Lufthygienischer Jahresbericht 2015

Bericht über die Ergebnisse der lufthygienischen Überwachung am Flughafen Frankfurt

Mit dem Jahresbeginn 2015 haben wir unser Messprogramm um die Partikelkonzentration in der Größenklasse 2,5 µm (PM2,5) am Standort S2 erweitert. Über die Jahreskennzahlen hinaus umfasst der vorliegende Lufthygienische Jahresbericht eine weitergehende Auswertung dieser ersten einjährigen Messreihe, auch im Vergleich zu den bereits routinemäßigen PM10-Messungen und zu anderen Standorten. Ergänzend wird auf Grundprinzipien der Messtechnik und auf die Ansprüche an die Messgenauigkeit eingegangen, die als Randbedingungen der Partikelmessung maßgeblich sind.

Ebenso wie es seit Jahren bei den übrigen Komponenten der Fall ist, sind die Ergebnisse auch für PM2,5 nicht unerwartet: Die Konzentration steht in einem weitgehend konstanten Verhältnis zur PM10-Konzentration und liegt mit 14 µg/m^3 auf einem mit anderen städtischen Standorten vergleichbaren Niveau unterhalb des erstmals 2015 gültigen Grenzwerts von 25 µg/m^3 im Jahresmittel.

Um die zusätzlichen Ergebnisse in einem sinnvollen Zusammenhang darstellen zu können, wurde bei den Balkendiagrammen auf die Komponente Ethylbenzol verzichtet, für die es ohnehin keine entsprechenden Vergleichswerte aus dem öffentlichen Messnetz gibt. In der tabellarischen Darstellung sind nach wie vor alle Ergebnisse enthalten.

Eine weitere Änderung betrifft die Balkendarstellung der Staubinhaltsstoffe[1]. Da die Vergleichswerte aus dem öffentlichen Messnetz generell nicht vor Redaktionsschluss vorliegen, können zur Orientierung jeweils nur deren Vorjahreswerte herangezogen werden. Um auch hier einen konsistenten, zeitlichen Bezug herzustellen, wird sich zukünftig die Balkendarstellung der bei Fraport gemessenen Staubinhaltsstoffe ebenfalls auf das Vorjahr beziehen. Ergänzend werden die aktuellen Werte in den Diagrammen markiert.

Standorte der Luftmessstationen im Jahr 2015

[1] Benzo(a)pyren, Arsen, Blei, Cadmium, Nickel

Jahresmittelwerte im Vergleich mit Luftqualitätswerten

		Messwert	Luftqualitätswert*
NO	S1	34	200 [1]
	S2	21	
	S5	14	
NO_2	S1	46	40 [2]
	S2	36	
	S5	29	
SO_2	S1	2	50 [3]
	S2	4	
CO	S1	0,3	- [4]
	S2	0,3	
O_3	S1	37	- [4]
	S2	43	
PM10	S1	18	40 [2]
	S2	18	
	S5	19	
PM2,5	S2	14	25 [2]
Benzol	S1	0,7	5 [2]
	S2	0,7	
Toluol	S1	1,5	30 [5]
	S2	1,4	
m/p-Xylol	S1	0,8	30 [5]
	S2	0,7	
Ethylbenzol	S1	0,3	20 [1]
	S2	0,3	
Benzo(a)pyren	S1	0,2	1 [2]
	S2	0,2	
Arsen	S1	0,3	6 [2]
Blei	S1	3,6	500 [2]
Cadmium	S1	0,1	5 [2]
Nickel	S1	1,6	20 [2]

Messeinheit: µg/m³, für CO: mg/m³, für Benzo(a)pyren, Arsen, Blei, Cadmium und Nickel: ng/m³

PM10 = Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist, Definition für PM2,5 analog dazu

**Als Vergleichswerte wurden herangezogen:*

[1] Immissionsvergleichswert des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)
[2] Grenzwert der 39. BImSchV; Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo(a)pyren: Zielwert
[3] Grenzwert der TA Luft 2002
[4] Kein als Jahresmittel definierter Beurteilungswert in den einschlägigen Regelungen
[5] Vorschlag des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI)

Partikel der Größenklasse 2,5 µm (PM2,5), für die seit 2015 ein Grenzwert als Beurteilungswert für das Jahresmittel zur Verfügung steht, wurden neu in das Fraport-Messprogramm aufgenommen. Ein entsprechender Kurzzeitgrenzwert ist hier nicht definiert.

Die kontinuierlichen Messungen waren zu über 99 % verfügbar. Auch die Staubinhaltsanalysen waren vollständig. Bei den BTEX-Messungen fehlen lediglich die Septemberwerte an der S1, sodass diese Stoffgruppe dort zu 92 % belegt ist.

Überschreitungshäufigkeit von Kurzzeit-Luftqualitätswerten

		Kurzzeit-Luftqualitätswert	Bezugsintervall	Anzahl gemessener Überschreitungen pro Jahr	Anzahl zulässiger* Überschreitungen pro Jahr
NO_2	S1	200	1 Stunde	10	18
	S2			0	
	S5			0	
SO_2	S1	350	1 Stunde	0	24
	S2			0	
CO	S1	10 [1]	8 Stunden	0	0
	S2			0	
O_3	S1	180 [2]	1 Stunde	32	0
	S2			35	
	S1	240 [3]	1 Stunde	1	0
	S2			6	
	S1	120 [1]	8 Stunden	21 [4]	25 [4]
	S2			24 [4]	
PM10	S1	50	24 Stunden	5	35
	S2			6	
	S5			7	

Messeinheit: µg/m³, für CO: mg/m³
** Als Vergleichswerte wurden die Kurzzeit-Luftqualitätswerte gemäß 39. BImSchV herangezogen (zum Begriff „zulässig“ siehe die Erläuterungen im Lufthygienischen Jahresbericht 2004):*

