

Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA)

Bereich:
Luftreinhaltung & Filtration
Bliersheimer Straße 58-60
47229 Duisburg



Heinz Kaminski, Christof Asbach

Bericht Nr. LP 106Z2

Zwischenbericht zum Auftrag:

Durchführung von Messungen der Größenverteilung von Partikeln sowie Wissenstransfer zur Gerätetechnik und zur Auswertung/Interpretation der Daten

Berichtszeitraum: 01.09.-31.12.2017

Angebot Nr. UN1/UN2_QuaAsb_2016

Auftraggeber:
Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Postfach 3209
65022 Wiesbaden

Duisburg, 30. Januar 2018

1 Einleitung

Ultrafeine Partikel (UFP) mit Partikeldurchmessern kleiner als 100 nm haben sich in toxikologischen Studien als potentiell besonders gesundheitsgefährdend erwiesen. Die bisher wenigen epidemiologischen Untersuchungen ergeben zurzeit noch kein eindeutiges Bild, schließen aber eine erhöhte Gesundheitsrelevanz auch nicht aus. Für die Messung der UFP-Immission können die in den Messnetzen vorhandenen Feinstaub-Messverfahren nicht genutzt werden, da UFP kaum zur Massenkonzentration beitragen. Ihre Erfassung ist nur über eine zählende Bestimmung der Anzahlkonzentration möglich und erfordert daher spezielle Messsysteme. Da die Anzahlkonzentration stark mit der Partikelgröße variiert, werden hierbei in der Regel Spektrometer genutzt, die Partikel entsprechend ihrer Größe klassieren (zumeist unter Nutzung ihrer elektrischen Mobilität, z. B. mit dem Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS).

Studien aus den USA und den Niederlanden haben gezeigt, dass durch den Betrieb von Großflughäfen deutliche Emissionen von UFP erzeugt werden, die sich noch in einigen Kilometern Distanz durch erhöhte Immission der Anzahlkonzentrationen gegenüber der allgemeinen Hintergrundbelastung nachweisen lassen.

Das HLNUG hat daher beschlossen, im Umfeld des Frankfurter Flughafens zunächst zwei Messstationen für UFP-Messungen einzurichten. Neben der Untersuchung der ggf. durch den Flughafen und weiteren UFP-Quellen verursachten UFP-Zusatzbelastungen sollen diese Messungen auch geeignet sein, Grundlagendaten über die Bevölkerungsexposition mit UFP zu liefern, die als Eingangsdaten für epidemiologische Untersuchungen genutzt werden können.

Das HLNUG hat für diese zwei Messstationen zwei neue SMPS beschafft, die vor dem Einbau in die jeweiligen Messstationen gegenüber einem SMPS des IUTA verglichen wurden. In diesem Kurzbericht werden die Ergebnisse der Vergleichsmessungen gemäß Arbeitspaket 2 des Angebots dargestellt. Weiterhin sind die Auswertungen der bisherigen Daten von Ende September bis Ende Dezember 2017 aufgeführt.

2 Vergleichsmessungen

Für die Vergleichsmessungen wurden vom HLNUG zwei SMPS 3938 mit CPC 3772 bereitgestellt. Die Messgeräte können sowohl über den Touchscreen am Electrostatic Classifier bedient und gesteuert werden oder über einen externen PC. Für die externe Steuerung wird die Aerosol Instruments Manager Software benötigt, diese war auf den bereitgestellten Laptops in der Version 10.2 installiert.

2.1 IUTA SMPS Vergleichsmessungen bei TROPOS

Das IUTA SMPS wird seit einigen Jahren in der Messstation Mülheim-Styrum betrieben und ist ein SMPS 3936 mit dem wasserbasierten UWPCP 3786.

Eine Qualitätssicherungsmaßnahme bei den UFP Messungen an der Messstation war die Teilnahme an dem *Workshop Intercomparison of Mobility Particle Size Spectrometers* beim Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) in Leipzig im Herbst letzten Jahres. Bei dem Workshop wurden Vergleichsmessungen unter standardisierten Bedingungen mit verschiedenen SMPS durchgeführt. Dabei durften die zu überprüfenden Messgeräte keine größeren Abweichungen als $\pm 10\%$ gegenüber den Referenzgeräten (MPSS (Mobility Particle Size Spectrometer) und CPC 3010) des WCCAP (World Calibration Centre for Aerosol Physics) aufweisen. Bei den Überprüfungen mit Kalibrierpartikeln mit Partikeldurchmesser 203 ± 4 nm ergaben sich für unser MH-Styrum SMPS (in den nachfolgenden beiden Abbildungen jeweils als DE-MühlStr bezeichnet) 202,8 nm und 202,0 nm. Dies entspricht Abweichungen von -0,10 % bzw. -0,49 % zum Kalibrierstandard und es zeigten sich somit ebenso geringe Abweichungen wie bei der Überprüfung am Anfang des Jahres.

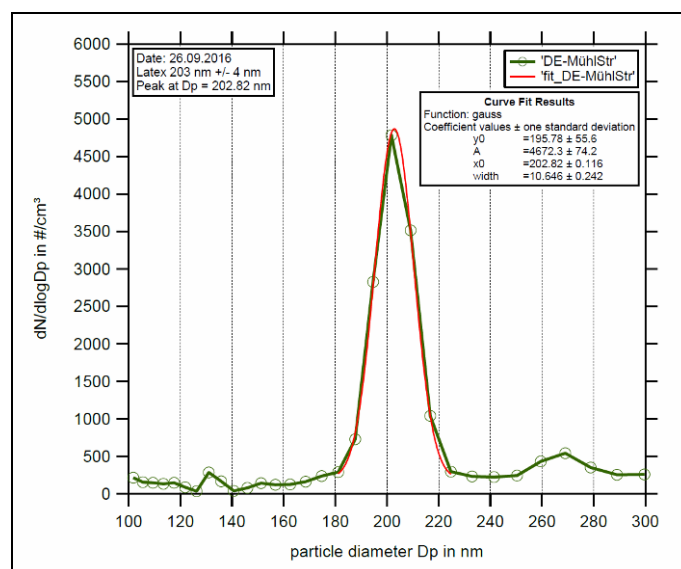


Abbildung 1: Partikelgrößenverteilung für PSL 203 nm bei der Kalibrierüberprüfung bei TROPOS

Bei den Vergleichsmessungen der SMPS wurden sowohl in den mittleren Partikelgrößenverteilungen als auch bei den Partikelanzahlkonzentrationsverläufen nur ge-

ringförmige Unterschiede zum Referenzgeräten MPSS und CPC festgestellt. TROPOS hat dem IUTA eine Konzentrationsabweichung von +1,7 % für das MH-Styrum SMPS bescheinigt. Somit entspricht das MH-Styrum SMPS den Qualitätsstandards von ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Research Infrastructure Network), GAW (Global Atmosphere Watch) und GUAN (German Ultrafine Aerosol Network).

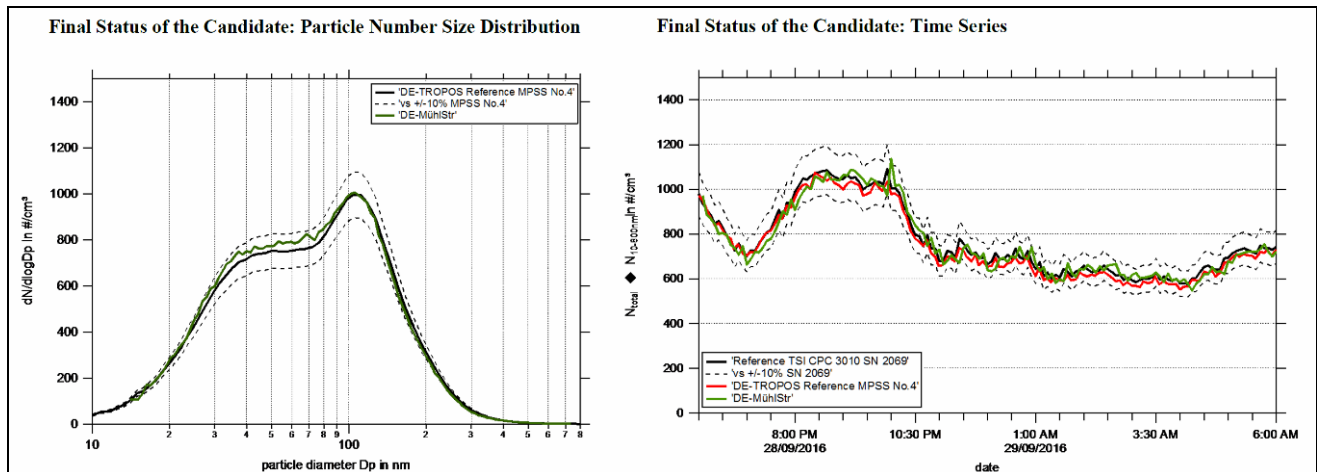


Abbildung 2: Vergleich der mittleren Partikelgrößenverteilung (links) und des Partikelanzahlkonzentrationsverlaufs (rechts) bei den Vergleichsmessungen des SMPS MH-Styrum gegenüber dem SMPS Referenzgerät von TROPOS

2.2 Überprüfung mit Kalibrierpartikeln

Vor den eigentlichen Vergleichsmessungen der HLNUG SMPS und IUTA SMPS in der Messstation wurden bei den SMPS die Volumenströme (Aerosol- und Schleierluft) mithilfe eines Bubble-Flowmeters Gilian Gilibrator 2 (Sensidyne Inc.) überprüft. Die Dichtheit der Messsysteme wurde durch Nulltests mit HEPA-gefilterter Luft durchgeführt. Die Überprüfung der korrekten Größenzuordnung erfolgte mit Polystyrol Latex Partikel PSL (Kalibrierstandards, Polysciences Inc., BS-Partikel GmbH) unterschiedlicher Größe (102,7 nm und 182 nm).



Abbildung 3: Polystyrol Latex Partikel PSL der Partikelgrößen 102,7 nm (Polysciences Inc., links) und 182 nm (BS-Partikel GmbH, rechts)

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Messergebnisse der Kalibrierüberprüfungen mit den SMPS Scanzeiten für 240 s und 120 s dargestellt. Diese Ergebnisse wurden mit dem Gauss-Modell gefittet, und die Modalwerte sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Die Abweichungen zum Kalibrierstandard sind in Klammern neben dem jeweiligen Fit-Modalwert angegeben.

