



# Sondierungsmesskampagne zu Ultrafeinstaubpartikeln auf der Flughafenplattform Basel-Mulhouse

## VERBREITUNG

---

### Uneingeschränkte Verbreitung zur Weiterverwendung der Daten unter folgenden Bedingungen:

- Die von ATMO Grand Est erzeugten Daten sind für die Allgemeinheit lizenzfrei («**ODbL V. 1.0**») verfügbar.
- Auf Anfrage stellt ATMO Grand Est die Charakteristiken der angewendeten Messtechniken und Datenverarbeitungsmethoden sowie die geltenden Umweltnormen und nationalen methodischen Leitfäden zur Verfügung.
- ATMO Grand Est kann das vorliegende Dokument Dritten zur Verfügung stellen.
- Dieser Bericht wird bei aktualisierter Version nicht erneut verbreitet.

## ZUSTÄNDIGE ANSPRECHPERSONEN

---

Autor: *Mélodie Chatain, Ingenieurin für Luftqualität*  
Revision: *Emmanuel Jantzen, Leiter des Referats Aufkommende Herausforderungen*  
Genehmigung: *Emmanuelle Drab-Sommessous, Bereichsleiterin Begleitung und Entwicklung*

Berichtsvorlage: COM-FE-001\_8

Projektreferenz: 00751

Berichtsreferenz: ENJEM-EN-069\_1

Veröffentlichung: 03.01.2023

### ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – F-67300 Schiltigheim

Tel.: 03 69 24 73 73

Mail: [contact@atmo-grandest.eu](mailto:contact@atmo-grandest.eu)

## INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>1. GEGENSTAND UND ZIEL DER STUDIE.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DURCHFÜHRUNGSBEDINGUNGEN DER MESSKAMPAGNE .....</b>	<b>6</b>
2.1. ÜBERWACHTE SCHADSTOFFE .....	6
2.2. METHODIK FÜR MESSUNGEN IN DER UMGEBUNGSLUFT .....	6
2.3. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND STANDORTE DER MESSPUNKTE .....	9
2.4. PLANUNG DER MESSKAMPAGNE .....	10
<b>3. DIE ERGEBNISSE UND DEREN AUSWERTUNG .....</b>	<b>11</b>
3.1. MESSQUALITÄT UND GRENZEN DER MESSKAMPAGNE.....	11
3.1.1. Vergleich mit dem Referenz- und Vergleichsanalysegerät (CPC).....	11
3.1.2. Intra-technischer Vergleich: Vor und nach der Messkampagne .....	13
3.2. MESSKAMPAGNE.....	16
3.2.1. Meteorologische Parameter .....	16
3.2.2. Durchschnittswerte bei der Messkampagne .....	19
3.2.3. Vergleich mit Referenzdaten .....	24
3.2.4. Zeitliche Schwankungen der Messungen .....	26
3.2.5. Analyse der Tagesprofile.....	31
3.2.6. Einfluss des Windes.....	33
3.3. GRENZEN DER MESSKAMPAGNE.....	36
<b>SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>38</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der ersten Sondierungsmesskampagne zu auf der Flughafenplattform Basel-Mulhouse vorkommenden Ultrafeinstaubpartikeln (UFP) vorgestellt. Diese einmonatige Kampagne fand im Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte Juli 2022 statt und basiert auf Messungen, die mit dem Sensor Partector 2 durchgeführt wurden. Dabei wurden 11 Messpunkte festgelegt, um die räumliche Variabilität der auf und um die Flughafenplattform herum gemessenen Konzentrationen zu untersuchen. Zur Sicherstellung der Qualität der von den Sensorsystemen gelieferten Daten wurden vor und nach der Messkampagne Tests und Vergleichsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Qualitätskontrollen bestätigten die Konsistenz und Reproduzierbarkeit der Konzentrationsmessungen sowohl bezüglich der Partikelanzahl als auch des mittleren Partikeldurchmessers.

Eine gemeinsame Auswertung der UFP-Messungen, der meteorologischen Gegebenheiten und der Flugverkehrsdaten wurde durchgeführt, um die Ergebnisse der Messkampagne zu untersuchen:

- Die sich auf der Flughafenplattform befindlichen Messorte sind mit höheren Werten für die Partikelanzahl verbunden als jene, die sich an diversen Umgebungsorten befinden, mit Ausnahme des Messpunkts Nr. 2. In den verschiedenen Bereichen des Flughafens wurde eine Variabilität beobachtet, die mit den meteorologischen Bedingungen und den Aktivitäten am Boden zusammenhängt, wobei der Triebwerksbetrieb der Flugzeuge grössere Auswirkungen hat.
- Die Messorte in der städtischen Zone zeigen Konzentrationen derselben Grössenordnung wie jene, die in anderen Ballungszentren der Region gemessen wurden (Metz und Strassburg). Bei der Untersuchung der Maxima und der täglichen Schwankungen wurden jedoch punktuelle lokale Auswirkungen hervorgehoben, die von den Zeiten und dem Einfluss der Winde abhängen. An allen Standorten wurden die höchsten Konzentrationen der Partikelanzahl mit aus Richtung des Flughafens wehenden Winden in Verbindung gebracht.
- Aufgrund des Messprinzips des Geräts konnte die Studie kein eindeutiges Vorherrschen des für den Betrieb von Flugzeugtriebwerken typischen Spektrums von Partikeldurchmessern (10-20 nm) nachweisen.

## 1. GEGENSTAND UND ZIEL DER STUDIE

---

Der EuroAirport ist im Rahmen seines Betriebs verpflichtet, die Luftqualität auf und um seine Plattform herum zu messen. In diesem Sinne führten ATMO Grand Est und der EuroAirport seit 2005 mehrere Messkampagnen durch, die es ermöglichten, die reglementierten Schadstoffe zu dokumentieren, sowie spezifische Kampagnen, die es ermöglichen, verschiedenen anderen Zielsetzungen gerecht zu werden. Die letzte Untersuchung fand in Form zweier Kampagnen statt (eine Sommerphase im Juni/Juli 2019 und eine Winterphase im Januar/Februar 2020), und der dazugehörige Bericht ist auf der Website von ATMO Grand Est verfügbar.

Die Vorschriften vom 6. Oktober 2020[1] empfehlen die Messung der regulierten Schadstoffe, fordern die Flughafenbetreiber aber auch auf, «*Sondierungsstudien zu Ultrafeinstaubpartikeln (UFP) durchzuführen*». In diesem Sinne hat der EuroAirport gegen Ende des Jahres 2020 erneut ATMO Grand Est mit der Durchführung einer ersten Sondierungsmesskampagne zu Ultrafeinstaubpartikeln auf und um die Flughafenplattform herum beauftragt. Diese Messkampagne, die auf die Emissionssektoren zugeschnitten ist und auf der Überwachung neu auftretender Substanzen, die von Interesse sind, basiert, steht voll und ganz im Einklang mit dem von ATMO Grand Est getragenen Regionalen Programm zur Überwachung der Luftqualität 2017-2021, und dies insbesondere durch die Aktion 3 "Bessere Kenntnis und Hierarchisierung der Schadstoffquellen" und die Aktion 20 "Begleitung der Partner bei der Evaluierung der bereits identifizierten auftretenden Themen".

Zudem erfolgt diese Messkampagne parallel zur Entstehung des Beobachtungsportals für Ultrafeinstaubpartikel, das in der Region entwickelt wird dank der von ATMO Grand Est ab 2019 dargebotenen Expertise und der Integration neuer Messmethoden in das bestehende Netzwerk. Die UFP stehen insbesondere auf der Liste der nicht reglementierten Schadstoffe, deren Überwachung auf nationaler Ebene verstärkt erfolgen muss unter Berücksichtigung der verfügbaren Gesundheitsdaten, gemäss den Empfehlungen der französischen *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)*\* aus dem Jahre 2018[2]. (\* Eine für Lebensmittelsicherheit, Umweltschutz und Arbeitsschutz zuständige Behörde in Frankreich)

So führte ATMO Grand Est in Abstimmung mit dem EuroAirport eine Messkampagne durch, bei welcher die Anrainerverbände bei den Vorbereitungsschritten sowie der Redaktion des Berichts miteinbezogen wurden. Die wichtigsten Ziele der Untersuchung betreffen die folgenden Punkte:

- Die räumliche Charakterisierung der Konzentrationswerte in Bezug auf die Anzahl der UFP auf und um die Flughafenplattform herum;
- die Korrelationsanalyse zwischen den Konzentrationswerten, den meteorologischen Verhältnissen und des Flugverkehrs;
- die Identifizierung der Bereiche, die mit den Höchstwerten verbunden sind;
- der Vergleich dieser Werte mit denen vorhergehender Untersuchungen, falls vergleichbare bibliografische Daten verfügbar sind.

Um diesen Zielen gerecht zu werden, wurde eine Sondierungsmesskampagne auf der Grundlage von 11 Messstellen auf und um die Flughafenplattform herum durchgeführt. Die technischen und methodologischen Charakteristika dieser Untersuchung werden im nächsten Abschnitt erläutert.

## 2. DURCHFÜHRUNGSBEDINGUNGEN DER MESSKAMPAGNE

### 2.1. ÜBERWACHTE SCHADSTOFFE

Diese Sondierungskampagne zielt auf die Messung von Ultrafeinstaubpartikeln (UFP oder  $PM_{0.1}$ , definiert als Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 100nm) im Hinblick auf die Ziele der Studie ab. Die reglementierten Schadstoffe ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_x$  et COV) sind nicht Bestandteil dieser Messkampagne. Um eventuelle Vergleiche zu ermöglichen und zur Ausweitung dieser Untersuchung wurde dennoch eine zweite, separate Kampagne zur Messung der reglementierten Schadstoffe durchgeführt, parallel zur UFP-Sondierungskampagne. Die reglementierten Daten werden Gegenstand eines zweiten Berichts sein.

Nach zahlreichen Untersuchungen, darunter auch der Bericht der ANSES (2019)[2], werden Ultrafeinstaubpartikel mit gesundheitsgefährdenden Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System und das Atemwegssystem in Verbindung gebracht. Aufgrund ihrer Grösse sind UFP in der Lage, biologische Barrieren zu durchdringen und können so über das Blut in andere Organe transportiert werden (Translokation)[3], [4].

Die im Jahr 2022 geltenden Vorschriften für die Umgebungsluft betreffen nicht die UFP, deren aussagekräftigste Messung jene der Anzahlkonzentration ist. Daher gibt es derzeit keine gesetzlichen (Grenz-)Werte für Ultrafeinpartikel. Ultrafeinpartikel werden jedoch, wie bereits angedeutet, von der ANSES als prioritärer, nicht reglementierter Schadstoff identifiziert. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Jahr 2021 ebenfalls Empfehlungen gegeben, die als Referenz dienen können: Ein Tagesmittelwert von weniger als 1'000 Partikel/cm<sup>3</sup> kann als eine niedrige Konzentration angesehen werden, während ein mittlerer Tagesmittelwert von mehr als 10'000 Partikel/cm<sup>3</sup> oder ein Stundenmittelwert von mehr als 20'000 Partikel/cm<sup>3</sup> als erhöhte Konzentrationen betrachtet werden können[5]. Zudem wird ihre Überwachung an Flughäfen seitens der französischen Lärmschutzbehörde gefördert.

### 2.2. METHODIK FÜR MESSUNGEN IN DER UMGEBUNGSLUFT

Ultrafeinstaubpartikel werden mittels der Konzentration der Gesamtpartikelanzahl/cm<sup>3</sup> oder in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser gemessen - Letzteres bezeichnet man als Partikelgrössenverteilung. Diese beiden Metriken sind Gegenstand technischer Standards, die in der folgenden Tabelle 1 vorgestellt werden.

Schadstoffe	Messinstrument	Technischer Standard
Gesamtanzahlkonzentration (UFP)	Condensation Particle Counter (CPC)	XP CEN/TS 16976 – Umgebungsluft – Bestimmung der Konzentration der Partikelanzahl des atmosphärischen Aerosols
Partikelgrössenverteilung (UFP)	Mobility Particle Size Spectrometer (MPSS)	XP CEN/TS 17434 – Umgebungsluft – Bestimmung des Partikelgrössenspektrums des atmosphärischen Aerosols durch Verwendung eines <i>Mobility Particle Size Spectrometer (MPSS)</i>

*Tabelle 1: Messinstrumente für Ultrafeinpartikel sowie die damit verbundenen technischen Standards*

Die nationale (französische) Strategie zur Überwachung der Ultrafeinstaubpartikel stützt sich auf die Messung der Gesamtpartikelanzahl mithilfe eines CPCs. Allerdings haben die Informationen, die durch die Partikelgrössenverteilung ermittelt werden, Vorteile - insbesondere zur Unterscheidung der

Partikelquellen. So zeigen die Untersuchungen beispielsweise einen Unterschied der Grössenverteilung zwischen Partikeln, die von Flugzeugtriebwerken ausgestossen werden (10-20 nm) und Partikeln, die von Verbrennungsmotoren des Equipments der Bodenverkehrsdienste stammen (50-100 nm) (Abbildung 1).

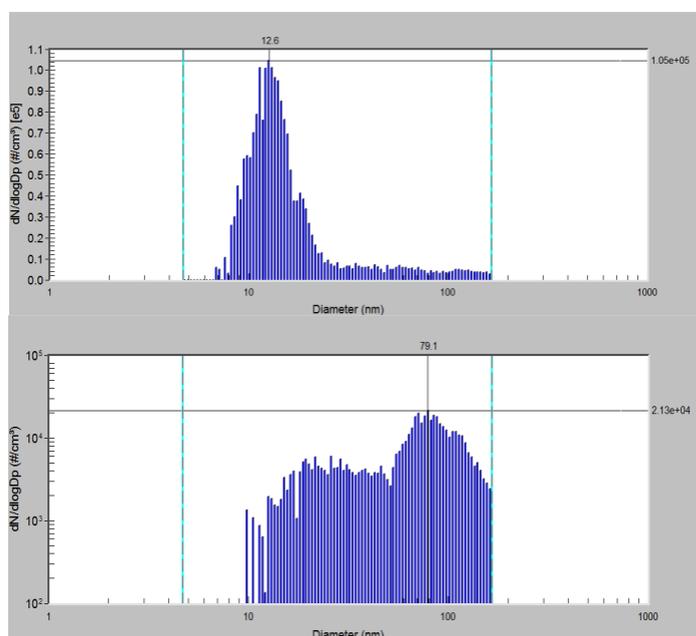


Abbildung 1: Partikelgrössenverteilung für Flugzeugmotoren (oben) und Ground Handling-Geräten (unten)[6]

Diese Systeme weisen zahlreiche technische Einschränkungen auf (Verwendung von Butanol, Vorhandensein einer radioaktiven Quelle oder Röntgenstrahlung...) sowie erhöhte Kosten, was ihren Einsatz für eine Kampagne, die eine grosse Anzahl an Messpunkten erfordert, begrenzt. So wurde für diese Messkampagne der Sensor Partector 2 genutzt.

Der Partector 2 ist ein tragbares Messgerät, welches auf einer Belastungsmessung basiert (Anhang 1). Er zählt Partikel ab einem Durchmesser von 10 nm, was angesichts des Zusammenhangs zwischen Flugverkehr und UFPs mit einem Durchmesser von 10-20 nm[6]–[10] und bis zu 300 nm Durchmesser unerlässlich ist. Er kann im Freien uneingeschränkt eingesetzt werden dank eines Schutzgehäuses gegen Unwetter und eines Stromversorgungssystems, dass mit Solarenergie gespeist wird (Abbildung 2). Dieses innovative Messgerät ermöglicht die Messung der Konzentration der Gesamtpartikelanzahl (Anzahl der Partikel/cm<sup>3</sup>) und des durchschnittlichen Partikeldurchmessers (in nm).



Abbildung 2: Der Partector 2 in seinem wasserdichten Schutzgehäuse

Zur Validierung der Messungen dieses Messgeräts wurden mehrere Überprüfungen durchgeführt:

- Ein Vergleich von zwei Partector-Geräten mit einem CPC (Referenzanalysegerät auf nationaler Ebene (in Frankreich)) bei einer Messstelle von ATMO Grand Est;

- Vergleiche aller in der Messkampagne an Messtellen auf der Flughafenplattform verwendeten Partector-Geräte.

### 2.3. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND STANDORTE DER MESSPUNKTE

Die Messkampagne basiert auf 11 Messpunkten, die über die Flughafenplattform und in den umliegenden Gebieten verteilt sind. Der Probenahmeplan der 11 Messpunkte wurden in Abstimmung mit dem Flughafen sowie den Anrainerverbänden ausgearbeitet (Abbildung 3).

Jeder Messpunkt hat ein zugehöriges Ziel:

- Die Punkte 1 bis 5 ermöglichen eine Charakterisierung der Flughafenplattform, indem unterschiedliche Betriebszonen ins Visier genommen werden (Start- und Landebahn sowie Rollwege: Punkte 1 und 2, Vorfeld: Punkte 3 und 4, Parkflächen: Punkt 5).
- Die Punkte 6 und 8 ermöglichen die Charakterisierung weiterer Quellen in der Umgebung, nämlich den Strassenverkehr in der Nähe der Autobahn und den Schienenverkehr in der Nähe eines Bahnhofs.
- Die Punkte 7, 9, 10 und 11 ermöglichen jeweils die Charakterisierung der städtischen Gebiete im Osten (Saint-Louis), im Süden (Hésingue), im Westen (Blotzheim) und im Norden (Bartenheim-la-Chaussée) in der Nähe des Flughafens.