[1] Höchstzulässiger Acht-Stunden-Mittelwert eines Tages aus stündlich gleitenden Acht-Stunden-Mittelwerten (bei Ozon: Zielwert)
[2] Schwelle für die Unterrichtung der Öffentlichkeit durch die zuständige Behörde bei Überschreitung in deren Messnetz
[3] Schwelle für die Auslösung des Alarmsystems durch die zuständige Behörde bei Überschreitung in deren Messnetz
[4] als Mittel über drei Jahre (2013, 2014, 2015)

Zur Beurteilung der Kurzzeitwerte für PM2,5, Staubinhaltsstoffe, NO, Benzol, Toluol, m/p-Xylol, und Ethylbenzol liegen keine entsprechenden Luftqualitätswerte vor.

Mit durchschnittlich 11,6°C war das Jahr 2015 nur unwesentlich weniger warm als das Vorjahr, aber extrem trocken. Bei überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer fiel insgesamt weniger als 70 % der langfristig gemittelten Jahressumme des Niederschlags[2].

Dies schlug sich auch wieder in großräumig erhöhten Ozonmaxima nieder. Wie im öffentlichen Messnetz war insbesondere im Juli und August die Informationsschwelle für Ozon häufig überschritten, am 3. und am 5. Juli sogar die Alarmschwelle. Stundenmittelwerte oberhalb der Alarmschwelle kamen im Juli nicht nur in den Randbereichen des Ballungsraums oder in erhöhten Lagen vor, wo normalerweise die höchsten Werte registriert werden, sondern auch an den städtischen Standorten Darmstadt, Frankfurt-Höchst, Frankfurt-Ost, Hanau, Raunheim und Wiesbaden.

Erwartungsgemäß lag die Konzentration von PM2,5 sowie von PM10 unter dem Beurteilungswert für das Jahresmittel. Die Schwelle für das PM10-Tagesmittel war wie in den meisten Jahren nur an wenigen Tagen überschritten und damit deutlich seltener als mit der maximal zulässigen Häufigkeit von 35.

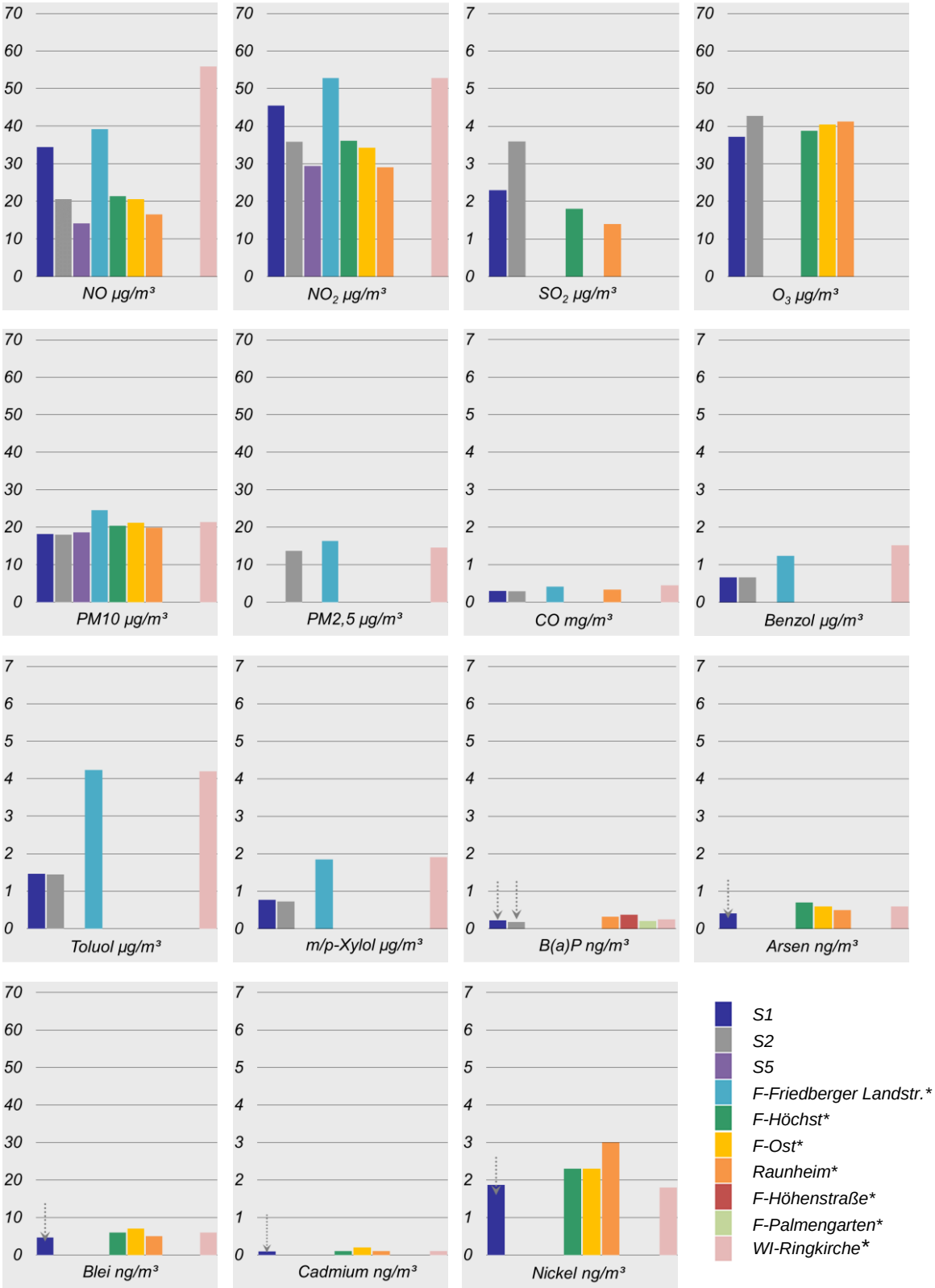
Die NO_2-Konzentrationen lagen auf dem Niveau des Vorjahres, an S1 weiterhin über dem Beurteilungswert für das Jahr. Konzentrationen oberhalb der Kurzzeitschwelle kamen ebenfalls nur an S1 vor. Diese Fälle traten wieder ausschließlich bei nordöstlichen Windrichtungen (von außerhalb des Flughafens) bzw. bei Windstille während des abendlichen Berufsverkehrs oder danach auf.