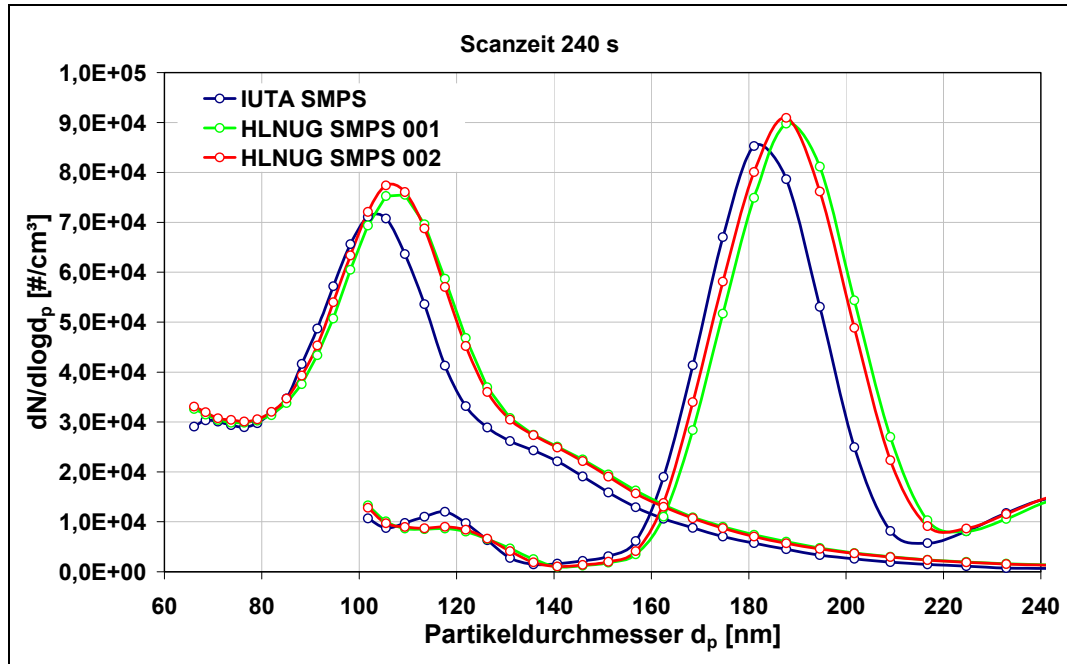


Abbildung 4: Kalibrierüberprüfung der SMPS mit PSL der Partikelgröße 102,7 nm und 182 nm bei 240 s Scanzeit

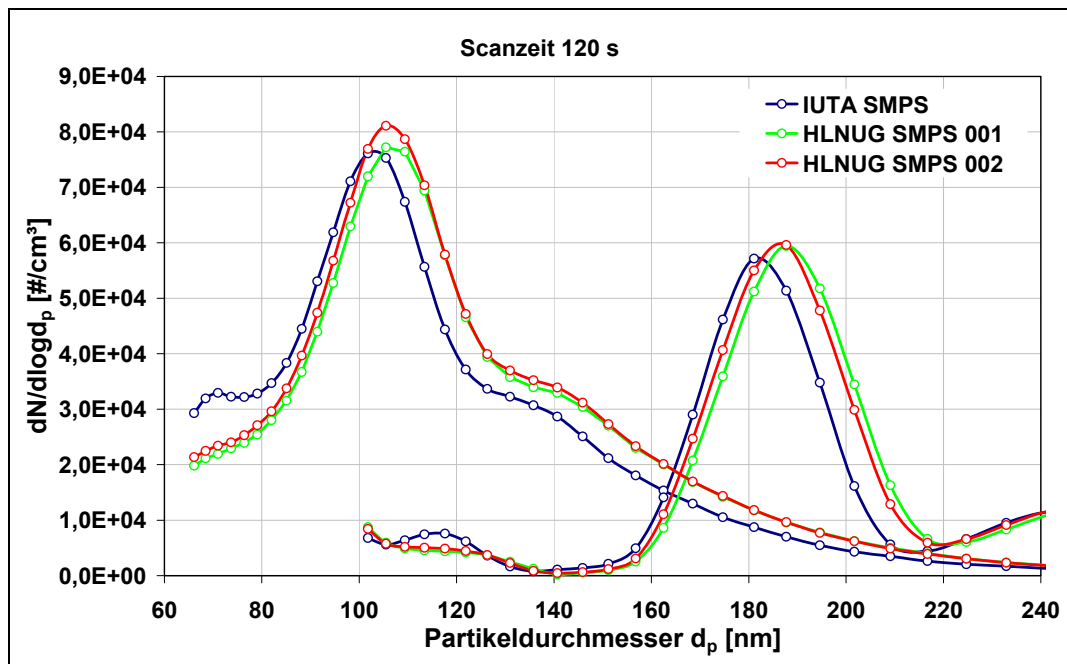


Abbildung 5: Kalibrierüberprüfung der SMPS mit PSL der Partikelgröße 102,7 nm und 182 nm bei 120 s Scanzeit

Bei den HLNUG SMPS ergeben sich somit Abweichungen zwischen 2,3 % und 4,6 % gegenüber dem jeweiligen PSL Kalibrierstandard.

PSL Partikel [nm]	102,7 ± 1,7		182 ± 5	
Scanzeit [s]	240	120	240	120
Fit-Modalwerte [nm]				
IUTA SMPS	103,2 (0,5%)	103,0 (0,2%)	182,8 (0,4%)	182,6 (0,3%)
HLNUG SMPS 001	107,5 (4,6%)	107,3 (4,5%)	188,7 (3,7%)	188,0 (3,3%)
HLNUG SMPS 002	106,7 (3,8%)	106, (3,8%)	187,2 (2,9%)	186,2 (2,3%)

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Kalibrierüberprüfung

2.3 Vergleichsmessungen in MH-Styrum

Für Vergleichsmessungen mit Außenluftaerosol wurden alle drei SMPS in die Messstation MH-Styrum eingebaut und parallel betrieben. Während der Messungen traten bei den HLNUG SMPS öfter Verbindungsfehler (Fehleranzeige: Connection Error) auf. Dabei verlor das SMPS002 wesentlich öfter die Verbindung als SMPS001. Die SMPS waren mit USB Kabeln mit den Laptops verbunden. Erst durch Austausch der USB Kabel gegen Ethernet Kabel konnten die Verbindungsfehler behoben werden.



Abbildung 6: In die Messstation eingebaute SMPS für die Vergleichsmessungen

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Vergleichsmessungen als Zeitreihe der Partikelkonzentration des überlappenden Partikelgrößenbereichs von 14-487 nm, als Partikelanzahlgrößenverteilung und als Regressionsdiagramm dargestellt. Die Partikelmessgeräte wurden mit Scanzeiten von 240 s und 120 s betrieben. Die Zeiträume mit Fehlern beim SMPS wurden nicht beachtet.

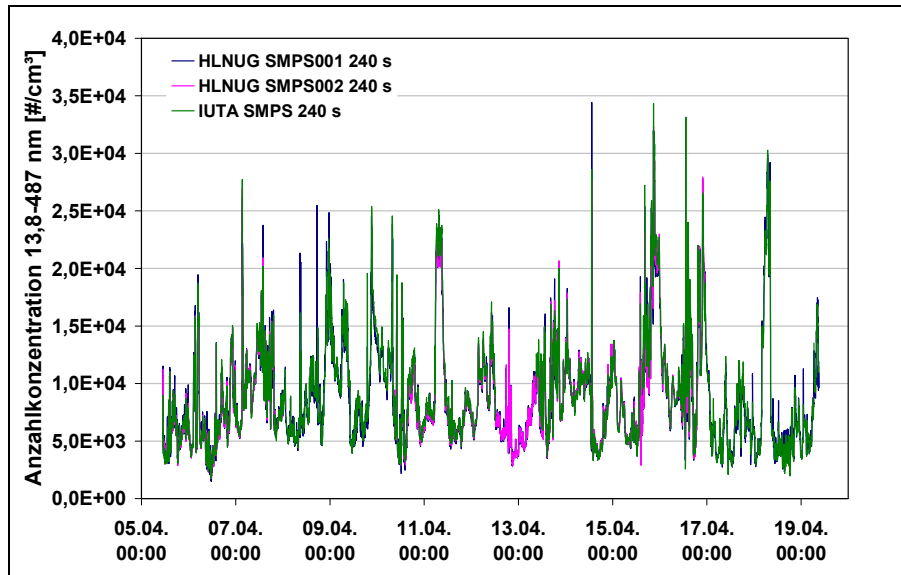


Abbildung 7: Partikelkonzentrationsverlauf bei SMPS Scanzeiten von 240 s

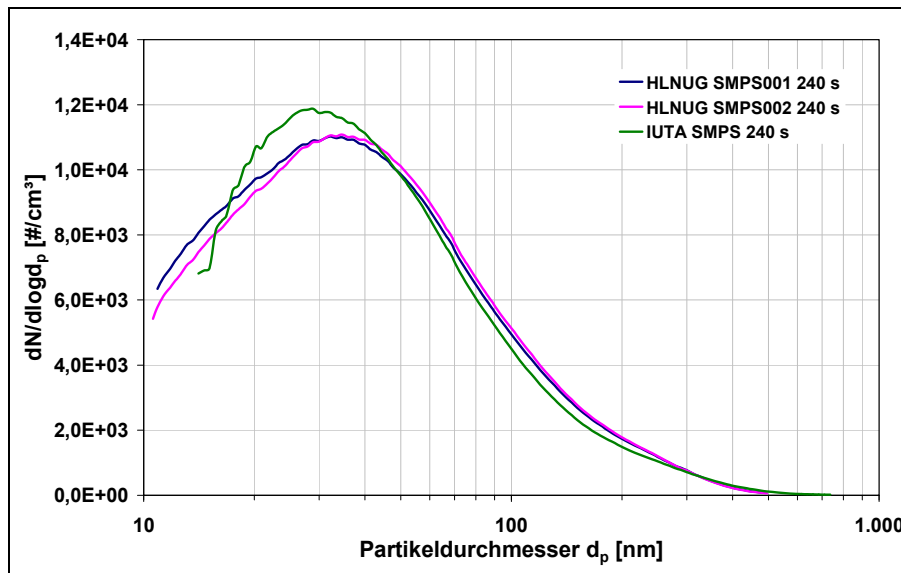


Abbildung 8: Partikelgrößenverteilung bei SMPS Scanzeiten von 240 s

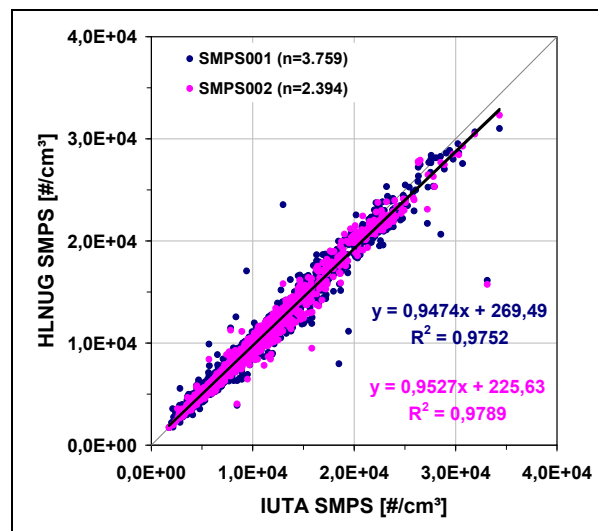


Abbildung 9: Lineare Regressionen der Messwerte (Scanzeit 240 s)

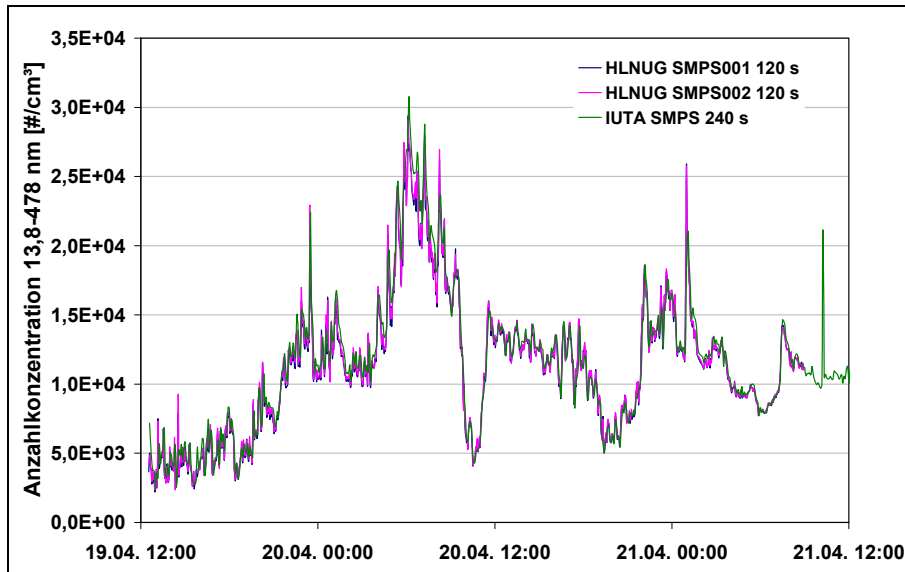


Abbildung 10: Partikelkonzentrationsverlauf bei Scanzeiten von 120 s (HLNUG) und 240 s (IUTA)

