

# Silvesterfeuerwerk - ein Luftqualitätsproblem?

12

KERSTIN WOLF & STEFAN JACOBI

## Einleitung

Der Jahreswechsel ist für die meisten Menschen ein besonderes Ereignis. Es ist die Gelegenheit die letzten zwölf Monate noch einmal Revue passieren zu lassen. Wie ist es gelaufen, was ist mir gut gelungen, was ist mir weniger gut gelungen? Vor allem aber, was strebe ich für das neue Jahr an, welche Wünsche und Erwartungen verknüpfe ich damit? Die berühmten „guten Vorsätze“ für das neue Jahr werden häufig in einem mehr oder weniger festlichen Rahmen in der Silvesternacht gefasst. Neben dem obligatorischen Gläschen Sekt zum Anstoßen auf das neue Jahr gehört für viele ein Feuerwerk dazu, vielleicht auch, um negative Erlebnisse des vergangenen Jahres mit Getöse abzuschütteln oder den eigenen guten Vorsätzen einen zusätzlichen „Raketenantrieb“ zu geben. Aber nicht alle sind begeistert vom optischen und akustischen Spektakel des Feuerwerks und tatsächlich gehen damit einige nicht unerhebliche negative Begleiterscheinungen einher.

- Die Handhabung von Feuerwerkskörpern ist immer mit einem Verletzungsrisiko verbunden. Jedes Jahr sind auch ernsthafte Brand- und andere traumatische Verletzungen, insbesondere an Händen, zu beklagen. Neben brand- und explosionsbedingten Verletzungen kann auch das Gehör in Mitleidenschaft gezogen werden, wenn ein Böller zu laut ist bzw. ein gewisser Mindestabstand zu diesem Knallereignis nicht eingehalten wird. Ein unsachgemäßer oder unvorsichtiger Umgang mit Böllern und Raketen kann also auch für Zuschauer oder nicht direkt Beteiligte gefährlich werden.
- Bei den meisten Haus- und auch im Freien lebenden Tieren löst die ungewöhnlich laute Geräuschkulisse Stress- und Angstsymptome aus.
- Mit dem Abbrennen von Feuerwerkskörpern gehen erhebliche Emissionen einher, deren Auswirkung auf die Luftqualität zumindest kritisch zu hinterfragen ist.
- „Last but not least“ plädieren Kritiker der Silvester-Feuerwerke dafür, die nicht unerheblichen finanziellen Aufwendungen dafür besser in anderen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens, z. B. zur Unterstützung sozialer Projekte, einzusetzen (prominentes Beispiel: „Brot statt Böller“, eine Aktion der Hilfsorganisation „Brot für die Welt“).
- Der vorliegende Artikel dokumentiert die Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks auf die Konzentration von Luftschadstoffen in der Außenluft anhand der Messergebnisse des hessischen Luftmessnetzes und stellt einen Beitrag zur Einschätzung der Bedeutung dieses Ereignisses zur Immissionsbelastung der Bevölkerung dar.

## Ursprung des Brauchs

Ein Jahreswechsel wird in vielen Ländern auf der Welt gefeiert, aber woher kommt der Name „Silvester“ und der Brauch den Jahreswechsel wie bei uns üblich zu begehen? Eine bedeutsame Entscheidung geht auf das Jahr 1582 zurück. In diesem Jahr wurde der gregorianische Kalender eingeführt (benannt nach Papst Gregor XIII). In diesem Zusammenhang wurde auch „das Ende eines Jahres“ vom 24. auf den 31. Dezember, dem Todestag von Papst Silvester I. (gestorben im Jahre 335) verlegt. Seitdem ist in vielen aber nicht allen Ländern in Europa der Jahreswechsel mit diesem Namen verbunden. Trotz des religiösen Hintergrunds der Namensgebung hat der Brauch den Jahreswechsel „mit viel Lärm und Getöse“ zu beenden heidnischen Ursprung. So beginnen unter anderem bereits germanische Stämme den Jahreswechsel möglichst geräuschvoll –wenn auch noch nicht mit Feuerwerk-, um damit in der kalten und dunklen Jahreszeit böse Geister zu vertreiben. Die Entdeckung des Schwarzpulvers hat neben der militärischen Nutzung auch die Entwicklung von Feuerwerkskörpern befördert. Beides, Schwarzpul-

ver als auch die Entwicklung von Feuerwerkskörpern, haben ihren Ursprung in China, vor über 1 200 Jahren. Das Abbrennen von Feuerwerk, als neue Form des Amusements, entwickelte sich in Europa etwa ab dem 14. Jahrhundert. Es war zunächst aber nur den adligen und vermögenden Kreisen für organisierte Anlässe vorbehalten, insbesondere in der Zeit des Barock. Erst viel später, im ausgehenden 19. Jahrhundert, wurden Feuerwerkskörpern allmählich auch für den privaten Verbrauch angefertigt und in den Vertrieb gebracht. Diese Anwendung hat im 20. Jahrhundert eine rasante Entwicklung genommen. Gerade in den letzten Jahrzehnten wurde die Technik immer weiterentwickelt, um die Möglichkeiten für aufwändige Feuerwerke auszuweiten. Umgang, Verkehr und Einfuhr definierter „explosionsgefährlicher Stoffe“ für zivile Zwecke, die auch in pyrotechnischen Sätzen Verwendung finden, werden in Deutschland durch das Sprengstoffgesetz (inklusive der zugehörigen 1. Verordnung), das eine diesbezügliche EU-Richtlinie umsetzt (93/15/EWG), reguliert.

## Was wird freigesetzt?

Beim Abbrennen von Feuerwerkskörpern steht das Schwarzpulver, eine Mischung aus Kaliumnitrat, Schwefel und Holzkohlepulver, zunächst einmal im Vordergrund. Für beabsichtigte „Knalleffekte“ der reinen Böller ist dies ausreichend. Andere Effekte, insbesondere optischer Art (Farbgebung nach Abschuss von Raketen), werden durch die Verbrennung verschiedener Metallverbindungen hervorgerufen. Dabei spielen Verbindungen der Elemente Bismut, Strontium, Barium, Kalium, Titan und Kupfer eine große Rolle (Lair et al. 2019, ARX, v. 2014). Mit 60-75 % besteht der größte Teil der Feuerwerkskörper aus der Umhüllung (Papier, Pappe, Karton, Holz, Ton, Kunststoff), die jedoch im Wesentlichen nicht mitverbrannt wird und damit für die Freisetzung von Luftschadstoffen keine große Rolle spielt.

