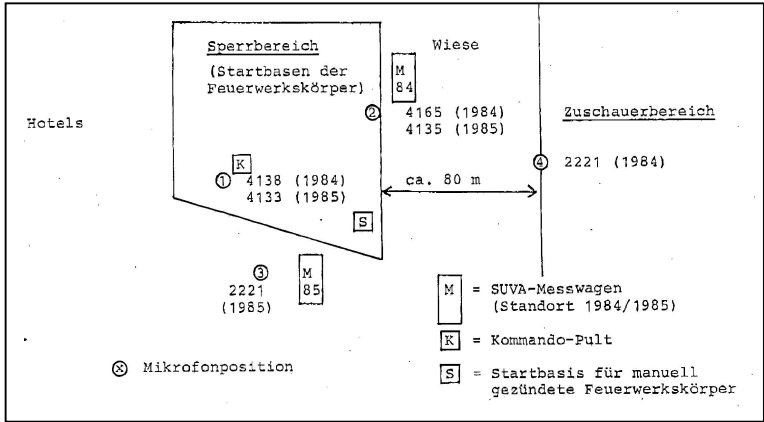
Sätze enthalten, wurde im Zuschauerraum auf maximal 136 dB geschätzt wird. Ein ereignisbezogener SEL für das Grossfeuerwerk wird von den Autoren nicht gegeben. Für die Schweiz liegen Daten von Hohmann vor, der 1984 und 1985 Messungen am 1. August-Feuerwerk der Stadt Interlaken durchführte. Abb. A10 zeigt die Skizze des Abschussplatzes sowie die Standorte der Mikrophone.

Im Zuschauerareal in ca. 80 m Abstand zu den Startbasen mass man einen L_{peak} von weniger als 145 dB(A). SELs für die einzelnen von insgesamt 6 Bildern betrugen zwischen 112.2 und 118.2 dB(A).

Bild	SEL dB(A)	L_m dB(A)
1	112.2	99.0
2	107.4	90.9
3	117.3	96.4
4	115.3	95.1
5	118.2	98.7
6	117.9	97.4

Für das gesamte Feuerwerk ergab sich ein SEL von 123.75 dB(A) bei einem Mittelungspegel L_m von 93 dB(A). Der Mittelungspegel L_m über 8 Stunden errechnet sich auf 79.2 dB(A).

Abb. A10: Abschussplatz für Feuerwerk in Interlaken



Vergleich mit anderen lauten Tätigkeiten

Zenner et al. (Zenner'99) bemerken in einem Übersichtsartikel zu Freizeitlärm, dass über 2/3 aller Diskobesucher angeben, „gelegentlich Ohrensymptome in Form von Tinnitus oder temporärer Vertäubung nach einem Diskothekenbesuch empfunden zu haben“. Schallpegelmessungen in Berliner Diskotheken ergaben einen Mittelungspegel von 102.1 dB (14 Discos, 1997). „Es wird geschätzt, dass junge Männer im Alter von 16-24 Jahren im Mittel 5 h pro Woche, bzw. 80% der 18 bis 19-Jährigen 6 h pro Woche in eine Diskothek gehen.“ Tabelle A25 fasst laute Freizeitbeschäftigungen 18- bis 19-jähriger zusammen. Die Angaben in Zenner'99 wurden ergänzt mit Feuerwerkslärm. Als Szenarium wurde ein einmaliger jährlicher Besuch eines organisierten Feuerwerks von 30 Minuten Dauer gewählt.

Tab. A25: Laute Freizeitbeschäftigungen 18- bis 19-jähriger zitiert in Zenner'99

Aktivität	Kollektiv von 505 repräsentativ gezogenen Personen		
	Prozentsatz	Stunden/Woche	Monate im Leben
Discobesuch	79.7	6.2	30.6
Musik laut hören	71.9	11.4	44.3
Musik machen	7.5	9.7	49.2
Motorrad, Moped	21.5	8.3	20.3
sonstiger Motorsport	12.5	9.5	12.8
Schiesssport	2.0	3.7	16.3
sonstiges	2.6	7.4	40.2
Feuerwerk	...	0.5 pro Ereignis	0.05

Beeinträchtigung von Tieren

Fallbeispiel organisiertes Feuerwerk

Im folgenden ist ein Aufsatz zur Vertreibung von Schwarzhalstauchern durch ein organisiertes Feuerwerk und durch Boote im Thuner Seebecken wiedergegeben. Weitere Fachartikel, die sich spezifisch mit Feuerwerken befassen, sind nicht bekannt. Mancini et al. (Mancini'88) beschreiben in einer Literatur-Synthese zum Einfluss von Fluglärm und Überschallknallen auf Wildtiere einige Versuche, die mit feuerwerksähnlichen Knallen durchgeführt wurden. So ergaben Beobachtungen auf den Channel Islands of California, dass Überschallknalle mit SELs um 80-89 dB bei Vögeln zu ausgeprägteren Schreckreaktionen führten, als solche mit SELs um 72-79 dBA. In Tests, bei denen Knalle mit Gewehren oder Explosivstoffen generiert wurden, stellte man fest, dass aus Nesten flüchtende Vögel die gelegten Eier nicht zerbrachen und bereits nach 30 Sekunden zurückkehrten. Generell liessen sich nestbauende, brütende und aufziehende Tiere weniger stören als mit anderen Tätigkeiten beschäftigte Tiere. Weitere Versuche mit Vogelabwehrkanonen, die Schallpegel an der Quelle von 115.6-145.5 dB erzeugten, zeigten, dass die meisten Vögel im Umkreis von 100 m vertrieben wurden, jedoch nach 2 bis 10 Min. an ihre Plätze zurückkehrten oder ihre vorherige Tätigkeit wiederaufnahmen.

