

EMISSIONEN VON FEUERWERKEN

Gesundheitsgefährdung

Umweltbelastung

Sicherheitsaspekte

EMISSIONEN VON FEUERWERKEN

Gesundheitsgefährdung

Umweltbelastung

Sicherheitsaspekte

Verfasser:

Dr.techn. Mag. Dipl.-Ing. B. Illini, Wien

Herausgeber:

Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)

A-1010 Wien, Elisabethstraße 26

Tel.: +43/1/5852741-0

FAX: +43/1/5852741-99

E-Mail: info@oevk.at

Juli 2014

Vorwort des Herausgebers:

Feuerwerke, zweifelsohne schön anzusehen, emittieren große Mengen an Schadstoffen. Die Partikelemissionen aus Feuerwerken sind in Deutschland derzeit so hoch wie die gesamten PM₁₀-Abgasemissionen aller Fahrzeuge (fast 9 Kilotonnen PM₁₀). Da Feuerwerke meist zu Silvester abgebrannt werden, kann man sagen, dass in Deutschland in einer Nacht so viele Partikel durch Feuerwerke ausgestoßen werden wie von allen Fahrzeugmotoren in einem ganzen Jahr. In Österreich ist es ähnlich: Feuerwerke emittieren mehr Partikel als alle Nutzfahrzeuge zusammen.

Anlass für diese Studie war eine Meinungsumfrage, die der Österreichische Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) Ende Jänner 2013 unter seinen Mitgliedern gestartet hat. Die Frage: „Soll man Silvesterfeuerwerke in Zukunft verbieten, einschränken oder weitermachen wie bisher?“, wurde folgendermaßen beantwortet:

- Rund 90% der Teilnehmer waren für das Verbot oder Einschränkung des Silvesterfeuerwerks
- Rund 10% der Meinungen waren für das Weitermachen wie bisher.

Der Österreichische Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) hat aus diesem Grund die vorliegende Studie mit den Schwerpunkten Partikel- und gasförmige Emissionen und Immissionen, Lärmemissionen, Gesundheitsgefährdung, Tier- und Umweltbelastung sowie Sicherheitsaspekten in Auftrag gegeben.

Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass es widersprüchlich ist, einerseits die Partikelemissionen der Motorenabgase durch Errichtung von Umweltzonen und Verschärfung der Abgaslimits zu bekämpfen, und dann dieselbe Menge Partikel mit noch toxischeren Inhaltsstoffen in einer Nacht in die Atmosphäre freizulassen.

Es wäre höchste Zeit einzusehen, dass die derzeit umweltschädlichen Feuerwerke ersetzt werden müssen.

Auch die Automobilbranche hat sich wie viele andere Industriezweige den Bedürfnissen der Umwelt angepasst. Umweltfreundliche Autos sind heutzutage nicht mehr wegzudenken.

Univ.-Prof. Dr. Hans Peter **Lenz**
Vorsitzender des Österreichischen Vereins
für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)

Zusammenfassung

Die Partikelemissionen aus Feuerwerken sind in Deutschland derzeit so hoch wie die gesamten PM₁₀-Abgasemissionen aller Fahrzeuge (fast 9 Kilotonnen PM₁₀). Da Feuerwerke meist zu Silvester abgebrannt werden, kann man sagen, dass in Deutschland in einer Nacht so viele Partikel durch Feuerwerke ausgestoßen werden wie von allen Fahrzeugmotoren in einem ganzen Jahr. In Österreich ist es ähnlich: Feuerwerke emittieren mehr Partikel als alle Nutzfahrzeuge zusammen.

Es ist uns gelungen, die Größenordnung der bisher geschätzten Emissionsfaktoren (Gramm Partikel pro Kilogramm zu verbrennende Masse) aus einer Messung der Partikelemissionen für pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater zu bestätigen: Sie sind je nach Fahrzeug und Feuerwerksartikel rund 100 bis 1.000 Mal höher als die Emissionsfaktoren von einem Dieselmotor.

Dementsprechend hoch sind in der Silvesternacht die Partikelkonzentrationen in der Luft: Werte oberhalb 3000 µg/m³ sind keine Seltenheit, von Meteorologen wurde in Bonn eine Konzentration von 140.000 µg/m³ festgestellt. Normalerweise liegen sonst die PM₁₀-Immissionen zwischen 20µg/m³ und 50µg/m³.

Feuerwerkspartikel enthalten einen beträchtlichen Anteil an Schwermetallen, deren Spitzenkonzentrationen die Arbeitsgrenzwerte überschreiten und einen toxisch bedenklichen Bereich erreichen können.

Partikel aus Feuerwerken werden hauptsächlich in einer Höhe von 40 bis 200 Meter freigelassen, so können tief in die Lunge eindringende (alveolargängige) Partikel praktisch nie auf den Boden absinken. Sie bleiben als PM₁₀ in der Luft und belasten die Umwelt.

Trotz Einhaltung der gesetzlichen in (A, Imp.)-bewerteten Schalldrucklimits wird oft die Schmerzgrenze von ca. 140 dB überschritten und bei ausreichender Einwirkzeit ein Gehörschaden verursacht. Dies vor allem aufgrund des hohen Anteils an niedrigen Frequenzen im Frequenzspektrum von Feuerwerkslärm. Außerdem kann bei jeder unsachgemäßen Verwendung eines erlaubten Feuerwerkskörpers ein Knalltrauma entstehen.

Wie die Erfahrung von jedem Jahr beweist, ist eine unsachgemäße Verwendung von Feuerwerkskörpern praktisch nicht vermeidbar und das stellt ein großes Sicherheitsproblem dar. Zwei Drittel der Pyrotechnik-Opfer zu Silvester sind unter 25 Jahre alt.

Die Sicherheitsmaßnahme „Verwendung nur im Freien“ lässt die Tierwelt völlig unbeachtet. Nicht nur der Lärm, auch Lichteffekte werden als immanente Gefahr wahrgenommen und treiben Vögel und andere Tiere in die Flucht in der Dunkelheit. Sie verirren sich, sterben erschöpft und unterkühlt oder prallen in der Dunkelheit gegen Türen, Scheiben und Wände. Jedes Jahr werden Tausende Tiere verletzt, vermisst, gequält, getötet.

Nicht vernachlässigt werden darf zum Schluss das Problem der Lästigkeit von Feuerwerkslärm. Gerade bei lärmempfindlichen Bevölkerungsgruppen kann diese Lästigkeit durchaus beträchtlich sein, denn sie kann Stressreaktionen des ganzen Organismus auslösen.

Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass es widersprüchlich ist, einerseits die Partikelemissionen der Motorenabgase durch Errichtung von Umweltzonen und Verschärfung der Abgaslimits zu bekämpfen und dann dieselbe Menge Partikel, mit noch toxischeren Inhaltsstoffen, in einer Nacht in die Atmosphäre freizulassen.

Dieses Brauchtum ist zwar ein Spaß für einen Teil der Bevölkerung, der jedoch einen anderen Teil stört und die Tierwelt quält. Ein Umdenken ist notwendig!

Es ist höchste Zeit einzusehen, dass die derzeit umweltschädlichen Feuerwerke ersetzt werden müssen.

Auch die Automobilbranche hat sich wie viele andere Industriezweige den Bedürfnissen der Umwelt angepasst. Umweltfreundliche Autos sind heutzutage nicht mehr wegzudenken.

Inhaltsverzeichnis

1	Die Meinungsumfrage	5
2	Magere Datenlage, erschwerte Datenerfassung	6
3	Aufbau, Inhaltsstoffe und Verbrennung pyrotechnischer Gegenstände	7
3.1	Aufbau und Funktionsweise pyrotechnischer Gegenstände	7
3.2	Inhaltsstoffe pyrotechnischer Gegenstände	2
3.2.1	Pyrotechnische Sätze	3
3.3	Verbrennungsreaktionen	7
3.4	Zusammenfassung des Kapitels 3	8
4	Partikel: Emissionen und Immissionen	9
4.1	Emissionsfaktoren	9
4.2	Berechnung von Emissionsfaktoren aus direkten Messungen	12
4.2.1	Feste Reaktionsprodukte, die nicht als PM ₁₀ gemessen werden	16
4.3	Gesamtmenge Partikelemissionen	17
4.3.1	Importe, Exporte, Produktion und Verbrauch	17
4.3.2	Schätzung der jährlichen Partikelemissionen	19
4.3.3	Anteil der Feuerwerke, der zu Silvester abgebrannt wird	21
4.3.4	Illegales Feuerwerk	21
4.3.5	Schätzung der PM ₁₀ -Gesamtemissionen von Schwermetallen	21
4.4	Partikelimmissionen	23
5	Gasförmige Emissionen und Immissionen	26
5.1	Gasförmige Emissionen	26
5.2	Gasförmige Immissionen	27
6	Lärmemissionen	28
6.1	Schalldruckmessungen anlässlich von Veranstaltungen	28
6.2	Schallpegel von Feuerwerkskörpern für Kinder ab 12 Jahren, Jugendliche ab 16 Jahren und Erwachsene ab 18 Jahren	30
7	Deposition	31
7.1	Drei Szenarien	33
8	Feuerwerke und Dieselmotoren im Emissionsvergleich	35
9	Zusammenfassung der „Technischen Aspekte“	36
10	Gesundheitsgefährdung	38
10.1	Erhöhte Partikelkonzentrationen in der Luft	38
10.1.1	Gesundheitsgefährdung durch Inhalation	38
10.1.1.1	Toxizität der meist verwendeten Schwermetalle	40

10.1.2	Gesundheitsgefährdung durch Ingestion.....	42
10.2	Unfälle	42
10.3	Gefahr durch Substanzen aus illegalem Feuerwerk	42
10.4	Lärm	43
10.4.1	Aurale Lärmauswirkungen	43
10.4.1.1	Schmerzgrenze und (A, Imp.)-bewertete Schallpegel	43
10.4.1.2	Schalldruckpegel beim Silvesterfeuerwerk.....	45
10.4.1.3	Medizinische Sicht.....	47
10.4.2	Extraurale Lärmauswirkungen	47
11	Umweltbelastung	48
11.1	Belastung der Luftqualität.....	48
11.2	Belastung von Böden, stehenden Gewässern, Nahrungs- und Futtermitteln durch Deposition	48
11.3	Waldbrände	49
11.4	Umweltverschmutzung durch Feuerwerksreste	50
12	Tierweltbelastung	51
13	Sicherheitsgefährdung.....	53
13.1	Tote, Verletzte, Brände, Sachschäden.....	53
13.1.1	Gefahrengruppe Kinder	54
13.2	Schutz für Mensch, Tier und Natur.....	55
14	Zusammenfassung der Auswirkungen	56
15	Anhang	58
15.1	Fachwortverzeichnis.....	58
15.2	Aufbau und Funktionsweise einer Feuerwerk-Kugelbombe	61
15.3	Aufbau und Funktionsweise einer Feuerwerk-Batterie.....	63
15.4	Inhaltsstoffe pyrotechnischer Gegenstände	66
15.5	Silvesterumsatz mit Feuerwerksartikeln in Deutschland	67
15.6	Gesamtemissionen in Deutschland.....	68
15.7	Chemische Reaktionen bei der Verbrennung von Effektsätzen.....	69
15.8	Zeitbewertung des Schalldruckpegels.....	71
15.9	Gefahrenstoffe in der Pyrotechnik.....	72
15.9.1	Antwort des Amtes der Burgenländischen Landesregierung.....	73
16	Literaturverzeichnis	74

1 Die Meinungsumfrage

Anlass für diese Studie war eine Meinungsumfrage, die der Österreichische Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) Ende Jänner 2013 unter seinen Mitgliedern gestartet hat. Die Frage:

„Soll man Silvesterfeuerwerke in Zukunft verbieten, einschränken oder weitermachen wie bisher?“

wurde folgendermaßen beantwortet:

- Rund 90% der Teilnehmer waren für das Verbot oder Einschränkung des Silvesterfeuerwerks
- Rund 10% der Meinungen waren für das Weitermachen wie bisher.

Aus diesem Grund hat der ÖVK beschlossen, eine Studie über Feuerwerke mit folgenden Schwerpunkten zu verfassen:

- Partikel- und gasförmige Emissionen und Immissionen
- Lärmemissionen
- Gesundheitsgefährdung
- Tier- und Umweltbelastung
- Sicherheitsaspekte

2 Magere Datenlage, erschwerte Datenerfassung

Die Ermittlung von Daten war die größte Schwierigkeit dieser Arbeit.

Für die Berechnung der Partikelemissionen verwiesen das österreichische und deutsche Bundesamt auf Emissionsfaktoren [4], [5], die einerseits zu ungenau und andererseits zu niedrig erscheinen. Über Emissionen weiterer Schadstoffe aus Feuerwerkskörpern waren bei beiden Umweltbundesämtern keine Informationen bekannt. Das Schweizer Umweltbundesamt hat schon im Jahr 2001 eine Broschüre [3] mit solchen Informationen und mit Emissionsfaktoren publiziert.

Anfragen an die Magistratsabteilung MA22 für Umweltschutz in Wien waren erfolglos.

Die BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung hat eine Dissertation mit Partikelmessungen von pyrotechnischen Gegenständen für den Indoor-Bereich publiziert [13], die uns eine Umrechnung von Emissionsfaktoren für diese Kategorie von Feuerwerkskörpern ermöglicht hat. Um die Ergebnisse besser zu interpretieren, brauchten wir noch andere Informationen über die Durchführung der Messung, die uns aber nicht gegeben wurden.

Zum Thema medizinische Stellungnahme haben wir Prof. Neuberger vom Institut von Umwelthygiene in Wien erfolglos angeschrieben.

Die Ansprechpartner der Fakultäten von Veterinärmedizin, die bezüglich des Schadens an der Tierwelt befragt wurden, haben keine Literaturstelle gekannt. Tierschutzorganisationen wussten nur von Zeitungsartikeln, Personen aus naturwissenschaftlichen Fakultäten konnten beim besten Willen keine wissenschaftliche Arbeit nennen.

Der Eindruck, den man gewinnt, ist, dass die notwendigen Untersuchungen nicht durchgeführt werden, um die Folgen von deren Ergebnissen zu vermeiden.

3 Aufbau, Inhaltsstoffe und Verbrennung pyrotechnischer Gegenstände

3.1 Aufbau und Funktionsweise pyrotechnischer Gegenstände

Pyrotechnische Gegenstände haben je nach Effekt, den sie bewirken sollen, unterschiedliche Bauformen. In Abbildung 1 wird beispielsweise der Aufbau einer klassischen Silvester-Rakete [31] gezeigt.

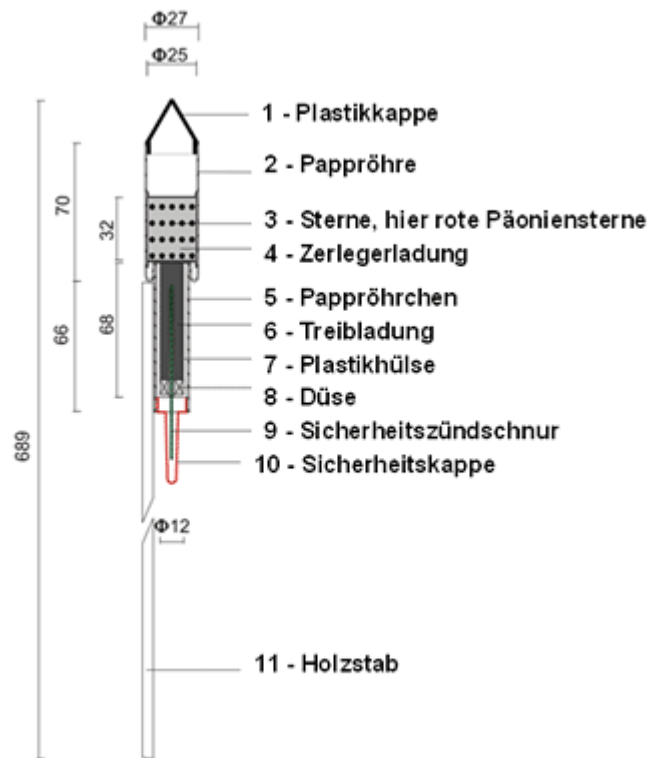


Abbildung 1: Aufbau einer klassischen Silvester-Rakete [31].

Um die Rakete abschlussbereit zu machen, wird die Sicherheitskappe (10) zum Schutz gegen ungewolltes Entzünden entfernt. Die Sicherheitszündschnur (9) wird am äußersten Ende entzündet und brennt in die Treibladung (6). Die beim Abbrand entstandenen Reaktionsprodukte können der Düse (8) aus der unteren Öffnung des Pappröhrchens (5) entweichen und liefern den Schub zum Antrieb der Rakete. Wenn der Treibsatz bis zum oberen Ende verbrannt ist, zündet er die aus Schwarzpulver und ggf. Zusätzen bestehende Zerlegerladung (4). Diese entzündet den enthaltenen Effektsatz (3) und treibt diesen über die Pappröhre (2) aus. Die Plastikkappe (1) wird bei diesem Vorgang regelrecht „abgesprengt“.

Es kann zusätzlich zu einem Zerbersten der Pappröhre kommen. Der Holzstab (11) gewährleistet eine stabile Flugbahn [31].

Raketen werden derzeit eher für den privaten Verbrauch vertrieben: Ihre schlecht zu berechnende Flugbahn, die Schwierigkeit synchron zu zünden, sowie nicht zuletzt der Bedarf eines Abschusssystems machen den Einsatz von Feuerwerk-Bomben, Batterien, Abbildung 2, usw. für den professionellen Feuerwerker wesentlich einfacher und effizienter. [31]. Ihre Funktionsweise wird im Anhang erläutert.

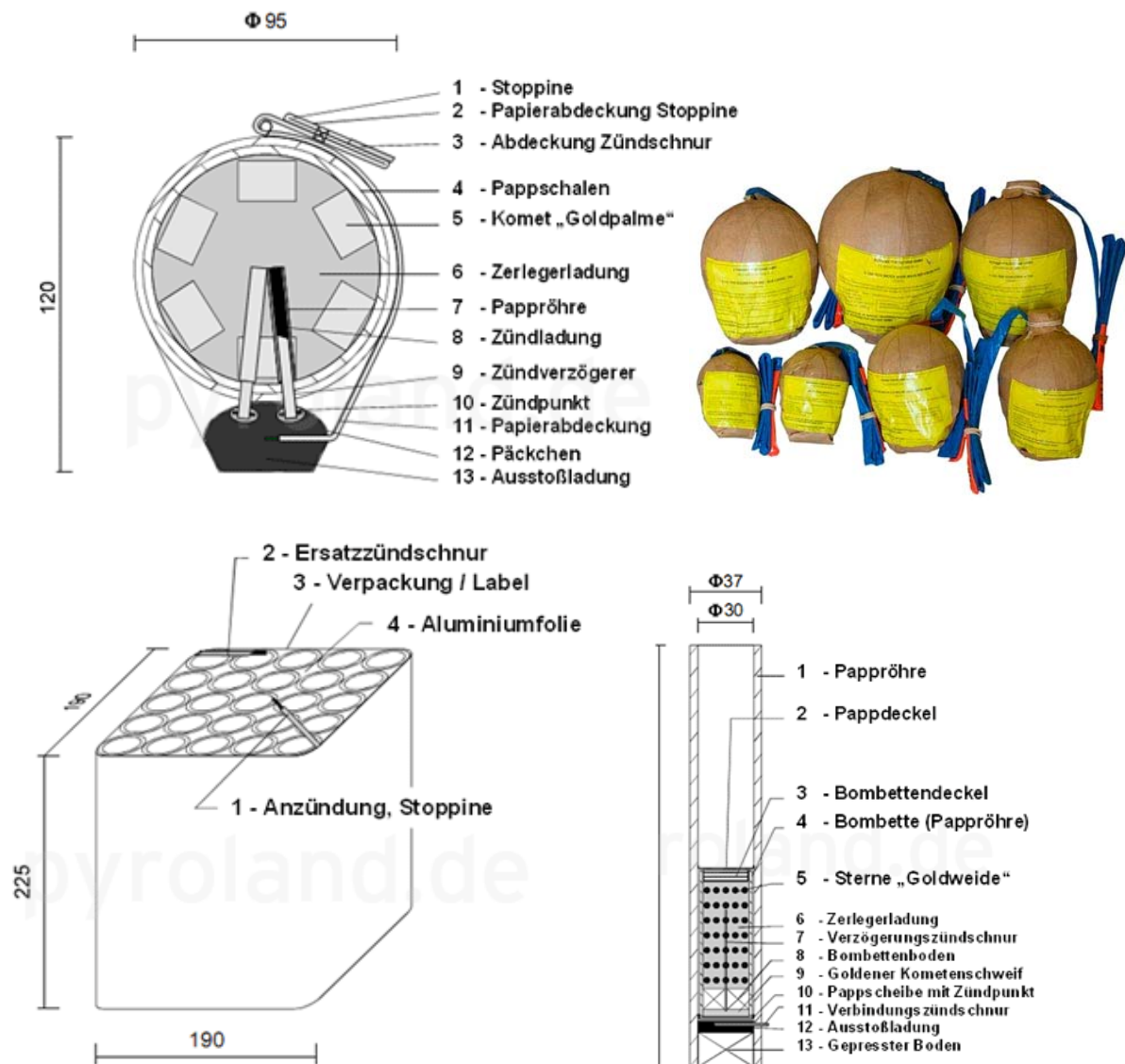


Abbildung 2: Oben: Feuerwerk-Kugelbombe 100mm [31]. Unten: Feuerwerk-Batterie 25 Schuss: Außenansicht (links) und Einzelpappröhrenansicht (rechts).[31].

3.2 Inhaltsstoffe pyrotechnischer Gegenstände

Die Inhaltsstoffe pyrotechnischer Gegenstände können in zwei große Kategorien eingeteilt werden:

- **Pyrotechnische Sätze**, welche in Folge einer selbstunterhaltenden exothermen, chemischen Reaktion (in der Regel nichtdetonativ) eine Wirkung in Form von Wärme, Licht, Schall, Gas, Nebel oder Rauch erzielen. Üblicherweise enthalten sie mehrere Komponenten.
- **Inertmasse** aus Konstruktionsmaterialien wie Hüllen, Stäbchen und anderen Teilen, die gar nicht oder nur zum Teil mit verbrannt werden. Sie bestehen aus Karton, Kunststoff, Ton und Holz und verleihen den pyrotechnischen Gegenständen Form und Stabilität.

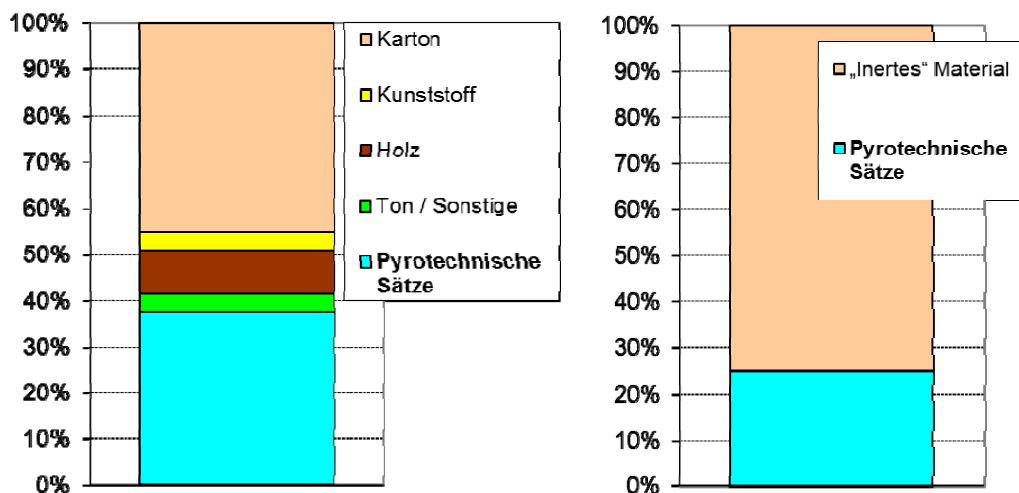


Abbildung 3: Anteil „Inerten“ Materials und pyrotechnischer Sätze in Raketen. Links: [BUWAL]; rechts: [8]

Eine Untersuchung des BUWALs von 6 Raketen schweizerischer Provenienz ergab einen durchschnittlichen Inertstoffanteil von ca. 62%, Abbildung 3 links.

In einer späteren und umfangreicheren Studie [8] wurde ein Inertstoffanteil von ca. 75% berechnet, Abbildung 3 rechts.

Die Anteile hängen sehr von den betrachteten Sorten von Feuerwerkskörpern ab.

3.2.1 Pyrotechnische Sätze

Pyrotechnische Sätze bestehen [3] aus:

- Schwarzpulver, das den Hauptanteil der Sätze ausmacht und als Treibladung und/oder Überzündung verwendet wird. Es ist eine Mischung aus Kaliumnitrat (im Mittel 74 %), Holzkohle (ca.16 %) und Schwefel (ca.10 %).
- Leucht-, Knall-, Pfeif- und Rauchsätzen, welche die gewünschten Effekte erzeugen. Farbeffekte werden z.B. mit Barium (grün), Strontium (rot) und Kupfer (blau) erzielt.
- Additive (z.B. Katalysatoren und Inhibitoren) zur Modifizierung des Abbrandverhaltens.
- Zusatzstoffen wie Bindemittel und Schmiermittel zur Vermeidung der Klumpenbildung.

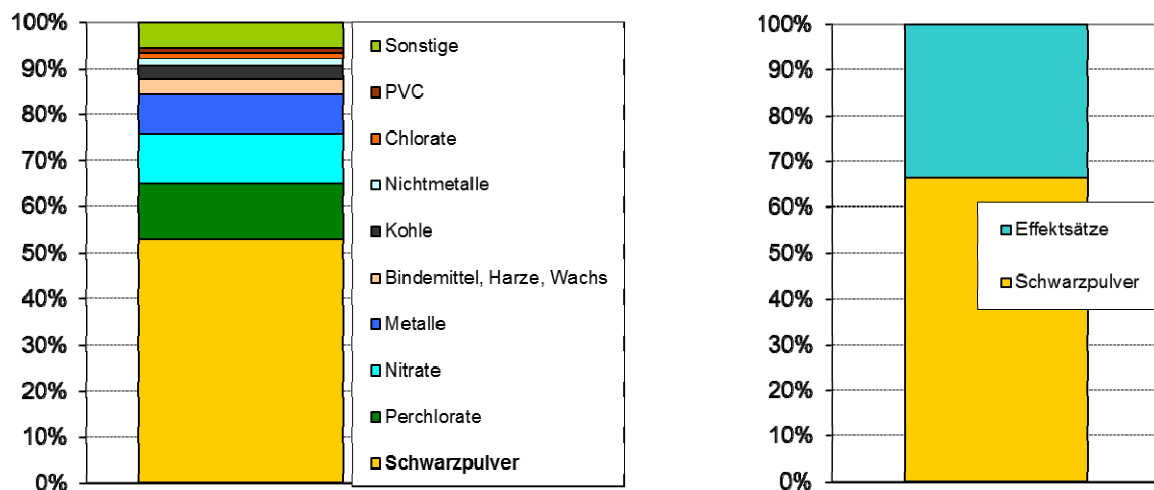


Abbildung 4: Durchschnittliche Zusammensetzung pyrotechnischer Sätze: Links: [8], rechts: [Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerke (SKF).]

Schwarzpulver ist der weitaus wichtigste Bestandteil. In [8] wird ein Gewichtsanteil von 53% berechnet,

Abbildung 4 links.

Die Schweizerische Koordinationsstelle für Feuerwerke (SKF) schätzte eine Zusammensetzung von 2/3 Schwarzpulver und 1/3 Effektsätzen,

Abbildung 4 rechts.

Die Anteile hängen sehr von den betrachteten Sorten von Feuerwerkskörpern ab.

Die Gesamtmasse der pyrotechnischen Sätze eines Feuerwerkskörpers wird auch NEM (Nettoexplosivstoffmasse) genannt.

Tabelle 1: Inhaltsstoffe pyrotechnischer Effektsätze [3] [13].