Welcher Schadstoff in der Silvesternacht besonders stark ansteigt, ist für jedermann direkt sichtbar und offensichtlich. Die in großer Menge freigesetzten Partikel führen in kürzester Zeit zu einer drastischen

Reduzierung der Sichtweite. Oft wird dadurch selbst die Sicht auf das Feuerwerksspektakel und das Vergnügen daran im wahrsten Sinne „stark eingetrübt“. Eine Abschätzung der Gesamtmenge an Feinstaub die dabei freigesetzt wird ist nur näherungsweise möglich. Sie beruht auf statistischen Angaben der in Deutschland zugelassenen bzw. verkauften Feuerwerkskörpern. Unter der Annahme eines einheitlichen Emissionsfaktors kann die dadurch bedingte Feinstaubemission (PM<sub>10</sub> – Partikel mit einem Durchmesser von <10 µm) grob abgeschätzt werden. Diese beläuft sich auf ca. 4500 Tonnen pro Jahr, was etwa 2,25 % der PM<sub>10</sub>-Gesamtemission eines Jahres ausmacht (Bezugsjahr 2016, UBA 2018). Dies stimmt sehr gut mit Abschätzungen in der Schweiz überein, die auf einen Anteil von ca. 2% durch Feuerwerk verursachte PM<sub>10</sub>-Emissionen an der jährlichen PM<sub>10</sub>-Gesamtemission kommen (von Arx, 2014). Neben Silvester werden in der Schweiz vor allem anlässlich des Nationalfeiertags (1. August) große Feuerwerke veranstaltet. Da handelsübliche Silvesterknaller und

Raketen (Feuerwerk der Kategorie F2, d. h. kein „Ganzjahres- oder Kleinstfeuerwerk“) in Deutschland nur zwischen dem 28. und 31.12. zum Verkauf stehen und grundsätzlich nur am 31.12. und 01.01. abgebrannt werden, kann diese Emission nahezu vollständig der Silvesternacht zugerechnet werden. Der Einsatz von Feuerwerk der Kategorie F2 ist zwar auch an anderen Tagen des Jahres möglich, bedarf dann aber einer speziellen Genehmigung (Sprengstoffgesetz (2002), Verordnung zum Sprengstoffgesetz, 2017).

Es muss davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Feinstaubemission an Silvester höher als die aus den offiziellen Absatzmengen geschätzte Emission liegt, da illegal eingeführte Feuerwerkskörper, die nicht nach dem Sprengstoffgesetz geprüft und nicht mit einem CE-Kennzeichen versehen sind, dabei nicht berücksichtigt sind.

Genauere, hessenspezifische Angaben können leider nicht gemacht werden.

## Auswirkungen auf die Luftqualität in Hessen

Um die Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks auf die Immissionskonzentrationen in Hessen zu beurteilen, wurden die Messdaten des Hessischen Luftmessnetzes insbesondere hinsichtlich der Feinstaubbelastung ( $PM_{10}$ ) in den Silvesternächten zusammengefasst und ausgewertet. Zusätzlich wurden die Parameter Ruß, Kohlenstoffmonoxid (CO),

Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) und Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) exemplarisch an den Stationen Wiesbaden-Ringkirche und Wiesbaden-Süd betrachtet. Eine Aussage über die Inhaltsstoffe, insbesondere Metalle, im Feinstaub kann nicht getroffen werden, da hierzu keine zeitlich hochaufgelösten Daten vorliegen.

## Langfristige Entwicklung der Feinstaubbelastung ( $PM_{10}$ )

Um zunächst einen Eindruck über die langfristige Entwicklung der Feinstaubbelastung in den Silvesternächten zu bekommen, sind in Abbildung 1 die maximalen  $PM_{10}$ -Halbstundenmittelwerte (HMW) der letzten 10 Silvesternächte dargestellt. Dabei wurde über alle Stationen gleichen Charakters (verkehrsnahe, städtischer und ländlicher Hintergrund) jeweils ein Mittelwert gebildet. Wie in der Grafik zu sehen ist, sind die maximalen HMW ( $PM_{10}$ ) sehr variabel. Sie bewegen sich im verkehrsnahen Bereich zwischen 300 und 935  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und im städtischen Hintergrund zwischen 120 und 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Das höhere Niveau der verkehrsnahen Stationen gegenüber den Stationen im urbanen Hintergrund lässt sich in diesem Fall sicher nicht durch erhöhte verkehrsbedingte Emissionen erklären, sondern ist eher ein Ausdruck dafür, dass die Lage der Luftmessstationen im städtischen Hintergrund offenbar nicht so sehr im Zentrum der nächtlichen Aktivitäten zu Silvester liegen, wie es bei den verkehrsbezogenen Stationen der Fall ist. Der zeitliche Verlauf der maximalen  $PM_{10}$ -Konzentrationen über die zehn Jahre betrachtet ist für die beiden Stationscharaktere (verkehrsnahe und

städtischer Hintergrund) sehr ähnlich. Dies kann zum einen ein Indiz für unterschiedlich ausgeprägte Aktivitäten (also Emissionen) in den Silvesternächten sein. Zum anderen können aber auch unterschiedliche Wetterverhältnisse die Ausprägungen des „Silvesterereignisses“ stark beeinflussen. Bei lufthygienisch günstigen Austauschbedingungen sind die Auswirkungen auf die Immissionsbelastung dementsprechend nicht so stark ausgeprägt. Die Entwicklung der maximalen Belastungen von 2012 bis 2018 könnte den Eindruck einer tendenziellen Abnahme der Konzentrationen in den Silvesternächten vermitteln. Dagegen sprechen allerdings die wieder deutlich höheren Werte von 2019. Eine bessere Aussage kann aufgrund der kurzen Zeitreihe und der insgesamt sehr hohen Variabilität an dieser Stelle nicht getroffen werden. Die Stationen im ländlichen Hintergrund sind von den Geschehnissen in der Silvesternacht in der Regel kaum betroffen. Ein direkter Einfluss ist hier nicht zu erkennen. Die maximalen Halbstundenmittelwerte bewegen sich mit Werten zwischen 11 und 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf relativ niedrigem Niveau.

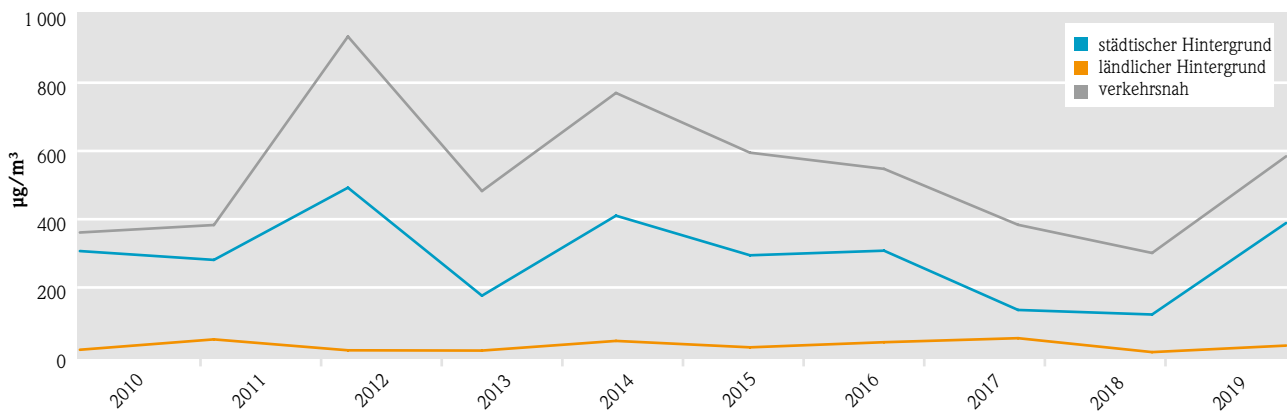


Abb. 1: PM<sub>10</sub>-Maximale Halbstundenmittelwerte in den Silvesternächten 2010–2019, gemittelt über alle Stationen gleichen Charakters