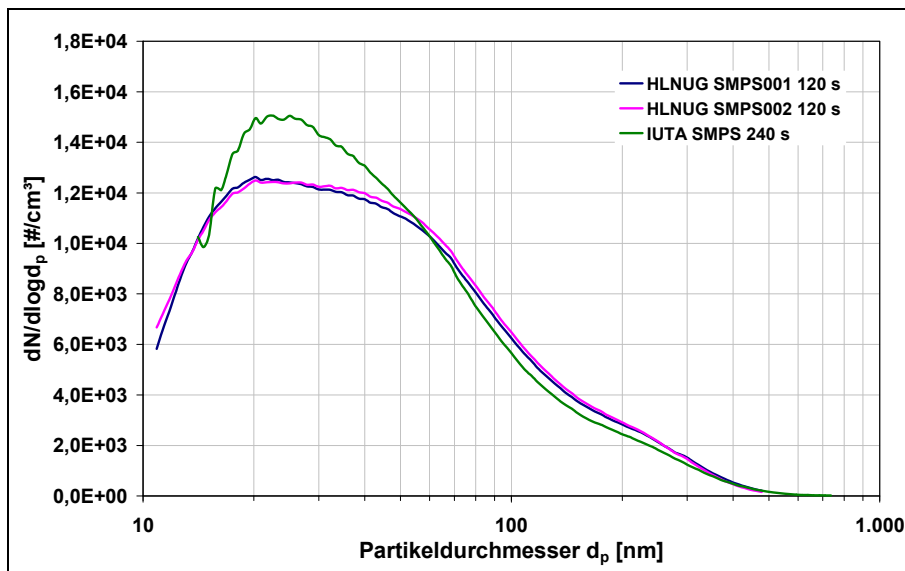


Abbildung 11: Partikelgrößenverteilung bei Scanzeiten von 120 s (HLNUG) und 240 s (IUTA)

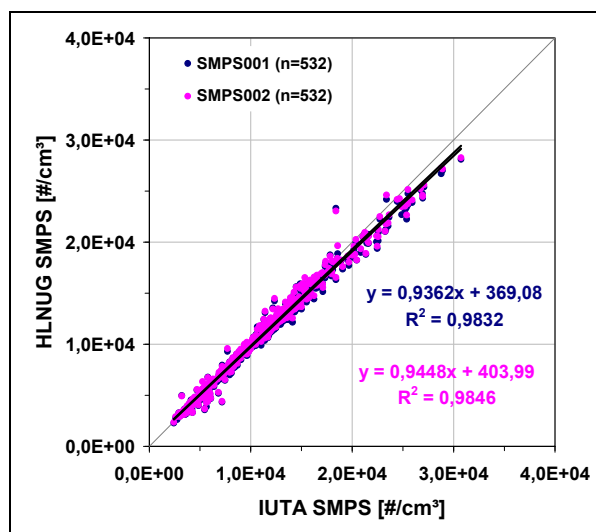


Abbildung 12: Lineare Regressionen der Messwerte (jeweils die dem IUTA SMPS entsprechenden zwei Messwerte der HLNUG SMPS gemittelt)

Zusammengefasst ergeben sich die in nachfolgender Tabelle gezeigten Partikelkonzentrationen für den überlappenden Partikelgrößenbereich der SMPS von 14-487 nm und für den Partikelgrößenbereich von 20-400 nm.

Partikelkonzentration [#/cm ³]	Partikelgrößenbereich 14-487 nm		Partikelgrößenbereich 20-400 nm	
IUTA SMPS	9.078	11.723	7.733	9.771
Scanzeit	240 s	120 s	240 s%	120 s%
HLNUG SMPS 001	9.082 (0,04%)	11.158 (-4,82%)	7.691 (-0,54%)	9.319 (-4,63%)
HLNUG SMPS 002	9.094 (0,17%)	11.293 (-3,67%)	7.784 (0,66%)	9.485 (-2,93%)

Tabelle 2: Zusammenfassung der Partikelkonzentrationen der Vergleichsmessungen

Danach ergeben sich für die Partikelkonzentrationen der HLNUG SMPS Abweichungen von -4,8 % bis +0,66 % im Vergleich zum IUTA SMPS. Bei Scanzeiten von 120 s sind die Abweichungen größer als bei Scanzeit 240 s, was eventuell auf Veränderungen des Aerosols während des SMPS Scans hindeuten könnte.

Bei Betrachtung der Partikelgrößenverteilungen (Abbildung 8 und Abbildung 11) fallen Abweichungen des Größenverlaufs im Bereich 20-40 nm bei Scanzeit 240 s und im Bereich 15-45 nm bei Scanzeit 120 s auf. Hier sind die Abweichungen bei Scanzeit 120 s ebenfalls ausgeprägter als bei 240 s. Außerdem zeigen sich die Größenverteilungen der HLNUG SMPS leicht nach rechts verschoben im Vergleich zur Verteilung des IUTA SMPS. Diese Verschiebung zeigte sich auch schon bei den Kalibrierüberprüfungen mit PSL.

3 Messtationen

Die Lage der aufgebauten Messtationen Frankfurt-Schwanheim und Raunheim ist in den nachfolgenden Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.



Abbildung 13: Lage der Messtationen

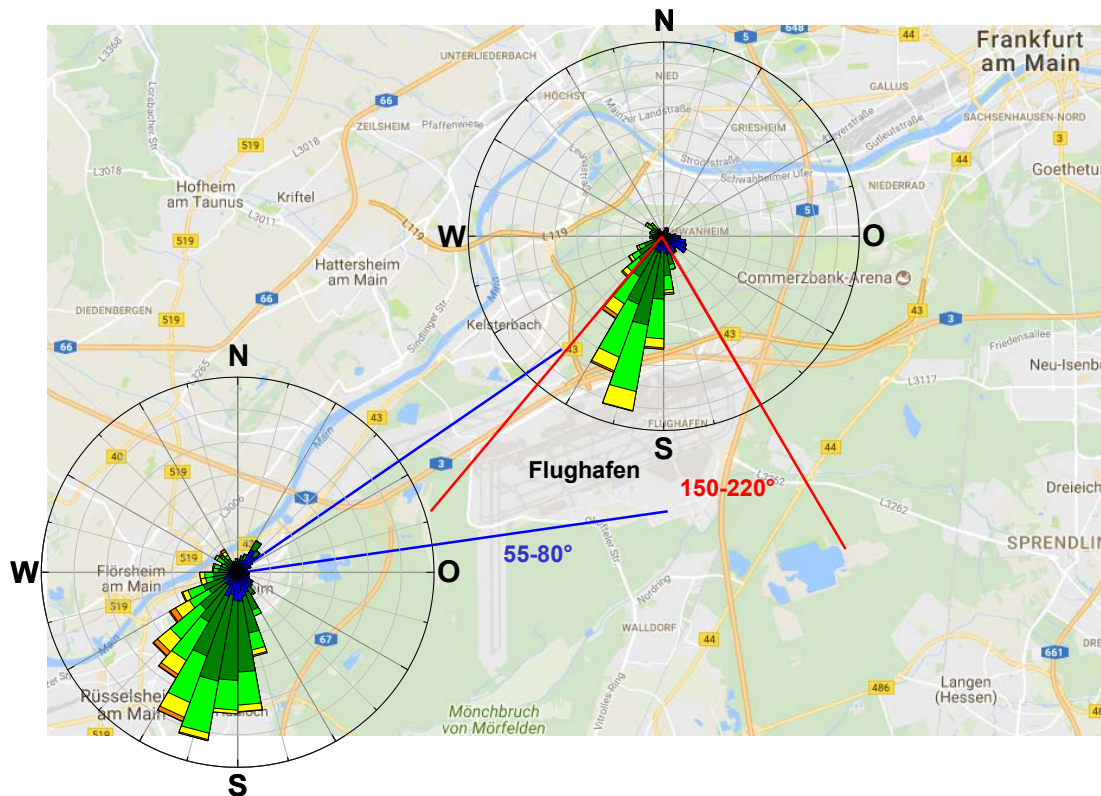


Abbildung 14: Darstellung eventueller Beeinflussung durch den Flughafenemissionen: Windsektoren mit Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung

Um eine eventuelle Beeinflussung der UFP Konzentrationen durch den Flughafen und Flugverkehr zu untersuchen, wurde die Lage der Messstationen so gewählt, dass eine Messstation möglichst nicht in einer Windrichtung vom Flughafen und eine zweite Messstation in der Hauptwindrichtung vom Flughafen liegt.

Die Messstation Raunheim liegt südwestlich vom Flughafen Frankfurt und der Windsektor, der die Messstation direkt beeinflussen könnte, wäre der aus etwa 55-80°. Von den im Vergleichszeitraum (29.09.-31.12.2017) beider Messstationen vorliegenden Winddaten (4.540 Halbstundenmittelwerte) wurde nur an 83 Halbstundenereignissen Wind aus 55-80° registriert. Somit ergibt sich für den Vergleichszeitraum eine Häufigkeit für Wind aus diesem Windsektor von 1,9 %. Wenn der Windsektor größer gefasst wird, beispielsweise 0-90° lassen sich auch nur 440 Halbstundenereignisse (Häufigkeit 9,7 %) detektieren.

Die Messstation Frankfurt-Schwanheim liegt in etwa nördlicher Richtung vom Flughafen und wird aus dem Windsektor 150-220° direkt beeinflusst. Aus diesem Windsektor wehte der Wind zur Messstation an 2.743 von 4.540 Halbstundenwerten. Dies entspricht einer Windhäufigkeit aus diesem Windsektor von 60 %.

Anhand der bisher vorliegenden Winddaten lässt sich festhalten, dass die Lagen der Messstationen entsprechend der Vorgaben gut gewählt wurden, um Partikelfreisetzungen vom Flughafen und dessen Flugverkehr zu untersuchen. Dabei darf allerdings nicht außer acht gelassen werden, dass die Autobahn A3 direkt am Flughafen vorbeiführt (siehe Abbildung 13) und somit die Messstation Frankfurt-Schwanheim bei entsprechenden Windrichtungen ebenso beeinflussen kann.

4 Auswertung bisher ermittelter Daten

4.1 Messstation Raunheim

In der nachfolgenden Abbildung 15 ist der zeitliche Verlauf der mit dem SMPS im Messbereich 10-500 nm gemessenen Partikelanzahlkonzentration als Integralwerte aufgezeichnet. Zu sehen sind dabei in unregelmäßigen Zeitabständen auftretende Konzentrationsspitzen.