Vergleich mit anderen Störungsquellen

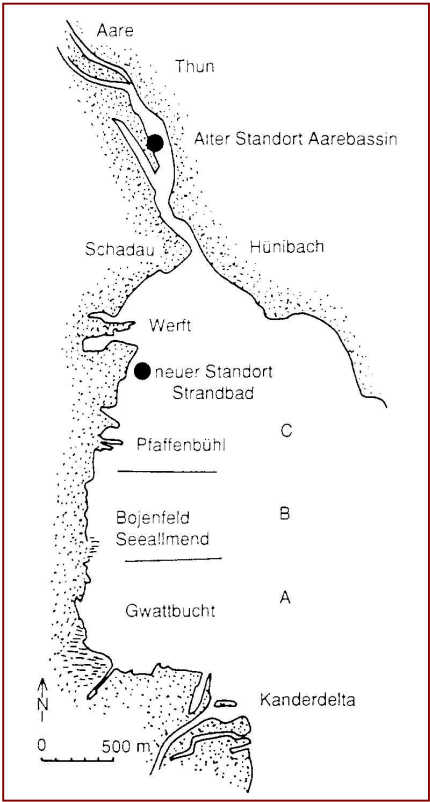
Nach Korschgen & Dahlgren (Korschgen'92) ergibt ein Review einiger tausend Fachartikel, dass Wasservögel zur Hauptsache durch Freizeit-Aktivitäten wie Bootsfahrten, Angeln und Jagen sowie durch den Flugverkehr gestört werden. So wird geschätzt, dass Gänse in Abwesenheit von Störungsquellen 1.1% ihrer Zeit im Flug verbringen, während an Wochenenden diese Zeit um das 7fache steigt. Folgen sind ein erhöhter Energieverbrauch verbunden mit einem Abbau der Fettreserven.

Vertreibung von Schwarzhalstauchern durch Feuerwerk und Boote

Autor: Peter Blaser; publiziert in Orn. Beob. 90: 134-135, 1993

Das Thuner Seenachtsfest wurde bisher Anfang August am Aarebassin in Thun durchgeführt. Auf Pontons in der Aare vor dem unteren Inseli wurde das Feuerwerk gezündet. 1992 fand das Fest am 26. September im Thuner Strandbad am linken unteren Seeufer statt. Von 5 im See verankerten Lastkähnen aus zischten, knallten und donnerten Raketen in den Himmel und überfluteten das untere Seebecken zeitweise mit Tageshelle.

Abbildung: Unteres Thunerseebecken¹



Nach diesem Spektakel war der Bestand des Schwarzhalstauchers *Podiceps nigricollis* auf dem betroffenen Seeabschnitt stark zurückgegangen. Zwar ist um diese Jahreszeit der untere Teil des Thunersees noch nicht besonders reich an Wasservögeln; der September ist jedoch der Monat mit den höchsten Zahlen an Schwarzhalstauchern. Die Vögel rasten hier, oder sie bleiben zur Überwinterung auf dem Thunersee. Auf dem unteren Becken verteilen sie sich von der Gwattbucht bis zur Schadau, oft auch bis in die Aare. Anfang September 1984 betrug das bisherige Maximum 132 Ex., nachdem seit Ende der sechziger Jahre eine starke Zunahme zu beobachten gewesen war (Blaser Jahrbuch vom Thuner- und Brienzersee 1982: 47-56; Blaser, Orn. Beob. 82: 145-151, 1985; Blaser, Mitt. naturw. Ges. Thun 11: 85-96, 1989); seither ist die Tendenz abnehmend. In den Wochen vor dem besagten Fest hielten sich 70 Schwarzhalstaucher an dieser Strecke auf, davon 30-40 auf der Fläche vor Pfaffenbühl-Strandbad-Hünibach, also auf dem vom Feuerwerk bestrichenen Seeteil. In den Wochen danach war dieses Gebiet sozusagen leer (Tabelle). Schon in der 1. Woche nach dem Stichtag wiesen Beobachtungen auf eine Verschiebung der Vögel in die Gwattbucht hin. Vom alten Bestand fehlten auch etwa 20%. In der 2. und 3. Woche wurde die Verschiebung

deutlicher, und die Schwarzhalstaucher wurden wieder zahlreicher. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in normalen Jahren die Bestände im Herbst noch leicht abnehmen. Nicht nur das Feuerwerk, sondern auch die Störungen durch die ausserordentlich zahlreichen Schiffe der Zuschauer, vom Ruderboot bis zum Raddampfer, die schon am späten Nachmittag auf dem See waren, dürften die Schwarzhalstaucher vertrieben haben. Erst 7 Wochen später hatten sie wieder ihre normalen Aufenthaltsplätze eingenommen. Schwarzhalstaucher ziehen sich auch an Spätsommer-Nachmittagen mit starkem Bootsverkehr in die ruhige Gwattbucht zurück. Sie sind sonst nicht extrem störungsempfindlich, doch wurde schon beobachtet, dass sie sich auch durch laute Musik vertreiben lassen (Hauri, Orn. Beob. 83: 314-315, 1986). Die Frage nach den Schlafplätzen, die sich in diesem Zusammenhang stellt, kann nicht sicher beantwortet werden. Es wird vermutet, dass die Schwarzhalstaucher verstreut in Ufernähe nächtigen. Abends sieht man jene, die sich tagsüber auf der Aare aufhalten, gegen den See schwimmen, doch wird es dann zu dunkel, als dass man sie verfolgen könnte. Von den anderen Arten hielten sich am kritischen Tag nur Tafelenten und Blässhühner in grösserer Zahl im Gebiet auf. Die insgesamt etwa 170 Tafelenten, in die 3 Buchten von Gwatt, Pfaffenbühl und Werft verteilt, wurden auch in den Tagen nach dem Fest an ihren gewohnten Tagesplätzen gesehen. Dagegen verschwand ein Feld von etwa 400 Blässhühnern, das stets zwischen Werftbucht und Strandbad lag. Diese Gruppe wurde fast 1 km seeraufwärts vom Festort entfernt gefunden. Bis in die 3. Woche blieben sie dort zwischen Pfaffenbühl und dem Bojenfeld. Erst in der 4. Woche nach dem Fest zeigten sich wieder Blässhühner in der Werftbucht vor der Schadau, und sie scheinen langsam ihre alten Liege- und Fressplätze neu zu beziehen.