## Silvester 2016/2017 - Ein konkretes Beispiel

In Abbildung 2 ist der zeitliche Verlauf der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen (HMW) aller hessischer Messstationen für den Jahreswechsel 2016/2017 dargestellt. Wie in der Grafik zu sehen ist, zeigt sich für alle Stationen in der Silvesternacht ein relativ gleichförmiger Verlauf der PM<sub>10</sub>-Konzentration. Mit Beginn des Feuerwerks steigen die Feinstaubkonzentrationen explosionsartig in die Höhe und erreichen Werte von über 800 µg/m<sup>3</sup>. Absoluter Spitzenreiter in der Silvesternacht 2016 ist die Station an der Petersberger Straße in Fulda mit einem Halbstundenmittelwert um 0:30 Uhr von 868 µg/m<sup>3</sup>. Doch dieser Wert ist im Vergleich zu anderen Jahren noch nicht ein-

mal besonders hoch. Bereits mehrfach sind in den Silvesternächten maximale Konzentrationen von über 1000 µg/m<sup>3</sup> aufgetreten (siehe Tab. 1). Insgesamt handelt es sich an allen Stationen um ein zeitlich sehr stark eingeschränktes Ereignis. Sobald das Spektakel beendet ist (in der Regel nach 1:00 Uhr) gehen die Konzentrationen meist annähernd genauso drastisch wieder zurück. Trotz der extremen Abnahme bewegen sich die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen am 01. Januar oftmals aber noch bis in den Nachmittag hinein auf einem erhöhten Niveau. Dadurch ergibt sich bereits am ersten Tag des Jahres für viele Stationen eine Überschreitung des gesetzlich geregelten

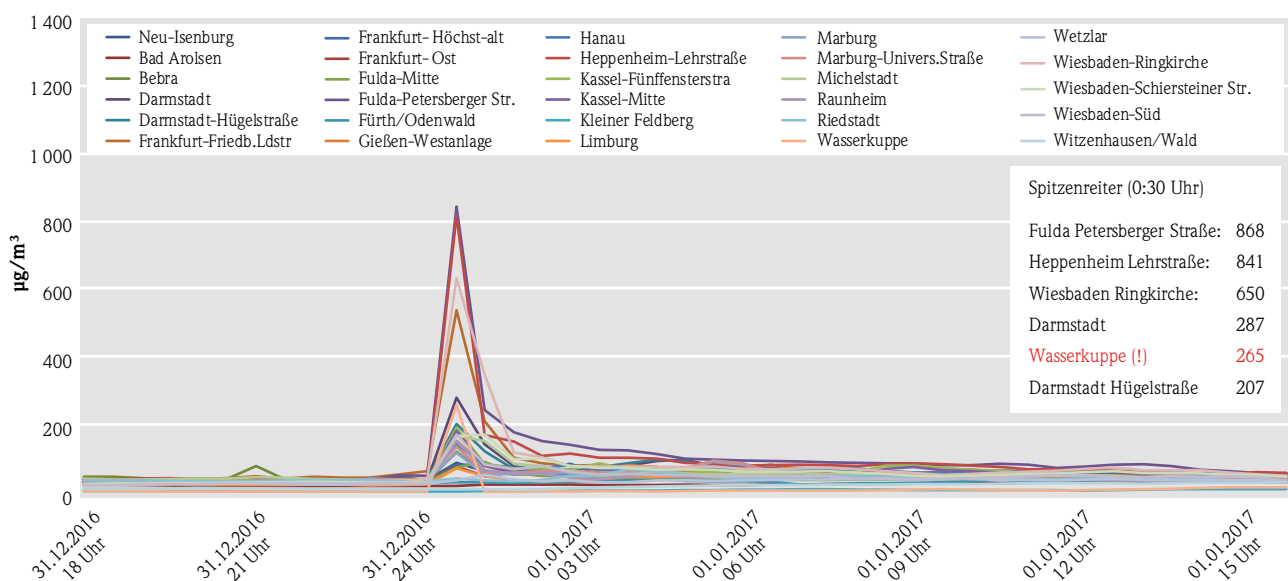
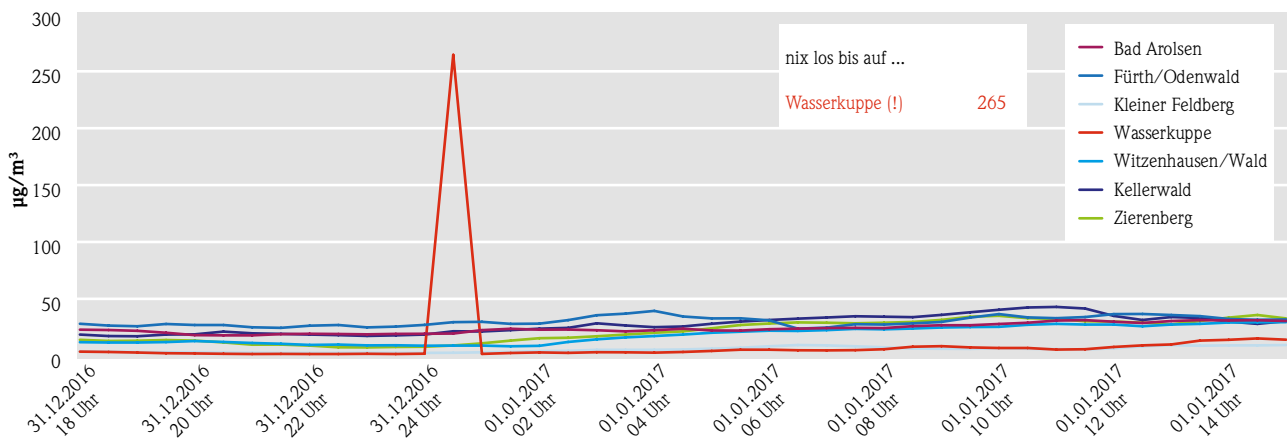


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der PM<sub>10</sub>-Konzentration (HMW) aller Hessischer Luftmessstationen zum Jahreswechsel 2016/2017



**Abb. 3:** Zeitlicher Verlauf der  $PM_{10}$ -Konzentration (HMW) aller Hessischer Luftmessstationen im ländlichen Hintergrund zum Jahreswechsel 2016/2017

Tagesmittelwerts für Feinstaub ( $PM_{10}$ ). Dieser beträgt  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und darf nicht öfter als 35mal im Kalenderjahr überschritten werden.

Ein besonderes Ereignis zeigte sich in der Silvesternacht 2016 auf der Wasserkuppe, dem höchsten Berg in Hessen (950 m ü. NN). In Abbildung 3 ist der zeitliche Verlauf der  $PM_{10}$ -Konzentrationen (HMW) an allen Hessischer Luftmessstationen im ländlichen Hintergrund, an denen  $PM_{10}$  gemessen wird, darge-

stellt. Im Vergleich zu allen anderen Stationen ragt die Wasserkuppe mit einem maximalen Halbstundenmittelwert von  $265 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 00:30 Uhr hier deutlich heraus. Dies ist ein klarer Hinweis darauf, dass in diesem Jahr Silvester mit Feuerwerk auch auf der Wasserkuppe gefeiert wurde. Das Beispiel veranschaulicht zudem, wie entscheidend die räumliche Nähe der Emissionen für die Ausprägung der Immissionsbelastung ist.