Die Standorte der Messpunkte wurden derart gewählt, dass sie die Zielaktivität am besten repräsentieren und gleichzeitig die technischen Einschränkungen mitbedacht werden. Wenn möglich wurden die Punkte an denselben Orten platziert wie bei der Kampagne zu regulierten Schadstoffen. Für die Messpunkte wird eine Installation in Augenhöhe (1,3-1,7 m) bevorzugt, mit Ausnahme der Punkte 1 und 4 (0,3-0,5 m) aufgrund technischer und sicherheitsrelevanter Einschränkungen, und der Punkte 7 und 10 (3 m), die auf mobilen Labors platziert sind.



Abbildung 3: Probenahmeplan UFP-Kampagne

## 2.4. PLANUNG DER MESSKAMPAGNE

Die UFP-Messkampagne fand während eines Zeitraums von einem Monat statt, vom 15. Juni bis 13. Juli 2022. Dieser sommerliche Zeitrahmen ermöglicht es, sich eine Situation mit maximalem Verkehrsaufkommen zunutze machen, denn die Zeit von Juni bis August weist die höchste Verkehrsdichte auf, wie es die in Abbildung 4 vorgestellten Flugbewegungsdaten zeigen. Diese Flugbewegungen entsprechen den Starts und Landungen aller Flugzeugtypen.

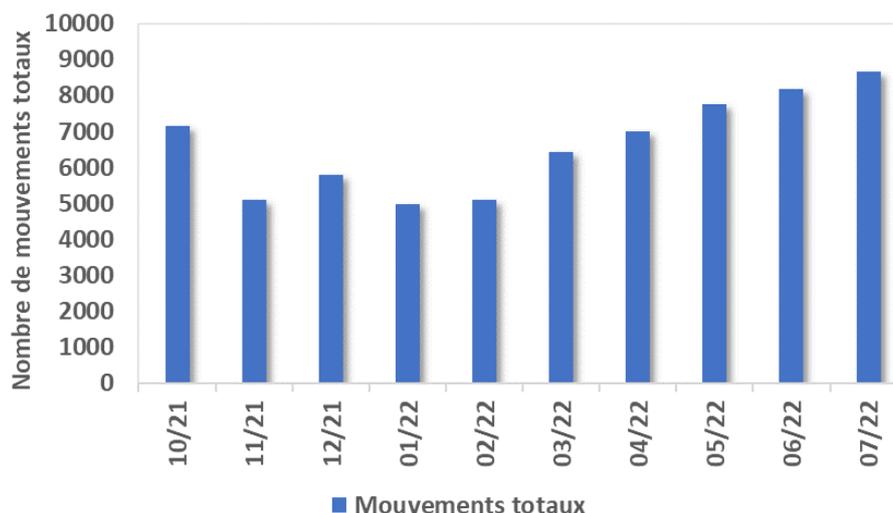


Abbildung 4: Anzahl der Flugbewegungen (Landungen und Starts aller Flugzeugtypen) pro Monat  
(Quelle: [Flughafen Basel-Mulhouse - Webreporting](#))

Die Kampagne wurde durch zwei Zwischenvergleichszeiträume ergänzt, in denen die Messgeräte miteinander verglichen wurden, um die Reproduzierbarkeit der Messungen untereinander zu prüfen, indem die Variabilität zwischen den Messinstrumenten ausgeschlossen wurde. Die Messungen fanden daher in drei Phasen statt:

- Phase 1: Zwischenvergleich der 11 Messgeräte vor der Kampagne auf dem Dach des Flughafenterminals während 3 Wochen, vom 24. bis 14. Juni 2022. Dieser ursprünglich für die Dauer von einer Woche vorgesehene Zwischenvergleich wurde mit der Verlegung des Datums des Messkampagnenbeginns verlängert infolge einer später erfolgten Stromversorgung für den Standort Nr. 7.
- Phase 2: UFP-Messkampagne parallel zur reglementierten Messkampagne während eines Monats, vom 15. Juni bis 13. Juli 2022.
- Phase 3: Zwischenvergleich der 11 Messgeräte nach der Kampagne am gleichen Ort wie bei Phase 1 und während 1 Woche, vom 19. bis 26. Juli 2022.

### 3. DIE ERGEBNISSE UND DEREN AUSWERTUNG

In diesem Kapitel werden alle Auswertungen zusammengefasst, die mit den Daten der UFP-Messkampagne durchgeführt wurden. Zusätzlich zu den Messungen der Anzahlkonzentration und des mittleren Durchschnitts durch die Partector 2-Geräte wurden im Rahmen der Untersuchung weitere Messungen durchgeführt und zusätzliche Daten ermittelt (meteorologische Parameter, sonstige regionale Messstandorte, Flugverkehr, reglementierte Schadstoffe, etc.).

#### 3.1. MESSQUALITÄT UND GRENZEN DER MESSKAMPAGNE

Zur Auswertung und Prüfung der Qualität der mittels Partector 2 durchgeführten Messungen wurden zwei Arten von Vergleichen vor Beginn und/oder nach Beendigung der Kampagne angestellt:

- Ein Vergleich mit einem CPC, der die technische Spezifikation zur Messung der Konzentration der Gesamtpartikelanzahl in der Umgebungsluft erfüllt, um die Korrelation zwischen zwei Partector 2-Geräten und der Referenzmethode zu untersuchen (4 Vergleichswochen zwischen April und Mai).
- Ein Vergleich zwischen den beiden Partector 2-Geräten vor Beginn und nach Beendigung der Messkampagne zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen zwischen den vorhandenen Systemen.

NB: Zur besseren Übersichtlichkeit können die Partector 2-Geräte mittels ihrer zur Messkampagne zugehörigen Messpunktnummer identifiziert werden.

##### 3.1.1. Vergleich mit dem Referenz- und Vergleichsanalysegerät (CPC)

Die Partector 2-Geräte und der CPC wurden auf einer von ATMO Grand Est betriebenen Messstation an einem städtischen Standort in Metz während 4 Wochen verglichen. Die Instrumente werden in den beiden unten folgenden Abbildungen vorgestellt.



Abbildung 5: Das Vergleichsgerät, der Condensation Particle Counter (CPC) im Inneren der Messstation



Abbildung 6: Partetector 2-Geräte in ihren gelben Schutzkästen auf dem Dach der Messstation

Die Parameter der linearen Regression ( $R^2$ , Steigung) wurden für die beiden Geräte im Vergleich zum Vergleichsgerät CPC untersucht. Die Korrelationsgrafiken werden in Abbildung 7 vorgestellt; die Regressionsparameter sind in der Tabelle zusammengefasst. Die Zeitreihe für den Vergleichszeitraum ist ebenfalls in Anhang 2 zu finden.

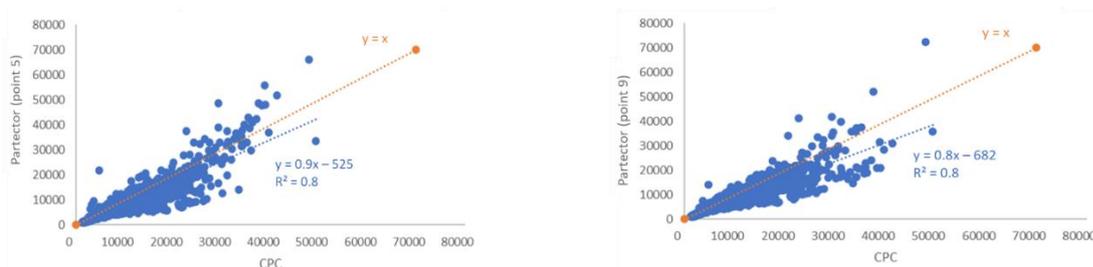


Abbildung 7: Korrelationsgrafiken zwischen den Partetector 2-Geräten und dem CPC

	Punkt 5	Punkt 9
$R^2$	0,8	0,8
Steigung	0,9	0,8
Ordinate am Ursprung	-525	682

Tabelle 2: Zusammenfassende Tabelle der linearen Regressionsparameter des Vergleichs Partetector/CPC

Der Vergleich zeigt die vergleichbaren Messwerte zwischen dem CPC und den Partetector 2-Geräten im Messbereich von 0 bis 70'000 Partikeln/cm<sup>3</sup> mit  $R^2$ -Koeffizienten von 0,8, eine Steigung zwischen 0,8 und 0,9 und eine Ordinate am Ursprung im Bereich von  $\pm 1000$  Partikel/cm<sup>3</sup>. Eine leichte Unterschätzung vonseiten der Partetector 2-Geräte im Vergleich zum CPC wurde für beide Sensoren festgestellt, was stimmig ist und sich durch das Messprinzip erklären lässt sowie die Tatsache, dass der CPC die UFP bereits ab einem Partikeldurchmesser von 7nm, das Partetector 2-Gerät sie hingegen jedoch erst ab einem Partikeldurchmesser von 10 nm misst.

Nur die Messung der Anzahlkonzentration kann mit dem Vergleichsanalysegerät verglichen werden. Daher wird der von Partector 2 gemessene mittlere Partikeldurchmesser nur zwischen den Sensorsystemen verglichen (siehe Teil 3.1.2). Die regional mittels CPC in Metz und Strassburg erfolgten Messungen werden demnach als an städtischen Standorten erhobene Daten dienen können, die mit den während der Messkampagne gemessenen Daten verglichen werden können.

### 3.1.2. Intra-technischer Vergleich: Vor und nach der Messkampagne

Die 11 Partector 2-Geräte wurden miteinander auf dem Dach des Flughafenterminalgebäudes vor und nach der Messkampagne verglichen. Die Anordnung der Geräte für diese beiden Vergleiche ist in Anhang 3 ersichtlich. Die Zeitreihen des Vergleichszeitraums für die Anzahlkonzentration und den durchschnittlichen Partikeldurchmesser werden in den unten folgenden Abbildungen vorgestellt. Die beiden Vergleiche (vor und nach der Messkampagne) verdeutlichen die gute Reproduzierbarkeit der Anzahlkonzentration und des durchschnittlichen Partikeldurchmessers zwischen den Geräten. Eine Zusammenfassung der Parameter der linearen Regression, die aus den beiden Vergleichen hervorgegangen sind, wird in der unten folgenden Tabelle vorgestellt.

	Anzahlkonzentration		Durchschnittlicher Durchmesser	
	Vor der Messkampagne	Nach der Messkampagne	Vor der Messkampagne	Nach der Messkampagne
$R^2$	1,0	0,8 bis 1,0	0,9 bis 1,0	0,8 bis 1,0
Steigung	0,8-1,2	0,7 bis 1,3	0,9 bis 1,1	0,7 bis 1,3
Ordinate am Ursprung	-1333 bis 1704	-2613 bis 4730	-1 bis 3	-7 bis 9

*Tabelle 3: Zusammenfassung der Parameter der linearen Regression für die Anzahlkonzentration und den durchschnittlichen Durchmesser vor und nach der Messkampagne: Wertespektrum ( $R^2$ , Steigung und Ordinate am Ursprung) für die 2:2-Vergleiche jedes Partector 2-Geräts mit den anderen*

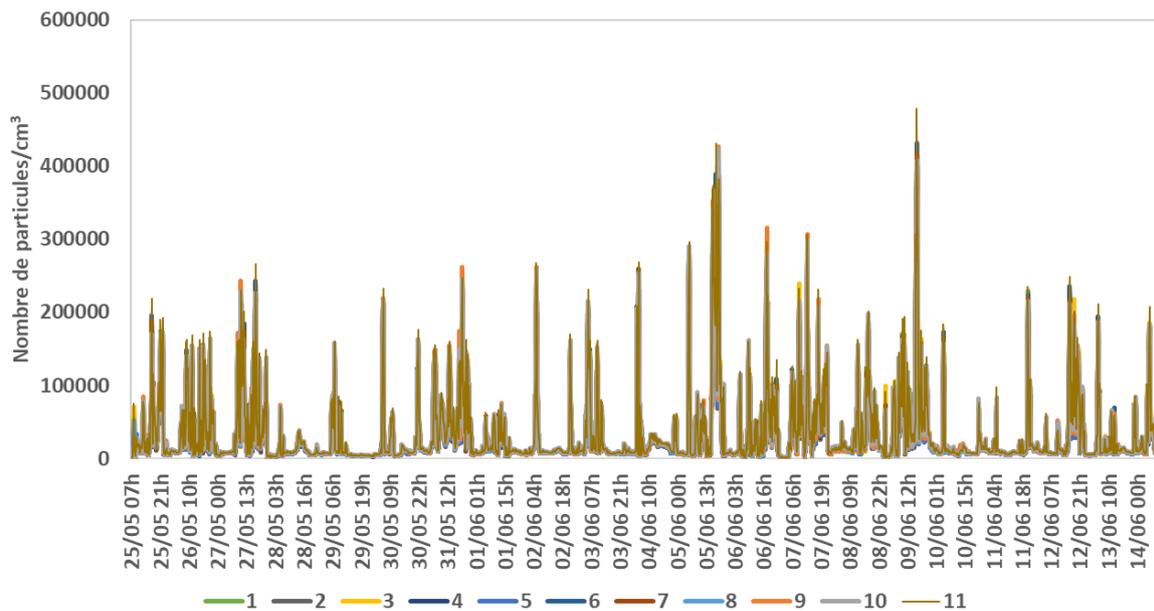


Abbildung 8: Anzahl der Partikel im ¼-Stundenmittel - Vergleich vor der Messkampagne. Zu beachten ist ein Datenverlust für Partector 8222 (Punkt Nr.6) infolge eines Problems einer Speicherkarte.

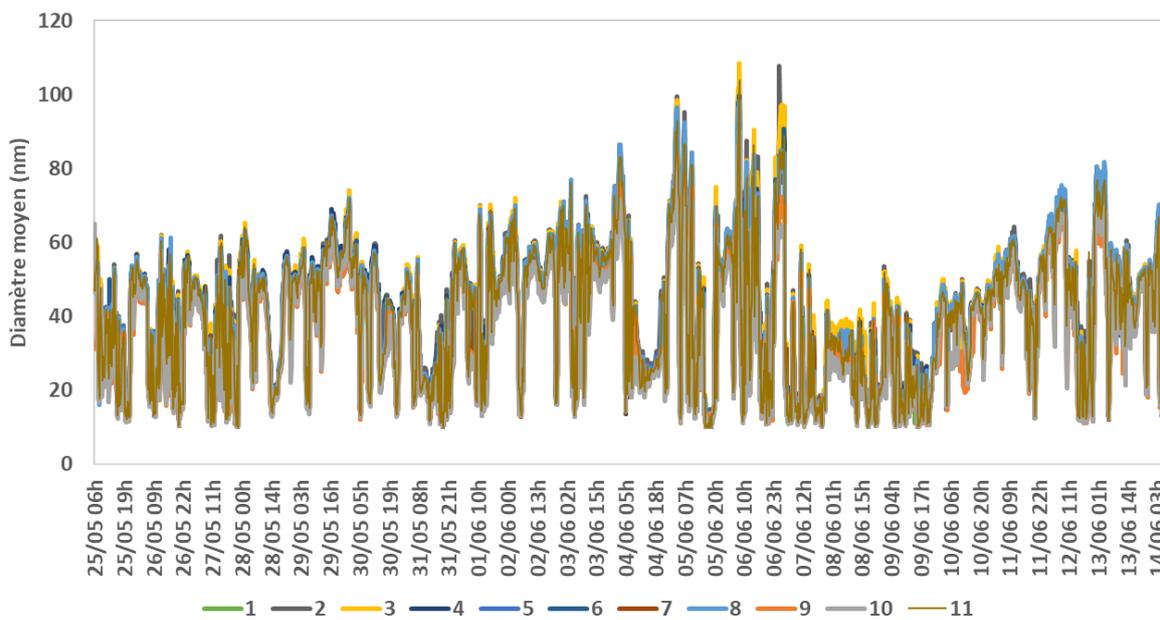


Abbildung 9: Durchschnittlicher Durchmesser der Partikel im ¼-Stundenmittel - Vergleich vor der Messkampagne. Zu beachten ist ein Datenverlust für Partector 8222 (Punkt Nr.6) infolge eines Problems einer Speicherkarte.

