

**Was ist Feinstaub?**

**Welche Schadstoffe enthalten Feuerwerksraketen?**

**Welche Luftbelastung entsteht zu Silvester?**

*Jedes Jahr steigen zu Silvester die Feinstaub-Messwerte an allen Messstationen weit über das „übliche“ Maß hinaus. Die durch Feuerwerke entstehenden Abgase bedingen nicht nur erhöhte Staubwerte, sondern beinhalten auch bedenkliche Substanzen, die auf diese Weise in die Atemluft gelangen.*

SchülerInnen lernen Feinstaubquellen kennen und recherchieren, wie sich deren Vorhandensein auf die Luftgütesituation auswirkt. Die Sondersituation zu Silvester wird betrachtet und ein Experiment soll die Luftbelastung zu Silvester verdeutlichen.



## Ort

Klassenraum

## Schulstufe

8. bis 13. Schulstufe

## Gruppengröße

Klassengröße

## Zeitdauer

1 Schulstunde

## Lernziele

- Daten in Diagrammen interpretieren lernen
- Wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Interessen als Ursachen ökologischer Probleme erkennen
- Bereitschaft entwickeln für einen sorgsamen Umgang mit der Ressource Luft
- Eigenes Handlungspotenzial als KonsumentIn und VerbraucherIn erkennen

## Sachinformation

### Allgemeines zum Feinstaub

Als Feinstaub bezeichnet man alle in der Luft schwebenden Teilchen, deren Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer, also kleiner als 1/100 Millimeter ist. Aufgrund der englischen Bezeichnung „particulate matter“ und des Größenbereiches unter 10 Mikrometer nennt man Feinstaub auch PM10. In diesen Größenbereich fallen alle möglichen, auch natürlichen Teilchen wie feinsten Gesteinsstaub oder Pollenfragmente, vorrangig aber Teilchen, die durch menschliche Tätigkeit oder Verbrennungsprozesse entstehen. Das können Feinstäube aus Industrieschornsteinen sein, aus Heizungsöfen, aus Verbrennungsmotoren (Abb. 1 links), aber auch Abriebprodukte zB aus dem rollenden Verkehr (zB Reifenabrieb, Abb.1 rechts).

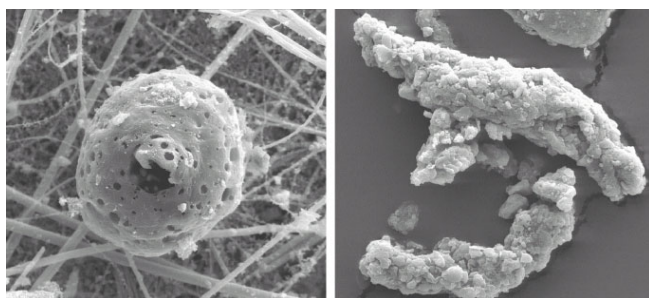


Abb. 1: zwei Beispiele für Feinstaub-Teilchen - Rußpartikel (links) und Reifenabrieb (rechts)

Gemein ist diesen Feinstaubteilchen, dass sie eine hohe Lungengängigkeit haben, d. h. man kann sie aufgrund ihrer geringen Größe bis in die Lunge einatmen, ohne dass sie vorher schon durch Nasenhaare oder Schleimhäute aufgehalten worden wären. Je kleiner die Teilchen, desto tiefer können sie in die Lunge eindringen, die kleinsten Teilchen sogar bis in die Alveolen (Lungenbläschen). Eine hohe Belastung kann dann, v. a. bei vorbelasteten Personen, zu Atemwegsproblemen führen. Die Teilchen, die auf diese Weise in den Körper geraten, haben unterschiedliches Gefährdungspotential. Als besonders problematisch gelten etwa Dieselruß-Partikel aus mit Diesel betriebenen Fahrzeugen. Dieser Problematik wurde in den Medien in den letzten Jahren deshalb auch viel Platz gewidmet und es kam bzw. kommt immer noch zu hitzigen Debatten über die Verursachergruppen und deren Beitrag zur Gesamtbelastung.

Ebenso intensiv wurde die Problematik der Oster-

feuer (Abb. 2), die durch sie verursachte Luftbelastung und das Verbot dieser Brauchtumsveranstaltung (etwa im Großraum Graz) behandelt.

Meist außer Acht gelassen wird jedoch die Luftbelastung zu Silvester in Folge der nächtlichen Feuerwerke, wobei hier stets ähnlich hohe Spitzen bei den Messwerten erreicht werden wie in der Osternacht.



Abb. 2: Für die Luftbelastung durch Osterfeuer wurde die Bevölkerung bereits sensibilisiert.

### Luftbelastung durch Feuerwerke

Abb. 3 zeigt dies sehr deutlich: Die beiden Diagramme zeigen den Verlauf der Feinstaubmessungen in Kapfenberg im Jahr 2011. Die jeweilige y-Achse zeigt die gemessene Konzentration von Feinstaub in der Atemluft (angegeben in Mikrogramm Feinstaub pro Kubikmeter Luft). Angezeigt werden die Halbstunden-Mittelwerte. Das bedeutet, dass alle Messwerte innerhalb einer halben Stunde gemittelt wurden. Diese Werte wurden dann aneinandergereiht und ergeben dann den Kurvenverlauf.

Die linke Kurve zeigt den Anstieg der Werte in der Osternacht 2011. Deutlich erkennt man den Anstieg der Werte ab ca. 20 Uhr, als die Osterfeuer entzündet wurden. Die Kurve steigt bis 200 Mikrogramm/m<sup>3</sup> an und fällt dann im Lauf der Nacht und des nächsten Vormittages wieder ab. Die kleineren Spitzen vor 8 Uhr und vor 16 Uhr sind verkehrsbedingt. Für den Halbstundenmittelwert gibt es zwar keinen gesetzlichen Grenzwert, der Tagesmittelwert darf aber 50 Mikrogramm/m<sup>3</sup> nicht überschreiten, was die Dimensionen der Luftbelastung zu Ostern gut zeigt.

Die rechte Kurve zeigt dann die Silvesternacht 2011/12, ebenfalls an der Messstelle Kapfen-

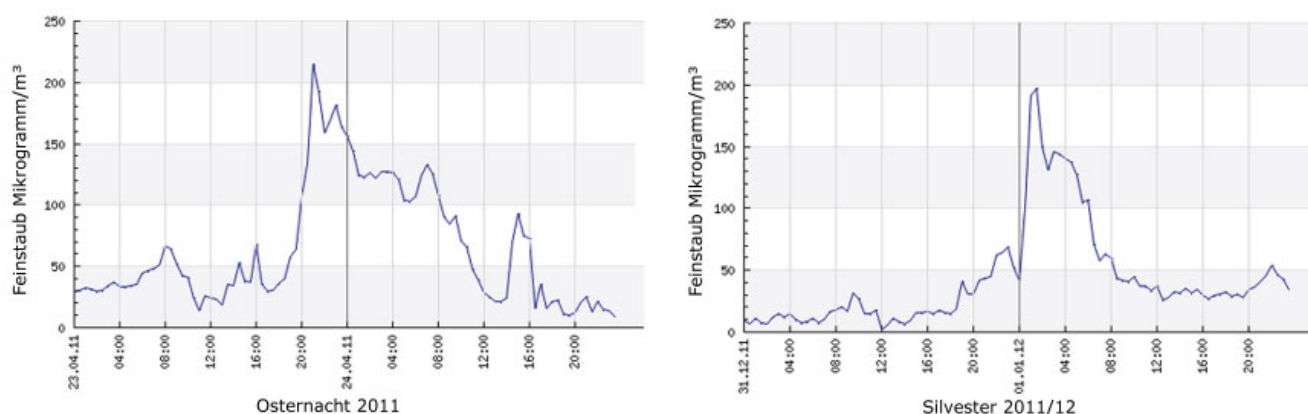


Abb. 3: Verlauf der Feinstaubmessungen in Kapfenberg in der Osternacht 2011 (links) und zu Silvester 2011/12 (rechts)

berg. Die Werte steigen ebenso rapide bis 200 Mikrogramm/m<sup>3</sup> an, allerdings erst kurz nach Mitternacht, was eindeutig auf die Feuerwerke zurückzuführen ist. Auch hier pendelt sich der Wert erst am Vormittag des 1. Jänner wieder auf Normalwerte ein.

