

Feinstaubbelastung in städtischen Ballungsräumen zu Silvester

Fachbereich Luftgüte, Abteilung Waldschutz

1. Allgemeines und Ziel der Studie

Alljährlich zum Jahreswechsel, aber auch zunehmend zu anderen Anlässen im Jahreslauf, werden in Tirol Tonnen an Feuerwerkskörpern abgebrannt. Dies entspricht einer langen Tradition, führt aber auch zu Beschwerden von Bürgerinnen und Bürgern hinsichtlich des Lärms, Gestanks und möglicher Schadstoffimmissionen. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zur Auswirkung von Feuerwerksepisoden auf die Atemluft zeigen signifikante Zunahmen an Carbonylen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und polychlorierten Dibenzo-p-furanen und -dioxinen. Weiters werden auch sehr hohe Belastungen mit Feinstaub und Ultrafeinstaub und den darin enthaltenen Metallen aufgezeigt (siehe u.a. Von Arx U. 2014). Eine Studie zum Beispiel beziffert die Anzahl an ultrafeinen Partikeln (Größenklasse 200 bis 500 nm) bis um das 6-fache erhöht gegenüber der feuerwerksfreien Zeit (Zhao et al., 2014).

Auch an den Tiroler Messstellen wird am Neujahrstag der Tagesgrenzwert für Feinstaub von $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) meist überschritten. In der vorliegenden Studie werden die Messdaten im Tiroler Luftgütemessnetz hinsichtlich der Feinstaubbelastung zu Silvester in verschiedenen städtischen Ballungsräumen zusammengefasst und durch weitergehende Metallanalysen der Feinstäube PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ (Partikel mit aerodynamischen Durchmessern von $\leq 10 \mu\text{m}$ bzw. $\leq 2,5 \mu\text{m}$) ergänzt.

2. Material und Methode

Die für diese Studie relevanten Luftschadstoffe PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ werden an den jeweiligen Messstellen im Tiroler Luftgütemessnetz kontinuierlich mittels Beta-Strahlungsabsorption und/oder gravimetrisch mittels eines exponierten Filters bestimmt. Der Filter wird dabei mithilfe einer Ansaugvorrichtung während eines Tages (24 Stunden) konstant mit Umgebungsluft beaufschlagt. Aus der Differenz der Ein- und Auswaage des exponierten Filters und des Luftstroms im Messgerät kann der mittlere tägliche Feinstaubanteil der Luft in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ errechnet werden. Die auf den Filtern gesammelten Feinstäube PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ der Messstellen Innsbruck/Fallmerayerstraße, Innsbruck/Andechsstraße und Hall/Sportplatz wurden im akkreditierten Prüflabor der Chemisch-technischen Umweltschutzanstalt (CTUA, Land Tirol) im Sommer 2018 chemisch aufgeschlossen ($\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) und die Metallgehalte mittels ICP-MS (As, Bi, Cd, Rb) bzw. ICP-OES (Al, Ba, Pb, Cr, Cu, K, Mn, Mg, Ni, Se, Sr, Ti, Zn) analysiert.

Als Vertreter der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) wird im Tiroler Luftmessnetz Benzol erfasst. Die Messung basiert dabei auf einen Adsorber, der für die Bestimmung der Jahresbelastung (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nur an jedem dritten Tag mit Außenluft beaufschlagt wird. Dieser Messzyklus erlaubt daher keine eindeutigen Rückschlüsse auf Ereignisse wie z.B. das Abbrennen von Feuerwerken in der Silvesternacht. In diesem Bericht wurde daher auf eine Analyse der Benzolmesswerte verzichtet.

3. Ergebnisse

3.1 Feinstaubbelastung zu Silvester an Messstellen in städtischen Ballungsräumen

Um ein umfassendes Bild vom Ausmaß der Belastung mit PM₁₀ während der Festivitäten um Silvester zu erhalten, wurden die Messdaten von städtischen Messstellen im Tiroler Luftgütemessnetz über einen Zeitraum von Dezember 2010 bis Jänner 2018 ausgewertet. Wie in Tabelle 1 gelistet, führten Feuerwerke in der Silvesternacht zumeist zu deutlichen Überschreitungen des Feinstaubgrenzwertes gemäß IG-L. Bei den städtischen Messstellen wurde der Tagesmittelgrenzwert (TMW) von 50 µg/m³ an 6 bzw. 7 von insgesamt 8 Neujahrstagen überschritten. Die höchste Überschreitung zeigte dabei die Messstelle in Innsbruck/Andechsstraße mit einem TMW von erstaunlichen 214 µg/m³. An den meisten Messstellen in Tirol ist somit am ersten Tag des neuen Jahres bereits einer von den 25 zulässigen Überschreitungstagen im Jahr „verbraucht“.