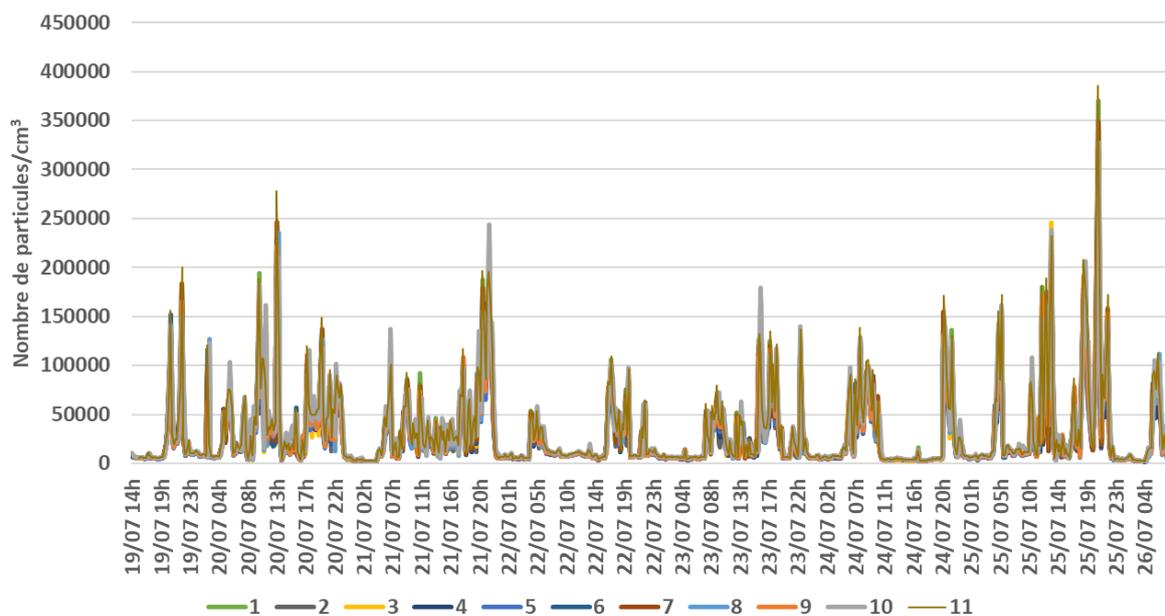


Abbildung 10: Anzahl der Partikel im ¼-Stundenmittel - Vergleich nach der Messkampagne

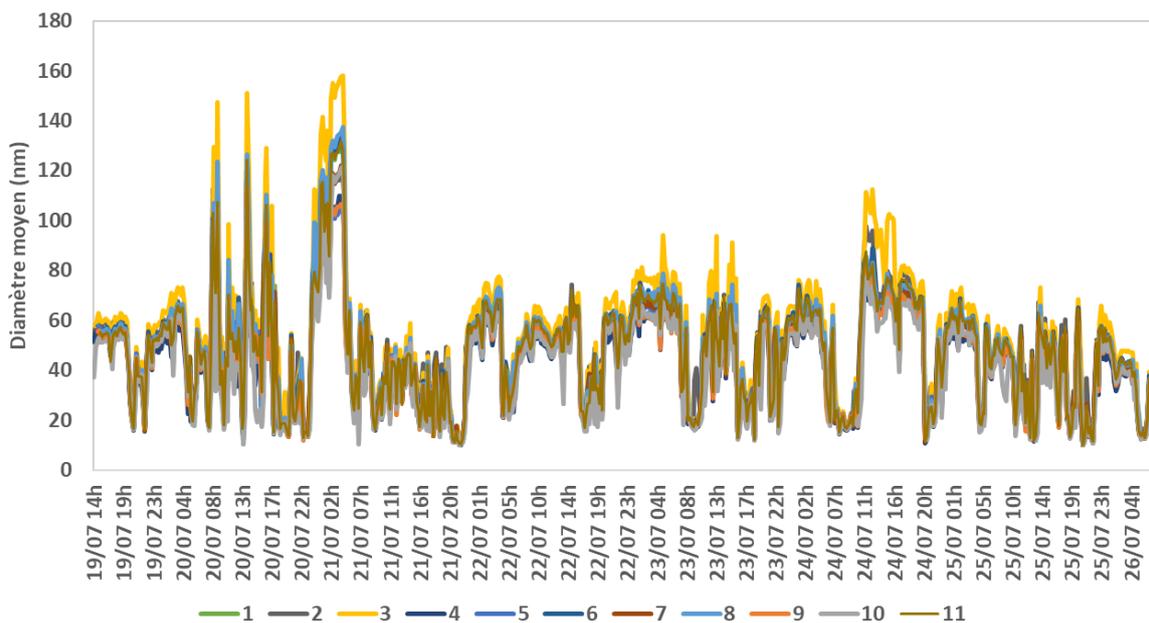


Abbildung 11: Durchschnittlicher Durchmesser der Partikel im ¼-Stundenmittel - Vergleich nach der Messkampagne

### 3.2. MESSKAMPAGNE

Die Messungen wurden im ¼-Stundenmittel untersucht, um die relativ schnelle zeitliche Variabilität der Flugzeugbewegungen zu berücksichtigen und so ihre potenziellen punktuellen Auswirkungen besser zu identifizieren, während gleichzeitig eine gute Datenqualität erhalten wird. Je nach Vergleichsziel wurden auch Stunden- und Tagesmittelwerte verwendet.

#### 3.2.1. Meteorologische Parameter

Die meteorologischen Verhältnisse spielen eine wichtige Rolle bei der Luftverschmutzung und insbesondere bei Partikeln, die potenzielle Auswirkungen durch Auswaschung nach sich ziehen können. Jedoch sind Ultrafeinstaubpartikel weniger von diesem Phänomen der Auswaschung betroffen als dickere Partikel[11], [12]. Die wichtigsten meteorologischen Größen werden in der Abbildung 12 gezeigt. Die Messkampagne wurde bei erhöhten Temperaturen durchgeführt mit Tagesdurchschnittstemperaturen zwischen 20 und 30°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 50 und 90%. Die erste Woche der Messkampagne ist von einer Hitzeperiode mit den höchsten während der Kampagne gemessenen Temperaturen und einer sehr niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit (<60%) gekennzeichnet. Der Temperaturhöchstwert wurde in Frankreich am 18. Juni erreicht. Die Mitte der Messkampagne war feuchter; es wurden Niederschläge während der meisten Tage verzeichnet, und dies bei dennoch mild gebliebenen Temperaturen. Im Vergleich zum Gesamtverlauf der Messkampagne war deren Ende von stabilen und mittleren Temperaturen sowie konstanter Luftfeuchtigkeit ohne Niederschläge geprägt.

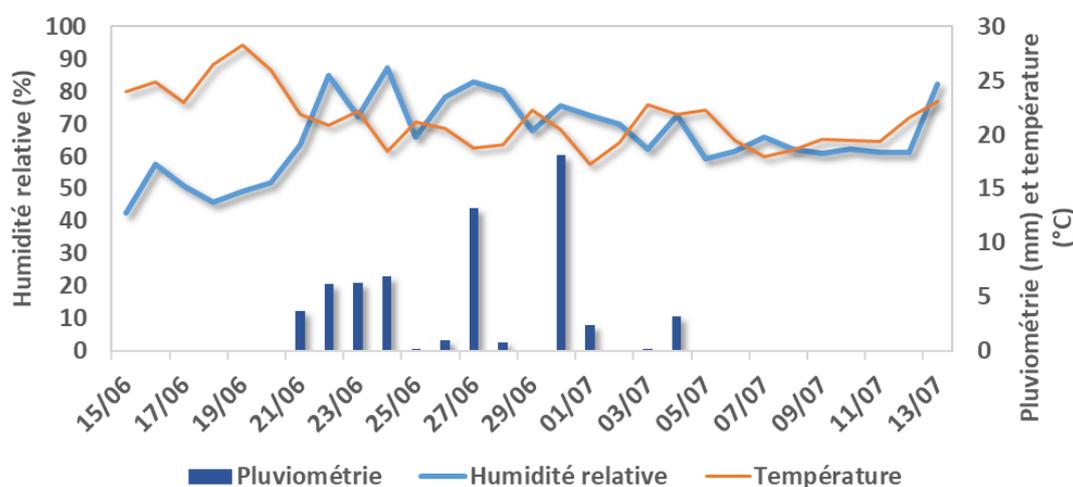


Abbildung 12: Meteorologische Parameter der sich am Flughafen befindlichen Messstation (Daten: Météo France)

Zum Zweck der besten Darstellung von Phänomenen der örtlichen Streuung wurden mehrere Windmesspunkte in der Messkampagne genutzt (Abbildung 13). Die Hauptwindrichtungen an allen Standorten zeigen die vorherrschenden Gebiete aus Richtung Westen oder entlang der Nord-Süd-Achse. Die Wetterstation von Météo France zeigt Winde aus Richtung Norden mit höheren Geschwindigkeiten als an anderen Messtationen, was möglicherweise mit der Höhenlage und einem freier liegenden Gebiet, in welchem die Messungen erfolgt sind, zusammenhängt (Höhe der

meteorologischen Messungen: 10 m für den Standort von Météo France und zwischen 5 und 6 Metern für die anderen Standorte).

Insgesamt gesehen sind die Winde während der Messkampagne schwach mit 75% der ¼-Stundenmittel von weniger als 2 m/s an den Standorten Bartenheim, Blotzheim und den Messpunkten 7 (Saint-Louis) und 9 (Hésingue). Punktuell treten an diesen Standorten stärkere Winde auf, wobei nur 4 bis 15% der Windgeschwindigkeiten höher als 2 m/s sind und die Spitzenwerte zwischen 5 und 6 m/s liegen. Die Messstationen in Nähe des Flughafengeländes (Punkt 10 und EAP-Messstation), die freier liegen, zeigen höhere Windgeschwindigkeiten, insbesondere am EAP-Standort, was wiederum mit der Höhe zusammenhängt, in welcher die Messungen stattfanden.

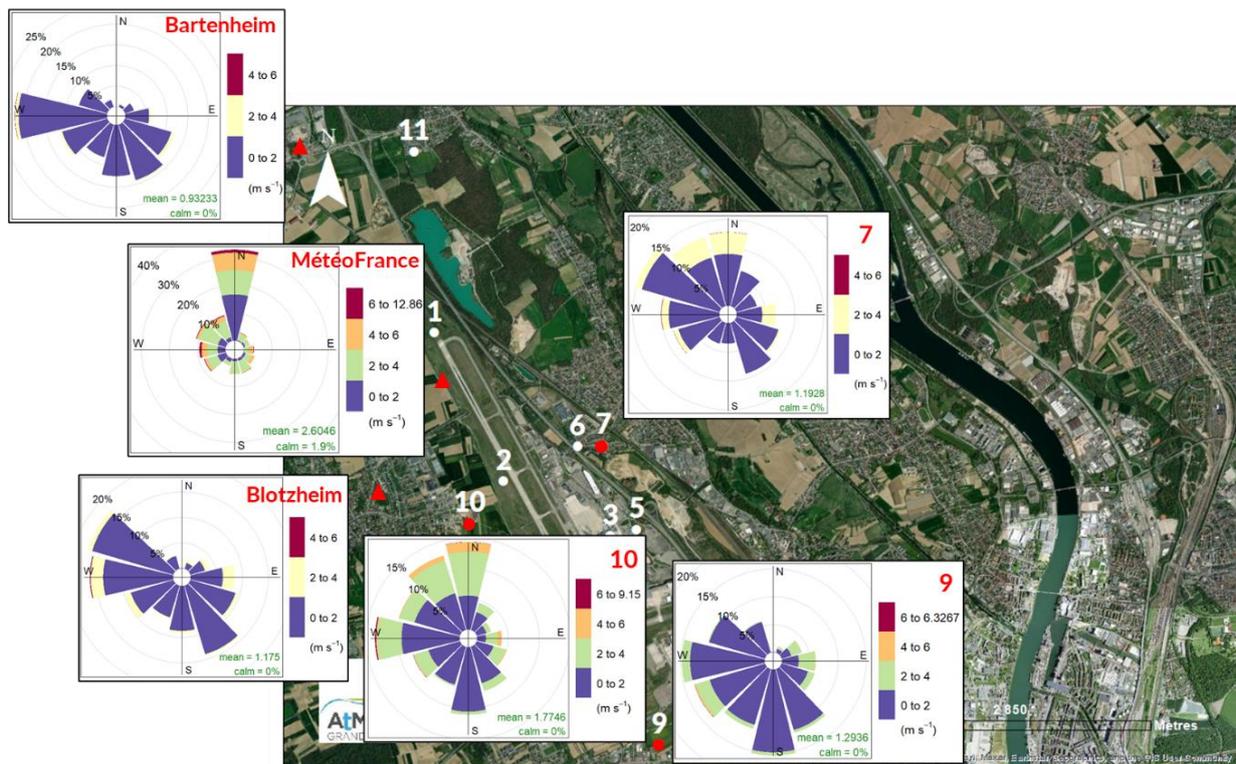


Abbildung 13: Windrosendiagramme des sich auf der Flughafenplattform befindlichen Météo France-Standorts, der Lärmmessstationen (rotes Dreieck) oder der Messstandorte der UFP-Messkampagne (roter Kreis).

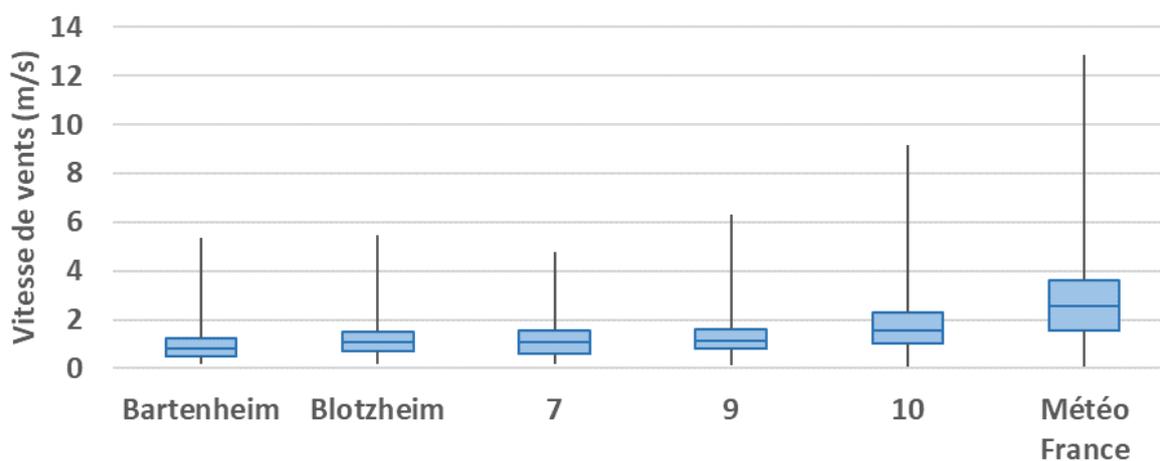


Abbildung 14: Boxplot der Windgeschwindigkeiten im  $\frac{1}{4}$ -Stundenmittel für jeden Standort

### 3.2.2. Durchschnittswerte bei der Messkampagne

Die durchschnittlich gemessene Partikelanzahlkonzentration an den 11 Messpunkten variiert im Verlauf der Messkampagne zwischen 8'000 und 60'000 Partikeln/cm<sup>3</sup> (Abbildung 15). Insgesamt betrachtet werden die sich auf dem Flughafengelände befindlichen Messpunkte mit den höchsten Werten in Verbindung gebracht, 1, 3, 4 und 5) ebenso wie der Messpunkt in Nähe der Autobahn (Punkt 6). Diese räumlichen Schwankungen scheinen die Bedeutung der mit dem Luftverkehr, aber auch dem Strassenverkehr zusammenhängenden Ultrafeinstaubpartikel-Emissionen zu bestätigen.

Abbildung 16 stellt die Kartografie des während der Messkampagne an den 11 Messpunkten gemessenen, durchschnittlichen Partikeldurchmessers dar. Die kleineren Durchmesser werden, mit Ausnahme des Punkts 2, auf dem Flughafengelände gemessen. Die während dieser Kampagne gemessenen Partikeldurchmesser zeigen eine weniger deutliche Variation als die Partikelanzahl, mit Durchmessern zwischen 41 und 54 nm. Die weniger deutliche Variabilität des Partikeldurchmessers kann insbesondere mit der Messmethode erklärt werden, welche auf dem durchschnittlichen Durchmesser basiert, nicht aber auf der Partikelgrößenverteilung, die den vorherrschenden Durchmesser hervorhebt. Zudem lässt der Messbereich zwischen 10 und 300 nm Partikel mit einem Durchschnitt von weniger als 10 nm ausser Acht, was ebenfalls zu einem potentiellen Unterschied im Vergleich zu Verteilungsmessungen beitragen kann. Das Messen des durchschnittlichen Durchmessers schränkt daher die Unterscheidung nach Emissionsquellen, insbesondere zwischen Flug- und Strassenverkehr, ein.

Auf der Flughafenplattform zeigt sich auch eine räumliche Variabilität in Bezug auf die Anzahl der Partikel und den durchschnittlichen Partikeldurchmesser. Die Standorte 1 und 4 fallen hauptsächlich aufgrund ihrer im Vergleich zu anderen Standorten hohen Anzahlkonzentration auf, während die Standorte 2 bis 5 niedrige Werte aufweisen. Dieser deutliche Einfluss lässt sich durch den Betrieb in Nähe dieser Messstandorte und den Einfluss des Windes erklären:

- Standort Nr. 1 befindet sich im Norden der Start- und Landebahn und wird daher vom Betrieb der Flugzeugtriebwerke bei Starts und Landungen auf der Hauptpiste bei Winden aus südlicher bzw. südöstlicher Richtung beeinflusst, welche eine der Hauptwindrichtungen während des Messzeitraums darstellt.
- Standort Nr.2 liegt westlich der Hauptpiste, jedoch waren die Ostwinde in dieser Messkampagne relativ schwach vertreten, was den geringeren Einfluss erklären könnte. Dieser Standort scheint dem Standort 10 ähnlicher zu sein als den Standorten auf dem Flughafengelände.
- Die Standorte 3 und 4 auf dem Rollfeld werden unterschiedlich beeinflusst, da der tiefer gelegene Punkt 3 die Ausbreitung begrenzt, aber auch besser vor dem Einfluss von Starts/Landungen geschützt ist, während Punkt 4 näher an den Start- und Landebahnen liegt. Zudem ist zu vermerken, dass bezüglich der Nutzung der Flugzeuge am Boden im Bereich des Standorts 3 die Flugzeugtriebwerke ausgeschaltet sind, da sie entweder auf Position stehen oder von Push-Back-Fahrzeugen (mit Dieselmotoren) bewegt werden. Am Standort 4 hingegen sind die Flugzeugtriebwerke eingeschaltet. Ausserdem wird in diesem Bereich der Rollverkehr von

und zu den Start- und Landebahnen vollzogen (*taxi-in* und *taxi-out*). Die vorherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die wichtigsten Quellen von UFP auf einem Flughafengelände mit dem Betrieb der Flugzeugtriebwerke zusammenhängen. Dieser Einfluss ist weitaus bedeutender als alle anderen betrieblichen Aktivitäten am oder um den Flughafen herum (am Boden betriebene Ladefahrzeuge und Sonstige)[9].