Beide Ereignisse führten dazu, dass jeweils an einem Tag der gesetzliche Grenzwert für das Tagesmittel (50 Mikrogramm/m<sup>3</sup>) überschritten wurde. Solche Überschreitungstage darf es an einer Station laut Gesetz nur 25-mal pro Jahr geben. An vielen Stationen der Steiermark liegt die tatsächliche Anzahl an Überschreitungstagen aber höher. Allein durch diese zwei Brauchtumsveranstaltungen hat Kapfenberg im dargestellten Jahr zwei Tage aufgebraucht.

Werden zu viele Überschreitungstage erreicht, droht eine Klage der EU, was auch bereits im Gange ist - Strafzahlungen können die Folge sein. Neben dem gesundheitlichen Aspekt ist also auch deshalb eine Minimierung der Überschreitungstage dringend erforderlich.

Während man im Großraum Graz bereits darauf reagiert hat und Oster- und Sonnwendfeuer komplett verboten hat, gibt es hier bezüglich Silvesterfeuerwerk noch kaum Sensibilisierung bei den VerursacherInnen, also bei uns.

Rein aus gesetzlicher Sicht wäre die Sachlage allerdings klar, denn das Pyrotechnikgesetz besagt, dass die Verwendung pyrotechnischer Gegenstände der Kategorie F2 im Ortsgebiet verboten ist. Zur Kategorie F2 zählen alle üblichen „Silvester-Klassiker“ wie Lady Cracker, Schweizer Kracher, Vulkane, Raketen, Heuler und Schwärmer, Sonnen-

räder, Römische Lichter, Batterien (Cakes) u. ä. D. h. man dürfte auch zu Silvester eigentlich sowieso keine Feuerwerke im Ortsgebiet zünden, es sei denn, der Bürgermeister nimmt mit Verordnung bestimmte Teile des Ortsgebietes von diesem Verbot aus. So sind etwa die von einer Gemeinde offiziell veranstalteten Feuerwerke legal, privat

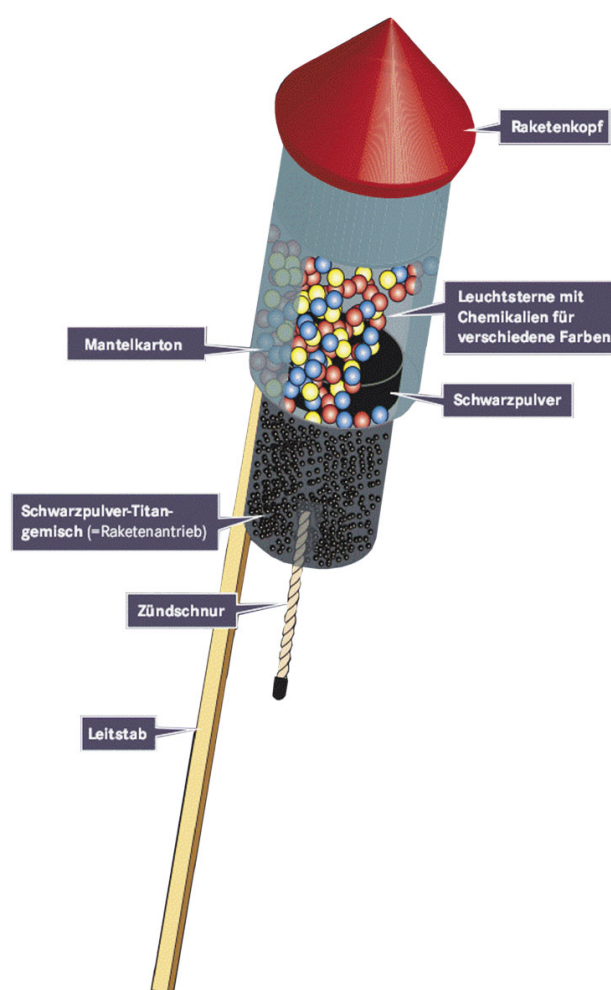


Abb. 4: das Innenleben einer Silvesterrakete (Quelle: DPA/APA)

angezündete Feuerwerke aber illegal. Zu Silvester wird aber in unseren Köpfen offenbar dieser Umstand außer Kraft gesetzt bzw. ist vielfach unbekannt.

Was hinter dieser „Silvester-Anarchie“ steckt und warum sie weitgehend toleriert wird, könnte als Extrapunkt behandelt werden. Als Argument für eine Beibehaltung dieses „Brauchtums“ wird meist dessen wirtschaftliche Relevanz für den Handel angeführt. Darüber hinaus sind Feuerwerke natürlich für viele Menschen auch stark emotional positiv besetzt, da sie die Neujahrsnacht zu einem besonderen Moment im Jahreskreis machen.

Bei einer genaueren Betrachtung der Problemfelder von Feuerwerken relativieren sich diese Punkte jedoch durchaus. Neben den Bereichen Lärm, Abfall, Verletzungsgefahr ist ein nicht unbeachtendes Problem die hohe Luftbelastung durch Silvesterraketen und v. a. auch die in den Abgasen der Feuerwerke enthaltenen Stoffe, die zur Farbgebung oder für andere Effekte verwendet werden. Abb. 4 zeigt das Innenleben einer Silvesterrakete mit deren bedenklicher Beladung.

Die Beilage „Gefahrenstoffe in Silvesterraketen“ zeigt ferner eine Liste von Stoffen, die in Feuerwerkskörpern enthalten sind bzw. auch deren Gefährlichkeit. Ein Großteil der Substanzen gilt als gesundheitsgefährdend, einige auch als umweltgefährlich oder giftig (Abb. 5).

## Gesundheitliche Folgen

Bei der Verbrennung von Feuerwerkskörpern wird eine Mischung dieser chemischen Stoffe explosionsartig freigesetzt. Beim Abbrennen laufen zwischen den vermengten Stoffen chemische Reaktionen ab. Dabei bildet sich eine Vielzahl neuer Substanzen unbekannter Zusammensetzung

und Schädlichkeit. Die gesundheitsschädigende Wirkung des Staubes verstärkt sich dadurch, dass die stark zerklüftete Oberfläche der feinen Staubteilchen eine Anlagerung von weiteren toxischen Substanzen ermöglicht, die so in den Körper getragen werden können. Zu Silvester sind es primär Schwermetallverbindungen, die sich an den Staubpartikeln festsetzen.

Dass diese Stäube nicht in der Luft oben bleiben, sondern nach der Explosion langsam wieder zu Boden fallen, zeigt die Kurve in Abb. 3, die ja die Belastung der Atemluft in Bodennähe zeigt und nicht die Belastung der Luft in 50 oder 100 Metern Höhe.

Die große Gefahr, die von Feinstaub ausgeht, liegt wie erwähnt in seiner geringen Größe, denn je kleiner Partikel sind, desto tiefer können sie in die Atemwege eindringen. Je nach Größe besitzen Stäube unterschiedliche „Lungengängigkeit“ (Abb. 6):

- Schwebstaub nennt man in der Luft vorhandene Partikel größer als 10 µm (Mikrometer).
- Feinstaub PM10 (kleiner als 10 µm) gelangt bis in oberen Atemwege.
- Feinstaub PM2,5 (kleiner als 2,5 µm) dringt tief in die Lunge bis zu den Bronchiolen vor.
- Ultrafeinstaub PM1,0 (kleiner als 1,0 µm) kann sogar in die Lungenbläschen eindringen und in Folge in die Blutbahn gelangen.