Da die registrierten Kurzzeitüberschreitungen bei PM10 und NO_2 innerhalb der zulässigen Häufigkeiten liegen, würden auch im Berichtsjahr die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit weitestgehend eingehalten, wenn sie auf Flughäfen anwendbar wären. Die einzige Ausnahme stellt wieder der durch Kfz-Emissionen erhöhte NO_2-Jahresmittelwert an S1 dar. Er ist vergleichbar mit dem Konzentrationsniveau an ebenfalls verkehrsexponierten, städtischen Standorten und stellt ebenso wie die diesjährigen hohen Ozonmaxima keine Besonderheit des Standorts Flughafen dar.

---

[2] 1981-2010 an der vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Flugwetterwarte im Flughafengelände

Jahresmittelwerte der Flughafenstationen und Vergleichswerte benachbarter Messstationen des HLNUG*



Keine Säule = Komponente nicht im Messprogramm der jeweiligen Station enthalten, F = Frankfurt am Main, WI = Wiesbaden, Staubinhalt: Balken = Vorjahreswerte, Pfeile = aktuelle FRA-Werte

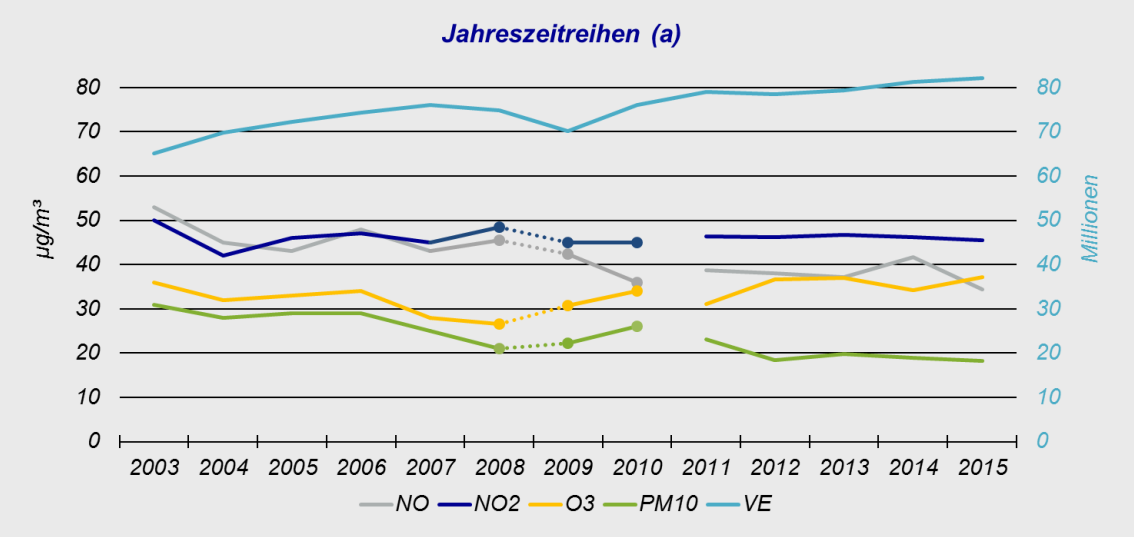
**Quellen: Lufthygienischer Monatsbericht Dezember 2015 (gleitende Jahresmittel), HLNUG und Lufthygienischer Jahresbericht 2014 (Teil 2: Staub und Staubinhaltsstoffe), HLNUG. Teil 2 für 2015 lag bis Redaktionsschluss noch nicht vor.*

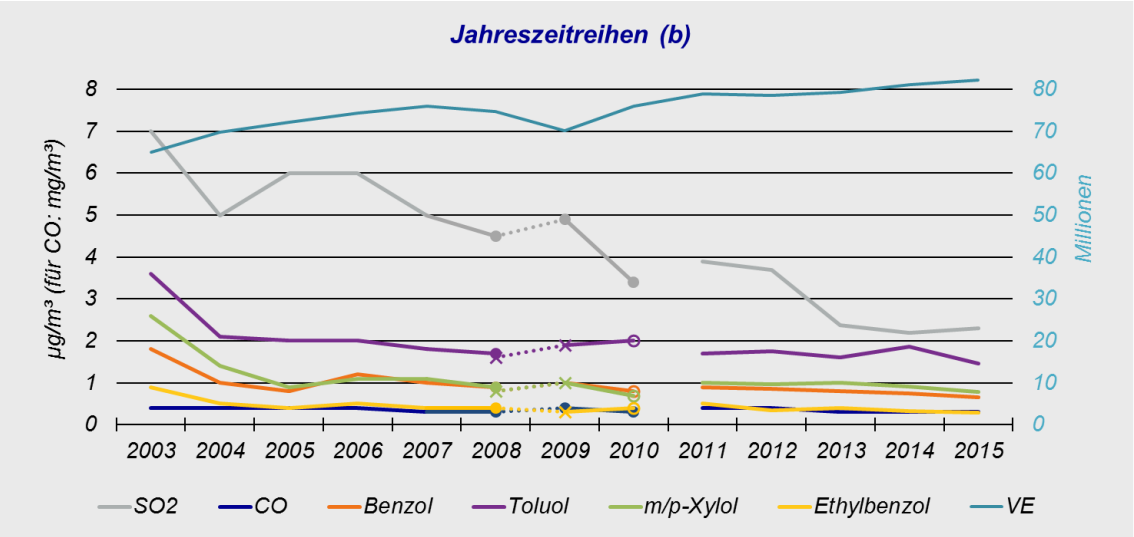
Vergleich der Fraport-Stationen mit benachbarten HLNUG-Stationen