- Standort 5 weist geringere Werte auf als die anderen, sich auf der Flughafenplattform befindlichen Standorte, was möglicherweise mit dem Abstand dieses Punktes zu den Pisten zusammenhängt (sowie mit dem Flughafenterminal-Gebäude, welches eine physische Barriere darstellt) und dem Einfluss des Windes. Dennoch unterliegt er dem Einfluss des Strassenverkehrs in Verbindung mit dem Flughafenbetrieb ebenso wie dem Betrieb der Autobahn, welche als Zugangsachse dient.

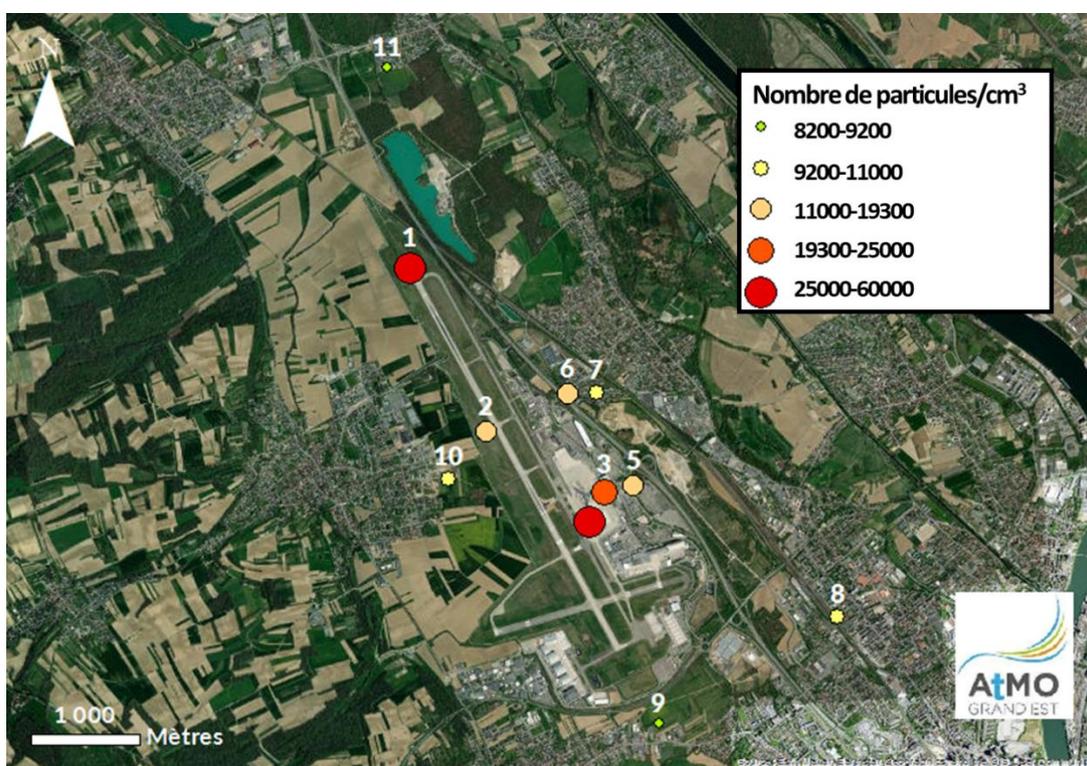


Abbildung 15: Kartografie der durchschnittlichen Partikelanzahlkonzentration bei der Messkampagne (Der Mittelwert jedes Standorts wird durch eine Farbabstufung dargestellt.).

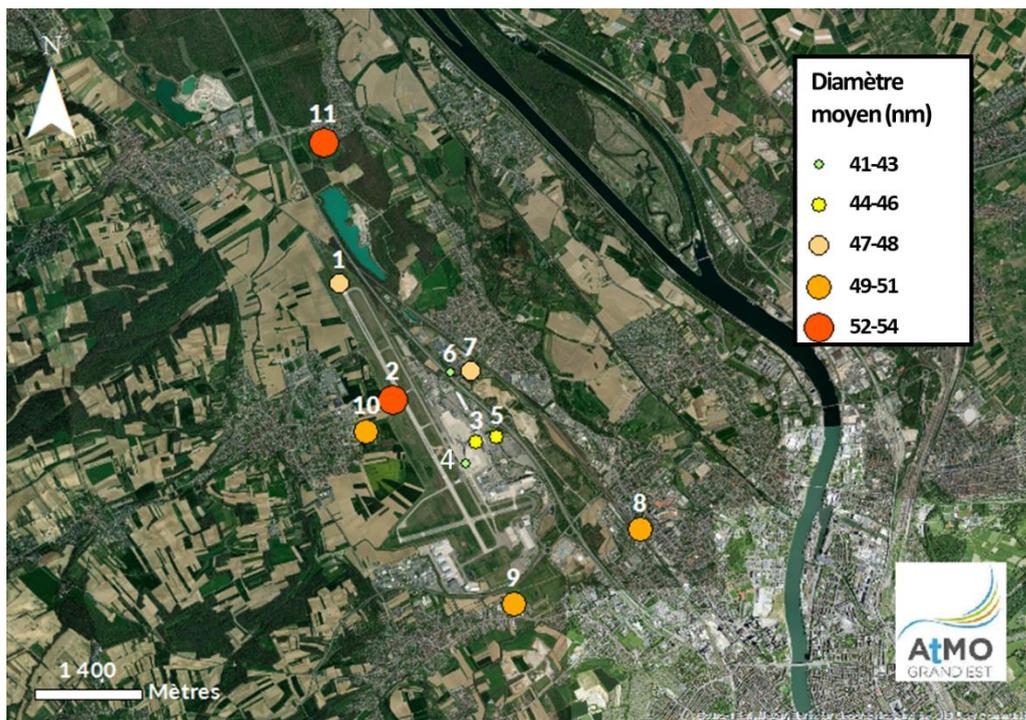


Abbildung 16: Kartografie des durchschnittlichen Partikeldurchmessers bei der Messkampagne (Der durchschnittliche Partikeldurchmesser jedes Standorts wird durch eine Farbabstufung dargestellt.).

Um die Variabilität und Streuung der Messungen der Anzahlkonzentration und des mittleren Durchmessers besser untersuchen zu können, werden Boxplots, die das erste Quartil, den Median, das dritte Quartil (blaue Box) sowie das Minimum und das Maximum (schwarze Balken) darstellen, in der Abbildung 17 und der Abbildung 18 gezeigt.

Die sich auf der Flughafenplattform befindlichen Standorte weisen ebenso wie der Autobahn-Standort (6) breitere gestreute Konzentrationen auf, die eine hohe Variabilität der gemessenen Werte zeigt. Die höchsten Konzentrationen können mehr als 1 Million Partikel/cm<sup>3</sup> erreichen (Standorte 1 und 4) und sind mehr als doppelt so hoch wie die Maximalwerte der anderen Standorte (Abbildung 17). Diese Ergebnisse zeigen die Auswirkungen des Flughafens auf die UFP-Werte auf der Plattform. Die Untersuchung der Umgebungsstandorte (7 bis 11) zeigt mittelhohe Werte und eine ähnliche Streuung wie bei den Vergleichsstandorten in der Region (städtische Standorte in Metz und Strassburg). Dennoch werden die Auswirkungen des Flughafens durch die Untersuchung deutlich: Sie sind 1,4- bis 2,3-mal grösser bei Standorten in Nähe des Flughafens (90'000-115'000 Partikel/cm<sup>3</sup>) als die vergleichsweise in Metz und Strassburg gemessenen Maximalwerte (50'000-65'000 Partikel/cm<sup>3</sup>). Durch die Untersuchung der Winde konnte der Ursprung dieser Höchstwerte am Flughafen nachgewiesen werden, worauf im Abschnitt 3.2.6 näher eingegangen wird.

Die Daten bestätigen einen punktuellen lokalen Einfluss des Flughafens auf die umliegenden Standorte. Allerdings werden dessen Auswirkungen über die Dauer der Messkampagne geglättet, was wiederum mit dem Einfluss der Windrichtungen zusammenhängt, da nicht alle Standorte stets windabwärts des Flughafens stehen, sowie mit der schnellen räumlichen Variabilität der Ultrafeinstaubpartikel [3], [8]. Die Auswirkung der Winde auf die UFP-Konzentrationen wurde bereits bei zahlreichen Untersuchungen an Flughäfen nachgewiesen [10], [13], [14]. UFP durchlaufen in der Umgebungsluft verschiedene

physikalische Prozesse wie Dispersion, Koagulation/Kondensation sowie auch im Zusammenhang mit der Verschmutzung der Umgebungsluft durch Partikel (Koagulation mit bereits existierenden Partikeln oder Gaskondensation an ihrer Oberfläche)[9], [12], [15]. Diese Prozesse führen mit zunehmender Entfernung zu einer Reduzierung der Anzahlkonzentration (Dispersion/Verdünnung), aber auch zu einem Anstieg des Partikeldurchmessers sowie einer Verringerung der Anzahlkonzentration (Aggregation/Kondensation).

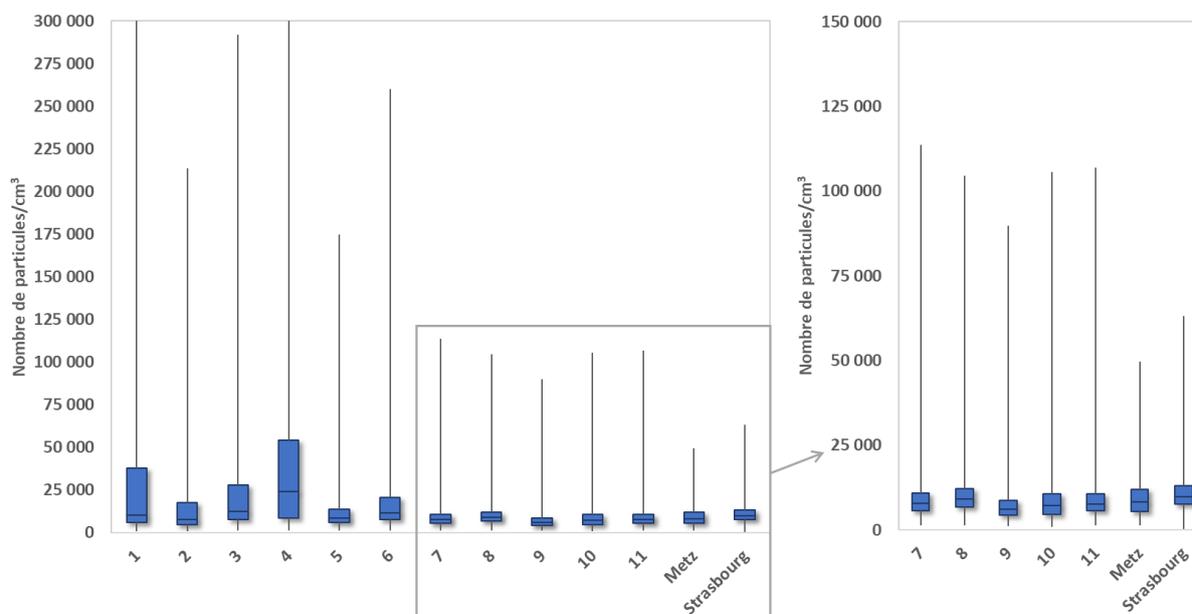


Abbildung 17: Boxplot der Verteilung der ¼-Stundenmittel der Anzahlkonzentration nach Standort und Vergleich der gemessenen Werte mit den Werten, die in zwei Ballungszentren der Region an städtischen Standorten gemessen wurden. Der Übersichtlichkeit halber wurde die Konzentrationskalierung für alle Standorte auf 300'000 Partikel/cm<sup>3</sup> festgelegt: Die Standorte 1 und 4 weisen Höchstwerte von 1'672'581 bzw. 1'384'306 Partikeln/cm<sup>3</sup> auf.

Die Untersuchung des durchschnittlichen Durchmessers zeigt weniger kontrastreiche Schwankungen zwischen den verschiedenen Standorten (Abbildung 18). Der Minimaldurchmesser liegt für alle Standorte zwischen 10 und 12 nm. Wie zuvor erläutert, wird der Flugverkehr besonders mit UFP mit einem Durchmesser zwischen 10 und 20 nm in Verbindung gebracht. [7], [8], [10]. Bei Betrachtung der ¼ -Stundenmittel während der Messkampagne fällt auf, dass zwischen 3 und 8% der durchschnittlichen Partikeldurchmesser kleiner sind als 20 nm für den Standort in Nähe des Flughafens gegenüber 9% am Autobahnstandort und zwischen 1 und 5% für die städtischen Standorte, was eine Tendenz zu kleineren Partikeldurchmessern in der Nähe von Emissionsquellen, bei denen nicht zwischen Flug- und Autobahnverkehr unterschieden werden kann, aufzeigt. Wie bereits erwähnt, erlaubt die mit der Messung des mittleren Durchmessers verbundene Grenze keine Unterscheidung zwischen diesen beiden Emissionsquellen, was eine feinere Messung der Partikelgröße mittels Messung der Partikelgrößenverteilung erforderlich macht.

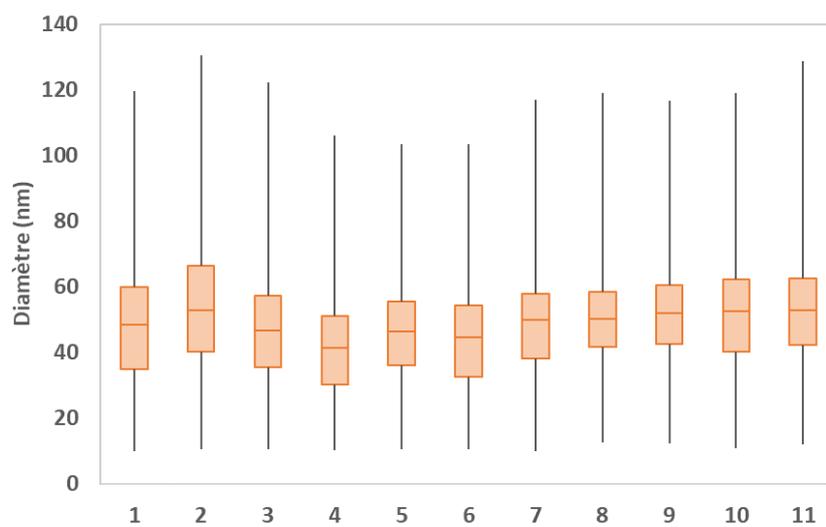


Abbildung 18: Boxplot der Verteilung der ¼-Stundenmittel des durchschnittlichen Partikeldurchmessers nach Standort

### 3.2.3. Vergleich mit Referenzdaten

Es bestehen keine Grenzwerte für die Umgebungsluft, jedoch können die Stunden- und Tagesmittelwerte mit den hohen (und/oder) niedrigen Konzentrationen aus den WHO-Empfehlungen verglichen werden (Abbildung 19 und Abbildung 20). An allen Standorten liegen die Tagesmittelwerte über der von der WHO angegebenen niedrigen Tageskonzentration (1'000 Partikel/cm<sup>3</sup>), wodurch UFP-Quellen in städtischen Gebieten bestätigt werden. Die Standorte auf der Flughafenplattform (weniger ausgeprägt bei Punkt 2) und der Autobahn-Standort weisen für mindestens 75% ihres Tagesmittelwerts eine gemäss WHO hohe Konzentration auf (10'000 Partikel/cm<sup>3</sup>), während die städtischen Standorte zwischen 20 und 70% der Tagesmittelwerte über dieser hohen WHO-Konzentration aufweisen. Stundenweise weisen die Standorte unter Einfluss des Flughafens oder des Strassenverkehrs häufiger Konzentrationen auf, die die hohe WHO-Konzentration (20.000 Partikel/cm<sup>3</sup>) überschreiten als die anderen Standorte. Tatsächlich haben die Standorte am Flughafen sowie in Nähe des Strassenverkehrs zwischen 30 und 70% Stundenmittelwerte, welche die hohe WHO-Konzentration überschreiten. Bei städtischen Standorten hingegen ist dies für weniger als 10% der Stundenmittelwerte der Fall.