Da es auch in der Natur Feinstäube gibt (Gesteinsstaub, Pollenfragmente ...) wurde unser Körper im Laufe der Evolution mit Abwehrmechanismen ausgestattet, die diese Stäube wieder aus dem Körper entfernen (zB husten, niesen, Flimmerhärchen in der Lunge, die den Staub wieder nach oben transportieren), allerdings treten heute durch menschliche Verbrennungsprozesse Staubgrößen auf, mit denen der Körper nicht oder nur schwer umgehen

 gesundheits-schädlich (Gefahr)	 explosiv	 hoch-entzündlich	 ätzend
 umwelt-gefährlich	 giftig	 oxidierend	 gesundheits-gefährdend (Warnung)

Abb. 5: Gefahrensymbole für Stoffe, die in Raketen enthalten sind - siehe auch Beilage „Gefahrenstoffe in Silvesterraketen“



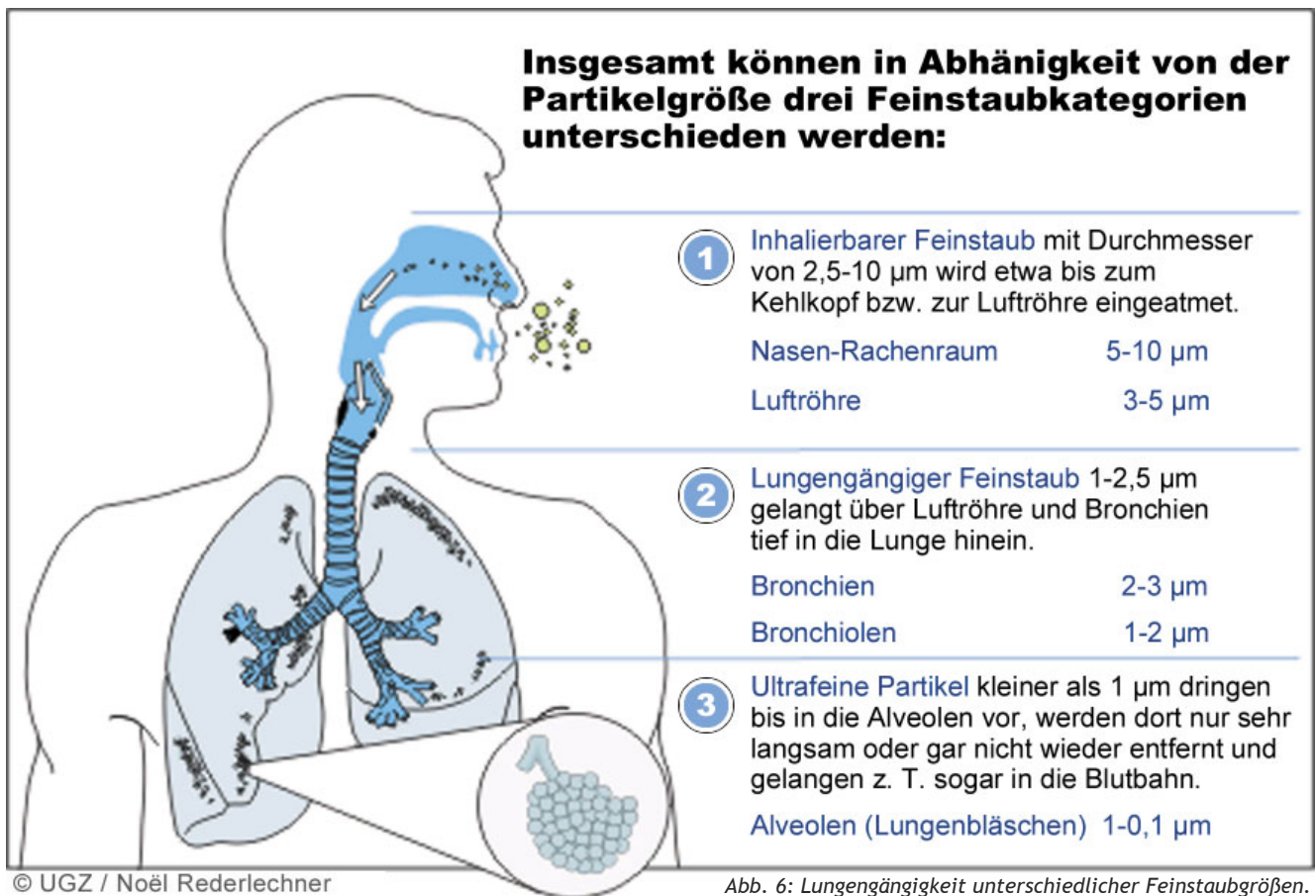


Abb. 6: Lungengängigkeit unterschiedlicher Feinstaubgrößen.

kann. Ultrafeinstäube, die in Motoren oder eben bei Feuerwerken entstehen und eingeatmet werden, können deshalb nur langsam oder gar nicht mehr aus dem Körper entfernt werden. Besonders drastisch ist das natürlich beim Rauchen zu sehen.

Welche Belastung durch Feinstaub gilt nun aber als gefährlich für uns? Hier gibt es zwar einen Grenzwert der Feinstaubbelastung (Tagesmittelwert), der nicht überschritten werden sollte, allerdings sind Grenzwerte immer nur ein Kompromiss aus politischer, wirtschaftlicher und gesundheitlicher Sicht. Gerade beim Feinstaub gibt es nämlich eigentlich überhaupt keinen Schwellenwert, unter dem keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit auftreten können. D. h. jeder Feinstaub, der in die Atemluft kommt, ist eine potentielle Gefahr. Als besonders anfällig für Feinstaubbelastung gelten:

- Ungeborene, Säuglinge und Kleinkinder
- Personen mit Erkrankungen der Atemwege (Asthma, COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Lungenemphysem usw.) und des Herzkreislaufsystems
- Ältere Menschen

Eine akut erhöhte Partikelbelastung kann bei diesen, aber auch bei weniger vorbelasteten Personen zu folgenden Gesundheitsauswirkungen führen:

- entzündliche Prozesse
- gravierende Intoleranz-Reaktionen der Lunge mit schwerwiegenden Folgereaktionen sämtlicher Körperorgane
- negative Auswirkungen auf das Herzkreislaufsystem (zB Herzinfarkt)
- Zunahme des Medikamentengebrauchs
- Zunahme der Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegs- und Herzkreislaufproblemen
- erhöhte Sterblichkeit

Das Auftreten von größeren Feinstaubteilchen (PM10) bewirkt dabei eher Husten oder Asthmaanfälle, das Auftreten feinerer Stäube (PM2,5) dagegen eher zB Herzrhythmusstörungen. Das Diagramm in Abb. 7 zeigt eine Messung aus Wien in der Silvesternacht des Jahrtausendwechsels, welches verdeutlicht, dass es zu Silvester zu einem Anstieg aller Größenfraktionen von Feinstaub kommt.