Tabelle: Schwarzhalstauchierzahlen in verschiedenen Abschnitten des Thunerseeufers vor und nach dem Seenachtsfest.

Seeabschnitt	vor dem Fest	bis 2. Woche danach	in der 3. Woche danach
Gwattbucht	14	23	32
Bojenfeld Seeallmend	14	16	20
See vor Pfaffenbühl-Strandbad-Hünibach	33	6	3
Ufernähe vor Schadau inkl. Werftbucht und Aare nach Schadau	9	10	11
Total	70	55	66

¹ mit altem und neuem Standort des Feuerwerks-Pontons. A = Gwattbucht, B = Bojenfeld C = See vor Pfaffenbühl-Strandbad-Hünibach

Anhang 4: Unfälle mit Feuerwerkskörpern

Tab. A26: Firework injuries in Great Britain 1994 – 1999: 4 week period in october - november (DTI)

	1999	1998	1997	1996	1995	1994
<u>Place Of Accident</u>						
1. Family or private party	447	320	378	428	504	642
2. Semi public party (e.g. scouts, club)	72	79	56	100	107	118
3. Large public display	153	132	137	223	207	213
4. Casual incident in street or other public place	296	226	256	379	534	474
5. Indoors	19	20	22	23	30	24
6. Other	65	44	21	75	137	102
7. Not Specified	4	10	38	5	0	0
<u>Type Of Firework</u>						
1. Banger	132	130	189	273	316	268
2. Rocket	211	168	158	222	212	215
3. Air Bomb	90	79	50	82	107	93
4. Roman Candle	130	71	58	79	86	95
5. Sparkler	134	129	200	196	163	253
6. Other proprietary fireworks	110	200	104	139	132	188
7. Home made or extracted powder	23	27	18	16	20	37
8. Not known (not bonfires)	207	27	125	228	489	425
9. Not Specified	19	0	6	0	0	0
<u>Outcome Of Injury</u>						
1. No further treatment required	408	290	359	373	488	459
2. Referred to general practitioner (G.P.)	137	96	115	141	177	230
3. Referred to out-patient dept. of this or other hospital	342	278	301	463	565	612
4. Detained in this hospital for at least one night	43	26	49	58	55	68
5. Transferred to another hospital	31	20	22	38	46	62
6. Died	0	0	0	2	0	2
7. Not known	86	115	23	158	197	141
8. Not Specified	9	6	39	0	0	0
<u>Age Group Of Injured</u>						
1. Over 20 years	404	313	389	438	487	558
2. 16-20	119	100	91	174	173	208
3. 13-15	142	119	125	218	292	290
4. Under 13	391	287	303	387	533	518
5. Not Known	0	12	0	16	45	0
<u>Total Eye Injuries</u>	290	250	262	413	379	439
<u>Year Total</u>	1056**	832	908	1233	1529	1573

Although the number of accidents have increased in 1999 on the previous year this must be set against the very large increase in the sales of fireworks.

**There is a discrepancy between the headline total of 1.056 injuries and the total shown under NHS Trust and Type of Firework table. This is due to unforeseen accounting discrepancies in the latter.

Tab. A27: Analysis of Firework Injuries (By Type and Location) - Year 1999 (DTI)

Type Of Firework	Family or private party	Semi public party (e.g. scouts, club)	Large public display	Casual incident in street or other public place	Indoors	Other	Not Specified	Total
Banger	39	3	8	68	3	11	0	132
Rocket	73	24	48	59	3	4	0	211
Air Bomb	35	3	12	35	2	3	0	90
Roman Candle	90	7	6	23	0	4	0	130
Sparkler	92	10	9	9	3	11	0	134
Other proprietary fireworks	50	15	12	27	2	4	0	110
Home made or extracted powder	3	1	7	9	1	2	0	23
Not known (not bonfires)	62	9	45	56	5	26	4	207
Not Specified	3	0	6	10	0	0	0	19
Total	447	72	153	296	19	65	4	1056

Tab. A28: Analysis of Firework Injuries (By Type and Outcome) - Year 1999 (DTI)

Type of Fireworks	No further treatment required	Referred to G.P.	Referred to out-patient dept. of this or other hospital	Detained in this hospital for at least one night	Transferred to another hospital	Died	Not known	Not Specified	Total
Banger	49	19	46	6	2	0	10	0	132
Rocket	92	26	70	5	6	0	12	0	211
Air Bomb	24	18	26	8	6	0	8	0	90
Roman Candle	53	17	42	4	3	0	11	0	130
Sparkler	39	18	57	3	4	0	13	0	134
Other proprietary fireworks	48	9	34	7	3	0	9	0	110
Home made or extracted powder	8	3	8	2	0	0	2	0	23
Not known (not bonfires)	87	25	56	8	6	0	16	9	207
Not Specified	8	2	3	0	1	0	5	0	19
Total	408	137	342	43	31	0	86	9	1056

Tab. A29: Analysis of Firework Injuries by Body Part and Outcome – Year 1999 (DTI)

Injury Outcome	Eye	Head	Hand	Arm	Leg/Foot	Torso	Other	Total
No further treatment required	157	113	91	15	40	20	9	445
Referred to G.P.	26	43	37	10	19	14	2	151
Referred to out-patient dept. Of this or other hospital	60	77	142	18	40	31	2	370
Detained in this hospital for at least one night	6	21	16	3	4	5		55
Transferred to another hospital	14	7	11	3	2	2	0	39
Died	0	0	0	0	0	0	0	0
Not known	26	16	22	4	8	8	5	89
Not Specified	1	0	3	1	3	1	1	10
Total	290	277	322	54	116	81	19	