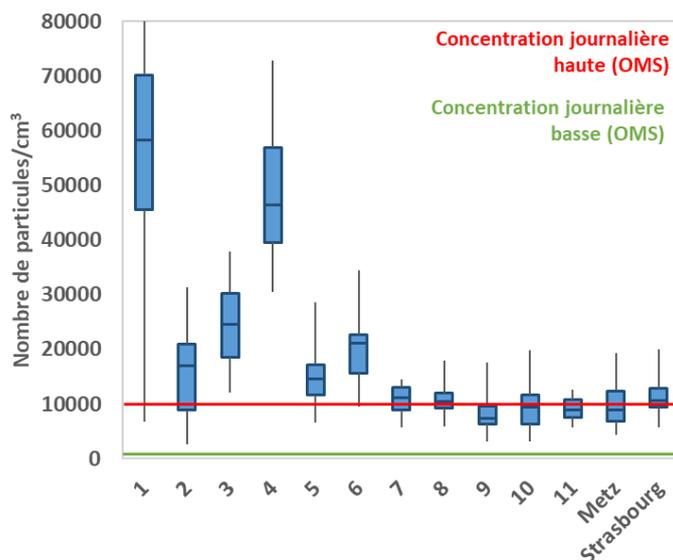


Abbildung 19: Vergleich der Tagesmittelwerte mit den Empfehlungen der WHO

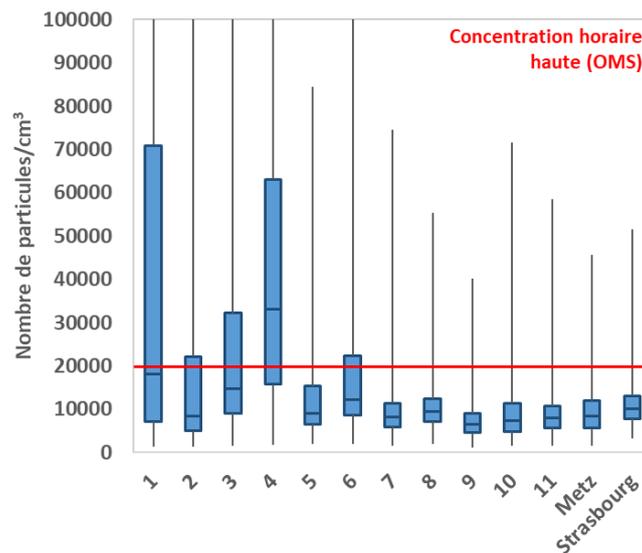


Abbildung 20: Vergleich der Stundenmittelwerte mit den Empfehlungen der WHO. Der Übersichtlichkeit halber wurde die Skalierung festgelegt; die nicht angezeigten Maxima der Punkte 1, 2, 3, 4 und 6 sind jeweils 598'064, 132'582, 201'528, 507'216 und 119'870 Partikel/cm<sup>3</sup>.

Die bei der Messkampagne ermittelten Durchschnittswerte können auch mit vorherigen Untersuchungen verglichen werden. Sie sind ähnlich oder sogar höher als die bei anderen Untersuchungen unter dem Einfluss des Flugverkehrs gemessenen Werte (orangefarbener Bereich). Der Autobahn-Standort zeigt ähnliche Werte wie die in der Nähe von Strassenverkehr gemessenen Werte. Der städtische Standort in Bahnhofsnähe sowie die anderen städtischen Standorte zeigen mittelhohe Werte, die jenen Werten ähneln, die für gewöhnlich an städtischen Standorten festgestellt werden. Dennoch hat die Untersuchung der Höchstwerte der Konzentration die punktuellen Auswirkungen des Flughafens auf die Messwerte gezeigt, und dies sogar im städtischen Hintergrund. Es ist wichtig zu beachten, dass der Vergleich mit anderen Standorten aufgrund der unterschiedlichen Parameter, Messzeiträume und Messmittel/Methoden nur zur Information erfolgt.

Typ/Einfluss	Anzahlkonzentration (Partikel/cm <sup>3</sup> )	Quelle
Diese Untersuchung, Flughafenplattform (Punkte 1 bis 5)	16'000 - 60'000	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, Strassenverkehr / verkehrsbelastet (Punkt 6)	20'000	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, Eisenbahnverkehr/Bahnhof (Punkt 8)	11'000	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, städtisch (500-2'000 m)	8'000 - 11'000	Diese Untersuchung
Nähe zum Flughafen (150 m)	500'000 - 3 000'000	[16]
Nähe zum Flughafen (weniger als zwei Kilometer)	5'000 - 12'000	[14]
Nähe zum Flughafen (2 bis 10 km)	24'000 - 27'000	[14]
Flughafengebiet, Flughafen Nizza	13'000 - 18'000	[17]
Städtisch, Strassenverkehr / verkehrsbelastet	20'000 - 50'000	[11], [12]
Städtisch, Hintergrund (städtischer Standort ohne direkten Einfluss von Quellen)	5'000 - 10'000	[11], [12], [18]

Ländlich, Hintergrund (Ländlicher Standort ohne direkten Einfluss von Quellen)	2'000 - 4'000	[12]
Isolierter Hintergrund (Standort weit entfernt von allen Quellen)	0 - 2'000	[12]

*Tabelle 4: Werte der Anzahlkonzentration aus der Bibliographie. Bitte beachten Sie, dass die Messzeiträume und Messdauer ebenso wie die angewandten Methoden (Messinstrumente, Messbereich, Prinzip) unterschiedlich sein können.*

Für den durchschnittlichen Partikeldurchmesser in der Umgebungsluft gibt es keine Grenzwerte. Im Vergleich zur Literatur heben die meisten Studien die Partikeldurchmesser hervor, die mit bestimmten Quellen in Verbindung gebracht werden (Tabelle 5). Der Unterschied zwischen den verschiedenen Quellen während der Messkampagne ist nicht beachtenswert und kann durch eine Glättung der Messungen über die gesamte Kampagne erklärt werden. Zudem gehen die mit den mittelgrossen Durchmessern in Verbindung gebrachten Messbereiche hauptsächlich aus der Partikelgrössenverteilung hervor. Diese ermöglicht die Feststellung der wichtigsten vorkommenden Durchmesser, welche durch eine Messung des durchschnittlichen Partikeldurchmessers allein verdeckt werden können.

Typ/Einfluss	Durchmesser (nm)	Quelle
Diese Untersuchung, Flughafenplattform (Punkte 1 bis 5)	41–54	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, Strassenverkehr / verkehrsbelastet (Punkt 6)	43	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, Eisenbahnverkehr/Bahnhof (Punkt 8)	50	Diese Untersuchung
Diese Untersuchung, städtisch (500-2'000 m)	48–52	Diese Untersuchung
Flugverkehr	10–20	[7]–[10]
Strassenverkehr	20–50	[7], [9], [18]–[20]
Verbrennung von Biomasse	100–200	[3], [9], [19], [20].

*Tabelle 5: Dominierender Partikeldurchmesser aus der Bibliographie. Bitte beachten Sie, dass die Messzeiträume und Messdauer ebenso wie die angewandten Methoden (Messinstrumente, Messbereich, Prinzip) unterschiedlich sein können.*

### 3.2.4. Zeitliche Schwankungen der Messungen

Der Einfluss zeitlicher Schwankungen wurde durch den Vergleich zwischen den Durchschnittswerten während der Woche (von Montag bis Freitag) sowie während des Wochenendes (Samstag–Sonntag) wie in Abbildung 21 gezeigt untersucht. Der Strassenverkehr weist eine beachtenswerte Verringerung (–26%) zwischen dem Wochenende und der Arbeitswoche auf, die mit der geringeren Anzahl von Pendelfahrten während der Ruhetage zusammenhängt. Die Flugbewegungen weisen hingegen keine bemerkenswerte Schwankung auf (–2%). Diese Schwankungen scheinen einen deutlichen Einfluss des Strassenverkehrs an Punkt 6 zu zeigen, der mit seinem Einfluss in Bezug auf die Autobahn übereinstimmt, sowie auch an den Punkten 3, 4 und 5. Die anderen Standorte weisen einen weniger deutlichen Unterschied zwischen der Arbeitswoche und dem Wochenende auf, der mit dem geringeren direkten Einfluss der Autobahn zusammenhängen kann. Obgleich dieses Profil jenem des Flugverkehrs ähnelt, so ermöglichen diese Daten alleine es nicht, Rückschlüsse auf den Einfluss des Flughafens zu ziehen. Lediglich die Standorte 2

und 10 zeigen eine gegenläufige Tendenz (+15-20%) mit höheren Werten an den Wochenenden, die eventuell auf andere lokale, nicht identifizierte Emissionsquellen zurückgeführt werden können.

Die Untersuchung der täglichen Schwankungen der Partikelanzahl und der Niederschlagszeiträume während der Kampagne zeigt, dass für alle Standorte keine direkte Verbindung zwischen den mit Niederschlägen verbundenen Tagen und einer deutlichen Verringerung der Anzahlkonzentration besteht (Abbildung 22). Im Allgemeinen scheinen Schwankungen der meteorologischen Verhältnisse während der Messkampagne an allen Standorten keine klaren Auswirkungen auf die gemessenen Anzahlkonzentrationen zu haben. Die Tagesschwankungen stellen eine Korrelation der Standorte 2 und 10 heraus, welche wiederum einen ähnlichen Einfluss zwischen diesen beiden Standorten zu bestätigen scheint, der angesichts der für einen Einfluss des Flughafens ungünstigen Windrichtungen von den Flughafenaktivitäten abzugrenzen ist.

Die ¼-Stundenmittel der Anzahlkonzentration und die Anzahl der Flugbewegungen werden in der unten folgenden Abbildung 23 gezeigt. Je nach Messort wurden mehrere Grafiken mit unterschiedlichen Konzentrationsskalen erstellt, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen.

Wie bereits zuvor festgestellt sind die Standorte 1 und 4 mit den höchsten Spitzenwerten verbunden, die vor allem bei einer hohen Anzahl von Flugbewegungen auftreten. Vergleichbare Entwicklungen wurden für den Flugverkehr beobachtet, ohne dass man diesen allein zur Erklärung der Entwicklung der Partikelanzahl heranziehen könnte, was auch bereits bei einer Untersuchung am Flughafen Nizza festgestellt wurde [17]. Diese Ergebnisse bestätigen den Einfluss des Flugverkehrs auf die hohen, auf der Plattform gemessenen UFP-Werte. Die anderen sich auf dem Flughafen befindlichen Standorte (2, 3 und 5) sowie der Autobahn-Standort (6) weisen unterschiedliche Schwankungen auf, die weniger mit den Flugbewegungen in Verbindung stehen. Eine solche Verbindung besteht in noch geringerem Ausmass für die Standorte ausserhalb der Flughafenplattform, was auf den Einfluss anderer UFP-Quellen, des Windes sowie der Phänomene der Verdünnung/Koagulation hinweist.

Der durchschnittliche Durchmesser weist, wie zuvor festgestellt wurde, eine deutlich geringere zeitliche Variabilität auf (Grafiken, vorgestellt im Anhang 4). In Zeiträumen mit häufigen Flugbewegungen ist jedoch eine Verringerung des durchschnittlichen Partikeldurchmessers zu beobachten, die Partikel mit feineren Durchmessern hervorhebt.

Der weniger ausgeprägte Einfluss des Flughafens auf den mittleren Durchmesser kann zusammenhängen mit:

- einer Häufung verschiedener Quellen an den Messstandorten und dem Einfluss des Windes auf die Auswirkungen der verschiedenen Quellen;

und/oder

- der damit verbundenen Messmethode, die es ermöglicht, auf den durchschnittlichen Durchmesser und nicht den dominierenden Durchmesser zurückzugreifen, welcher besser geeignet ist, um Quellen wie oben erläutert voneinander abzugrenzen.

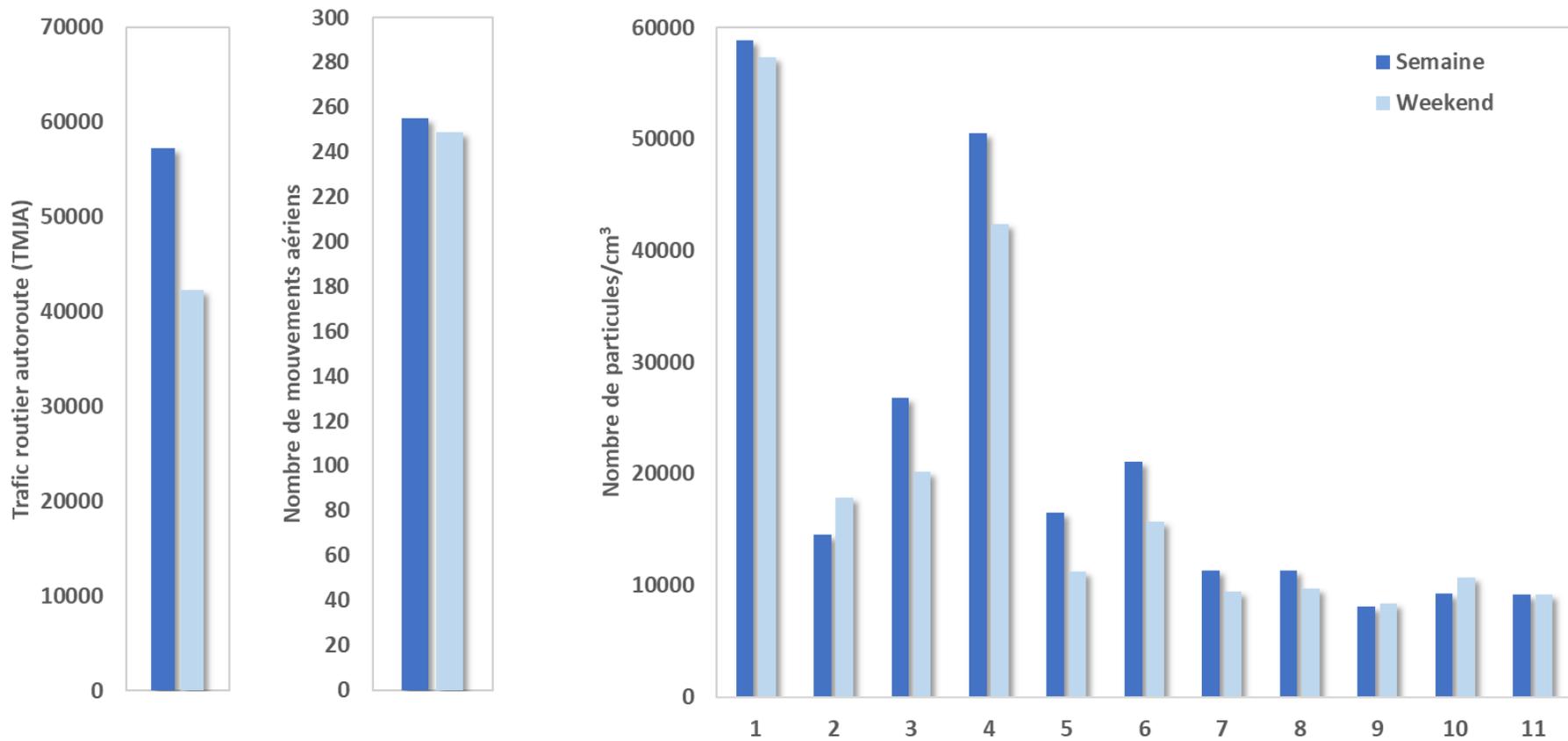


Abbildung 21: Vergleich Arbeitswoche/Wochenende des Strassenverkehrs, der Flugbewegungen und der Partikelanzahl für jeden Standort - NB: TMJA = trafic moyen journalier annuel / durchschnittlicher jährlicher Tagesverkehr

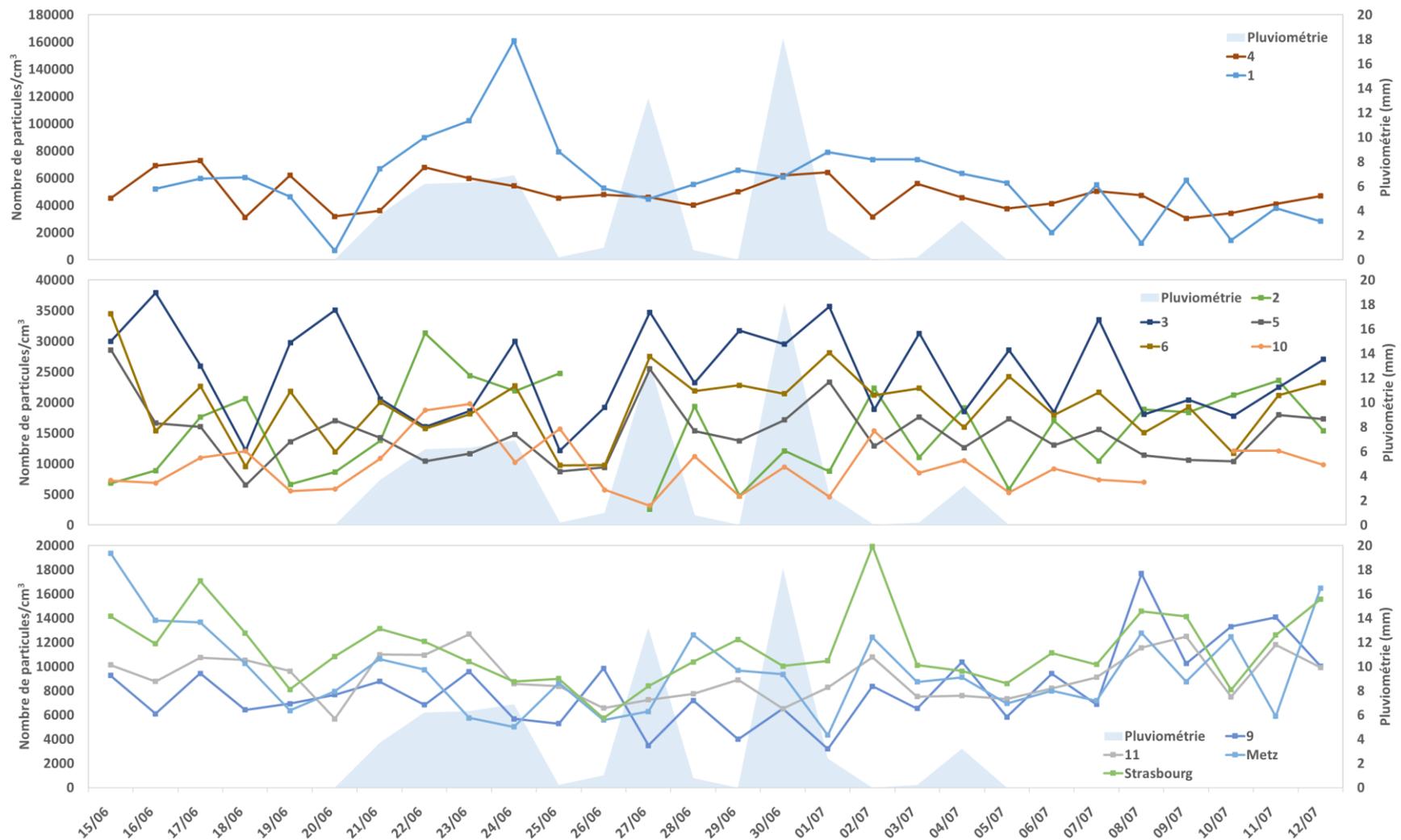


Abbildung 22: Zeitreihen der Partikelanzahlkonzentration sowie der Niederschlagsmenge (Tagesmittelwerte) für alle Standorte. Achtung, je nach Grafik unterschiedliche Skalierung der Partikelanzahl.