Inhaltsstoffe pyrotechnischer Sätze		allgemein [2]	für Bühne und Theater [8]
Oxidationsmittel	Nitrate	KNO ₃ , Ba(NO ₃) ₂ , Sr(NO ₃) ₂ , NH ₄ NO ₃	KNO ₃ , Sr(NO ₃) ₂ , Ba(NO ₃) ₂ , NH ₄ NO ₃
	Chlorate	KClO ₃	k.a.
	Perchlorate	KClO ₄ , NH ₄ ClO ₄	KClO ₄ , NH ₄ ClO ₄ , Ba(ClO ₄) ₂
	Peroxide und Oxide	BaO ₂ , SrO ₂ , PbO ₂ , Pb ₃ O ₄ , MnO ₂ , ZnO, Fe ₂ O ₃ , Cu ₂ O, CuO	
	Sulfide	Sb ₂ S ₃	Sb ₂ S ₃
	Halogenierte Verbindungen	Halogenierte Polymere	K ₂ Cr ₂ O ₇
Reduktionsmittel	Metalle	Al, Al/Mg, Ca/Si, Fe, Mg, Ti	Al, Mg, Fe, Ti, Zr, Cu
	Nichtmetalle	S, C (Graphit, Holzkohle, aktivierte Kohle), P, Si	C, S
	Kohlenhydrate	Sucrose, Lactose	
	Organische Verbindungen	Natriumsalicylat, Kaliumbenzoat, Sorbitol, Hexamethylentetramin, Oxalate, Dicyandiamid, Stärke, und natürliche Harze	Stärke, Kaliumbenzoat, Sorbitol, Magnesiumstearat, Oxalate, nat. und tierische Harze, Dicyandiamid, Paraffin
Flammenfärbung	Rot	Strontiumoxalat, -carbonat und -nitrat; Calciumsulfat	SrCO ₃ , Sr(NO ₃) ₂ , LiCl, Li ₂ CO ₃
	Gelb	Kryolith (Na ₃ AlF ₆), Natriumoxalat und -nitrat	Kryolith, NaOx, Na-benzoat, NaNO ₃ , Na ₂ CO ₃
	Blau	Kupfercarbonat Cu(OH)CO ₃ und Kupferoxide	CuO, Cu, CuCO ₃ , CuCl
	Grün	Ba(NO ₃) ₂ , BaSO ₄ , BaCO ₃	Ba(NO ₃) ₂ , Ba(ClO ₄) ₂ , BaCO ₃
	Weiss	Mg, Al, Ti, Sb ₂ S ₃	Mg, Al, Ti, Sb ₂ S ₃
	Violett	k.a.	Mischung aus rot (Sr ²⁺) und blau (Cu ²⁺)
	Orange	k.a.	CaCl ₂ , CaSO ₄
	Gold	k.a.	glühendes Eisen mit Kohle
Rauch			ZnO, ZnO-Al-C ₆ Cl ₆
Bindemittel	Naturharze	Akaroidharz, Gummiarabicum, Schellack	Accroides, Gummi arabium, Lycopodium, Resin, Schellack, Epoxidharze
	Kunststoffe	PVC, PE, Polyester, Polyurethan	PVC, PE, PVAc, PVA, PP, PVB, PVdC, ABS
	Kleber	Stärke	Pertigex, Gludan
Zusatzstoffe	Fließmittel	pyrogenes SiO ₂ , pyrogenes Al ₂ O ₃ , CaCO ₃ , MgCO ₃	pyrogenes SiO ₂ , pyrogenes Al ₂ O ₃ , CaCO ₃ , MgCO ₃
	Schmiermittel	Graphit, Talk, Wachs, PTFE	Graphit, Talk, Wachs, PTFE
Abbrandregler	Katalysatoren	Fe ₂ O ₃ , V ₂ O ₅ , MnO ₂ und CuO, TiO ₂ und K ₂ Cr ₂ O ₇	Fe ₂ O ₃ , CuO, K ₂ Cr ₂ O ₇
	Inhibitoren	Graphit, Wachse, Paraffin und Stearin	Graphit, Wachse, Paraffin und Stearate

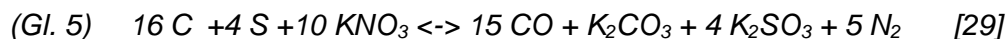
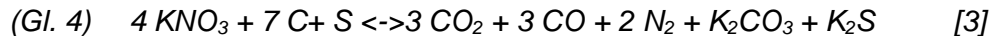
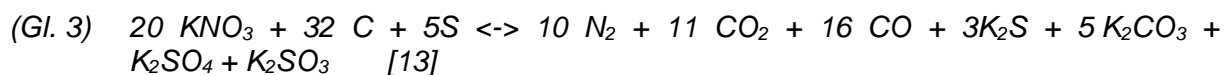
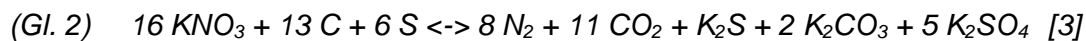
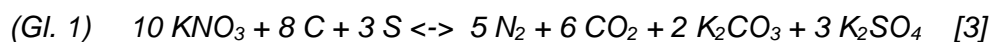
Tabelle 1 zeigt die meist verwendeten Inhaltsstoffe von pyrotechnischen Effektsätzen je nach erzielter Wirkung. In der rechten Spalte werden die Inhaltsstoffe von pyrotechnischen Gegenständen für Bühne und Theater angegeben.

3.3 Verbrennungsreaktionen

Die Verbrennung pyrotechnischer Mischungen erfolgt bei hohen Temperaturen (zwischen 1000 und 3000°C) innerhalb kürzester Zeit und führt zu einer Vielzahl chemischer Reaktionen [3].

Alle Mischungsverhältnisse, die heute zur Verfügung stehen, sind empirisch entdeckt worden [13]. Angesichts der Vielzahl der Komponenten, die involviert sind, und der bekannten und unbekanntenen Reaktionsketten, die ausgelöst werden, ist es nicht möglich, eine ausführliche Zusammenstellung der Verbrennungsreaktionen zu geben. Einige Reaktionsgleichungen über die Verbrennung von Effektsätzen werden im Anhang angeführt.

Allein für Schwarzpulver, Hauptbestandteil der pyrotechnischen Sätze, wird die Reaktion, nachdem die Verbrennung stabil etabliert ist, mit mehreren möglichen Reaktionsgleichungen beschreiben. Hier werden einige davon erwähnt.



Neben Kaliumcarbonat (K_2CO_3), Kaliumsulfat (K_2SO_4), Kaliumsulfid (K_2S) und Kaliumsulfid (K_2S) werden als Reaktionsprodukte auch Kaliumthiosulfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$) und Kaliumthiocyanat (KCNS) angegeben.

Der Feststoffgehalt der Verbrennungsprodukte obiger Gleichungen beträgt jeweils 66%, 64%, 53%, 48% und 68%. Andere Quellen geben Prozentanteile von 56% [8] bzw. 69% [12] an. Daneben werden nicht umgesetzte Schwarzpulverbestandteile in fester Form emittiert [3].

Es wird geschätzt, dass die Verbrennungsprodukte der Effektmasse zu 80-90% als feste Bestandteile anfallen [8].

3.4 Zusammenfassung des Kapitels 3

Je nach erzieltm Effekt besitzen Feuerwerkskörper unterschiedliche Bauformen und Inhaltsstoffe. Sie bestehen zu 25% bis 37% aus pyrotechnischen Sätzen, der Rest sind „inerte“ Materialien wie Karton, Kunststoff, Ton und Holz.

Die pyrotechnischen Sätze bestehen aus 53% bis 67% Schwarzpulver, einer Mischung aus Kaliumnitrat (im Mittel 74 %), Holzkohle (ca.16 %) und Schwefel (ca.10 %). Der Rest sind die eigentlichen Effektsätze.

Die Metallgehalte pyrotechnischer Sätze zeigen einen hohen Anteil an Kalium, gefolgt von Barium, Strontium, Magnesium und Kupfer, welche für die Farbeffekte eingesetzt werden.

Die Gesamtmasse der pyrotechnischen Sätze eines Feuerwerkskörpers wird auch NEM (Nettoexplosivstoffmasse) [20] genannt.

Der Feststoffgehalt der Verbrennungsprodukte von Schwarzpulver wird mit 56% [8] bzw. 69% [12] angegeben. Es wird geschätzt, dass die Verbrennungsprodukte bei der Effektmasse zu 80-90% als feste Bestandteile anfallen.

Einige Reaktionsgleichungen über die Verbrennung von Effektsätzen werden im Anhang angeführt.

4 Partikel: Emissionen und Immissionen

Feuerwerke emittieren beträchtliche Mengen Partikel in kürzester Zeit, daher ist es notwendig, neben der Gesamtmenge emittierter Partikel auch – und vor allem – deren Spitzenkonzentrationen im Auge zu behalten. Infolge der Heterogenität und der unterschiedlichen Toxizitäten der Partikel aus Feuerwerken ist es dann wichtig, Emissions- und Immissionsdaten für die verschiedenen Schwermetalle zu ermitteln.

Die Datenlage ist extrem dürftig: Außer einer Messung von Partikelemissionen für einige bestimmte pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater ist uns sonst keine weitere Messung bekannt. Es wurden zwar mehrere Immissionsmessungen von festen und gasförmigen Komponenten im Bereich der Zuschauer, d.h. in großer Entfernung von der Quelle durchgeführt, sie sind aber durch die Entfernung von der Windrichtung abhängig und darum kaum zu gebrauchen, um Rückschlüsse auf die emittierte bzw. immittierte Menge zu ziehen.

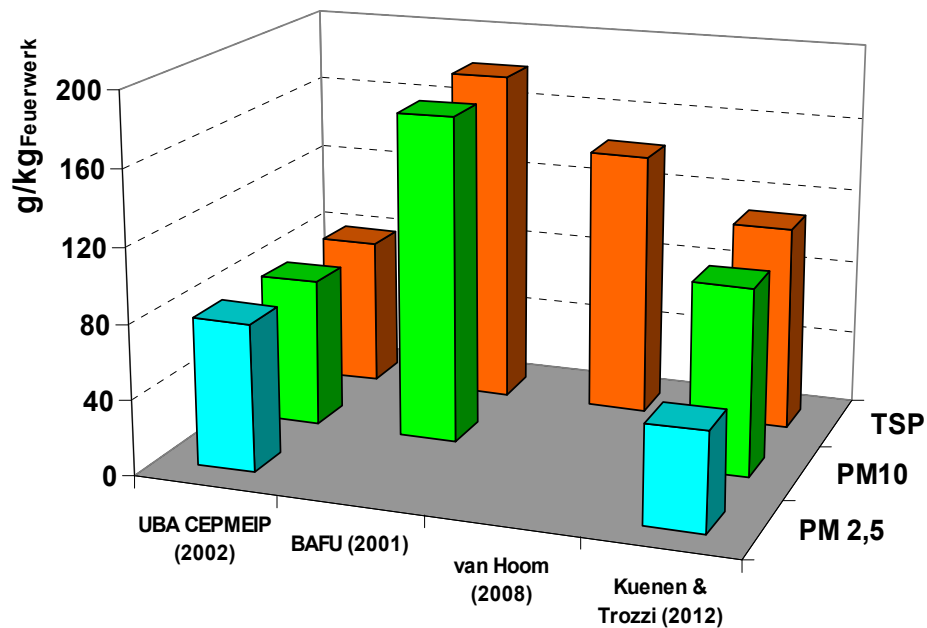
4.1 *Emissionsfaktoren*

Eine erste Schätzung der Partikelemissionen aus dem Silvesterfeuerwerk in Deutschland in der Höhe von 8000 Tonnen wurde 1995 von der Pressestelle des deutschen Umweltbundesamtes [1] veröffentlicht. Dieselbe Schätzung wurde dann in einer Broschüre des Bayerischen Landesamts für Umwelt von 2012 [2] wieder erwähnt. Gleichzeitig aber rechnet das deutsche Umweltbundesamt mit Partikelemissionsfaktoren von 0,035 kg/Kopf [5] für das ganze Jahr, die zu ungenau und wesentlich niedriger sind: Eine Umrechnung der Daten von 1995 ergibt nämlich einen Emissionsfaktor von 0,098 kg/Kopf, fast drei Mal höher, allein zu Silvester.

Die Schätzung der Partikelemissionen des Schweizerischen Umweltbundesamtes basiert auf folgenden Annahmen [3]: Beim Abbrand von Schwarzpulver beträgt der Anteil fester Reaktionsprodukte 57 %, bei den Effektsätzen wird angenommen, dass 80 % bis 90 % feste Reaktionsprodukte entstehen. Bei einem Inertstoffanteil von 75% und einem Anteil von ca. 50% Schwarzpulver in den pyrotechnischen Sätzen entstehen also pro Tonne pyrotechnischen Materials ca. 180 kg fester Reaktionsprodukte ($EF \approx 180'000 \text{ g/t}$). Sie werden in der Luft als Schwebstaub verteilt (der von bodennah abbrennenden Feuerwerkskörpern wie „Vulkanen“ oder „Fontänen“ generierte Staub dürfte zu einem

Großteil in unmittelbarer Nähe vom Abbrandort deponiert werden; ein nicht bezifferbarer Anteil der Reaktionsprodukte fällt zudem in den Hüllen als Schlacke an).

Abbildung 6 zeigt die Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Feuerwerken von verschiedenen Literaturstellen: Die aktuelle Berechnungsbasis des UBA Deutschland, umgerechnet aus der Angabe in kg/Kopf [5], BUWAL 2001 und BAFU aktuell [3], van Hoorn 2008 [7], EMEP/EEA 2012 [6]. Die Werte sind in g/kg Feuerwerk bzw. in g/kg



	[g/kg _{pyrSatz}]	[g/kgFeuerwerkartikel]							
	TSP	TSP	PM10			PM 2,5			
			Wert	min	max	Wert	min	max	
UBA CEPMEIP (2002)		79	79				79		
BAFU (2001)	700	180	175						
van Hoom (2008)		142,44							
Kuenen & Trozzi (2012)		109,83	99,92	40	160	51,94	10	90	

pyrotechnischer Sätze angegeben.

Abbildung 6: Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Feuerwerken aus verschiedenen Literaturstellen: UBA Deutschland 1995 [1], UBA DE 2002 und aktuell [5], BAFU Schweiz 2001 und aktuell [3], van Hoorn 2008 [7], Kuenen & Trozzi EMEP/EEA [6].

Aus dem Emissionsfaktor für Partikel und dem Metallgehalt der pyrotechnischen Sätze kann man Emissionsfaktoren für Schwermetalle herleiten, Abbildung 7.

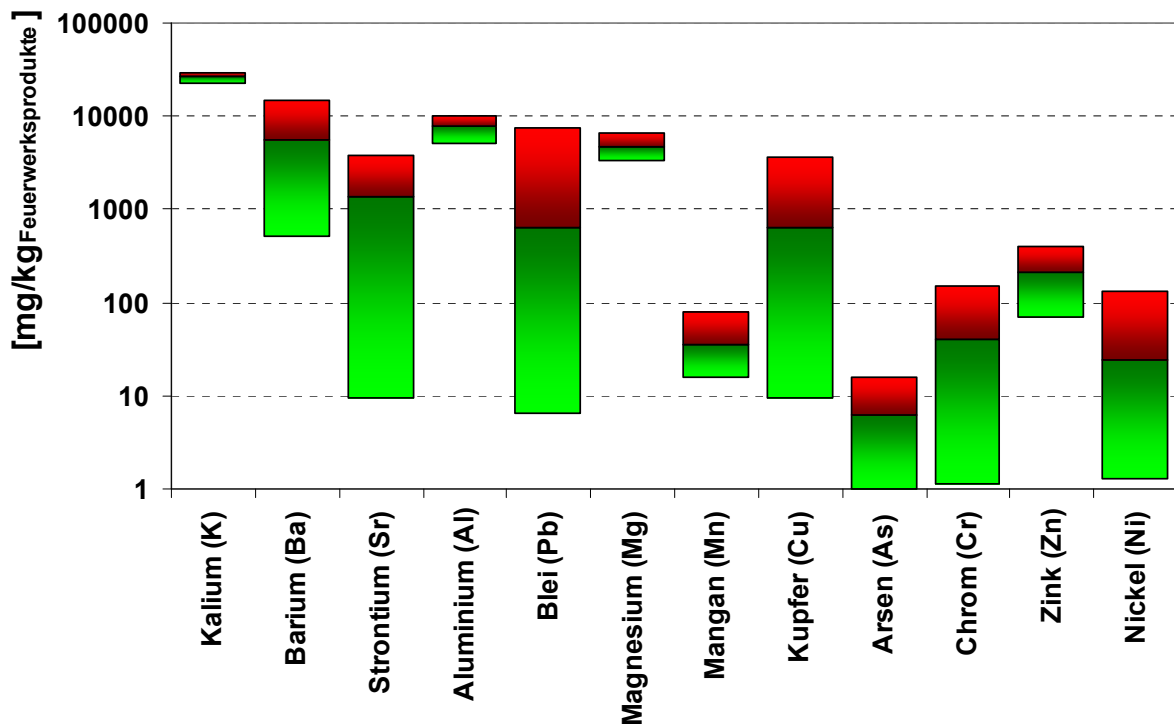


Abbildung 7: Emissionsfaktoren für Schwermetalle beim Abbrand von Feuerwerksartikeln. Die Werte sind auf die Bruttomasse pyrotechnischer Produkte bezogen. Die Bandbreite entsteht vor allem aus der starken Variabilität der Zusammensetzung einzelner pyrotechnischer Erzeugnisse. Aufgrund der starken Größenunterschiede wurde eine logarithmische Skala gewählt.

Die Emissionsfaktoren sind auf die Gesamtmasse der Feuerwerksprodukte bezogen.

Aufgrund der starken Größenunterschiede von einem Schwermetall zum anderen wurde für die Darstellung eine logarithmische Skala gewählt.

Die Emissionsfaktoren sind mit einer Bandbreite versehen, welche den unterschiedlichen Gehalt an Schwermetallen in den pyrotechnischen Artikeln berücksichtigt: Allein für die Farbgebung werden je nach Farbe andere Schwermetalle verwendet. Der wahrscheinliche Wert erweist sich bei einem ausreichend differenzierten Mix pyrotechnischer Gegenstände als treffend.

1. Laut [13]: „Aufgrund der zeitweise sehr hohen Partikelkonzentrationen während der Versuche wurden für das FMPS zunächst alle Partikel $\geq 1 \mu\text{m}$ mit einem Zyklonimpaktor herausgefiltert und der übrige Probenstrom 1:3000 verdünnt.“ Abgesehen von den unerwünschten Veränderungen des Aerosols, die von einem solchen Eingriff verursacht werden, wird in der Dissertation nicht einmal erwähnt, wie viel Masse dabei „herausgefiltert“ wurde. Dadurch war die Möglichkeit, aus den gemessenen Partikelgrößenverteilungen eine Schätzung der Emissionen vorzunehmen, gescheitert.

2. Die Ergebnisse werden in „Partikeltotalkonzentration“ über die Zeit angegeben, d.h. die Partikel von allen Durchmessern werden pro Zeitpunkt zusammengezählt. Ohne zu wissen, wie viel Partikel pro Durchmesser gemessen wurden, ist eine Berechnung der Masse nicht möglich.

Jeder Versuch, uns mit dem Verfasser oder mit den Betreuern der Dissertation in Verbindung zu setzen, ist gescheitert. Es war bis zum Schluss nicht möglich, mit der BAM kooperativ zu arbeiten.

Die Messung mit dem Niederdruckimpaktor wurde laut Beschreibung korrekt durchgeführt. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Messung für die so genannten „pyrotechnischen Lichter“.

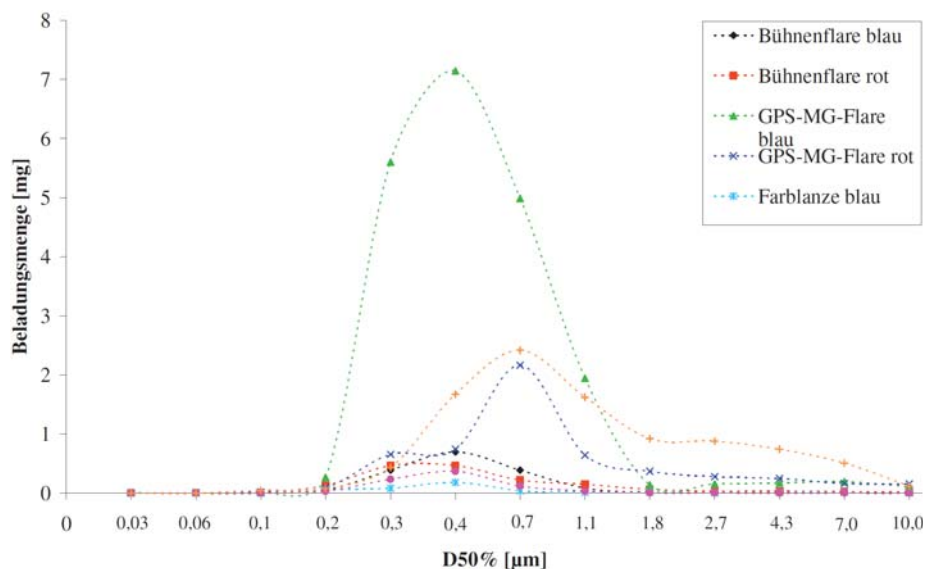


Abbildung 9: Beladungsmassen der mit dem LPI gesammelten 13 Stufen der pyrotechnischen Lichter [13].

Die letzte Stufe der mit dem Impaktor gesammelten Partikelmasse liegt bei $10 \mu\text{m}$. Da die Dichte der Partikel größer als 1 kg/dm^3 ist und da die Partikel laut [13] zumindest ab der Stufe 7 kugelförmig sind, Abbildung 10, werden sie in einer Impaktormessung, die den aerodynamischen Durchmesser liefert, größer empfunden als sie tatsächlich sind. Das wäre von der Messung mit FMPS, die mit dem Mobilitätsdurchmesser arbeitet, bestätigt worden.

Praktisch bedeutet dies, dass Partikel mit einem „geometrischen“ Durchmesser von 10 μm in der Impaktorstufe von ca. 14 μm zu finden wären.

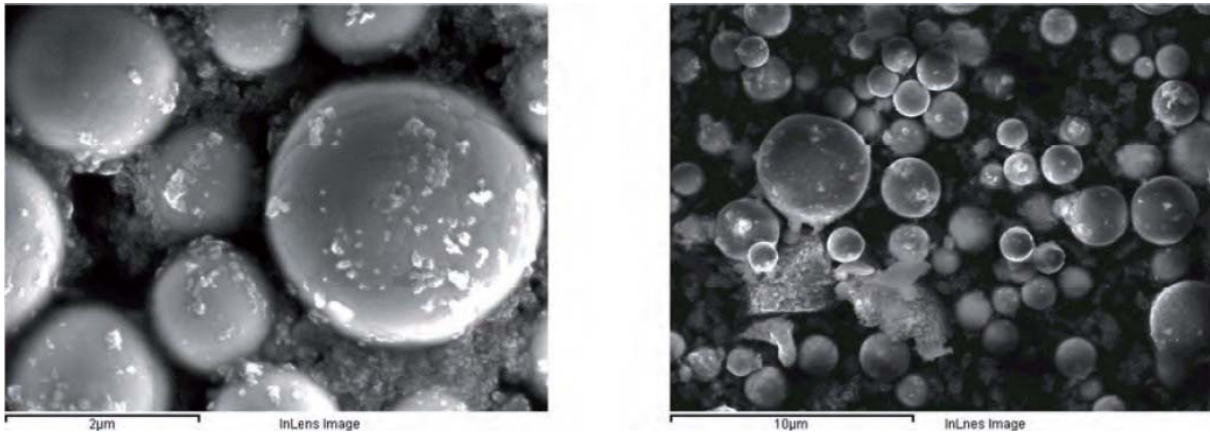


Abbildung 10: Laut [13]: „Stufe 10 (2700 nm) Links: Fontäne silber raucharm, Rechts: Bühnenfontäne silber-grün“

Viele Randbedingungen, wie z.B. die Deposition an den Wänden und am Boden der Messkammer, wurden in der Dissertation nicht erwähnt und konnten auch nicht nachgefragt werden. Dennoch ist es uns durch Annahmen gelungen, aus diesen Daten Emissionsfaktoren zu ermitteln.

Abbildung 11 zeigt die berechneten PM_{10} -Emissionsfaktoren für einige ausgewählte pyrotechnische Gegenstände. Die Werte werden in Gramm pro Kilogramm pyrotechnischer Sätze angegeben.

In Abbildung 12 sind aus derselben Berechnung Emissionsfaktoren für so genannte „raucharme“ pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater zusammengestellt. Diese stoßen weniger PM_{10} aus, aber Messungen [13] zeigen, dass sie eine höhere Gesamtanzahl Partikel emittieren, weil der Größenbereich der Emission hauptsächlich bei kleineren Partikeln, im so genannten „alveolaren Bereich“ ($\leq 100 \text{ nm}$, Partikel die bis in die Alveolen eindringen können und darum gefährlicher sind) liegt.

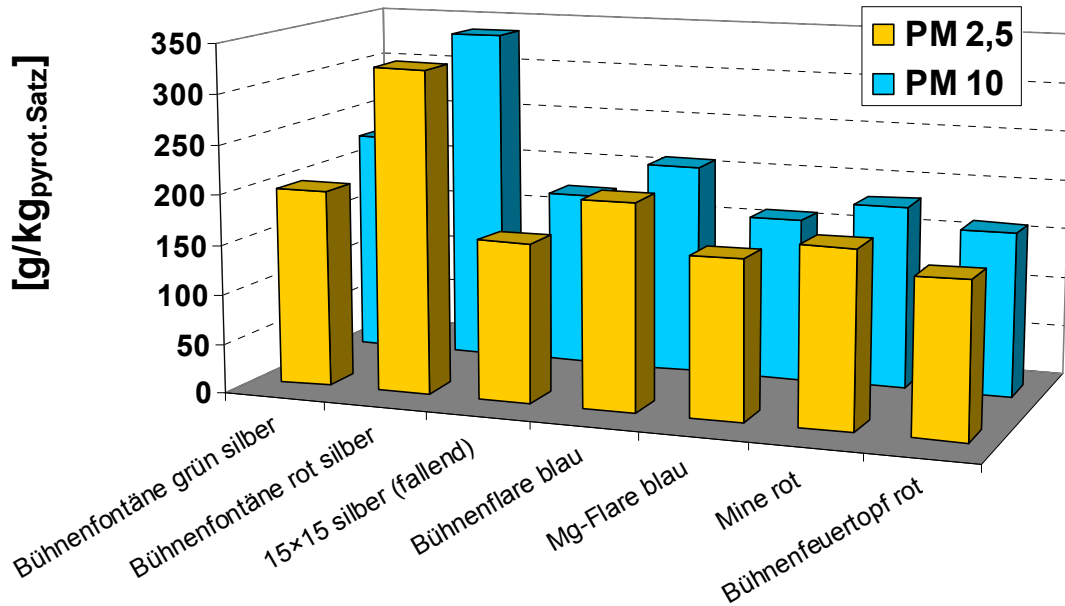


Abbildung 11: PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Emissionsfaktoren für einige pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater. Ergebnis der Berechnung aus Messungen in einer Messkammer [13]. Die Werte sind auf die Masse pyrotechnischer Sätze bezogen.

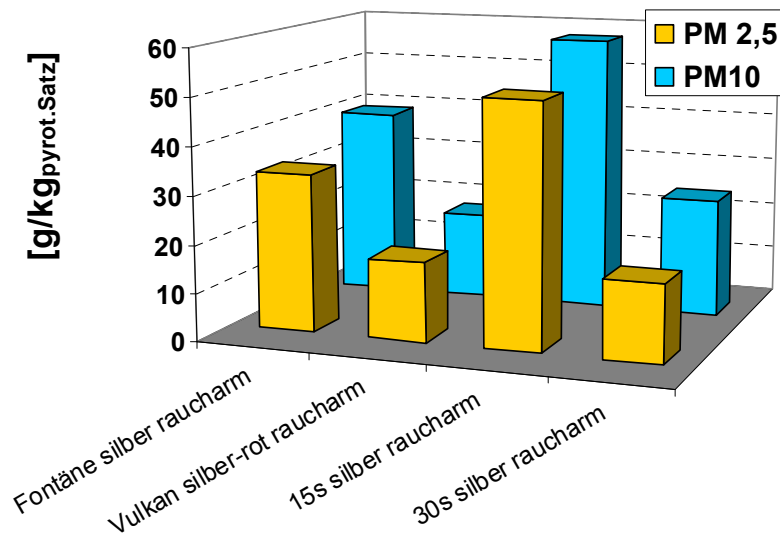


Abbildung 12: PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Emissionsfaktoren für so genannte „raucharme“ pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater. Ergebnis der Berechnung aus Messungen in einer Messkammer [13]. Die Werte sind auf die Masse der pyrotechnischen Sätze bezogen.

Diese Emissionsfaktoren sind spezifisch für die Kategorie für Bühne und Theater und liegen eher im unteren Emissionsbereich. Dennoch bestätigen sie die Größenordnung der bisher nur geschätzten Emissionsfaktoren: Bezogen auf die Masse der Reagenzien (hier NEM) sind sie rund 100 Mal (hier) bis 1000 Mal höher als die Emissionen eines Dieselmotors.

4.2.1 Feste Reaktionsprodukte, die nicht als PM₁₀ gemessen werden

Rund 70% der Reaktionsprodukte der pyrotechnischen Sätze sind fest. Mit Emissionsfaktoren für TSP oder PM₁₀ wird der Anteil, der in der Luft schwebt, entweder geschätzt (Kap. 4.1) oder gemessen (Kap. 4.2). Die restlichen festen Reaktionsprodukte sind eine beachtliche Menge und können Folgendes sein:

- Größere Partikel, jeweils größer als TSP oder PM₁₀
- Reaktionsprodukte, die als Schlacke in den Hüllen zurückgeblieben sind
- Durch Deposition oder Adhäsion ausgeschiedene Partikel
- Unverbrannte feste Ausgangsprodukte

Abbildung 13 zeigt die Menge der festen Reaktionsprodukte, die jeweils nicht als TSP oder PM₁₀ erfasst sind. Die Werte für pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater sind von Messungen [13] hergeleitet, die restlichen Werte beziehen sich auf die verschiedenen Schätzungen der Emissionsfaktoren, Kapitel 4.1.

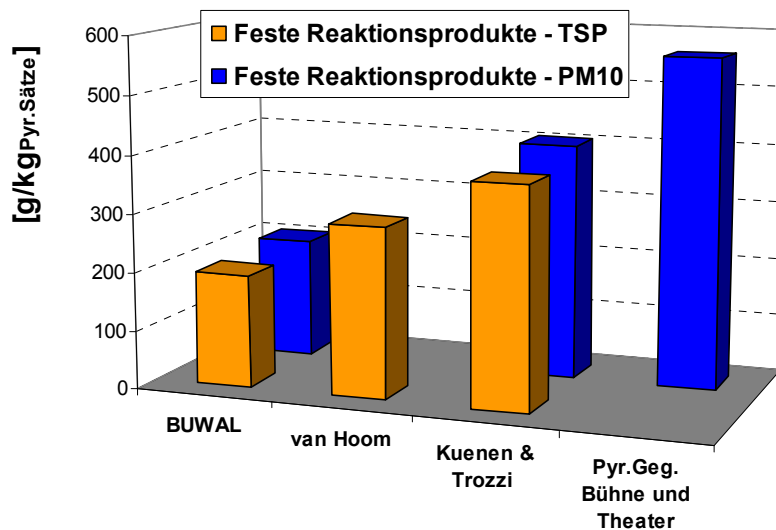


Abbildung 13: Feste Reaktionsprodukte, die nicht als TSP oder PM₁₀ erfasst werden. Die Werte für pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater wurden aus Messungen [13] abgeleitet, die restlichen Werte beziehen sich auf die verschiedenen Schätzungen der Emissionsfaktoren, Kapitel 4.1.

Diese Mengen gehören zwar nicht zur Fraktion der in der Luft suspendierten Partikel, gelangen jedoch mit ihrem Inhalt an Schwermetallen genauso in die Umwelt.