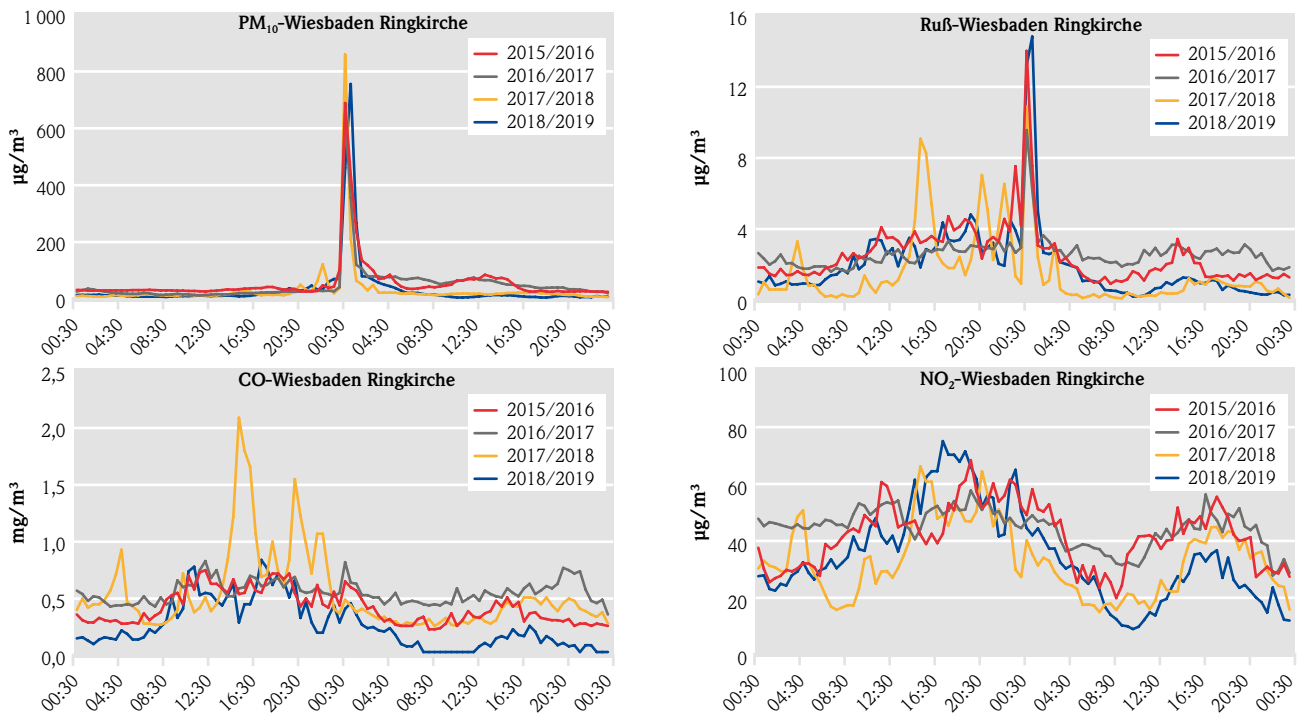
## Sind auch andere Komponenten betroffen?

Feinstaub erfährt also einen erheblichen Konzentrationsanstieg. Gleiches gilt für die Feinstaubfraktion  $PM_{2,5}$  (Partikel mit einem Durchmesser von  $< 2,5 \mu\text{m}$ ), auch wenn dies hier nicht explizit behandelt wurde. Der überwiegende Teil der  $PM_{10}$ -Konzentration wird generell durch  $PM_{2,5}$  repräsentiert, abgesehen von Standorten mit einem hohen Grobstaubanteil. Im Jahresmittel liegt der Anteil über alle Stationen betrachtet bei annähernd 70 %. In bestimmten Zeiten und bei höherer zeitlicher Auflösung treten jedoch auch wesentlich höhere Anteile  $PM_{2,5}$  auf, bis hin zu 100 %. Während der Silvesternacht wurden Anteile  $PM_{2,5}$  zwischen 75 und annähernd 90 % berichtet (LAIR et al. 2019). Derartige Verhältnisse sind aber nicht ungewöhnlich und nicht auf die Silvesternacht beschränkt.

Aber zeigt sich der Einfluss des Silvesterfeuerwerks auch bei anderen Komponenten? Um dieser Frage

nachzugehen wurde der zeitliche Verlauf (HMW) der Komponenten Ruß, CO und  $\text{NO}_2$  exemplarisch an der Station Wiesbaden-Ringkirche sowie  $\text{SO}_2$  an der Station Wiesbaden-Süd während der letzten vier Silvesternächte betrachtet (Abb. 4). Die Beschränkung auf exemplarische Stationen und nur vier Jahre beruht auf Gründen der Übersichtlichkeit. Nach den vorherigen Erkenntnissen, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Verhältnisse an anderen Stationen und in anderen Jahren generell ähnlich darstellen.

Für den zeitlichen Verlauf der Ruß-Konzentration zeichnet sich in allen vier Jahren, ähnlich wie bei den Feinstaubkonzentrationen, ein deutliches Konzentrationsmaximum in den ersten Halbstundenmittelwerten nach Mitternacht ab. Demnach wird die Komponente Ruß offensichtlich ebenfalls durch das Einwirken des Silvesterfeuerwerks beeinflusst. Bei

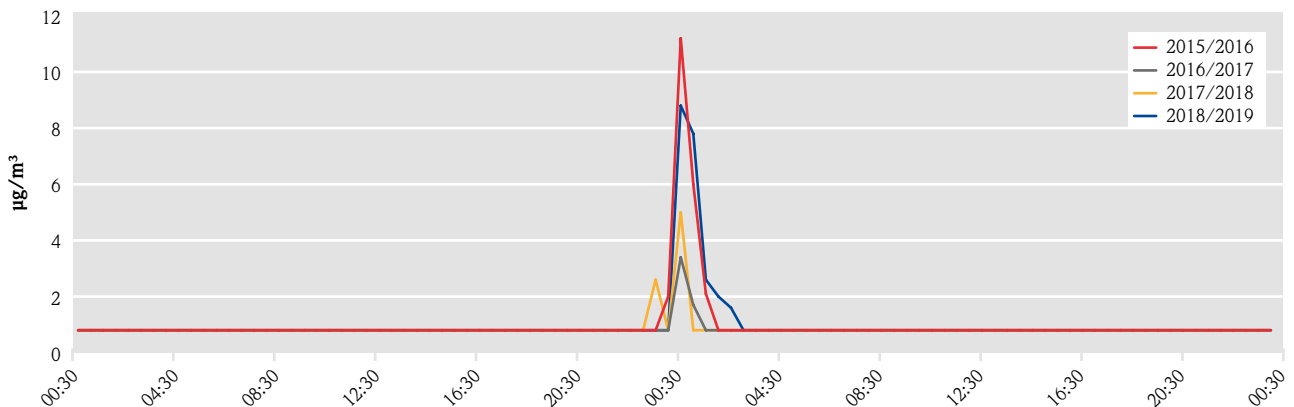


**Abb. 4:** Verlauf der PM<sub>10</sub>, Ruß, CO und NO<sub>2</sub> -Halbstundenmittelwerte an der Station Wiesbaden Ringkirche während der letzten vier Silvesternächte