Die mit dem SMPS gemessenen Partikelanzahlgrößenverteilungen sind in Abbildung 16 dargestellt. Danach ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration der bisherigen Daten (01.09.-31.12.2017) von 7.340 #/cm³ mit einem Medianwert von 5.460 #/cm³. Der Vergleichszeitraum mit der Messstation Frankfurt-Schwanheim ist vom 29.09.-31.12.2017. Für diesen Zeitraum ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration von 6.892 #/cm³ mit einem Medianwert von 5.235 #/cm³. Bei Betrachtung der monatlichen Partikelgrößenverteilungen fällt auf, dass sich der Modalwert von etwa 35 nm im Oktober von den Modalwerten der anderen Monate unterscheidet, dieser liegt bei etwa 15 nm für die Monate September, November und Dezember.

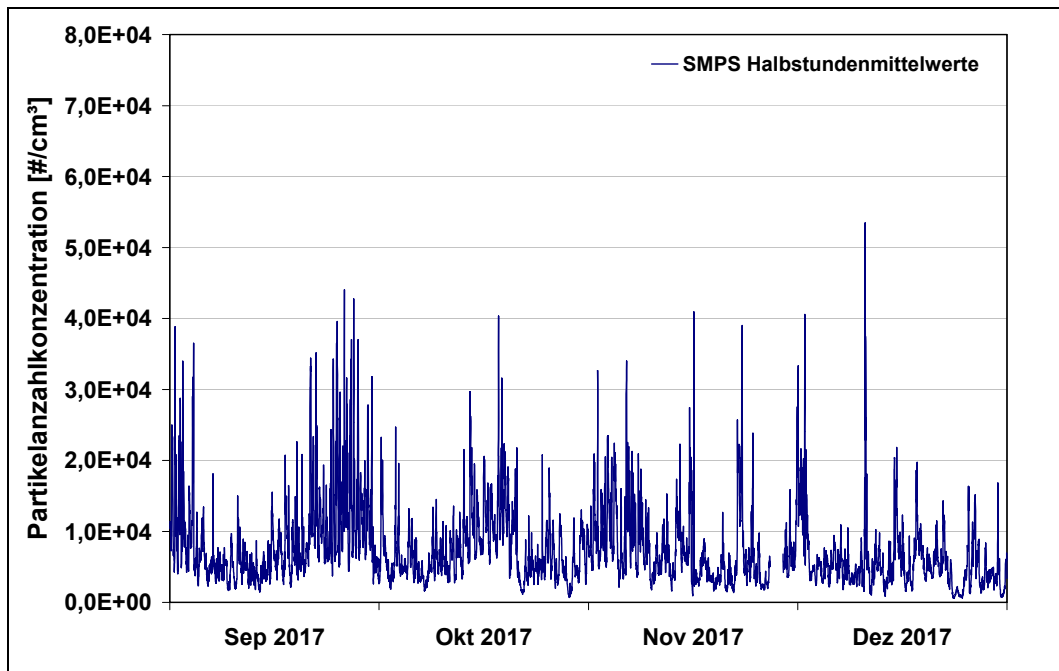


Abbildung 15: Bisheriger zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration für 2017 an der Messstation Raunheim

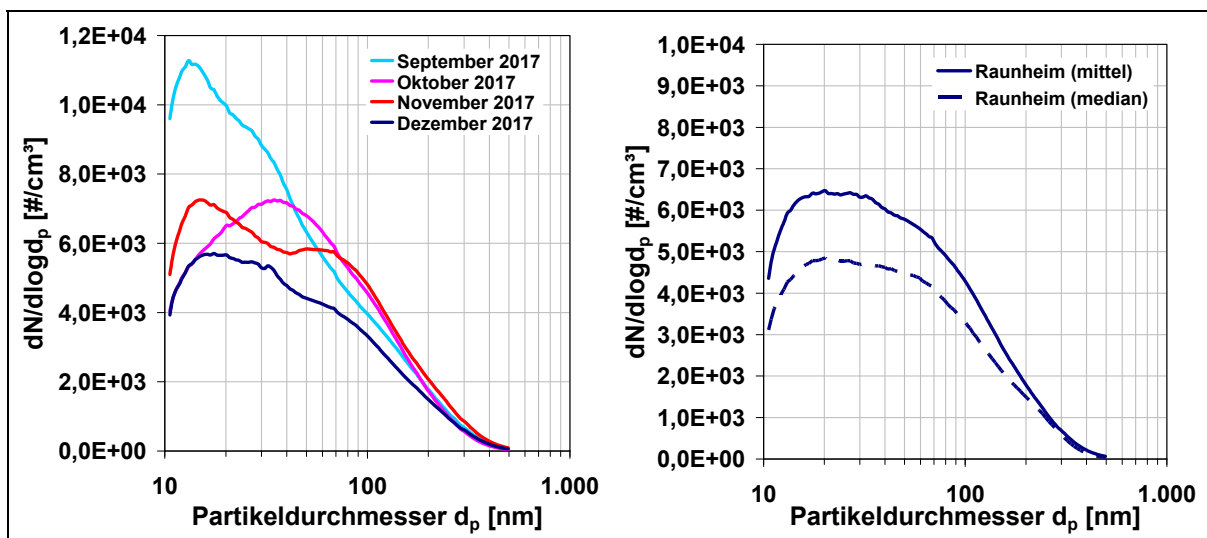


Abbildung 16: Partikelgrößenverteilungen für 2017 an der Messstation Raunheim (Abbildung links enthält Daten des gesamten Monats September, Abbildung rechts enthält wegen der Vergleichbarkeit zur Messstation Schwanheim nur Daten vom 29.09.-31.12.2017)

Zusätzlich zum SMPS ist in der Messstation Raunheim ein CPC 3776 des UBA eingebaut. Dieser misst die Partikelanzahlkonzentration im Messbereich von 2,5 nm bis etwa 3 μm . Wenn die Partikelkonzentration des CPC mit der integralen Partikelkonzentration des SMPS verglichen wird erkennt man, dass sich trotz des erweiterten Messbereichs des CPC gute Übereinstimmungen ergeben. Der direkte Vergleich der Halbstundenmittelwerte ergibt einen Regressionskoeffizienten R^2 von 0,766.

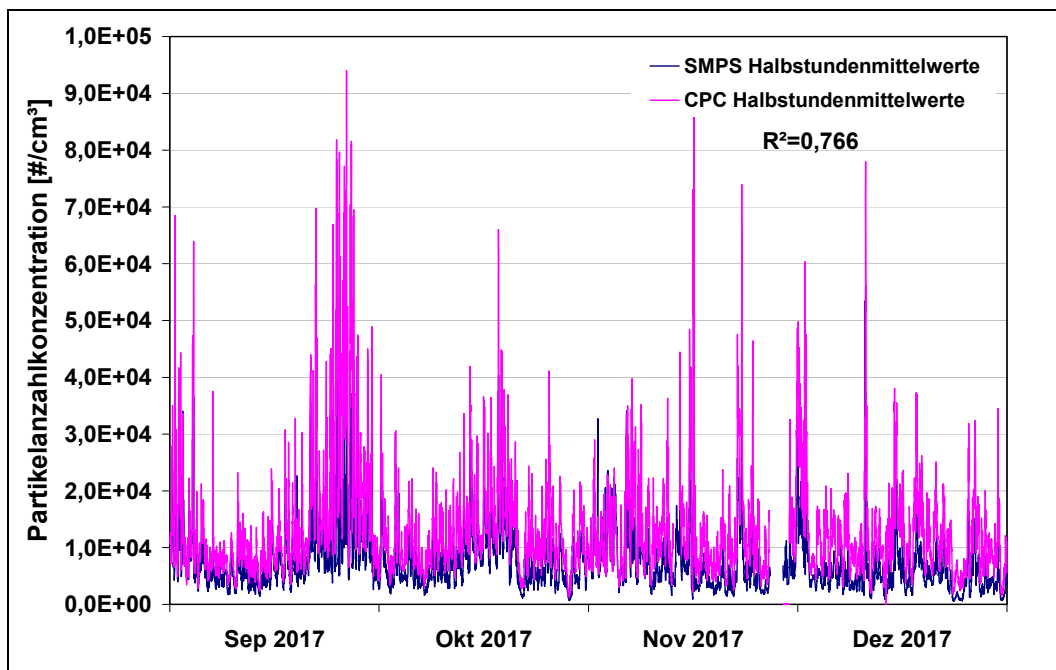


Abbildung 17: Vergleich der Partikelkonzentrationen von SMPS und CPC an der Messstation Raunheim

Bei Betrachtung der mittleren Tagesgänge sind deutliche Maxima in den Morgen- und Abendstunden zu erkennen. Diese deutlichen Verläufe sind im Wesentlichen dem jeweiligen Autoverkehr zu Berufs- und Freizeit Zwecken zuzuordnen. Sonntags zeigt sich in den Morgenstunden kein ausgeprägtes Maximum. Dieses ist erst in den Abendstunden erkennbar, wenn auch bei niedriger Konzentration im Verhältnis zu den Wochentagen und samstags.

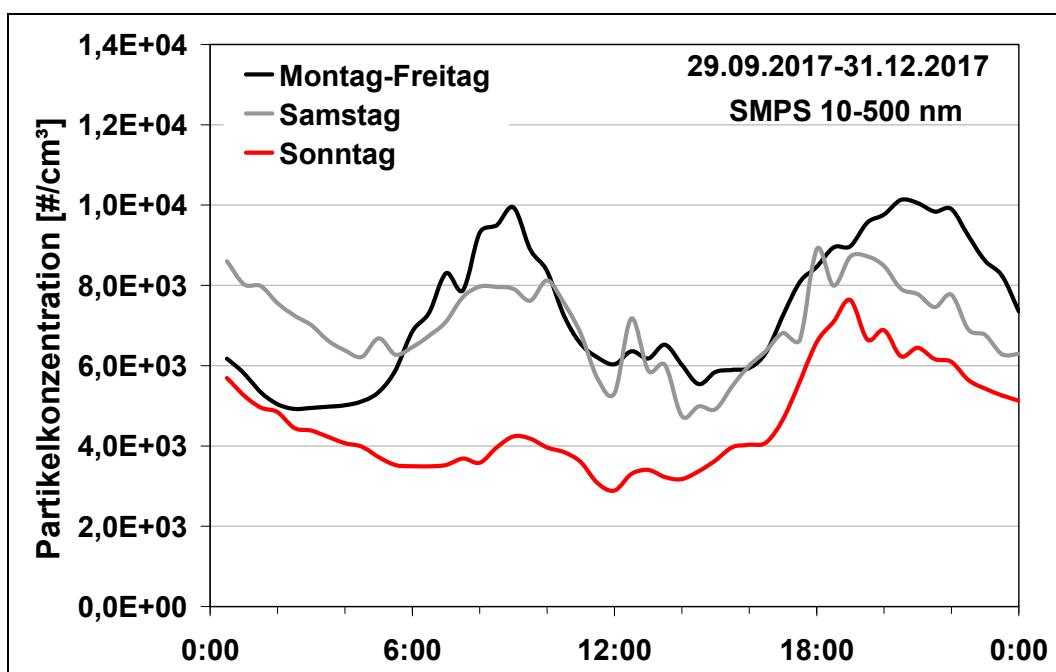


Abbildung 18: Mittlere Tagesgänge der Partikelanzahlkonzentrationen im bisherigen Messzeitraum an der Messstation Raunheim

Auch für PM10, NO und NO₂ zeigen sich deutliche Tagesgänge. Die mittlere PM10-Konzentration lag für den Zeitraum 29.09.-31.12.2017 bei 16 µg/m³. Die hohen PM10 Werte für samstags beruhen auf sehr hohen Einzelwerten in der Nacht von Fr. 17.11. auf den Sa. 18.11. mit Höchstwert von 80 µg/m³ um 02.00 Uhr nachts.