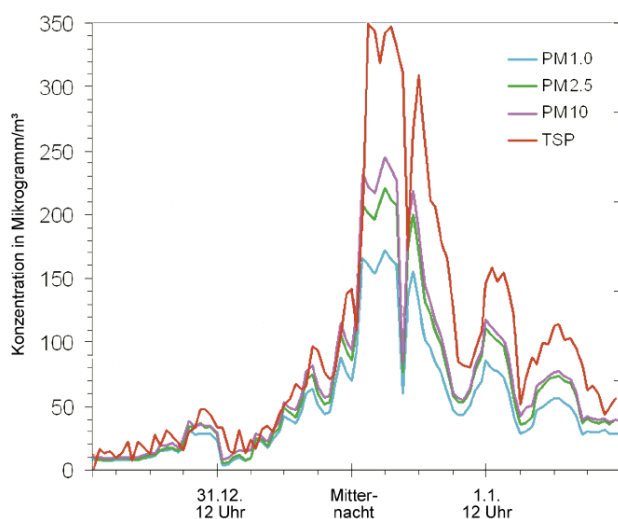


Abb. 7: Verlauf der Feinstaubmessungen in Wien zu Silvester 1999/2000

Die am stärksten steigende rote Kurve zeigt die Konzentration des sog. Schwebstaubs (TSP). Das sind Stäube, die größer sind als Feinstaub. Doch auch Feinstäube (PM10, PM2,5, PM1,5) steigen alle deutlich an. PM10 ist also schon kleiner als ein tausendstel Millimeter und deshalb besonders lungengängig. Die Luftproblematik zu Silvester liegt also auf der Hand, besonders wenn man bedenkt, welche Inhaltsstoffe aus den Raketen dann in der Luft enthalten sind. Leider gibt es hierzu in Österreich kaum wissenschaftliche Studien, auch deshalb, weil die Zahl der den Feuerwerkskörpern beigefügten Metalle sehr unübersichtlich ist.

Eine Kooperationsstudie von Schweizer und spanischen WissenschaftlerInnen beschreibt in einer toxikologischen Analyse jedoch, dass viele der verbleibenden Metallpartikel bioreaktiv sind und somit die menschliche Gesundheit beeinträchtigen können. Schwerpunkt der Analyse waren Partikelrückstände aus Metallen, die dem Raketen-Schwarzpulver zugesetzt werden, um die Farbeffekte zu erzeugen. So verwendet man etwa Strontiumsalze oder Lithium für die Farbe Rot, Barium, Kupfer und Zink für Grün, Natriumsalze für Gelb, Magnesium für Weiß und Blei oder Arsen für Blau. Entsprechend ließen sich kleinste Partikel von 30 derartigen Metallen in der Luft feststellen - darunter zudem auch Aluminium, Antimon, Kalium, Titan, Stickstoffmonoxid und Sulfurdioxid.

Bei der Wiener Untersuchung, aus der auch Abb. 7 stammt, wurde in der Silvesternacht eine deutliche Steigerung von u. a. Kalium (K), Magnesium

(Mg), Chlor (Cl) und Natrium (Na) in der Atemluft gemessen. Die Auswirkungen oder Kombinationswirkungen der unterschiedlichen Schadstoffe in der Atemluft zu Silvester sind allerdings noch vielfach unerforscht.

### Vergleich mit Emissionen aus anderen Quellen

Wie bedeutend sind die Emissionen zu Silvester nun aber im Vergleich zu anderen Feinstaubquellen bzw. im Jahresvergleich. Eine Schweizer Studie bewertet Feuerwerke als Emissionsquelle gemessen an der Gesamtemission als von untergeordneter Bedeutung. Beim jährlichen Gesamtstaub ist rund 1 % auf Feuerwerke zurückzuführen. Diesen Wert kann man auch für Österreich annehmen, auch wenn genaue Untersuchungen hier fehlen. Folglich sind natürlich andere Feinstaubquellen wesentlich problematischer, da sie über lange Zeiträume (zB Hausbrand im Winterhalbjahr) oder über das gesamte Jahr (zB Verkehr) emittieren, während es sich bei Feuerwerken um wenige Stunden pro Jahr handelt, sofern man nur den Jahreswechsel betrachtet und nicht auch noch die immer häufiger auch unter dem Jahr zu hörenden Privatfeuerwerke bei Firmenfeiern, Geburtstagen u.ä.

Für kurzfristige Spitzenbelastungen - auch bei Betrachtung des gesamten Jahresverlaufs der Feinstaubbelastung - ist das Silvesterfeuerwerk aber jedenfalls von Bedeutung.

### Zusammenhang Luftbelastung und Wetter

Betrachtet man die Feinstaubmesswerte vergangener Silvesternächte, aber auch Osternächte, wird man feststellen, dass nicht jedes Jahr extrem hohe Werte während der betroffenen Zeiträume zu finden sind. Zu Ostern ist in manchen Jahren sogar überhaupt keine Belastungsspitze zu erkennen, wie zB in der Osternacht 2013. Der Grund war natürlich das Regenwetter in diesem Zeitraum, das viele Osterfeuer überhaupt verhinderte oder deren Abgase schnell wieder aus der Luft ausgewaschen hat. Zu Silvester werden zwar bei jedem Wetter Feuerwerke gezündet, allerdings kann auch hier Regen, Schneefall oder Wind die Schmutzpartikel schnell wieder auswaschen oder abtransportieren.

Besonders hohe Belastungssituationen entstehen

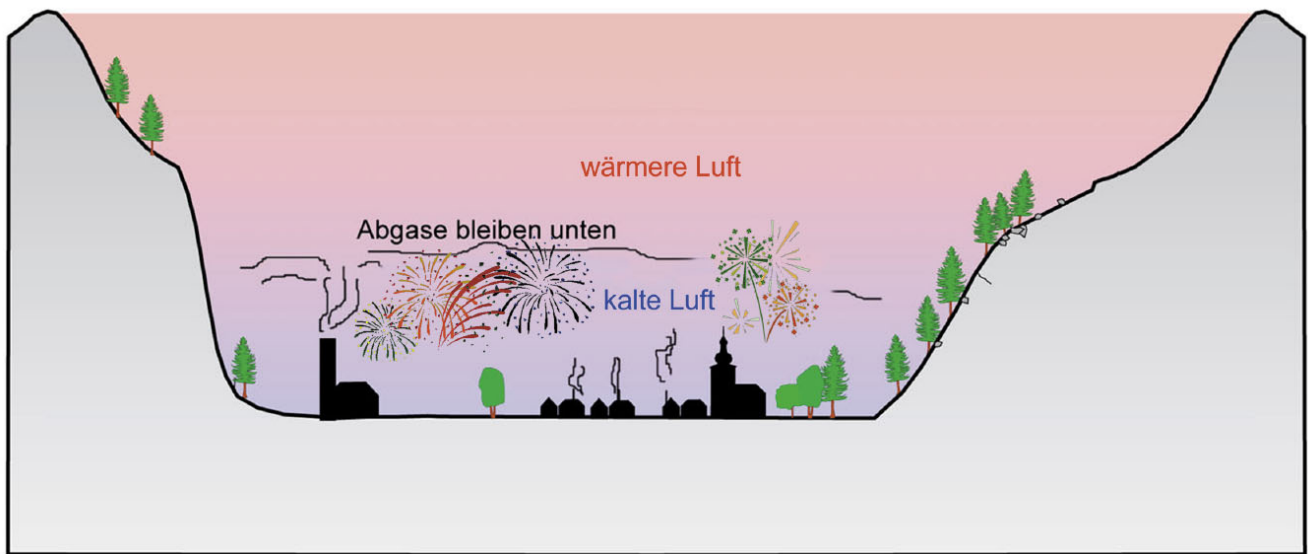


Abb. 8: Inversionswetterlage mit kalter Luft in Bodennähe. Die wärmere Luft darüber wirkt wie ein Deckel, der Luft und Abgase von unten nicht nach oben aufsteigen lässt. Emissionen von Verkehr, Industrie, Hausbrand oder Feuerwerken bleiben so in der Atemluft.

bei stabilem Hochdruckwetter, wenn sich in den Tal- und Beckenlagen in der Silvesternacht Kaltluftseen bilden. Da kalte Luft schwerer ist als warme, bleibt sie bei Windstille in Bodennähe und verhindert so einen vertikalen Luftaustausch. Sämtliche Emissionen bleiben dann in dieser Luftschicht „gefangen“ und konzentrieren sich in den untersten, bodennahen Bereichen (Abb. 8). Solche Situationen nennt man Inversionswetterlagen, bei denen immer - nicht nur zu Silvester - sehr hohe Feinstaubwerte gemessen werden.