4.3 Gesamtmenge Partikelemissionen

4.3.1 Importe, Exporte, Produktion und Verbrauch

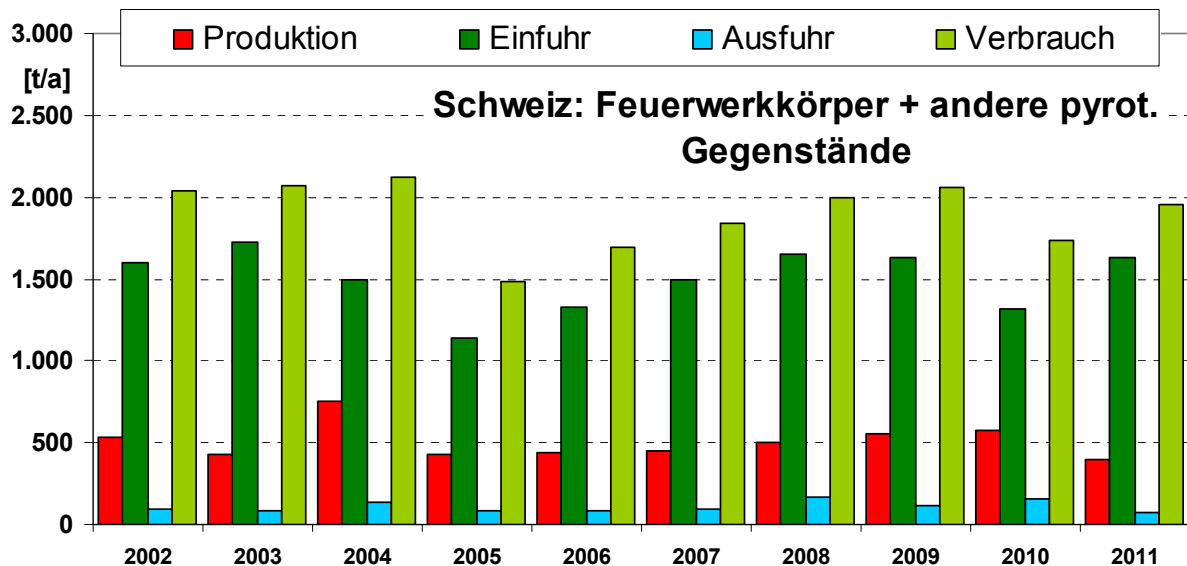


Abbildung 14: Produktion, Einfuhr, Ausfuhr und Verbrauch von pyrotechnischen Gegenständen in der Schweiz. [15].

Während die Daten von Produktion, Einfuhr und Ausfuhr von pyrotechnischen Gegenständen für die Schweiz ganz einfach aus der Internetseite der Bundesverwaltung zu entnehmen sind, stößt man bei der Datenanfrage an das Statistische Bundesamt in Deutschland auf „geheim gehaltene“ Werte für die Produktion. Die Begründung lautet: „Wegen der statistischen Geheimhaltung betrieblicher Einzelangaben werden Daten für solche Erzeugnisse, die entweder von weniger als drei Unternehmen produziert wurden oder an deren Herstellung ein Unternehmen überwiegend beteiligt war, nicht veröffentlicht.“ Erfasst werden außerdem Unternehmen mit im Allgemeinen 20 oder mehr Beschäftigten, das schließt in dieser Branche viele Unternehmer aus. Daten für Exporte und Importe werden nur für Feuerwerkskörper und nicht für die restlichen pyrotechnischen Gegenstände zur Verfügung gestellt.

Abbildung 15 zeigt die vom Statistischen Bundesamt Deutschland gelieferten Daten. Die Produktion von Feuerwerkskörpern weist einen seltsamen Verlauf auf: In den Jahren 1995 bis 1997 ist sie viel höher als die Importmenge, danach schrumpft sie drastisch und wird ab 2004 aus den erwähnten Gründen nicht mehr angegeben.

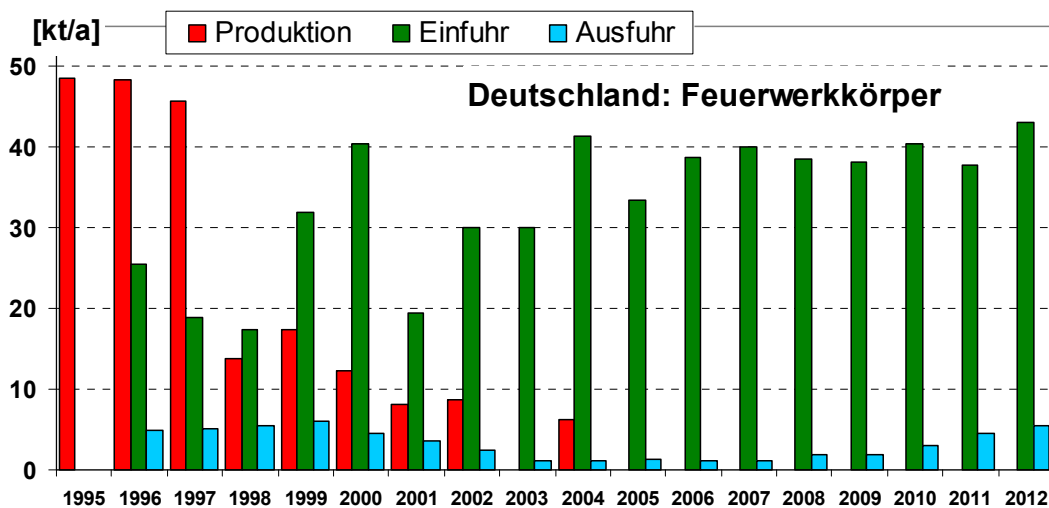


Abbildung 15 : Produktion, Einfuhr und Ausfuhr von Feuerwerkskörpern (ohne restliche pyrotechnische Gegenstände) in Deutschland. Quelle: Statistisches Bundesamt [16].

Um diesen Datenmangel zu überbrücken, wurden für Deutschland Annahmen getroffen, die auf den Schweizer Daten basieren.

Dasselbe gilt für Österreich: Wegen „statistischer Geheimhaltung“ fehlen für Österreich die gesamten Daten der Produktion.

Abbildung 16 zeigt die von Statistik Austria gelieferten Daten über Ein- und Ausfuhr von Feuerwerkskörpern und anderen pyrotechnischen Gegenständen.

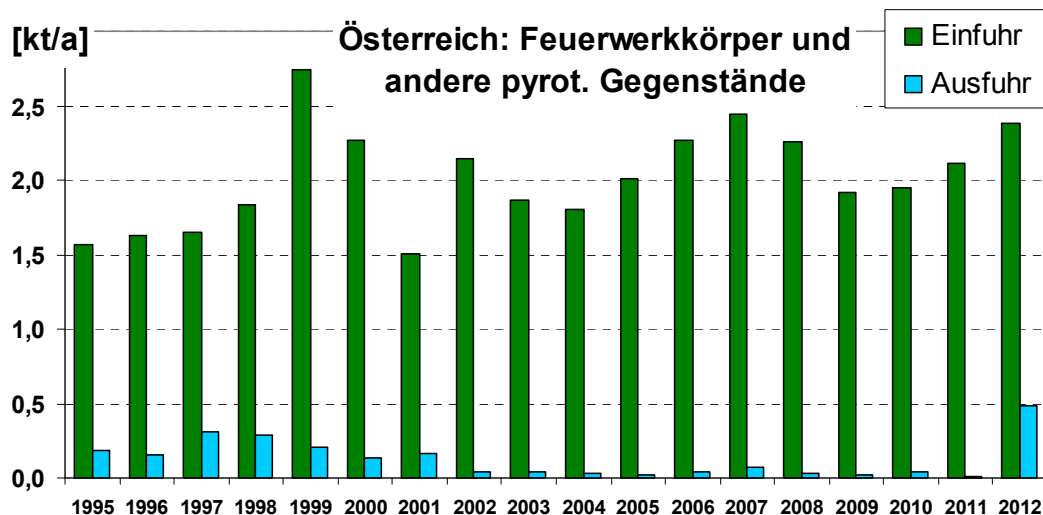


Abbildung 16: Einfuhr und Ausfuhr von Feuerwerkskörpern und anderen pyrotechnischen Gegenständen in Österreich. Quelle: Statistik Austria [17].

4.3.2 Schätzung der jährlichen Partikelemissionen

Wie in Kapitel 4.3.1 erläutert, wurde der Verbrauch von pyrotechnischen Gegenständen in Deutschland für die Berechnung der jährlichen Partikelemissionen teilweise mittels Schweizer Daten geschätzt, da wegen „Statistischer Geheimhaltung“ die Daten über die Produktion im Jahr 2003 und ab 2005 nicht bekannt gegeben werden. Dasselbe gilt für Österreich, hier sind überhaupt keine Produktionsdaten verfügbar.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt. Die Bandbreite berücksichtigt unter anderem die unterschiedlichen Emissionsfaktoren.

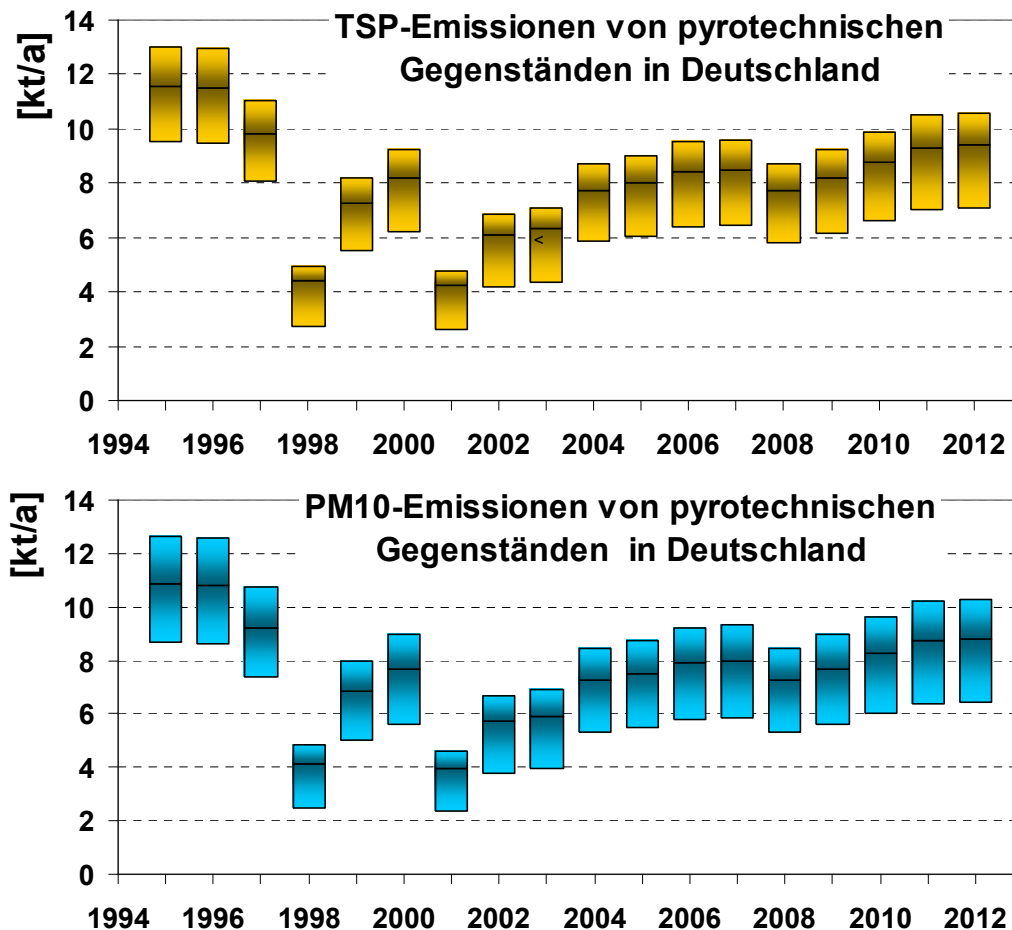


Abbildung 17: Schätzung der gesamten jährlichen Staubemissionen (oben) und PM₁₀-Emissionen (unten) von pyrotechnischen Gegenständen in Deutschland. Die Produktion von Feuerwerkskörpern wurde auf Basis der Schweizer Daten geschätzt: Im Jahr 2003 und ab 2005 werden Daten aus Deutschland wegen „Statistischer Geheimhaltung“ nicht bekannt gegeben. Die Bandbreite berücksichtigt unter anderem die unterschiedlichen Emissionsfaktoren.

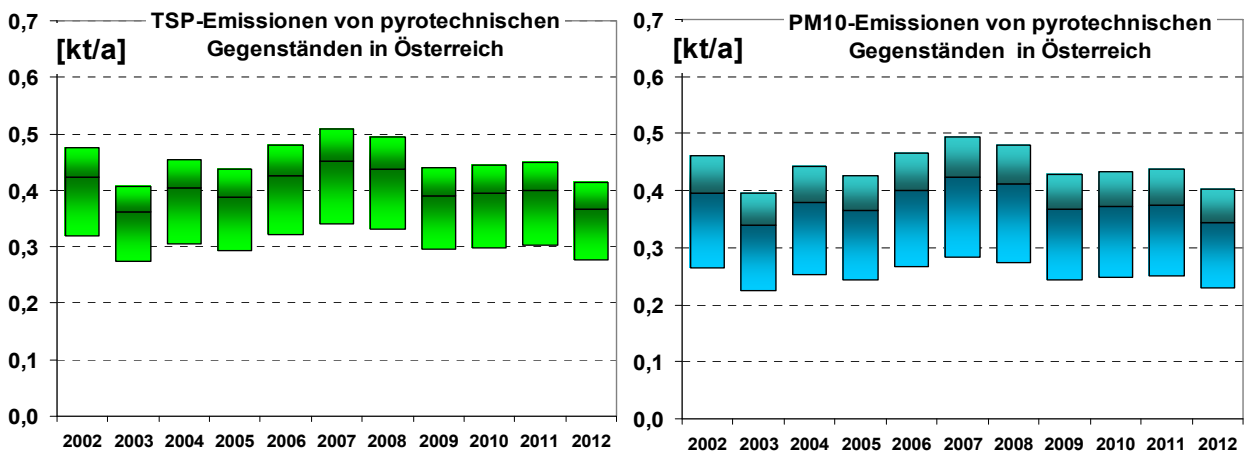
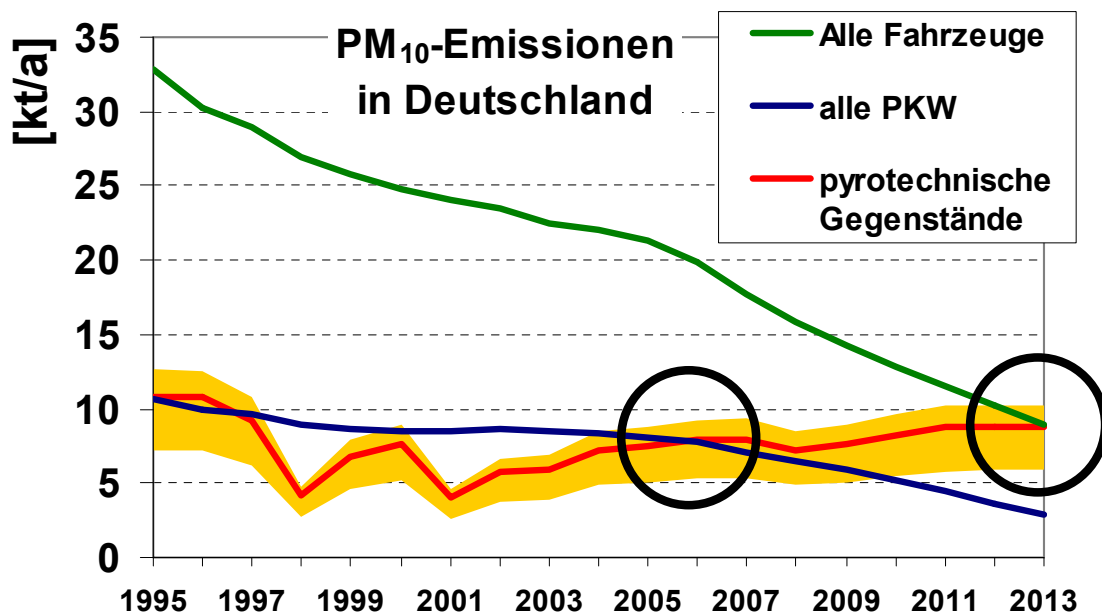


Abbildung 18: Schätzung der gesamten jährlichen Staub-(links) und PM₁₀-Emissionen (rechts) von pyrotechnischen Gegenständen in Österreich. Die Produktion von Feuerwerkskörpern wurde auf Basis der Schweizer Daten geschätzt, da wegen „Statistischer Geheimhaltung“ die Daten nicht bekannt gegeben werden. Die Bandbreite berücksichtigt auch die unterschiedlichen Emissionsfaktoren.

Diese Werte basieren auf Daten der Ämter und beinhalten keine illegalen Feuerwerksartikel.

Abbildung 19: Vergleich der jährlichen PM₁₀-Emissionen von pyrotechnischen Gegenständen (der Wert für 2013 wurde mittels der aktuellen Angaben vom VPI [19] geschätzt) mit den



jährlichen PM₁₀-Abgasemissionen aller Fahrzeuge bzw. aller PKW in Deutschland.

Abbildung 19 vergleicht die jährlichen PM₁₀-Gesamtemissionen von pyrotechnischen Gegenständen mit den jährlichen PM₁₀-Abgasemissionen aller Fahrzeuge bzw. aller PKW in Deutschland. Die jährlichen Partikelemissionen aus dem Abgas von PKW sind schon seit dem Jahr 2006 niedriger als die der Pyrotechnik, ab heuer sind die gesamten PM₁₀-Abgasemissionen aller Fahrzeuge in Deutschland gleich hoch wie die Partikelemissionen aus dem Feuerwerk.

4.3.3 Anteil der Feuerwerke, der zu Silvester abgebrannt wird

Die Anfrage nach dem Anteil an pyrotechnischen Gegenständen, der zu Silvester abgebrannt wird, blieb von Statistischen Bundesämtern und vom Verband der Pyrotechnischen Industrie (VPI) unbeantwortet. Der einzige Anhaltspunkt war eine vom VPI im Internet [19] veröffentlichte Grafik über den Silvesterumsatz (in Euro) mit Feuerwerksartikeln in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2012 bzw. 2013, siehe Kap. 15.5 im Anhang. Wegen „statistischer Geheimhaltung“ konnte man aber leider keine jährliche Angabe des Statistischen Bundesamts in Euro und für dieselbe Art pyrotechnischer Gegenstände finden, um den Silvesteranteil des Verbrauchs aus vorhandenen Daten zu berechnen.

Der Anteil der zu Silvester verbrannten Feuerwerksmenge wurde also geschätzt und wird hier als 90 Prozent des Jahresverbrauchs angenommen.

4.3.4 Illegales Feuerwerk

Zu den illegalen Feuerwerksartikeln gehören:

- Selbst gebastelte pyrotechnische Gegenstände
- Billigere Ware aus dem Feuerwerkstourismus in Nachbarländern
- Illegal eingeführte Produkte, die zur Verkaufskette gelangen

Alle Anfragen nach Daten bei Zollämtern und Polizeidirektionen waren vergeblich. Die Menge illegalen Feuerwerks musste also geschätzt werden und wird hier mit sehr vorsichtiger Schätzung als 10 Prozent des Jahresverbrauchs angenommen.

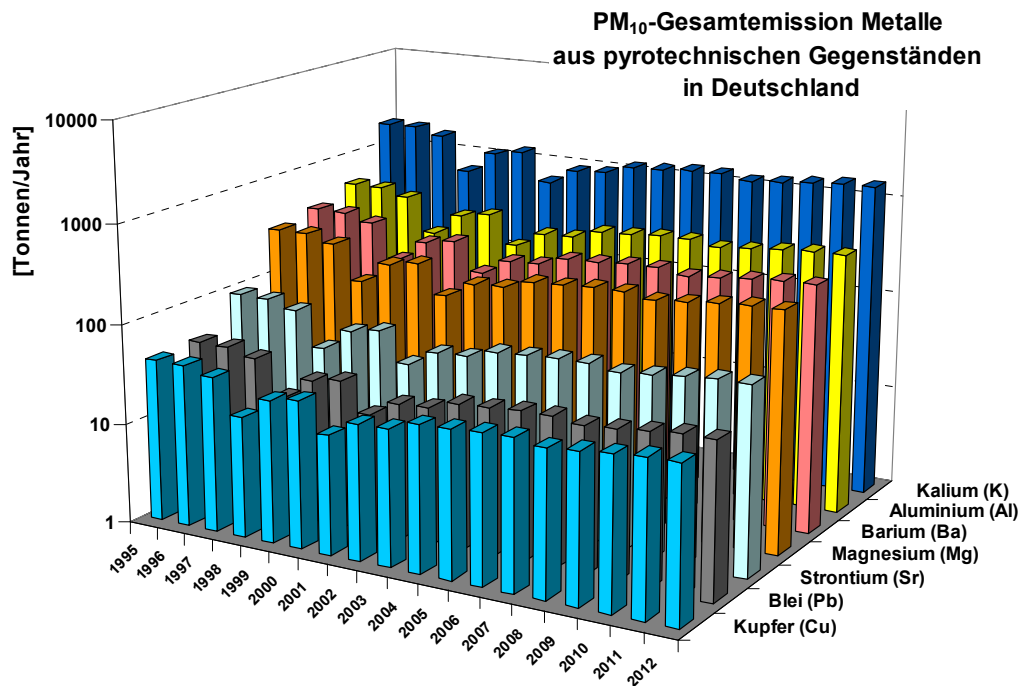
Wenn man die illegalen Feuerwerksartikel mit der Annahme von Kapitel 4.3.4 berücksichtigt und die Emissionen zu Silvester mit der Annahme von Kapitel 4.3.3 berechnet, bleiben die Ergebnisse ungefähr gleich hoch, also:

Das Silvesterfeuerwerk verursacht in Deutschland in einer einzigen Nacht so viele PM10-Emissionen wie die Abgase aller Fahrzeuge in einem ganzen Jahr!

4.3.5 Schätzung der PM₁₀-Gesamtemissionen von Schwermetallen

Aus den Partikelemissionen kann man auch das PM_{10} von Schwermetallen berechnen, die jährlich durch den Abbrand pyrotechnischer Gegenstände in Deutschland in die Luft gelangen. Ein Teil der Ergebnisse wird in Abbildung 20 dargestellt, eine Tabelle mit Werten für die meisten Schwermetalle ist im Anhang zu finden. Diese Werte werden von Messungen bestätigt: Die Konzentrationen der Schwermetalle in der Luft nach intensiven Feuerwerkereignissen können 100 Mal bis 1000 Mal (Barium und Strontium) höher als die Basiswerte sein [21].

Abbildung 20: Schätzung der PM_{10} -Gesamtemissionen von Schwermetallen aus



pyrotechnischen Gegenständen in Deutschland. Aufgrund der starken Größenunterschiede wurde eine logarithmische Skala gewählt.

4.4 Partikelimmissionen

Abbildung 21 zeigt die Partikelkonzentrationen in der Silvesternacht um 1:00 Uhr am 1.1.2012 in Deutschland [18]. In Berlin werden PM_{10} -Konzentrationen von $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten und in vielen großräumigen Gebieten liegen die Messungen zwischen 500 und $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An „normalen“ Tagen betragen die PM_{10} -Konzentrationen je nach Messstation 20 bis $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

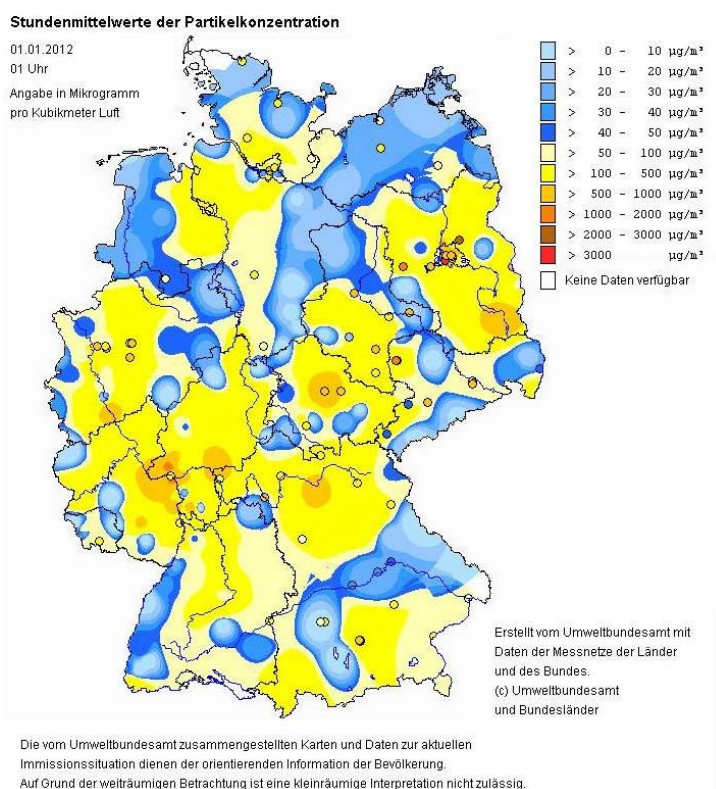


Abbildung 21: Stundenmittelwert der Partikelkonzentration in Deutschland um 1:00 Uhr am 1.1.2012. Quelle: Umweltbundesamt Deutschland [18].

Tabelle 2: Immissionswerte für PM_{10} in Berlin in den Tagen vor, während und nach der Silvesternacht 1999 - 2000 [3].

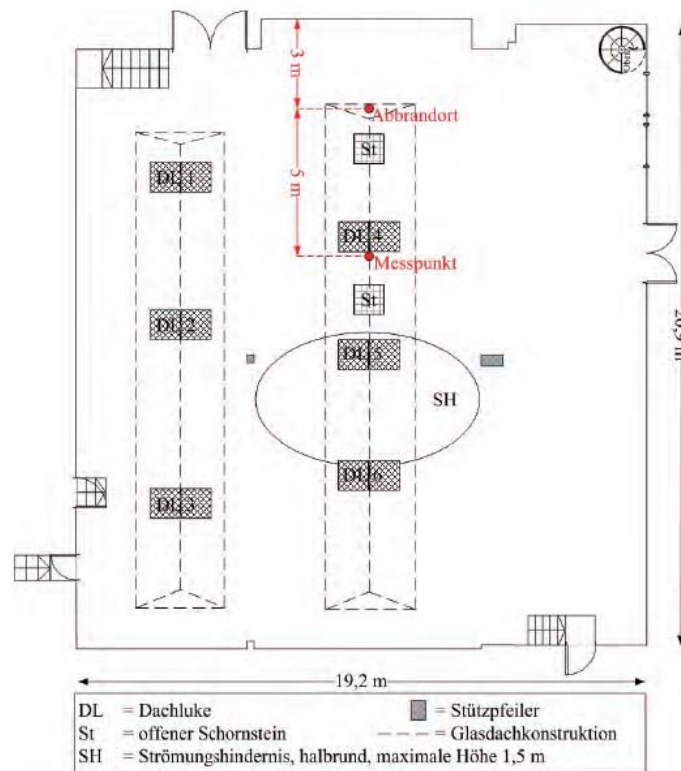
Immissionswerte Berlin [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10		
	24-h Wert	1/2-h Max	Zeitp. Max
Berlin 28./29.12.99 alle 26 Stationen	32	110	17:30
Berlin 30./31.12.99 alle 26 Stationen	28	77	11:00
Berlin 31.12.99/01.01.00 alle 26 Stationen	275	3644	01:00
Berlin 01./02.01.00 alle 26 Stationen	29	72	14:30

Tabelle 2 zeigt die in Berlin gemessenen PM_{10} -Immissionen in den Tagen vor, während und nach der Silvesternacht 1999 - 2000 [3].

Bei Feuerwerksveranstaltungen werden Partikelkonzentrationen immer in großer Entfernung, im Bereich der Zuschauer, gemessen. Sie überschreiten zwar bis um 7,5 Mal die normalen Tagesmittelwerte, sind aber aufgrund der Entfernung nie extrem hoch. Außerdem spielt die Windrichtung eine große Rolle und beeinflusst wesentlich die Ergebnisse der Messung.

In [13] wurden Messungen ohne Ventilation in der Werkshalle 21 in Wildau, in der Nähe von Berlin, durchgeführt. Die Halle (Volumen ca. 3200 m³), Abbildung 22, hatte zwei permanent offene Schornsteine, eine Dachluke wurde offen gehalten. Die pyrotechnischen Gegenstände wurden mittig in einem simulierten Bühnenbereich auf dem Boden abgebrannt und die entstehenden Emissionen in 1,5 m Höhe gemessen, um die Atemhöhe der Darsteller zu simulieren. Während der Messungen waren alle Türen und Fenster geschlossen.

Abbildung 22: Grundriss des ehem. Kesselhauses der Werkshalle 21 in Wildau, Deutschland [13].



Beim Abbrand von einer Nettoexplosivstoffmenge (NEM) von 136 g wurde eine maximale Partikelkonzentration von ca. 33.100 µg/m³ gemessen. Dies bestätigt die bisherigen Annahmen: Mit dem Emissionsfaktor von (Abbildung 6) kommt man bei gleichmäßiger Raumverteilung der Partikelemissionen auf eine Konzentration von 29.500 µg/m³.

Ausgehend von einer bekannten Partikelimmission kann man die Konzentrationen der in der Luft möglicherweise vorhandenen Schwermetalle herleiten. Als Beispiel werden in Abbildung

23 die PM_{10} -Konzentrationen von häufig ausgestoßenen Schwermetallen berechnet, welche Partikelimmissionen von jeweils $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entsprechen.

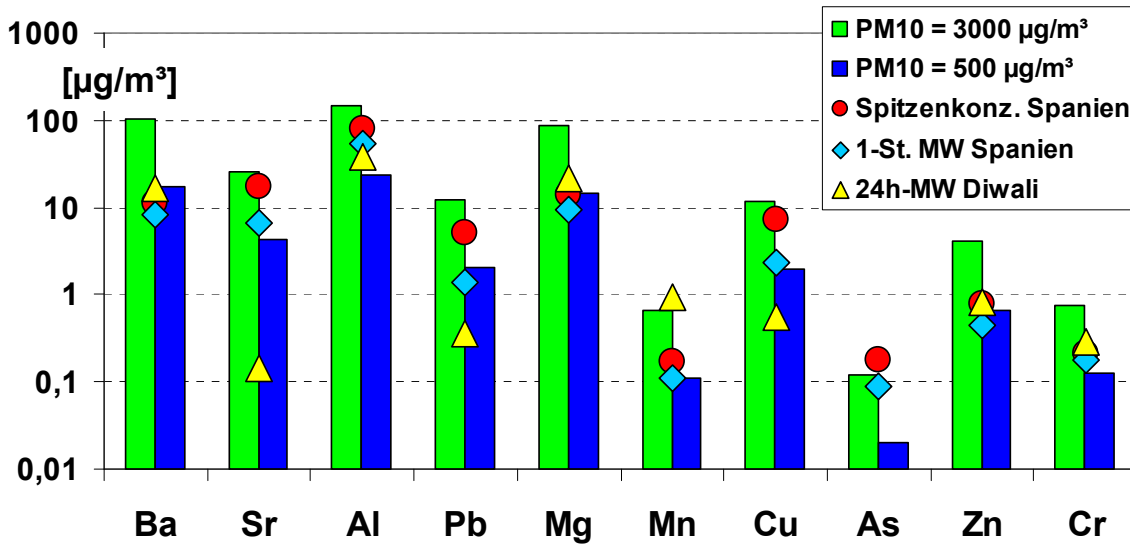


Abbildung 23: Konzentrationen der bei Feuerwerken ausgestoßenen Schwermetalle:
 1. Berechnete Konzentrationen bei $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
 2. Gemessene Konzentrationen in Spanien [21] und in Delhi (Indien) [22].