Wie in den Vorjahren lagen die Konzentrationen an den Flughafenstationen – abgesehen von SO_2 – auch 2015 im mittleren bis unteren Bereich der HLNUG-Vergleichsstationen. Dies gilt ebenso für die erstmals gemessene Partikelfraktion PM2.5, auf die in den folgenden Abschnitten näher eingegangen wird. Wegen des höheren Schwefelgehalts von Kerosin gegenüber anderen Kraft- und Heizstoffen ist ein Einfluss von Flugzeugemissionen auf die SO_2-Konzentration am Flughafen nicht auszuschließen, s. Lufthygienischer Jahresbericht 2014. Die Werte liegen aber auch am Flughafen im unteren messbaren Bereich, sodass geringe Unterschiede oder zeitliche Schwankungen nicht überbewertet werden sollten. An allen Standorten waren die Konzentrationen der Staubinhaltsstoffe B(a)P, Arsen, Blei, Cadmium und Nickel, wie bisher sehr gering im Verhältnis zu den jeweiligen Beurteilungswerten. Da aktuelle Vergleichswerte aus dem HLNUG-Netz bei Redaktionsschluss noch nicht vorlagen, gilt dies mit entsprechender Einschränkung. Um dennoch zeitgleiche Messungen gegenüber zu stellen, enthält die Balkendarstellung dieser Stoffgruppe nunmehr durchgängig Ergebnisse aus dem Vorjahr. Die aktuellen Fraport-Werte sind mit Pfeilen markiert.

Entwicklung der Jahresmittel (Station S1) und Verkehrseinheiten (VE)

Bei weiter steigenden Verkehrszahlen bestätigt sich der Trend im Konzentrationsverlauf als überwiegend konstant. Der leichten Abnahme bei PM10 und NO steht ein leichter Anstieg der mittleren Ozonkonzentration gegenüber. Die deutliche SO_2-Abnahme der vergangenen Jahre scheint sich nicht fortzusetzen. Angesichts der niedrigen Werte ist hier das Reduktionspotenzial wahrscheinlich weitgehend ausgeschöpft.





1 VE = 1 Passagier mit Gepäck oder 100 kg Luftfracht bzw. Luftpost
Durchgezogene Linien: Messwerte eines Standorts, gepunktete Linien: kleinräumiger Standortwechsel 2008 / 2009, 2010 Verlegung um ca.1000 m in nord-nordöstliche Richtung
Dicke Punkte: Korrektur bei Datenlücken am Standort, Kreuze: geringer Datenumfang am Standort ohne Korrektur, Kreise: Daten von zwei Standorten ohne Korrekturmöglichkeit

Messung der Partikelkonzentration

Bei der Partikelmessung wird die Außenluft über einen größenselektiven Probenahmekopf geführt, der so ausgelegt ist, dass entweder die PM10- oder die PM2,5-Fraktion des Schwebstaubs abgeschieden wird. Die Massenkonzentration wird dann über die Streuung eingestrahlten Lichts (Nephelometer-Prinzip) sowie über die Abschwächung schwacher radioaktiver Strahlung (β-Absorption) durch die Partikel bestimmt. Die Aktivität des eingesetzten C14-Strahlers ist dabei so gering, dass diese unter der gesetzlichen Freigrenze liegt und keine Genehmigung erfordert.

Selektion der Größenklassen

Die Partikelgröße, nach der die Messgrößen PM10 und PM2,5 abgegrenzt werden, stellt keine einfache, anschauliche geometrische Abmessung dar, sondern einen sehr speziellen messtechnischen Parameter, mit dessen Hilfe das physikalische Verhalten der Partikel im menschlichen Organismus bereits bei der Messung ansatzweise berücksichtigt werden kann, s. nebenstehenden Kasten. Die Größenselektion erfolgt durch trägheitsbedingt unterschiedliches Verhalten von Teilchen verschiedener Masse bzw. Größe im Luftstrom der Probenahmeeinheit. Kleine Teilchen werden weniger durch Strömungshindernisse abgelenkt als große und dringen so weiter vor – wie im menschlichen Organismus.

Partikeldefinition

Als „PM10“ sind Teilchen definiert, die einen Lufteinlass passieren, der einen Abscheidegrad von 50 % für Teilchen mit 10 µm aerodynamischem Durchmesser hat. Eine entsprechende Definition gilt für PM2,5.

Der aerodynamische Durchmesser entspricht dem Durchmesser eines kugelförmigen Teilchens der Dichte 1 g/cm^3 (Wasser), das die gleichen aerodynamischen Eigenschaften aufweist, wie das zu untersuchende Teilchen.

D.h., die geometrische Größe kann auch innerhalb dieser Klasse je nach Zusammensetzung (Dichte) durchaus variieren.

