

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

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



**Heinz Kaminski, Christof Asbach**

Bericht Nr. LP 106Z4

## **Zwischenbericht zum Auftrag:**

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

**Berichtszeitraum: 01.01.-31.12.2018**

Angebot Nr. UN1/UN2\_QuaAsb\_2016

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

Duisburg, 15. Februar 2019

## 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 basierend auf 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, das für die Messung von UFP-Konzentrationen in Mülheim-Styrum eingesetzt wird, verglichen wurden. Im ersten Zwischenbericht wurden die Ergebnisse der Vergleichsmessungen sowie die Auswertungen der Daten bis Ende Dezember 2017 aufgeführt. In diesem Zwischenbericht werden die Daten des Jahres 2018 dargestellt.

## 2 Messtationen

Die Lage der aufgebauten Messtationen Frankfurt-Schwanheim und Raunheim ist in Abbildung 1 und die dazugehörigen Windrosen in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 1: Lage der Messtationen

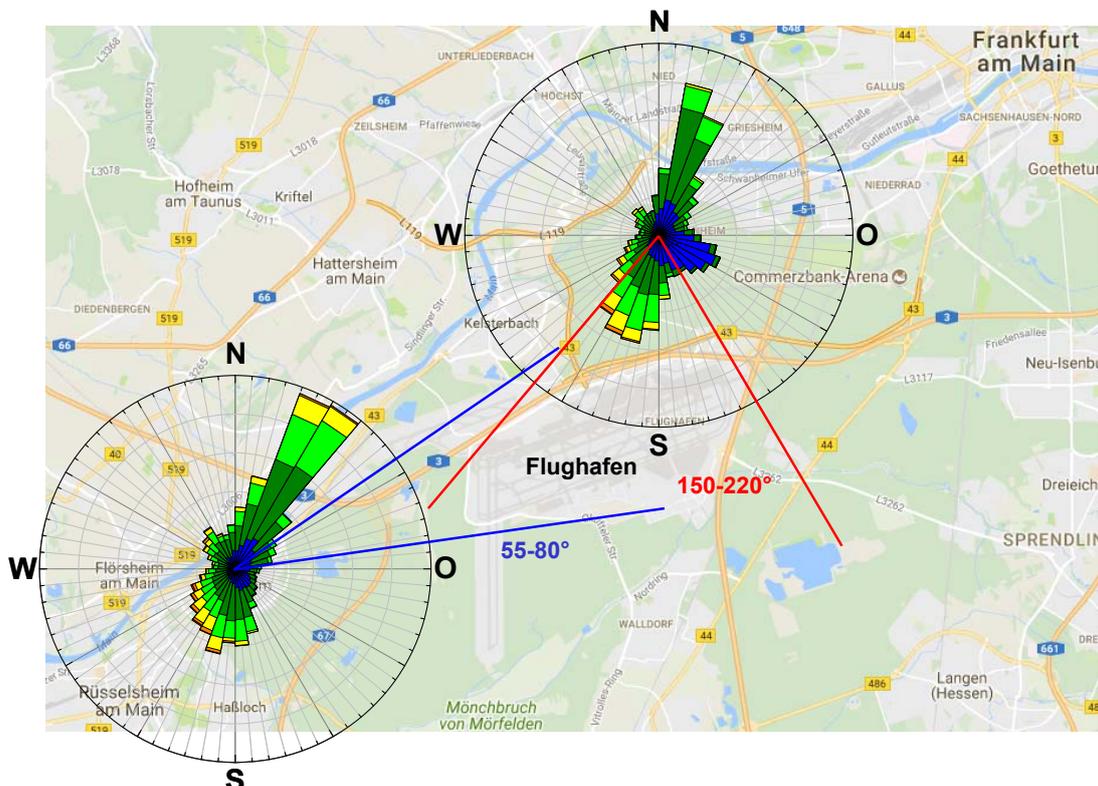


Abbildung 2: Darstellung eventueller Beeinflussung durch den Flughafenemissionen: Windsektoren mit Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung für 2018 (01.01.-31.12.2018)

Um eine eventuelle Beeinflussung der UFP Konzentrationen durch den Flughafen und den 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 etwa 8 km südwestlich des Flughafens Frankfurt und der Windsektor, der die Messstation direkt beeinflussen könnte, wäre der aus etwa  $55^{\circ}$ - $80^{\circ}$ . Von den hier im Vergleichszeitraum (01.01.-31.12.2018) der Messstation vorliegenden Winddaten (17.516 Halbstundenmittelwerte) wurde nur an 952 Halbstundenereignissen Wind aus  $55^{\circ}$ - $80^{\circ}$  registriert. Somit ergibt sich für den Vergleichszeitraum eine Häufigkeit für Wind aus diesem Windsektor von 5,4 %. Wenn der Windsektor größer gefasst wird, beispielsweise  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  lassen sich 6.881 Halbstundenereignisse (Häufigkeit 39,3 %) detektieren.

Die Messstation Frankfurt-Schwanheim liegt ca. 5 km in etwa nördlicher Richtung vom Flughafen und wird aus dem Windsektor  $150^{\circ}$ - $220^{\circ}$  direkt beeinflusst. Aus diesem Windsektor wehte der Wind zur Messstation an 5.121 von 17.487 Halbstundenwerten. Dies entspricht einer Windhäufigkeit aus diesem Windsektor von 29,3 %.

Anhand der bisher vorliegenden Winddaten lässt sich festhalten, dass die Lagen der Messstationen entsprechend der Vorgaben gut gewählt wurden, um Partikelfreisetzung 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 1) und somit die Messstation Frankfurt-Schwanheim bei entsprechenden Windrichtungen ebenso beeinflussen kann.

### 3 Auswertung ermittelter Daten von 2018

Die Datenverfügbarkeit mit dem Stand 31.12.2018 ist in nachfolgender Tabelle angegeben. Die Verfügbarkeit basiert auf umgerechneten Halbstundenmittelwerten.

Zeitraum	01.01.-31.12.2018 (max. 17.520 ½ h-MW)			
	Raunheim		F-Schwanheim	
	½ h-MW	Anteil	½ h-MW	Anteil
SMPS	16.581	94,6 %	16.648	95,0 %
CPC	10.474	59,8 %		
PM <sub>10</sub>	17.516	100,0 %	17.518	100,0 %
NO	17.481	99,8 %	17.493	99,8 %
NO <sub>2</sub>	17.485	99,8 %	17.493	99,9 %
Windrichtung	17.516	100,0 %	17.487	99,6 %
Windgeschwindigkeit	17.516	100,0 %	17.487	99,6 %

Tabelle 1: Datenverfügbarkeit

#### 3.1 Messstation Raunheim

In der nachfolgenden Abbildung 3 ist der zeitliche Verlauf der mit dem SMPS im Messbereich 10 nm - 500 nm gemessenen Partikelanzahlkonzentration als Integralwerte aufgezeichnet.

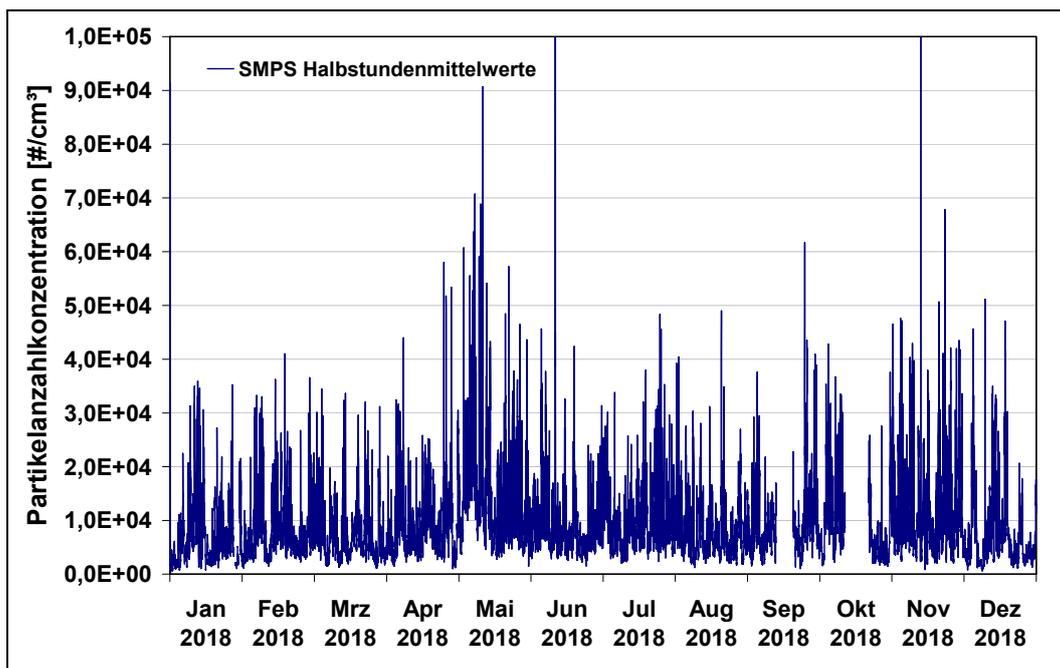


Abbildung 3: Bisheriger zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration für 2018 an der Messstation Raunheim

Durch die regelmäßigen Wartungsarbeiten kam es nur zu kürzeren Datenausfällen. Im September verursachte der Impaktor am Aerosoleingang zum SMPS einen zu großen Druckverlust, was zu einem falsch berechneten Aerosolvolumenstrom führte. Diese Messdaten mussten verworfen werden. Im Oktober wurden beide SMPS und der CPC der Stationen Raunheim und Schwanheim der bei WCCAP (World Calibration Center for Aerosol Physics) überprüft und kalibriert.

In Tabelle 2 sind die statistischen Basiswerte der Partikelanzahlkonzentrationen des SMPS der Messstation Raunheim für 2018 dargestellt.