*Tabelle 1: Kennzahlen für die Feinstaubbelastung PM₁₀ am Neujahrstag an den Messstellen des Tiroler Luftmessnetzes in städtischen Siedlungsräumen. Untersuchungszeitraum sind die Neujahrstage (1.1.) 2011 bis 2018; * IG-L Tagesgrenzwert = 50 µg/m³; TMW max. = maximaler Tagesmittelwert (24h); HMW max. = maximaler Halbstundenmittelwert (30 min).*

Messstelle	TMW max. [µg/m ³]	Anzahl der TMW Überschreitungen n. IG-L*	HMW max. [µg/m ³]	HMW max. Jahr/Uhrzeit
Innsbruck/Fallmerayerstr.	115	6/8	408	2012/2:00-2:30
Innsbruck/Andechsstr.	214	7/8	721	2012/1:30-2:00
Hall/Sportplatz	116	7/8	736	2014/0:30-1:00
Brixlegg/Innweg	87	6/8	257	2018/0:30-1:00
Wörgl/Stelzhamerstr.	116	7/8	983	2017/0:30-1:00
Kufstein/Praxmarerstr.	90	6/8	420	2013/1:00-1:30
Lienz/Amlacherkreuzung	76	6/8	385	2013/1:00-1:30

Die zeitliche Abfolge der Feinstaubbelastung zu Silvester zeigt sich am besten bei der Betrachtung der Halbstundenmittelwerte (HMW) für PM₁₀. Wie in Abbildung 1 erkenntlich, steigen die HMWe in den städtischen Ballungsräumen Innsbruck/Hall, Wörgl/Brixlegg, Kufstein und Lienz bereits durch erste Böller- und Feuerwerksaktivitäten am frühen Abend an und erreichen ihr Maximum zwischen 0:30 Uhr und 1:30 Uhr. Die HMWe liegen dabei um ein 3- bis 10-faches über den Konzentrationen der TMWe (vgl. Tabelle 1). Bis in die Vormittagsstunden des Neujahrstages nehmen dann die Staubbelastrungen wieder deutlich ab. Um 11:00 Uhr wird ein durchschnittlicher HMW von ca. 50 bis 60 µg PM₁₀/m³ an den städtischen Messstellen erreicht.