Tab. A30: Weitere Erhebungen zu feuerwerksbedingten Unfällen

Land	Beschreibung	Ergebnisse	Quelle
USA	Notfallaufnahmen in Spitälern zwischen 23. Juni und 23. Juli 2000 anhand CPSCs „National Electronic Injury Surveillance System (NEISS)“	<p>Unfallrate = 2.4 pro 100'000 Personen; höchste Unfallrate = 7.7 für die Altersgruppe der 10-14jährigen.</p> <p>Unfälle nach Feuerwerkstypen: 24% Böller (Firecrackers), 20% Raketen, 18% Wunderkerzen (Sparklers), 15% andere, 2% Eigenfabrikate, 3% öffentliche Feuerwerke, 18% nicht spezifizierte Typen.</p> <p>Art der Unfälle: 55% Verbrennungen (44% Hände und Finger, 19% Beine, 14% Kopf, Gesicht, Ohren, 11% Augen, 8% Arme, 3% Rumpf), 26% Quetschungen und Fleischwunden, 2% Frakturen/Verstauchungen sowie 17% andere Diagnosen</p>	M. A. Greene & P.M. Race: 2000 Fireworks Annual Report. U.S. Consumer Product Safety Commission CPSC, Washington, D.C. June 2001.
USA	Statistische Auswertung feuerwerksbedingter Augenverletzungen zwischen Juli 1990 bis Dez. 1994 anhand des „U.S. Eye Injury“-Registers (USEIR). USEIR enthält nur ernsthafte Augenverletzungen.	<p>Von insgesamt 4575 Augenverletzungen entfielen 6% (274) auf Feuerwerke. Das mediane Alter der Verletzten war 15 Jahre, 77% waren männlich. 45% der Verletzten waren Zuschauer, 35% hantierten mit Feuerwerk und bei 20% war der Status nicht eruierbar. 67% der Unfälle ereigneten sich im privaten Rahmen.</p> <p>58% der Unfälle passierten mit Raketen (Bottle rockets), Zuschauer waren hier in 68% der Fälle involviert.</p>	Serious Eye Injuries Associated with Fireworks – United States, 1990-1994. MMWR Weekly June 23, 1995/44(24); 449-452

Tab. A30ff: Weitere Erhebungen zu feuerwerksbedingten Unfällen

Land	Beschreibung	Ergebnisse	Quelle
USA	Notfallaufnahme eines grossen Kinderspitals in urbanem Gebiet über eine 22jährige Periode von 1972 bis 1973	<p>Im Untersuchungszeitraum wurden 316 Kinder mit feuerwerksbedingten Verletzungen behandelt. Das mittlere Alter betrug 8.5 Jahre bei einem Range von 1 Monat bis 17 Jahre. In 26% der Fälle waren die Kinder Zuschauer. Ein Patient starb, 11% der Kinder mussten im Mittel für 7.8 Tage (1-37 Tage) hospitalisiert werden.</p> <p>Unfälle nach Feuerwerkstypen: 42% Böller (Firecrackers), 19% Raketen (davon 12% bottle rockets), 11% römische Kerzen, 7% Wunderkerzen (Sparklers), 5% Vulkane (Fountains) und 4% Knallfrösche (jumping jacks) sowie in 4% der Fälle illegales Feuerwerk.</p> <p>72% der Patienten erlitten Verbrennungen. Betroffene Körperpartien: 29% Augen, 22% Hände und Finger, 18% Gesicht und andere Bereiche des Kopfs sowie 16% untere Extremitäten. 33 (10%) Patienten trugen bleibende Schäden davon; inklusive 7 (2%) mit komplettem oder teilweisem Sehverlust an einem Auge.</p>	G.A. Smith, J.F. Knapp, T.M. Barnett, B.J. Shields: The rockets' red glare, the bombs bursting in air: fireworks-related injuries to children. Pediatrics 1996 Jul; 98 (1): 1-9 (zitiert aus Abstract)
Neuseeland	Notfallaufnahmen in Spitälern zwischen 1979 und 1992	Unfallrate = 0.52 pro 100'000 Personen und Jahr; 58% männlich, 68% Kinder <15 Jahre mit der höchsten Unfallrate von 2.5 pro 100'000 und Jahr für die Altersgruppe der 10-14jährigen.	J.A. Clarke & J.D. Langley: Firework related injury in New Zealand. N. Z. Med J 1994 Oct. 26, 107:988:423-5 (zitiert aus Abstract)
Dänemark	Notfallaufnahmen in Spitälern zwischen 31. Dez. und 1. Jan. 1995/1996 und 1996/1997	<p>381 (1995/1996), bzw. 433 Unfälle.</p> <p>61% der Unfälle ereigneten sich mit illegalem Feuerwerk</p> <p>Art der Unfälle: 50% Hand-, 19% Augen-, 8% Kopfverletzungen sowie 23% Gehörschäden oder andere Diagnosen</p>	T. Ipsen, P.B. Jorgsholm: Fireworks-caused injuries in Denmark. Ugeskr Laeger 1997 Dec. 8, 159:50:7492-4 (zitiert aus Abstract)
Dänemark	Notfallaufnahmen in Spitälern in 5 dänischen Bezirken (675'000 Einw. = 13% der dänischen Bevölkerung) über Periode von 4 Jahren	<p>358 Unfälle, davon 60% Jugendliche <18 Jahre. 6% der Verletzten mussten hospitalisiert werden.</p> <p>Art der Unfälle: 51% Verbrennungen, 33% Verletzungen durch fliegende Feuerwerkskörper, 10% Fremdkörper in Augen. Betroffene Körperpartien: 40% Hände und Finger und 24% Augen.</p> <p>Hauptunfallursachen: nichtkorrekte Anwendung.</p>	T. Morell, M. Lohmann, P.N. Basse: Injuries due to fireworks. Ugeskr Laeger 1992 Dec. 21, 154:52:3736-8 (zitiert aus Abstract)
Schweden	Umfrage bei Augenärzten in West-Schweden (1.75 Mio. Einw.) zu feuerwerksbedingten Augenverletzungen über eine Periode von 3 Jahren	<p>Es wurden 52 Patienten mit 72 Augenschäden gemeldet (94% männlich). 75% der Patienten waren jünger als 18 Jahre. 15 Patienten (29% inkl. der drei weiblichen) waren Zuschauer.</p> <p>20 (38%) der 52 Patienten erlitten bleibende Schäden.</p>	K. Sundelin, K. Norrsell: Eye injuries from fireworks in Western Sweden. Acta Ophthalmol Scand. 2000 Feb; 78 (1): 1-2 (zitiert aus Abstract)