Die wenig anschauliche Abgrenzung der Partikelklassen ist also über die Messtechnik definiert. Sie dient allein der systematischen Überwachung der Luftqualität im Hinblick auf die menschliche Gesundheit. Definition, Messtechnik und Grenzwert bzw. Zielwert bilden eine Einheit, deren einzelne Elemente außerhalb dieses Rahmens nur begrenzte Aussagekraft haben. Innerhalb dieses Anwendungsbereiches sind die Details durch Richtlinien geregelt, um vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen.

Anforderungen an die Messgenauigkeit

Auch die Anforderungen an die Genauigkeit der Partikelmessung orientieren sich an den Bewertungsmaßstäben und sind durch Richtlinien vorgegeben. Die kleinste Einheit bei der Bewertung von Partikelkonzentrationen, der Tagesmittelwert, sollte deshalb mit der geforderten Genauigkeit von ±25 % ermittelt werden. Wenn nahezu das gesamte PM10 aus den kleineren PM2,5 besteht, kann es innerhalb dieser Toleranz vorkommen, dass der gemessene PM2,5-Wert größer ist als der PM10-Wert, obwohl er eigentlich nur ein Teil davon sein sollte.

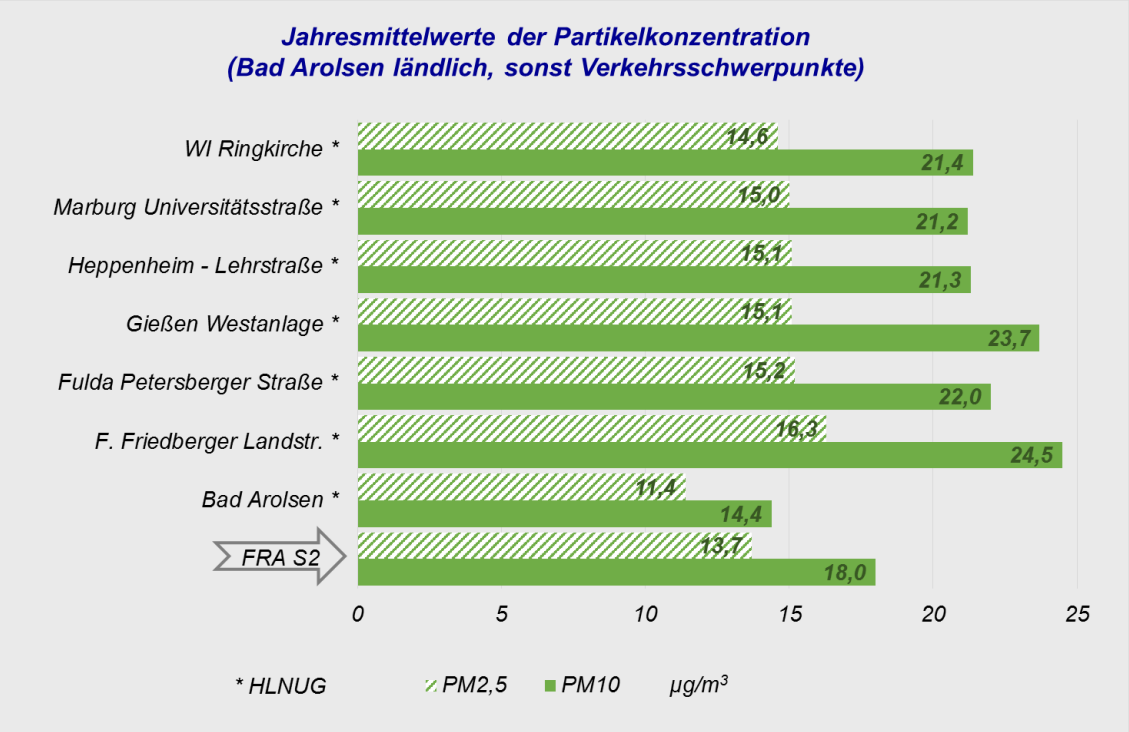
Dies ist überwiegend bei niedrigen Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze der Fall, bei denen kleine Unterschiede bereits große relative Abweichungen bedeuten. Ein zweites Qualitätskriterium besagt daher, dass der absolute Unterschied zwischen zwei gleichartigen Messungen (d.h. auch im Fall PM2,5 ≈ PM10) nicht mehr als 2,5 µg/m^3 betragen soll. Messungen mit PM2,5:PM10-Verhältnissen, die nach diesen beiden Kriterien nicht plausibel sind, werden nachträglich noch einmal auf erkennbare Messfehler geprüft und gegebenenfalls korrigiert bzw. gelöscht. Die so qualitätsgeprüften Messergebnisse erscheinen – insbesondere bei höherer als der vorgesehenen Auflösung – nicht immer anschaulich, erfüllen aber den vorgesehenen Zweck einer standardisierten Luftqualitätsüberwachung.

Partikelkonzentrationen im Vergleich

Im hessischen Messnetz zur Überwachung der Luftqualität wird die PM2,5-Konzentration[3] überwiegend an verkehrsexponierten Stationen gemessen. Aus dem städtischen Hintergrund stehen keine Vergleichswerte zur Verfügung. Der Standort Bad Arolsen ist der einzige als ländlich eingestufte, von dem PM2,5-Messungen vorliegen. Dementsprechend wurde dort mit 11,4 µg/m^3 der niedrigste Jahresmittelwert gemessen, während sich an den übrigen Stationen weitgehend einheitlich 15 bis 16 µg/m^3 ergaben. Das Jahresmittel an der Fraport-Station S2 liegt mit 13,7 µg/m^3 dazwischen. Alle Werte sind deutlich niedriger als der Grenzwert von 25 µg/m^3.