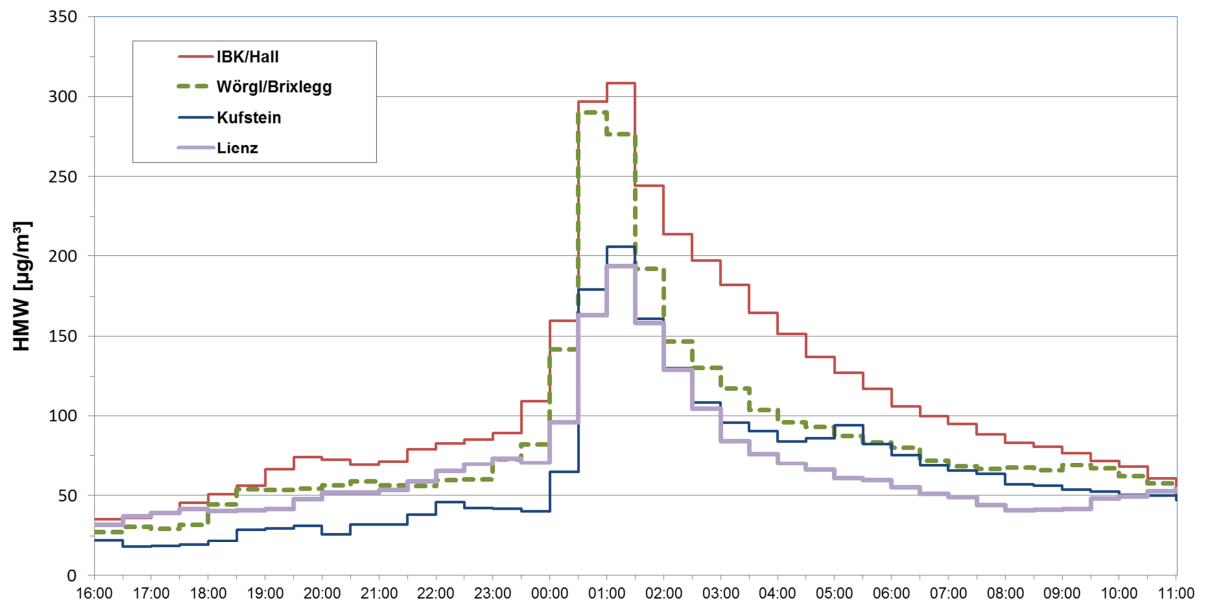


Abbildung 1: Durchschnittliche Halbstundenmittelwerte (HMWe) der PM10-Feinstaubkonzentration in der Silvesternacht ermittelt an den Messstellen in städtischen Gebieten. Die Werte präsentieren die Durchschnittswerte jeweils am 31.12.(2010-2017) und am 1.1.(2011-2018).

3.2 Einfluss der Witterungsverhältnisse auf die Feinstaubbelastung

Witterungseinflüsse haben einen großen Einfluss auf die Ausbreitung und Verteilung der Luftschadstoffe in der Atmosphäre. Regen oder Schneefall, Inversionswetterlagen oder labile Wetterlagen mit Windaufkommen (z.B. Föhn) führen zu unterschiedlich hohen Schadstoffimmissionen.

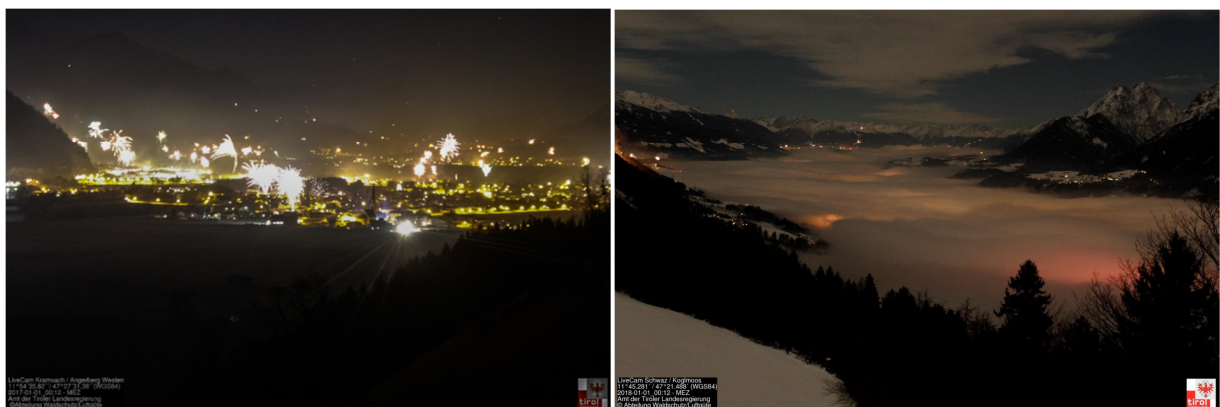


Abbildung 2: Feuerwerke zum Jahreswechsel im Inntal bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen; linkes Bild: 1.1.2017 um 00:12 Uhr (Webkamera der Abt. Waldschutz am Standort Kramsach/Angerberg); rechtes Bild: Starker Nebel am Talboden am 1.1.2018 um 00:12 Uhr (Webkamera der Abt. Waldschutz am Standort Schwaz/Kogelmoos).