Tab. A30ff: Weitere Erhebungen zu feuerwerksbedingten Unfällen

Land	Beschreibung	Ergebnisse	Quelle
Neapel	Notfallaufnahmen in 18 Spitälern in der Provinz Neapel (3.5 Mio. Einw. = 6% der italienischen Bevölkerung) in der Neujahrperiode 1992/1993	<p>351 Unfälle entsprechend einer Unfallrate von 10 pro 100'000 Personen; 44% Kinder <14 Jahre mit der höchsten Unfallrate von 45 pro 100'000 für die Altersgruppe der 10-12jährigen. 77% der Unfälle ereigneten sich zwischen dem 31. Dez. und 1. Januar. 32% der Verletzten mussten hospitalisiert werden.</p> <p>66% der Unfälle ereigneten sich mit illegalem Feuerwerk (cipolla).</p> <p>Art der Unfälle: 42% Verbrennungen und 40% Quetschungen und Fleischwunden. Betroffene Körperpartien: 69% Hände, 27% Gesicht, 26% Augen.</p>	P. D'Argenio: Fireworks-Related Injuries During the New Year Period – Naples, 1992-93. MMWR Weekly, March 26, 1993/42(11); 201-203.
Schweiz	Notfallaufnahme Bruderholzspital Basel (200'000 Einw.) Mitte der 90er Jahre	Eine Nachfrage der SKF in der Notfallaufnahme ergab, dass 4 Personen wegen Brandverletzungen behandelt werden mussten. Die Brandwunden hatten einen Durchmesser von weniger als 3 cm	mündliche Mitteilung Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerke SKF

Schliesslich sind in Tab. A31 von Senturia et. al. (Senturia'93) expositionskorrigierte Unfallraten für ausgewählte Konsumgüter für das Jahr 1987 in den USA aufgelistet. Die Unfallzahlen stammen aus dem „National Electronic Injury Surveillance System“ der U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC). Die Anzahl exponierter Jugendlicher wurde durch Multiplikation der entsprechenden Population mit dem Anteil Exponierter erhalten. Dieser wurde durch eine Befragung von 679 Familien mit insgesamt 1469 Kindern in 4 einmonatigen Zeitperioden (Oktober, Januar, April, Juli) in einem urbanen Gebiet (Chicago) ermittelt. Für die korrigierten Unfallraten wurden bei den Schlittelfunfällen nur die U.S. Staaten mit Schneefall einbezogen und angenommen, dass Unfälle nur im Winter stattfinden (4 Monate). Für Skateboards und Vergnügungsparks wurde eine Expositionsdauer von 8 Monaten und für Feuerwerke von 4 Wochen angenommen. Die saisonalen Unfallraten wurden dann für Vergleichszwecke auf ein Jahr extrapoliert.

Tab. A31: Allgemeine und expositionsbezogene Unfallraten 1987 in den USA

Produkt oder Aktivität sowie Alter (Jahre)	Unkorrigierte Unfallrate pro 100'000		Korrigierte Unfallrate pro 100'000 exponierte Kinder	
	männl.	weibl.	männl.	weibl.
Kajütenbett				
0-4	65	48	1399	370
5-9	80	34	206	148
10-14	20	15	67	95
15-19	22	9	169	...
Skateboards				
0-4	43	22	2159	1646
5-9	203	43	1128	648
10-14	411	61	1311	648
15-19	155	15	2328	207
Vergnügungsparks				
0-4	11	6	25	13
5-9	7	3	10	4
10-14	7	3	10	4
15-19	6	2	10	4

Tab. A31ff: Allgemeine und expositionsbezogene Unfallraten 1987 in den USA

Produkt oder Aktivität sowie Alter (Jahre)	Unkorrigierte Unfallrate pro 100'000		Korrigierte Unfallrate pro 100'000 exponierte Kinder	
	männl.	weibl.	männl.	weibl.
Schlitteln				
0-4	11	18	90	177
5-9	64	28	405	171
10-14	92	37	573	261
15-19	33	15	339	198
Luft-, Gaspistolen				
0-4	10	1	...	...
5-9	26	6	883	590
10-14	100	11	590	377
15-19	36	4	358	128
Feuerwerk				
0-4	5	6	1338	1975
5-9	8	3	1313	238
10-14	21	3	900	163
15-19	12	2	550	113

Anhang 5: Literatur

AQUIRE:

Aquatic Toxicity Information Retrieval Database. U.S. Environmental Protection Agency (<http://www.epa.gov/ecotox>).

BAG'91:

Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht; Hrsg. BAG, Bern 1991.

Behra'94:

Behra R., Genoni G.P., Sigg L.: Revision of the the Swiss Ordinance for wastewater Discharge: Scientific Basis for Water Quality Criteria for Metals and Metalloids in Running Waters; Schriftenreihe der EAWAG Nr. 6, Dübendorf - Zürich 1994.

Belzer'97:

Belzer W., Petrov O.: Atmospheric Contributions to the Still Creek – Burnaby Lake – Brunette River Watershed. DOE FRAP 1997-28. Environment Canada, Vancouver 1997.

Bertorelli:

Bertorelli V., Derwent R. (Atmospheric Processes Research Branch Meteorological Office Bracknell): A Directory of Air Quality data for the United Kingdom in the 1990's (<http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/welcome.html>).

Biesinger'72:

Biesinger K.E., Christensen G.M.: Effects of Various Metals on Survival, Growth, Reproduction, and Metabolism of *Daphnia magna*. Journal Fisheries Research Board of Canada, Vol. 29, No. 12, 1972.