	Partikelanzahlkonzentration SMPS [# / cm <sup>3</sup> ]					
	Medianwert	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert	10. Perzentil	90. Perzentil
Jan 18	4.784	6.721	451	91.545	1.617	14.451
Feb 18	6.471	8.046	1.129	40.938	3.245	15.111
Mrz 18	6.102	7.336	1.063	34.455	2.533	13.523
Apr 18	7.094	8.677	1.017	57.741	3.155	15.882
Mai 18	11.670	14.425	1.229	96.757	4.780	27.111
Jun 18	7.015	8.581	1.474	217.170	3.905	13.967
Jul 18	8.436	9.751	1.975	48.242	4.348	17.280
Aug 18	6.613	7.941	1.204	48.223	3.047	14.434
Sep 18	7.718	9.396	997	61.405	3.332	17.261
Okt 18	6.581	8.925	1.424	42.674	2.738	18.945
Nov 18	8.605	11.704	887	115.978	3.676	24.327
Dez 18	4.935	7.062	612	50.061	2.000	15.694

Tabelle 2: Statistische Grunddaten der SMPS Partikelanzahlkonzentrationen auf Monatsbasis an der Messstation Raunheim

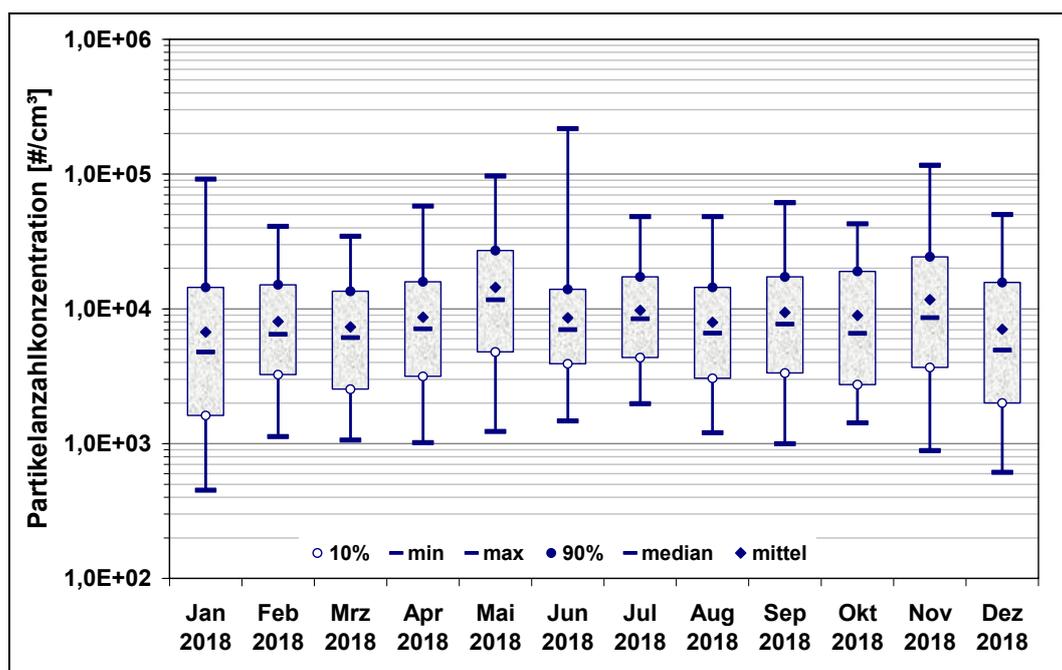
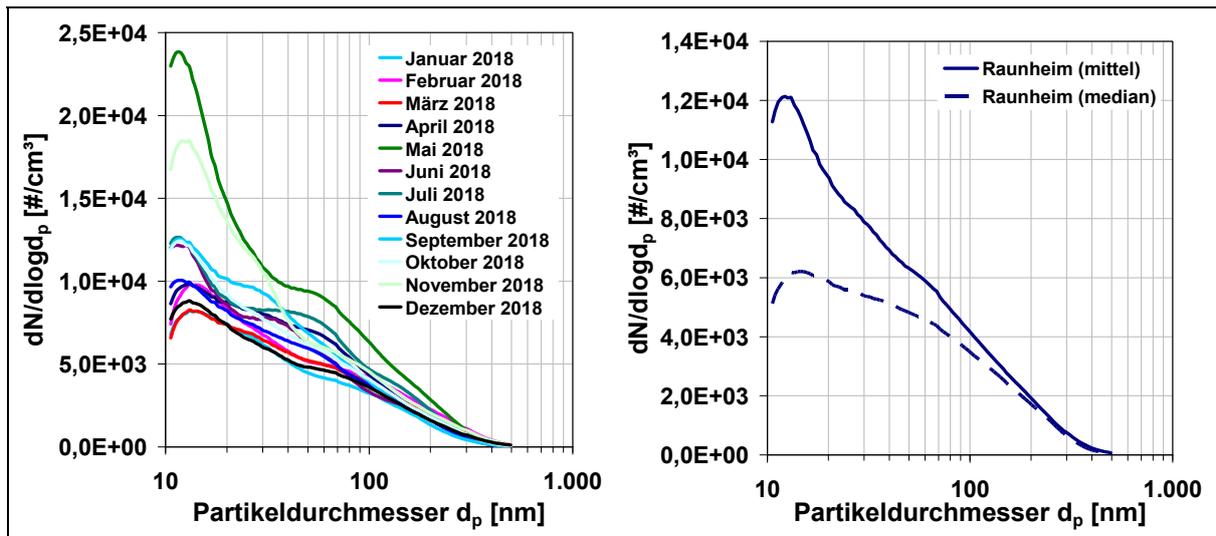


Abbildung 4: Partikelanzahlkonzentrationen des SMPS an der Messstation Raunheim für den Zeitraum 01.01.-31.12.2018

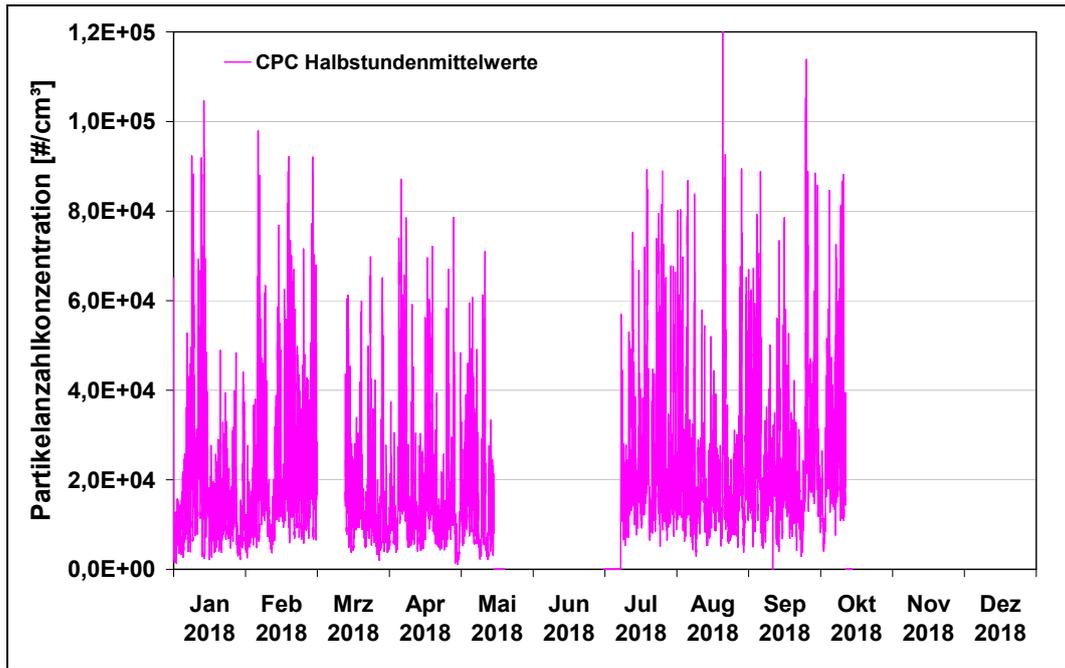
Die mit dem SMPS gemessenen Partikelanzahlgrößenverteilungen sind in Abbildung 5 dargestellt. Danach ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration der Messdaten vom 01.01.-31.12.2018 von  $9.062 \text{ \#/cm}^3$  und ein Medianwert von  $6.152 \text{ \#/cm}^3$ . Die Modalwerte liegen für alle Monate bei etwa 12-15 nm. Zu erkennen ist, dass im Mai und November deutlich höhere mittlere Partikelanzahlkonzentrationen vorlagen als in den anderen Monaten. Eine Windanalyse ergibt, dass während dieser Zeiten relativ häufig der Wind aus Richtung des Flughafens wehte.



**Abbildung 5:** Partikelgrößenverteilungen an der Messstation Raunheim für den Zeitraum 01.01.-31.12.2018

Beim CPC ergaben sich größere Datenausfälle. Mitte Mai wurde nach einigen Problemen der CPC zum Service zum Hersteller TSI gegeben. Bei der Kalibrierüberprüfung im Oktober beim WCCAP ergaben sich unplausible Werte beim CPC. So zeigte der CPC bei der Effizienzüberprüfung mit 40 nm großen Partikeln beispielsweise eine um Faktor 1,5 höhere Konzentration als die Referenzgeräte an. Da die anwesenden TSI Mitarbeiter diese großen Abweichungen nicht klären und beheben konnten, wurde der CPC anschließend wieder zu TSI zur Überprüfung und/oder Reparatur gegeben. Aufgrund dieser Abweichung sind die Messwerte des CPC kritisch zu hinterfragen, insbesondere die Werte, die nach der Wartung durch TSI ab Juli detektiert wurden.

Der Einbau des CPC in die Messstation Raunheim war bis zum Jahresende nicht mehr möglich.



**Abbildung 6:** Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration des CPC für 2018 an der Messstation Raunheim

In Tabelle 3 sind die statistischen Basiswerte der Partikelanzahlkonzentrationen des CPC der Messstation Raunheim für 2018 dargestellt. Die mit dem CPC gemessenen Anzahlkonzentrationen unterscheiden sich deutlich von den mit dem SMPS gemessenen Daten und zeigen auch einen anderen Trend. Da der Beginn der CPC Probleme nicht datiert werden kann, sollten die mit dem CPC gemessenen Daten vermutlich für das ganze Jahr verworfen werden.