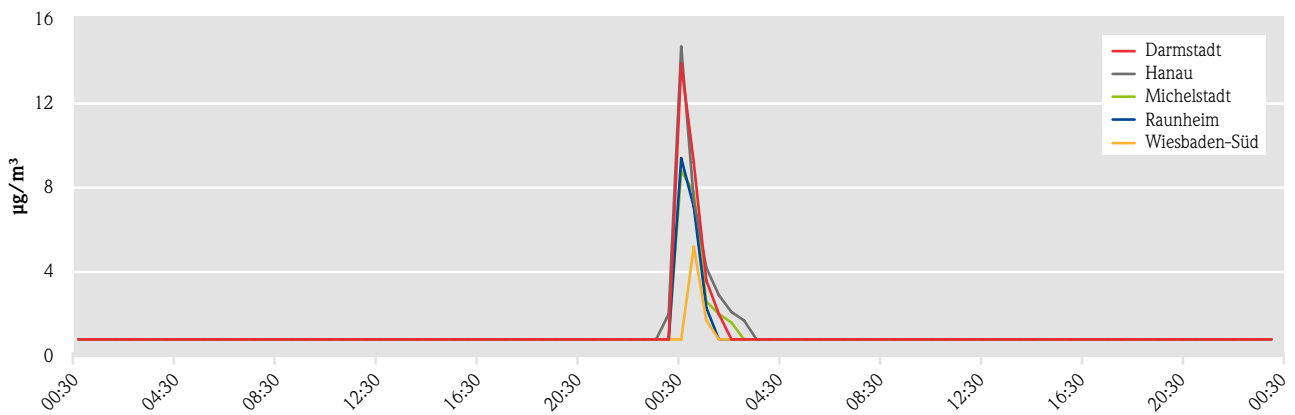
den Komponenten CO und NO<sub>2</sub> lässt sich hingegen keine offensichtliche Beeinflussung der Konzentrationen durch das Feuerwerk um Mitternacht erkennen. Die Konzentrationsverläufe sind eher durch andere, übliche Emissionsquellen (z. B. dem Straßenverkehr) als durch das Einwirken des Feuerwerks bedingt.

Aufgrund des enthaltenen Schwefels im Schwarzpulver von Feuerwerkskörpern ist zu erwarten, dass sich auch für SO<sub>2</sub> ein erkennbarer Einfluss des nächtlichen Spektakels zeigt. Die Komponente SO<sub>2</sub> wird

im Hessischen Luftmessnetz nur noch an wenigen Stellen gemessen, da es für die Luftqualität, insbesondere gemessen an den definierten Grenzwerten, im Allgemeinen kaum noch eine Rolle spielt. Die gemessenen Konzentrationen bewegen sich häufig an der Nachweisgrenze. Die maximal gemessenen Stundenmittelwerte in Hessen lagen im Jahr 2017 zwischen 7 und 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (HLNUG, 2017). Zum Vergleich: Der gesetzlich geregelte Grenzwert für SO<sub>2</sub> ist verletzt, wenn ein Stundenmittelwert von 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  häufiger als 24mal im Kalenderjahr überschritten wird. Der Einfluss des Silvesterfeuerwerks auf die



**Abb. 5:** Verlauf der SO<sub>2</sub> -Halbstundenmittelwerte an der Station Wiesbaden-Süd der letzten vier Silvesternächte



**Abb. 6:** Verlauf der  $\text{SO}_2$ -Halbstundenmittelwerte an ausgewählten Stationen, Silvester 2018

$\text{SO}_2$ -Konzentration wird beispielhaft anhand der Station Wiesbaden-Süd untersucht, da die Komponente an der Station Wiesbaden-Ringkirche nicht erfasst wird. Die Darstellung der zeitlichen Konzentrationsverläufe von  $\text{SO}_2$  während der letzten vier Silvesternächte in Abbildung 5 bestätigt die Annahme und zeigt eine deutliche Zunahme der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen zur gleichen Zeit wie bei  $\text{PM}_{10}$ . Die Konzentrationen erreichen um 00:30 Uhr Werte zwischen 3,4 und 11,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und fallen spätestens um 03:00 Uhr wieder einheitlich auf die Nachweisgrenze ( $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zurück.

Die Aussage wird durch die Darstellung in Abbildung 6 weiter bestärkt. Hier ist der Verlauf für mehrere Stationen in Hessen, an denen  $\text{SO}_2$  noch gemessen wird, exemplarisch für die Silvesternacht 2018/2019 dargestellt. Für alle Stationen zeigt sich ein gleichmäßiger Konzentrationsverlauf mit einem deutlichen Peak in den ersten Stunden nach Mitternacht. Die maximalen Konzentrationen werden zwischen 0:30 und 1:00 Uhr erfasst und erreichen Werte von 5,2 bis 14,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ab 03:30 Uhr bewegen sich alle Stationen wieder gleichmäßig auf dem Niveau der Nachweisgrenze von  $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Welche maximalen $\text{PM}_{10}$ -Belastungen treten in den Silvesternächten auf?

Um dieser Frage nachzugehen, wurden in Tabelle 1 für alle Stationen, an denen  $\text{PM}_{10}$  gemessen wird, die höchsten am 01. Januar gemessenen Halbstundenmittelwerte der letzten zehn Jahren zusammengetragen. Zusätzlich wird das Jahr und die Uhrzeit angegeben, wann der jeweilige Wert aufgetreten ist. Gleichzeitig werden die höchsten in den zehn Jahren aufgetretenen Tagesmittelwerte am 01. Januar mit Angabe des Jahres, in dem dieser Wert auftrat, angegeben. Bei Betrachtung der maximalen Halbstundenmittelwerte (HMW max.) bestätigt sich erneut, dass diese in den meisten Fällen zwischen 00:30 und 1:30 Uhr, also in den ersten ein bis zwei Stunden nach Mitternacht auftreten. An einigen wenigen Stationen im ländlichen Hintergrund (Fürth, Klei-

ner Feldberg und Witzenhausen) werden die maximalen Konzentrationen erst später, zwischen 02:00 und 03:00 Uhr erfasst. Die maximalen HMW bewegen sich an diesen und auch den übrigen Stationen im ländlichen Hintergrund (Ausnahme: Spezialfall „Wasserkuppe“ 2016/2017) auf einem relativ niedrigen Niveau und sind nicht durch das Silvesterereignis bedingt. Der mit Abstand höchste gemessene Halbstundenmittelwert liegt bei  $3947,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und wurde im Jahr 2012 an der Schiersteiner Straße in Wiesbaden gemessen. Dieser extrem hohe Messwert ist allerdings dem Umstand geschuldet, dass offensichtlich Feuerwerkskörpern vom Dach dieser speziellen, relativ kleinen Messstation abgeschossen wurden. Die Tabelle zeigt weiterhin, dass die maxi-

malen Tagesmittelwerte nicht zwangsläufig mit den maximalen Halbstundenmittelwerten einhergehen.