Birge'80

Birge W.J., Black J.A., Westerman A.G., Hudson J.E.: Aquatic Toxicity Tests on Inorganic Elements Occuring in Oil Shale. Oil Shale Symposium. Ed.: Charles Gale; prep.: Denver research Institute. Springfield – Va. 1980.

Birge:

Aquatic Toxicology of Trace Elements of Coal and Fly Ash. In: m.J.H. Thorp & J.W. Gibbons (Eds.), Dep. Energy Symp. Ser., Energy and Environmental Stress in Aquatic Systems, Augusta, GA 48:219-240.

Bonn'99:

Bonn B.A.: Selected Elements and Organic Chemicals in Bed Sediment and Fish Tissue of the Tualatin River Basin, Oregon, 1992-96. U.S. Geological Survey - Water-Resources Investigations Report 99-4107. U.S. Department of the Interior, 1999.

Bringmann'77:

Bringmann G., Kühn R.: Grenzwerte der Schädwirkung wassergefährdender Stoffe gegen Bakterien (*Pseudomonas putida*) und Grünalgen (*Scenedesmus quadricauda*) im Zellvermehrungshemmtest. Z. f. Wasser- und Abwasser-Forschung Nr. 3/4/77.

Buchman'99:

Buchman M.F., 1999. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA HAZMAT Report 99-1, Seattle WA, Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 12 pages.

Bunde'97:

Bunde R.L. et al.: Effects of Calcium and Magnesium on Strontium Distribution Coefficients. Environmental Geology (Berlin); 32 (3). 1997. 219-229 (Abstract aus Toxline <http://sis.nlm.nih.gov/sis1/>).

Bunde'98:

Bunde R.L. et al.: Rate of strontium sorption and the effects of variable aqueous concentrations of sodium and potassium on strontium distribution coefficients of a surficial sediment at the Idaho National Engineering Laboratory, Idaho. Environmental Geology (Berlin); 34 (2-3). 1998. 135-142 (Abstract aus Toxline <http://sis.nlm.nih.gov/sis1/>).

BS'91:

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt; Jahresbericht 1991.

BUWAL'92:

Schriftenreihe Nr. 185: Bodenverschmutzung durch den Strassen und Schienenverkehr in der Schweiz

BUWAL'93:

Schriftenreihe Nr. 200: Nationales Bodenbeobachtungsnetz (Messresultate 1985-1991)

BUWAL'95:

Schriftenreihe Nr. 240: Métaux dans les sédiments

BUWAL'96:

Schriftenreihe Umwelt Nr. 263: Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau

BUWAL'98:

Umweltmaterialien Nr. 101: Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz (Moosanalysen 1990/1995)

BUWAL'00:

Schriftenreihe Nr. 320: Nationales Bodenbeobachtungsnetz (Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren)

CCME'99a:

Canadian Council of Ministers of the Environment: Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary table. In: Canadian environmental quality guidelines; Winnipeg 1999.

CCME'99b:

Canadian Council of Ministers of the Environment: Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary table. In: Canadian environmental quality guidelines; Winnipeg 1999.

Clark'98:

Clark G.M., Maret T.R.: Organochlorine Compounds and Trace Elements in Fish Tissue and Bed Sediments in the Lower Snake River Basin, Idaho and Oregon. U.S. Geological Survey - Water-Resources Investigations Report 98-4103. U.S. Department of the Interior, 1998.

CIPEL'90:

Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Lemman: Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin Lémanique; Campagne 1990, Lausanne.

Donoghue'98:

Donoghue J.F., Ragland P.C., Chen Z.Q., Trimble C.A.: Standardization of metal concentrations in sediments using regression residuals: an example from a large lake in Florida, USA. Environmental Geology 36 (1-2) 1998.

DTI:

Department of Trade and Industry, Consumer Affairs Directorate: 1999 Fireworks Statistics.

Dutcher'99:

Dutcher D. D., Perry K.D., Cahill T.A.: Effects of Indoor Pyrotechnic Displays on the Air Quality in the Houston Astrodome. J. Air & Waste Manage. Assoc. 49: 156-160.

DVWK'96:

Merkel B., Sperling B.: Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil I. DVWK-Schriften 110. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 1996.

DVWK'98:

Merkel B., Sperling B.: Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil II. DVWK-Schriften 117. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 1998.

Efroymson'97a:

Efroymson R.A., Will M.E., Suter II G.W., Wooten A.C.: Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Terrestrial Plants: 1997 Revision. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-85/R3. November 1997.

Efroymson'97b:

Efroymson R.A., Will M.E., Suter II G.W.: Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Soil and Litter Invertebrates and Heterotrophic Process: 1997 Revision. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-126/R2. November 1997.

Efroymson'97c:

Efroymson R.A., Suter II G.W., Sample B.E., Jones D.S.: Preliminary Remediation Goals for Ecological Endpoints. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-162/R2. August 1997.

EPA'74:

United States Environmental Protection Agency (Office of Noise Abatement and Control): Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. 550/9-74-004 (March 1974).

EPA'98a:

United States Environmental Protection Agency (Office of Water): Environmental Assessment For The Proposed Effluent Limitations Guidelines, Pretreatment Standards, And New Source Performance Standards For The Centralized Waste Treatment Industry. EPA 821-R-98-017

EPA'99 Region IX:

Region 9 Preliminary Remediation Goals (PRGs) 1999. U.S. Environmental Protection Agency Region IX (<http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg>).

EPA'99a:

Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol For Hazardous Waste Combustion Facilities, Volume 3, Appendices B-H. Appendix E: Toxicity Reference Values. EPA 530D99001C

EPA'99b:

United States Environmental Protection Agency: Understanding Variation in Partition Coefficient, K_d , Values (Volume II). EPA 402-R-99-004B August 1999.

EPA'99c:

United States Environmental Protection Agency - Office of Water): National Recommended Water Quality Criteria – Correction. EPA 822-Z-99-001 April 1999.

Fleischer'98:

Fleischer G., Hoffmann E., Müller R., Lang R.: Kinderknallpistolen und ihre Wirkung auf das Gehör. HNO 9/98 (815-820).