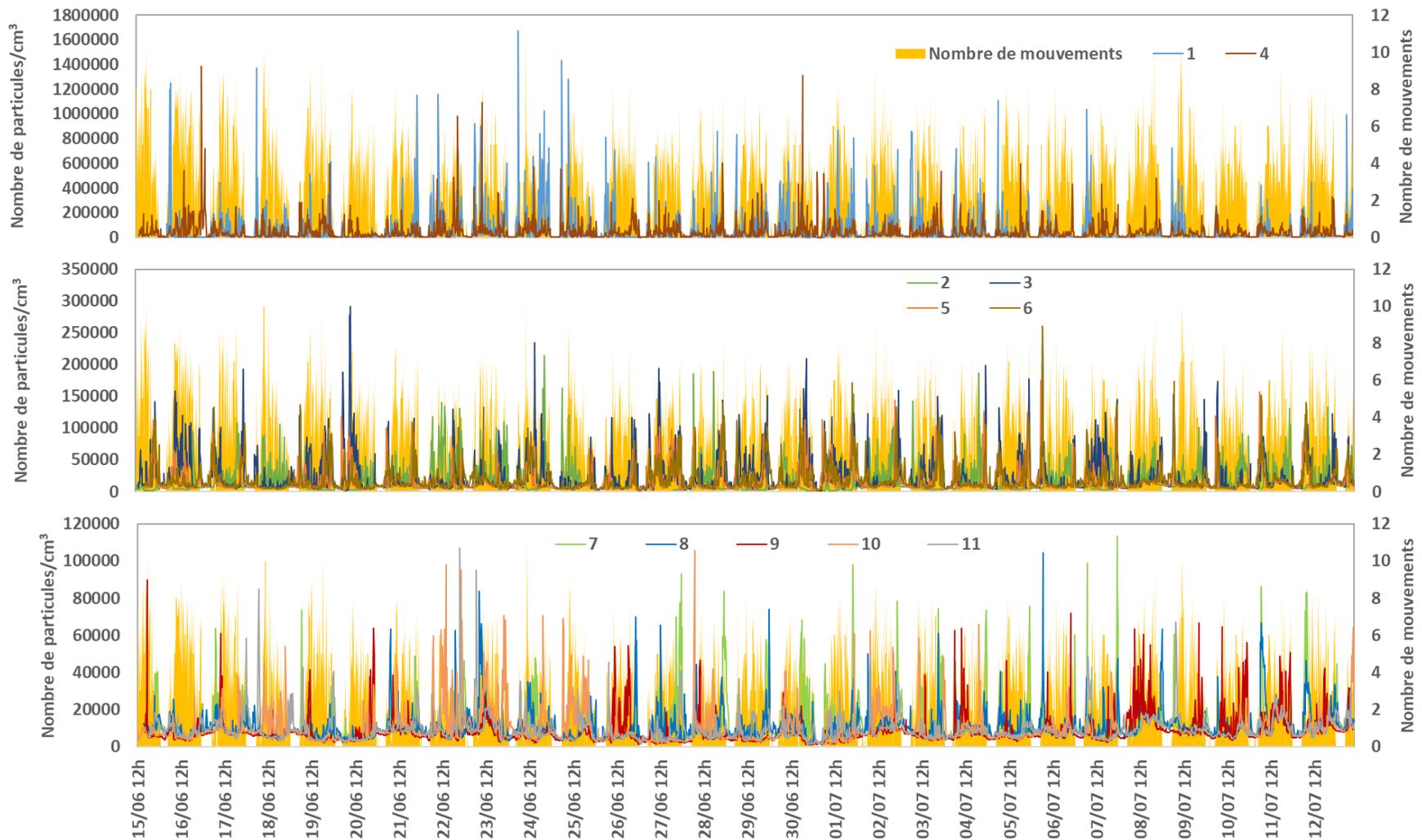


Abbildung 23: Zeitreihen der Partikelanzahlkonzentration (¼-Stundenmittel) für alle Standorte. Achtung, je nach Grafik unterschiedliche Skalierung der Partikelanzahl.

### 3.2.5. Analyse der Tagesprofile

Die durchschnittlichen Tagesprofile der Anzahlkonzentration werden mit denen der Flugbewegungen und den Profilen der Stickstoffoxidkonzentration aus der reglementierten Messkampagne für die Punkte 7 und 10 verglichen (Abbildung 24). Zur besseren Übersichtlichkeit variiert die Skalierung der Anzahlkonzentration je nach Grafik.

Aus den Daten lässt sich erschliessen, dass die sich auf der Flughafenplattform befindenden Messpunkte in Abhängigkeit vom Tageszeitraum mehr oder weniger stark vom Flugverkehr betroffen sind. Die morgendliche Spitzenbetriebszeit (06:00 Uhr Ortszeit) beeinflusst die Konzentrationen stark, und dies insbesondere am an der Piste gelegenen Messpunkt (Punkt 1). Die anderen Tageszeiträume haben geringeren Einfluss auf die Messwerte. Dennoch werden Auswirkungen auch während anderer Zeiträume beobachtet (zwischen 10:00 und 12:00 Uhr für die Standorte 1, 3 und insbesondere 4). Die Auswirkungen des Flughafenbetriebs machen sich an den städtischen Standorten (7 und 11) weniger bemerkbar. Der höchste Spitzenwert wird am Punkt 7 festgestellt, der sowohl von den Auswirkungen des Flugverkehrs als auch des Strassenverkehrs betroffen zu sein scheint (breiterer Höchstwert sowohl für die Anzahl der Bewegungen als auch  $\text{NO}_2$ ). Die tageszeitlichen Schwankungen des  $\text{NO}_2$  weisen ein typisches Profil auf mit zwei Höchstwerten am Morgen und am Abend, welche den Pendelbewegungen zwischen Wohn- und Arbeitsort entsprechen sowie höheren Messwerten während der Nacht als am Tage aufgrund der geringeren Streuung in der Nacht. Punkt 5 zeigt eine frühere Spitze, die mit dem durch den Passagierverkehr verursachten Strassenverkehr auf den Parkflächen zusammenhängt. An allen Standorten kommen die höchsten Spitzenwerte im Vergleich zum Tagesverlauf insbesondere am Morgen vor, und dies trotz einer geringeren Anzahl von Flugbewegungen als während des Nachmittags. Dieses Phänomen lässt sich durch stabilere Witterungsverhältnisse erklären, welche sich begünstigend auf die Streuung in der Zeit des Tagesmittelpunkts auswirken, was wiederum weniger günstig für die Akkumulation von Partikeln ist.

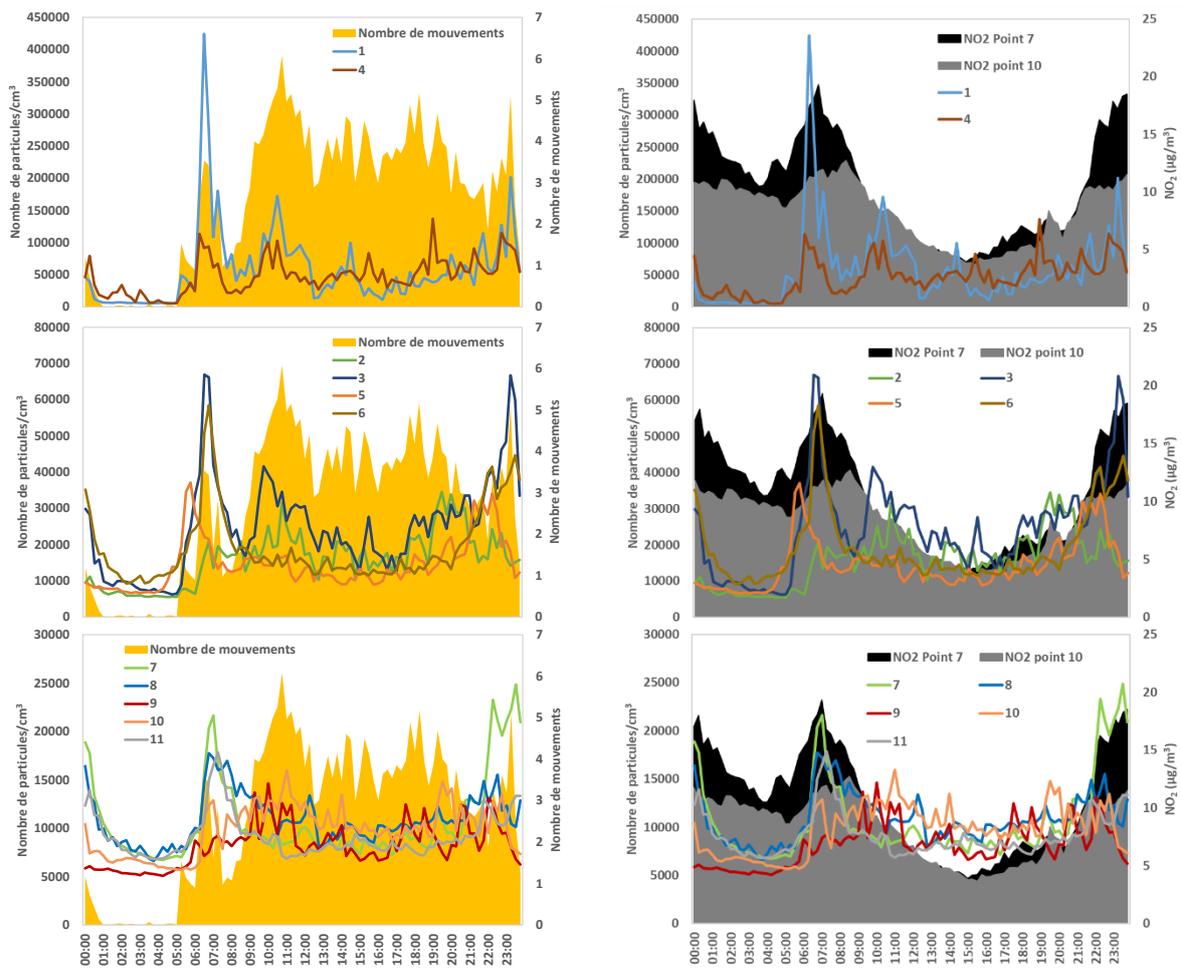


Abbildung 24: Tagesdurchschnittsprofil der Partikelanzahlkonzentration und der Anzahl der Bewegungen (links) sowie der NO<sub>2</sub>-Konzentration (rechts) für jeden Standort. Achtung, je nach Grafik unterschiedliche Skalierung der Partikelanzahl zur besseren Übersichtlichkeit.

Abbildung 25 zeigt die Tagesprofile des durchschnittlichen Durchmessers. Die Schwankungen fallen weniger deutlich aus als bei der Anzahlkonzentration. Jedoch erreicht der durchschnittliche Durchmesser seinen Minimalwert zu den Zeitpunkten der Spitzenwerte der Partikelanzahlkonzentration, was stimmig ist, da die feinsten Partikel am zahlreichsten sind. Für die verschiedenen Standorte liegen die Minimaldurchmesser nah an 10 nm, sowohl für die vom Flughafen als auch für die vom Strassenverkehr beeinflussten Standorte.

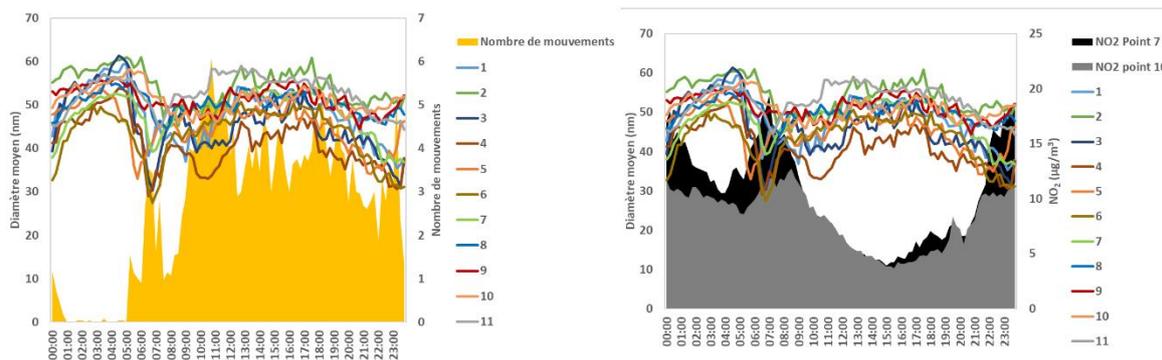


Abbildung 25: Tagesdurchschnittsprofil des durchschnittlichen Partikeldurchmessers und der Anzahl der Bewegungen (links) sowie der NO<sub>2</sub>-Konzentration (rechts) für jeden Standort

### 3.2.6. Einfluss des Windes

Die Polardiagramme ermöglichen die Darstellung von Schadstoffkonzentrationen in Abhängigkeit von den Windrichtungen und -geschwindigkeiten. Für jeden Messpunkt wurden diese Diagramme ausgehend von den nächstgelegenen verfügbaren meteorologischen Daten erstellt, um die lokale Dynamik in Nähe des Messpunkts darzustellen.

Für jeden Standort werden die höchsten Konzentrationen beobachtet bei Winden:

- Aus südlicher/südöstlicher Richtung für die an der Start- und Landebahn gelegenen Punkte (Nr.1 und Nr.2) sowie aus südöstlicher/östlicher Richtung für den Standort Blotzheim (Nr.10), dargestellt in Abbildung 26. Diese Windrichtungen scheinen auf den Betrieb der sich im Osten befindenden Flughafenplattform hinzudeuten.
- Aus westlicher Richtung für die Messstandorte auf dem Vorfeld (Nr.3 und Nr.4) sowie für die sich im Osten der Plattform befindenden Standorte: Der Punkt im Bereich der Parkflächen (5), der Autobahn-Punkt (6) und der in Saint-Louis gelegene Standort (7), ersichtlich in Abbildung 27. Diese Windrichtung verdeutlicht also den Einfluss des Roll- und Flugverkehrs der Flugzeuge auf die sich auf dem Vor- und Rollfeld befindlichen Punkte, jedoch auch den Einfluss der Flughafenplattform bezüglich der erhöhten Windgeschwindigkeiten an den Punkten «Autobahn» sowie «Saint-Louis». Die beiden letzten Punkte (6 und 7) zeigen ebenfalls erhöhte Werte bei niedrigen Windgeschwindigkeiten, was auf die Möglichkeit eines lokalen Einflusses hindeutet, welcher mit der Autobahn zusammenhängen könnte.
- Aus südlicher Richtung für den nördlich der Plattform gelegenen Standort Bartenheim la chaussée (Nr.11) und Winde aus nördlicher Richtung in Hésingue, welches sich im Süden Plattform befindet (Nr. 9). Der Einfluss der Flughafenplattform zeigt sich insbesondere anhand des Punktes 9, während am Punkt 11 auch zusätzliche lokale Quellen vorhanden zu sein scheinen. Für den Punkt im Südosten in der Nähe des Bahnhofs (Nr. 8) zeigt das Polardiagramm eine Emissionsquelle im Westen, die mit Flugzeugbewegungen und/oder anderen Emissionsquellen (Bahnhof, Strassenverkehr, ...) in Verbindung gebracht werden kann.

Selbst für die am weitesten vom Flughafen entfernten Punkte scheinen die Polardiagramme bei den höchsten Konzentrationen allesamt auf einen mehr oder wenigen starken Einfluss der Flughafenplattform hinzuweisen.