Bei den Tagesgängen für NO sieht man deutlich die Beeinflussung durch den morgendlichen Berufsverkehr und im abgeschwächten Maße nachmittags bzw. abends. Die mittleren NO-Konzentrationen lagen bisher bei 19,8 µg/m³ und für NO₂ bei 27,9 µg/m³.

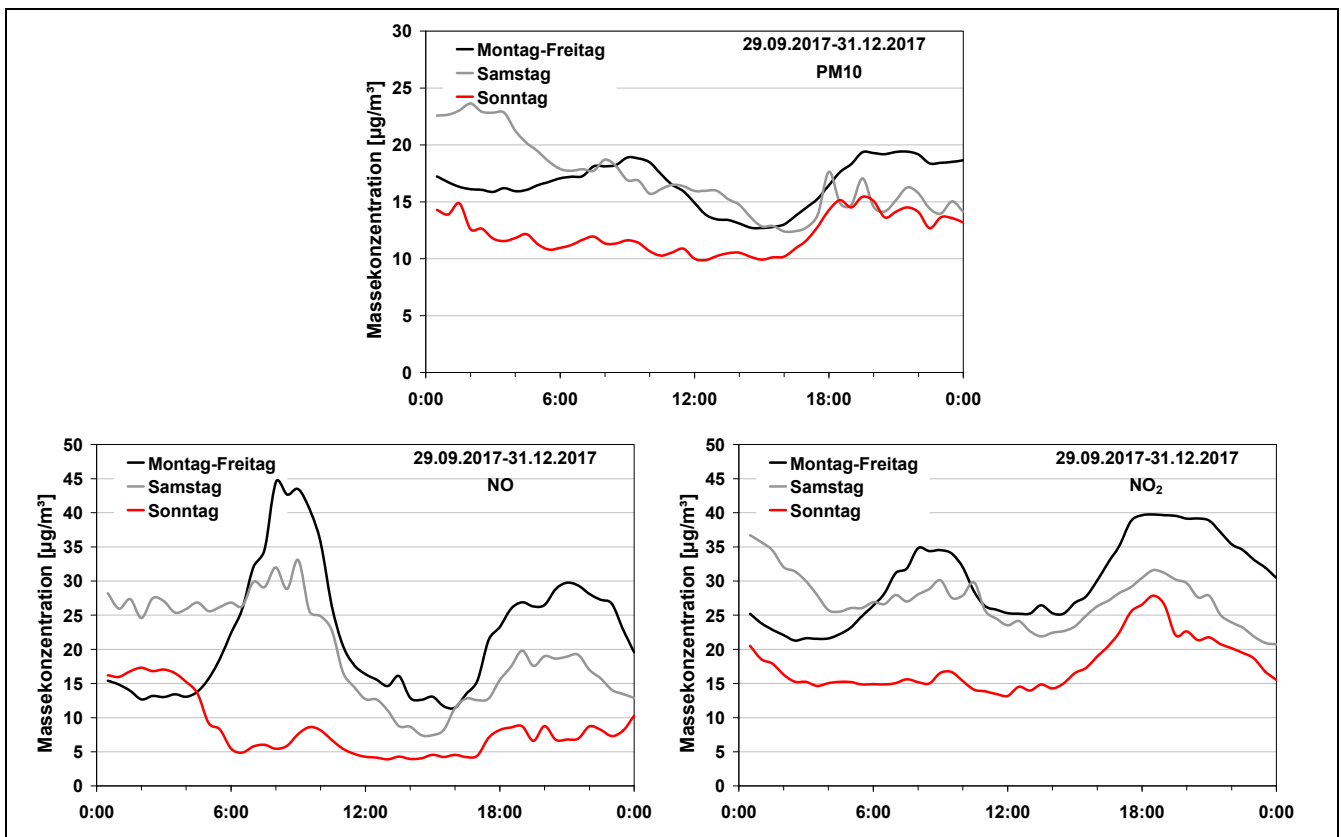


Abbildung 19: Mittlere Tagesgänge der Konzentrationen für PM10, NO und NO₂ im bisherigen Messzeitraum an der Messstation Raunheim

Zeitraum	01.09.-31.12.2017				
Messstation Raunheim	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Gesamt
SMPS 10-500 nm [# /cm ³]	9.063	7.259	7.387	5.709	7.340
SMPS UFP [# /cm ³]	7.918	6.068	6.029	4.753	6.180
CPC [# /cm ³]	15.383	12.087	12.268	11.993	12.940
PM ₁₀ [µg/m ³]	14,65	16,01	20,10	11,88	15,54
NO [µg/m ³]	12,62	18,26	26,09	15,27	17,90
NO ₂ [µg/m ³]	25,15	23,99	31,57	27,51	26,96

Tabelle 3: Zusammenfassung der bisherigen Daten an der Messstation Raunheim

4.2 Messstation Frankfurt-Schwanheim

In der nachfolgenden Abbildung 20 ist der zeitliche Verlauf der mit dem SMPS im Messbereich 10-500 nm gemessenen Partikelanzahlkonzentration als Integralwerte aufgezeichnet. Auffällig am Konzentrationsverlauf sind die regelmäßigen deutlichen Konzentrationsspitzen.

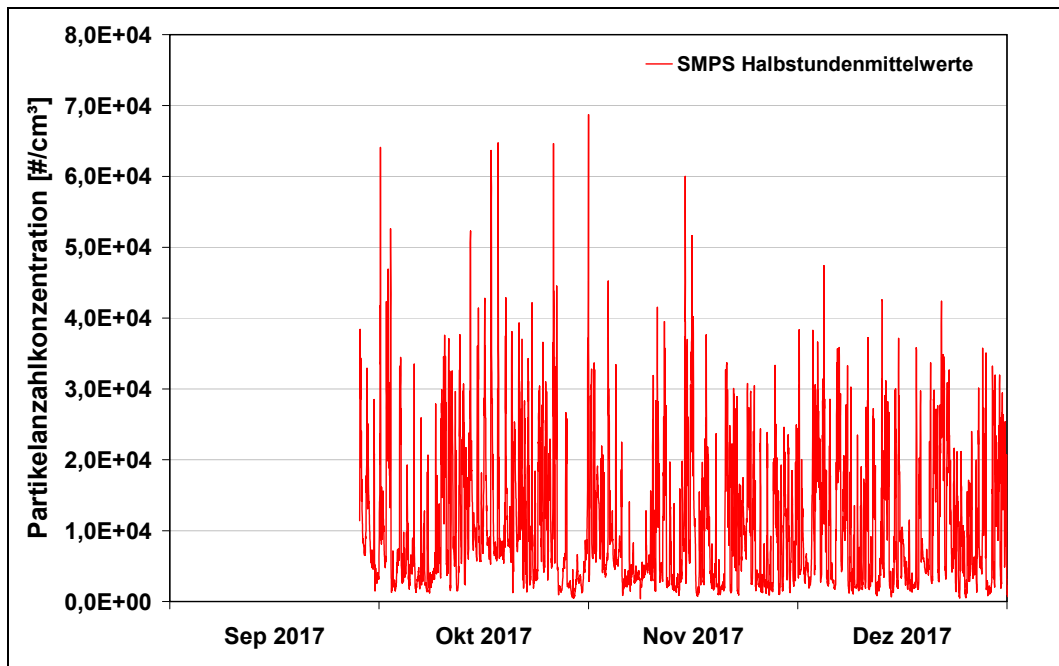


Abbildung 20: Bisheriger zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration für 2017 an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

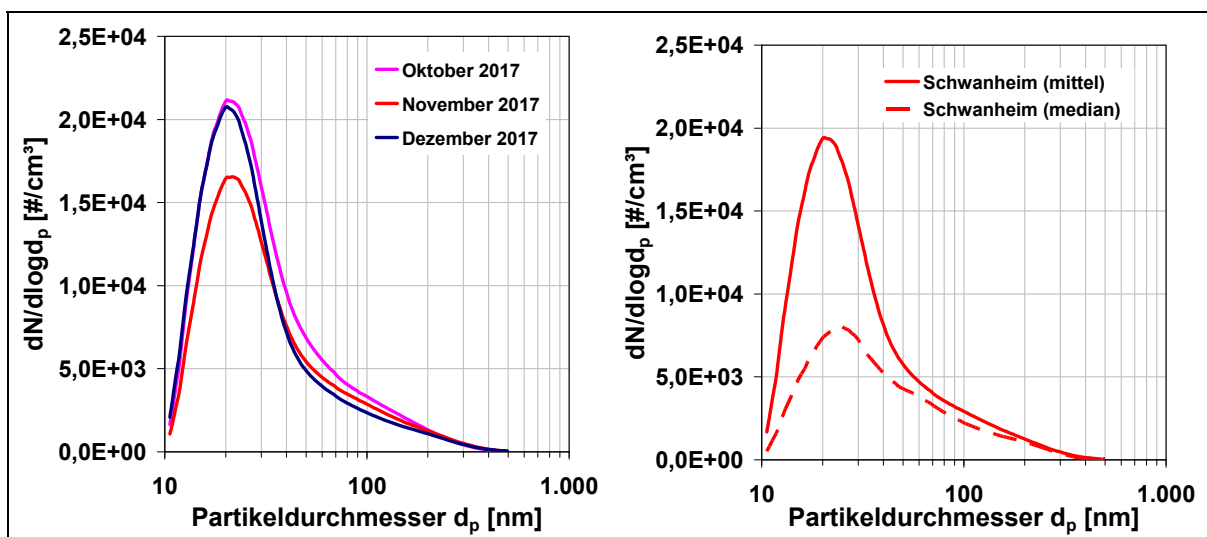


Abbildung 21: Partikelgrößenverteilungen für 2017 an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Die sich aus den Messdaten des SMPS ergebenden Partikelanzahlgrößenverteilungen sind in Abbildung 21 dargestellt. Danach ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration im bisherigen Messzeitraum von 10.491 #/cm³ mit einem Medianwert bei

5.314 $\#/cm^3$. Dieser Medianwert ist ähnlich hoch wie der Medianwert an der Messstation Raunheim mit 5.235 $\#/cm^3$, die mittlere Konzentration hingegen deutlich höher als in Raunheim (6.892 $\#/cm^3$).

Die monatlichen Partikelgrößenverteilungen zeigen Modalwerte um 20 nm für alle Monate, für Monat November ist die Gesamtkonzentration geringfügig niedriger als in den beiden anderen Monaten.