In den meisten Fällen findet sich der höchste gemessene Tagesmittelwert in einem anderen Jahr als

**Tab. 1:** PM<sub>10</sub>-Maximale Tagesmittelwerte (TMW max.) und maximale Halbstundenmittelwerte (HMW max.) aller Hessischen Luftmessstationen am 1. Januar der Jahre 2010–2019

Messort	TMW max. in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TMW max. Jahr	HMW max. in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	HMW max. Jahr/Uhrzeit
Bad Arolsen	28,5	2014	36,8	2012/0:30–1:00
Bebra	51,3	2014	466,7	2019/0:00–0:30
Darmstadt	117,0	2015	603,7	2019/0:00–0:30
Darmstadt-Hügelstraße	120,0	2015	666,4	2014/0:30–1:00
Frankfurt-Friedberger Landstr.	155,7	2015	1 301,1	2019/0:00–0:30
Frankfurt-Höchst	181,9	2015	740,8	2019/0:00–0:30
Frankfurt-Ost	99,7	2015	740,2	2012/1:00–1:30
Fulda-Zentral	42,9	2010	538,7	2010/0:00–0:30
Fulda-Petersberger Str.	98,7	2017	867,9	2017/0:00–0:30
Fürth/Odenwald	34,9	2011	35,6	2017/2:30–3:00
Gießen-Westanlage	106,5	2011	300,4	2011/0:00–0:30
Hanau	127,3	2015	1 003,0	2012/0:30–1:00
Heppenheim-Lehrstraße	145,2	2016	913,5	2014/0:00–0:30
Kassel-Fünfensterstraße	75,3	2014	745,1	2019/0:00–0:30
Kassel-Mitte	69,0	2014	1 147,2	2014/0:00–0:30
Kellerwald	28,8	2017	29,1	2019/1:00–1:30
Kleiner Feldberg	11,3	2014	19,6	2014/2:30–3:00
Limburg	56,0	2011	262,6	2016/0:30–1:00
Limburg-Schiede	54,5	2017	277,8	2016/0:00–0:30
Marburg	84,6	2014	380,2	2019/0:30–1:00
Marburg-Universitätsstraße	79,6	2014	427,3	2016/0:00–0:30
Michelstadt	58,8	2015	497,0	2013/0:00–0:30
Offenbach-Untere Grenzstraße	138,5	2015	884,7	2016/0:00–0:30
Raunheim	161,4	2014	893,1	2012/0:00–0:30
Riedstadt	104,6	2015	252,5	2014/1:00–1:30
Wasserkuppe	15,4	2017	264,5	2017/0:00–0:30
Wetzlar	55,8	2015	332,1	2010/0:00–0:30
Wiesbaden-Ringkirche	198,5	2012	1 610,6	2012/0:30–1:00
Wiesbaden-Schiersteiner Str.	346,7	2012	3 947,7	2012/0:30–1:00
Wiesbaden-Süd	137,8	2014	885,9	2014/0:30–1:00
Witzenhausen/Wald	23,2	2017	27,7	2015/2:00–2:30
Zierenberg	26,8	2017	24,7	2019/0:30–1:00



der höchste gemessene Halbstundenmittelwert. Ein weiteres Argument dafür, dass es sich bei den kurz-

fristigen Konzentrationsspitzen in der Silvesternacht um singuläre Ereignisse handelt.

**Tab. 2:** PM<sub>10</sub> – Maximale Tagesmittelwerte (TMW) aller Hessischen Luftmessstationen am 01. Januar 2010–2019 sowie Angaben zur Überschreitungshäufigkeit des Tagesmittelwerts von 50 µg/m<sup>3</sup>

Messort	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Anzahl TMW- Üb.	TMW- Üb. in %
Bad Arolsen	12,5	10,7	7,4	11,4	28,5	17,1	10,1	27,0	2,3	8,3	0	0
Bebra	35,7	36,6	21,5	12,9	51,3	38,4	34,1	41,2	7,5	26,8	1	10
Darmstadt	32,9	62,5	34,7	23,4	46,7	117,0	39,4	63,1	15,7	52,4	4	40
Darmstadt-Hügelstraße	51,1	83,0	#	22,7	79,2	120,0	54,6	63,5	21,4	54,4	7	78
Frankfurt-Friedb. Landstr.	46,1	110,9	46,8	64,8	109,2	155,7	79,4	65,5	29,0	74,4	7	70
Frankfurt-Höchst	43,1	80,8	50,2	53,8	129,8	181,9	51,8	41,1	21,4	77,1	6	60
Frankfurt-Ost	25,8	64,6	57,9	23,9	61,3	99,7	53,6	45,5	8,7	38,1	5	50
Fulda-Petersberger Str.	37,7	#	43,5	22,8	#	59,8	31,5	98,7	14,1	48,7	2	25
Fulda-Zentral	42,9	39,3	14,9	12,7	40,4	35,2	18,1	41,8	6,5	21,2	0	0
Fürth/Odenwald	11,6	34,9	0,8	8,0	11,6	11,5	8,7	30,6	7,9	12,4	0	0
Gießen-Westanlage	33,9	106,5	47,2	32,6	59,6	72,9	35,2	47,3	16,6	26,3	3	30
Hanau	34,0	92,0	86,1	47,6	37,9	127,3	48,6	58,1	14,5	59,6	5	50
Heppenheim-Lehrstraße	71,0	111,0	57,7	44,1	81,1	140,7	145,2	89,4	27,3	69,5	8	80
Kassel-Fünffensterstraße	40,1	41,1	39,8	39,0	75,3	#	40,3	59,0	25,1	55,1	3	33
Kassel-Mitte	26,2	52,6	51,0	22,5	69,0	59,0	61,9	52,7	11,2	30,4	6	60
Kellerwald	14,4	8,0	4,2	7,0	24,2	11,8	10,2	28,8	3,9	7,7	0	0
Kleiner Feldberg	9,0	5,5	3,0	5,8	11,3	5,5	4,9	9,2	4,8	2,9	0	0
Limburg	24,3	56,0	44,0	9,5	36,0	43,0	37,7	39,5	6,3	19,6	1	10
Limburg-Schiede							45,6	54,5	9,9	34,8	1	25
Marburg	24,6	52,8	33,6	21,9	84,6	47,4	39,5	49,3	14,6	32,6	2	20
Marburg-Universitätsstr.	25,7	57,5	45,2	30,7	79,6	48,6	53,1	51,7	13,0	21,1	4	40
Michelstadt	43,8	40,4	23,7	43,0	36,6	58,8	33,8	57,2	18,0	29,2	2	20
Offenb.-Untere Grenzstr.					82,3	138,5	61,5	63,1	17,1	72,9	5	83
Raunheim	33,0	67,9	93,8	52,1	161,4	138,2	65,9	40,5	9,8	37,6	6	60
Riedstadt	22,8	61,5	19,6	21,5	58,7	104,6	31,9	42,2	6,9	36,3	3	30
Wasserkuppe	10,3	9,1	3,5	4,0	7,1	3,2	6,2	15,4	4,0	3,1	0	0
Wetzlar	35,2	53,8	27,1	11,9	55,6	55,8	26,8	36,5	9,7	22,9	3	30
Wiesbaden-Ringkirche	36,5	100,6	198,5	97,6	90,5	191,2	76,1	75,7	41,2	48,1	7	70
Wiesbaden-Schierst. Str.			346,7	84,9	113,1	190,2	57,6	57,3	15,7	47,9	6	75
Wiesbaden-Süd	29,9	74,0	114,1	52,2	137,8	111,8	55,7	45,1	14,8	38,0	6	60
Witzenhausen/Wald	14,1	7,1	2,9	6,9	15,6	16,9	5,1	23,2	3,7	7,5	0	0
Zierenberg					20,8	15,0	10,8	26,8	5,1	9,2	0	0

## Wie hoch ist das Risiko für eine Überschreitung der kritischen Schwelle von 50 µg/m<sup>3</sup> am ersten Tag des Jahres?