	Partikelanzahlkonzentration CPC [# /cm <sup>3</sup> ]					
	Medianwert	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert	10. Perzentil	90. Perzentil
Jan 18	11.650	16.020	1.396	104.388	4.426	32.415
Feb 18	18.477	22.385	2.683	97.389	8.010	41.966
Mrz 18	13.943	17.330	1.984	70.122	5.782	33.656
Apr 18	12.067	17.041	1.400	87.049	6.013	36.813
Mai 18	11.730	15.579	1.116	70.664	3.723	32.739
Jun 18						
Jul 18	18.795	23.320	5.246	89.208	10.108	44.290
Aug 18	16.316	21.351	2.937	159.098	8.860	40.593
Sep 18	19.424	24.241	2.906	112.989	10.151	45.984
Okt 18	20.591	26.577	4.043	88.070	10.815	52.133
Nov 18						
Dez 18						

**Tabelle 3:** Statistische Grunddaten der CPC Partikelanzahlkonzentrationen auf Monatsbasis an der Messstation Raunheim (Werte für Mai bis zum 16.05., für Juli ab 09.07. und für Oktober bis zum 12.10.2018)

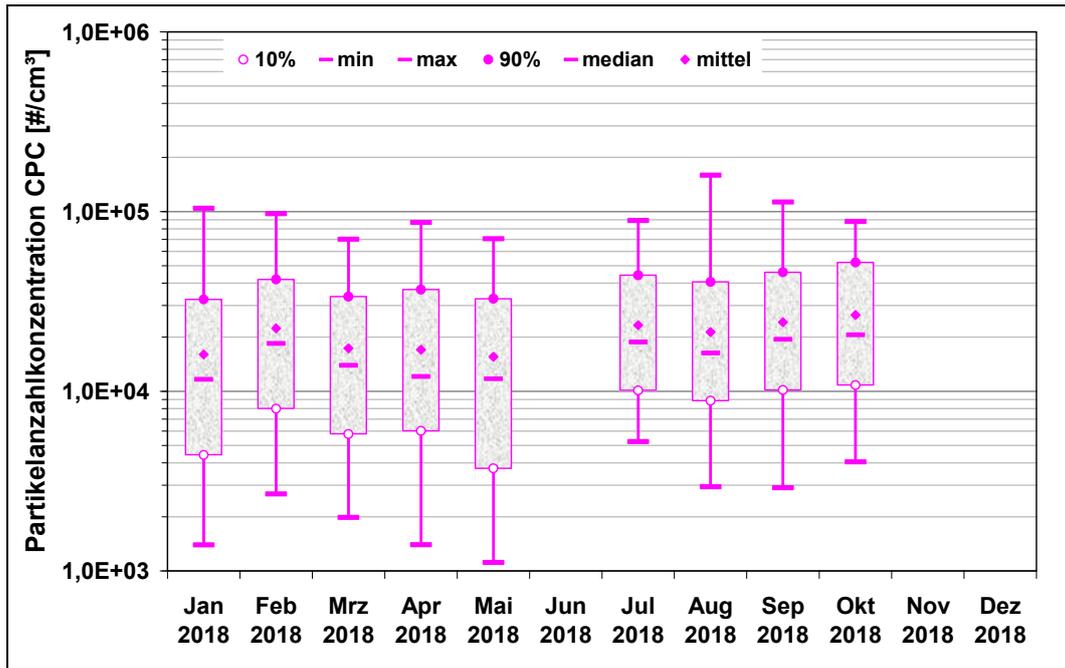


Abbildung 7: Partikelanzahlkonzentrationen des CPC an der Messstation Raunheim für den Zeitraum 01.01.-12.10.2018

Bei Betrachtung der mittleren Tagesgänge in Abbildung 8 sind sehr deutliche Maxima in den Morgen-/Vormittag- und Abendstunden zu erkennen. Diese deutlichen Verläufe sind im Wesentlichen dem jeweiligen Autoverkehr zu Berufs- und Freizeit-zwecken zuzuordnen. Sonntags zeigt sich ein niedrigeres Konzentrationsniveau.

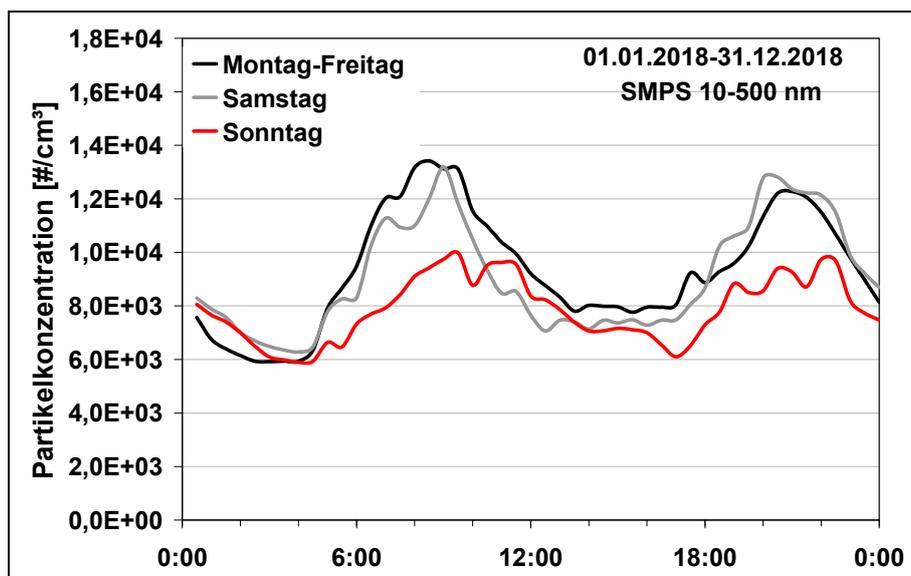


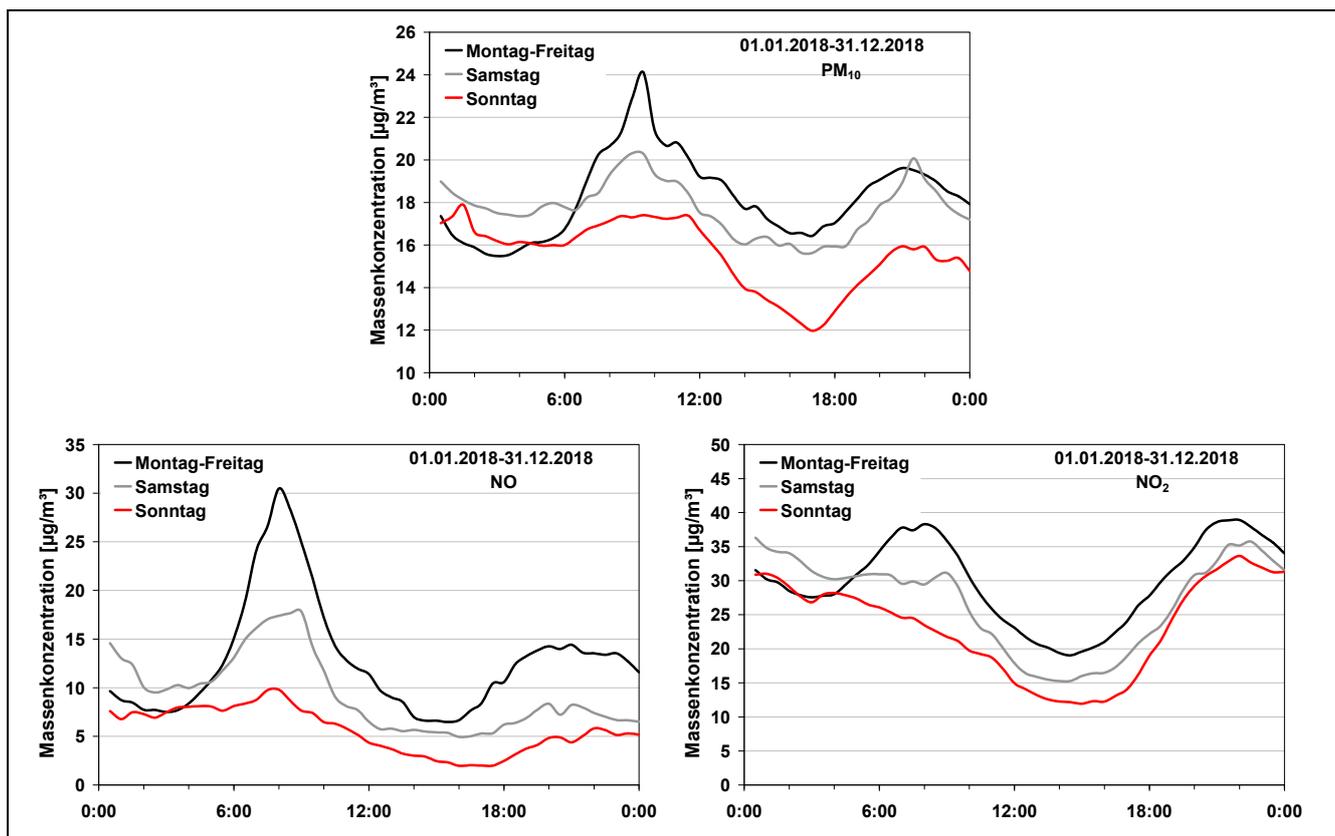
Abbildung 8: Mittlere Tagesgänge der Partikelanzahlkonzentration im Messzeitraum 2018 an der Messstation Raunheim

Dabei wird das Maximum in den Vormittagsstunden sonntags später erreicht als an den Wochentagen, wohingegen das zweite Maximum in den Abendstunden zeitlich

etwa gleich liegt. Der mittlere Tagesgang samstags unterscheidet sich vom Tagesgang der Wochentag nur geringfügig. Teilweise sind in den Abendstunden leicht höhere Konzentrationen zu erkennen als in den Abendstunden an den Wochentagen. Da die Messstation an einem Parkplatz steht, ist es wahrscheinlich, dass diese teils erhöhten Konzentrationen dem an- und abfahrenden Freizeitautoverkehr zuzuordnen ist.

Auch für PM<sub>10</sub>, NO und NO<sub>2</sub> zeigen sich ebenso deutliche Tagesgänge, siehe dazu Abbildung 9. Die mittlere PM<sub>10</sub>-Konzentration lag für den Zeitraum 01.01.-31.12.2018 bei 17,8 µg/m<sup>3</sup>. Darin enthalten sind der erste Halbstundenmittelwert in der Neujahrsnacht mit 178 µg/m<sup>3</sup> und 6 Überschreitungstage mit mittleren PM<sub>10</sub>-Konzentrationen von größer 55,4-68,4 µg/m<sup>3</sup> (08.-09.02., 02.-04.03. und 06.03.) (Messdaten noch nicht abschließend validiert).