Fleischer'99:

Fleischer O., Wichmann H., Lorenz W.: Release of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans by Setting off Fireworks. Chemosphere, Vol. 39, No. 6, pp. 925-932, 1999.

Gisi:

Gisi U., Schenker R., Schulin R., Stadelmann F.X., Sticher H.: Bodenökologie. Georg Thieme Verlag 1997.

Herrchen'96:

Herrchen M., Keller D.: Analyse der ökologischen Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie 22.02.1996 (unveröffentlicht)

Hertig 1994:

Hertig U.: Einfluss der Oberflächenabdichtung auf Menge und Qualität des Sickerwassers (in "Siedlungsabfalldeponien (Oberflächenabdichtung, Sickerwasser)" ; Tagungsband des 7. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen 1994).

Hinkle'99:

Inorganic Chemistry of Water and Bed Sediment in Selected Tributaries of the South Umpqua River, Oregon, 1998. U.S. Geological Survey - Water-Resources Investigations Report 99-4196. U.S. Department of the Interior, 1999.

Hohmann'95:

Schallmessprotokoll 00000/08.95 Feuerwerkskörper (Knallteufel, Corsair, Dragon Banger, Blitz Knatterball, Flashing Thunder). SUVA, Luzern 1995.

IAWR 1995:

Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet: Rheinbericht '91-'93; Amsterdam 1995.

IGKB'84:

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten; Bericht Nr. 31, 1984.

IKSR'95:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Zahlentafeln 1995, Koblenz.

Jäckli 1985:

Jäckli H.: Hydrogeologische Karte der Schweiz (Blatt Panixerpass), Nr. 3 (Erläuterungen); Hrsg. Schweizerische geotechnische Kommission, Zürich 1985.

Jones'97:

Jones D.S., Suter II G.W., Hull R.N.: Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Sediment-Associated Biota: 1997 Revision. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-95/R November 1997.

Kabata'85:

Kabata-Pendias A., Pendias H.: Trace Elements in Soils and Plants, 1985, CRC Press Inc.

Keller'97:

Keller T., Desaulles A.: Vanadium in Böden der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 22. Liebefeld-Bern, 1997.

Knecht'97:

Knecht K., Keller T., Desaulles A.: Arsen in Böden der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 32. Liebefeld-Bern, 1999.

Korschgen'92:

Korschgen C.E., Dahlgren R.B.: Waterfowl Management Handbook (Chapter 13.2.15: Human Disturbances of Waterfowl - Causes, Effects, and Management). Fish and Wildlife Leaflet 13. U.S. Department of the Interior. Fish and Wildlife Service, Washington 1992.

Lahmann'97:

Lahmann E.: Staub und Staubinhaltsstoffe (IV-1.1.2) in Wichmann, Schlipköter, Fülgraff: Handbuch Umweltmedizin – 10. Erg. Lfg. 2/97

Lindt'90:

Lindt T.J., Fuhrer J., Stadelmann F.X.: Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futtermitteln. Schriftenreihe der FAC Nr. 8. Liebefeld 1990.

LUA NRW'98:

Falcke H., Ellinghoven A.: Abwassermessprogramm für die chemische Industrie. In: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Jahresbericht 1998.

LUA NRW'99:

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Bericht Emissionskataster Luft 1996/1997 (<http://www.lua.nrw.de/emikat97/start.htm>).

Macchione'99:

Macchione M. et al.: Acute Effects of Inhalable Particles on the Frog Palate Mucociliary Epithelium. Environmental Health Perspectives, Vol. 107, Number 10, October 1999.

MAFF'97:

UK Food Standards Agency. Food surveillance information sheet Number 191 (November 1999): MAFF UK – 1997 Total Diet Study.

MAFF'99:

UK Food Standards Agency. Food surveillance information sheet Number 131 (November 1997): MAFF UK – 1994 Total Diet Study: Metals and other Elements.

Maglieri'73:

Maglieri D. J., Henderson H. R.: Noise from aerial bursts of fireworks. The Journal of the Acoustical Society of America. Volume 54, Number 5, 1973

Manci'88:

Manci K.M., Gladwin D.N., Villella R., Cavendish M.G.: Effects of aircraft noise and sonic booms on domestic animals and wildlife: a literature synthesis. U.S. Fish and Wildl. Serv. National Ecology Research Center, Ft. Collins, CO. NERC-88/29 (1988) 88 pp.

Maschke:

Maschke C., Hecht K.: Lärmexposition und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen (Grundlagen und Forschungsergebnisse). Umed Info 11.

Matéfi'98:

Matéfi L., Hohmann B.: Wie gefährlich sind Kinderknallpistolen für das Gehör? HNO 9-98 (784-785).

Mennen'00:

Mennen M., Kliest J.J.G.: Milieugevolgen Vuurwerkkramp Enschede. 30/5/00. (www.rivm.nl)

Merian 1991:

Merian E. (Hrsg.): Metals and their Compounds in the Environment; VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1991.

Meyer 1991:

Meyer K.: Bodenverschmutzung in der Schweiz (Untersuchungen und ausgewählte Ergebnisse über die Stoffbelastung von Böden; Stand 1990); Liebefeld-Bern 1991.

Menzi'97:

Menzi H., Shariatmadari H.: Nähr- und Schadstoffbelastung von Geflügelausläufen. Agrar-Forschung 4 (9): 361-364, 1997.

Mitt. Lebensm. Hyg.'99:

Mitt. Lebensm. Hyg. 90 (1999) S. 445: Metalli nelle acque minerali.

NAS:

National Academy of Sciences: Recommended Dietary Allowances (in www.nutritionhealthreports.com/RDA.html).

NASQAN:

National Stream Water Quality Accounting Network (NASQAN):
<http://water.usgs.gov/nasqan/index2.html>

NERI'99:

Kemp K., Palmgren F.: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1998. NERI Technical Report No. 296, Ministry of Environment and Energy & National Environmental Research Institute (www.dmu.dk)

Nielsen 1999:

Nielsen T. et al.: The impact of regulations of traffic emissions on street levels of PAH, other PAC and mutagens in air in Copenhagen. Danish Environmental Protection Agency 1999.