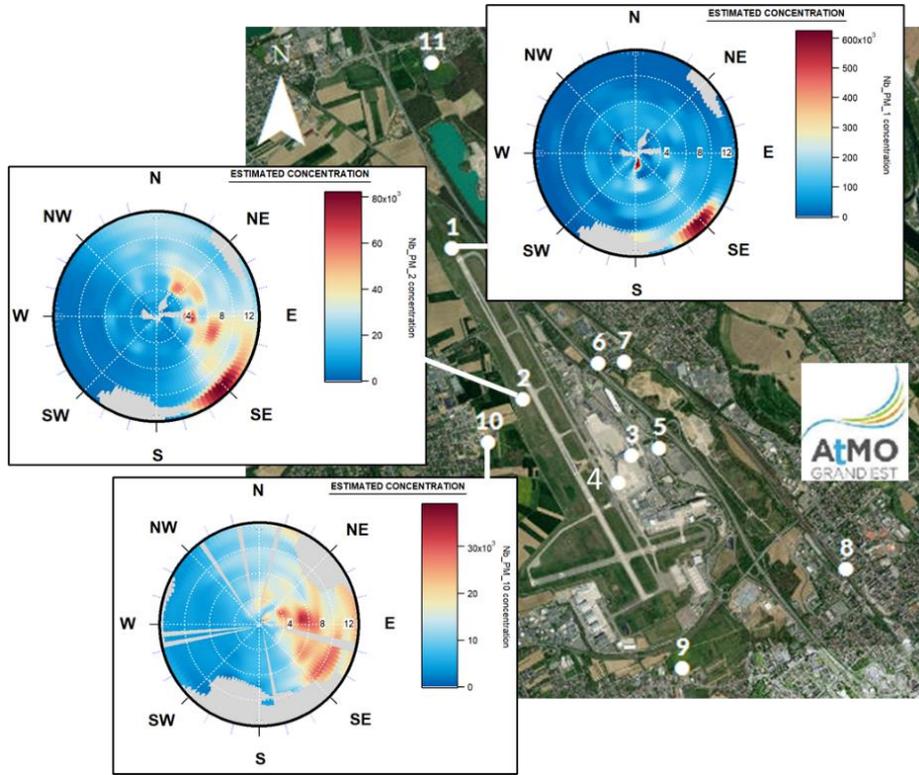


Abbildung 26: Kartierung der Polardiagramme der Punkte 1, 2 und 10

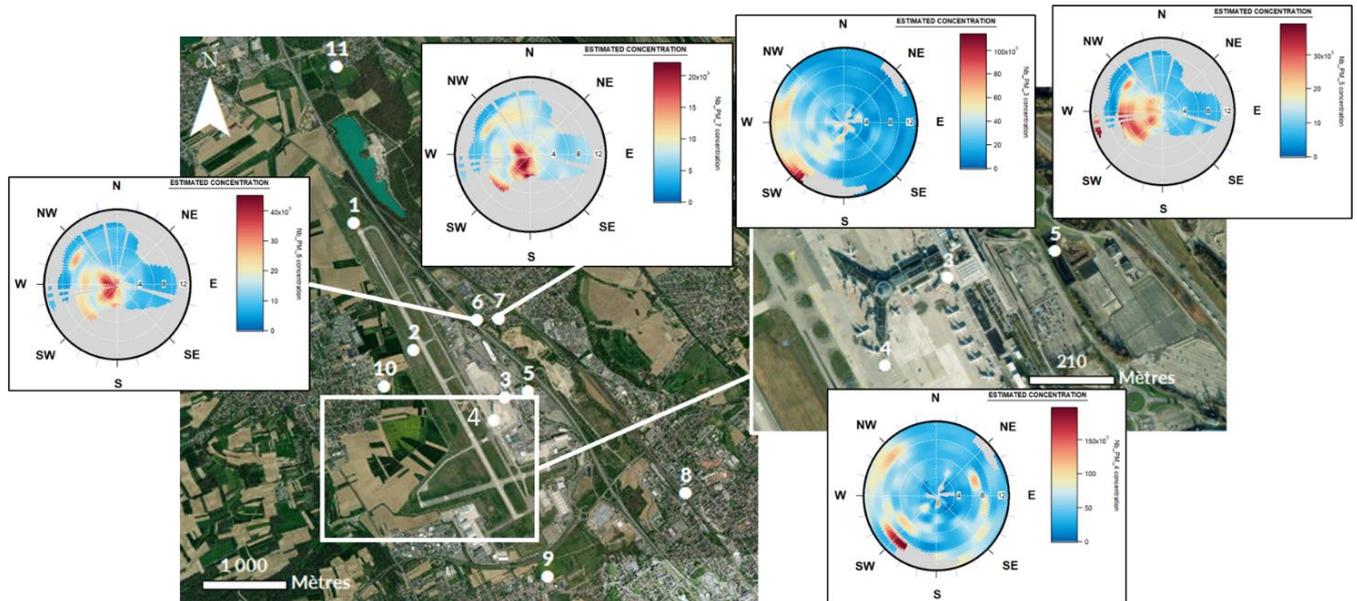


Abbildung 27: Kartierung der Polardiagramme der Punkte 3, 4, 5, 6 und 7

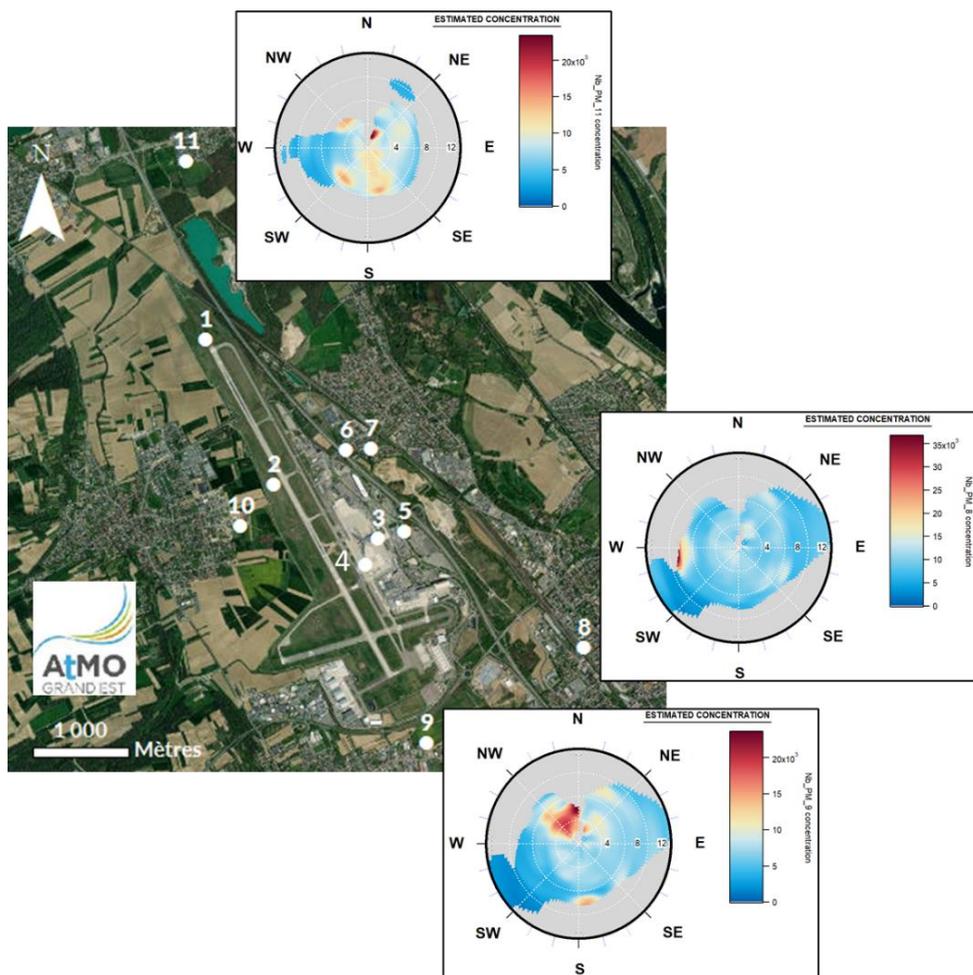


Abbildung 28: Kartierung der Polardiagramme der Punkte 8, 9 und 11

Die Untersuchung der durchschnittlichen Anzahlkonzentration nach Windrichtung für jeden Standort bestätigt den Einfluss des Windes auf die anhand der Polardiagramme beobachteten Messwerte. Die durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration in Abhängigkeit von der Windrichtung wird für jeden Standort festgestellt (Abbildung 29). Der Standort, an dem die verwendeten Winddaten gemessen wurden, ist ebenfalls in der Grafik angegeben.

Die sich in Nähe der Hauptpiste befindenden Messpunkte (1 und 2) weisen die höchsten UFP-Konzentrationen für Winde aus südöstlicher Richtung auf, was auf den Einfluss des Flughafenbetriebs hindeutet. Der sich nördlich von Bartenheim-la-Chaussée auf der Flughafenplattform befindende Messpunkt (11) zeigt nur einen geringen Anstieg für die aus Süden kommenden Windrichtungen, was begrenzte Auswirkungen der Plattform auf das Ballungszentrum deutlich macht, die mit der Entfernung des Messpunkts zusammenhängen.

Die auf dem Vorfeld gelegenen Punkte (3 und 4) werden eindeutig vom Luftverkehr der Plattform beeinflusst, denn die höchsten Werte treten bei Westwinden auf, was auf den Rollverkehr von Flugzeugen in bzw. aus Richtung der Start- und Landebahnen hinweist.

Die östlich der Plattform gelegenen Messpunkte (Punkt 5 an den Parkflächen, Punkt 6 an der Autobahn und Punkt 7 in Saint-Louis) weisen erhöhte Messwerte bei Winden aus westlichen Richtungen auf, was die Auswirkungen der Plattform auf die beeinflussten Gebiete bestätigt. Dennoch weisen diese Elemente auf einen geringeren Einfluss hin, je weiter man sich von der Plattform entfernt.

Der sich in Nähe des Bahnhofs befindende Messpunkt (8) ist mit konstanten Werten verbunden, die nicht auf grössere Auswirkungen der Plattform an diesem Ort hinweisen. Der in der Nähe des Ballungszentrums von Héisingue gelegene Punkt 9 ist mit deutlich höheren Werten verbunden bei Winden aus nördlicher Richtung, was durch den Einfluss des Betriebs auf der Flughafenplattform zu erklären ist.

Der westlich von Blotzheim gelegene Messpunkt (10) zeigt höhere Werte bei Winden aus östlicher Richtung, was auf den Einfluss der Plattform auf die gemessenen Werte hindeuten könnte.

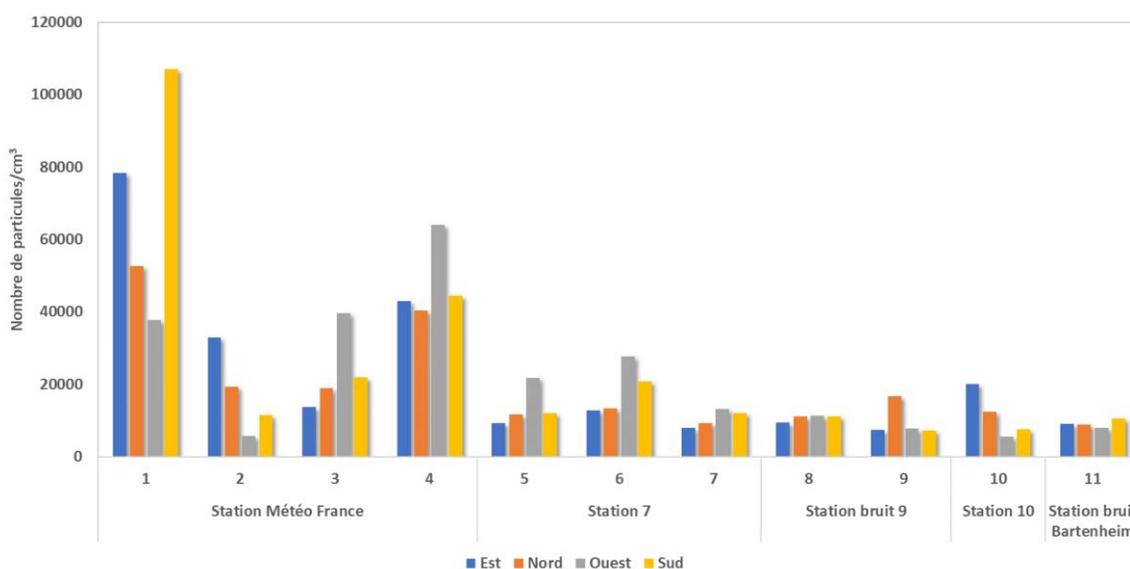


Abbildung 29: Durchschnittliche Partikelanzahlkonzentration je nach Windrichtung für jeden Standort

### 3.3. GRENZEN DER MESSKAMPAGNE

Die in diesem Dokument durchgeführten Auswertungen sind repräsentativ für den Messzeitraum (Sommer 2022) und können nicht auf das gesamte Jahr oder einen anderen Zeitraum angewendet werden. Denn tatsächlich sind Luftschadstoffe abhängig von Emissionen sowie von Wetter- und Luftbedingungen, die die gemessenen Werte verändern können. Dieses Phänomen ist insbesondere für Ultrafeinstaubpartikel von Bedeutung, deren zeitliche und räumliche Variabilität gross sind. Nichtsdestotrotz bilden diese Daten eine solide Basis zur Untersuchung der in Nähe des Flughafens Basel-Mulhouse vorkommenden Ultrafeinstaubpartikel. Sie sind des Weiteren verbunden mit einem Zeitraum starken Flugverkehrsaufkommens.

Darüber hinaus ist es wichtig zu beachten, dass sich diese Studie auf die Untersuchung eines Gliedes im Kreislauf der Luftverschmutzung beschränkt, und zwar jenes der Luftqualität. Es handelt sich hierbei um eine Sondierungsuntersuchung, die zurzeit keinerlei Reglementierung (mit Grenzwerten oder

Zielvorgaben) unterliegt, und die auf eine räumliche Darstellung der Präsenz von Ultrafeinstaubpartikel abzielt.

## SCHLUSSFOLGERUNG

---

Im Rahmen der Überwachung der Luftqualität auf und um die Flughafenplattform herum beabsichtigte der Flughafen Basel-Mulhouse die Umsetzung einer Messkampagne zu Ultrafeinstaubpartikeln (UFP), obgleich dieser Schadstoff zurzeit noch nicht reglementiert ist. Diese Sondierungsmesskampagne entspricht den Empfehlungen der französischen Kontrollbehörde für durch den Luftverkehr verursachte Umweltbelastungen (frz. *autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires, ACNUSA*). Zudem steht sie im Einklang mit dem regionalen Beobachtungsportal für Ultrafeinstaubpartikel, welches sich seitens ATMO Grand Est seit 2019 in der Umsetzung befindet.

Die Messkampagne stützt sich auf die in Echtzeit erfolgte Überwachung der Partikelanzahlkonzentrationen sowie der durchschnittlichen Partikeldurchmesser, die mithilfe des Messinstruments Partector 2 durchgeführt wurde. Sie verlief während eines Monats vom 15. Juni bis 13. Juli 2022 zum Zwecke der Durchführung bei erhöhtem Luftverkehrsaufkommen. 11 auf und um die Flughafenplattform herum verteilte Messstandorte ermöglichten eine Charakterisierung der räumlichen sowie zeitlichen Schwankungen sowohl auf der Plattform als auch in den städtischen Gebieten der näheren Umgebung.

Zur Prüfung der Messqualität der Partector 2-Geräte erfolgten:

- Ein Vergleich mit dem Referenzanalysegerät zur Messung der Partikelanzahlkonzentration (CPC) wurde während 4 Monaten an einem städtischen Standort der Region durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse zeigen starke Korrelationen zwischen den beiden getesteten Partector 2-Geräten und dem CPC.
- Zwei Zwischenvergleichskampagnen zwischen den 11 Geräten wurden ebenfalls zu Beginn und zum Ende der Messkampagne durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigten die Reproduzierbarkeit und die Vergleichbarkeit der Messgeräte untereinander, was sowohl die Partikelanzahlkonzentration als auch den durchschnittlichen Partikeldurchmesser betrifft (mit Ausnahme eines Messgeräts, das zum Ende der Messkampagne Abweichungen bei der Messung des durchschnittlichen Partikeldurchmessers aufwies). Die guten Korrelationen zwischen den Sensorsystemen bestätigen die Qualität der im Rahmen der Kampagne erhobenen Daten.

Die Auswertung der Messungen der Kampagne ergab Folgendes:

- Die durchschnittlichen Partikelanzahlkonzentrationen betragen zwischen 16'000 und 60'000 Partikel/cm<sup>3</sup> an den Flughafenstandorten, 20'000 Partikel/cm<sup>3</sup> am Autobahn-Standpunkt und zwischen 8'000 und 11'000 Partikel/cm<sup>3</sup> an den anderen städtischen Standorten. Diese Werte stimmen mit den Werten überein, die im Rahmen anderer Untersuchungen unter Einfluss eines Flughafens bereits gemessen wurden, und die 2 bis 10 mal höhere Werte aufweisen als die städtischen Standorte. Bei der Untersuchung der durchschnittlichen Partikeldurchmesser waren die Unterschiede zwischen den Standorten weniger ausgeprägt, was insbesondere mit dem Messprinzip zusammenhängt.