In derselben Grafik wurden auch die Ergebnisse von zwei Immissionsmessungen eingetragen, eine aus dem Jahr 2012 in Spanien [21] und die andere vom 2010 in Delhi (Indien) [22]. Außer für Strontium finden die gemessenen Konzentrationen der Schwermetalle eine gute Übereinstimmung mit den für die gleiche PM_{10} -Konzentration berechneten Werten.

Die Messung in Spanien erfolgte in einer sehr verrauchten Gegend, 50 m vom Abbrand der Feuerwerkskörper entfernt, in einer Höhe von 15 m über dem Boden. Es wurden sowohl Spitzenkonzentrationen, als auch 1-Stunde-Mittelwerte für die Schwermetalle gemessen. Man kann von einer PM_{10} -Konzentration von ca. $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgehen.

Bei den Messungen in Delhi betrug der PM_{10} -Tagesmittelwert $507 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Abstand von den Feuerwerken wird nicht angegeben, sie sind wahrscheinlich überall verbreitet während dem ganzen Tag.

5 Gasförmige Emissionen und Immissionen

5.1 Gasförmige Emissionen

Messungen in der Messkammer [13] zeigen, dass die Spitzenkonzentrationen der CO- und NO_x-Emissionen pyrotechnischer Gegenstände für Bühne und Theater mehr oder weniger in der Größenordnung der Emissionen eines Dieselmotors liegen, während die maximalen Konzentrationen der CO₂-Emissionen 5 bis 10 Mal niedriger sind. Da die jährliche Gesamtmasse verbrannter pyrotechnischen Gegenstände viel kleiner ist als die gesamt verbrauchte Kraftstoffmasse, sind die Gesamtemissionen dieser drei Komponenten unbedenklich.

Aufgrund des hohen Schwefelgehalts des Schwarzpulvers können aber die SO₂-Emissionen verhältnismäßig höher sein. In der Messkammer [13] wurde sogar eine Konzentration von 1152,2 mg/m³ (ca. 410 ppm) gemessen, die laut Dosis-Wirkungs-Beziehungen „tödlich nach einer Minute“ wäre. Die Verdünnung in der Messkammer ist viel geringer als im Freien, dennoch kann SO₂ bei pyrotechnischen Ereignissen verhältnismäßig hohe Konzentrationen erreichen.

Da pyrotechnische Sätze meistens während einer viel kürzeren Zeit abgebrannt werden als Dieselmotorkraftstoff, können die Konzentrationen der gasförmigen Schadstoffe in der Luft entsprechend höher ausfallen.

Tabelle 3 fasst die Emissionsfaktoren aus der Literatur zusammen. Diese können mit dem Ablauf der Reaktionen stark variieren: Wie bei der motorischen Verbrennung bildet sich z.B. CO bei unvollständiger Verbrennung und Sauerstoffmangel, NO_x bei starken Temperaturspitzen während der Explosion.

Tabelle 3: Emissionsfaktoren für gasförmige Emissionen von SO₂, CO- und NO_x

Emissionsfaktoren [kg/t _{Feuerwerkartikel}]	SO ₂	CO	NO _x
BAFU (2001)	3,9		
Kuenen & Trozzi (2012)	3,02	7,15	0,26

5.2 Gasförmige Immissionen

Tabelle 4; Immissionswerte für SO₂ in Berlin in den Tagen vor, während und nach der Silvesternacht 1999 - 2000 [3].

Immissionswerte Berlin [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	SO ₂		
	24-h Wert	1/2-h Max	Zeitp. Max
Berlin 28./29.12.99 alle 26 Stationen	6	49	11:30
Berlin 30./31.12.99 alle 26 Stationen	6	27	11:00
Berlin 31.12.99/01.01.00 alle 26 Stationen	14	158	01:30
Berlin 01./02.01.00 alle 26 Stationen	6	172	00:30

Tabelle 4 zeigt die SO₂-Immissionen, die gleichzeitig mit den PM₁₀-Immissionen aus Tabelle 2 in Berlin in den Tagen vor, während und nach der Silvesternacht 1999 - 2000 gemessen wurden.

Die CO-Messung in der Werkshalle 21 in Wildau [13] ergab beim Abbrand eines pyrotechnischen Gegenstands mit einer Nettoexplosivstoffmenge (NEM) von 212 g eine maximale CO-Konzentration von 3,6 mg/m³ in einer Höhe von 5 m. Dieser Immissionswert bestätigt das Ergebnis der Emissionsberechnung mit dem Emissionsfaktor aus Tabelle 3: Mit Annahme einer gleichmäßigen Raumverteilung der CO-Emissionen kommt man auf eine Konzentration von 2,37 mg/m³.

Üblicherweise werden die Immissionsmessungen immer im Bereich der Zuschauer durchgeführt, in einer Entfernung vom Feuerwerk, die bei Großfeuerwerken auch über 100 Meter betragen kann. Messungen unmittelbar bei den Explosionen sind uns nicht bekannt, es ist aber anzunehmen, dass sie nicht wesentlich von denen in der Messkammer differieren. Hier wurde einmal eine SO₂-Konzentration von 1152,2 mg/m³ gemessen, die laut Dosis-Wirkungs-Beziehungen „tödlich nach einer Minute“ für den Menschen ist. So nahe bei den Explosionen können sich kaum Personen befinden, Tiere (Vögel) aber schon.

6 Lärmemissionen

6.1 Schalldruckmessungen anlässlich von Veranstaltungen

In [13] wurden Schallpegelmessungen in unmittelbarer Nähe zum Zuschauerbereich während der Veranstaltung „Pyronale® 2008“ in Berlin durchgeführt. Eine Skizze des Veranstaltungsareals ist in Abbildung 124 zu sehen.

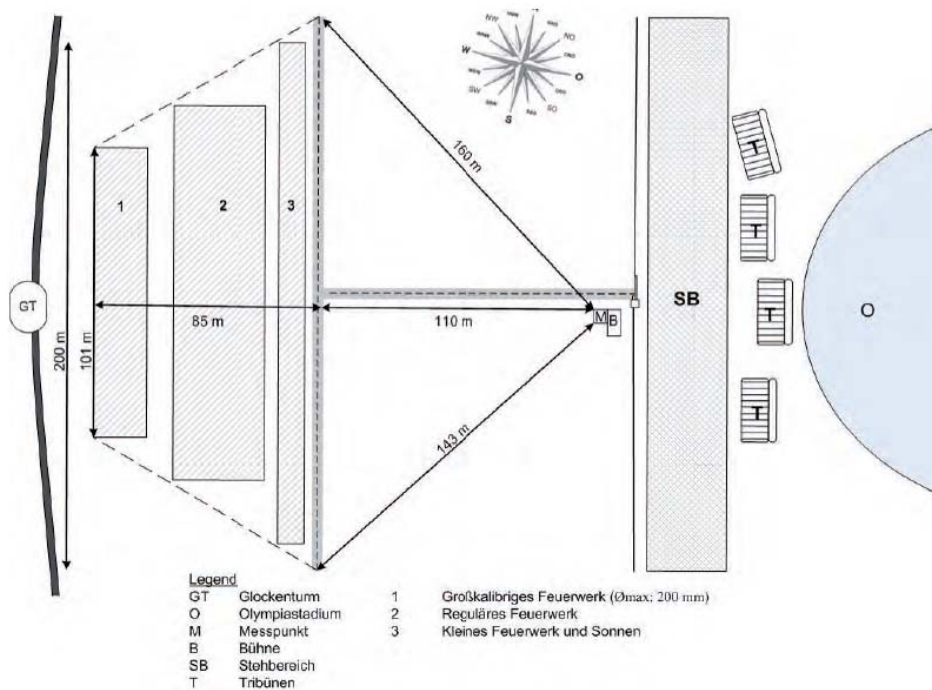


Abbildung 24: Karte des Maifeldes in Berlin, Deutschland, während der Pyronale® 2008 [13].

Die Messungen beziehen sich auf das großkalibrige Feuerwerk, Zone 1, in Abbildung 24. Bei einer mittleren Steighöhe von 180 m kann die Entfernung mit ungefähr 250 m geschätzt werden.

Gemessen wurden sowohl der Schalldruckpegel in dB wie auch die (Imp.)- und (A, Imp.)-bewerteten Schalldruckpegel. Die (Imp.= Impuls)-Zeitbewertung wird im Anhang, Kap. 15.8, beschrieben. Nach Angaben der DIN EN 61672-1, Anhang C, soll diese Bewertung nicht geeignet sein, zur Gewichtung von impulsartigen Schallereignissen zu dienen. Die (A)-Bewertung berücksichtigt die Frequenzabhängigkeit der menschlichen Lautstärkewahrnehmung. Die Gewichtung aber entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei ca. 20-40 Phon, die sich weit unterhalb der Lautstärkepegel von Feuerwerken befinden.

Abbildung 25 zeigt eine unbewertete Schalldruckmessung [13].

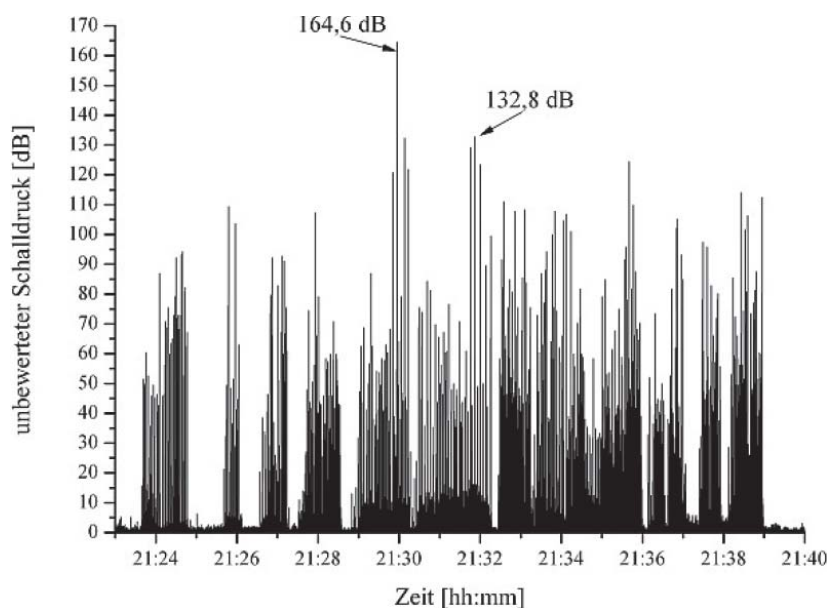
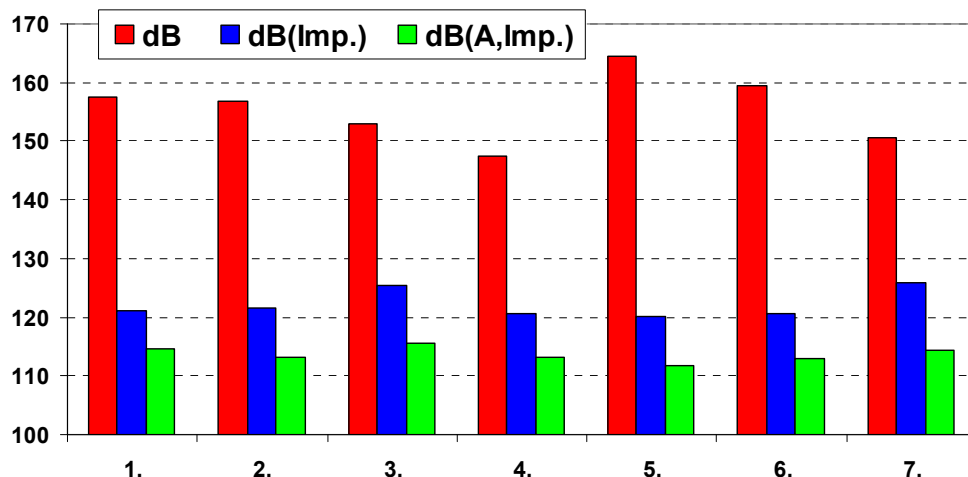


Abbildung 25: Zeitabhängiger unbewerteter Schalldruck während des Feuerwerks Nummer 5 bei der Pyronale® 2008 am 6. September 2008 [13].

Abbildung 26: Vergleich von bewerteten und unbewerteten Messungen der maximalen



Schalldruckpegel während der Pyronale® 2008 in Berlin [13], in einem geschätzten Abstand von ca. 250 m vom Mittelpunkt der Quelle.

In Abbildung 26 werden die Messergebnisse für die jeweiligen Schalldruckpegel bei 7 Feuerwerken verglichen. Die (Imp.)- und (A, Imp.)-Bewertungen unterscheiden sich wenig voneinander, sie sind aber deutlich niedriger als die unbewertete Messung, die für den Druck der Schallwelle maßgeblich ist.

Der maximale Schalldruckpegel in rund 15 m Abstand von der Explosion beträgt fast 190 dB.

6.2 Schallpegel von Feuerwerkskörpern für Kinder ab 12 Jahren, Jugendliche ab 16 Jahren und Erwachsene ab 18 Jahren

Kinder ab 12 Jahren dürfen Feuerwerkskörper verwenden, welche in einem Sicherheitsabstand von mindestens 1 m den maximalen Lärmpegel von 120 dB (A, Imp.) nicht überschreiten. Das sind fast 160 dB (unbewertet) in einer Entfernung von 10 cm von der Explosion.

Jugendliche ab 16 Jahren dürfen Feuerwerkskörper verwenden, welche in einem Sicherheitsabstand von mindestens 8 m den maximalen Lärmpegel von 120 dB (A, Imp.) nicht überschreiten. Das sind rund 175 dB (unbewertet) in einer Entfernung von 10 cm von der Explosion.

Ab 18 Jahren darf jeder Feuerwerkskörper verwenden, welche in einem Sicherheitsabstand von mindestens 15 m den maximalen Lärmpegel von 120 dB (A, Imp.) nicht überschreiten. Das sind fast 180 dB (unbewertet) in einer Entfernung von 10 cm von der Explosion.

Tabelle 5 fasst diese Werte zusammen.

Tabelle 5: Maximaler unbewerteter Schalldruckpegel in der Nähe der Explosion für Feuerwerkskörper, die jeweils von Kindern ab 12 Jahren, Jugendlichen ab 16 Jahren und Erwachsenen ab 18 Jahren verwendet werden dürfen.

Maximaler unbew. Schalldruckpegel	Entfernung von der Explosion		
	6,25 cm	12,5 cm	25 cm
	[dB]	[dB]	[dB]
Kinder ab 12 Jahren	ab 162	ab 156	ab 150
Jugendliche ab 16 Jahre	ab 180	ab 174	ab 168
Erwachsene ab 18 Jahre	ab 184	ab 178	ab 172

7 Deposition

Die Geschwindigkeit, mit der ein PM₁₀-Partikel in der Luft zum Boden sinkt, ist je nach Durchmesser sehr unterschiedlich. Ein Bariumpartikel von 10 µm Durchmesser braucht zum Beispiel ca. 1 Stunde, um von einer Höhe von 40 m auf den Boden zu gelangen, ein kleineres Partikel von 100 nm Durchmesser braucht dagegen ca. ein Jahr. Tabelle 6 zeigt die von einem Bariumpartikel je nach Durchmesser benötigte Zeit, um aus einer Höhe von 40 m bzw. 10 m zum Boden zu sinken.

Tabelle 6: Sedimentationszeit von Bariumpartikeln verschiedener Größen von einer Fallhöhe von 40 m bzw. 100 m.

	Depositionszeit Barium ($\rho = 3,62 \text{ kg/dm}^3$)					
	10 µm	5 µm	2,5 µm	1 µm	100 nm	10 nm
10 m	ca. 15 min	ca. 1 Std	ca. 3,9 Std	ca. 1 Tag	ca. 3,4 Monate	ca. 28 Jahre
40 m	ca. 1 Std	ca. 3,9 Std	ca. 15,6 Std	ca. 4 Tage	ca. 13,5 Monate	ca. 112 Jahre
120 m	ca. 3 Std	ca. 12 Std	ca. 2 Tage	ca. 12 Tage	ca. 3 Jahre	ca. 338 Jahre

Alle 10 µm-Partikel gehören am nächsten Tag zur Deposition. Kein PM_{2,5} von Effektsätzen aus Großfeuerwerken (zu hoch!) wird den Boden erreichen, wohl aber, je nach Fallhöhe, ein Teil des PM_{2,5} aus niedrigeren Feuerwerken oder aus Treibsätzen.

Die restlichen kleineren Partikel schweben in der Luft und werden vom Wind mit den Luftmassen weiter verfrachtet, außer sie werden von fallenden Regentropfen oder Schneeflocken durch Koagulation „geschnappt“ und zu Boden befördert.

Aus den obigen Gründen hat es wenig Sinn, die Deposition von PM₁₀ zu berechnen, denn davon würde nur eine kleine Fraktion (Partikel ab Durchmessern von 2,5 µm) betroffen sein. Außerdem sind die Mengen nicht so hoch, um als „allgemeiner Staub“ bedenklich zu sein. PM₁₀ aus Feuerwerken beinhaltet aber Schwermetalle und für diese ist eine Berechnung der Depositionsmengen wichtig.

Eine Messung der TU Wien hat nach dem Silvesterfeuerwerk 2007/2008 in Saalbach die Deposition von Schwermetallen aus Effektsätzen nachweisen können [41].

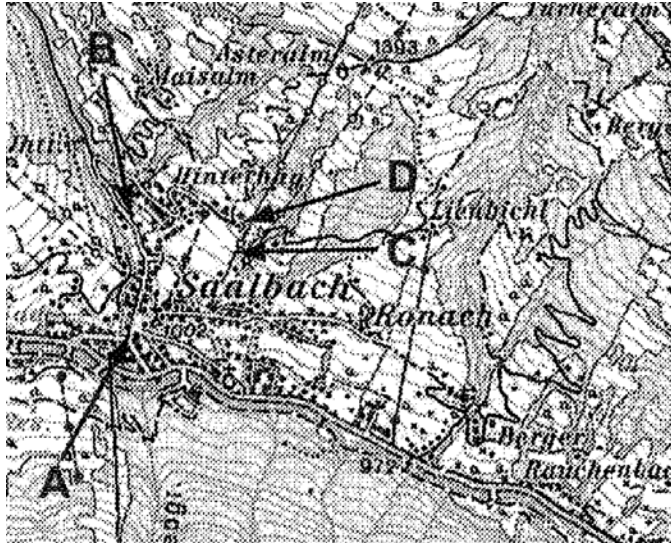


Abbildung 27: Lage der in Saalbach entnommenen Proben [41].

Die Proben wurden am Vormittag nach der Silvesternacht sowohl in Saalbach Zentrum (Lage A auf der Karte in Abbildung 27), wo hauptsächlich Privatfeuerwerke verbrannt wurden, als auch in 50 m Entfernung von einem professionellen Feuerwerk, bergauf (Lage C auf der Karte in Abbildung 27) entnommen. Der in der Silvesternacht frisch gefallene Schnee enthielt in der Nähe vom Großfeuerwerk bis zu 200 μg Barium pro Kilogramm Schnee, ca. 20 Mal mehr als am Tag davor, umgerechnet waren es ca. 530 $\mu\text{g}/\text{m}^2$. An der Stelle A bei den Privatfeuerwerken wurden in einer der Proben 3400 μg Barium pro Kilogramm Schnee detektiert, fast 800 Mal mehr als vor dem Feuerwerk, umgerechnet waren es fast 1 μg Barium pro cm^2 .

Die Ergebnisse der Messung werden in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Höchste Menge Barium pro Kilogramm Schnee, die nach dem Silvesterfeuerwerk 2007/2008 in Saalbach nachgewiesen wurde [41], Erhöhungsfaktor und umgerechnete Deposition.

Höchstwerte	Bariumgehalt	Erhöhung nach Feuerwerk	Deposition
	$\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{Schnee}}$	[-]	mg/m^2
50m bergauf vom Großfeuerwerk	190	ca. 20 Mal	0,53
Bei den Privatfeuerwerken	3400	ca. 800 Mal	9,52

7.1 Drei Szenarien

Die Staubdeposition von Feuerwerksreaktionsprodukten wurde bisher wenig untersucht. Es liegen keine ausreichenden Messungen vor, um allgemeine aussagekräftige Daten zu liefern. Für die Beurteilung der Boden- und Gewässerbelastung muss also die Deposition der feuerwerkrelevanten Elemente modelliert werden.

Für die Modellierung der Deposition mit dem Gaußschen Ausbreitungsmodell von der VDI-Richtlinie 3782 werden in [3] eine Depositionsgeschwindigkeit von 0,01 m/s (d.h. Partikel von rund 10 µm Durchmesser) und eine Windgeschwindigkeit von 2 m/s angenommen.

Die Modellrechnungen betrachten drei Szenarien.

a) Ein privates Feuerwerk wie zu Silvester oder am 1. August in der Schweiz.

Es wird angenommen, dass in einer Stadt mit ca. 200.000 Einwohnern während 3 Stunden 8500 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte wird mit 3000 m Breite und 50 m Höhe angenommen.

b) Ein außergewöhnlich großes Feuerwerk von 30 Minuten Dauer, bei dem 2000 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte wird mit 1000 m Breite und 80 m Höhe angenommen.

c) Ein übliches Event von 20 Minuten Dauer, bei dem 200 kg pyrotechnische Sätze abgebrannt werden. Die Ausbreitung der Effekte wird mit 500 m Breite und 50 m Höhe angenommen.

Die Ergebnisse der Modellierung der eventbezogenen Deposition aus [3] für die drei Szenarien sind in Abbildung 28 zusammengefasst. Im selben Diagramm werden auch die Ergebnisse der Messungen in Saalbach [41] bei Privatfeuerwerken in der Stadt und in der Nähe vom professionellen Feuerwerk (hier als „Übliches Event“ benannt) eingetragen. Die gemessenen Werte sind vor allem beim Privatfeuerwerk deutlich höher.

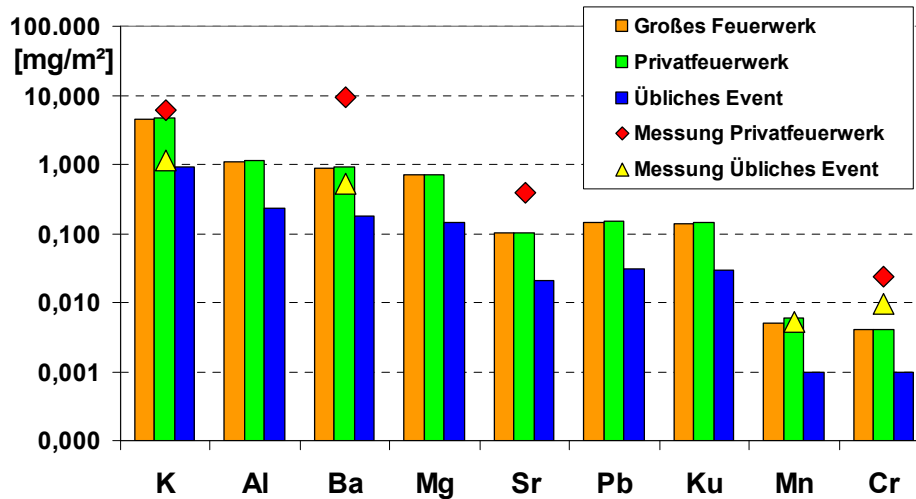


Abbildung 28: Modellierte Deposition von Schwermetallen in drei Szenarien [3] und deren Vergleich mit den Ergebnissen der Messungen in Saalbach [41] bei Privatfeuerwerken und bei einem professionellen Feuerwerk (hier „Übliches Event“ benannt).

Eine Berechnung der Deposition je nach Fallhöhe und Größe der Partikel, ohne vorgegebene Depositionsgeschwindigkeit und bei Windstille (worst case), ergibt für einen Depositionszeitraum von ca. 12 Stunden die Werte in Abbildung 29.

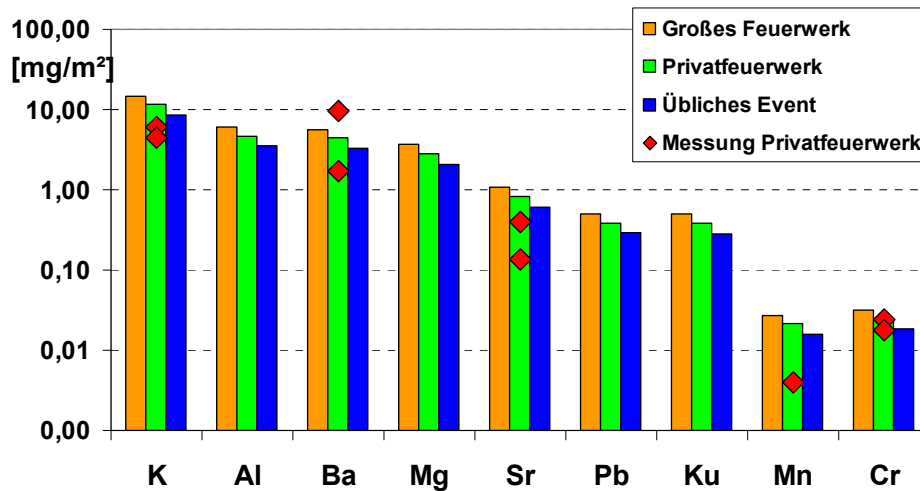


Abbildung 29: Modellierung der Deposition von Schwermetallen in drei Szenarien bei Windstille und basierend auf Fallhöhe je nach Partikelgröße und deren Vergleich mit den Ergebnissen der Messungen [41] bei Privatfeuerwerken in Saalbach.

Es wurde mit mittleren Schwermetallgehalten in den pyrotechnischen Sätzen gerechnet und diese können je nach Art des Feuerwerks stark variieren, Kap. 3.2.1. Außerdem spielen bei den Ergebnissen die Annahmen über die Ausbreitung der Effekte und über die Gesamtmenge der abgebrannten pyrotechnischen Sätze eine große Rolle.

8 Feuerwerke und Dieselmotoren im Emissionsvergleich

Jährliche PM₁₀-Emissionen

Das Silvesterfeuerwerk verursacht in Deutschland in einer einzigen Nacht so viele PM₁₀-Emissionen wie die Abgase aller Fahrzeuge in einem Jahr. In Österreich ist es ähnlich: Feuerwerke emittieren mehr Partikel als alle Nutzfahrzeuge zusammen.

Partikel-Inhaltsstoffe

Partikel von Dieselmotoren bestehen hauptsächlich aus Ruß und Kondensaten. Feuerwerkspartikel enthalten auch beträchtliche Mengen toxikologisch relevanter Schwermetalle.

PM₁₀-Konzentrationen in der Luft

Bei stark befahrenen Straßen erreichen die Immissionskonzentrationen von Dieselmotoren höchstens Werte um $70 \mu\text{g}_{\text{PM}_{10}}/\text{m}^3$. In der Silvesternacht sind Konzentrationen von über $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ keine Seltenheit, in [24] wurden von Meteorologen in Bonn $140.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Dieser Wert ist technisch möglich.

Ausstoßhöhe und Deposition

Dieselmotorenabgas wird bei einer Höhe von ca. 30 cm ausgestoßen, Feuerwerkspartikel werden hauptsächlich in einer Höhe zwischen 40 und 200 m freigelassen und die Fraktionen mit kleineren Durchmessern können den Boden nicht in absehbarer Zeit erreichen, sondern bleiben jahrelang in der Luft und verschärfen die PM₁₀-Problematik.

Lärmemissionen

Die Lärmemissionen von Fahrzeugen werden mittels mehrerer kostspieliger Lösungen gedämpft. Feuerwerkslärm wird nicht gedämpft, erreicht und übersteigt in der Nähe der Explosionen die gesundheitsschädlichen Grenzen, dauert dafür „nur“ wenigen Stunden.

9 Zusammenfassung der „Technischen Aspekte“

Pyrotechnische Gegenstände haben unterschiedliche Bauformen und Inhaltsstoffe. Dabei machen pyrotechnische Sätze 25% bis 37% der Masse aus, der Rest sind „inerte“ Materialien wie Karton, Kunststoff, Ton und Holz.

Die pyrotechnischen Sätze, auch NEM (Nettoexplosivstoffmasse) genannt, bestehen aus 53% bis 67% Schwarzpulver, der Rest sind die eigentlichen Effektsätze. Diese enthalten einen hohen Anteil an Schwermetallen, die z.B. für Farbeffekte verwendet werden.

Der Feststoffgehalt der Verbrennungsprodukte von Schwarzpulver wird mit 56% bis 69%, von den Effektsätzen mit 80% bis 90% geschätzt. Die festen Bestandteile der Reaktionsprodukte sind daher im Mittel 72% der pyrotechnischen Sätze bzw. ca. 22%, wenn sie auf die Gesamtmasse der Feuerwerksartikel bezogen werden.

All die von diversen Autoren vorgeschlagenen Emissionsfaktoren für TSP, PM₁₀ und PM_{2,5} wurden aus Schätzungen hergeleitet. Das Deutsche Umweltbundesamt rechnet mit niedrigen und ungenauen Werten in Kilogramm pro Kopf.

Es ist uns gelungen, die Größenordnung der bisher nur geschätzten Emissionsfaktoren aus einer Messung der Partikelemissionen für pyrotechnische Gegenstände für Bühne und Theater zu bestätigen. Sie sind rund 100 Mal (hier) bis 1.000 Mal höher als die eines Dieselmotors.

Wir konnten mittels bekannter Daten aus der Schweiz den jährlichen Verbrauch von pyrotechnischen Gegenständen in Deutschland und Österreich schätzen und daraus deren jährliche TSP- und PM₁₀-Gesamtemissionen berechnen. Das Silvesterfeuerwerk verursacht in Deutschland in einer einzigen Nacht so viele PM₁₀-Emissionen wie die Abgase aller Fahrzeuge in einem Jahr!

Für die wichtigsten Schwermetalle wurden Emissionsfaktoren hergeleitet und jährliche Partikelemissionen berechnet.