Um diese Frage zu beantworten, wurden in Tabelle 2 die maximalen PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte aller Stationen, an denen PM<sub>10</sub> gemessen wird, für die letzten zehn Jahre zusammengestellt. Einige Stationen sind im betrachteten Zeitraum erst später hinzugekommen, daher ergeben sich stellenweise Datenlücken. Fälle in denen aufgrund von Datenausfällen kein belastbarer Jahresmittelwert gebildet werden konnten, sind mit einer Raute gekennzeichnet. Die Anzahl der Tagesmittelwerte, die die Schwelle von 50 µg/m<sup>3</sup> überschreiten, werden in der vorletzten Spalte angegeben. Relativ ausgedrückt, liefern die Angaben einen

Eindruck darüber, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass der erste Tag des Jahres bereits einer von 35 zulässigen PM<sub>10</sub>-Überschreitungstagen ist. Die prozentualen Angaben liefern ein realistisches Abbild zu den bisherigen Feststellungen. An den Stationen im ländlichen Hintergrund liegt die Wahrscheinlichkeit eines Überschreitungstages am 01. Januar bei 0 %, ansonsten bewegt sich die Spanne zwischen 10 und > 80 %. Bei etwa der Hälfte der städtischen Messstationen beträgt das Risiko am 01. Januar bereits einen PM<sub>10</sub>-Überschreitungstag zu kassieren bei etwa 60–80 %.

## Wie stellt sich die PM<sub>10</sub>-Immissionsbelastung am 01. Januar im Vergleich zu anderen Tagen des Jahres dar?

Ist die Belastung als besonders herausragend einzustufen oder gibt es Zeiten, in denen ähnlich hohe Belastungen auftreten? Wie die bisherigen Auswer-

tungen eindrucksvoll vermittelt haben, ist die Bedeutung des 01. Januar in Bezug auf eine hohe zeitliche Auflösung (Halbstunden- oder Stundenmittelwerte)

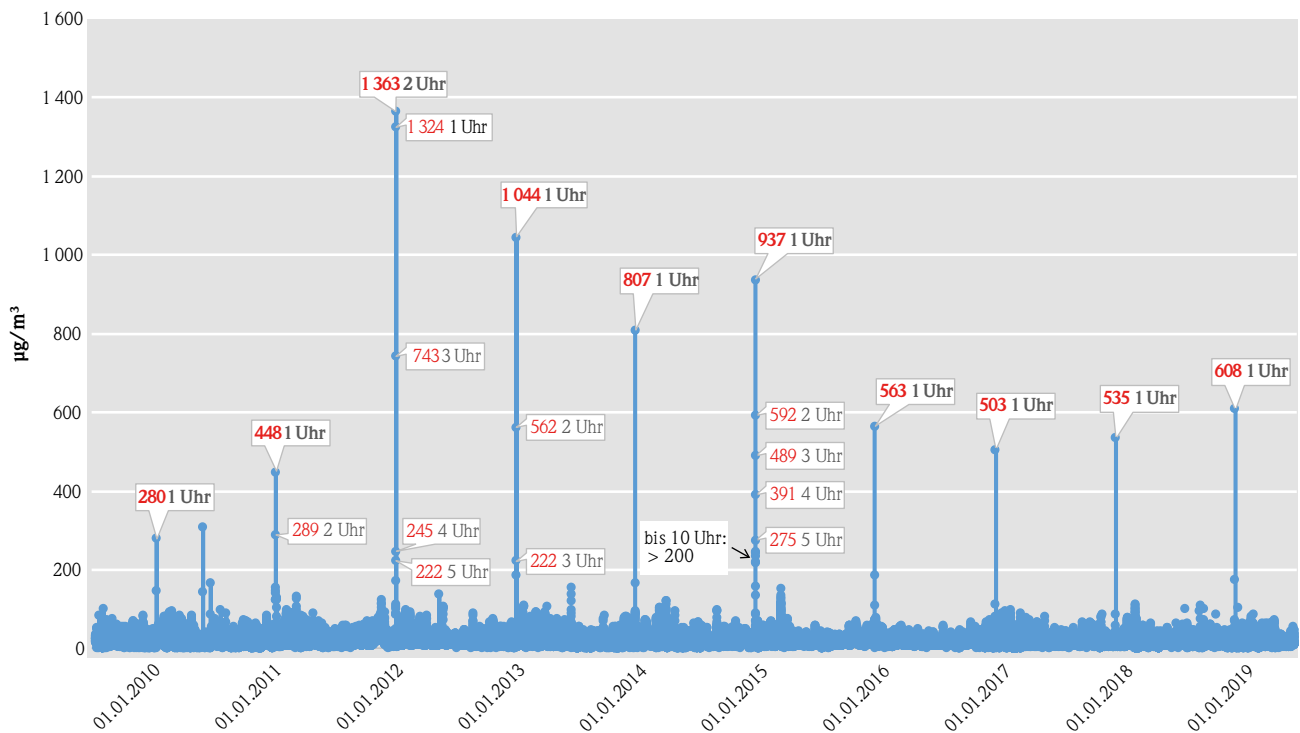


Abb. 7: PM<sub>10</sub>-Stundenmittelwerte 01.07.2009–30.06.2019 an der Station Wiesbaden-Ringkirche