Die Steiermark ist v. a. in ihren Landesanteilen südlich des Alpenhauptkammes besonders anfällig für Inversionswetterlagen, dazu zählen etwa Graz und die Niederungen der gesamten Ost- und Weststeiermark. Aber auch in Tal- und Beckenlagen des


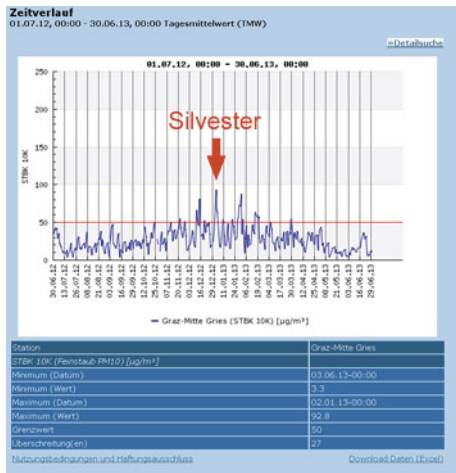
Gebirgsanteiles der Steiermark sind Inversionen im Winterhalbjahr häufig anzutreffen.

Aus diesem Grund treten Überschreitungen der Feinstaubgrenzwerte auch vorwiegend im Winterhalbjahr auf, da Inversionen im Sommerhalbjahr selten bzw. nur nachts vorkommen und sich tagsüber bei Sonneneinstrahlung schnell wieder auflösen.

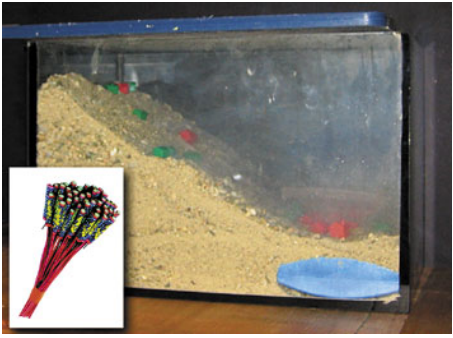
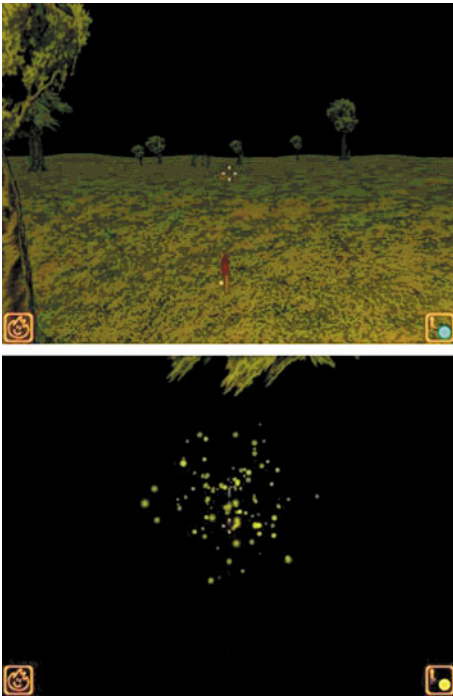
Der Bau eines Inversionsmodells, das die Luftbelastung zu Silvester verdeutlichen soll, wird Teil der folgenden didaktischen Umsetzung sein.

## Didaktische Umsetzung

In dieser Unterrichtseinheit können SchülerInnen selbst Feinstaubmesswerte im Internet recherchieren und analysieren. Ein Inversionsmodell wird gebaut, um die Emissionsproblematik im Winterhalbjahr zu verdeutlichen.

Inhalte	Methoden
<b>Hinführung zum Thema</b>	
<b>5 Minuten</b>	
<p><i>Welche Feinstaubquellen kennen die SchülerInnen?</i></p> 	<p><u>Material</u> Tafel, Kreide</p> <p>Die SchülerInnen werden befragt, ob sie wissen, was Feinstaub ist und woher er stammen könnte. Genannte Feinstaubquellen werden auf die Tafel geschrieben.</p> <p>Beispiele für Feinstaubquellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehr</li> <li>• Hausbrand/Heizung</li> <li>• Industrie</li> <li>• Zigarette</li> <li>• Osterfeuer</li> <li>• Silvesterraketen</li> <li>• Baustellen</li> <li>• Steinbrüche</li> <li>• Vulkanausbrüche</li> <li>• Kraftwerke</li> <li>• Waldbrände</li> <li>• usw.</li> </ul>
<b>Online-Feinstaubmesswerte</b>	
<b>20 Minuten</b>	
<p><i>Messwerte werden online abgefragt und analysiert.</i></p> 	<p><u>Material</u> Beilage „Online-Feinstaubmesswerte“, PCs mit Internetzugang</p> <p>Auf <a href="http://www.feinstaub.steiermark.at">www.feinstaub.steiermark.at</a> können Messwerte der steirischen Messstationen online abgerufen werden. Hier stehen sowohl aktuelle Werte der Feinstaubbelastung, eine Prognose für die nächsten Stunden als auch Mittelwerte der vergangenen Jahre zur Verfügung.</p> <p>Die SchülerInnen sollen, wie in der Beilage beschrieben, für einen festgelegten Zeitraum die Messwerte abfragen und analysieren. In welchem Zusammenhang stehen die Komponenten „Feinstaub“, „Niederschlagsmenge“ und „Windgeschwindigkeit“?</p> <p>Nach Abschluss der Analyse können auch unterschiedliche Stationen verglichen werden. Wo gab es höhere Belastungen?</p>



Bau eines Inversionsmodells	20 Minuten
<p><i>Um die Problematik im Winterhalbjahr zu demonstrieren, wird eine Inversions-situation zu Silvester nachgestellt.</i></p> 	<p><u>Material</u>          Beilage „Bau eines Inversionsmodells“          1 kleines Aquarium, Kühlakku in Kühltasche, Handwärmer, Sand, Spielhäuser (zB Monopoly), Innen-Außenthermometer mit externem Fühler, Karton oder Brett als Deckel, Babyrakete als Rauchquelle, Wasserspritze mit Zerstäubungsmöglichkeit, Infrarotlampe, Föhn, 1 Glas Wasser</p> <p>Das Modell zeigt, wie viel Rauch und Staub bereits eine kleine „Baby-Rakete“ erzeugt und wie deren Emissionen bei Inversionswetterlage in Bodennähe verbleiben.</p>
Alternativen suchen	5 Minuten
<p><i>Welche Alternativen zu einem privaten Feuerwerk gibt es?</i></p> 	<p><u>Material</u>          PCs, Tafel</p> <p>Abschließend können noch gemeinsam Möglichkeiten besprochen werden, welche Vorteile es neben der Luftentlastung haben könnte, auf private Feuerwerke zu verzichten (zB Geldersparnis) und welche Alternativen es geben könnte (zB Besuch eines öffentlichen, genehmigten Feuerwerks).</p> <p>Die Freeware „Silvester Sim“ kann von den SchülerInnen von <a href="http://www.computerbild.de/download/Silvester-Sim-2166556.html">http://www.computerbild.de/download/Silvester-Sim-2166556.html</a> heruntergeladen werden. Dieser einfach zu bedienende Silvester-Simulator ermöglicht das Abschießen eines schadstofffreien Feuerwerks am Bildschirm.</p>

## Beilagen

- ▶ Online-Feinstaubmesswerte
- ▶ Bau eines Inversionsmodells
- ▶ Gefahrenstoffe in Silvesterraketen