---

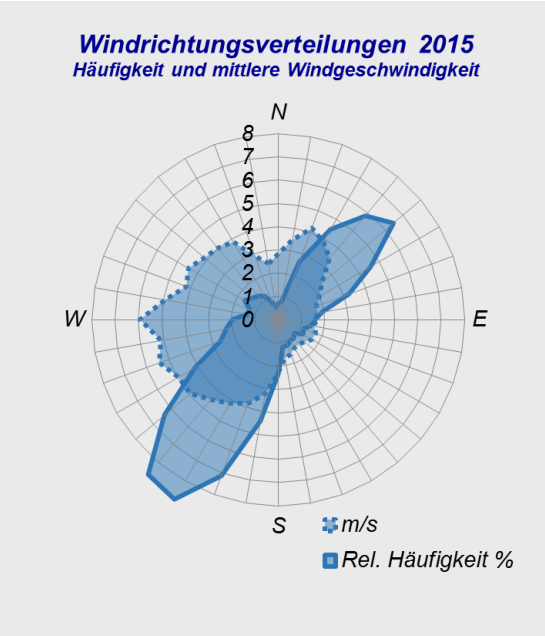
[3] *Auch bei den hier angeführten Jahresmittelwerten des HLNUG handelt es sich jeweils um das gleitende Mittel über das zurückliegende Jahr aus dem Monatsbericht Dezember 2015. Weitere Auswertungen basieren auf im Internet veröffentlichten Stundenwerten.*

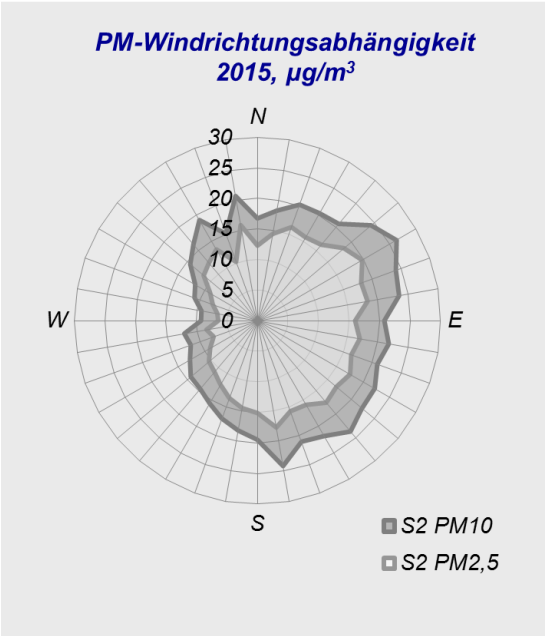


Das mittlere Verhältnis von PM2,5 zu PM10 ist leicht standortabhängig und liegt an allen Stationen zwischen 60 % und 80 %. Auf dem Flughafen beträgt es 76 %. Insofern hat die PM2,5-Messung keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse gebracht. Im Hinblick auf die Überwachung der Luftqualität ist PM10 immer noch eine wesentliche Messgröße, schon weil hierfür ein Kurzzeitgrenzwert definiert ist, der allerdings nach 2011 in Hessen nicht mehr überschritten wurde.

Einfluss der Windrichtung und -geschwindigkeit auf die Partikelkonzentration

Da die Partikelkonzentrationen großräumig sehr homogen sind, können aus ihrer Windrichtungsabhängigkeit keine Rückschlüsse auf die verursachenden Emittenten gezogen werden. Hier verhält sich PM2,5 wie PM10, wobei sich die höheren Werte bei allen Sektoren mit östlicher Komponente ergeben. Dies sind im Allgemeinen Sektoren, die mit geringerer Windgeschwindigkeit bzw. mit austauscharmen Wetterlagen verknüpft sind. Dabei können sich bodennah emittierte Schadstoffe in der Atmosphäre anreichern.





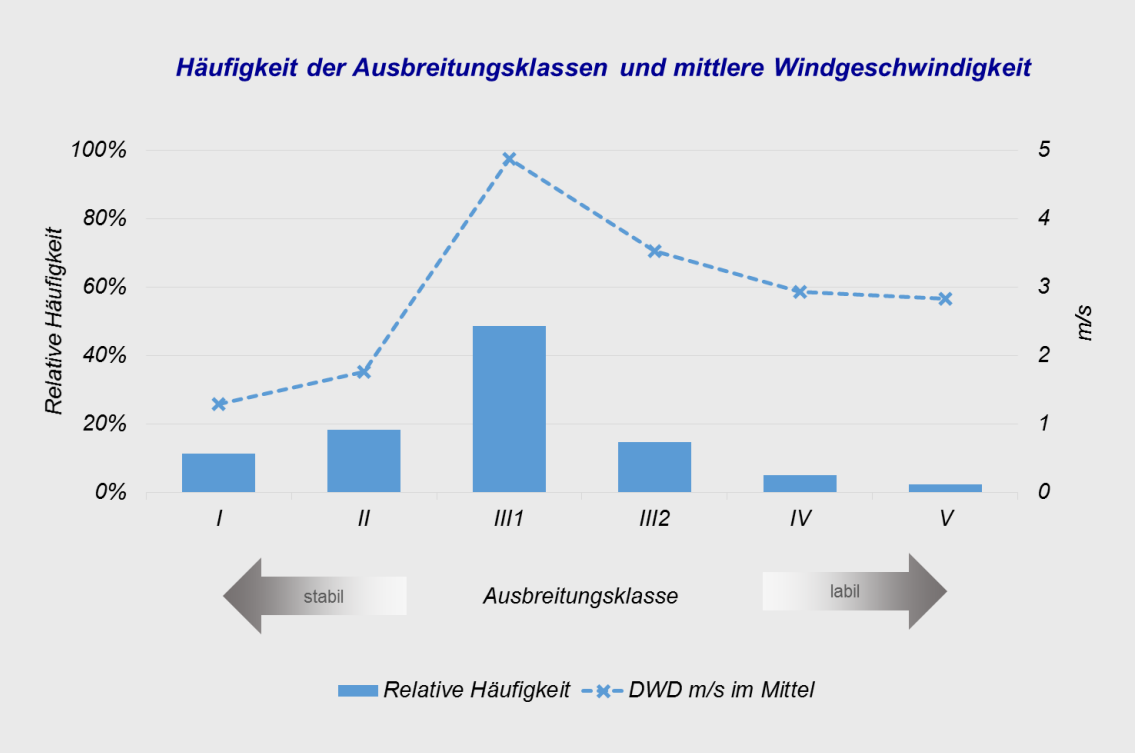
Auswertung von Stundenwerten aus WebWerdis (DWD)