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 bei 11,3 µg/m<sup>3</sup> und für NO<sub>2</sub> bei 28,54 µg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 9:** Mittlere Tagesgänge der Massenkonzentrationen von PM<sub>10</sub>, NO und NO<sub>2</sub> im Messzeitraum 01.01.-31.12.2018 an der Messstation Raunheim

Messstation Raunheim 01.01.-31.12.2018						
	SMPS 10-500 nm [#/cm <sup>3</sup> ]	SMPS UFP [#/cm <sup>3</sup> ]	CPC [#/cm <sup>3</sup> ]	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	NO [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
Jan 18	6.731	5.764	16.020	12,13	14,79	27,50
Feb 18	8.046	6.655	22.385	24,86	18,39	34,16
Mrz 18	7.336	6.109	17.330	23,24	11,63	33,45
Apr 18	8.677	7.568	17.041	17,34	6,52	28,09
Mai 18	14.425	12.646	15.579	18,25	3,08	23,78
Jun 18	8.581	7.524		15,78	2,29	17,92
Jul 18	9.751	8.389	23.320	17,72	2,62	23,67
Aug 18	7.941	6.895	21.351	14,99	3,69	25,47
Sep 18	9.396	8.433	24.241	15,58	9,63	31,59
Okt 18	8.925	7.762	26.577	19,54	20,75	36,28
Nov 18	11.704	10.366		20,14	27,30	33,72
Dez 18	7.062	6.007		14,24	15,35	26,73
Gesamt	<b>9.062</b>	<b>7.850</b>	<b>20.250</b>	<b>17,77</b>	<b>11,28</b>	<b>28,49</b>

Tabelle 4: Zusammenfassung der Daten als mittlere Konzentrationen an der Messstation Raunheim (CPC Werte für Mai bis zum 16.05., für Juli ab 09.07. und für Oktober bis zum 12.10.2018))

### 3.2 Messstation Frankfurt-Schwanheim

In der nachfolgenden Abbildung 10 ist der zeitliche Verlauf der mit dem SMPS im Messbereich 10-500 nm gemessenen Partikelanzahlkonzentration als Intergralwerte aufgezeichnet.

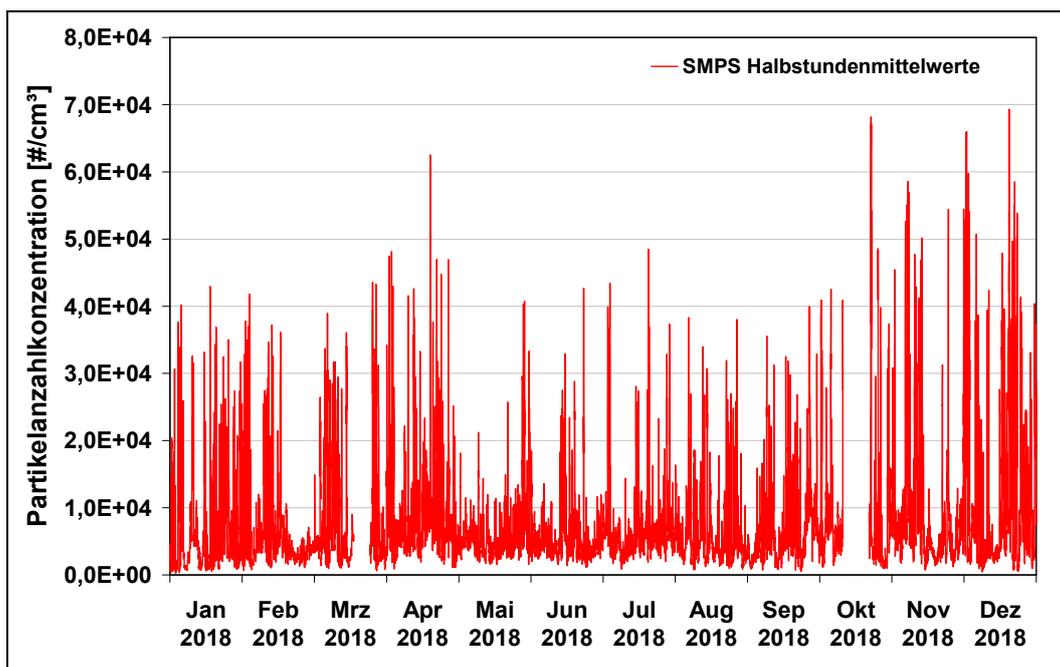


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentration des SMPS für 2018 an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Durch die regelmäßigen Wartungsarbeiten kam es nur zu kürzeren Datenausfällen. Im Oktober wurde das SMPS beim WCCAP überprüft und kalibriert.

In Tabelle 2 sind die statistischen Basiswerte der Partikelanzahlkonzentration des SMPS der Messstation Frankfurt-Schwanheim für 2018 dargestellt.

	Partikelanzahlkonzentration SMPS [# /cm <sup>3</sup> ]					
	Medianwert	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert	10. Perzentil	90. Perzentil
Jan 18	7.168	4.323	358	42.337	1.092	18.554
Feb 18	5.843	3.825	674	41.723	2.001	12.324
Mrz 18	7.035	4.290	655	43.446	1.970	17.603
Apr 18	8.667	6.499	838	62.485	2.902	16.788
Mai 18	5.651	4.943	1.221	40.616	2.564	8.896
Jun 18	5.469	4.300	1.181	42.649	2.510	8.993
Jul 18	6.653	5.434	944	48.451	2.914	10.505
Aug 18	5.819	4.274	841	38.226	1.929	11.606
Sep 18	6.368	4.816	548	39.933	1.733	12.508
Okt 18	7.639	4.949	992	67.893	1.892	15.230
Nov 18	8.224	5.274	774	58.231	2.280	19.164
Dez 18	11.973	6.004	495	69.196	2.039	31.848

Tabelle 5: Statistische Grunddaten der SMPS Partikelanzahlkonzentration auf Monatsbasis an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

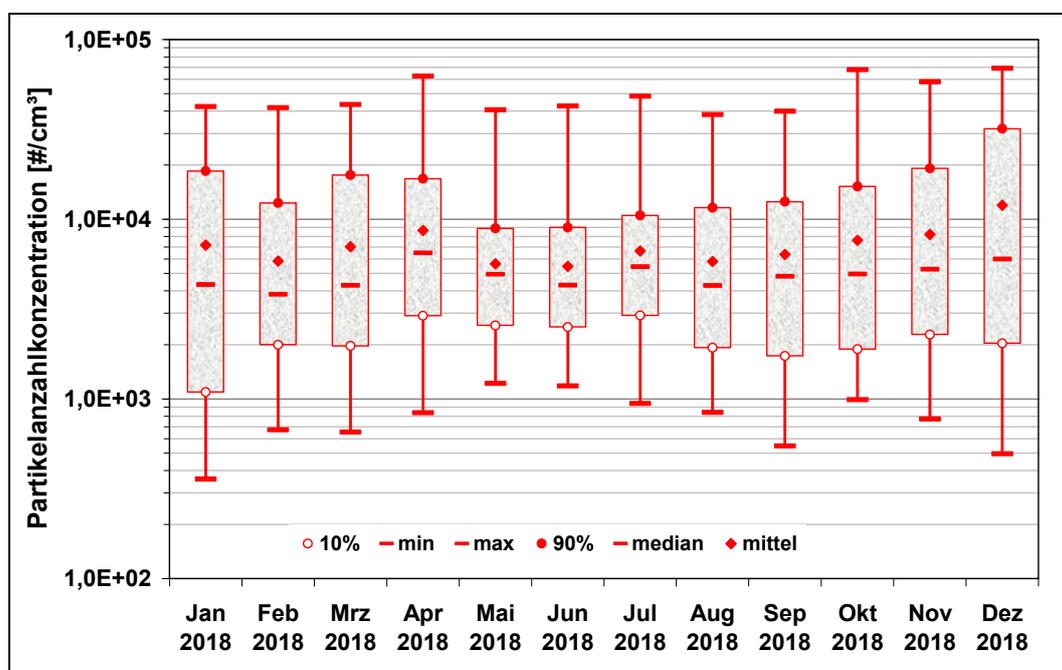
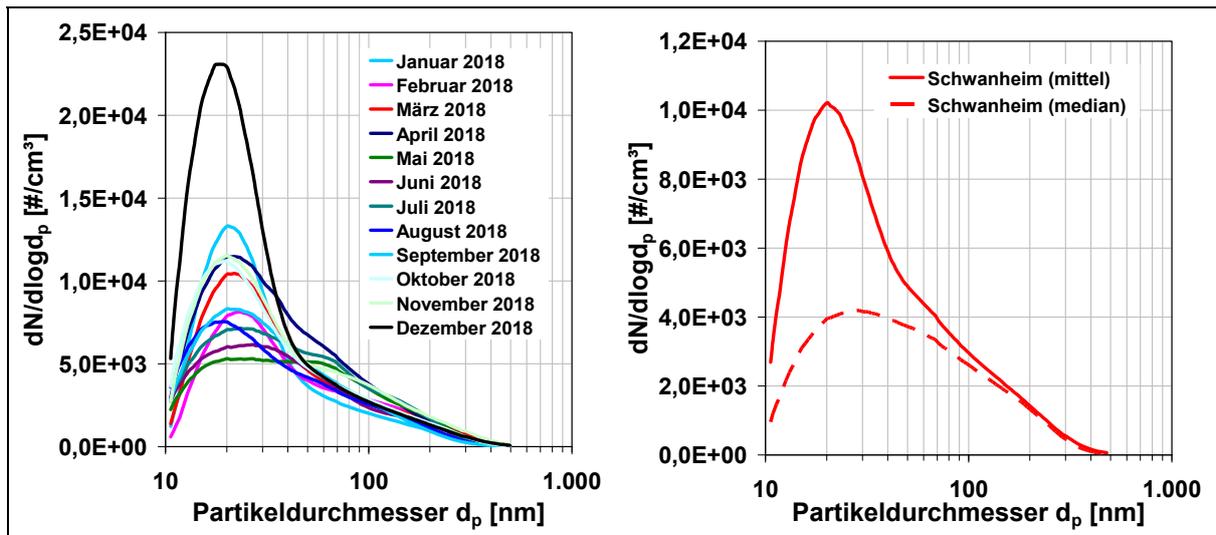


Abbildung 11: Partikelanzahlkonzentration des SMPS an der Messstation Frankfurt-Schwanheim für den Zeitraum 01.01.-31.12.2018



**Abbildung 12:** Partikelgrößenverteilungen an der Messstation Frankfurt-Schwanheim für den Zeitraum 01.01.-31.12.2018

Die sich aus den Messdaten des SMPS ergebenden Partikelanzahlgrößenverteilungen sind in Abbildung 12 dargestellt. Danach ergibt sich eine mittlere Partikelkonzentration der Messdaten (01.01.-31.12.2018) von  $7.218 \text{ \#/cm}^3$ , der Medianwert liegt bei  $4.311 \text{ \#/cm}^3$ . Diese Werte sind deutlich geringer als die Werte, die an der Messstation Raunheim ermittelt wurden.