Partikelimmissionsmessungen in der Silvesternacht zeigen, dass Werte oberhalb 3000 µg/m³ keine Seltenheit sind. Die Normalwerte liegen zwischen 20µg/m³ und 50µg/m³. Die aus diesen Spitzenkonzentrationen abgeleiteten Konzentrationswerte für Schwermetalle werden von zwei unabhängigen Messungen in Spanien und Indien bestätigt.

Immissionsmessungen bei Feuerwerksveranstaltungen erfolgen immer in großer Entfernung, im Bereich der Zuschauer, daher sind sie nie extrem hoch. Der Wind spielt eine große Rolle und beeinflusst wesentlich die Ergebnisse.

Von den gasförmigen Immissionen können nur die SO₂-Immissionen aufgrund des hohen Schwefelgehalts des Schwarzpulvers kritische Werte erreichen.

Gemessene unbewertete Schallpegel im Zuschauerbereich von 160 dB, die mit (A, Imp.)-Bewertung auf rund 120 dB (A, Imp.) gesenkt werden und daher zulässig sind, entsprechen bei einem Abstand von rund 15 m von der Explosion einem Schalldruckpegel von fast 190 dB.

Kinder ab jeweils 12/16/18 Jahren dürfen Feuerwerkskörper verwenden, die bei 10 cm Entfernung von der Explosion fast 160/175/180 dB (unbewertet) erreichen können.

Alle 10 µm-Partikel und je nach Fallhöhe ein Teil des PM_{2,5} aus niedrigeren Feuerwerken oder aus Treibsätzen gehören am nächsten Tag zur Deposition. Kein PM_{2,5} von Effektsätzen aus Großfeuerwerken (zu hoch!) wird den Boden erreichen.

Eine Messung der TU Wien hat nach dem Silvesterfeuerwerk 2007/2008 in Saalbach die Deposition von Schwermetallen aus Effektsätzen nachweisen können. Eine der Proben enthielt 3400 µg Barium pro Kilogramm Schnee, fast 800 Mal mehr als vor dem Feuerwerk, umgerechnet waren es fast 1 µg Barium pro cm²:

Mit drei unterschiedlichen Szenarien wurde eine Berechnung der Deposition je nach Fallhöhe und Größe der Partikel ohne vorgegebene Depositionsgeschwindigkeit und bei Windstille (worst case) durchgeführt. Die Ergebnisse in einem Depositionszeitraum von ca. 12 Stunden zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den in Saalbach gemessenen Werten.

Gegenüber Dieselfahrzeugen emittieren Feuerwerke pro kg pyrotechnische Sätze bis zu 1000-mal mehr Partikel und verursachen daher extrem hohe Partikelimmissionswerte. Ein beträchtlicher Teil der Partikel sind giftige Schwermetalle. Lärmemissionspegel von Feuerwerken sind gegenüber Dieselmotoren wesentlich höher und impulsiv.

10 Gesundheitsgefährdung

10.1 Erhöhte Partikelkonzentrationen in der Luft

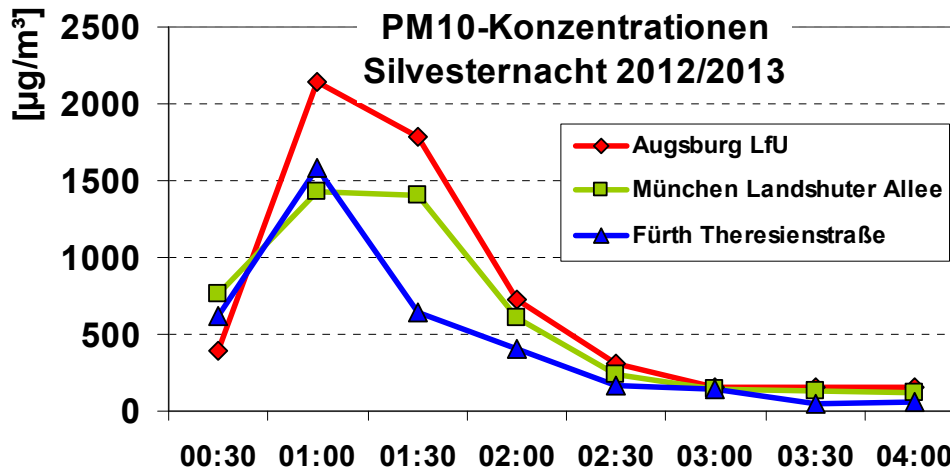


Abbildung 30: Halbstundenmittelwerte der PM_{10} -Konzentrationen in der Silvesternacht, gemessen an Messstationen des Bayerischen Umweltbundesamtes, Januar 2013.

Die PM_{10} -Konzentrationen in der Silvesternacht beginnen etwa eine halbe Stunde nach Mitternacht stark zu steigen, erreichen rund um 1 Uhr ihren Höhepunkt und eine halbe bis eine Stunde später beginnen sie langsam niedriger zu werden. Die Feinstaubkonzentrationen, die von den Messstellen des Umweltbundesamtes gemessen werden, liegen oft oberhalb von $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lokal werden aber viel höhere Werte erreicht. Gemessen wurden auch $PM_{2,5}$ -Konzentrationen von ca. $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [23]. In Bonn haben Meteorologen PM_{10} -Konzentrationen von $140.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt [24]. Um die Gefahr der Partikelbelastung nicht zu unterschätzen, wird dieser Wert in den folgenden Berechnungen als maximale Konzentration angenommen.

10.1.1 Gesundheitsgefährdung durch Inhalation

Grenzwert für die Feinstaubbelastung auf europäischer Ebene ist ein Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der nicht öfter als 35 Mal im Jahr überschritten werden darf. Es konnte keine Schwellenkonzentration festgestellt werden, unterhalb welcher die Feinstaubkonzentration in der Umwelt keine Auswirkung auf die Gesundheit hätte. Daher sollte der Leitwert – wenn möglich – unterschritten werden.

Akute Effekte der Exposition gegenüber viel höheren Konzentrationen sind u.a. Reizungen der Schleimhäute von Nase, Augen und Lunge sowie vorübergehende Veränderungen der Lungenfunktionsparameter. Entzündliche Veränderungen in den Atemwegen sind bereits feststellbar, bevor es zu einer Verschlechterung der Lungenfunktion kommt [43]. Asthmatiker und Personen mit Atemwegserkrankungen sind besonders betroffen und die Situation spitzt sich zu, wenn diese Personen zusätzlich an einer Chemikalienunverträglichkeit leiden. Die Beschwerden sind Augenschmerzen, schwere Asthmaanfälle, Übelkeit, Kopfschmerzen, Herz- und Kreislaufbeschwerden. Nach dem Feuerwerk braucht es rund drei bis vier Wochen, bis sich die Lunge erholt hat.

Die inhalierten Partikel sind nicht nur gefährlich, weil sie alveolargängig sind, sondern auch weil sie einen beträchtlichen Anteil an Schwermetallen enthalten.

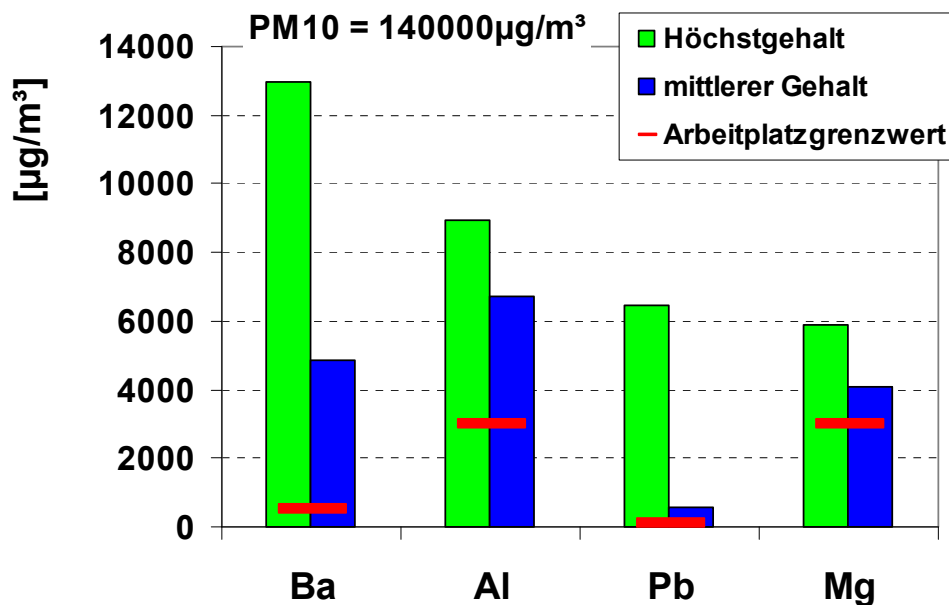


Abbildung 31: Maximale PM_{10} -Konzentration einiger in pyrotechnischen Gegenständen oft verwendeter Schwermetalle und deren Arbeitsplatzgrenzwert. Für jedes Schwermetall wurde mit dem höheren und mit dem mittleren Anteil in den pyrotechnischen Sätzen gerechnet.

Abbildung 31 zeigt die berechnete maximale PM_{10} -Konzentration einiger in Feuerwerksartikeln oft verwendeter Schwermetalle und deren Arbeitsplatzgrenzwert. Für jedes Schwermetall wurde mit dem höheren und mit dem mittleren Anteil in den pyrotechnischen Sätzen gerechnet,

Abbildung 32 zeigt die maximal eingeatmete Menge Schwermetalle pro Stunde bei einer PM_{10} -Konzentration in der Luft von $140.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wie sie um 1 Uhr in der Silvesternacht gemessen wurde.

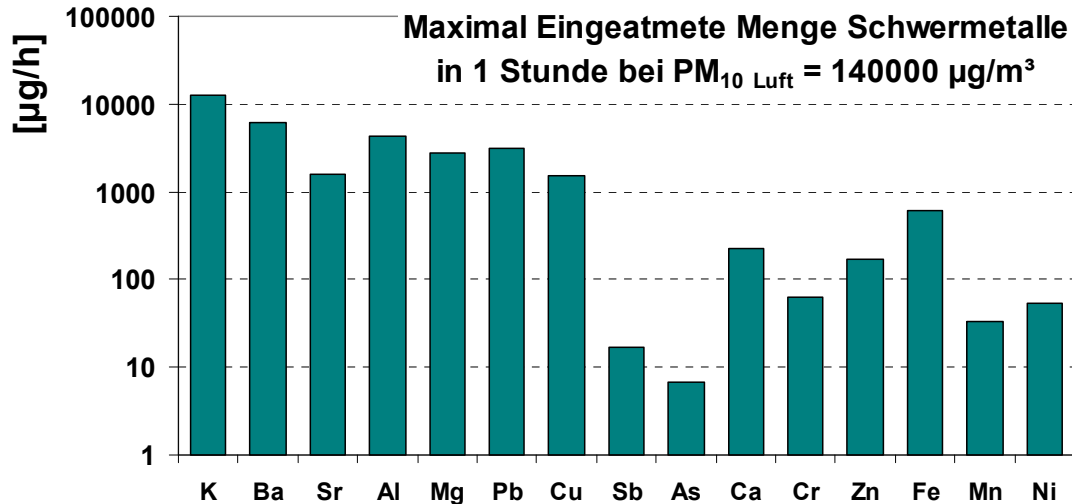


Abbildung 32: Maximale Menge Schwermetalle, die bei einer Partikelkonzentration in der Luft von $140.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in einer Stunde eingeatmet wird. Aufgrund der großen Unterschiede in den Werten wurde eine logarithmische Skala gewählt.

10.1.1.1 Toxizität der meist verwendeten Schwermetalle

Blei reichert sich nicht in der Lunge an, sondern wird meistens resorbiert und/oder mit dem Bronchialschleim verschluckt. Die Aufnahme über die Lunge ist der häufigste, schnelle und somit auch der gefährlichste Vergiftungsweg, besonders für die akute Vergiftung. Einatmung von Bleipartikeln in Form von Bleistaub oder Bleirauch kann innerhalb von wenigen Tagen zum Tode führen, wenn Menge und Teilgröße zu einer massiven Anreicherung im Organismus geführt haben. Abbildung 32 zeigt wenn in einer Stunde ca. 3 mg Blei eingeatmet werden, so führt das zu einer chronische Vergiftung, wäre aber für eine akute Bleivergiftung nicht ausreichend. Blei schädigt das zentrale und das periphere Nervensystem, beeinträchtigt die Blutbildung und führt zu Magen-Darm-Beschwerden und Nierenschäden. Bleiverbindungen sind bis auf Ausnahmen als fortpflanzungsgefährdend eingestuft. [34].

Barium ist giftig und toxisch ab 0,2 g. Die letale Dosis beträgt 2-4g. Die eingeatmete Menge von ca. 6 mg ist toxisch und die Spitzenkonzentrationen übersteigen die Arbeitsplatzgrenzwerte. Eine Vergiftung mit Barium stört den Magen-Darm-Trakt, die Kreislauffunktionen und führt zu einer Hypokaliämie und einer Azidose. Leber und Nieren können geschädigt werden. Bei den Kreislauffunktionen ist in erster Linie an den Einbau von

Barium anstelle von Calcium in die Zellmembranen der Gefäßwände zu denken, was letztlich zu Hypertonie führen kann [75].

Inhalation von Aluminiumstaub bzw. -dampf kann nach Monaten bis Jahren zu Lungenfibrose führen. Diese ist auch nach Beendigung der Exposition progredient und kann innerhalb eines Jahres letal enden. Auch Granulomatosen wurden beschrieben.

Die osteomalazische Dialysedystrophie ist die häufigste Erscheinungsform der Aluminiumtoxikation und verursacht Knochenschmerzen und Spontanfrakturen, besonders der Rippen. Bei Urämie kommen noch andere Osteopathieformen vor.

Die Arbeitsplatzkonzentration wird bei weitem überschritten, die eingeatmeten Mengen sind für eine Vergiftung nicht ausreichend.

Magnesium verursacht Muskelschwäche, Hemmung aller Funktionen des Zentralnervensystems, Lähmung des Atemzentrums, Störung der elektromechanischen Koppelung durch Kalziumantagonismus am Herzen. Nach Inhalation von Magnesiumoxiddämpfen kann es zum Metaldampffieber kommen. Der Arbeitsplatzgrenzwert wird bei den maximalen Konzentrationen zu Silvester überschritten.

Inhalation von unlöslichen Chromverbindungen führt zu Pneumokoniosen mit Beeinträchtigung der Lungenfunktion. Inhalation von chromathaltigen Stäuben (z. B. Calciumchromat) kann zu Lungenkrebs führen. Eine einmalige Dosis von 0,5 bis 1 g Kaliumdichromat, oral aufgenommen, wirkt für den Menschen tödlich. Auch die Resorption durch die Haut ist sehr gefährlich. Die letale Dosis von Chromsäure beträgt 1 - 2 g [75].

Inhalation von Mangan führt akut zur Mangan-Pneumonie mit Fieber, Muskelschmerzen, Frösteln, Trockenheit von Mund und Rachen, kruppösem Husten, Atemnot, Zyanose. Die letale Dosis beträgt 5 g peroral.

Metallisches und anorganisches Nickel als Staub sind kanzerogen, daher existiert kein Arbeitsplatzgrenzwert.

Hyperkaliämie (Kalium) führt zu Schwäche, Müdigkeit, Gliederschwere, Muskelzuckungen, Parästhesien an Händen, Füßen, Lippen, Paralyse, auch der Atemmuskulatur, Störungen an Magen-Darm-Trakt, Herz und Nieren.

Kaliummetall führt zu Verbrennungen bzw. Verätzungen an Haut, Augen oder Magen-Darm-Trakt.

10.1.2 Gesundheitsgefährdung durch Ingestion

Die Depositionsmengen können lokal bedenklich werden, wenn Feuerwerke immer auf demselben Gelände stattfinden und sich die Mengen Schwermetalle im Schnee oder in stehenden Gewässern ansammeln.

Es gibt auch Fälle von versehentlichen Ingestionen von Feuerwerkschemikalien mit konsequenter Vergiftung [76].

10.2 Unfälle

Auf Unfälle wird eingehend im Kapitel 13 „Sicherheitsgefährdung“ eingegangen. Die häufigsten durch Knallkörper hervorgerufenen Verletzungen betreffen die Hände. Die Verletzungen reichen von einfachen Verbrennungen bis zu Brüchen oder Abtrennung der Finger. Augenverletzungen sind vor allem bei Kindern sehr häufig. Todesfälle sind leider jedes Jahr nicht zu vermeiden.

10.3 Gefahr durch Substanzen aus illegalem Feuerwerk

Österreichweit vom Lebensministerium durchgeführte Untersuchungen im Jahr 2010 ergaben, dass jede fünfte Probe von Feuerwerkskörpern relevante Mengen von Hexachlorbenzol enthielt, einem der gefährlichsten langlebigen Umweltgifte, das in der gesamten EU einem Totalverbot unterliegt.

Illegales Feuerwerk wird nicht geprüft und kann sehr gefährliche Stoffe enthalten, die in die Umwelt gelangen und auch von Dritten inhaliert werden.

10.4 Lärm

10.4.1 Aurale Lärmauswirkungen

10.4.1.1 Schmerzgrenze und (A, Imp.)-bewertete Schallpegel

Die Gesetzgebung gibt die maximal zulässigen Lärmpegel für die jeweiligen Feuerwerkskategorien in dB (A, Imp.), eine weder physiologische noch physikalische Messgröße, an.

Unser Gehör ist ein Schalldruckempfänger, weil das Trommelfell vom Schalldruck bewegt wird. Eine Gehörschädigung hängt demnach vom Schalldruckpegel [dB] und nicht von bewerteten Schallpegeln ab. Tabelle 8 zeigt für ausgewählte Frequenzen die Herleitung der A-bewerteten Pegel aus dem Schalldruckpegel in [dB]. Vor allem bei niedrigen Frequenzen, wie im Fall von Feuerwerk, sind die Abzüge sehr stark.

Tabelle 8: Herleiten von A-bewerteten Schallpegeln aus Werten in unbewerteten Schallpegeln [dB].

Hz	10	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
dB(A) - dB	-70,4	-56,7	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6

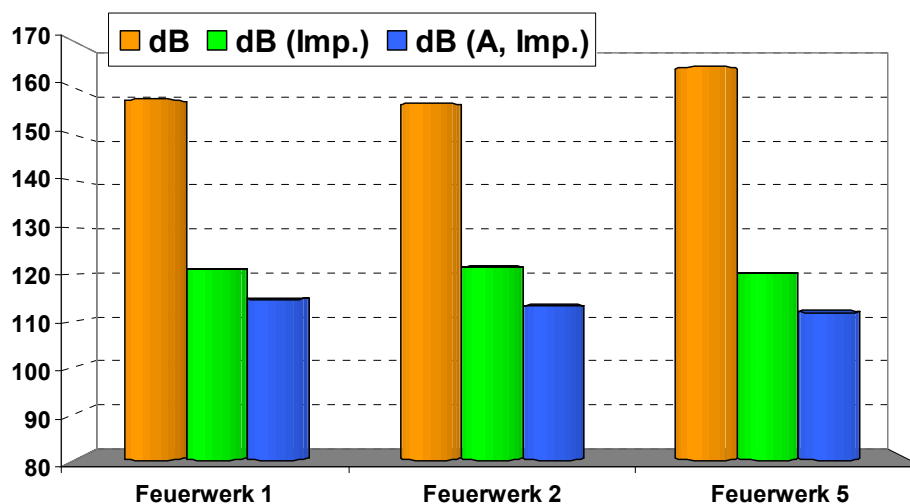


Abbildung 33: Schallpegelmessungen in dB, dB(A) und dB(A, Imp.) in einer Entfernung von 110 m bei 3 unterschiedlichen Feuerwerken während einer Veranstaltung in Berlin [13].

Das wird von Messungen [13] bei Feuerwerken bestätigt, Abbildung 33. Die Zeitbewertung (Imp.) ist außerdem für Feuerwerke ungeeignet, weil sie wenig mit dem Impulscharakter der Schallereignisse korreliert, siehe Anhang Kap. 15.8.

Angaben von Schmerzschwellen in dB(A) sind äußerst ungenau, denn:

- eine Rückrechnung von dB(A) auf dB ist ohne Kenntnis des Frequenzspektrums nicht möglich.
- der Schallpegelmesser für die A-Bewertung ist besonders für tiefe Frequenzen weniger empfindlich und sorgt eher für "geschönte" Werte.
- die A-Bewertung ist für laute Geräusche besonders ungeeignet, weil sie den Verlauf der Hörkurve beim niedrigen Lautstärkepegel (40 Phon) näherungsweise widerspiegelt.

Die akustische Schmerzschwelle des Menschen ist nicht allgemeingültig eindeutig festzulegen, da einerseits eine Belastung von Versuchspersonen bis zur Schmerzgrenze sehr unangenehm ist und irreparable Hörschäden hervorrufen kann und zum anderen das Schmerzempfinden individuell unterschiedlich ist. In der Literatur werden als Schmerzschwelle Schalldruckpegelwerte zwischen 120 dB (Kinder) und 140 dB (Erwachsene) bzw. Schalldrücke zwischen 20 Pa und 200 Pa angegeben.



Abbildung 34: Zerstörte Haarzellen, bestimmte Tonhöhen können nicht mehr wahrgenommen werden [73]

Ab diesen Pegeln treten auch nach kurzer Einwirkzeit Schädigungen ein. Der Haarzellenzustand von Abbildung 34 entspricht einem dauerhaften Hörverlust bei bestimmten Tonhöhen und kann durch einen einmaligen Impulsschall (Explosion) mit mehr als 140 dB hervorgerufen werden.

Von einem Explosionstrauma spricht man bei der Einwirkung eines Schallimpulses von mehr als zwei Millisekunden und über 150-165 dB.

Die tiefen Frequenzen der Explosion verletzen vor allem das Mittelohr, die mittleren und hohen das Innenohr. Häufig zerreißt das Trommelfell, es entstehen relativ ausgedehnte Verletzungen der häutigen Strukturen des Innenohres und des Gleichgewichtsorgans.

Symptome sind Hörminderung, Ohrgeräusche (Tinnitus), Schwindel, Ohrenscherzen. Außerdem kann es aus den Gehörgängen bluten. Auch Gleichgewichtsstörungen kommen vor. Ohne eine umfangreiche Behandlung bilden sich die Schäden selten wieder zurück. Eine völlige Normalisierung ist jedoch kaum zu erreichen [71] [72].

Das Knalltrauma entsteht durch Schallimpulse von weniger als zwei Millisekunden und einer Lautstärke von über 150-165 dB. Diese führen oft zu einer Kombination aus Überlastung der Haarzellen und mäßig ausgeprägten mechanischen Schäden am Innenohr. Hörminderung und Ohrgeräusche sind in den ersten Stunden am stärksten und klingen häufig im Lauf von Tagen und Wochen langsam ab.

Da die neurale Verarbeitung 150-200 Millisekunden zum Aufbau der vollständigen Lautstärkenempfindung benötigt, kann ein einziges Knalltrauma von einem Feuerwerkskörper zu lebenslangem Hörverlust führen. Entscheidend ist nicht so sehr die Lautstärke, sondern die Tatsache, dass das Hörsystem bei einem Knall keine Zeit zum Reagieren hat. [59]. Bei einer Impulsdauer von weniger als 25 ms nimmt die Lautstärkeempfindung stark ab. Bei Knallkörper-Impulslärm ist das Ohr deshalb gehörschädigenden Schalldruckpegeln ausgesetzt, ohne dass diese als solche empfunden oder wahrgenommen werden [40].

Nach einem Knalltrauma kann eine Innenohrschwerhörigkeit vor allem für hohe Töne (4000 Hertz) zurückbleiben, die sich aber in aller Regel nicht verschlechtert [71].

Ein akutes Lärmtrauma entsteht, wenn über längere Zeit Schallimpulse ab etwa 95 Dezibel auf das Ohr einwirken.

Ab 110 dB ist schon innerhalb von zehn Minuten die maximale Wochenbelastung für das Gehör erreicht [69]. Steigt die Lautstärke nur ein wenig, nehmen die Ohren umso schneller Schaden. Sie können zum Beispiel 85 Dezibel acht Stunden lang gesund überstehen. Bei 88 Dezibel sind es im Schnitt aber nur noch vier Stunden, bei 91 Dezibel nur noch zwei, bei 100 Dezibel gerade einmal 15 Minuten.

Beim akuten Lärmtrauma kommt es zu einer metabolischen Störung der äußeren Haarzellen ohne mechanische Schädigung. Die Folge ist eine Hörminderung im Hochtonbereich mit Maximum um 4000 Hertz, häufig begleitet von einem hochfrequenten Tinnitus.

10.4.1.2 Schalldruckpegel beim Silvesterfeuerwerk

Abbildung 35 zeigt den gemessenen Spitzenschalldruckpegel eines Großfeuerwerks bei einem Abstand von 110 m im Zuschauerbereich und rechts daneben den Pegel, der von

demselben Feuerwerk in einem Abstand von 15 m (hier können sich Vögel befinden) herrscht. Es sind ca. 190 dB, nahe dem theoretisch¹ höchsten Pegel von 194,1 dB.

Die drei Werte auf der rechten Seite von Abbildung 35 zeigen die Schalldruckpegel, die bei unsachgemäßer Verwendung von Feuerwerkskörpern der Kategorie I (für Kinder ab 12 Jahren), II (für Jugendliche ab 16 Jahren) und III (ab 18 Jahren) entstehen, wenn die Explosion in 12,5 cm Entfernung vom Ohr stattfindet. Die Werte sind mit einer Bandbreite versehen, weil die Limits in dB(A,Imp.) angegeben werden.

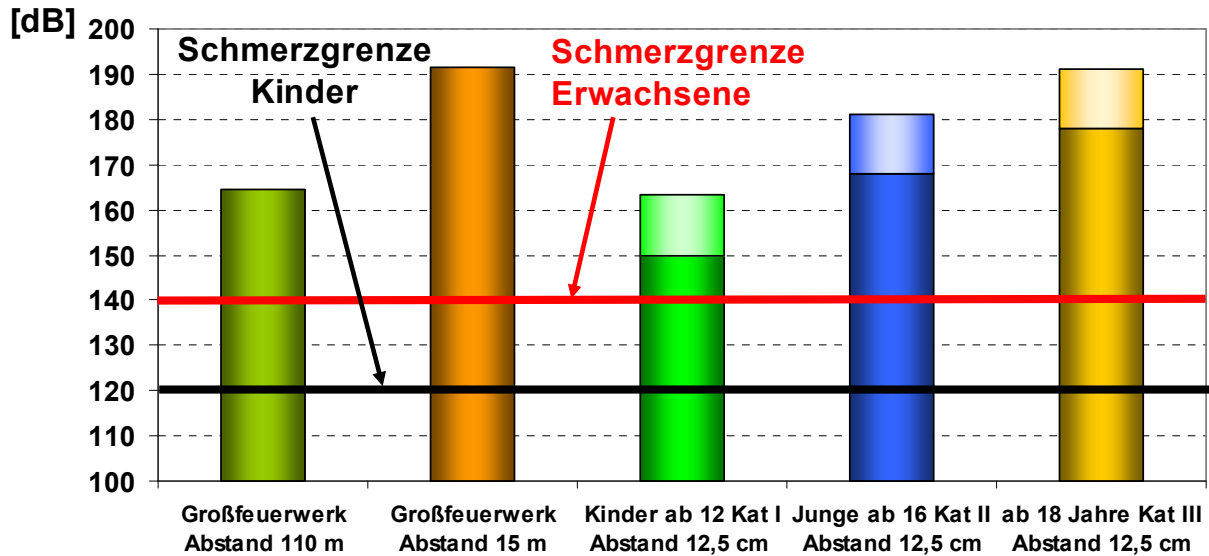


Abbildung 35: Spitzenschalldruckpegel bei Großfeuerwerken in zwei verschiedenen Abständen, Schalldruckpegel von Feuerwerkskörpern der Kategorien I bis III, wenn sie in Ohrennähe explodieren.

¹ Bei 194,1 dB wird die Störung des Luftdrucks theoretisch genauso groß wie der Luftdruck selbst. Es sind jedoch noch "höhere Schalldruckpegel", "stark verzerrt" und "unsymmetrisch", möglich.

10.4.1.3 Medizinische Sicht

Im Rahmen einer prospektiven Untersuchung wurden zum Jahreswechsel 1999/2000 in insgesamt 562 für Deutschland repräsentativen Studienzentren epidemiologische und audiologische Daten von Patienten mit Gehörschäden durch Silvester-Feuerwerkskörper erhoben [38]. Das Silvesterfeuerwerk führte bei etwa 8160 Patienten zu Verletzungen des Innenohrs. Circa 69% aller Patienten klagten über eine zumindest einseitige subjektive Hörminderung. In 84% aller Fälle war Tinnitus begleitendes oder Hauptsymptom. 5% aller Fälle waren von einer einseitigen und 1 % von einer beidseitigen Trommelfellperforation betroffen. Registriert wurden allerdings nur diejenigen, die sich in Behandlung begaben.

Österreichische HNO-Ärzte warnten 2005, dass die Zahl der Ohrgeräusche (Tinnitus), Knall- und Explosionstraumata zu Silvester zehnmal höher als sonst war. Rund 1000 Menschen tragen in Österreich Jahr für Jahr schwere Hörschäden durch Silvesterböller [60].

10.4.2 Extraaurale Lärmauswirkungen

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 [3].

11 Umweltbelastung

11.1 *Belastung der Luftqualität*

Die Belastung der Luftqualität setzt sich aus folgenden Punkten zusammen:

- Während des Abbrennens des Feuerwerks werden Partikelkonzentrationen in der Luft erreicht, die oft 200 und bis 6000 Mal höher als die Normalwerte sind.
- Die Inhaltsstoffe dieser Partikel sind zu einem beträchtlichen Teil toxische Schwermetalle.
- Es werden auch erhöhte SO₂-Konzentrationen in der Luft gemessen.
- Die gesamte jährliche Partikelemission durch Feuerwerke wird in wenigen Tagen ausgestoßen und ist derzeit in Deutschland so hoch wie die gesamten jährlichen Partikelemissionen aller Fahrzeuge.
- Die Partikel werden in einer Höhe von 40 m bis 300 m ausgestoßen. Die Nanopartikel verweilen daher noch jahrelang in der Atmosphäre.

11.2 *Belastung von Böden, stehenden Gewässern, Nahrungs- und Futtermitteln durch Deposition*

Abbildung 36 zeigt eine Hochrechnung der jährlichen Deposition verschiedener Schwermetalle in Deutschland für das Jahr 2012. Die Werte sind mit einer Bandbreite versehen, denn sie variieren stark je nach Art und Lage des Feuerwerks, Ausbreitung der Effekte und Schwermetallgehalt der pyrotechnischen Sätze. Es wird in Abb. 31 angenommen, dass ein Feuerwerk nicht mehr als zwei Mal an demselben Ort veranstaltet wird.