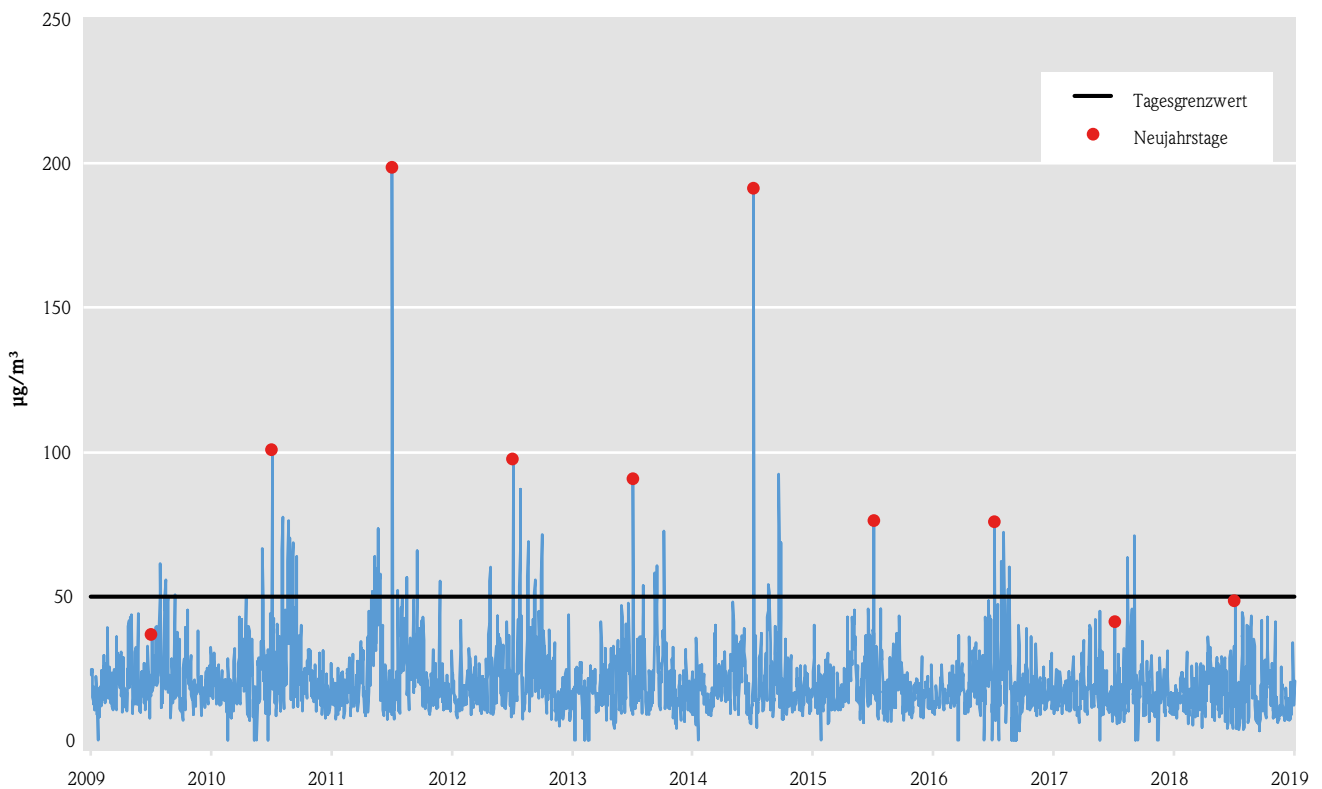


Abb. 8: PM<sub>10</sub> Tagesmittelwerte 01.07.2009–30.06.2019, Wiesbaden-Ringkirche

sicherlich unumstritten. In Bezug auf den Tagesmittelwert, der auch rechtlichen Anforderungen unterliegt, ist dies weniger klar. Der 01. Januar ist häufig, aber nicht immer, der am stärksten belastete Tag eines Jahres. Davon abgesehen gibt es aber auch andere Tage im Jahr, an denen die kritische Schwelle von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wird. In den nachfolgenden beiden Abbildungen wird die Bedeutung des 01. Januar am Beispiel der Station Wiesbaden-Ringkirche nochmals besonders eindrücklich veranschaulicht. In Abbildung 7 werden zunächst die PM<sub>10</sub>-Stundenmittelwerte der letzten zehn Jahre (01.07.2009 bis 30.06.2019) als weiteres Beispiel für eine hohe zeitliche Auflösung dargestellt. Bis auf eine Ausnahme im Jahr 2010 treten die maximalen PM<sub>10</sub>-Stundenwerte immer am 01.01. des Jahres auf. Besonders auffällig ist, dass sich vor allem in den Jahren 2012, 2013 und 2015 die Konzentrationen noch bis in die Morgenstunden auf einem hohen Niveau ( $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) halten.

Im Vergleich dazu sind als Beispiel für eine geringere zeitliche Auflösung in Abbildung 8 die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte für den gleichen Zeitraum dargestellt. Wieder bestätigt sich, dass in den meisten Fällen der 01. Januar, der am stärksten belastete Tag des Jahres ist. Doch es gibt auch Ausnahmen, wie zum Beispiel in den Jahren 2010 und 2018 zu sehen ist. Hier treten in den Monaten Februar und März weitaus höhere Tagesmittelwerte als am 1. Januar auf. Der kritische Wert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird in sieben von zehn Fällen bereits am 1. Januar überschritten. Doch auch hier sind im Laufe der einzelnen Jahre, vor allem in den Frühjahrsmonaten, weitere Tage zu verzeichnen, an denen ein Mittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wird.

## Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Auswirkungen des Silvesterfeuerwerks auf die Immissionskonzentrationen in Hessen am deutlichsten an den erhöhten Feinstaubkonzentrationen (PM<sub>10</sub>) festzustellen sind. Doch auch die Komponenten Ruß und SO<sub>2</sub> zeigen einen deutlichen Anstieg mit Einsetzen des Feuerwerks, in den ersten Stunden nach Mitternacht. Für die Komponenten NO<sub>2</sub> und CO lässt sich dagegen kein eindeutiger Zusammenhang feststellen. Da es sich im Allgemeinen um ein zeitlich sehr begrenztes Ereignis handelt, das lediglich zu kurzen – wenn auch sehr hohen – Konzentrationsspitzen in den ersten Stunden nach Mitternacht führt, können die gesetzlich geregelten Grenzwerte der relevanten Komponenten trotzdem sicher eingehalten werden. Die immissionsseitige Auswirkung unterscheidet sich von Jahr zu Jahr deutlich, was auch stark mit den jeweils vorherrschenden Wetterverhältnissen und den damit verbundenen Ausbreitungsbedingungen zusammenhängt. Dies wird am jährlich unterschiedlich langen Nachwirken der Emissionen deutlich. Beson-

ders deutlich ist dies am Beispiel der Station „Wiesbaden-Ringkirche“ für Silvester 2015 zu erkennen, wo sich hohe Konzentrationen besonders lange morgens halten konnten (siehe Abb. 7).

Auch wenn die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte nicht in Gefahr sind und die hohen Konzentrationen zeitlich sehr begrenzt auftreten, wäre im Sinne der Vorsorge und im Hinblick auf die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen eine Reduzierung des Einsatzes von Feuerwerkskörpern sicher sinnvoll. Um nicht gänzlich auf den traditionellen Brauch zu verzichten könnten beispielsweise organisierte Großfeuerwerke gegenüber dem Privatfeuerwerk vorgezogen werden. Dadurch könnten bodennahe Emissionen, die eine direktere Einwirkung auf die Luftqualität erzielen, stark reduziert werden. Vielmehr könnte dadurch aber auch eine Reduzierung des direkten Gefährdungspotentials, das beim privaten Einsatz von Feuerwerkskörpern sicherlich nicht zu vernachlässigen ist, erreicht werden.

## Literatur

- 93/15/EWG (1995): Richtlinie 93/15/EWG des Rates vom 5. August 1993 zur Harmonisierung der Bestimmungen über das Inverkehrbringen und die Kontrolle von Explosivstoffen für zivile Zwecke. ABl. EG Nr. L 121 S. 20, 1995 Nr. L 79 S. 34.
- HLNUG (2017): Lufthygienischer Jahresbericht 2017. – 50 S.; Wiesbaden; [<https://www.hlnug.de/themen/luft/messnetzberichte/jahresberichte>; Stand: 08.11.2019].
- LAIR, G., EGGER, W., KRISMER, A. & SCHWANNINGER, C. (2019): Feinstaubbelastung zu Silvester in Tiroler Ballungsräumen. – Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 79: 235–239; Düsseldorf.
- Sprengstoffgesetz (2002): Sprengstoffgesetz in der Fassung der Bekanntgabe vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 35189, das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 67 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert wurde.
- Sprengstoffverordnung (2017): Zweite Verordnung zur Änderung der Ersten Verordnung zum Sprengstoffgesetz. BGBl. I Nr. 37, S. 1617, 16. Juni 2017.
- ARX, VON U. (2014): Feuerwerkskörper, Umweltauswirkungen und Sicherheitsaspekte. Umwelt-Wissen Nr. 1423. – 139 S., Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. [<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/publikationen/feuerwerkskoerper.html>, Stand: 08.11.2019].
- UBA (2018): Zum Jahreswechsel: Wenn die Luft „zum Schneiden“ ist – Hintergrundpapier. – 8 S.; Dessau-Roßlau; [<https://www.umwelt-bundesamt.de/publikationen/jahreswechsel-wenn-die-luft-schneiden-ist>; Stand: 08.11.2019].