## Weiterführende Themen

- ▶ Müll durch Silvesterraketen
- ▶ Herstellungsbedingungen, Kinderarbeit
- ▶ Lärmproblematik
- ▶ Verletzungsgefahr

## Weiterführende Informationen

- Thema Luftproblematik und Feinstaub in der Steiermark, inkl. Unterrichtsmappe „Unser Lebensmittel Luft“  
[www.ubz-stmk.at/luft](http://www.ubz-stmk.at/luft)
- Thema Lärm, inkl. Unterrichtsmaterialien  
[www.ubz-stmk.at/laerm](http://www.ubz-stmk.at/laerm)  
[www.laermmachtkrank.at](http://www.laermmachtkrank.at)



### Noch Fragen zum Thema?

Mag. Michael Krobath  
Projekte „KlimaFit“, „Unser Lebensmittel Luft“ und  
„Schulatlas Steiermark“  
Telefon: 0043-(0)316-835404-2  
E-Mail: [michael.krobath@ubz-stmk.at](mailto:michael.krobath@ubz-stmk.at)



[www.ubz-stmk.at](http://www.ubz-stmk.at)

## Online Feinstaubmesswerte



Wenn der Klasse der EDV-Raum zur Verfügung steht, kann die Website [www.feinstaub.steiermark.at](http://www.feinstaub.steiermark.at) besucht werden. Dort links „Onlinedaten“ anklicken und dann in Bildschirmmitte „Detailsuche“.

In der folgenden Maske kann man sich eine beliebige Messstation der Steiermark aussuchen und bei „Komponente“ Feinstaub auswählen. Bei „Auswertungszeitraum und Mittelwert“ wird dann ein ganzes Jahr gewählt und zwar so, dass im erscheinenden Diagramm der Jahreswechsel in Achsenmitte ist, also zB vom 30. Juni 2012 bis zum 30. Juni 2013.

Als Mittelwert wählt man TMW (Tagesmittelwert). Dann auf „Abfrage starten“ klicken. Es erscheint der Feinstaubverlauf für den Zeitraum eines Jahres. Im Beispiel (s. u.) ist es die Station „Graz-Mitte“ von Juni 2012 bis Juni 2013.

Man erkennt ein ständiges Auf und Ab der Messwerte, wobei die geringen Belastungen natürlich immer nachts bei fehlendem bzw. geringem Verkehr auftreten.

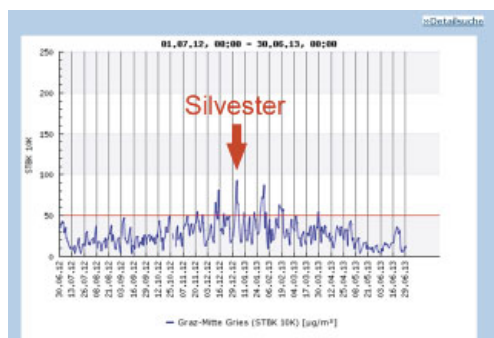
Die rote Linie zeigt den Grenzwert von 50 Mikrogramm/m<sup>3</sup>, der nicht überschritten werden sollte. Überschreitungen gibt es jedoch zahlreiche im Winterhalbjahr.

Das Augenmerk wird nun auf die Spitzen im Lauf des Jahres gelegt. Gibt es zu Silvester solche Spitzen?

Wenn ja, sind diese mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das mitternächtliche Feuerwerk zurückzuführen (im Beispieldiagramm (s. u.) war die Silvesterspitze sogar die höchste des Jahres).

Wenn nein, müsste kontrolliert werden, wie zu diesem Zeitpunkt das Wetter war. Hat es geregnet oder geschneit? Wehte starker Wind?

In derselben Abfragemaske kann man statt „Feinstaub“ die Komponenten „Niederschlagsmenge“ oder „Windgeschwindigkeit“ auswählen (siehe Bild unten). Wenn es Niederschläge oder starken Wind gab, lassen sich somit fehlende Feinstaubspitzen erklären.



Auswahl: Station und Schadstoffkomponente			
Station	Komponente	Station	
Leoben	Windgeschwindigkeit (WIGE)	-- Bitte wählen Sie --	
-- Bitte wählen Sie --	-- Bitte wählen Sie --	-- Bitte wählen Sie --	
Auswahl: Auswertungszeitraum und Mittelwert			
Datum von	Tag	Jahr	Mittelwert
30.06.12	30	2011	TMW (Tagesmittelwert)
Datum bis	2	2013	
» Direkt-Download der Daten (CSV)			

## Bau eines Inversionsmodells

**Aufgabe:** Formt ein Landschaftsmodell, in dem ihr eine Inversion entstehen lässt.

**Ziel:** Erklärt, warum Becken- und Tallandschaften in Bezug auf die Schadstoffausbreitung benachteiligt sind.

### Folgt den Arbeitsschritten!

- 1.) Legt den Boden des Aquariums mit Kühlakkus aus der Kühltasche aus (Bild 1).
- 2.) Schüttet den Sand gleichmäßig verteilt über die Kühlakkus, bis das Aquarium zur Hälfte gefüllt ist (Bild 2 und Bild 3).
- 3.) Formt aus dem Sand eine Berg- und Tallandschaft. Achtet dabei darauf, dass das Tal bis knapp über die Kühlakkus reicht - nur so kann die Luft unten schnell abkühlen. Es darf also nur eine dünne Sandschicht über den Akkus im Tal liegen.
- 4.) Baut die Häuser in die Landschaft ein. Ihr könnt zB eine Stadt im Tal bauen und einige Häuser auf die Hänge und Berge stellen (Bild 4).
- 5.) Nehmt nun den Temperaturfühler des Digital-Thermometers und hängt ihn so in das Aquarium, dass er knapp über dem Talboden schwebt. Er soll die Lufttemperatur messen und nicht den Boden berühren. Das Gerät selbst stellt ihr neben dem Aquarium auf den Tisch.
- 6.) Deckt nun das Aquarium mit einem Deckel/Brett ab. Da es nun 3-4 Minuten dauert, bis die Luft im Tal abgekühlt ist, müsst ihr solange warten. Wenn die Temperatur im Aquarium 2-3 Grad unter der Temperatur außerhalb liegt, geht's weiter.
- 7.) Während ihr wartet, diskutiert über folgende Fragen:
  - a) Wo wird sich die Luft im Aquarium am stärksten abkühlen und warum?
  - b) Kann so etwas auch in Wirklichkeit, zB in eurer Heimatgemeinde geschehen? Wenn ja, beschreibt das Gelände bei euch zuhause.
  - c) In welcher Jahreszeit und unter welchen Bedingungen kann sich die Luft in Talnähe besonders stark abkühlen?

Bild 1

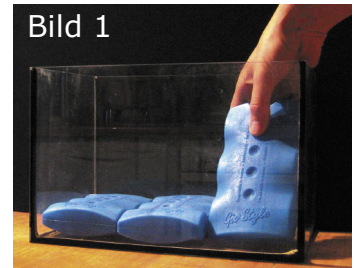


Bild 2

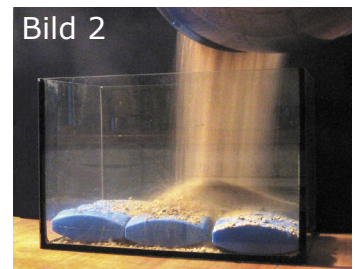


Bild 3

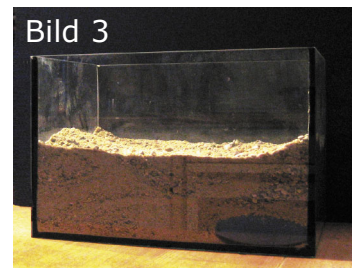


Bild 4

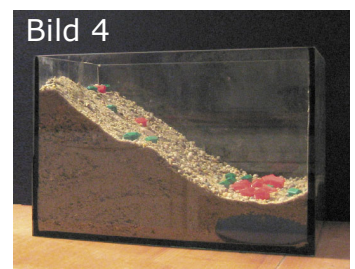
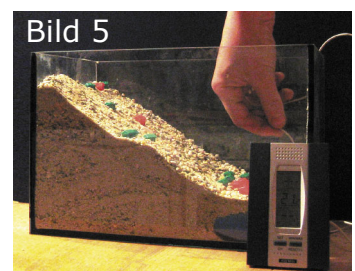


Bild 5





- 8.) Wenn der Temperaturunterschied erreicht ist, schiebt die Abdeckung leicht zur Seite, sodass nur ein kleines Eck offen steht.