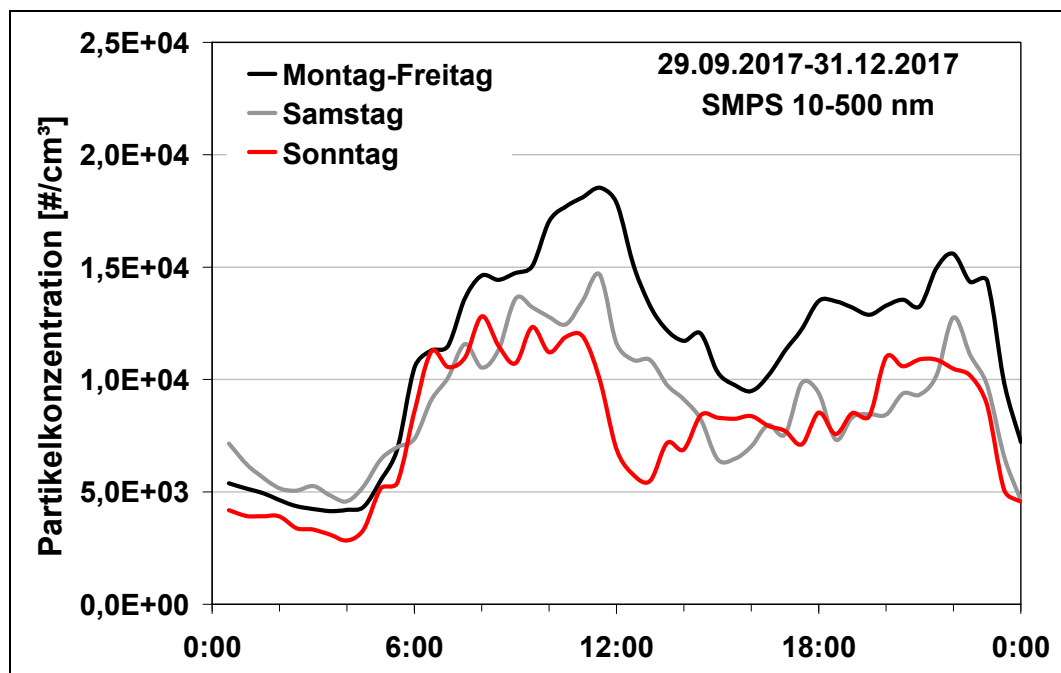


Abbildung 22: Mittlere Tagesgänge der Partikelanzahlkonzentrationen im bisherigen Messzeitraum an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Die Tagesgänge der mittleren Partikelanzahlkonzentration zeigen Maxima gegen 12 Uhr mittags und gegen 22 Uhr nachts. Auffällig ist, dass die Tagesgänge im Gegensatz zu den in Raunheim gemessenen Tagesgängen, für samstags und sonntags sehr ähnliche Verläufe und nur wenig geringere Konzentrationen aufweisen als wochentags. Außerdem zeigen alle Verläufe sehr steile Anstiege zwischen 5 und 6 Uhr sowie steile Abfälle nach 22 Uhr (siehe dazu späteres Kapitel).

Für PM₁₀, NO und NO₂ zeigen sich auch in Schwanheim deutliche Tagesgänge. Die mittlere PM₁₀-Konzentration lag für den Zeitraum bei 13,7 $\mu g/m^3$. Auch hier beruhen hohen PM₁₀ Werte für samstags früh auf sehr hohen PM₁₀ Konzentrationen in der Nacht von Fr. 17. auf Sa. 18.11. mit einem Höchstwert von 60 $\mu g/m^3$ um 03.00 Uhr. Bei den Tagesgängen für NO sieht man deutlich die Beeinflussung durch den morgendlichen Berufsverkehr und im abgeschwächten Maße nachmittags bzw. abends. Die mittleren NO-Konzentrationen lagen bisher bei 13,6 $\mu g/m^3$ und für NO₂ bei 24,6 $\mu g/m^3$. An den Sonntagen gehen die Werte für die Stickoxide deutlich zurück.

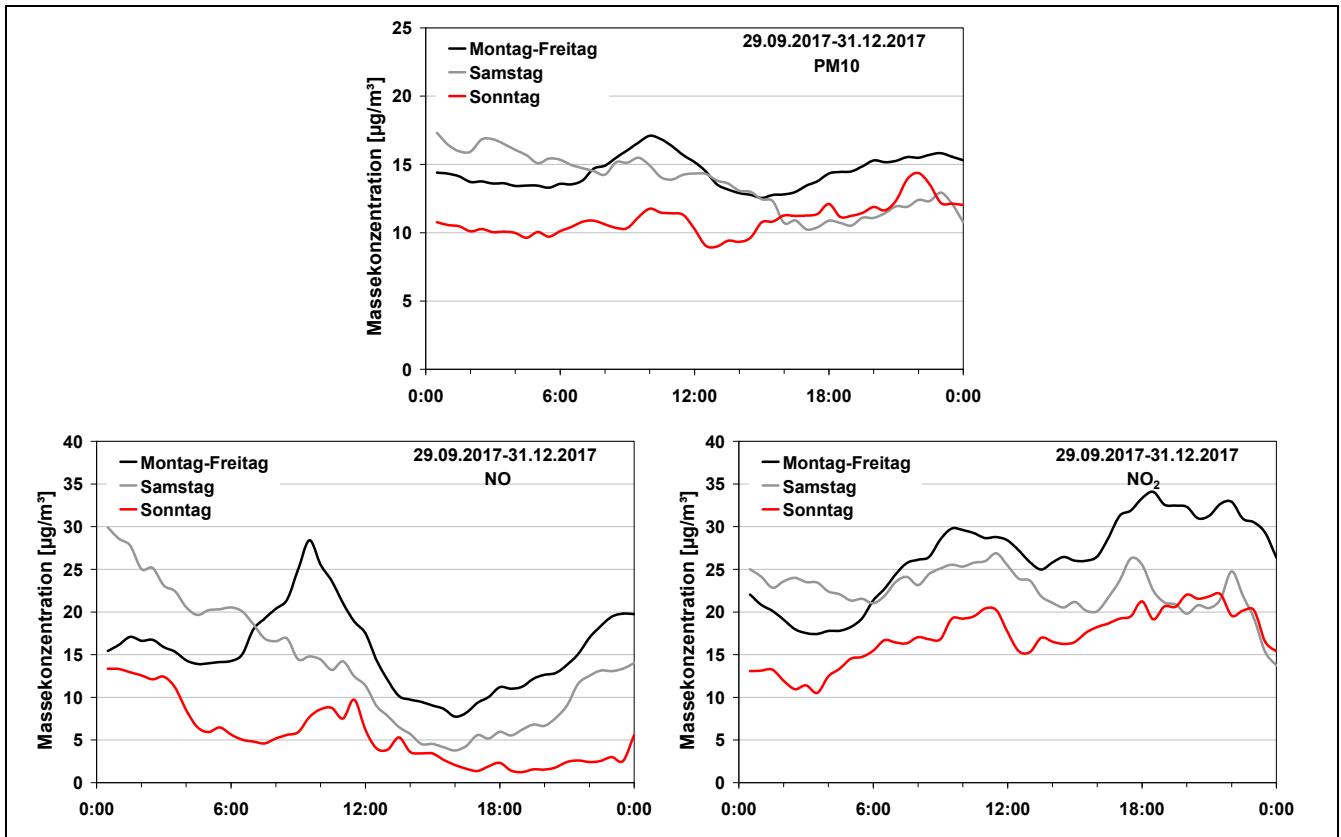


Abbildung 23: Mittlere Tagesgänge der Konzentrationen für PM10, NO und NO₂ im bisherigen Messzeitraum an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Zeitraum	29.09.-31.12.2017			
Frankfurt-Schwanheim	Okt.	Nov.	Dez.	Gesamt
SMPS 10-500 nm [# /cm ³]	11.719	9.273	10.445	10.491
SMPS UFP [# /cm ³]	10.842	8.469	9.770	9.705
PM ₁₀ [µg/m ³]	13,13	14,86	13,01	13,65
NO [µg/m ³]	14,32	16,10	10,49	13,61
NO ₂ [µg/m ³]	22,38	27,55	23,85	24,57

Tabelle 4: Zusammenfassung der bisherigen Daten an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

4.3 Partikelkonzentrationsvergleich beider Messstationen

Beim Vergleich der Partikelgrößenverteilungen in Abbildung 24 fällt sofort auf, dass die Verteilung in Frankfurt-Schwanheim eine ausgeprägte Mode mit einem Modalwert bei ca. 20 nm aufweist, während die Verteilung in Raunheim einen eher flachen Verlauf zeigt. Die Verteilung in Schwanheim lässt die Beeinflussung einer ausgeprägten Quelle vermuten. Zudem liegt in Schwanheim der Anteil der Partikel ≤ 50 nm bei über 80 %, in Raunheim liegt dieser Anteil bei 60 %.

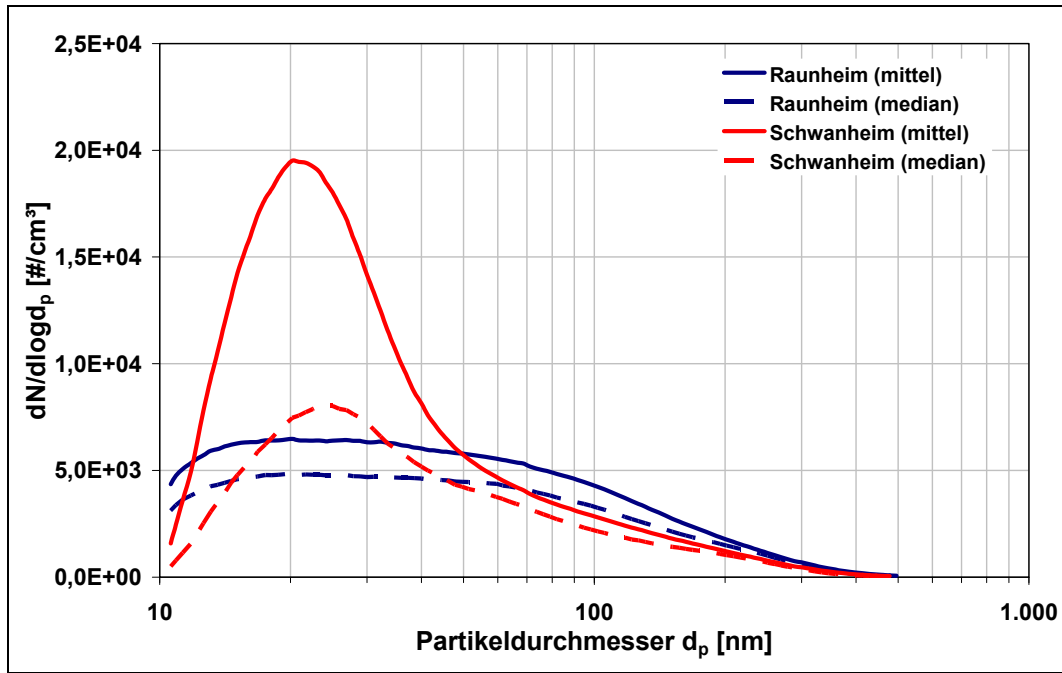


Abbildung 24: Vergleich der Partikelgrößenverteilungen der Messstationen Raunheim und Frankfurt-Schwanheim