Die monatlichen Partikelgrößenverteilungen zeigen Modalwerte um 18-25 nm für alle Monate. Auffällig ist die Partikelgrößenverteilung des Monats Mai mit annähernd konstanten Konzentrationen im gesamten Bereich 20-60 nm. In dieser Zeit wehte der Wind relativ selten (14 %) aus dem Flughafensektor ( $150^\circ$ - $220^\circ$ ) zur Messstation. Aber ebenso auffällig ist der Monat Dezember mit deutlich höherer mittlerer Konzentration im Größenbereich von 20 nm. Während dieser Zeit kam der Wind überwiegend aus südlichen Richtungen (zu 51 % aus  $150^\circ$ - $220^\circ$ ).

Die Tagesgänge der mittleren Partikelanzahlkonzentration in Abbildung 13 zeigen für die Werktage Maxima gegen 8-10 Uhr morgens und gegen 22 Uhr nachts. Samstags sind die Maxima gegen 12 Uhr und in den Abendstunden ähnlich wie an den Wochentagen, aber in den Abendstunden liegt die Partikelkonzentration deutlich höher. Ab 22 Uhr fällt die Konzentration wieder stark ab. Für sonntags ist das Konzentrationsniveau tagsüber ähnlich hoch wie samstags, in den Abendstunden aber deutlich niedriger als an den anderen Tagen.

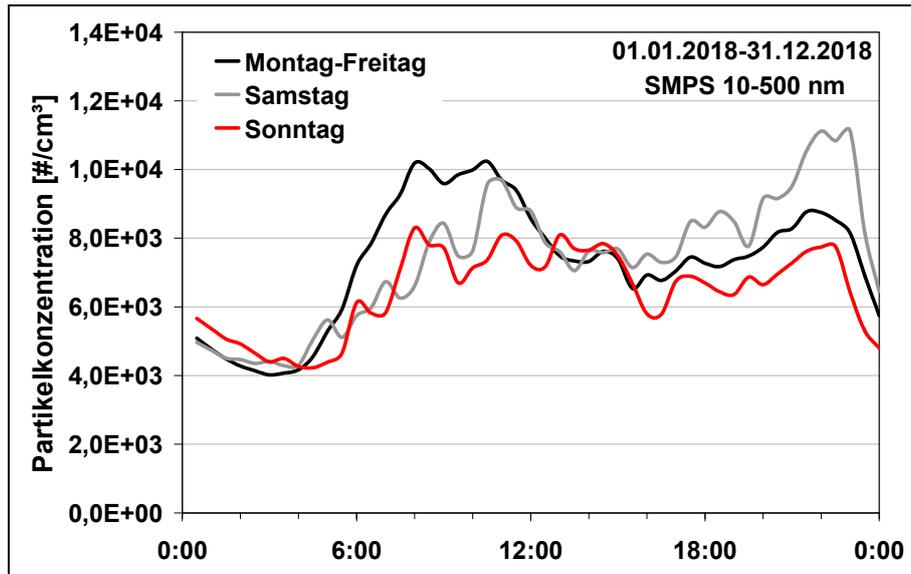


Abbildung 13: Mittlere Tagesgänge der Partikelanzahlkonzentration im Messzeitraum 2018 an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

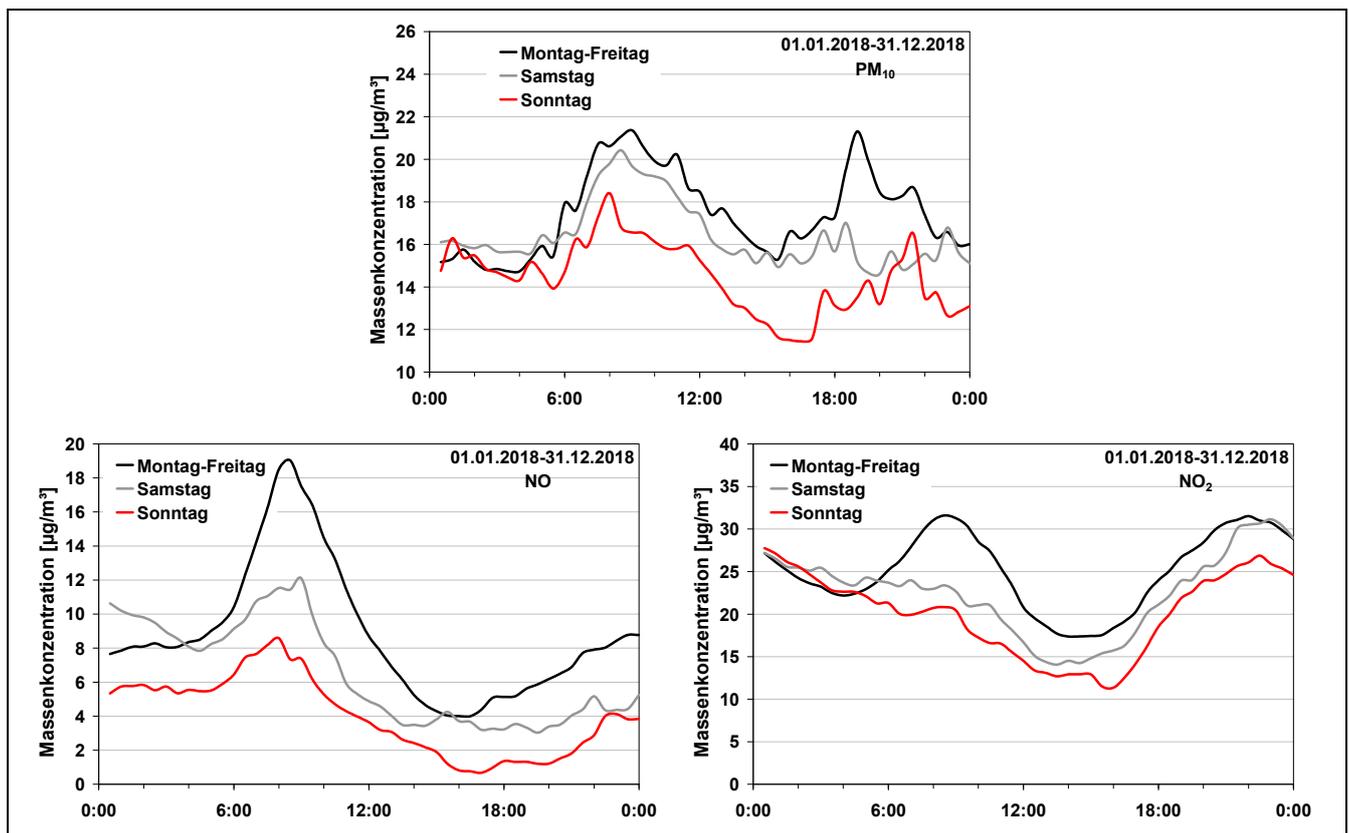


Abbildung 14: Mittlere Tagesgänge der Massenkonzentrationen von PM<sub>10</sub>, NO und NO<sub>2</sub> im Messzeitraum 01.01.-31.12.2018 an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

Für PM<sub>10</sub>, NO und NO<sub>2</sub> zeigen sich auch in Schwanheim deutliche Tagesgänge, siehe Abbildung 14. Die mittlere PM<sub>10</sub>-Konzentration lag für den Zeitraum bei 17,0 µg/m<sup>3</sup>. Sonntags ist die Konzentration deutlich geringer.

Bei den Tagesgängen für NO sieht man deutlich die Beeinflussung durch den morgendlichen Berufsverkehr und in stark abgeschwächtem Maße in den Abendstunden.

Die mittleren NO-Konzentrationen lagen bisher bei  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und für  $\text{NO}_2$  bei  $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . An den Sonntagen gehen die Werte für die Stickoxide deutlich zurück.

Messstation Frankfurt-Schwanheim 01.01.-31.12.2018						
	SMPS 10-500 nm [#/cm <sup>3</sup> ]	SMPS UFP [#/cm <sup>3</sup> ]	PM <sub>10</sub> [μg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>1</sub> [μg/m <sup>3</sup> ]	NO [μg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> [μg/m <sup>3</sup> ]
Jan 18	7.162	6.562	9,24	6,31	7,86	23,57
Feb 18	5.843	4.864	21,66	17,59	10,01	28,12
Mrz 18	7.035	6.093	19,86	15,82	6,95	27,70
Apr 18	8.667	7.688	16,02	7,01	3,64	21,98
Mai 18	5.651	4.632	18,60	8,34	2,11	16,62
Jun 18	5.469	4.717	15,47	7,15	1,71	15,16
Jul 18	6.653	5.624	17,90	6,81	2,56	21,89
Aug 18	5.819	5.104	17,31	5,97	2,81	22,95
Sep 18	6.368	5.708	17,23	5,65	8,82	29,70
Okt 18	7.640	6.774	19,51	9,72	15,88	28,50
Nov 18	8.224	7.066	18,13	14,01	20,24	26,66
Dez 18	11.973	11.146	12,34	9,46	10,89	25,23
Gesamt	7.218	6.339	16,99	9,49	7,82	24,07

Tabelle 6: Zusammenfassung der bisherigen Daten an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

### 3.3 Partikelkonzentrationsvergleich beider Messstationen

Beim Vergleich der Partikelgrößenverteilungen in Abbildung 15 fällt sofort auf, dass die Verteilung in Frankfurt-Schwanheim eine ausgeprägte Mode mit einem Modalwert bei ca. 20 nm aufweist und niedriger ist als die Verteilung von Raunheim. Diese weist einen Modalwert bei etwa 13-15 nm auf.