Die Abbildung 3 zeigt die Verläufe der Feinstaubbelastung in den Silvesternächten 2013/14, 2015/16 und 2017/18 an der Messstelle Innsbruck/Andechsstraße. Meteorologisch bedingt kam es zu unterschiedlich hohen Schadstoffbelastungen. So führte ein kräftiger Wind am Neujahrstag 2014 zu einer raschen Verdünnung und Verteilung des PM₁₀-Feinstaubes (Verringerung der Feinstaubimmission vom Zeitpunkt der höchsten Belastung bis 11:00 Uhr um ca. 93%). Inversionswetterlagen hingegen entstehen zumeist bei Hochdruckwettereinfluss und schränken den vertikalen Luftaustausch ein. Die emittierten Luftschadstoffe verbleiben dabei in den unteren kälteren Atmosphärenschichten. Folglich verringert sich auch die Feinstaubbelastung zu Silvester nur sehr langsam (vgl. Jahr 2015/16; Verringerung der Belastung bis 11 Uhr um ca. 60%). Eine Inversionswetterlage mit Nebel, wie zum Beispiel in der Silvesternacht 2017/2018, bindet Feinstaub und führt zu einer deutlich geringeren Schadstoffbelastung der Atemluft (Verringerung der Belastung bis 11 Uhr um ca. 73%).

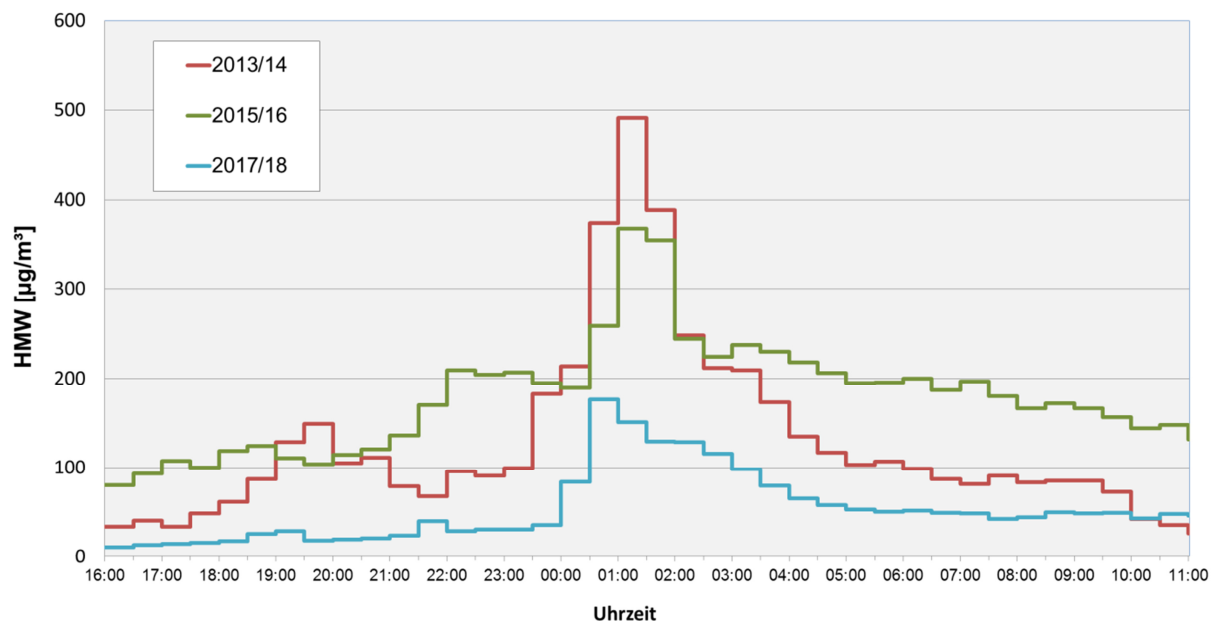


Abbildung 3: Verlauf der Feinstaubbelastung PM₁₀ an der Messstation Innsbruck/Andechsstraße während drei Silvesternächten mit unterschiedlichen Witterungseinflüssen (rot = labile Witterungsverhältnisse, grün = Inversionswetterlage; blau = Inversionswetterlage mit starkem Nebel). HMW = Halbstundenmittelwert.

3.3 Metallbelastung durch Feuerwerksfeinstaub

Aufgrund ähnlicher Feinstaubbelastungen an den Messstellen in Innsbruck und Hall wurden die PM₁₀-Feinstaubproben der Jahreswechsel 2015/16 und 2017/18 für die Metallanalysen herangezogen. Die täglichen Feinstaubbelastungen zwischen dem 28.12. und dem 4.1. sind für die jeweiligen Jahreswechsel in Abbildung 4 dargestellt. Zur Bestimmung der Luftwerte ohne (bzw. mit nur sehr geringem) Feuerwerkeinfluss wurden die Staubfilter vom 30.12. für die Metallanalysen herangezogen.