Bei westlichen Windrichtungen herrschen dagegen meist höhere Windgeschwindigkeiten, sodass die Schadstoffe schneller verdünnt werden. Die beiden Windrosendarstellungen auf Seite 7 zeigen ein für den Standort Flughafen sehr typisches Bild.

Einfluss der atmosphärischen Stabilität

Die thermische Schichtung der Atmosphäre bestimmt insbesondere die vertikale Durchmischung. Je stärker die Temperaturabnahme mit der Höhe, desto stärker der vertikale Austausch. Bei konstanter Temperatur oder gar Temperaturzunahme mit der Höhe spricht man von stabiler Schichtung.

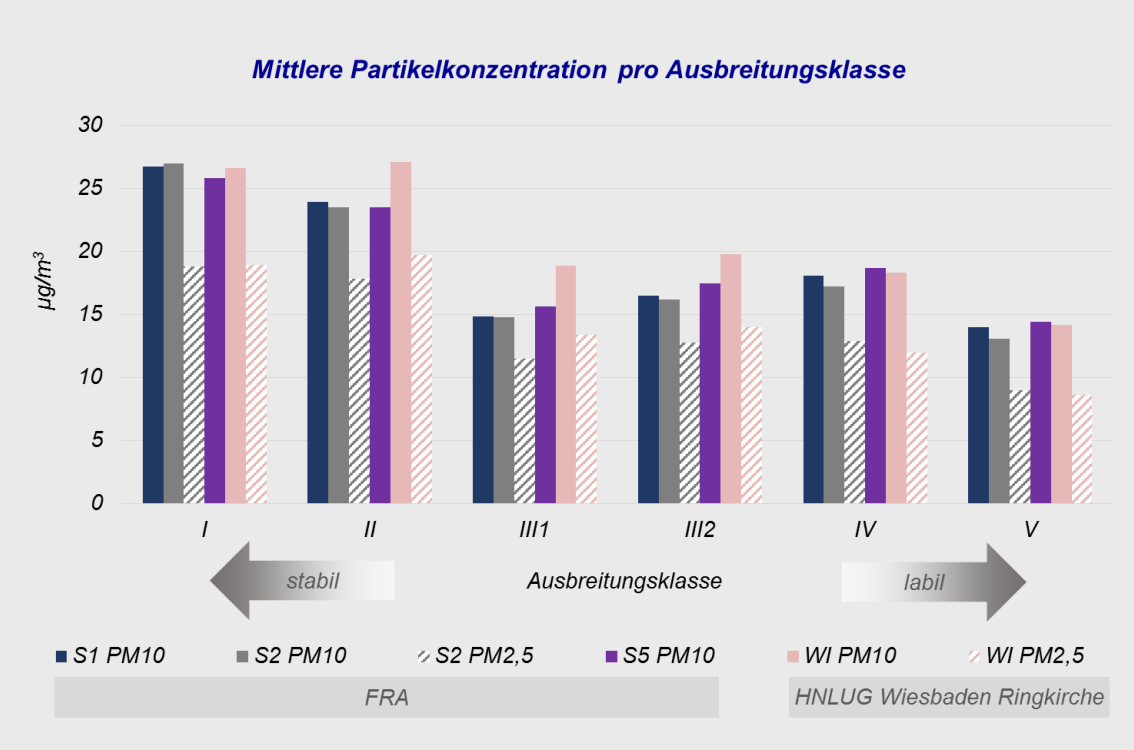
Die atmosphärische Stabilität kann in Form von Ausbreitungsklassen beschrieben werden. In Deutschland basieren die in der Regel zugrunde gelegten Ausbreitungskategorien auf der Einteilung nach Klug/Manier. Sie werden durch römische Ziffern, teilweise mit arabischem Index, bezeichnet. Je niedriger die Ziffer, desto stabiler die Atmosphäre und desto geringer die Verdünnung von bodennahen Schadstoffen.



Auswertung von Stundenwerten aus WebWerdis (DWD) nach VDI 3782 (2009)

In den beiden niedrigsten, stabilen Klassen treten auch die geringsten Windgeschwindigkeiten auf. Die höchsten Windgeschwindigkeiten ergeben sich für die dritte und häufigste Klasse, die als indifferent bis stabil bezeichnet wird. Zu den labilen Ausbreitungsklassen hin nimmt die (horizontale) Windgeschwindigkeit wieder ab. Dabei ist allerdings der vertikale Austausch erhöht.