Noordijk'94:

Noordijk H.: Luchtverontreiniging door vuurwerk tijdens de jaarwisseling van 1993-1994. RIVM Rapport Nr. 722101007, Bilthoven 1994.

NRC'80:

National Research Council Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1980.

ö. LR:

Amt der oberösterreichischen Landesregierung; Abteilung Umweltschutz: Immissionen von Sonderluftschadstoffen (www.ooe.gv.at/umwelt/luft/messpg/smetalle/inhalt.htm).

ORNL:

Oak Ridge National Laboratory (ORNL): Risk Assessment Tools and Information (http://risk.lsd.ornl.gov/rap_hp.shtml).

Perry'99:

Perry K.D.: Effects of Outdoor Pyrotechnic Displays on the Regional Air Quality of Western Washington State. J. Air & Waste Manage. Assoc. 49: 146-155

RIVM'97:

Crommentuijn T., Polder M.D., van de Plassche E.J.: Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. RIVM Report no. 601501 001, Bilthoven 1997.

RIVM'92:

Meetnet bodem-, grondwater- en luchtkwaliteit en Milieudiagnose (deel II); RIVM-rapport no. 724801003, 722101022 en 722101006 (NL 1992).

Röösli'99:

Röösli M., Camenzind M., Theis G., Monn C., Künzli N., Braun-Fahrlander Ch.: Gesundheitsrisiken durch Luftverunreinigungen in der Stadt Basel – Analyse der Immissionsmessungen. 1. Zwischenbericht der Studie BRISKA, Lufthygieneamt beider Basel, Liestal 1999 (zusätzliche Daten aus Kap. 7.2.5 „Fallbeispiel: 1. August“ wurden von Martin Röösli zur Verfügung gestellt)

Röösli'01:

Röösli M., Theis G., Künzli N., Staehelin J., Mathys P., Oglesby L., Camenzind M., Braun-Fahrlander Ch.: Temporal and Spatial Variation of the Chemical Composition of PM10 at Urban and Rural Sites in the Basel Area, Switzerland. Atmospheric Environment, in press.

Sample'96:

Sample B.E., Opreko D.M., Suter II G.W. Toxicological Benchmarks for Wildlife: 1996 Revision. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-86/R3. June 1996.

Senturia'93:

Senturia Y.D., Binns H.J., Kaufer Christoffel K., Tanz R.R.: Exposure Corrected Risk Estimates for Childhood Product Related Injuries. Accid. Anal. And Prev. Vol. 25, No. 4, pp. 473-477, 1993.

Schweizer'89:

Schweizer H.U.: Referat " Rhein 2000 - ein europäisches Aktionsprogramm und seine Auswirkungen auf den Gewässerschutz in der Schweiz" , Basel 6-9. Juni 1989.

Steiner'00:

Steiner, Rolf (Kantonspolizei Sankt Gallen): Schallpegel-Messungen von Knallkörpern auf dem Waffenplatz Breitfeld/St.Gallen am 27. Januar 2000. St. Gallen, 2000.

Suter'96:

Suter II G.W., Tsao C.L.: Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Aquatic Biota: 1996 Revision. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management. ES/ER/TM-96/R2. June 1997.

SUVA'98:

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Arbeitssicherheit Akustik): Akustische Grenz- und Richtwerte. 86048.d - 9.98.

Tema Nord'97:

Pederson F., Falck J.: Environmental Hazard Classification - classification of selected substances as dangerous for the environment (II); Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1997.

TU München'81:

Herkunft und Verbleib von Schwermetallen im Abwasser und Klärschlamm; Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 34; Institut für Bauingenieurwesen V, Techn. Universität München 1981.

UBA'92:

UBA Berlin 1992: Daten zur Umwelt 1990/91; Erich Schmidt Verlag 1992.

UBA'94:

UBA Berlin 1994: Texte 52/94 (Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn).

UBA'96:

Beirat beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe (LTwS-Nr. 12 in 4 Bänden, Mai 1996); Hrsg. UBA Berlin.

UBA'97:

UBA Berlin 1997: Daten zur Umwelt 1997.

Urkt.'97:

Laboratorium der Urkantone: Jahresbericht 1997.

WaBoLu'98:

WaBoLu-Heft 2/98: Abwässer aus der Flaschen- und Behälterreinigung und der Desinfektion in der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie. UBA, Institut für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene, Berlin 1998.

Wachs'98:

Wachs B.: Oekobewertung der Schwermetallbelastung von Fließgewässern mittels Pflanzen- und Zoobenthon-Arten; Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie; Bd. 51 (1998).

Wahlen'80:

Wahlen M., Thompson R.C.: Pollution records from Sediments of three lakes in New York State. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 44, pp. 333 to 339.

Warrington'98:

Warrington P.D.: Roadsalt and Winter Maintenance for British Columbia Municipalities. British Columbia Ministry of Environment, Lands & Parks (Water Quality Section); TD870.W37 1998 (ISBN 0-7726-3702-4 1)

WHO'99:

Guidelines for Community Noise, edited by Birgitta Berglund , Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela. World Health Organization 1999

Winter'00:

Winter S., Wappelhorst O., Markert B.: Löwenzahn *Taraxacum officinale* Web. Als (städtischer) Bioindikator. *Z. Umweltchem. Ökotox.* 12 (6) 311-321 (2000).

Zenner'99:

Zenner H.P., Struwe V., Schuscke G., Spreng M., Stange G., Plath P., Babisch W., Rebentisch E., Plinkert P., Bachmann K.D., Ising H., Lehnert G.: Gehörschäden durch Freizeitlärm. *HNO* 1999, 47: 236-248.

ZH'98:

Kantonales Labor Zürich: Fische aus kantonseigenen Gewässern (Schwerpunktsaktion 98-012). Direktion des Gesundheitswesens, Zürich 29. Oktober 1998.