- 9.) Nun muss Rauch im Aquarium erzeugt werden, bis es so richtig vernebelt ist (Bild 6). Am besten geht das mit einer „Baby-Rakete“.

*Diese müsst ihr folgendermaßen vorbereitet haben: Raketenkopf vom Stiel abtrennen und mit Klebeband verkehrt herum wieder fest aufkleben, damit die Zündschnur nach vorne zeigt.*

- 10.) Rakete am Stielende halten, Zündschnur anzünden, Zündkopf ins Aquarium stecken und Deckel fest draufdrücken. Vorsicht: Beim Zünden fliegen u. U. einige Funken trotzdem unterm Deckel raus.

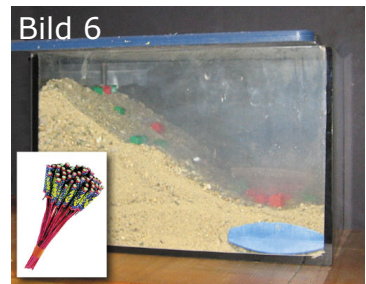
*Bei Blindgängern Deckel nicht gleich wieder öffnen, sondern 2 Minuten warten und dann Raketenkopf schnell in ein Glas Wasser stecken.*

- 11.) Nach Zündung Rakete entfernen und Aquarium wieder ganz abdecken. Ca. 1 Minute warten, bis sich der Rauch regelmäßig verteilt und „beruhigt“ hat.

- 12.) Danach Deckel **ganz langsam** entfernen. Achtet außerdem darauf, dass ihr **keine schnelle Bewegung** macht und keine Luftwirbel entstehen, sonst funktioniert das Experiment u. U. nicht.

- 13.) Stellt den Deckel langsam außen an die Rückwand des Aquariums, dadurch ist der Rauch besser sichtbar. Nun sollte sich ein Teil des Rauches aus dem Aquarium heben, in den Tälern und Becken eurer Landschaft aber liegen bleiben (Bild 7).

- 14.) Leuchtet man mit einer Infrarotlampe (=Sonne) von oben ins Aquarium, beginnt sich der Rauch zu heben, die Inversion wird aufgelöst. Auch ein Wasserzerstäuber (=Regen) oder ein Föhn (=Wind) kann die Inversion auflösen.



### Variante, falls zwei Experimentier-Sets vorhanden sind
















Neben dem ersten Aquarium (Wintersituation) wird noch einmal dasselbe Modell mit Handwärmer (Sommersituation, Bild 8) statt Kühlakkus aufgestellt. Hier wird die bodennahe Luft stark erwärmt - der Rauch steigt sofort nach Öffnen des Deckels auf.

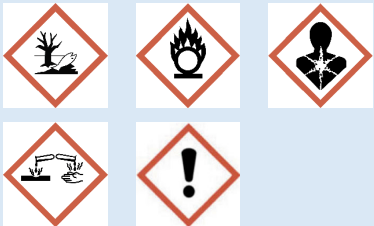









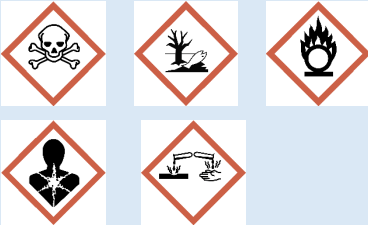








### Materialliste

1 kleines Aquarium, Kühlakkus in Kühltasche, Handwärmer, Sand, Spielhäuser (zB Monopoly), Innen-Außenthermometer mit externem Fühler, Karton oder Brett als Deckel, Babyrakete als Rauchquelle, Wasserspritze mit Zerstäubungsmöglichkeit, Infrarotlampe, Föhn














## Gefahrenstoffe in Silvesterraketen








Name	Gefahren	Funktion	H/P-Sätze
Antimon(III)-sulfid $\text{Sb}_2\text{S}_3$	  Gemische mit Oxidatoren sind explosiv und empfindlich. Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel (für Glitter-Effekte oder zur Erhöhung der Sensibilität von Knallsätzen)	H302, H332, H411 P273
Arsen(III)-sulfid $\text{As}_2\text{S}_3$	 	Reduktionsmittel	H301, H331, H410 P270, P273, P302+P352, P309+P310, P501
Bariumcarbonat $\text{BaCO}_3$	 Signalwort: Achtung	Hilfsstoff (grüne Farbe bei Hochtemperaturflammen, Verzögerung bei Glitter-Effekten)	H305
Bariumchlorat $\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$	   Noch instabiler und reibungsempfindlicher als Kaliumchlorat (siehe unten). Darf niemals mit Schwefel, Sulfaten, Sulfiden, $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , Ammoniumsalzen oder Metallpulvern gemischt werden. Signalwort: Gefahr	Oxidationsmittel (Farbgeber in grün brennenden Feuerwerkssätzen und Sternen)	H271, H302, H332, H411 P220, P273
Bariumnitrat $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	  Signalwort: Gefahr	Oxidationsmittel (Farbgeber für schwaches Grün, silberne Leucht- und Knallsätze)	H272, H302+H332 P210, P302+P352
Bariumperchlorat $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	  Signalwort: Gefahr	Oxidationsmittel (nur selten für grün brennende Sätze verwendet)	H271, H302+H332 P210, P221
Bariumperoxid $\text{BaO}_2$	  Signalwort: Gefahr	Oxidationsmittel (für Lichtspur- und Thermitanzündsätze)	H272, H332, H302 P220
Bismut(III)-sulfid $\text{Bi}_2\text{S}_3$	 Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel	H315, H319, H335 P261, P305+P351+P338

<p>Blei(II)-nitrat <math>\text{Pb}(\text{NO}_3)_2</math></p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel (selten für Funkenbildung in Sternen und Brandsätzen)</p> <p>H272, H302 + H332, H318, H360Df, H373, H410 P201, P220, P273, P280, P305 + P351 + P338, P308 + P313</p>
<p>Blei(II,IV)-oxid <math>\text{Pb}_3\text{O}_4</math></p>	 <p>Spaltet bereits bei ca. 400 Grad Sauerstoff ab und ist mit Metallpulvern extrem explosiv. Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel (für Crackling-Micro-Sterne oder als Knallstern-Kerne)</p> <p>H360Df, H302, H332, H373, H410 P260, P281, P304, P340, P405, P501</p>
<p>Borsäure <math>\text{H}_3\text{BO}_3</math></p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Hilfsstoff (Stabilisator zur Stabilisierung des PH-Wertes in Nitrat-Aluminium Gemischen)</p> <p>H360FD P201, P308+P313</p>
<p>Caesium Cs</p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Hilfsstoff (Farbgeber: violett)</p> <p>H260, H314 EUH014 P260, P231+P232, P280, P305+P351+P338, P370+P378, P422</p>
<p>Cobalt Co</p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Hilfsstoff (Farbgeber: tiefblau)</p> <p>H334, H317, H413 P273, P280, P304+P341, P342+P311, P302+P352</p>
<p>Guanidiniumnitrat <math>\text{CH}_6\text{N}_4\text{O}_3</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Reduktionsmittel (für raucharme und farbreine Applikationen)</p> <p>H272, H302, H315, H319, H412 P210, P221, P302+P352, P305+P351+P338, P321, P501</p>
<p>Hexachlorbenzol <math>\text{C}_6\text{Cl}_6</math></p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel</p> <p>H350, H372, H410 Ergänzungen EUH209</p>
<p>Kaliumchlorat <math>\text{KClO}_3</math></p>	 <p>Früher häufig in Feuerwerkskörpern verwendet, wird es heute aufgrund seiner Gefährlichkeit und Instabilität fast vollständig durch Kaliumperchlorat ersetzt. Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel. Nur in den USA und Asien wird Kaliumchlorat noch in Leuchtschern für reine, intensive Farben in großkalibrigen Kugelbomben verwendet.</p> <p>H271, H302, H332, H411 P210, P221, P273</p>