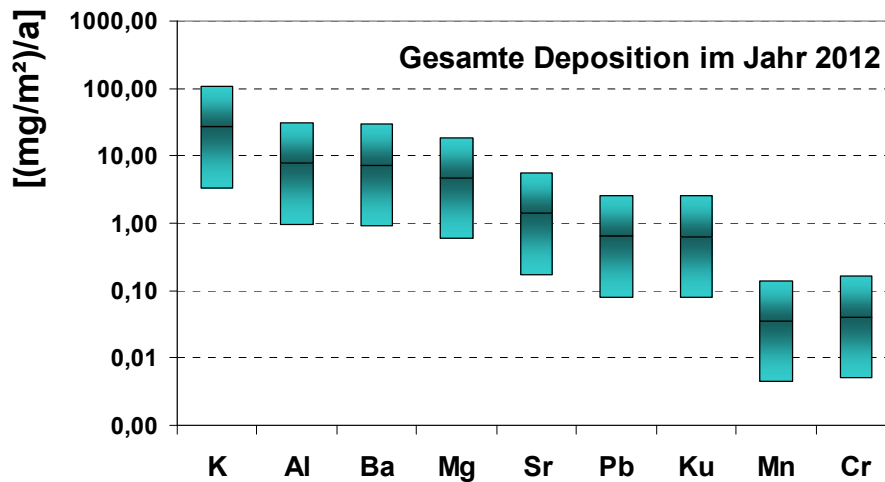


Abbildung 36: Jährliche Deposition verschiedener aus dem Feuerwerk ausgestoßener Schwermetalle in Deutschland.

Vergleicht man diese Werte mit der zulässigen Addition hinsichtlich phytotoxischer Wirkungen oder mit tolerierbaren Gehalten in Futtermitteln oder Erntegütern, sind sie unbedenklich.

Die zulässigen Mengen gelten jedoch als Richtwerte und decken nicht alle möglichen Fälle ab. Wenn beispielsweise ein Kind Schnee in den Mund steckt, könnte ein Glas geschmolzener Schnee lageabhängig auch 5 mg Barium enthalten und schon die maximale Tagesdosis von $70 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{Körpergewicht}}$ [3] überschreiten.

Neben der Deposition von Schwermetallen sind noch schwer oder gar nicht verrottbare Plastik- und Metallteile aus der Inertmasse am Boden zu finden, die unbemerkt z.B. ins Viehfutter gelangen können.

11.3 Waldbrände

Auch wenn Waldbrände seltener als Brände an anderen Orten vorkommen, werden Feuerwehreinsetze auf Grund von Waldbränden immer wieder gemeldet. Auch zu Silvester 2013/2014 geriet z.B. in Tirol bei Münster ein Wald in Brand. 40 Feuerwehrleute mussten unter schwierigen Bedingungen den Brand im steilen und felsdurchsetzten Gelände löschen.

11.4 Umweltverschmutzung durch Feuerwerksreste

Mehr als 35 Kilotonnen Restmüll aus Karton, Kunststoff, Ton und Holz wurden 2013 in Deutschland auf Wiesen und Straßen nach Feuerwerken verstreut, in Österreich waren es ca. 1,5 Kilotonnen. Während der Müll in der Stadt von der städtischen Müllabfuhr weggekehrt wird, bleiben viele Feuerwerksreste auf Wiesen und Grünflächen liegen, auch weil es nicht möglich ist, Tausende kleine Überreste händisch zu entsorgen.



Abbildung 37: Wiese nach dem Silvesterfeuerwerk, Dresden [68].



Abbildung 38: eine Einkaufspassage nach der Silvesternacht, Dresden [68].

12 Tierweltbelastung

Feuerwerke sind für die Tierwelt ein Desaster.

Aus einem tierärztlichen Gutachten [52]: „Auf die plötzlich einwirkenden Reize des Feuerwerks, die von den Tieren nicht ihrem gewohnten Lebensumfeld zugeordnet werden können, sind adäquate Reaktionen aus ihrem angeborenen Verhaltensrepertoire nicht möglich. Die emotionale Kompensation ist nicht möglich. Dadurch wird bei den Tieren Angst ausgelöst, wobei Angst häufig gravierender wirkt als physischer Schmerz.“

Nicht nur der Lärm, auch Lichteffekte werden als immanente Gefahr wahrgenommen und treiben Vögel und andere Tiere in eine Flucht bei Dunkelheit, wo Vögel nicht gut fliegen und manche Tiere nicht gut sehen können. Die Dunkelheit verstärkt die Angst.

Keiner denkt daran, Sicherheitsabstände von Knall- oder Feuerwerkskörpern auch für Tiere einzuhalten. Man denke nur an die Sicherheitsmaßnahme „Verwendung nur im Freien“, die für die Feuerwerkskörper ab Klasse II gesetzlich vorgeschrieben ist. Vögel befinden sich viel näher an der Explosionsstelle als das Publikum, erleiden ein Explosions- oder Knalltrauma. Das Trommelfell platzt, das Innenohr wird verletzt, bei Verlust des Gleichgewichtssinns kann ein Vogel nicht mehr fliegen.

Vögel, die nachts aufgeschreckt ihre Schlafplätze verlassen und sich verirren, sterben in der kalten Jahreszeit erschöpft und unterkühlt [51] oder prallen in der Dunkelheit gegen Türen, Scheiben und Wände. Im Bundesstaat Arkansas fielen nach einer Veranstaltung mit Feuerwerksraketen Tausende Singvögel vom Himmel. Alle sezierten Exemplare wiesen ein stumpfes Trauma auf. Die nachtblinde Vogelschar war in blanker Panik in die Dunkelheit geflogen [48].

Eine Studie [46] im Auftrag des Landesamts für Umwelt, Naturschutz und Geologie in Mecklenburg-Vorpommern hat die Auswirkung eines Höhenfeuerwerks in einer Entfernung von ca. 7 km von den nächtlichen Rastplätzen von Kranichen und anderen Zugvögeln untersucht. Die Licht- und Lärmeffekte des Feuerwerks führten zum sofortigen Verlassen des Schlafplatzes mitten in der Nacht bzw. zu typischen, die gesamte Nacht anhaltenden Stressreaktionen. Kraniche verbrachten noch den nächsten Tag mit der Suche nach Partnern oder Jungvögeln.

Trotz dieser Belege findet jeden Abend nach dem Konzert bei den Seefestspielen Mörbisch in unmittelbarer Nähe des Naturschutzgebiets Neusiedlersee-Seewinkel ein Feuerwerk statt. Die Begründung für das Nichteinschreiten des Amts der Burgenländischen Landesregierung lautet: „...Es fehlt daher derzeit die Datengrundlage, um das Feuerwerk, an dem ein sehr großes wirtschaftliches Interesse besteht, durch die Behörde zu unterbinden. An konkreten, ausreichend abgesicherten Forschungsergebnissen zu diesem Thema sind wir

selbstverständlich sehr interessiert.“ Der vollständige Text des Briefes wird im Anhang, Kap. 15.9.1, angeführt.

In einer weiteren Publikation [47] wird berichtet, dass starke künstliche Lichtquellen zum Orientierungsverlust und sogar zum massenhaften Tod nachts ziehender Vögel führen können. An den Scheinwerfern zweier in räumlicher Nähe gelegener Flugplätze in Georgia/USA kamen in einer einzigen Nacht schätzungsweise 50.000 bzw. 25.000 Vögel ums Leben.

Pferde können Geräusche bis auf eine Entfernung von mehr als 4 Kilometern noch wahrnehmen. Ungewohnte Geräusche in der Nähe, die sie nicht zuordnen können, sind für Pferde besonders unangenehm. Außerdem sind sie Fluchttiere, die versuchen, stressauslösenden Situationen auszuweichen. Für ein Pferd im Stall ist dies unmöglich, so dass sich Stress durch Geräuschbelastung besonders stark auswirkt [49].

Haustiere werden oft tagelang vermisst. Aufgrund ihres feinen Gehörsinns ist ein stundenlanges Feuerwerk für sie eine akustische Folter. Auch der Schwefelgehalt der Feuerwerkskörper kann zu Schleimhautreizung mit Augenbrennen führen. Zwar versuchen Hunde, deren Geruchsempfindlichkeit viel höher ist als die des Menschen, Schwefel zu meiden – das ist aber oft nicht möglich.

Nach Angaben von Tierschutzexperten leiden jedes Jahr in Deutschland Millionen Haustiere unter dem Silvester-Feuerwerk.

13 Sicherheitsgefährdung

13.1 Tote, Verletzte, Brände, Sachschäden

Die positive Grundstimmung beim Jahreswechsel führt zur Unterschätzung der Gefahr beim Umgang mit Feuerwerk. Schwere Selbstverletzungen mit bleibenden Schäden treten auf, aber auch Drittpersonen werden gefährdet. Vor allem Jugendliche sind sich oft über die gesundheitlichen Folgen für sich selbst und andere nicht im Klaren. So sind 19 Jahre junge Männer besonders häufig von Gehörschäden betroffen [38]. Zwei Drittel der Pyrotechnik-Opfer zu Silvester sind unter 25 Jahre alt [57], 97% der Verletzten sind männlich [57].

Kinder ab 12 Jahren dürfen Feuerwerksartikel mit Lärmpegel von 160 dB bei 10 cm (siehe Kap. 6.2) anzünden, die auch Verbrennungen verursachen können, und bekommen von älteren Freunden auch größere Kaliber. Feuerwerkskörper werden zu Spielzeugen, um Mensch und Tier zu erschrecken. 40 Prozent der Gehörverletzungen gehen auf so genannte Angriffswerfer zurück [38].

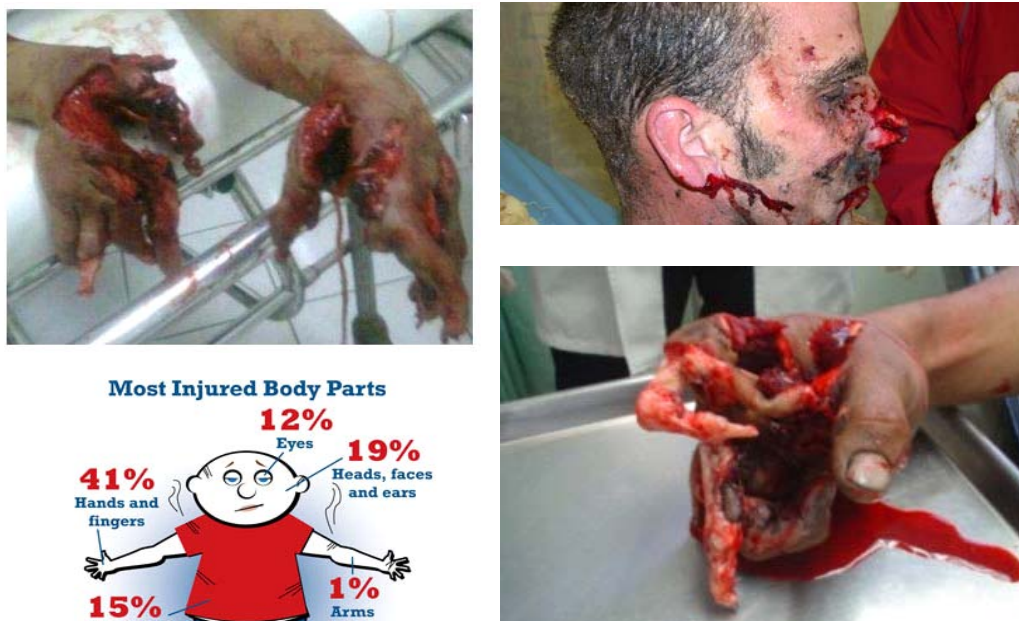


Abbildung 39: Unfälle mit Silvesterfeuerwerk [66] [65] [67] [64].

Die Meinung eines bekannten Berliner Biopsychologen [61]: "Schon in den archaischen Gesellschaften waren es die Männer, die sich mit lautem Herumknallen gegenseitig imponierten. Die Lust, sich gegenseitig zu erschrecken, beginne schon bei Jungen im Alter von sieben Jahren und finde ihren Höhepunkt in der Pubertät. Später lasse diese Reiz- und Unternehmungslust, sich zu stimulieren, zwar nach. Aber auch bei erwachsenen Vätern sei

das Bedürfnis, ordentlich herumzuknallen, noch stark genug ausgeprägt. Und wenn Kinder und Jugendliche sie dabei beobachten, wird das quasi weitervererbt. ... Zu beobachten sei auch, dass in Gesellschaften, die im Frieden leben, deutlich mehr geknallt wird."

Die Einhaltung der allgemeinen Sicherheitsregeln beim Umgang mit Feuerwerksartikeln kann nicht garantiert werden.

Beim Jahreswechsel 2002/2003 in Berlin gab es mehr als 1500 durch Feuerwerkskörper verursachte Brände und 564 Verletzte. Bei Feierlichkeiten zum 1. August im Jahr 2005 in der Schweiz sind über 60 Fälle von Vandalismus und Sachbeschädigungen mit pyrotechnischen Artikeln gemeldet worden.

13.1.1 Gefahrengruppe Kinder

Eine zusammenfassende Statistik der Unfälle ist weder für Deutschland, noch für Österreich oder für die Schweiz vorhanden. Aus USA-Daten, Tabelle 9, geht hervor, dass Kinder die meist betroffenen Opfer sind.

Tabelle 9: Unfallstatistik Silvester 2013/2014 in den USA [63].

Firework Injury Statistics	Data
Number of injuries per 100 lbs of Fireworks used	3,5
Number of deaths in the US annually due to fireworks	4
Number of serious injuries in the US each year by fireworks	9300
Percent of injuries caused by illegal fireworks	40%
Percent of injuries incurred by kids under the age of 14	45%
Number of Americans who lose sight in one or both eyes due to fireworks	400
Number of US fires caused each year due to fireworks	20.000
Percent of all US fire dollar loss caused by fireworks	0,1%
Firework Injuries by Type of Device	Data
Firecrackers	32%
Sky Rockets	15%
Sparklers	10%
Fountains	7%
Spinners & Novelties	5%
Roman Candles	4%
Reloadable Mortars	3%
Other	9%
Unknown	15%

Kinder halten die Kracher oft so lange in der Hand, bis der Knallkörper explodiert. Einer der Gründe liegt darin, dass das Hinauszögern des Werfens der Kracher oft als Mutprobe gilt [59].

Augenärzte warnen vor den Gefahren des Silvesterfeuerwerks besonders für Kinder. 70 Prozent der Augenverletzungen sind darauf zurückzuführen, dass Kinder die Kracher zu nahe am Auge halten [62].

Eine Untersuchung der Universität Giessen zeigt, dass jedes zehnte Kind Hörschäden aufweist, die sich auf Kinderpistolen oder Silvester-Böllern zurückführen lassen [59].

13.2 *Schutz für Mensch, Tier und Natur*

In der heutigen Gesellschaft, in der eine Vielzahl von Maßnahmen im Namen der Sicherheit von allen Staaten verpflichtend beschlossen werden, ist das Zulassen eines solchen Brauchtums, für welches sich Jahr für Jahr enorme Unfallraten unter der Bevölkerung bestätigen, das Asthmatiker leiden lässt und Tiere Qualen aussetzt, völlig inakzeptabel.

Verschiedenste Brauchtümer hat es in der Vergangenheit gegeben; die Vernunft hat uns wählen lassen, welche aus Sicherheits- und Zivilisierungsgründen beendet werden mussten.

„Die sinnlose Silvester-Knallerei ist mit dem Tier-, Natur- und Menschenschutz nicht vereinbar. Der gänzliche Verzicht auf die Böllerei ist aktiver Tier- und Menschenschutz.“
[Apel, W., ehem. Präsident des Deutschen Tierschutzbundes].

14 Zusammenfassung der Auswirkungen

Aufgrund der hohen Feinstaubkonzentrationen in der Silvesternacht können Schwermetalle wie Barium, Blei, Aluminium die Arbeitsgrenzwerte oft überschreiten und einen toxisch bedenklichen Bereich erreichen.

Die Depositionsmengen können lokal zur Gefahr werden, wenn Feuerwerke immer auf demselben Gelände stattfinden und sich die Mengen Schwermetalle in Schnee oder stehenden Gewässern ansammeln. Neben der Deposition von Schwermetallen sind noch schwer oder gar nicht verrottbare Plastik- und Metallteile aus der Inertmasse am Boden zu finden, die unbemerkt z.B. ins Viehfutter gelangen können.

Feuerwerksreste bleiben auf Wiesen und Grünflächen liegen, auch weil es einfach kaum möglich ist, Tausende kleine Überreste händisch zu entsorgen.

Trotz Einhaltung der gesetzlichen in (A, Imp.)-bewerteten Schalldrucklimits wird oft die Schmerzgrenze von ca. 140 dB überschritten und bei ausreichender Einwirkzeit Gehörschäden verursacht. Dies vor allem aufgrund des hohen Anteils an niedrigen Frequenzen im Frequenzspektrum von Feuerwerkslärm. Außerdem kann auch ein 12-jähriges Kind bei unsachgemäßer Verwendung eines für ihn erlaubten Kategorie I-Feuerwerkskörpers ein Knalltrauma verursachen. Bei Großfeuerwerken herrscht in einem Abstand von rund 15 m von der Explosion ein Schalldruckpegel von fast 190 dB.

Eine unsachgemäße Verwendung unter der ganzen Bevölkerung ist praktisch nicht vermeidbar, dies stellt ein großes Sicherheitsproblem dar.

Zwei Drittel der Pyrotechnik-Opfer zu Silvester sind unter 25 Jahre alt, 97% der Verletzten sind männlich. Kinder sind die meist betroffenen Opfer.

Die häufigsten durch Knallkörper hervorgerufenen Verletzungen betreffen die Hände. Eine weitere beträchtliche Zahl der Unfälle sind Augenverletzungen. Österreichische HNO-Ärzte warnten 2005, dass die Zahl der Ohrgeräusche (Tinnitus), Knall- und Explosionstraumata zu Silvester zehnmal höher als sonst war. Ca.1000 Menschen erleiden in Österreich Jahr für Jahr schwere Hörschäden durch Silvesterböller.

Die Sicherheitsmaßnahme „Verwendung nur im Freien“ lässt die Tierwelt völlig unbeachtet. Nicht nur der Lärm, auch Lichteffekte werden als immanente Gefahr wahrgenommen und treiben Vögel und andere Tiere in eine Flucht in der Dunkelheit, wo Vögel nicht gut fliegen und manche Tiere nicht gut sehen können. Vögel, die nachts aufgeschreckt ihre Schlafplätze

verlassen und sich verirren, sterben in der kalten Jahreszeit erschöpft und unterkühlt oder prallen in der Dunkelheit gegen Türen, Scheiben und Wände.

Haustiere werden oft tagelang vermisst. Sie hören viel besser als Menschen. Ein stundenlanges Feuerwerk ist für sie eine akustische Folter.

Trotzdem findet jeden Abend im Sommer bei den Seefestspielen Mörbisch unmittelbar vor dem Naturschutzgebiet Neusiedlersee-Seewinkel ein Feuerwerk statt.

Nicht vernachlässigt werden darf zum Schluss 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.

15 Anhang

15.1 Fachwortverzeichnis

Anzündschnur (auch Zündschnur, Stoppine, Anzündlitze)

[25] Sammelbegriff für verschiedene schnurförmige Anzündmittel. Alle Anzündschnüre (vor allem Litzen und Stoppinen) verbrennen mit offener Flamme, mit Ausnahme der Sicherheits-Pulveranzündschnüre. Alle Anzündschnüre dienen zum Anzünden von pyrotechnischen Gegenständen oder Sätzen. Im Gegensatz dazu können Zündmittel z.B. Sprengstoffe initiieren und somit eine Detonation einleiten. Dies ist mit Anzündmitteln ohne z.B. eine Sprengkapsel nicht möglich, deshalb sollte auf die sprachlich richtige Form Anzündschnur geachtet werden.

Anzündung

[20] Ein pyrotechnisches Bauteil oder pyrotechnischer Satz, der angezündet wird, um die Funktion des Feuerwerkskörpers einzuleiten (inkl. allfällige Anfeuerungs- und Anzündmasse).

Ausstoßladung

Pyrotechnische Ladung, die beim Abbrand einen pyrotechnischen Gegenstand, ein oder mehrere pyrotechnische Bauteile oder Effektladungen aus einem Feuerwerkskörper ausstößt und gleichzeitig die Anzündung weiterleitet.

Bombette

[20] Pyrotechnisches Bauteil, das als Ganzes aus einem Feuerwerkskörper ausgestoßen wird und dadurch optische und / oder akustische Wirkungen erzeugt.

[25] Zylindrischer Effektkörper aus Pappe oder gewickeltem/umschnürtem Papier mit verschiedenen Effekt-Füllungen (z.B. Sternbukett, Blitzknall-Satz).

Effektsatz

[25] Als Effektsatz werden pyrotechnische Sätze bezeichnet, die zur Erzeugung eines sichtbaren oder hörbaren Effekts dienen. Hörbare Effekte sind z.B. Knallen, Knistern oder Pfeifen. Sichtbare Effekte sind z.B. farbiges Licht, farbige Flammen oder Funken.

Feuerwerkskörper

Pyrotechnischer Gegenstand, der bei seiner Funktion abbrennt und / oder explodiert und dadurch eine optische und / oder akustische Wirkung, mit oder ohne Bewegung, erzeugt und zu Vergnügungszwecken dient (eine Art der Unterhaltung).

Inertmasse

[20] Nicht pyrotechnisches Material, das aus einem Stoff besteht, der sich an gewissen chemischen Vorgängen nicht beteiligt und als Verschluss- oder Trennmasse von pyrotechnischen Bauteilen und / oder Effektladungen dient.

Nettoexplosivstoffmasse (NEM, net explosive content)

[20] Die Gesamtmasse der pyrotechnischen Sätze eines Feuerwerkskörpers

[25] Der Begriff Nettoexplosivstoffmasse (kurz "NEM") bezeichnet die Summe der Massen aller explosionsgefährlichen Stoffe bzw. pyrotechnischen Sätze in einem pyrotechnischen Gegenstand (Feuerwerkskörper). Dies sind – soweit vorhanden – z.B. Anfeuerung, Ausstoßladung, Treibsatz, Zerlegerladung, Effektsatz. Laut EN 15947 werden die Massen von Anzündungen (z.B. Stoppinen, Litzen), Überzündungen, Reibköpfen, Anzündköpfen der Gesamt-NEM nicht hinzugerechnet.

Pyrotechnischer Gegenstand (Pyrotechnic Device)

Gegenstände (z.B. Feuerwerkskörper, Anzündmittel), die Vergnügungs- oder technischen Zwecken dienen und in denen explosionsgefährliche Stoffe oder Stoffgemische (pyrotechnische Sätze) enthalten sind. Sie sind dazu bestimmt, unter Ausnutzung der in diesen enthaltenen Energie Licht-, Schall-, Rauch-, Nebel-, Heiz-, Druck- oder Bewegungswirkungen zu erzeugen.

Pyrotechnischer Satz (Pyrotechnic Composition)

[25] Pyrotechnische Sätze sind Stoffgemische ("Pulvergemische", Powder), die in Folge einer selbstunterhaltenden exothermen, chemischen Reaktion (nichtdetonativ, s.a. Explosion) eine Wirkung in Form von Wärme, Licht, Schall, Gas, Nebel oder Rauch erzielen. Ein pyrotechnischer Satz enthält Oxidations- (Sauerstofflieferant) und Reduktionsmittel (Brennstoff) sowie evtl. Bindemittel, Katalysatoren und effekterzeugende Stoffe. Alle Feuerwerkskörper enthalten mindestens einen pyrotechnischen Satz, um einen gewünschten Effekt zu erzeugen (z.B. Farb-, Funken-, Treib-, Heul-, Blitzknall-, Rauch-Satz).

Überzündung

[20] Pyrotechnisches Bauteil eines Feuerwerkskörpers, das dafür bestimmt ist, die Anzündung von einem Teil des Feuerwerkskörpers zu einem anderen, mit oder ohne Verzögerung, zu übertragen.

Verdämmung

[25] Als Verdämmung wird der mehr oder weniger gasdichte Einschluss von pyrotechnischen Sätzen bezeichnet. Durch die Verdämmung wird beim Abbrand des pyrotechnischen Satzes eine Druckerhöhung erreicht, die dazu führt, dass die Reaktionsgeschwindigkeit des Satzes erheblich erhöht wird (s.a. Abbrandgeschwindigkeit). Durch die Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und den Einschluss des Satzes geht das Abbrandverhalten von pyrotechnischen Sätzen, die in der Regel beim offenen Abbrand nur deflagrieren, in eine Explosion und in seltenen Fällen sogar in eine Detonation über. Die Intensität der Umsetzung von explosionsgefährlichen Stoffen wird so erhöht.

Bei pyrotechnischen Gegenständen wird die Verdämmung von pyrotechnischen Sätzen u.a. durch folgende Bauweisen erreicht:

- dichte Umwicklung des pyrotechnischen Satzes mit mehreren Lagen Papier und Stopfen aus ungebranntem Ton an den Enden (Böllern, Knallkörper)
- Einschluss einer geringen Menge Schwarzpulver in einer kleinen Pappschachtel mit fester, verleimter Wicklung aus Schnur, die weitgehend gasdicht ist (Kanonenschlag)
- Verkleben der Halbschalen von Bomben mit mehreren Lagen von festem Papier ("Pasting")
- Einschluss in einer stabilen Pappumhüllung mit Stopfen aus ungebranntem Ton an der Basis und kleiner Düse an der Oberseite (Fontänen, Vulkane)

Zerlegerladung

[25] Die Zerlegerladung wird durch eine im Feuerwerkskörper enthaltene Verzögerung am Zenit der Flugbahn von Bomben, Bomben und Raketen gezündet und lässt diese explodieren. Gleichzeitig werden dadurch die in dem Feuerwerkskörper enthaltenen Sterne und andere Effekte entzündet.

15.2 Aufbau und Funktionsweise einer Feuerwerk-Kugelbombe

Kugelbomben werden aus entsprechenden Abschussrohren („Mörsern), bestehend aus Glasfaser verstärkten Kunststoffen („GfK-Rohr“) oder Polyethylen („PE-Rohr“), geschossen.

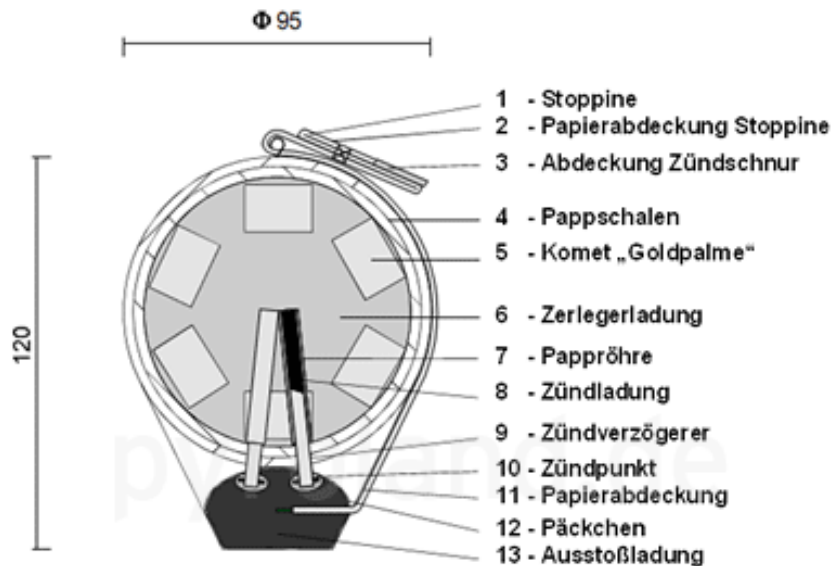


Abbildung 40: Feuerwerk-Kugelbombe 100mm [31].

Aus [31]: „Befeuert wird die Kugelbombe über die Zündschnur (3). Das kann elektrisch mit Hilfe einer Zündpille erfolgen oder sie wird traditionell „per Hand“ mittels Zündlicht entfacht. Zuerst erreicht die Flamme die Stoppine (1). Da diese papierummantelt ist (2), spricht der Pyrotechniker von einer gedeckten Stoppine. Diese brennt mit einer Geschwindigkeit von mehreren hundert Metern pro Sekunde in das Päckchen (12) mit der aus Schwarzpulver bestehenden Ausstoßladung (13) hinein. Die Verbrennung der Ausstoßladung erzeugt einen Gasdruck, welcher die Kugelbombe aus dem Mörser je nach Kalibergröße bis zu 300m Höhe hinaustreibt. Zeitgleich mit der Ausstoßladung wird über den Zündpunkt (10) der Zündverzögerer (9) aktiviert. Innerhalb des Aufstieges brennt der Zündverzögerer langsam in das Zentrum der Kugelbombe. Im Idealfall ist am höchsten Punkt des Fluges der Kugelbombe (Kulminationspunkt) der Zündverzögerer bis zur Zündladung (8) abgebrannt. Über diese wird die Versatzladung/Zerlegeladung (6), ebenfalls bestehend aus Schwarzpulver (ggf. mit Beimischungen), zur Entzündung gebracht. Die Kugelbombe zerlegt sich am höchsten Punkt. Hierdurch zünden die Kometen (5) und werden ebenso zeitgleich wie gleichmäßig in alle Richtungen nach außen getrieben. Der herrliche Palmeneffekt erscheint am Himmel.“



Abbildung 41: Bilderreihe verschiedener Feuerwerk-Kugelbomben aus dem Profi-Programm von Pyroland / Bothmer Pyrotechnik [31].

Anstelle der Kometen für Palmen (Abbildung 40) kann eine Kugelbombe auch viele andere Effekte enthalten. Durch variierende Anordnung, Größe und chemische Zusammensetzung des Inhalts ist eine nahezu nie endende Vielfalt immer wieder neuer und innovativer Effekte gewährleistet.



Abbildung 42: Bilderreihe Produktion von Kometen und Sternen für die Profi-Feuerwerk-Produkte von Pyroland / Bothmer Pyrotechnik [31].

Sind alle Komponenten in den beiden Pappschalenhälften untergebracht, werden diese zusammengeführt und -geklebt (Pasting).