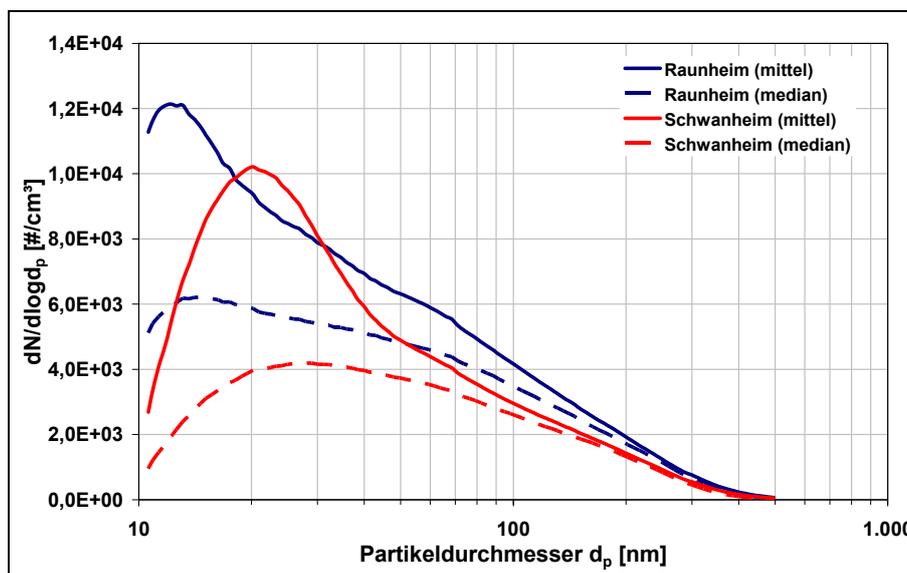
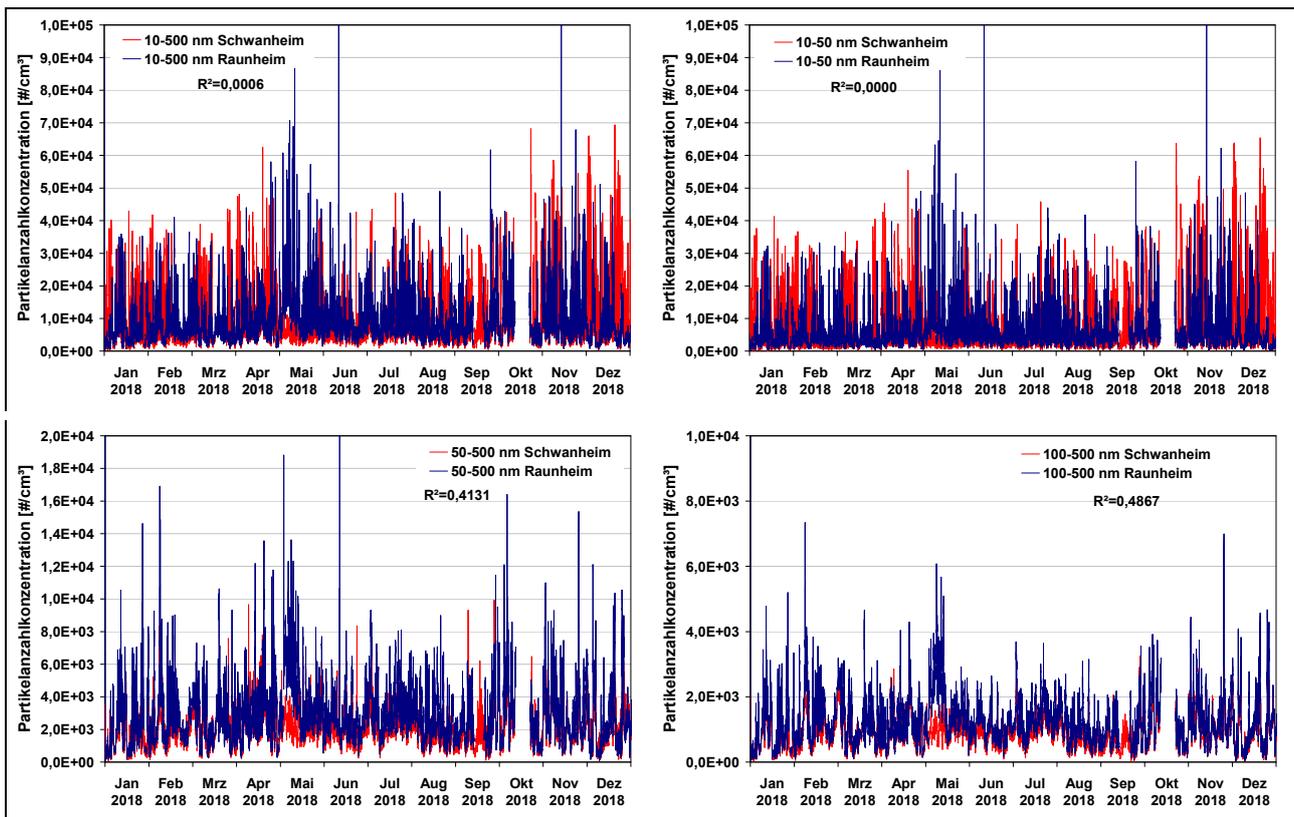


Abbildung 15: Vergleich der Partikelgrößenverteilungen der Messstationen Raunheim und Frankfurt-Schwanheim



**Abbildung 16:** Vergleich der Partikelanzahlkonzentrationen verschiedener Größenintervalle

Der Vergleich der gesamten Partikelanzahlkonzentration beider Messstationen in Abbildung 16 oben links zeigt keine bis nur geringfügige Ähnlichkeiten im zeitlichen Konzentrationsverlauf und weist bei der linearen Regression der Messdaten ein sehr geringes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,0006$  auf. Wird dagegen das Integrationsintervall der Größendaten auf Partikel  $> 50$  nm beschränkt, zeigen die Konzentrationsverläufe in Abbildung 16 unten links wesentlich bessere Vergleichbarkeit mit einem  $R^2$  von 0,41 bei der linearen Regression. Die Vergleichbarkeit erhöht sich noch leicht, wenn nur die Partikel  $> \text{UFP}$  (100 nm) betrachtet werden. Bei diesen Wertepaarungen ergibt sich zwar ein  $R^2$  von 0,49. Die Vergleichbarkeit der Partikelkonzentrationsverläufe 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.

### 3.4 Beeinflussung der Messstationen durch den Flughafen

In nachfolgender Abbildung 17 ist die windrichtungsabhängige Partikelanzahlkonzentration aufgezeichnet. Deutlich erkennbar ist, dass die höchsten Konzentrationen detektierbar sind, wenn der Wind in Schwanheim direkt vom Flughafen weht (Windsektor  $150^\circ$ - $220^\circ$ ) oder in Raunheim aus dem Windsektor  $0^\circ$ - $90^\circ$ . Aber auch im direkten Sektor ( $55^\circ$ - $80^\circ$ ) mit Wind vom Flughafen sind in hohe Konzentrationen (rote Balken) erkennbar.

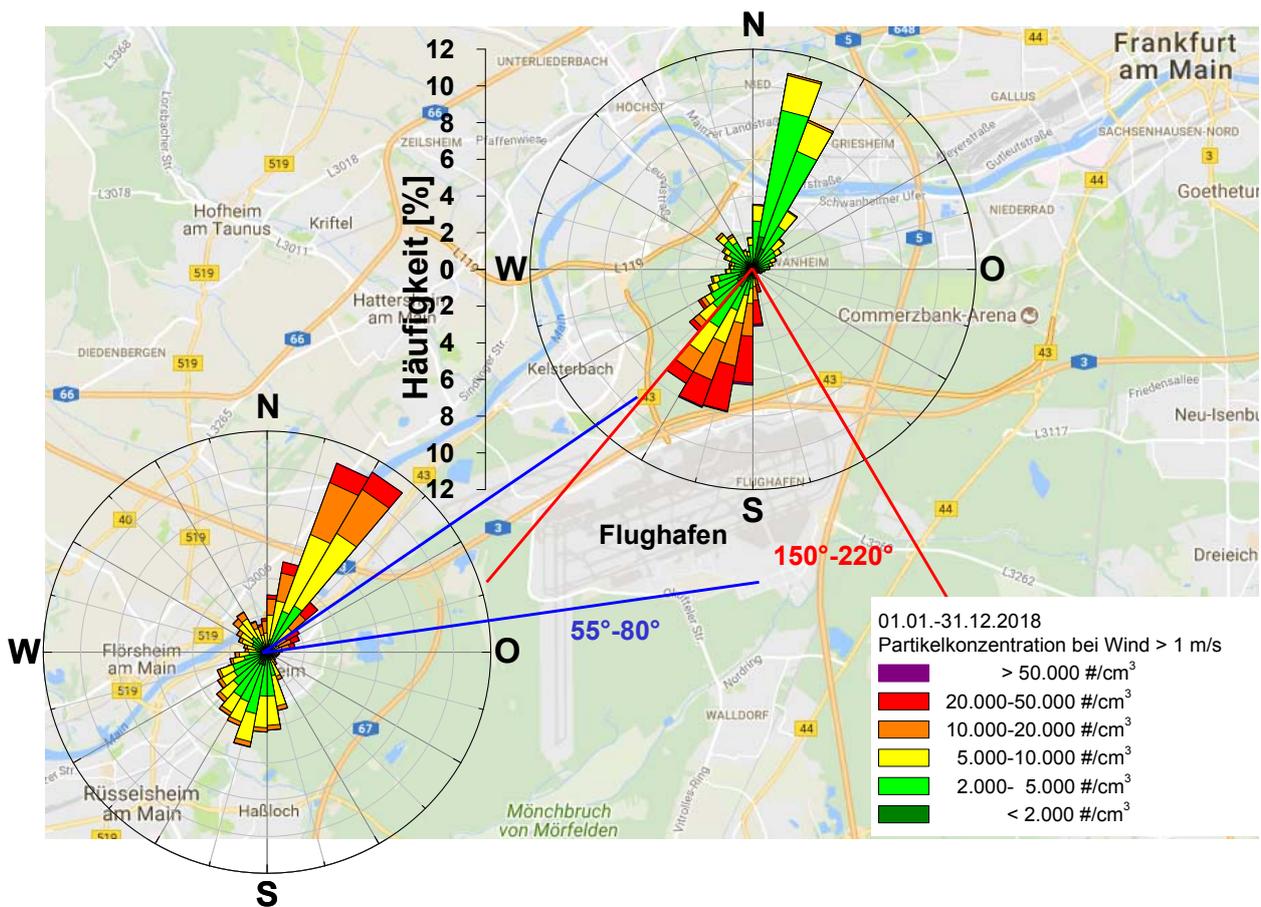


Abbildung 17: Windrichtungsabhängige Partikelanzahlkonzentration bei Windgeschwindigkeiten größer 1 m/s

### 3.4.1 Messstation Raunheim

Bei Betrachtung der Windrose in Abbildung 18 ist zu erkennen, dass im hier betrachteten Zeitraum und im zuvor genannten Windsektor von 55°-80° (Wind direkt vom Flughafen) nur selten der Wind direkt aus Richtung des Flughafens zur Messstation Raunheim wehte. Dies traf nur an insgesamt 476 Stunden (952 Halbstundenwerte) zu. Wenn nun nur die Zeiträume mit erlaubtem Flugbetrieb von 05.00-23.00 Uhr (für MEZ) bzw. ab 25.03.2018 04.00-22.00 Uhr (für MESZ) sowie bei Windgeschwindigkeit von  $v \geq 1$  m/s betrachtet werden, so bleiben nur noch 499 Halbstundenwerte Werte übrig. Deshalb wurde der betrachtete Windsektor auf 0°-90° vergrößert.