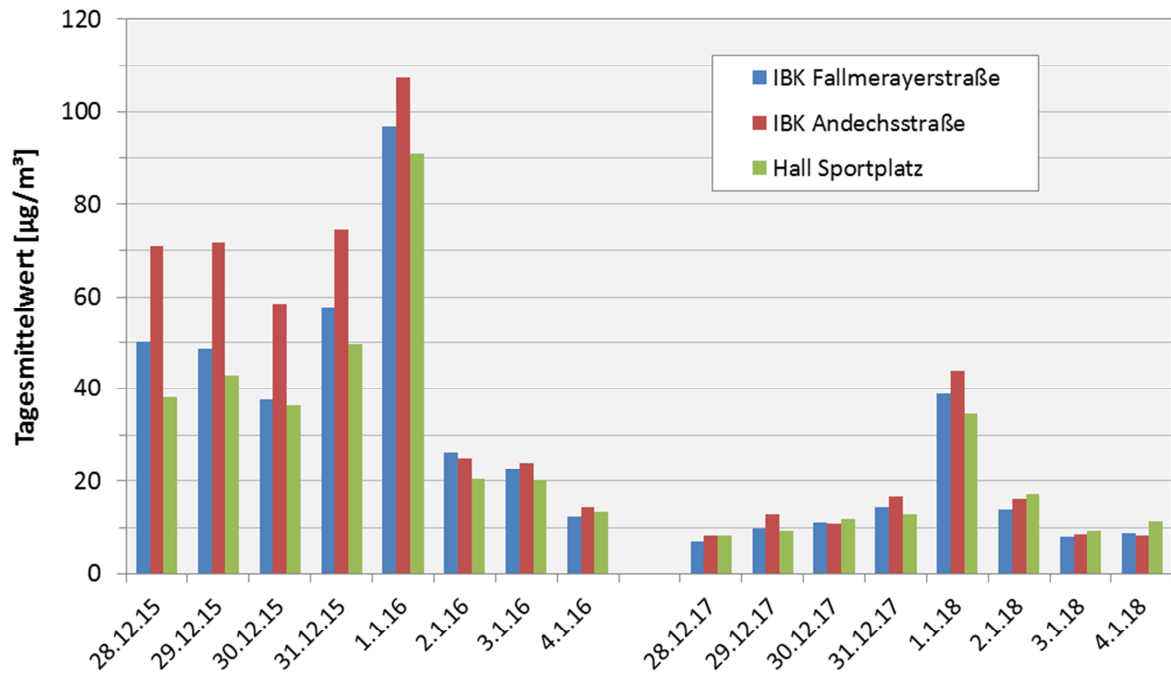


Abbildung 4: Tagesmittelwerte der PM10-Feinstaubbelastung an den Messstellen Innsbruck/Fallmerayerstraße, Innsbruck/Andechsstraße und Hall/Sportplatz (Ballungsraum Innsbruck/Hall) an den Tagen um den Jahreswechsel 2015/16 und 2017/18. Ein Föhneinbruch zu Jahresbeginn 2016 führte zu einer raschen Abnahme der Feinstaubbelastung an den drei Messstationen während dichter Nebel die Feinstaubkonzentrationen 2017/18 deutlich reduzierte (vgl. Abbildung 2 und 3).

Die chemischen Analysen der PM10-Feinstaubproben vor Silvester ergaben ähnliche Metallgehalte, wobei die Gehalte vom 30.12.2017 meist etwas unter jenen vom 30.12.2015 lagen (Abbildung 5). Hervorzuheben ist, dass der PM10-Feinstaub vor den Silvesterfeuerwerken sehr hohe Mengen ($>0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) an Kalium (K), Aluminium (Al) und Magnesium (Mg) sowie auch größere Mengen ($>0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$) an Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Barium (Ba) beinhaltet. Die gemessenen Gehalte an Blei (Pb), Nickel (Ni), Arsen (As), Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Eisen (Fe) am 30.12. entsprachen durchaus den jeweiligen Konzentrationen im langjährigen Mittel, welche im Zuge der Luftgüteüberwachung in Tirol erfasst wurden (vgl. dazu „Luftgüte in Tirol“, Jahresberichte 2015 bzw. 2017).