<p>Kaliumdichromat <math>K_2Cr_2O_7</math></p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Hilfsstoff (Stabilisator, Katalysator)</p> <p>H350, H340, H360Df, H272, H330, H301, H312, H372, H314, H334, H317, H410</p> <p>P201, P280, P301+P330+P331, P305+P351+P338, P304+P341, P308+P313</p>
<p>Kaliumperchlorat <math>KClO_4</math></p>	 <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel (sehr häufig für farbige Sterne und in Blitzknall- &amp; Heulsätzen)</p> <p>H271, H302</p> <p>P220</p>
<p>Kupfer(II)-carbonat basisch <math>CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (schwacher blauer Farbgeber)</p> <p>H302, H315, H319, H335, H261</p> <p>P261, P305 + P351 + P338</p>
<p>Kupfer(I)-chlorid <math>CuCl</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (blauer Farbgeber)</p> <p>H302, H410</p> <p>P273, P501</p>
<p>Kupfer(II)-chlorid <math>CuCl_2</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (blauer Farbgeber)</p> <p>H302, H315, H319, H335, H410</p> <p>P261, P273, P305 + P351 + P338</p>
<p>Kupfer(I)-oxid <math>Cu_2O</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (Farbgeber für blauen Farbsaum bei Leuchtsternen oder als Zündverbesserer)</p> <p>H302, H410</p> <p>P273, P501</p>
<p>Kupfer(II)-oxid <math>CuO</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (Farbgeber für blauen Farbsaum bei Leuchtsternen oder als Zündverbesserer)</p> <p>H302, H410</p> <p>P273, P501</p>
<p>Kupferoxychlorid <math>3CuO \cdot CuCl_2 \cdot 3 \frac{1}{2} H_2O</math> <math>H_6Cl_2Cu_4O_6</math></p>	 <p>Signalwort: Achtung</p>	<p>Hilfsstoff (blauer Farbgeber)</p> <p>H302, H410</p> <p>P273, P501</p>
<p>Natriumchlorat <math>NaClO_3</math></p>	 <p>Wie Kaliumchlorat (siehe oben) sehr instabil, mit brennbaren Stoffen entstehen explosive und sehr empfindliche Gemische.</p> <p>Signalwort: Gefahr</p>	<p>Oxidationsmittel</p> <p>H271, H302, H411</p> <p>P220, P273</p>



Natriumnitrat $\text{NaNO}_3$	  Signalwort: Achtung	Farbgeber, in Magnesiumsätzen für hohe Lichtleistungen, Oxidationsmittel  H272, H302, H315, H319, H335 P220, P261, P305 + P351 + P338
Natriumoxalat $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	 Signalwort: Achtung	Hilfsstoff (Orange-Farbgeber in Perchlorat-Sternen)  H302, H312, P280
Natriumsalicylat $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$	 Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel (zusammen mit Kaliumperchlorat in Pfeifsätzen verwendet)  H302, H319 P305 + P351 + P338
Nitroguanidin $\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2$	  Signalwort: Gefahr	Reduktionsmittel (für raucharme und farbreine Applikationen)  H228, H315, H319, H335 P210, P261, P305 + P351 + P338
Polyisopren	Umweltschutzmaßnahmen: Nicht in die Kanalisation gelangen lassen. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben	Hilfsstoff (Farbverbesserer, Binder, für intensive Farbsterne verwendet)
Quecksilber(I)-chlorid $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$	  Signalwort: Achtung	Hilfsstoff (Farbverbesserer für grünleuchtende Fackeln)  H302, H315, H319, H335, H410 P261, P305 + P351 + P338, P501
Schwefel S	 Zusammen mit Chloraten darf Schwefel nicht verwendet werden. Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel (wichtiger Bestandteil von Schwarzpulver-ähnlichen Brandsätzen)  H315
Selen Se	 Signalwort: Gefahr	Hilfsstoff (Farbgeber: hellblau)  H301, H331, H373, H413 P261, P301 + P310, P311
Silicium Si	 Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel (als Hitzelieferant, zB in Zündmänteln für Sterne)  H228 P210
Strontiumnitrat $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	  Signalwort: Achtung	Oxidationsmittel (Farbgeber, bester roter Farbgeber)  H272, H302, H315, H319, H335 P220, P261, P305 + P351 + P338

Tellur Te	 Signalwort: Gefahr	Hilfsstoff (Farbgeber: grasgrün)  H301 P301 + P310
Thallium Tl	  Signalwort: Gefahr	Hilfsstoff (Farbgeber: wiesengrün)  H300, H330, H373, H413, P260, P264, P284, P301 + P310
Titan Ti	 Signalwort: Gefahr	Reduktionsmittel (Farbgeber: für silber-blaue Funken in Fontänen und Knallsätzen)  H250, H252 P210, P222, P280, P235+P410, P422, P420
Urotropin $C_6H_{12}N_4$	  Signalwort: Achtung	Reduktionsmittel (zur Flammenvergrö- ßerung in wenigen Perchlorat-Sternen)  H228, H317 P210, P280
Zink Zn	 Signalwort: Gefahr	Reduktionsmittel (Farbgeber: blassgrün, früher Brennstoff in einigen Sternen und Rauchsätzen)  H251, H261 P231 + P232, P235 + P410, P422

### Zeichenerklärung:

 gesundheits- schädlich (Gefahr)	 explosiv	 hoch- entzündlich	 ätzend
 umwelt- gefährlich	 giftig	 oxidierend	 gesundheits- gefährdend (Warnung)

### Erläuterungen

Die **Signalwörter** geben Auskunft über den relativen Gefährdungsgrad eines Stoffes oder Gemisches:

**GEFAHR:** für schwerwiegende Gefahrenkategorien

**ACHTUNG:** für weniger schwerwiegende Gefahrenkategorien

**Gefahrenhinweise** („**Hazard Statements**“ = **H-Sätze**) beschreiben die Art und den Schweregrad einer Gefahr, die von einem Stoff oder Gemisch ausgeht. Sie lösen die bisher verwendeten R-Sätze ab.

**Sicherheitshinweise** („**Precautionary Statements**“ = **P-Sätze**) treten an die Stelle der S-Sätze.

### Quellen

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/chemikalien/sdb/sdb-datenbanken/>

<http://www.sigmaaldrich.com>

[gestis.itrust.de](http://gestis.itrust.de)

[http://private.freepage.de/cgi-bin/feets/freepage\\_ext/339483x434877d/rewrite/pyrotech/dokumente/Pyro-Chemikalien.htm](http://private.freepage.de/cgi-bin/feets/freepage_ext/339483x434877d/rewrite/pyrotech/dokumente/Pyro-Chemikalien.htm)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Pyrotechnischer\\_Satz](http://de.wikipedia.org/wiki/Pyrotechnischer_Satz)

<http://zivil-courage.host22.com/index.php?web=2&pid=7&art=1014>