15.3 Aufbau und Funktionsweise einer Feuerwerk-Batterie

Aus [31]: „Für den Einsatz von Feuerwerk-Batterien sind keine weiteren Abschussvorrichtungen nötig. Eine Batterie enthält bereits für jeden Abschuss einen Abschussmörser aus Pappe. In jeder Pappröhre ist ein Effekt enthalten, welcher dem Prinzip der Feuerwerk-Kugelbomben entsprechend, durch eine Ausstoßladung herausgeschossen wird.“

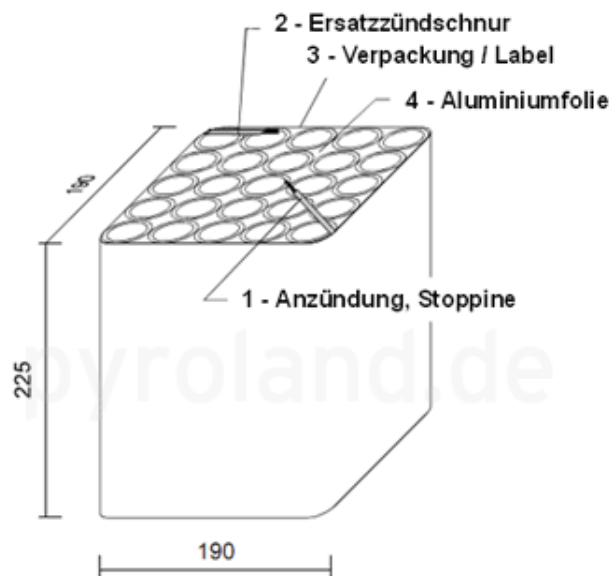


Abbildung 43: Feuerwerk-Batterie 25 Schuss, Außenansicht [31].

Eine unterschiedliche Anzahl an Einzelabschusspappröhren wird über die Anzündlitze (1) mittels Zünder oder per Hand entzündet. Zum Schutz gegen Feuchtigkeit wird die Feuerwerk-Batterie z.B. durch Aluminiumfolie (4) geschützt.

Jeder Einzelabschuss wird aus einer Pappröhre (1) abgegeben. Innerhalb der Pappröhre befindet sich ein weiteres Pappröhrchen (4), welches beidseitig durch einen Pappdeckel (2/8) verschlossen ist. Dieses wird in Feuerwerker-Kreisen als Bombette bezeichnet. Sie beinhaltet den Effekt, der am Himmel erscheinen soll. Ihr Aufbau ähnelt dem der Feuerwerk-Kugelbombe. Mittels Ausstoßladung (12) wird die Bombette abgeschossen. Über eine Verbindungszündschnur (11) sind alle Einzelabschüsse gekoppelt, so dass eine Bombette nach der nächsten abgeschossen wird. Durch den Zündpunkt (10) wird die Verzögerungszündschnur (7) gestartet und brennt während des Senkrechtflyuges langsam nach innen. Am höchsten Punkt zündet die Verzögerungszündschnur die Zerlegerladung (6). Diese zerlegt die Bombette und entzündet gleichzeitig die enthaltenen Effekte. Anstelle von Bombetten kann ein Pappröhrchen auch diverse andere Effekte, beispielsweise Kometen oder Feuertopfsterne, enthalten.

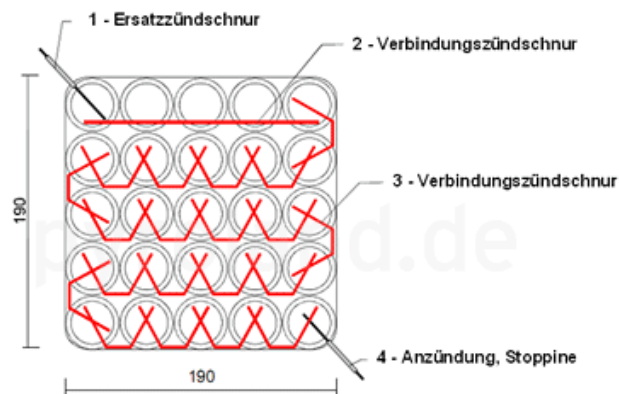


Abbildung 44: Feuerwerk-Batterie 25 Schuss, Einzelpappröhrenansicht [31].

Im Gegensatz zur Kugelbombe ist die Feuerwerk-Batterie im Prinzip sofort einsatzbereit. Wie bei den Silvesterfeuerwerk-Batterien wird zunächst die Verpackung entfernt, die Batterie sicher aufgestellt und ist somit abschussbereit.

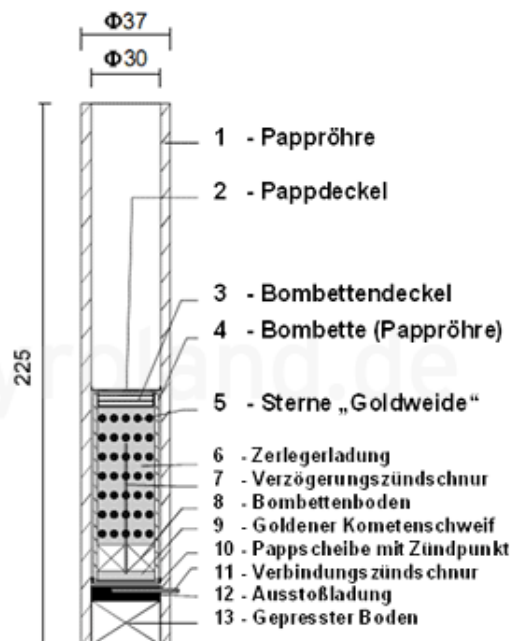


Abbildung 45: Feuerwerk-Batterie 25 Schuss, Ablauf & Verleitung [31].

Der schematische Aufbau der Verleitung innerhalb der Feuerwerk-Batterie wird in Abbildung 46 veranschaulicht. Nachdem die Anzündschnur (4) in Gang gesetzt wurde, brennt diese durch die gesamte Batterie. Schuss für Schuss zündet die „langsam“ abbrennende Verbindungzündschnur (3) eine Bombette pro Pappröhre. Am Ende dieser Feuerwerk-Batterie kommen die letzten fünf Schüsse zeitgleich. Dies geschieht durch Überzündung auf die Verbindungzündschnur (2), einer schnell abbrennenden Stoppine. In einer Feuerwerk-

Batterie gibt es zudem eine weitere Anzündschnur, da jede für den Silvesterverkauf im Handel befindliche Feuerwerk-Batterie eine Ersatzzündschnur aufweisen muss.

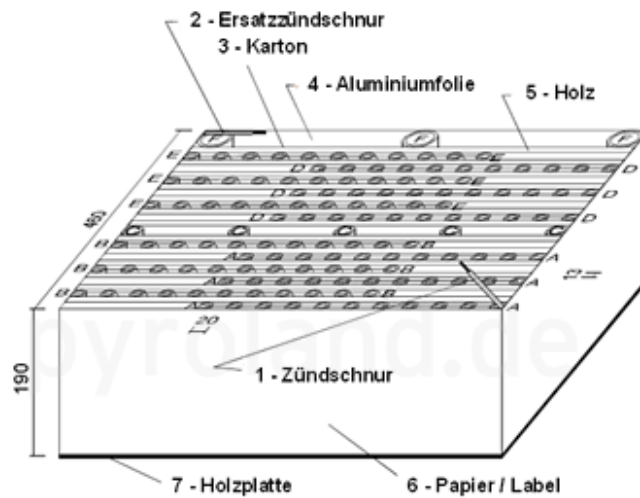


Abbildung 46: Feuerwerk-Batterie mit verschiedenen Kalibergrößen und gewinkelten Abschussröhren [31].

Auf Grund der Variationsmöglichkeiten aus „Winkel der Pappröhren“, „Auswahl der Verbindungzündschnur“, des „Pappröhrenkalibers“, sowie natürlich der jeweiligen Effekte (chemische Komposition / Inhalt) lassen sich eine Vielzahl von verschiedenen Abläufen mit Feuerwerk-Batterien erzeugen (Abbildung 46). Das wird in den Foto-Beispielen von Profi-Feuerwerk-Batterien ersichtlich (Abbildung 47).



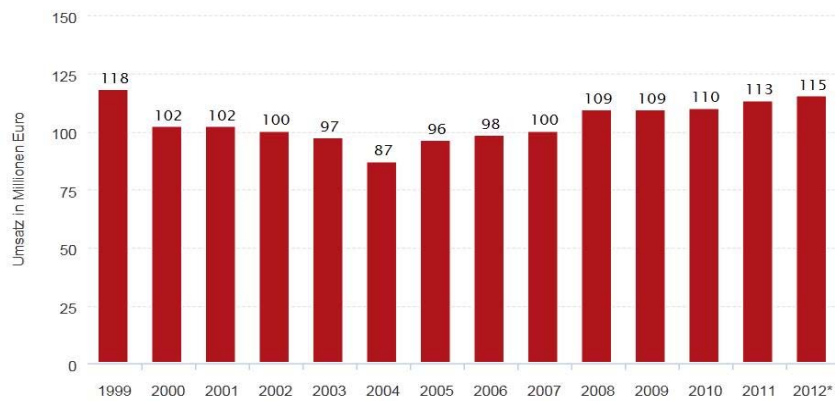
Abbildung 47: Fotos verschiedener Feuerwerk-Batterien aus dem Profi-Programm von Pyroland / Bothmer Pyrotechnik [31].

15.5 Silvesterumsatz mit Feuerwerksartikeln in Deutschland

Auf der Internetseite [19] ist folgende Grafik vom Verband der Pyrotechnischen Industrie zu finden. In der letzten Version von 2014 wurden gegenüber der vorigen Version von Dezember 2013 die Werte ab dem Jahr 2009 geändert.

SILVESTER-UMSATZ MIT FEUERWERK IN DEUTSCHLAND (1999–2012)

Silvester-Umsatz mit Feuerwerksartikeln in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2012 (in Millionen Euro)



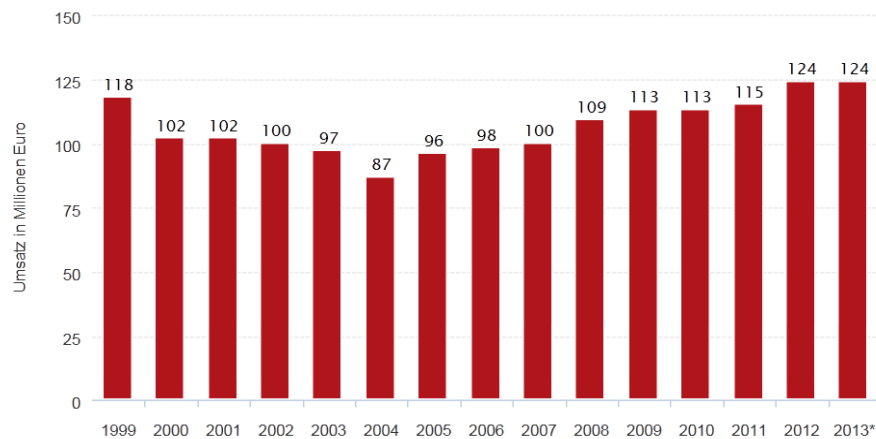
1 Deutschland; Umsatz mit Feuerwerksartikeln: Raketen, Knallern, Batterie- und Verbundfeuerwerk sowie Familiensortimenten; 1999 bis 2012

Quelle: Verband der pyrotechnischen Industrie

© Handelsdaten 2013

SILVESTER-UMSATZ MIT FEUERWERK IN DEUTSCHLAND (1999–2013)

Silvester-Umsatz mit Feuerwerksartikeln in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2013 (in Millionen Euro)



1 Deutschland; Umsatz mit Feuerwerksartikeln: Raketen, Knallern, Batterie- und Verbundfeuerwerk sowie Familiensortimenten; 1999 bis 2013

Quelle: Verband der pyrotechnischen Industrie

© Handelsdaten 2014

15.6 Gesamtemissionen in Deutschland

Tabelle 13: PM₁₀-Gesamtemissionen Schwermetalle in Deutschland

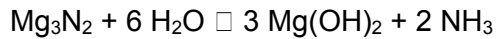
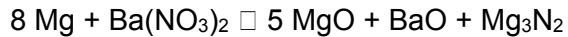
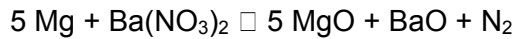
Tonnen	Kalium (K)	Barium (Ba)	Strontium (Sr)	Aluminium (Al)	Magnesium (Mg)	Blei (Pb)	Kupfer (Cu)
1995	1809	378	92	521	315	43	42
1996	1799	376	92	518	313	43	42
1997	1537	321	79	443	267	37	36
1998	689	144	35	198	120	17	16
1999	1138	238	58	328	198	27	27
2000	1281	268	66	369	223	31	30
2001	661	138	34	190	115	16	15
2002	952	199	49	274	166	23	22
2003	985	206	50	284	171	24	23
2004	1209	253	62	348	210	29	28
2005	1251	262	64	360	218	30	29
2006	1320	276	67	380	230	32	31
2007	1330	278	68	383	231	32	31
2008	1207	253	62	348	210	29	28
2009	1279	268	65	368	223	31	30
2010	1374	287	70	396	239	33	32
2011	1457	305	74	420	253	35	34
2012	1470	308	75	423	256	35	34

Tonnen	Antimon (Sb)	Arsen (As)	Cadmium (Cd)	Calcium (Ca)	Chrom (Cr)	Zink (Zn)	Eisen (Fe)	Mangan (Mn)	Nickel (Ni)	Quecksilber (Hg)
1995	0,50	0,43	0,07	15,95	2,71	14,58	24,06	2,37	0,00	1,61
1996	0,49	0,43	0,07	15,87	2,70	14,50	23,93	2,35	0,00	1,61
1997	0,42	0,36	0,06	13,55	2,31	12,39	20,44	2,01	0,00	1,37
1998	0,19	0,16	0,03	6,07	1,03	5,55	9,16	0,90	0,00	0,61
1999	0,31	0,27	0,05	10,04	1,71	9,18	15,14	1,49	0,00	1,02
2000	0,35	0,30	0,05	11,30	1,92	10,33	17,04	1,68	0,00	1,14
2001	0,18	0,16	0,03	5,83	0,99	5,32	8,78	0,86	0,00	0,59
2002	0,26	0,23	0,04	8,40	1,43	7,67	12,66	1,25	0,00	0,85
2003	0,27	0,23	0,04	8,69	1,48	7,94	13,10	1,29	0,00	0,88
2004	0,33	0,29	0,05	10,67	1,81	9,75	16,09	1,58	0,00	1,08
2005	0,34	0,30	0,05	11,03	1,88	10,08	16,64	1,64	0,00	1,12
2006	0,36	0,31	0,05	11,64	1,98	10,64	17,55	1,73	0,00	1,18
2007	0,36	0,31	0,05	11,73	1,99	10,72	17,68	1,74	0,00	1,19
2008	0,33	0,29	0,05	10,65	1,81	9,73	16,06	1,58	0,00	1,08
2009	0,35	0,30	0,05	11,28	1,92	10,31	17,01	1,67	0,00	1,14
2010	0,38	0,33	0,05	12,11	2,06	11,07	18,27	1,80	0,00	1,23
2011	0,40	0,34	0,06	12,85	2,19	11,74	19,37	1,91	0,00	1,30
2012	0,40	0,35	0,06	12,96	2,20	11,85	19,55	1,92	0,00	1,31

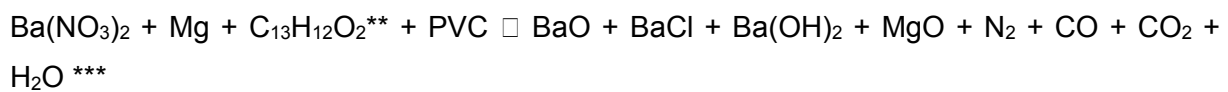
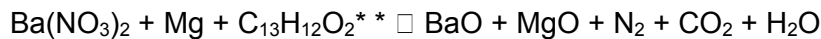
15.7 Chemische Reaktionen bei der Verbrennung von Effektsätzen

Aus [13]:

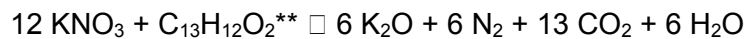
Metall–Nitrat–Gemisch



Metall–Nitrat–Gemisch mit org. Bestandteilen



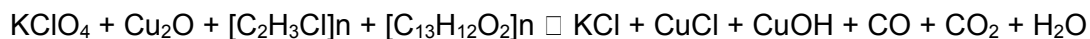
Nitrat–Binder–Gemische



Metall–Perchlorat–Gemische

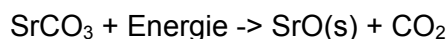


Metall–Perchlorat–Gemische mit org. Bestandteilen (aufgrund der organischen Bestandteile stöchiometrisch nicht korrekt)

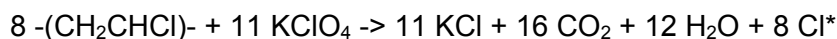


Die dabei frei werdende Energie wird dann für die Erzeugung der Effekte genutzt. Im Folgenden ist eine vereinfachte Beispielreaktion für die Emission von rotem Licht dargestellt.

Verdampfen des Leuchtmittels:



Reaktion eines Chlordonators wie PVC:



Reaktion der Chlorradikale mit den Strontiumteilchen:

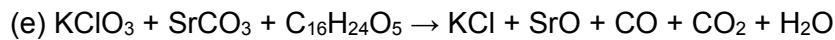
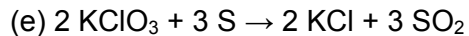
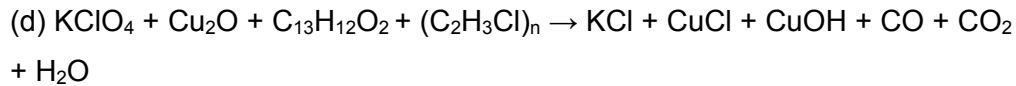
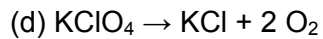
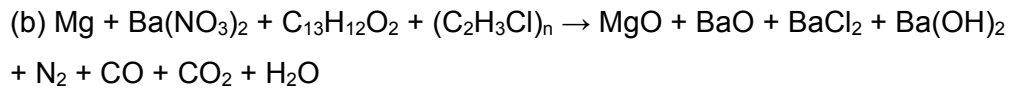
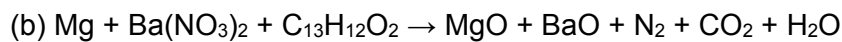
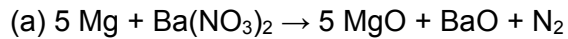


Reaktion des angeregten Partikels unter Aussendung von rotem Licht:



Aus [3]:

In [8] 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.



15.8 Zeitbewertung des Schalldruckpegels

Bei einer Zeitbewertung wird der Zeitverlauf eines mit Schallpegelmessern oder Analysatoren gemessenen Schalldruckpegels mit einer bestimmten Zeitkonstante gefiltert. Die eingestellte Zeitbewertung beeinflusst somit die Trägheit des angezeigten oder gemessenen Pegelverlaufs.

In DIN EN 61672 - 1 sind 3 verschiedene Zeitbewertungen genormt:

S (slow): Zeitkonstante 1 s

F (fast): Zeitkonstante 125 ms

und im Anhang C (informativ)

I (Impuls): Zeitkonstante Pegelanstieg 35 ms, Zeitkonstante Pegelabfall 1,5 s

Die Einstellung "I" zeichnet sich also durch schnelle Anstiege bei einzelnen Schallereignissen und ein anschließendes nur relativ langsames Abfallen aus.

Diese Zeitbewertung sollte ursprünglich zur besseren Bewertung von impulsartigen Schallereignissen dienen.

Nach den Angaben in Anhang C der DIN EN 61672 - 1 ist sie hierfür jedoch nicht geeignet [33]., weil sie wenig mit dem tatsächlichen Impulscharakter der Schallereignisse korreliert.

Zusätzlich zu den oben genannten Zeitbewertungen ist die Zeitbewertung "Peak" (engl. Spitze) festgelegt, bei der eine sehr kurze Zeitkonstante beim Pegelanstieg verwendet wird und kein Abfall des angezeigten Pegels erfolgt. Der Spitzenwert im gesamten Pegelverlauf wird also behalten.

15.9 Gefahrenstoffe in der Pyrotechnik

Chemikalie	Gefahr	Funktion
Antimon(III)-sulfid (Sb ₂ S ₃)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Reduktionsmittel (Für Glitter-Effekte oder zur Erhöhung der Sensibilität von Knallsätzen.)
Arsen(III)-sulfid (As ₂ S ₃)	giftig/tödlich	Reduktionsmittel
Bariumcarbonat (BaCO ₃)	gesundheitsschädlich	Hilfsstoff (grüne Farbe bei Hochtemperaturflammen, Verzögerung bei Glitter-Effekten)
Bariumchlorat (Ba(ClO ₃) ₂)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel (Farbgeber in grün brennenden Feuerwerksätzen und Sternen)
Bariumnitrat (Ba(NO ₃) ₂)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel (Farbgeber für schwaches grün, silberne Leucht- und Knallsätze)
Bariumperchlorat (Ba(ClO ₄) ₂ * H ₂ O)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel (nur selten für grün brennende Sätze verwendet.)
Bariumperoxid (BaO ₂)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel (für Lichtspur- und Thermitanzsätze)
Bismut(III)-sulfid (Bi ₂ S ₃)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel
Blei(II)-nitrat (Pb(NO ₃) ₂)	giftig/tödlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel (Selten für Funkenbildung in Sternen und Brandsätzen)
Blei(II,IV)-oxid (Pb ₃ O ₄)	giftig/tödlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel (Für Crackling-Micro-Sterne oder als Knallstern-Kerne)
Borsäure (H ₃ BO ₃)	giftig/tödlich	Hilfsstoff (Stabilisator zur Stabilisierung des PH-Wertes in Nitrat-Aluminium Gemischen)
Cobalt (Co)	gesundheitsschädlich	Hilfsstoff (Farbgeber: tiefblau)
Guanidiniumnitrat (CH ₆ N ₄ O ₃)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (für raucharme und farbreine Applikationen)
Hexachlorbenzol (C ₆ Cl ₆)	giftig/tödlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel
Kaliumchlorat (KClO ₃)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel (Nur in den USA und Asien wird Kaliumchlorat noch in Leuchtsternen für reine, intensive Farben in großkalibrigen Kugelbomben verwendet)
Kaliumdichromat (K ₂ Cr ₂ O ₇)	giftig, tödlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (Stabilisator, Katalysator)
Kaliumperchlorat (KClO ₄)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel (sehr häufig für farbige Sterne und in Blitzknall- & Heulsätzen)
Basisches Kupfercarbonat (CuCO ₃ * Cu(OH) ₂)	gesundheitsschädlich	Hilfsstoff (Schwacher blauer Farbgeber)
Kupfer(I)-chlorid (CuCl)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (blauer Farbgeber)
Kupfer(II)-chlorid (CuCl ₂)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (blauer Farbgeber)
Kupfer(I)-oxid (Cu ₂ O)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (Farbgeber für blauen Farbsaum bei Leuchtsternen oder als Zündverbesserer)
Kupfer(II)-oxid (CuO)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (Farbgeber für blauen Farbsaum bei Leuchtsternen oder als Zündverbesserer)
Kupferoxychlorid	reizend, gewässergefährdend	Hilfsstoff (blauer Farbgeber)
Natriumchlorat (NaClO ₃)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Oxidationsmittel
Natriumnitrat (NaNO ₃)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel
Natriumoxalat (Na ₂ C ₂ O ₄)	gesundheitsschädlich	Hilfsstoff (Orange-Farbgeber in Perchlorat-Sternen)
Natriumsalicylat (C ₇ H ₅ NaO ₃)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (zusammen mit Kaliumperchlorat in Pfeifsätzen verwendet)
Nitroguanidin (CH ₄ N ₄ O ₂)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (für raucharme und farbreine Applikationen)
Polyisopren (vgl. Terpene#Polyterpene)		Hilfsstoff (Farbverbesserer, Binder, für intensive Farbsterne verwendet)
Quecksilber(I)-chlorid (Hg ₂ Cl ₂)	gesundheitsschädlich, umweltgefährdend	Hilfsstoff (Farbverbesserer für grünleuchtende Fackeln)
Schwefel (S)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (Wichtiger Bestandteil von Schwarzpulver-ähnlichen Brandsätzen)
Selen (Se)	giftig/tödlich	Hilfsstoff (Farbgeber: hellblau)
Silicium (Si)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (als Hitzelieferant, z.B. in Zündmänteln für Sterne)
Strontiumnitrat (Sr(NO ₃) ₂)	gesundheitsschädlich	Oxidationsmittel (Farbgeber, bester roter Farbgeber)
Tellur (Te)	gesundheitsschädlich	Hilfsstoff (Farbgeber: grasgrün)
Thallium (Tl)	giftig/tödlich	Hilfsstoff (Farbgeber: wiesengrün)
Titan (Ti)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (Farbgeber: für silber-blaue Funken in Fontänen und Knallsätzen)
Urotropin (C ₆ H ₁₂ N ₄)	gesundheitsschädlich	Reduktionsmittel (zur Flammenvergrößerung in wenigen Perchlorat-Sternen)
Zink (Zn)	umweltgefährdend	Reduktionsmittel (Farbgeber: blassgrün, früher Brennstoff in einigen Sternen und Rauchsätzen)

Tabelle 14: Gefahrenstoffe in der Pyrotechnik [27].

15.9.1 Antwort des Amtes der Burgenländischen Landesregierung

Auf die Frage:

„Bei den Seefestspielen Mörbisch findet jeden Abend nach dem Konzert ein Feuerwerk statt, und zwar direkt vor dem Naturschutzgebiet Neusiedlersee-Seewinkel. Wie kann das sein, wenn in einem Naturschutzgebiet jeder Eingriff in die Natur verboten ist?“

wurde folgendermaßen geantwortet:

„ ... Zu Ihrer Anfrage vom 22.10.2013 kann ich Ihnen aus naturschutzfachlicher (v.a. ornithologischer) Sicht folgendes mitteilen:

Die Feuerwerk-Veranstaltungen im Anschluss an die Festspiele in Mörbisch und St. Margarethen sind seit vielen Jahren ein naturschutzfachlicher Diskussionspunkt, der in der Praxis bei der behördlichen Umsetzung auf Grund gravierender Datendefizite erhebliche Probleme bereitet. Da Feuerwerke grundsätzlich ex lege nicht bewilligungspflichtig sind, bedarf es in den Natura 2000-Gebieten des Nachweises, dass eine erhebliche Beeinträchtigung von Schutzgütern zumindest nicht auszuschließen ist. Diskutiert werden in diesem Zusammenhang Auswirkungen auf die Schilfvögel (v.a. Reiher) in Mörbisch, aber auch die Uhu- und Fledermausvorkommen im Steinbruch St. Margarethen. Ein wesentlicher Punkt ist dabei, dass die Feuerwerke im Juli/August *nach* der Brutzeit der meisten Vogelarten stattfinden und somit das Gefährdungspotenzial wesentlich reduziert ist. Tatsache ist jedenfalls, dass für keine einzige schutzrelevante Vogelart Hinweise auf eine Beeinträchtigung bzw. Bestandsrückgänge vorliegen. Das gilt auch für die Reiherkolonien im Nahbereich von Mörbisch sowie für den Uhu, der trotz aller Störungen seit Jahrzehnten im Römersteinbruch erfolgreich brütet. Dohlen und Mauersegler brüten in St. Margarethen in Felsspalten direkt hinter der Bühne. Auch fledermauskundliche Untersuchungen durch das Naturhistorische Museum in Wien konnten keine Beeinträchtigungen durch das Feuerwerk feststellen. Es fehlt daher derzeit die Datengrundlage, um das Feuerwerk, an dem ein sehr großes wirtschaftliches Interesse besteht, durch die Behörde zu unerbinden.

An konkreten, ausreichend abgesicherten Forschungsergebnissen zu diesem Thema sind wir selbstverständlich sehr interessiert.

Mit freundlichen Grüßen ...“

16 Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt Pressestelle: Fachinformation "Umwelt und Gesundheit", Umwelt- und Gesundheitsaspekte von Weihnachts- und Silvesterartikeln, Berlin, Dezember 1995.
- [2] Hensler, G., Ott, H., Lottner, U., Zimmermann, A., Schwegler, U., Roscher, E., Reindl, B., Wienecke, P., Stroh, K., Weichwald, S., Himmelhan, C, Behling, G.: UmweltWissen – Produkte: „Weihnachts- und Silvesterartikel“, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Seite 8, Juli 2012
- [3] Plinke, E., Wolff, G., von Arx, U., „Feuerwerkskörper: Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte“ Umweltmaterialien Nr. 140, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), BUWAL 2001.
- [4] Jörß, W., Kugler, U., Theloke, J.: „PAREST-Hintergrundbericht: Emissionen im PAREST-Referenzszenario 2005 – 2020“, im Rahmen von PAREST - Particle Reduction Strategies, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin, 18. Mai 2010.
- [5] Klimont, Z., Cofala, J., Bertok, I., Amann, M., Heyes, Ch., Gyarmas, F.: „Modellierung von Feinstaubemissionen in Europa Entwicklung eines Technologie- und Kosten-Moduls für Staubemissionen im Rahmen des Integrated Assessment Modelling zur Unterstützung europäischer Luftreinhaltestrategien“, Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA), Laxenburg, Austria, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Juni 2002
- [6] Goodwin, J.: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013, EEA Technical report No 12/2013
- [7] Van Hoorn: „Letting off fireworks “Netherlands National Water Board - Water Unit, in cooperation with DELTARES and TNO, June 2008.
- [8] Herrchen, M., Keller, D.: Analyse der ökologischen Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks - ökologische Bilanzierung. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Oekotoxikologie (unveröffentlichte Studie). Schmallenberg, 1996, aus [3].
- [9] 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, aus [3].
- [10] Karlaganis, G.: Schadstoffgehalte von Feuerwerkskörpern. In: BUWAL-Bulletin 2/90, aus [3].
- [11] Wisniak J.: The History of Salpeter Production with a Bit of Pyrotechnics and Lavoisier, Chem. Educator 2000, 5, 205-209, aus [3].
- [12] Menke, K.: Die Chemie der Feuerwerkskörper. In: Chemie in unserer Zeit, 1978, Nr.1., aus [3].
- [13] Dutschke, A.: „Systematische Analyse von Reaktionsprodukten beim Abbrand von pyrotechnischen Gegenständen aus dem Indoor-Bereich“, BAM-Dissertationsreihe - Band 94, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin 2012.