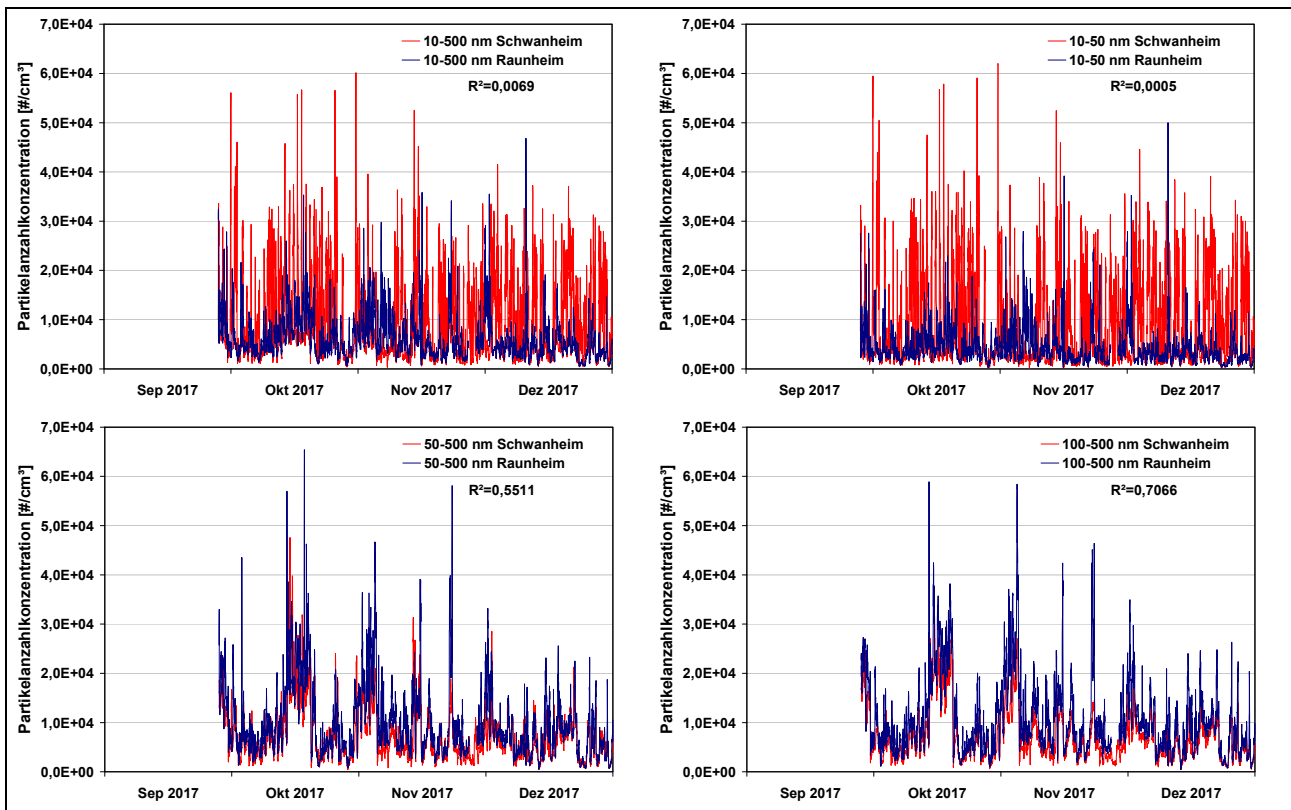


Abbildung 25: Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen verschiedener Größenintervalle

Der Vergleich der gesamten Partikelanzahlkonzentration beider Messstationen in Abbildung 25 oben links zeigt nur im tendenziellen Verlauf der Grundlinie Ähnlichkeiten und weist bei der linearen Regression der Messdaten einen sehr geringen Reg-

ressionskoeffizienten von $R^2 = 0,0069$ auf. Wird dagegen das Integrationsintervall der Größendaten auf Partikel > 50 nm beschränkt, zeigen die Konzentrationsverläufe in Abbildung 25 unten links wesentlich bessere Vergleichbarkeit mit einem R^2 von 0,55 bei der linearen Regression. Die Vergleichbarkeit lässt sich noch steigern, indem nur die Partikel $> \text{UFP}$ (100 nm) betrachtet werden, damit erhöht sich das R^2 auf 0,71. Die Vergleichbarkeit der Partikelkonzentrationen zeigt, dass an beiden Messstationen ein ähnliches, gealtertes Aerosol antransportiert wird. Die Unterschiede für die kleinen Partikelgrößen weisen auf lokale Partikelquellen hin, die sehr unterschiedlich zu sein scheinen.

4.4 Beeinflussung der Messstationen durch den Flughafen

4.4.1 Messstation Raunheim

Bei Betrachtung der Windrose in Abbildung 26 ist zu erkennen, dass im hier betrachteten Zeitraum und im zuvor genannten Windsektor von $55-80^\circ$ (Wind direkt vom Flughafen) nur sehr selten der Wind aus Richtung des Flughafens zur Messstation Raunheim wehte. Dies traf nur an insgesamt 41,5 Stunden (83 Halbstundenwerte) zu. Wenn nun nur die Zeiträume mit erlaubtem Flugbetrieb von 05.00-23.00 Uhr sowie bei Windgeschwindigkeit von $v \geq 1$ m/s betrachtet werden, so bleiben überhaupt keine Werte übrig. Deshalb wurde der betrachtete Windsektor auf $0-90^\circ$ vergrößert.

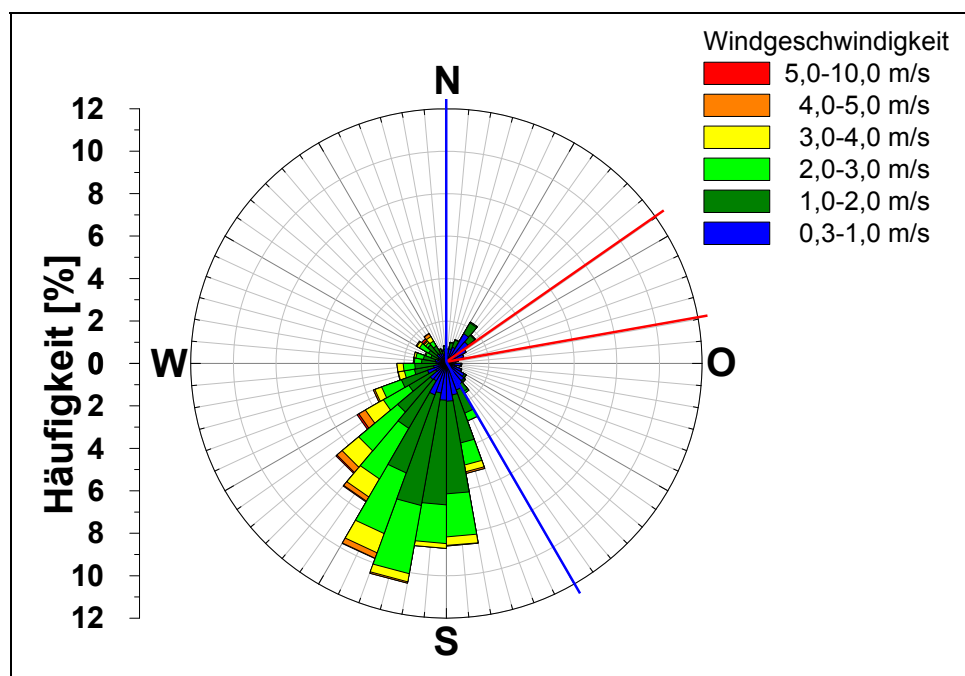


Abbildung 26: Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Messstation Raunheim

In der nachfolgenden Abbildung 27 sind die mittleren Partikelgrößenverteilungen sowie die Partikelanzahlkonzentrationen, ausschließlich bei Wind aus den Sektoren 0-

90° und 150-360° für die jeweiligen Zeiträume der Flugzeiten (05.00-23.00, tags) und Flugzeitruhe (23.00-05.00, nachts) bei Windgeschwindigkeiten $v \geq 1$ m/s dargestellt. Da die Zeitdaten zu den Messungen jeweils unabhängig von Sommer- und Winterzeit in MEZ vorliegen, wurden für die Zeit bis zum Ende der MESZ jeweils die Daten 04.00-22.00 bzw. 22.00-04.00 (MEZ) ausgewertet, da diese den Zeiträumen des Flugbetrieb bzw. der Flugpause am Flughafen entsprechen.

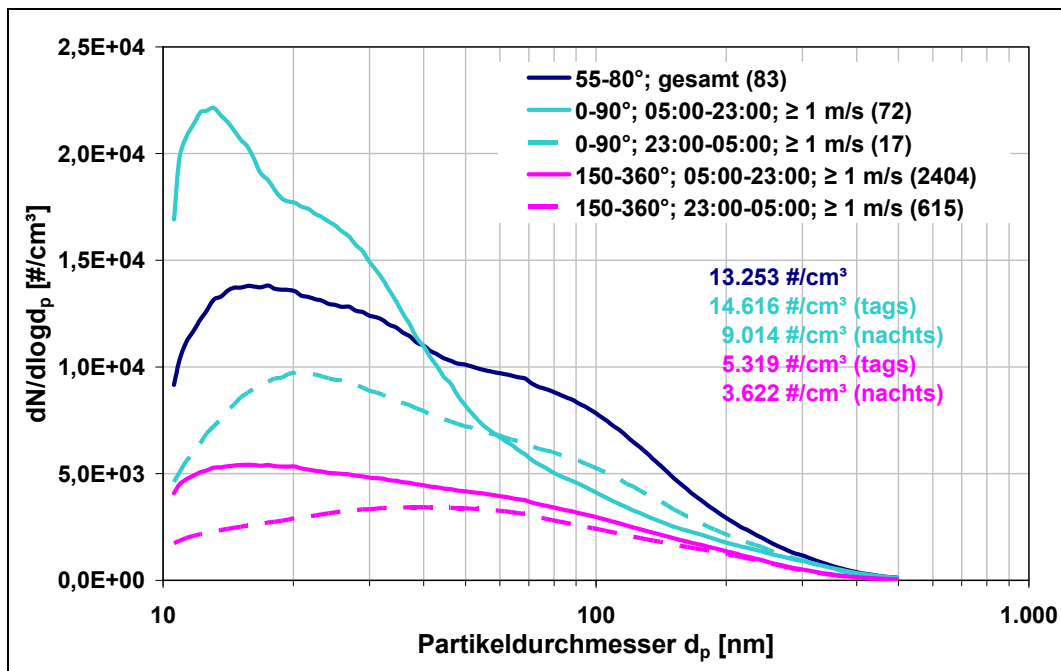


Abbildung 27: Partikelgrößenverteilungen für definierte Windsektoren und Zeiten an der Messstation Raunheim (Werte in Klammern: Anzahl der ausgewerteten Halbstundenwerte)

An den Partikelgrößenverteilungen ist deutlich zu erkennen, dass erhöhte Partikelkonzentrationen vorliegen, wenn der Wind in etwa aus Richtung des Flughafens weht. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass trotz vergrößertem Windsektor nur relativ wenige Daten vorliegen. Weht der Wind aus anderen Windrichtungen werden deutlich niedrigere Partikelkonzentrationen detektiert, d. h. die Konzentration liegen tags um etwa Faktor 2,7 und nachts um etwa Faktor 2,4 niedriger.

Zeitraum		29.09.-31.12.2017					
Messstation Raunheim		Gesamt	55-80° ges.	0-90° tags	0-90° nachts	150-360° tags	150-360° nachts
SMPS 10-500 nm	[/cm³]	6.892	13.253	14.616	9.014	5.319	3.622
SMPS UFP	[/cm³]	5.705	11.182	13.438	7.552	4.466	2.888
CPC	[/cm³]	12.259	22.289	27.033	12.854	10.920	6.270
PM ₁₀	[µg/m³]	16,08	23,6	17,8	21,9	12,5	12,0
NO	[µg/m³]	19,79	48,6	28,1	22,8	9,5	2,6
NO ₂	[µg/m³]	27,89	42,2	46,5	45,9	24,3	16,6

Tabelle 5: Zusammenfassung der Messdaten für definierte Windsektoren und Zeiten an der Messstation Raunheim

4.4.2 Messstation Frankfurt-Schwanheim

Aus der Windrose in Abbildung 27 wird deutlich, dass die Hauptwindrichtung die Luftmassen vom Flughafen in Richtung der Messstation Frankfurt-Schwanheim transportiert. Im hier betrachteten Zeitraum und im zuvor genannten Windsektor von $150\text{-}220^\circ$ (Wind direkt vom Flughafen) wehte der Wind an 1.371,5 Stunden (2.743 Halbstundenwerte) zur Messstation. Aus anderen Windrichtungen liegen 1.797 Halbstundenwerte vor. Bei Betrachtung der Zeiträume mit erlaubtem Flugbetrieb von 05.00-23.00 Uhr sowie bei Windgeschwindigkeit von $v \geq 1$ m/s, ergeben sich aus dem Sektor mit Wind vom Flughafen 1.712 Werte und aus anderen Windrichtungen 697 Werte. Bei Zeiten ohne Flugbetrieb liegen 541 ($150\text{-}220^\circ$) bzw. 97 Messwerte ($220\text{-}150^\circ$) vor.