Vergleicht man nun die PM10- und Metallgehalte vom 30.12. mit jenen vom Neujahrstag wird offensichtlich, dass es aufgrund von Silvesterfeuerwerken zu unterschiedlich großen Zunahmen an Feinstaub und den darin enthaltenen Metallen in der Luft kommt (vgl. Abbildung 5).

In Abbildung 6 werden die Steigerungen der jeweiligen Metallgehalte am Neujahrstag entsprechend ihrer Größenordnung gelistet. Aufgrund ihrer farbgebenden Verwendung in der Pyrotechnik nehmen besonders die Gehalte an Bismut (Bi), Strontium (Sr), Barium (Ba), Kalium (K), Titan (Ti) und Kupfer (Cu) in der Luft stark zu. Bemerkenswert ist aber, dass es bei allen analysierten Metallen zu einer Anreicherung am Neujahrstag durch Silvesterfeuerwerke kommt.

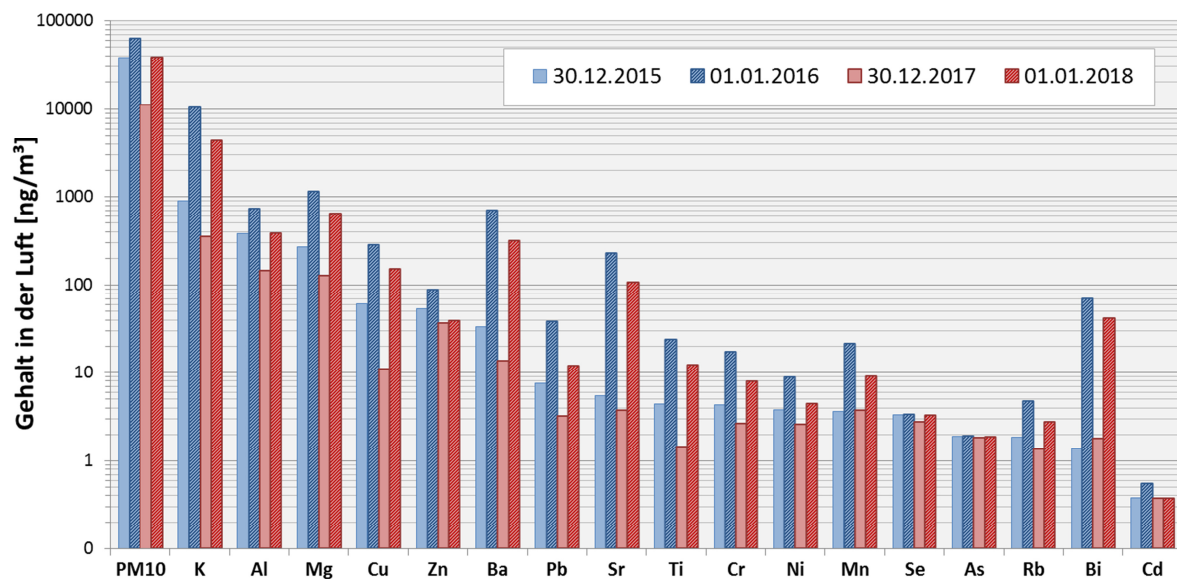


Abbildung 5: Mittlere Gehalte an PM10 und den darin enthaltenen Metallen in der Luft jeweils am 30.12. und am Neujahrstag 2015/16 und 2017/18 im Ballungsraum Innsbruck/Hall. Der 30.12. kann als Hintergrundbelastung ohne (bzw. mit geringem) Feuerwerkseinfluss angenommen werden. (PM10 = Feinstaub in der Atemluft mit einem aerodynamischen Durchmesser von $\leq 10 \mu\text{m}$). Die logarithmische Skalierung der Vertikalachse ist zu beachten.