[14] Dutschke, A., Lohrer, Ch., Kurth, L., Seeger, S., Barthel, M., Panne, U.: „Aerosol Emissions from Outdoor Firework Displays“, *www.cet-journal.com* ©2011 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Chem. Eng. Technol. 2011, 34, No. 12, 2044–2050

[15] Bundesverwaltung admin.ch
http://www.fedpol.admin.ch/content/fedpol/de/home/themen/sicherheit/sprengstoff_pyrotechnik/statistik/pyrotechnikumsatz.html

[16] Statistisches Bundesamt Deutschland

[17] Statistik Austria

[18] <http://gis.uba.de/webseite/silvester>

[19] <http://www.handelsdaten.de/statistik/daten/studie/214324/umfrage/silvester-umsatz-mit-feuerwerk-in-deutschland-zeitreihe/>

[20] Zulassungsverfahren und technische Anforderungen für pyrotechnische Gegenstände, Fachwortverzeichnis, SEP Nr. 3 März 2007,
<http://www.ejpd.admin.ch/content/dam/data/sicherheit/zsp/merkblaetter/pyrotechnik/fachwortverz-d.pdf>

[21] Crespoa, J., Yuberoa, E., Nicolása, J.F., Lucarelli, F., Navab, S., Chiari, M., Calzolari, G.: „High-time resolution and size-segregated elemental composition in high-intensity pyrotechnic exposures“, *Journal of Hazardous Materials* 241– 242 (2012) 82– 91

[22] Sarkar, S., Khillare, P.S., Jyethi, D.S., Hasan, A., Parween, M.: “Chemical speciation of respirable suspended particulate matter during a major firework festival in India“, *Journal of Hazardous Materials* 184 (2010) 321–330

[23] Jolya, A., Smargiassi, A., Kosatskyd, T., Fourniere, M., Dabek-Zlotorzynskaf, E., Celof, V., Mathieuf, D., Servranckxg, R., D'amoursg, R., Malog, A., Brookf, B.: „Characterisation of particulate exposure during fireworks displays“, *Atmospheric Environment, Volume 44, Issue 34, November 2010, Pages 4325–4329.*
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009010334>

[24] <http://www.sueddeutsche.de/wissen/feinstaubbelastung-silvester-kann-toedlich-sein-1.365085>

[25] [<http://www.feuerwerk.net/wiki/Hauptseite>

[26] <http://www.feuerwerk.net/>

[27] <http://de.wikipedia.org/wiki/Pyrotechnik>

[28] <http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:Pyrotechnik>

[29] <http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzpulver>

[30] <http://www.jpyro.com/>

[31] <http://www.pyroland.de/technischer-aufbau-feuerwerk.php>

[32] <http://www.stop-fireworks.org/artikel>

[33] <http://de.wikipedia.org/wiki/Zeitbewertung>

[34] <http://de.wikipedia.org/wiki/Bleivergiftung>

[35] http://www.antenne.de/40-400-Tonnen-Feuerwerk-nach-Deutschland-eingefuehrt___spieleantenne_469121_news.html

[36] <http://www.spiegel.de/spiegel/a-805379.html>: Pyrotechnik: Schussfolge einer Stalinorgel

[37] <http://www.sueddeutsche.de/wissen/gesundheits-schaeden-durch-feuerwerk-gift-aus-dem-funkenregen-1.362770>: „Gesundheitsschäden durch Feuerwerk Gift aus dem Funkenregen“

[38] Von Kastilan. S.: „Knallschaden in der Silvesternacht“, <http://www.welt.de/print-welt/article495049/Knallschaden-in-der-Silvesternacht.html> 31.12.01.

[39] <http://www.wildvogelhilfe.org/gesundheit/hautkrankheiten.html>

[40] Plontke, S., Zenner, H-P: „Gehörschäden durch Silvester-Feuerwerkskörper“ Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde (Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. mult. Hans-Peter Zenner), Universitätsklinikum Tübingen; Deutsches Ärzteblatt, Jg. 98, Heft 51–52, 24. Dezember 2001

[41] Steinhauser, G., Sterba, J. H., Foster, M., Grass, F., Bichler M.: „Heavy metals from pyrotechnics in New Years Eve snow“, Vienna University of Technology, Atominstytut der Österreichischen Universitäten, Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 37, December 2008, Pages 8616–8622.

[42] Bolte, G., Kiranoglu, M., Fromme, H., Heitmann, D., Diemer, J., Körner, W., Schierl, R.: „Gesundheitliche Bedeutung der Tabakrauchbelastung in öffentlich zugänglichen Einrichtungen - Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse -“ Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Sachgebiet Umweltmedizin; Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abt. Zentrale Analytik und Stoffbewertung; Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin; Forschungsprojekt gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Februar 2007

[43] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2007: Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Bern. 141 S.

[44] Stamatiadis, Ch., Walker, U., und Baumgartner, HJ: „Natürliche Ressourcen in der Schweiz Umwelt - Ruhe schützen“, Bundesamt für Umwelt BAFU, Umwelt 1/2013 Editorial

[45] Weigand, JF., and McChesney, GJ.: „Seabird and marine mammal monitoring and response to a fireworks display at Gualala Point Island, California, Sonoma County, May to August 2007“. Unpublished report, USDI Bureau of Land Management, California State Office, Sacramento, CA; and USDI Fish and Wildlife Service, San Francisco Bay National Wildlife Refuge Complex, Newark, CA. 38 pp; 2008.

[46] Herrmann, Chr.: „Schutz von Kranichen und anderen Zugvögeln an ihren Rastplätzen vor Störungen durch Feuerwerke“, Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern. - Umweltministerium Mecklenburg-Vorp. (Hrsg.). - Güstrow 49. Jahrg. - Heft 1/2006. - S. 70 - 71: 2006; Standort: LAU-Bibl. Z 66.

[47] Herrmann, Chr., Baier, H., Bosecke, Th.: „Flackernde Lichtspiele am nächtlichen Himmel - Auswirkungen von Himmelsstrahlern (Skybeamer) auf Natur und Landschaft und Hinweise auf die Rechtslage, Naturschutz und Landschaftsplanung“ 38, (4), 2006.

- [48] Thadeusz, F. (2011): *Krass, das ist meine Krähe*. *Der Spiegel*, 39, 2011, 116-117.
- [49] Barbara Rempe, Dipl. Biol., Referentin Fachkoordination Deutscher Tierschutzbund e.V., D-53115 Bonn: *Persönliche Mitteilungen*.
- [50] Dipl. Pol. Jens Karg, Referent Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit, Tierschutz, Die Grünen: *Persönliche Mitteilung*.
- [51] *Beobachtung des Autors*
- [52] Fikuart; K.: „Tierschutz und Feuerwerk“, *Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V., TVT-Nachrichten 2/2000*, S. 14.
- [53] 'Fireworks and Animals: A Survey of Scottish Vets in 2001', <http://www.angelfire.com/co3/NCFS/survey/sspca/scottishspca.html>
- [54] BASF Medizinische Leitlinien bei akuten Einwirkungen von chemischen Substanzen, BASF SE Occupational Medicine & Health Protection, Stand: 2012
- [55] <http://recht.extrajournal.net/2010/12/30/silvester-feuerwerk-neues-pyrotechnik-gesetz-erlaubt-schwere-kaliber-in-privathand-12559/>: „Silvester-Feuerwerk: Neues Pyrotechnik-Gesetz erlaubt schwere Kaliber in Privathand“
- [56] http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/716520/Silvester_Feuerwerke-muessen-leiser-werden
- [57] <http://www.vienna.at/unfaelle-mit-silvester-feuerwerk-97-der-verletzten-sind-maenner/3803154>
- [58] <http://www.sauberer-himmel.de/wp-content/uploads/2012/02/Wie-kommt-Barium-in-das-Regenwasser.pdf>: Wolfgang Creyaufmüller 29-11-2011, letzte Ergänzung: 06-12-2011
- [59] <http://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/forschung/article225244/Boeller-Das-Ausmass-der-Hoerschaeden.html>
- [60] <http://www.nachrichten.at/lokal/wels/410648?PHPSESSID=562cf8c30c17a2a7356c23f9625c77bd>
- [61] Peter Walschburger von der Freien Universität Berlin 30.12.2004; <http://www.welt.de/data/2004/12/30/381405.html?search=feuerwerksk%F6rper&searchHILI=1>
- [62] <http://gesund.co.at/unfaelle-silvesterkracher-feuerwerk-12424/>
- [63] <http://www.statisticbrain.com/firework-statistics/>
- [64] <http://matzav.com/the-danger-of-purim-fireworks-and-explosives-3>
- [65] <http://www.nhs.uk/Livewell/Fireworksafety/Pages/AndyMinter.aspx>
- [66] <http://pinoy99.blogspot.co.at/2012/12/doh-fireworks-ban-proposed-anew.html>
- [67] <http://www.cpsc.gov/en/Safety-Education/Safety-Education-Centers/Fireworks/>
- [68] <http://www.ronny-siegel.de/muell-in-dresden-nach-silvester/>

[69] <http://www.n-tv.de/ticker/Gesundheit/Gefaehrlicher-Silvester-Laerm-Gehoerschaeden-bewusst-vermeiden-article9879191.html>

[70] <http://www.sengpielaudio.com/>

[71] <http://www.netdokter.de/Krankheiten/Schwerhoerigkeit/Wissen/Akustisches-Trauma-Knalltrauma-6166.html>

[72] <http://www.apotheken-umschau.de/Knalltrauma>

[73] N.N.: *Lärmbedingter Hörverlust bei Kindern*, LandesGesundheitsAmt Baden-Württemberg, In Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Arbeit und Soziales Baden-Württemberg, Juli 2008.

[74] *Toxikologie: Vergiftung mit Metallen und Metalloiden*, <http://www.meduniwien.ac.at/hp/fileadmin/zpp/downloads/toxikologie.pdf>

[75] <http://toxcenter.org/stoff-infos/>

[76] Hyun Rhyee, S., Heard, K.: „Acute Barium Toxicity from Ingestion of “Snake” Fireworks“, *J Med Toxicol.* 2009 December ; 5(4): 209–213.

[77] Bundesamt für Umweltschutz BAFU: *Natürliche Ressourcen der Schweiz Umwelt „Ruhe schützen“*, 1/2013.

[78] *Bundesgesetzblatt für die Republick Österreich, Jahrgang 2009 Teil I: „131. Bundesgesetz: Pyrotechnikgesetz 2010 und Änderung des Sicherheitspolizeigesetzes“*, Ausgegeben am 30. Dezember 2009

[79] *Bundesgesetzblatt für die Republick Österreich, Jahrgang 2009 Teil II: „499. Verordnung: Pyrotechnikgesetz-Durchführungsverordnung – PyroTG-DV“*, Ausgegeben am 31. Dezember 2009

[80] *Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe „Sprengstoffgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3518), das durch Artikel 4 Absatz 67 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist“*, Ein Service des Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH - www.juris.de

[81] *Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz „Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Januar 1991 (BGBl. I S. 169), die zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749) geändert worden ist“*, Ein Service des Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH - www.juris.de

[82] *Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft: „Bundesgesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz, SprstG1)“ vom 25. März 1977 (Stand am 1. Januar 2013)*

[83] *Schweizerischer Bundesrat: „Verordnung über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffverordnung, SprstV) vom 27. November 2000 (Stand am 1. Januar 2013)*

[84] *Zahlreiche E-Mails und Anrufe an:*

- *Umweltbundesämter in Österreich, Deutschland und in der Schweiz*
- *Magistratsabteilung MA22 für Umweltschutz, Wien*
- *BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Deutschland*

- *Chemie- und Physik Institute der Uni, TU, BOKU, in Wien und Graz*
 - *Hygieneinstitut der Medizinischen Universität Wien*
 - *Umweltabteilung der Burgenländischen Landesregierung*
 - *Institute von Veterinärmedizinischen Universitäten*
 - *Tierschutzvereine in Deutschland und Österreich*
 - *Gemeinde Turin, Tierschutzabteilung*
 - *Ansprechpartner in Italien, Leiter von Naturschutzgebieten*
 - *Die Grünen, Österreich: Landwirtschaft - Lebensmittelsicherheit - Tierschutz*
 - *Statistisches Bundesamt Deutschland*
 - *Statistik Austria*
- u.a.*

Bisher erschienene Veröffentlichungen des ÖVK:

Publikation von Univ.-Prof. Dr.techn. B. Geringer, Dipl.-Ing. R. Rosenitsch AUSWIRKUNGEN AUF DIE STRASSEN VERKEHRSEMISSIONEN DURCH DIE REDUKTION DER HÖCHSTZULÄSSIGEN GESCHWINDIGKEIT VON 50 AUF 30 km/h	Mai 2014
35. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr. 777 (2014)	Mai 2014
34. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr. 764 (2013)	Mai 2013
Publikation von Dipl.-Ing. R. Rosenitsch POTENZIALE UND KOSTEN DER ELEKTRIFIZIERUNG DES SCHWEREN NUTZFAHRZEUGVERKEHRS	Februar 2013
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini (1. Auflage, 2008), Dipl.-Ing.R. Rosenitsch (aktualisierte 2. Auflage): NEUE AUTOS HELFEN DER UMWELT 2. aktualisierte Auflage	Jänner 2013
Publikation von Univ.-Prof. Dr.techn. B. Geringer, Dr. W. K. Tober BATTERY ELECTRIC VEHICLES IN PRACTICE Costs, Range, Environment, Convenience 2 nd extended and corrected edition	Oktober 2012
Publikation von Univ.-Prof. Dr.techn. B. Geringer, Dr. W. K. Tober BATTERIEELEKTRISCHE FAHRZEUGE IN DER PRAXIS Kosten, Reichweite, Umwelt, Komfort 2. erweiterte und korrigierte Auflage	Oktober 2012
Publikation von Univ.-Prof. Dr.techn. B. Geringer, Dr. W. K. Tober BATTERIEELEKTRISCHE FAHRZEUGE IN DER PRAXIS Kosten, Reichweite, Umwelt, Komfort	Juni 2012
33. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr. 749 (2012)	April 2012
Publikation: E-MOBILITÄT OHNE VERBRENNUNGSMOTOR? Ein Auszug aus aktuellen Studien	März 2012
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: ERHÖHUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN ALS FOLGE VON STRASSENSPERREN Am Beispiel einer Sperre der Wiener Ringstraße	Jänner 2012
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: SIND UMWELTZONEN SINNVOLL?	Jänner 2011
32. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr. 735 (2011)	2011
Publikation von Univ.-Prof.Dr. B.Geringer und Dipl.-Ing.W.K. Tober: ZUKÜNFTIGE MOBILITÄT: Elektromobilität als Lösung?	Oktober 2010
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: ISLÄNDISCHER VULKANAUSBRUCH FRÜHJAHR 2010 Einflüsse auf Luftbelastung und Gesundheit	Juli 2010
31. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.716 (2010)	2010

Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: WER VERURSACHT DEN FEINSTAUB IN DER WIENER LUFT?	April 2010
Publikation von Univ.-Prof.Dr. B.Geringer und Dipl.-Ing.W.K. Tober: STICKSTOFFDIOXID (NO ₂) – EIN WESENTLICHER SCHADSTOFF DER DEKADE 2010/2020	März 2010
Publikation Prof.Dr.-Ing.Karl Viktor Schaller: NUTZFAHRZEUGE DER ZUKUNFT Wege zum energieeffizientesten und sichersten Transportmittel	Dezember 2009
Publikation von Univ.-Prof.Dr. B.Geringer und Dipl.-Ing.W.K. Tober: ENERGIEPOLITIK EUROPAS - Im Fokus der Verkehrssektor	November 2009
Publikation von Univ.-Prof.Dr. B.Geringer und Dipl.-Ing.W.K. Tober: ÖKOLOGISCHE LEBENSWEGPOTENZIALE NEUER ALTERNATIVER DIESELKRAFTSTOFFE IM ÖSTERR. STRASSENVERKEHR	September 2009
Publikation von Dipl.-Ing. August Achleitner: DIE BAUREIHE 911, DAS RÜCKGRAT DER MARKE PORSCHE Ein einzigartiges Konzept auf dem Weg in die Zukunft	Juni 2009
Publikation von Univ.-Prof.Dr.-Ing.Günter Hohenberg: KANN DER INTELLIGENTE FAHRER DEN HYBRID ERSETZEN? Hybridtechnik und Fahrereinfluss	Februar 2009
30. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.697 (2009)	2009
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: NEUE AUTOS HELFEN DER UMWELT	August 2008
29. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.672 (2008)	2008
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE und Aktualisierung der Studie 2006 SIND ERDGASBETRIEBENE FAHRZEUGE UMWELTFREUNDLICHER ALS BENZIN- BZW. DIESELBETRIEBENE FAHRZEUGE?	Oktober 2007
Publikation von Dipl.-Ing. Jürgen Haberl, o.Univ.Prof.DI Dr.Dr.h.c. Johann Litzka: EUROPÄISCHE PROJEKTE ZUR REDUZIERUNG DES STRASSENVERKEHRSLÄRMS	August 2007
Vortrag von Dipl.-Ing. Johann Schopp: DIE NEUE 4-Zylinder MOTORENBAUREIHE AUS DER KOOPERATION BMW/PSA	Juni 2007
Vortrag von Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Strasser: DONAUSCHIFFFAHRT Wirtschaftliche Bedeutung – Schifftechnik	Juni 2007
Vortrag von Brigadier Dipl.-Ing. Andreas Knoll: HUBSCHRAUBER – Technik und Einsatz	Mai 2007
28. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.639 (2007)	2007
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: 10 TIPPS FÜR UMWELTFREUNDLICHEN STRASSENVERKEHR	Februar 2007
Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: AUTO UND UMWELT	August 2006

Publikation von Dr.techn.Mag.Dipl.-Ing.Bruna Illini: SIND ERDGASBETRIEBENE FAHRZEUGE UMWELTFREUND- LICHER ALS BENZIN- BZW. DIESELBETRIEBENE FAHRZEUGE?	Juni 2006
27. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.622 (2006)	2006
Vortrag von Brigadier i.R. Prof. Dipl.-Ing. Günter Hohl: MILITÄRISCHE GELÄNDEFahrzeuge	März 2006
Publikation von Prof. Dr. Ernst Fiala: HYBRIDAUSLEGUNG FÜR PERSONENKRAFTWAGEN	Februar 2006
Vortrag von Martin Pfundner: MOTORSPORT IN ÖSTERREICH Von der Alpenfahrt zur Formel 1	Jänner 2006
Vortrag von Kommerzialrat Ing. Siegfried Wolf: MAGNA UND SEINE STRATEGIEN FÜR DIE GLOBALE AUTOMOBILINDUSTRIE	Oktober 2005
Vortrag von Dipl.-Ing. Rudolf Koller: MOTORENHAUS III DER MERCEDES CAR GROUP DIE PRÜFFELDFABRIK: VON DER IDEE ZUR WIRKLICHKEIT	Juni 2005
Vortrag von Captain Ulrich Hohl: DIE TECHNIK DES NEUEN AIRBUS A380	Juni 2005
Vortrag von Prof.Dr.-Ing. Giovanni Cipolla: DEVELOPMENT ASPECTS OF HIGH-PERFORMANCE ENGINES	Mai 2005
26. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.595 (2005)	2005
Vortrag von Dipl.-Ing. August Achleitner: DER NEUE PORSCHE 911 CARRERA	April 2005
Vortrag von Dr. Roberto Imarisio und Dipl.-Ing. Erhard Voss: NEW ENGINES OUT OF THE FIAT-GM-POWERTRAIN JOINT VENTURE NEUE MOTOREN AUS DEM FIAT-GM-POWERTRAIN JOINT VENTURE	März 2005
Vortrag von Dr. Leopold Mikulic: HYBRID CONTRA DIESEL PKW-Dieselmotoren im Wettstreit mit Hybridkonzepten	März 2005
Vortrag von Dr. Georg Pachta-Reyhofen: MOTOREN VON MAN – Von einem genialen Grundprinzip zu einem Hightech-Produkt	November 2004
Vortrag von Dr. Josef Affenzeller: SOUND DESIGN BEI MODERNEN FAHRZEUGEN	Juli 2004
Vortrag von Univ.-Prof.Dr. Hans Peter Lenz: ZUKÜNFTIGE AUTOMOBILMOTOREN im Spiegel der Entwicklung von 35 Jahren	Mai 2004
25. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.566 (2004)	2004
Vortrag von Dr. Max Lang: DIE CRASHTESTS DER AUTOMOBIL-CLUBS – EINFLUSS UND ERGEBNIS	April 2004

Vortrag von Dr.Burkhard Göschel: WASSERSTOFF ALS FAHRZEUGANTRIEB DER ZUKUNFT	Dezember 2003
Vortrag von Dipl.-Ing.Michael Hölscher: CARRERA GT – DER NEUE HOCHLEISTUNGSSPORTWAGEN AUS DEM HAUSE PORSCHE	November 2003
Vortrag von Dr.Günter K. Fraidl: DIE ZUKUNFT DES OTTOMOTORS	September 2003
24. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.539 (2003)	2003
Vortrag von Dipl.-Ing.Hans-Werner Pölzl: NEUE V-MOTOREN VON AUDI (Otto- und Dieselmotoren)	April 2003
Vortrag von Dipl.-Ing.Manfred Schürmann: DER NEUE HARLEY-DAVIDSON-VROD-MOTOR	März 2003
Vortrag von Dr.Burkhard Göschel: DIE PREMIUMMARKEN-STRATEGIE VON BMW	Februar 2003
Vortrag von Senator Professor Dr. Walter Tauscher: WIE LANGE REICHEN DIE RESERVEN VON ERDÖL UND ERDGAS?	Februar 2003
Vortrag von Prof.Dipl.-Ing.H.Gaus und Dipl.-Ing.G.Doll: DIE TECHNIK DES NEUEN MAYBACH Das Fahrzeug – Der Motor	Jänner 2003
Vortrag von Prof.Dr.h.c.Dipl.-Ing.F.Piech: DER WEG VON VW ZUR TECHNOLOGIEFÜHRERSCHAFT	Oktober 2002
Vortrag von Dr.-Ing.V.Berkefeld, Dipl.-Ing.U.Dworzak: SPORTLICHES FAHREN – AUCH IN DER ZUKUNFT ?	Juli 2002
Vortrag von Prof.Dr.E.Fiala: WIRTSCHAFTSWACHSTUM OHNE GRENZEN !?	Mai 2002
23. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr. 490 (2002)	2002
Vortrag von KR Ing.S.Wolf: MAGNA STEYR – EINE NEUE DIMENSION IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE	Dezember 2001
Vortrag von Dr.-Ing.W.Steiger: SUNFUEL – KRAFTSTOFF FÜR DIE ANTRIEBE DER ZUKUNFT	Dezember 2001
22. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.455 (2001)	2001
Vortrag von Dipl.-Ing.R.Hofmann: VOLLVARIABLE VENTILTRIEBE – DIREKTEINSPRITZUNG – ZYLINDERABSCHALTUNG DREI KONZEPTE FÜR EIN ZIEL	Jänner 2001
Vortrag von Dr.U.D.Grebe: ZUKUNFT DES OTTOMOTORS – BENZINDIREKTEINSPRITZUNG ODER LASTSTEUERENDE VARIABLE VENTILTRIEBE	Oktober 2000
21. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.420 (2000)	2000
Vortrag von Dr.H.Demel: AUTOMOBILPRODUKTION IN DER DRITTEN WELT	Februar 2000

<p>Veranstaltung: FORSCHUNG AM INSTITUT FÜR VERBRENNUNGSKRAFT- MASCHINEN UND KRAFTFAHRZEUGBAU DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN Überblick von o.Prof.Dr.H.P.Lenz und Vorträge von Dipl.-Ing.St.Prüller, Dipl.-Ing.Qi Shi, Dipl.-Ing.M.Gruber, Dipl.-Ing.P.Stricker, Dipl.-Ing.H.Holzer, Dr.P.Hofmann Vortrag von Direktor Dipl.-Ing.H.Leinfellner: MIT NEUEN METHODEN MEHR FORTSCHRITT IN DER FAHRZEUGENTWICKLUNG – SIMULATION, VISUALISIERUNG, DIGITAL MOCK-UP</p>	<p>Jänner 2000</p>
<p>Vortrag von Prof.Dr.-Ing.St.Zima: GESCHEITERTE MOTORKONZEPTIONEN</p>	<p>November 1999</p> <p>Juni 1999</p>
<p>Vortrag von M.Goiny: PLATTFORMSTRATEGIE IM VOLKSWAGEN-KONZERN WETTBEWERBSFÄHIGKEIT VERBESSERN KUNDENZUFRIEDENHEIT ERHÖHEN</p>	<p>Mai 1999</p>
<p>20. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.376 (1999)</p>	<p>1999</p>
<p>19. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.348 (1998)</p>	<p>1998</p>
<p>Vortrag von Dipl.Wirtsch.Ing.S.Bujnoch, Dr.-Ing.N.Metz, Dipl.-Ing.C.Huß: DENKENDES AUTO – INTELLIGENTE STRASSE SCIENCE FICTION ODER REALITÄT ?</p>	<p>März 1998</p>
<p>Vortrag von Dr.H.P.Friedrich: DIE MAGNETSCHWEBEBAHN ENTWICKLUNG UND TECHNIK DES TRANSPAPID</p>	<p>November 1997</p>
<p>Vortrag von Dr.A.Goubeau, Dipl.-Ing.R.Heuser, Dr.N.Metz, Ing.B.Nierhauve, Dr.B.Sporckmann: VERGLEICH VON ENERGIEVERBRAUCH UND ABGASEMISSIONEN ZUKÜNFTIGER ANTRIEBE IM PKW FÜR DAS JAHR 2000</p>	<p>August 1997</p>
<p>18. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.306 (1997)</p>	<p>1997</p>
<p>Vortrag von Prof.Dr.-Ing.W.Peschka: WASSERSTOFFANTRIEB FÜR KRAFTFAHRZEUGE - SOLLEN HIER REALE CHANCEN FÜR DIE ZUKUNFT VERTAN WERDEN?</p>	<p>Jänner 1997</p>
<p>Vortrag von Dr.S.V.Tchernikov: RUSSIAN MANNED FLIGHT SPACE PROGRAM UP TO THE YEAR 2000</p>	<p>Oktober 1996</p>
<p>17. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.267 (1996)</p>	<p>1996</p>
<p>Vortrag von Dipl.-Ing.K.Krieger: NEUE EINSPRITZSYSTEME FÜR DIESELMOTOREN</p>	<p>April 1996</p>
<p>Vortrag von Prof.Dr.E.Fiala: WAS KOMMT NACH DEM AUTO?</p>	<p>Oktober 1995</p>
<p>Vortrag von o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.H.P.Lenz, Dipl.-Ing.P.Kohoutek, o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.R.Pischinger, Dipl.-Ing.St.Hausberger: BEEINFLUSSUNGSMÖGLICHKEITEN DES MOTORISIERTEN STRASSENVERKEHRS AUF DIE CO₂-EMISSIONEN</p>	<p>August 1995</p>
<p>16. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPIOSIUM</p>	

VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.239 (1995)	1995
Vortrag von Dr.Ch.Krahe: ENTWICKLUNGSTENDENZEN BEIM GROSSFLUGZEUGBAU	März 1995
15. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.205 (1994)	1994
14. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.182 (1993)	1993
Vortrag von Prof.Dipl.-Ing.H.Stumpf: HERAUSFORDERUNG AN DEN PKW-REIFEN DER ZUKUNFT	Jänner 1993
Vortrag von Brigadier Dipl.-Ing.G.Hohl: GELÄNDEFahrzeugkonzepte Die Wechselwirkung zwischen Gelände und Fahrzeug	September 1992
13. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.167 (1992)	1992
Veranstaltung: BIOKRAFTSTOFFE - LÖSUNG ODER IRRWEG ? Einführungsvortrag von Dr.W.Tauscher und Podiumsdiskussion	November 1991
12. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.150 (1991)	1991
11. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.141 (1990)	1990
Vortrag von Dr.H.R.Weber: DIE LUFTFAHRT IM 21.JAHRHUNDERT - ZUKÜNFTIGE FLUGZEUGE	Jänner 1990
Symposium: SCHÄDLICHKEIT DER AUTOMOBIL- EMISSIONEN FÜR DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT	November 1989
Vortrag von Generaldirektor Dipl.-Ing.O.Voisard: DIE ÖSTERREICHISCHE KRAFTFAHRZEUGINDUSTRIE JETZT UND IN ZUKUNFT	November 1989
Vortrag von o.Prof.Dr.H.P.Lenz: TRANSIT IN TIROL: TECHNISCHE LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN	Mai 1989
10. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.122 (1989)	1989
Arbeitsgespräch: PRAXISERFAHRUNGEN MIT RAPS- METHYL-ESTER ALS ERSATZ FÜR DIESELKRAFTSTOFF FÜR TRAKTOREN	November 1988
9. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.99 (1988)	1988
Seminar: GEMISCHBILDUNG BEI OTTOMOTOREN	November 1988
8. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.86 (1987)	1987
7. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM VDI-Fortschritt Berichte, Reihe 12, Nr.74 (1986)	1986
Seminar: GEMISCHBILDUNG BEI OTTOMOTOREN	November 1986

Der Österreichische Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)

ist ein technischer Verein, in dem Wissenschaft und Praxis des Kraftfahrwesens gepflegt werden.

1985 gegründet, gehören ihm heute rund 750 ordentliche Mitglieder/natürliche Personen an. Dazu kommen zahlreiche Firmen und Organisationen als ordentliche Mitglieder/juristische Personen sowie eine Reihe herausragender Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Industrie und Politik als korrespondierende Mitglieder, die den Verein ideell unterstützen.

Der ÖVK ist der größte Verein seiner Art in Österreich. Er vereinigt Ingenieure, Fachleute und Interessenten des Kraftfahrwesens entsprechend den vielfältigen Anwendungen des Automobils und entsprechend den Interessensrichtungen der ÖVK-Mitglieder aus Industrie, Wirtschaft, Regierung, Behörden, Universitäten, Ingenieurschulen, Verbänden und Vereinen.

Vorstand:

Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz, Technische Universität Wien (Vorsitzender)

Dr. W. Böhme, OMV AG Wien

Dr. H. Demel, MAGNA International, Oberwaltersdorf

Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder, Technische Universität Graz

Univ.-Prof. Dr. B. Geringer, Technische Universität Wien

Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann; Technische Universität Wien

Brigadier Prof. Dipl.-Ing. G. Hohl, Wien

Prof. Dr.-Ing. h. c. Dipl.-Ing. H. List, AVL-List GmbH, Graz

Dipl.-Ing. DDr.techn.h.c. P. Mitterbauer, Miba AG, Laakirchen

Prof. Dr.-Ing. R. Schöneburg, VDI, Düsseldorf

Herausgegeben von:

Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)

A-1010 Wien, Elisabethstraße 26

Tel.: +43/1/5852741-0

FAX: +43/1/5852741-99

E-Mail: info@oevk.at

Homepage: www.oevk.at und www.auto-umwelt.at