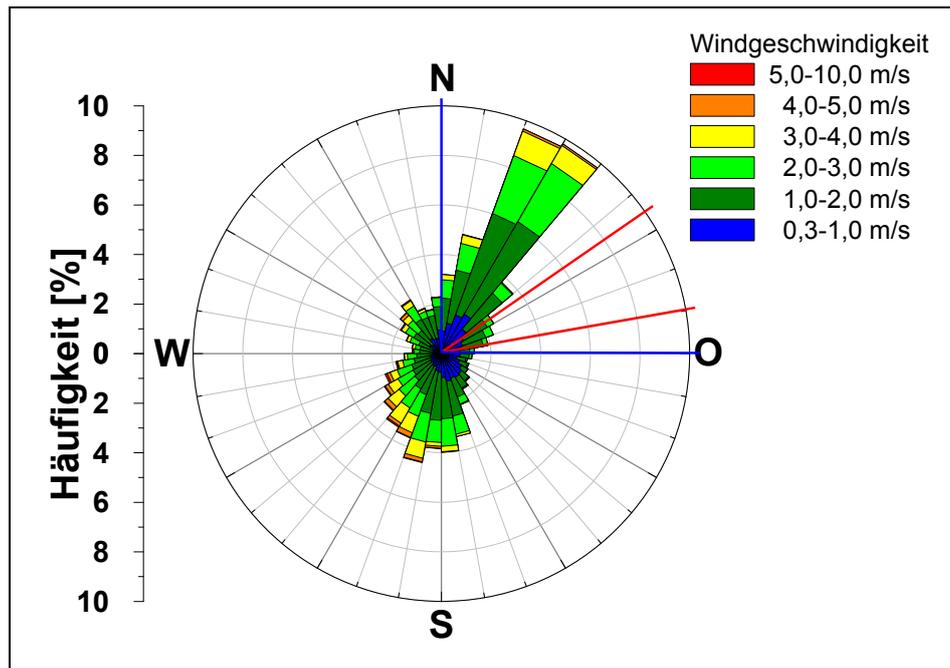


Abbildung 18: Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Messstation Raunheim

In der nachfolgenden Abbildung 19 sind die mittleren Partikelgrößenverteilungen sowie die Partikelanzahlkonzentrationen, ausschließlich bei Wind aus den Sektoren 55°-80°, 0°-90° und 90°-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.

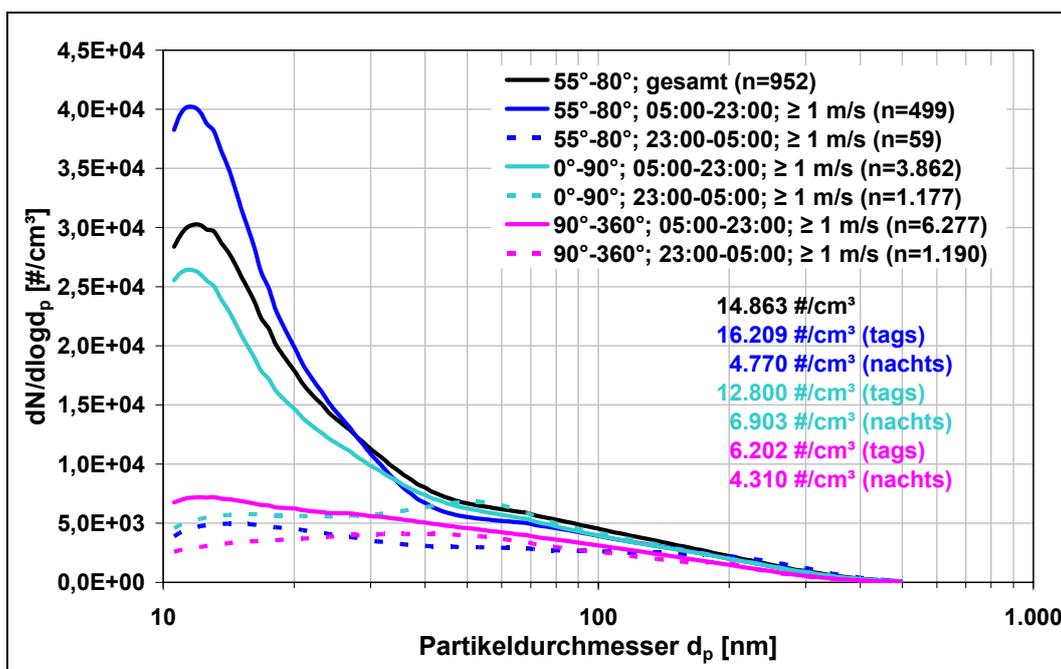


Abbildung 19: Partikelgrößenverteilungen für definierte Windsektoren und Zeiten an der Messstation Raunheim (Werte in Klammern: Anzahl der ausgewerteten Halbstundenmittelwerte)

Da die Zeitdaten zu den Messungen jeweils unabhängig von Winter- und Sommerzeit in MEZ vorliegen, wurden für die Zeit ab Beginn der MESZ (25.02.2018 02.00 Uhr) 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 (im Diagramm zur besseren Übersicht nicht extra angegeben).

An den Partikelgrößenverteilungen ist deutlich zu erkennen, dass erhöhte Partikelkonzentrationen vorliegen, wenn der Wind zu den Flugzeiten in etwa aus Richtung des Flughafens weht. Dann liegen die Modalwerte der Verteilungen bei 11-14 nm. Weht der Wind aus anderen Windrichtungen werden deutlich niedrigere Partikelkonzentrationen detektiert, d. h. die Konzentration liegt tagsüber um etwa Faktor 2,6 (Bezug 55°-80°) bzw. 2,1 (Bezug 0°-90°) niedriger. Ohne Flugbetrieb ist nachts die Partikelkonzentration beim Vergleich zu 55°-80° um etwa 10 % erhöht und beim Vergleich zu 0°-90° um den Faktor 1,6 höher. Nachts liegen die Modalwerte bei etwa 15 nm (55°-80°) oder 40 nm -60 nm (0°-90° und 90°-360°).

Zeitraum	01.01.-31.12.2018						
Messstation Raunheim	55°-80° gesamt	55°-80° tags	55°-80° nachts	0°-90° tags	0°-90° nachts	150°-360° tags	150°-360° nachts
SMPS 10-500 nm [# /cm <sup>3</sup> ]	14.863	16.209	4.770	12.800	6,903	6.202	4.310
SMPS UFP [# /cm <sup>3</sup> ]	13.480	14.980	3.603	11.577	5.643	5.283	3.495
CPC [# /cm <sup>3</sup> ]	32.951	41.353	8.148	34.387	12.248	14.800	8.354
PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	21,70	21,04	23,78	20,09	18,16	14,76	11,43
NO [µg/m <sup>3</sup> ]	14,18	4,84	1,62	8,52	3,59	5,12	2,19
NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	30,41	23,32	14,81	28,24	28,94	19,64	15,37

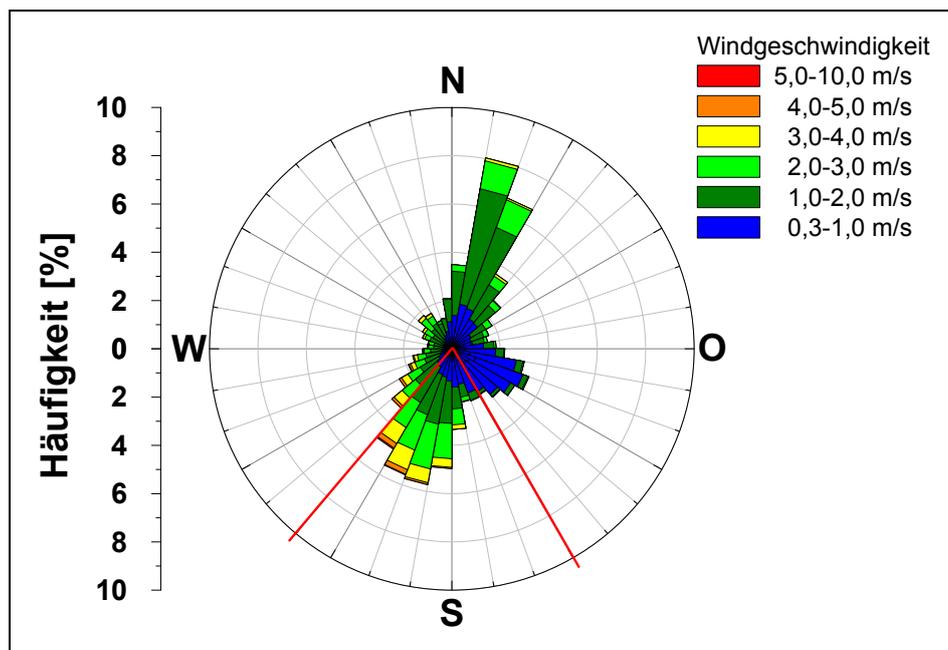
**Tabelle 7:** Zusammenfassung der Messdaten für definierte Windsektoren bei Wind  $\geq 1$  m/s und Zeiten (tags: 05.00-23.00, nachts 23.00-05.00) an der Messstation Raunheim (gesamt bedeutet alle Zeiten und Windgeschwindigkeiten)

Wenn die Partikelkonzentration des CPC zum Vergleich betrachtet wird, ergibt sich tagsüber eine niedrigere Konzentration um den Faktor 2,8 (Bezug 55°-80°) bzw. 2,3 (Bezug 0°-90°) bei Wind aus anderen Richtungen zu Wind aus Flughafenrichtung und nachts ergibt sich eine ähnliche Konzentration bei 55°-80° und eine niedrigere Konzentration um den Faktor 1,5 bei 0°-90°.