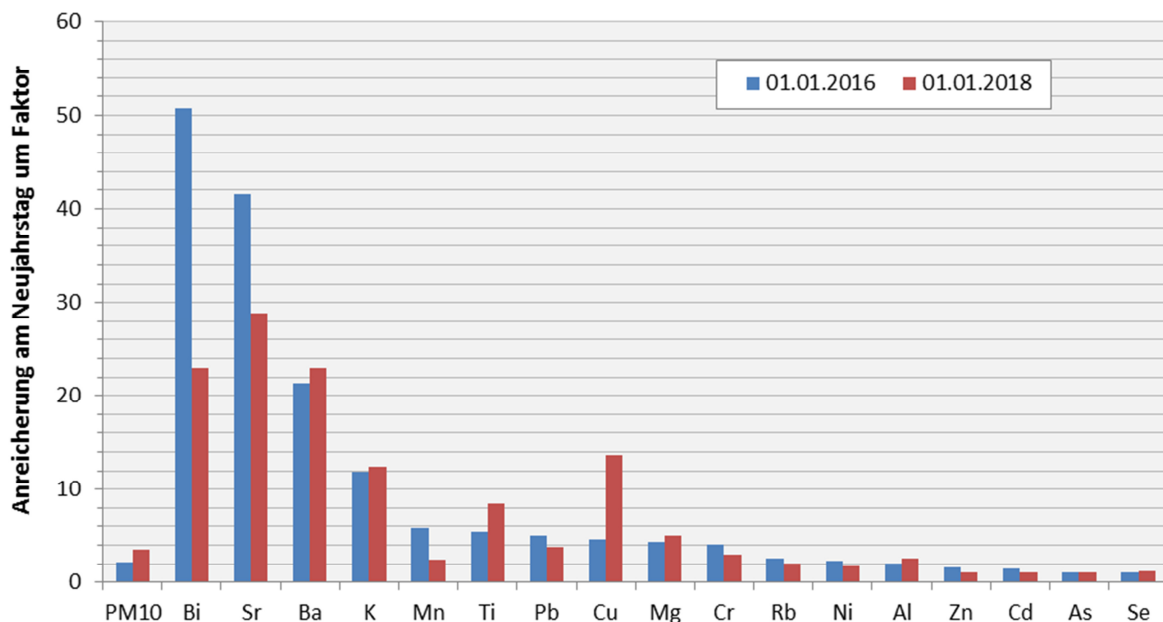


Abbildung 6: Durchschnittliche Anreicherung von PM10 und den darin enthaltenen Metallen in der Luft an den Neujahrstagen im Vergleich zum 30.12. des jeweiligen Vorjahrs im Ballungsraum Innsbruck/Hall.

3.4 Metalle im PM10 und PM2.5 Feinstaub

An der Messstelle Innsbruck/Fallmerayerstraße wird neben PM10 auch PM2.5 täglich erfasst. Der Anteil an PM2.5 am PM10-Feinstaub betrug am Neujahrstag 2016 rund 75% und am Neujahrstag 2018 rund 88%. Analog zu PM10 wurden auch am PM2.5-Feinstaub die Metallanalysen durchgeführt. Aus der Abbildung 7 ist zu entnehmen, dass sich die Metallgehalte der Größenfraktion PM2.5 meist nicht wesentlich von jenen der PM10 Fraktion unterscheiden. Feinstäube, die in der Silvesternacht durch das Abbrennen von Feuerwerken entstehen, sind somit größtenteils kleiner als 2,5 µm. Dazu ist anzumerken, dass die Lungengängigkeit von Feinstaubpartikel umso größer ist, je kleiner die Staubpartikel sind.