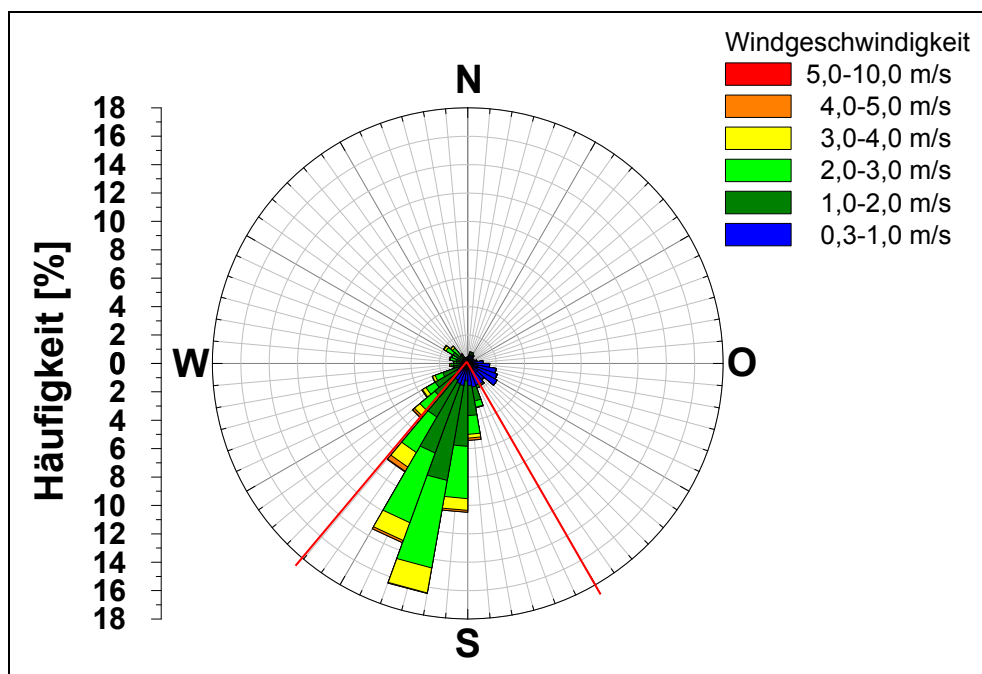


Abbildung 28: Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

An den Partikelgrößenverteilungen in Abbildung 29 ist ersichtlich, dass deutlich erhöhte Partikelkonzentrationen vorliegen, wenn der Wind aus Richtung des Flughafens zur Messstation weht. Tagsüber zu den Flugbetriebszeiten ergibt sich eine mittlere Partikelanzahlkonzentration, die etwa um den Faktor 3,8 höher liegt, wenn der Wind vom Flughafen weht im Gegensatz zu Wind aus anderen Richtungen. Wenn der Flugbetrieb ruht (nachts), ergeben sich niedrige mittlere Partikelanzahlkonzentration, die sich nur noch um den Faktor 1,4 unterscheiden. Deutlich zu erkennen ist zudem, dass die Mode mit einem Modaldurchmesser von 20 nm bei Wind aus dem Sektor $150\text{-}220^\circ$ sehr stark ausgeprägt ist.

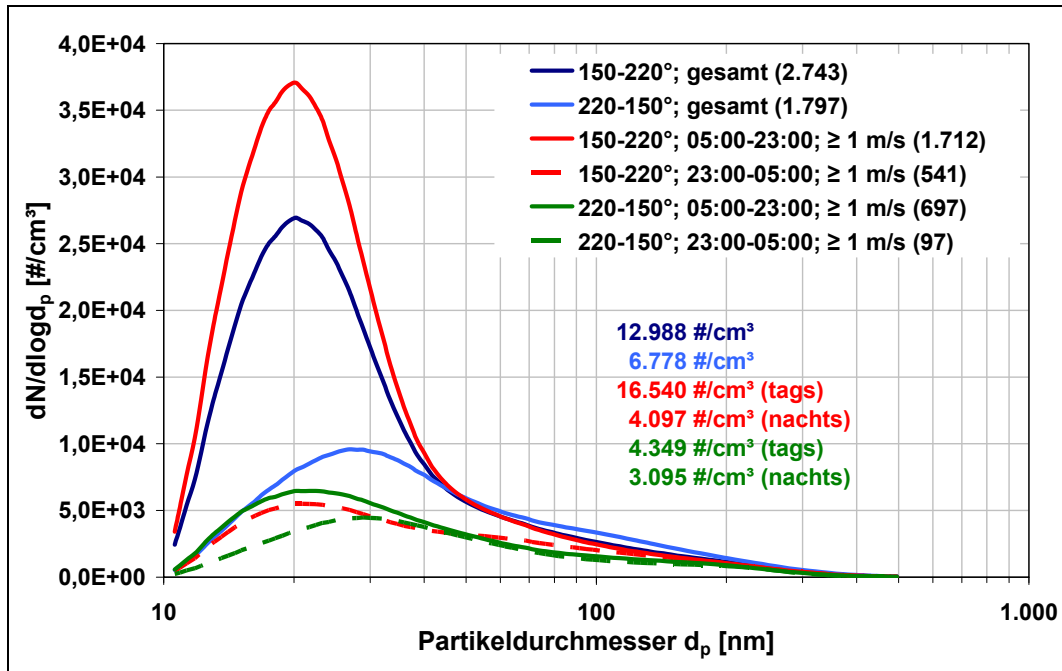


Abbildung 29: Partikelgrößenverteilungen für definierte Windsektoren und Zeiten an der Messstation Frankfurt-Schwanheim (Werte in Klammern: Anzahl der ausgewerteten Halbstundenwerte)

Ein Indiz, dass die höheren Partikelanzahlkonzentrationen vom Flughafen und vom Flugverkehr stammen, ist der morgendliche Anstieg zu Beginn des Flugverkehrs. Aus den nachfolgenden Tagesgängen wird deutlich, dass bis zum Ende der Sommerzeit ab 04.00 Uhr morgens (Abbildung 30, links) für alle Wochentage steile Anstiege der Partikelkonzentration zu erkennen sind. Nach Ende der Sommerzeit sind diese steilen Anstieg ab etwa 05.00 Uhr (Abbildung 30, rechts) deutlich. Ebenso fallen die Partikelanzahlkonzentrationen nach Beendigung des Flugverkehrs wieder deutlich ab.

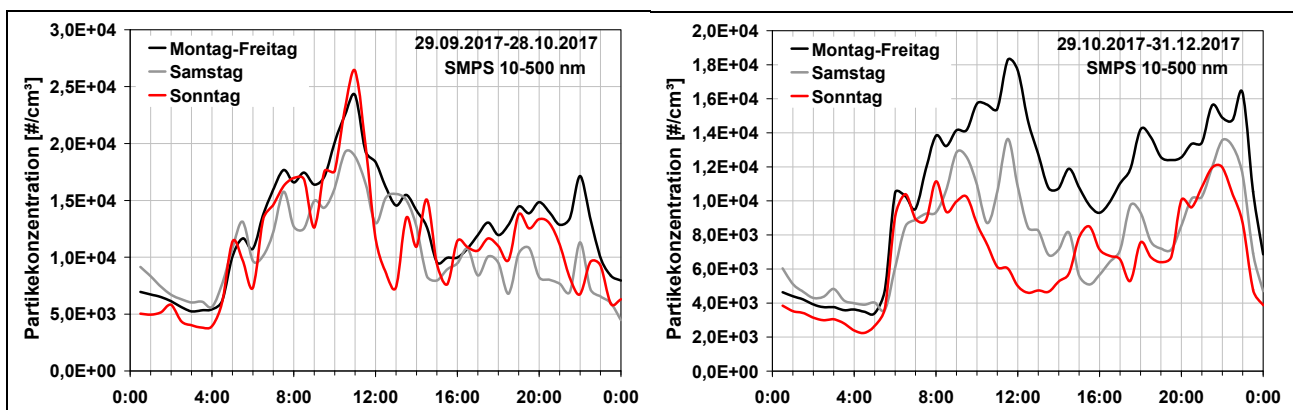


Abbildung 30: Tagesgänge an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Zeitraum	29.09.-31.12.2017						
Messstation Frankfurt-Schwanheim	Gesamt	150-220° ges.	220-150° ges.	150-220° tags	150-220° nachts	220-150° tags	220-150° nachts
SMPS 10-500 nm [#/cm ³]	10.491	12.987	6.778	16.540	4.097	4.349	3.095
SMPS UFP [#/cm ³]	9.705	12.264	5.847	15.875	3.482	3.849	2.662
PM ₁₀ [µg/m ³]	13,65	13,3	14,8	12,9	11,2	10,7	10,8
PM ₁ [µg/m ³]	8,13	7,7	8,8	7,1	7,1	6,0	5,4
NO [µg/m ³]	13,61	9,4	20,3	7,1	2,6	4,9	1,4
NO ₂ [µg/m ³]	24,57	25,8	22,7	27,2	18,2	18,9	14,8

Tabelle 6: Zusammenfassung der Messdaten für definierte Windsektoren und Zeiten an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

5 Fazit

Im hier dargestellten Messzeitraum konnte dargelegt werden, dass die Standorte für die beiden Messstationen in Raunheim und Frankfurt-Schwanheim sinnvoll gewählt wurden, um mögliche UFP-Emissionen des Flughafens zu erfassen. Die an den beiden Stationen gemessenen Größenverteilungen und Anzahlkonzentrationen weisen deutlich Unterschiede auf. Insbesondere die Messungen in Schwanheim zeigen erheblich höhere UFP-Konzentrationen bei Wind aus dem Sektor 150-220°, in dem auch der Flughafen liegt. Nur bei Wind aus dieser Richtung und während des Flugbetriebs (05.00-23.00 Uhr) war zudem eine sehr ausgeprägte Mode der Größenverteilung bei ca. 20 nm offensichtlich. Allerdings ist zu beachten, dass auch die Autobahn A3 genau in diesem Sektor liegt, sodass eine Beeinflussung durch den Flughafen zwar vermutet werden kann, aber nicht eindeutig nachgewiesen ist. In Raunheim zeigte sich bei Wind aus dem Sektor 0-90° ebenfalls eine Verschiebung des Modaldurchmessers hin zu kleineren Partikeln sowie eine höhere Anzahlkonzentration als bei anderen Windrichtungen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass aufgrund der sehr wenigen Windereignisse in Raunheim aus Richtung Flughafen der gewählte Windsektor bereits aufgeweitet werden musste. Trotzdem lagen hier im gesamten Messzeitraum weiterhin nur sehr wenige Daten für diese Windrichtung vor, sodass die ersten Erkenntnisse zur Beeinflussung der UFP-Konzentration und Größenverteilung in Raunheim durch den Flughafen zunächst nur als orientierend anzusehen sind.