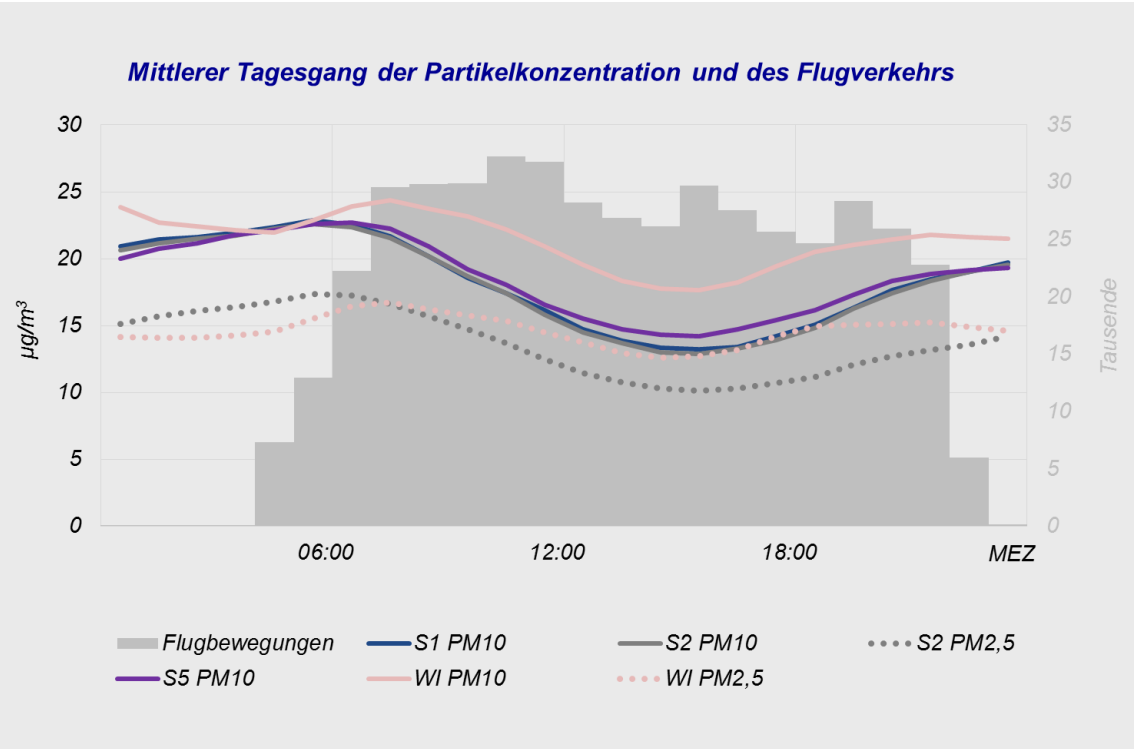
Diese Zusammenhänge schlagen sich auch in der Verteilung der Partikelkonzentrationen auf die Ausbreitungsklassen nieder. Die höchsten Werte finden sich in den beiden stabilen Klassen, vergleichsweise geringe Konzentrationen in der häufigen indifferenten Klasse mit hoher Windgeschwindigkeit und die geringsten Werte in der labilsten Klasse mit dem stärksten Vertikalaustausch.



Dieses Ergebnis gilt sowohl für PM2,5 als auch für PM10 und für alle untersuchten Standorte in ähnlicher Weise.

Die Partikelkonzentration im Tagesverlauf

Auch der Konzentrationsverlauf über den Tag ist stark von der Entwicklung des atmosphärischen Austausches geprägt. Unabhängig von Standort und Partikelgrößenklasse ergeben sich jeweils ein morgendliches Maximum und ein Minimum am Nachmittag sowie ein erneuter Anstieg zum Abend hin. Dabei überlagern sich einerseits die Effekte von stabiler Schichtung nachts und morgens mit dem Emissionsbeitrag aus dem Berufsverkehr und andererseits die bessere Durchmischung tagsüber mit den emissionsärmeren Phasen zwischen den Spitzen des Straßenverkehrs.



Die PM10-Kurven der Fraport-Stationen verlaufen nahezu identisch. Die Werte der Station Wiesbaden-Ringkirche liegen insbesondere tagsüber höher, was durch den innerstädtischen Straßenverkehr bedingt sein dürfte.

Sowohl auf dem Flughafen als auch in Wiesbaden zeigt die PM2,5-Kurve jeweils den gleichen Verlauf wie die PM10-Kurve auf niedrigerem Niveau. Erwartungsgemäß ist kein Zusammenhang mit dem Flugverkehr erkennbar. Gegen einen solchen Zusammenhang spricht u.a. die Tatsache, dass der morgendliche Anstieg lange vor dem Einsetzen des Flugverkehrs erfolgt.

Weitere Informationen:

Fraport AG
www.fraport.de

HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)
www.hlnug.de

RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 21. Mai 2008
über Luftqualität und saubere Luft für Europa
http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/existing_leg.htm

DWD-Daten WebWerdis
https://werdis.dwd.de

Bestimmung der Ausbreitungsklassen
VDI 3782 (2009) Blatt 1
Umweltmeteorologie
Atmosphärische Ausbreitungsmodelle
Anhang A

HLNUG Sondermessung Frankfurt-Lerchesberg
http://www.hlnug.de/start/luft/sonstige-berichte.html
Erhebung der Luftqualität im Einzugsbereich der neuen NW-Landebahn des Flughafen Frankfurt Station „Frankfurt-Lerchesberg“

HLNUG Sondermessung Flörsheim
http://www.hlnug.de/start/luft/sonstige-berichte.html
Erhebung der Luftqualität (Station „Flörsheim“) und des Staubniederschlags im Einzugsbereich der neuen NW-Landebahn des Flughafens Frankfurt

ACI Studie über Luftqualität während der Flugausfälle infolge Vulkanausbruch
„Effects of Air Traffic on Air Quality in the Vicinity of European Airports“
www.fraport.de/aciluftqualitätsstudie2010

Herausgeber: *Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide, Flugbetriebs- und Terminalmanagement, Unternehmenssicherheit (FTU), 60547 Frankfurt am Main.* ***Redaktion:*** *Barbara Schreiber, Markus Sommerfeld (FTU-LL)*