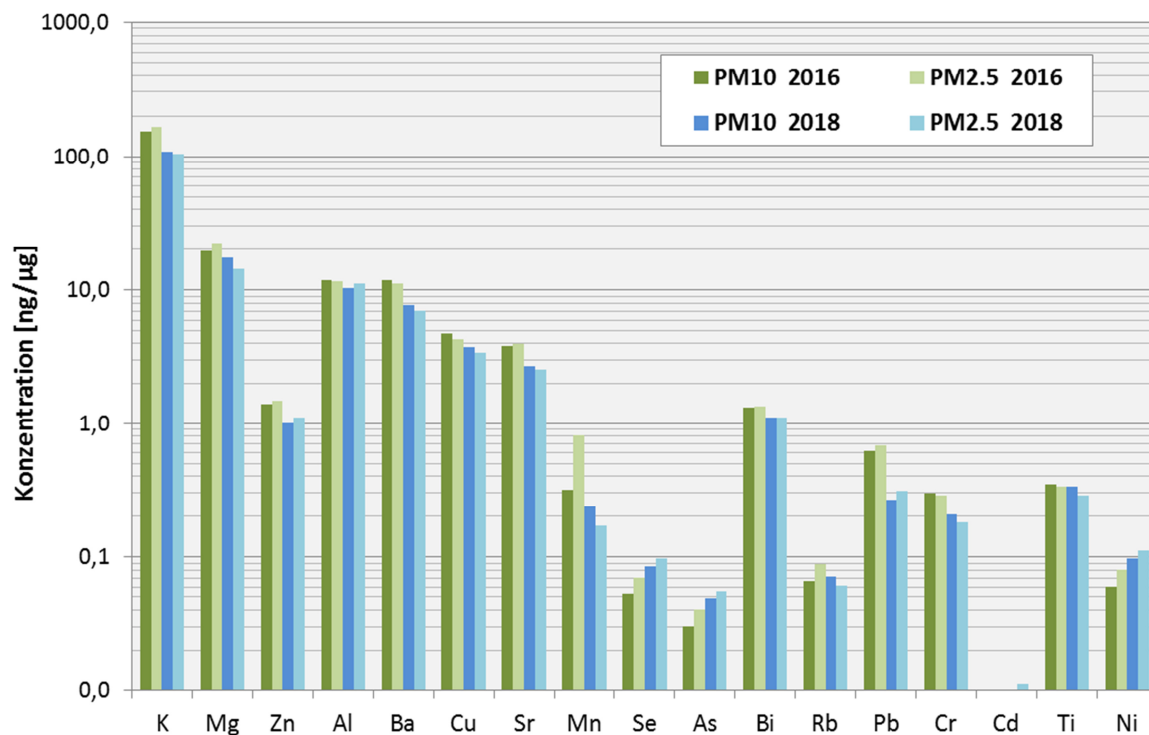


Abbildung 7: Gehalte an Metallen in den Feinstäuben PM10 und PM2.5 an den Neujahrstagen 2016 und 2018 an der Messstelle Innsbruck/Fallmerayerstraße. Man beachte die logarithmische Skalierung der Vertikalachse.

4. Schlussfolgerungen

- Das Abbrennen von Feuerwerken zum Jahreswechsel führt je nach Witterungseinfluss zu einer deutlichen Erhöhung der Feinstaubgehalte in der Atemluft. Dabei kann die Tagesbelastung bis zum 15-fachen ansteigen. Der Tagesgrenzwert nach IG-L zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird daher am Neujahrstag an den meisten Messstellen in Tiroler Siedlungsgebieten überschritten.
- Der Verlauf der Staubbeklastung in den Silvesternächten zeigt Staubbspitzen zwischen 0:30 Uhr und 2:30 Uhr, welche dann erst am späten Vormittag des Neujahrstages wieder abgeklungen sind.
- Staubanaysen nach Silvesterfeuerwerken zeigten eine deutliche Freisetzung an Metallstaub mit sehr kleinem Durchmesser. Es kommt zu kurzzeitigen Belastungsspitzen,

die im Fall von Bismut (Bi), Strontium (Sr), Barium (Ba) das 20 bis 50 fache jener Werte ausmachen können, die sonst im Winter gemessen werden.

- Durch ein geändertes Verhalten der Bevölkerung könnten die regelmäßig auftretenden Feinstaub-Spitzenwerte an Neujahrstagen vermieden werden.

Literatur

Von Arx U., 2014. *Feuerwerkskörper: Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte*. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Wissen* Nr. 1423: 139 S.

Zhao S., Yu Y., Yin D., Liu N., He J. 2014: *Ambient particulate pollution during Chinese Spring Festival in urban Lanzhou, Northwestern China*. *Atmospheric Pollution Research* 5, pp. 335–343.

Amt der Tiroler Landesregierung: *Luftgüte in Tirol. Jahresbericht 2015*, S.39.

Amt der Tiroler Landesregierung: *Luftgüte in Tirol. Jahresbericht 2017*, S.38.