### 3.4.2 Messstation Frankfurt-Schwanheim

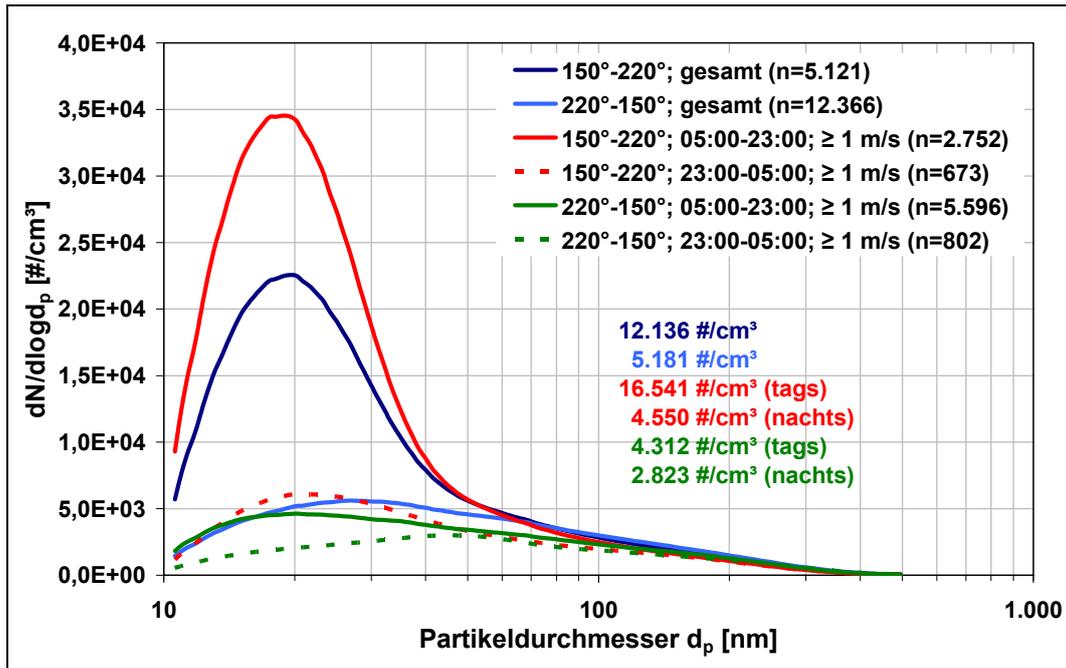
Aus der Windrose in Abbildung 20 wird deutlich, dass eine der Hauptwindrichtungen (S-SW) die Luftmassen vom Flughafen in Richtung der Messstation Frankfurt-Schwanheim transportiert. Im hier betrachteten Zeitraum und im zuvor genannten Windsektor von 150°-220° (Wind direkt vom Flughafen) wehte der Wind an 2.560,5

Stunden (5.121 Halbstundenwerte) zur Messstation. Aus anderen Windrichtungen liegen 12.366 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 2.752 Werte und aus anderen Windrichtungen 5.596 Werte. Bei Zeiten ohne Flugbetrieb liegen 673 ( $150^\circ$ - $220^\circ$ ) bzw. 802 Messwerte ( $220^\circ$ - $150^\circ$ ) vor.



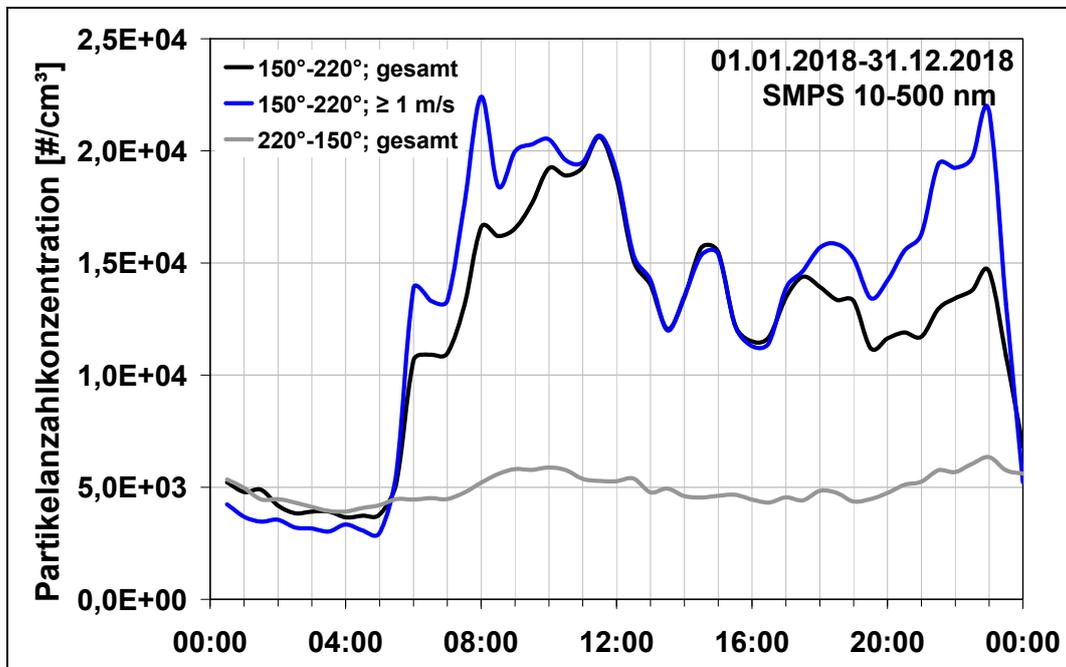
**Abbildung 20:** Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Messstation Frankfurt-Schwanheim

An den Partikelgrößenverteilungen in Abbildung 21 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), unterscheidet sich die mittlere Partikelanzahlkonzentration nur noch um den Faktor 1,6. Deutlich zu erkennen ist zudem, dass die Mode mit einem Modaldurchmesser von 18-20 nm bei Wind aus dem Sektor  $150^\circ$ - $220^\circ$  sehr stark ausgeprägt ist. Nachts ergibt sich bei Wind aus  $220^\circ$ - $150^\circ$  ein Modaldurchmesser von etwa 50 nm.



**Abbildung 21:** 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.



**Abbildung 22:** Tagesgänge (Mittelwerte für Mon-Son) an der Messstation Frankfurt-Schwanheim unterteilt in Wind vom Flughafen (150°-220°) und Wind aus anderen Windrichtungen (220°-150°)

Aus den Tagesgängen in Abbildung 22 wird deutlich, dass, wenn der Wind aus Richtung des Flughafens ( $150^{\circ}$ - $220^{\circ}$ ) weht, ab 05.00 Uhr morgens steile Anstiege der Partikelkonzentration zu erkennen sind, die ab 23.00 Uhr ebenso steil wieder abnehmen. Noch deutlicher wird dieser Effekt, wenn nur die Partikelkonzentration bei Wind  $\geq 1$  m/s betrachtet wird (blaue Linie). Während des Tages sind noch weitere Konzentrationsmaxima zu erkennen. Wenn der Wind aus anderen Windrichtungen weht ( $220^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ), ist ein erstes Maximum erst um 9 Uhr sichtbar, ein weiteres in den späten Abendstunden.

Die Werte für MEZ und MESZ wurden passend verrechnet zum Flugbetrieb 05.00-23.00 Uhr.

Zeitraum	01.01.-31.12.2018					
	150°-220° ges.	220°-150° ges.	150°-220° tags	150°-220° nachts	220°-150° tags	220°-150° nachts
Messstation Frankfurt-Schwanheim						
SMPS 10-500 nm [ $\#/cm^3$ ]	12.136	5.181	16.541	4.550	4.312	2.823
SMPS UFP [ $\#/cm^3$ ]	11.343	4.271	15.859	3.931	3.565	2.161
PM <sub>10</sub> [ $\mu g/m^3$ ]	13,98	12,4	14,30	13,50	17,33	15,85
PM <sub>1</sub> [ $\mu g/m^3$ ]	7,82	11,1	9,29	9,00	9,13	7,86
NO [ $\mu g/m^3$ ]	7,38	12,13	9,48	8,54	2,50	2,13
NO <sub>2</sub> [ $\mu g/m^3$ ]	27,08	25,58	25,53	24,81	15,14	14,32

**Tabelle 8:** Zusammenfassung der Messdaten für definierte Windsektoren bei Wind  $\geq 1$  m/s und Zeiten (tags: 05.00-23.00, nachts 23.00-05.00) an der Messstation Frankfurt-Schwanheim (gesamt bedeutet alle Zeiten und Windgeschwindigkeiten)

## 4 Fazit

Im hier dargestellten Messzeitraum 01.01.-31.12.2018 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. An beiden Messstationen konnten erhöhte Partikelkonzentrationen detektiert werden, wenn der Wind aus dem jeweiligen Windsektor vom Flughafen her wehte. Die an den beiden Stationen gemessenen Größenverteilungen und Anzahlkonzentrationen weisen Unterschiede auf.

Die Messungen in Schwanheim zeigen mit  $11.300 \#/cm^3$  eine erheblich höhere UFP-Konzentration bei Wind aus dem Sektor  $150^{\circ}$ - $220^{\circ}$ , in dem auch der Flughafen liegt. Nur bei Wind aus dieser Richtung und während des Flugbetriebs (05.00-23.00 Uhr) ist zudem eine sehr ausgeprägte Mode der Größenverteilung bei ca. 20 nm offensichtlich. Wenn der Wind aus anderen Richtungen zur Messstation weht, zeigt sich mit  $3.600 \#/cm^3$  eine deutlich geringere UFP-Konzentration.

In Raunheim ist ebenso eine erhöhte UFP-Konzentration detektierbar, wenn der Wind aus Richtung des Flughafens ( $55^{\circ}$ - $80^{\circ}$  oder  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) zur Messstation weht ( $13.500 \text{ \#/cm}^3$  bzw.  $11.600 \text{ \#/cm}^3$ ). Die Konzentration liegt beim enger gefassten Windsektor von  $55^{\circ}$ - $80^{\circ}$  sogar um mehr als  $2.000 \text{ \#/cm}^3$  höher als die Konzentration in Schwanheim bei Wind vom Flughafen. Der Modalwert ist zudem mit 12-15 nm kleiner als in Schwanheim mit 20 nm. Auch wenn der Wind nicht vom Flughafen zur Station weht, ist die UFP-Partikelkonzentration in Raunheim mit  $5.300 \text{ \#/cm}^3$  höher als in Schwanheim bei Wind, der aus anderen Richtungen als vom Flughafen kommt. Es ist aber ebenso zu beachten, dass die Autobahn A3 genau in diesen Windsektoren sowohl für Schwanheim als auch für Raunheim liegt, sodass eine Beeinflussung durch den Flughafen zwar vermutet werden kann, aber nicht eindeutig nachgewiesen ist.