- Ein Vergleich der städtischen Standorte mit anderen städtischen Standorten der Region während desselben Zeitraums zeigt Durchschnittswerte derselben Grössenordnung. Jedoch zeigt die Untersuchung der statistischen Parameter, und zwar insbesondere der Maximalwerte, den Einfluss des Flughafens auf, da die an urbanen Standorten in Nähe des Flughafens festgestellten Maximalwerte 1,4 bis 2,3 mal höher sind als jene der entfernteren städtischen Standorte. Diese Daten scheinen lokale Auswirkungen des Flughafens auf die Gesamtheit der Umgebungsgebiete in Abhängigkeit vom Wind zu verdeutlichen.
- Der Flughafen weist räumlich bedingte Variabilität auf, wobei zwei Gebiete als stärker mit UFP belastet identifiziert wurden. Dabei handelt es sich um den Messpunkt am Ende der Hauptpiste (Punkt 1) und den Messpunkt auf dem Vor- bzw. Rollfeld in Nähe der Start- und Landebahnen (Punkt 4). Diese Elemente zeigen den Einfluss des Windes auf die Messwerte, aber auch des Betriebs vor Ort mit grösseren Auswirkungen durch den Rollverkehr der Flugzeuge sowie der Start- und Landephase im Vergleich zu anderen am Boden befindlichen Systemen.
- Die gekoppelte Untersuchung von Schadstoffmessungen sowie des Flugverkehrs zeigt den Einfluss der Anzahl der Roll- und Flugbewegungen auf die Partikelanzahlkonzentration. Jedoch variiert dieser Einfluss im Verlauf des Tages in Verbindung mit den Witterungsverhältnissen, aber auch mit dem Einfluss des Windes, und erklärt an sich selbst die gesamten Schwankungen nicht.
- Die Polardiagramme und die Untersuchung der Windrichtungen zeigten den grossen Einfluss des vom Flughafen herkommenden Windes auf die gemessenen Konzentrationen. Ein Grossteil der Messstandorte weisen in Richtung Flughafen, wenn es um die maximal gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen geht, was seine Auswirkungen insbesondere auf den Messpunkt (7) in Saint-Louis unterstreicht. Jedoch konnte auch der Einfluss des Strassenverkehrs nachgewiesen werden, wodurch die Vielfältigkeit der UFP-Quellen im Untersuchungsgebiet bestätigt wird.

Die Sondierungsmesskampagne zeigte kontrastreiche Sachverhalte auf der Flughafenplattform auf, die mit dem Einfluss des Windes und den betrieblichen Aktivitäten am Boden zusammenhängen. Darüber hinaus tritt punktuell ein Einfluss des Flughafens auf die umliegenden städtischen Gebiete auf und wird mit den höchsten an diesen Standorten gemessenen UFP-Werten in Verbindung gebracht.

Weitere Untersuchungen sowie eine zeitliche Überwachung könnten diese erste Sondierungskampagne vertiefen und es ermöglichen, den Einfluss des Flugverkehrs auf die gemessenen UFP-Konzentrationen im und um das Flughafengebiet herum besser zu verstehen.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Journal Officiel, Prescriptions du 6 octobre 2020 portant sur la gestion de la qualité de l'air par les exploitants aéroportuaires sur et autour des aéroports. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042413963>
- [2] ANSES, « Particules de l'air ambiant extérieur - Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie », 2019.
- [3] Atmo Grand Est, « Rapport bibliographique sur les particules ultrafines (PUF) », 2021. Consulté le: 27 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.atmo-grandest.eu/document/2574>
- [4] N. R. Yacobi et al., « Mechanisms of Alveolar Epithelial Translocation of a Defined Population of Nanoparticles », *Am J Respir Cell Mol Biol*, vol. 42, p. 604-614, 2010, doi: 10.1165/rcmb.2009-0138OC.
- [5] Organisation Mondiale de la Santé (OMS), « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air - Particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>), ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et monoxyde de carbone - Résumé d'orientation », 2021.
- [6] Airports Council International, « Ultrafine Particles at Airports - Discussion and assessment of ultrafine particles (UFP) in aviation and at airports in 2012 », 2012. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.cph.dk/48da29/globalassets/8.-om-cph/stoj-trafik-og-miljo/rapporter/7\\_ultrafine-particules-at-airports-aci.pdf](https://www.cph.dk/48da29/globalassets/8.-om-cph/stoj-trafik-og-miljo/rapporter/7_ultrafine-particules-at-airports-aci.pdf)
- [7] J. Hofman et al., « Ultrafine particles in four European urban environments: Results from a new continuous long-term monitoring network », *Atmospheric Environment*, vol. 136, p. 68-81, juill. 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.04.010.
- [8] Airports Council International, « Ultrafines particules at airports - Current understanding of ultrafine particle emissions and concentrations at airports in 2018 », 2018.
- [9] Air Quality Expert Group, « Ultrafine Particles (UFP) in the UK », 2018.
- [10] Autorité de contrôles des nuisances aéroportuaires, « Particules ultrafines et aviation - Etude bibliographique », 2017.
- [11] M. Chatain, R. Alvarez, A. Ustache, E. Rivière, O. Favez, et C. Pallares, « Simultaneous Roadside and Urban Background Measurements of Submicron Aerosol Number Concentration and Size Distribution (in the Range 20–800 nm), along with Chemical Composition in Strasbourg, France », *Atmosphere*, vol. 12, n° 1, Art. n° 1, janv. 2021, doi: 10.3390/atmos12010071.
- [12] L. Morawska, Z. Ristovski, E. R. Jayaratne, D. U. Keogh, et X. Ling, « Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : Characteristics, ambient processing and implications on human exposure », *Atmospheric Environ.*, vol. 42, p. 8113-8138, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.050>.
- [13] Zurich Airport, « Ultrafine Particle Measurements At Zurich Airport », 2017.
- [14] Zurich Airport, « Ultrafine Particle Concentrations Zurich Approach - Runway 14 ».
- [15] J. Sun et al., « Variability of black carbon mass concentrations, sub-micrometer particle number concentrations and size distributions: results of the German Ultrafine Aerosol Network ranging from city street to High Alpine locations », *Atmospheric Environ.*, vol. 202, p. 256-268, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.029>.
- [16] ADRA et BISF, « Basel-Mulhouse Airport and Air Quality - part III: Immission by ultrafine particles - analysis and determination of the potential hazard to the residents », 2020. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.adra-bale-mulhouse.fr/wp-content/uploads/2020/08/ADRA-BISF-Rapport-PUF-III\\_2020625.pdf](https://www.adra-bale-mulhouse.fr/wp-content/uploads/2020/08/ADRA-BISF-Rapport-PUF-III_2020625.pdf)
- [17] ATMO Sud, « Analyse des particules ultrafines à l'aéroport de Nice (06) », 2021.
- [18] I. Rivas et al., « Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities », *Environment International*, vol. 135, p. 105345, févr. 2020, doi: 10.1016/j.envint.2019.105345.
- [19] AtmoSud, « Plan de surveillance des particules dans la région PACA, PUF Bilan des mesures 2016 », 2017.
- [20] AtmoSud, « Plan de surveillance des particules dans la région PACA, PUF Bilan des mesures 2017 », 2018.

## ANHANG 1

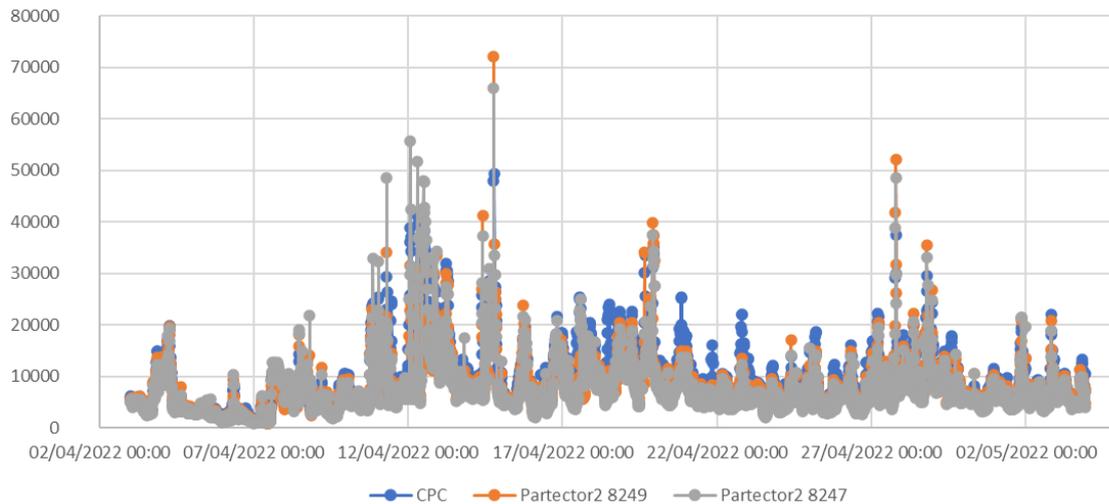
Technische Eigenschaften des Partector 2 ([Site internet](#))

Parameter	Eigenschaft des Partector 2-Geräts
Messprinzip	Elektrische Erkennung der Partikel
Grössenspanne der erfassten Partikel	10-300 nm
Konzentrationspektrum	Partikelanzahl: 0-10 <sup>6</sup> Partikel/cm <sup>3</sup>
Genauigkeit	± 30%
Zeitauflösung	1 Sekunde
Dimensionen	88 * 142 * 34 mm
Gewicht	415 g
Energieversorgung	Batterie, Netzstrom oder Solarzellen

## ANHANG 2

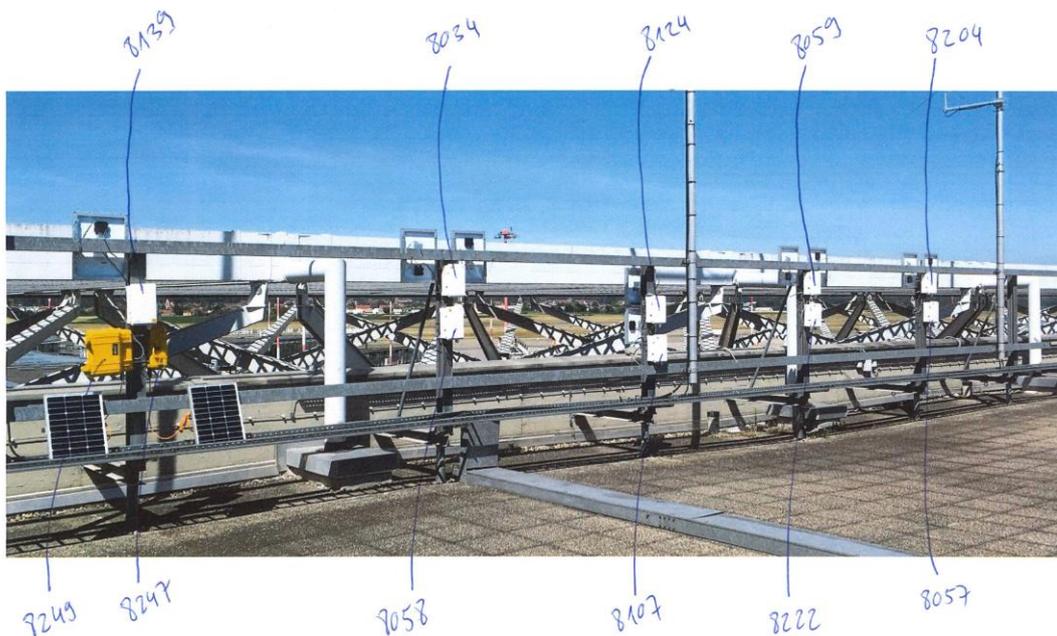
Zeitreihe der Gesamtpartikelanzahlkonzentration für den Zeitraum des Vergleichs zwischen den beiden Partector 2-Geräten und dem Referenzanalysegerät (CPC)

Nombre de particules par cm<sup>3</sup> en moyenne 1/4h - comparaison Partector2/CPC

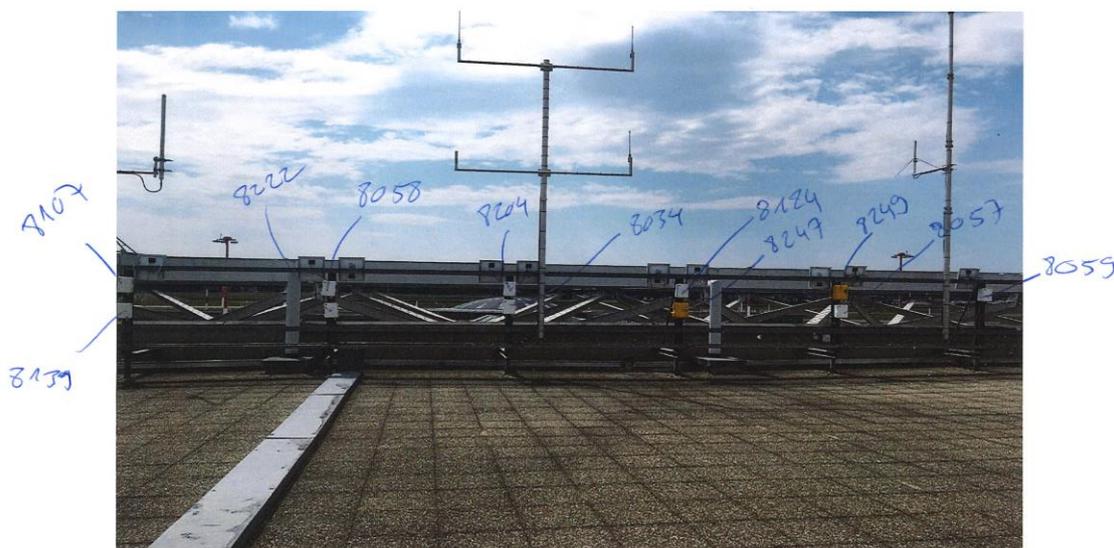


### ANHANG 3

Standort der Partector 2-Geräte auf dem Dach des Passagierterminals: Technischer Zwischenvergleich vor Beginn der Messkampagne

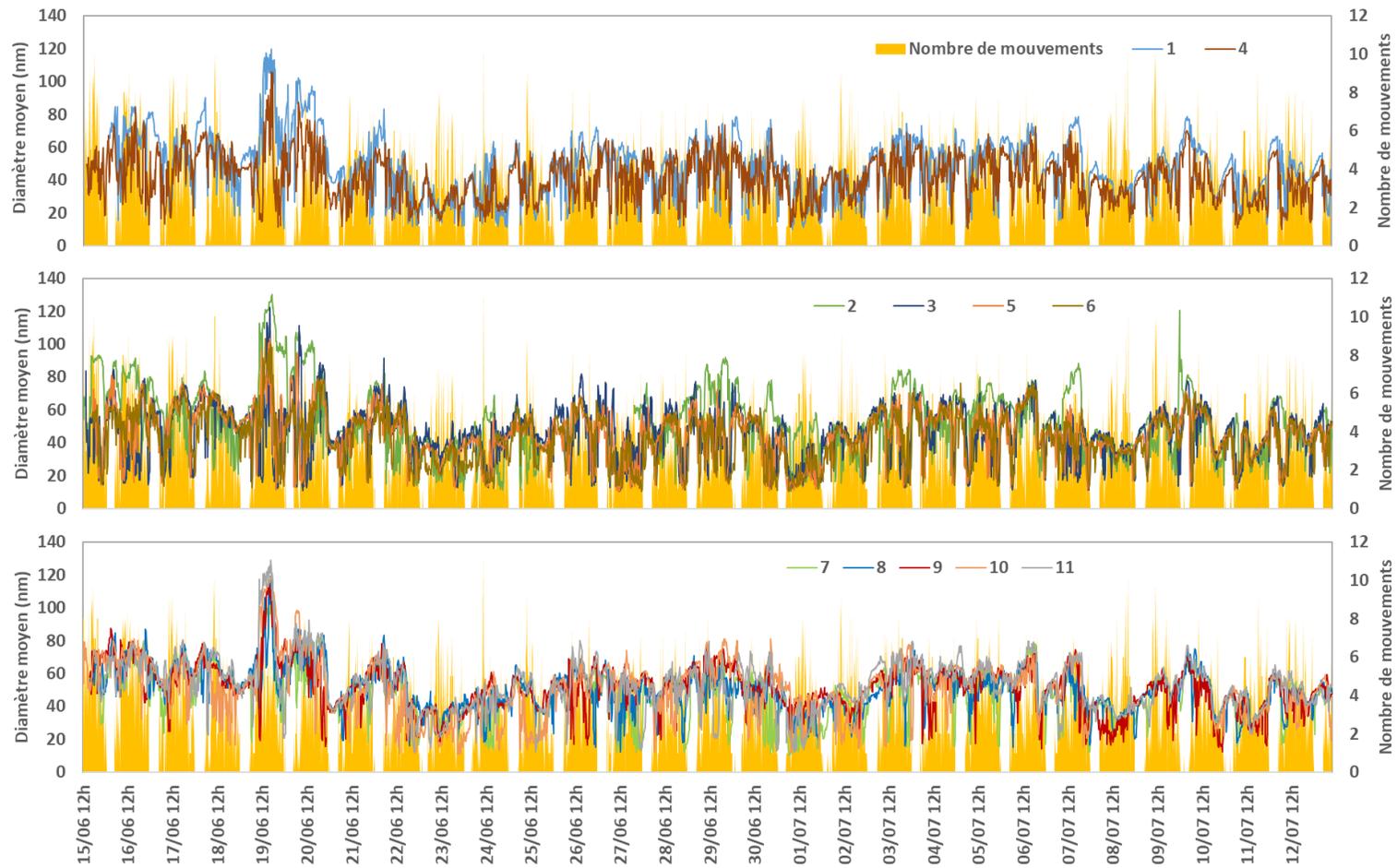


Standort der Partector 2-Geräte auf dem Dach des Passagierterminals: Technischer Zwischenvergleich nach Beendigung der Messkampagne



## ANHANG 4

Zeitreihen des durchschnittlichen Partikeldurchmessers (¼-Stundenmittel) für alle Standorte





**AtMO**

GRAND EST

Metz - Nancy - Reims - Strasbourg

**Air • Climat • Energie • Santé**

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – F-67300 Schiltigheim

Tel.: 03 69 24 73 73 – [contact@atmo-grandest.eu](mailto:contact@atmo-grandest.eu)

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

**Akkreditierte Organisation für die Überwachung der Luftqualität**