

# Untersuchungen der Ultrafeinstaub- Belastung im Bereich des Flughafens Düsseldorf

Labor für Umweltmesstechnik  
Hochschule Düsseldorf HSD

Konradin Weber, Tobias Pohl, Christoph Böhlke, Christian Fischer, Tim Kramer

**Im Auftrag des LANUV NRW  
und des MULNV NRW**

## ■ Inhalt

- Messstrategie der Studie (Bezug: die für das LANUV NRW durchgeführte Studie)
- Vergleichsmessungen für UFP in Mülheim-Styrum
- Flugbetrieb am Düsseldorfer Airport
- Ergebnisse der mobilen Untersuchungen (einschließlich Untersuchung mit Forschungsflugzeug)
- Ergebnisse der stationären Untersuchungen
- Beispiel der Untersuchung mit Messdrohnen
- Schlussfolgerung
- Ausblick

## ■ Besonderheit der Studie

- Flughafen in direkter Stadtnähe
- Trotz vorgegebenem begrenztem Zeitraum sollten Aussagen zum Flughafen als UFP-Quelle und in den angrenzenden Stadtgebieten möglich sein
- Stationäre und mobile Untersuchungen wurden zur Erhöhung der Aussagekraft kombiniert
- Stationäre und mobile Untersuchungen wurden unmittelbar an der Grenze des Flughafens durchgeführt, um direkte Aussagen zu ermöglichen

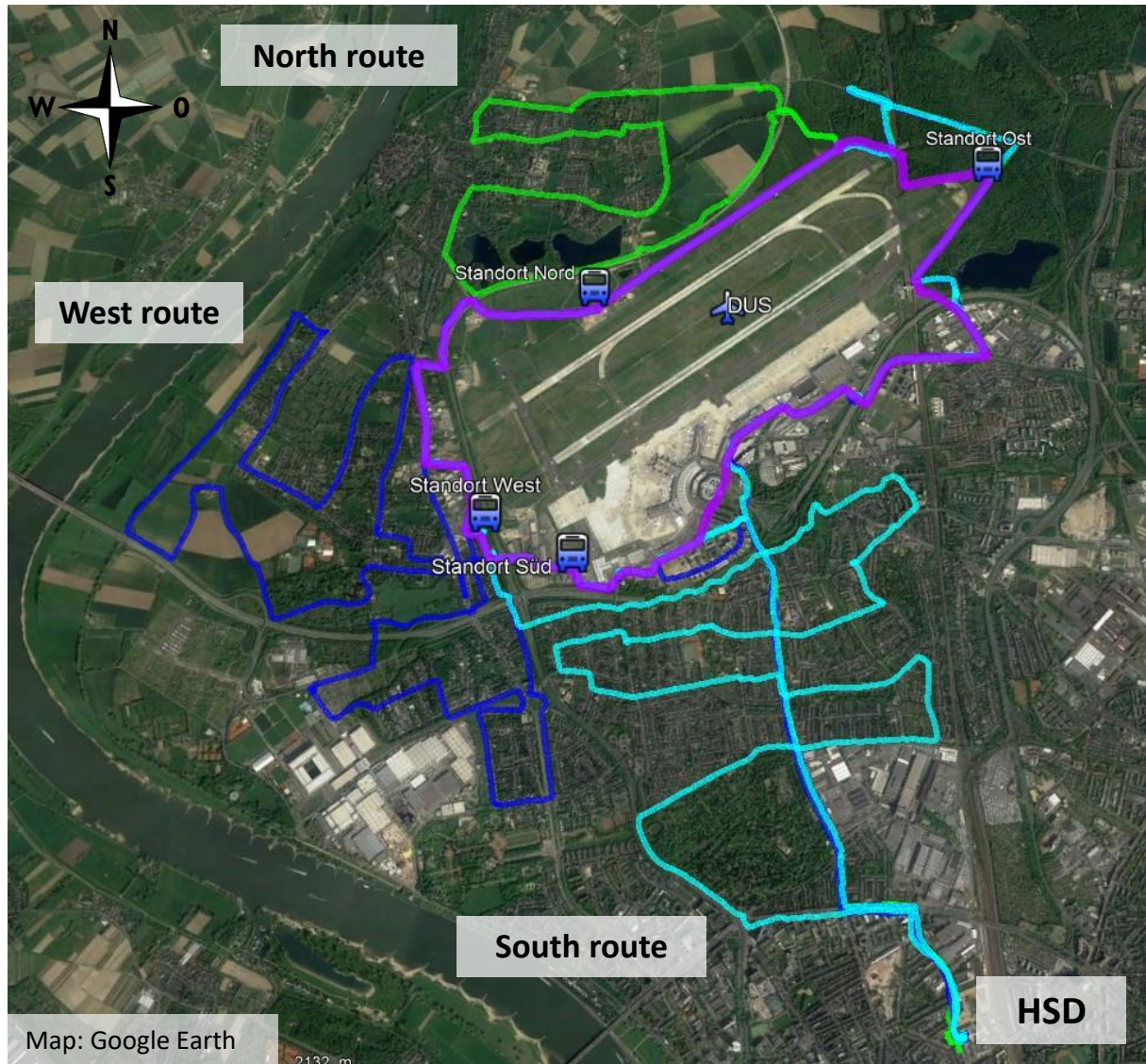
## ■ Besonderheit der Studie

- Die mobilen Messungen bezogen immer auch einen Teil des Nordstadtgebietes mit ein
- Bei den mobilen Messungen wurde sowohl der Flughafen umrundet (Luv-Lee-Detektion möglich) als auch in Stadtvierteln in Lee gemessen
- Zusätzlich wurde auch ein Forschungsflugzeug direkt zur Untersuchung der Ausdehnung der Ausbreitungsfahne eingesetzt
- Erste Untersuchungen mit Messdrohnen direkt am Flughafen wurden durchgeführt (Vertikalprofile)

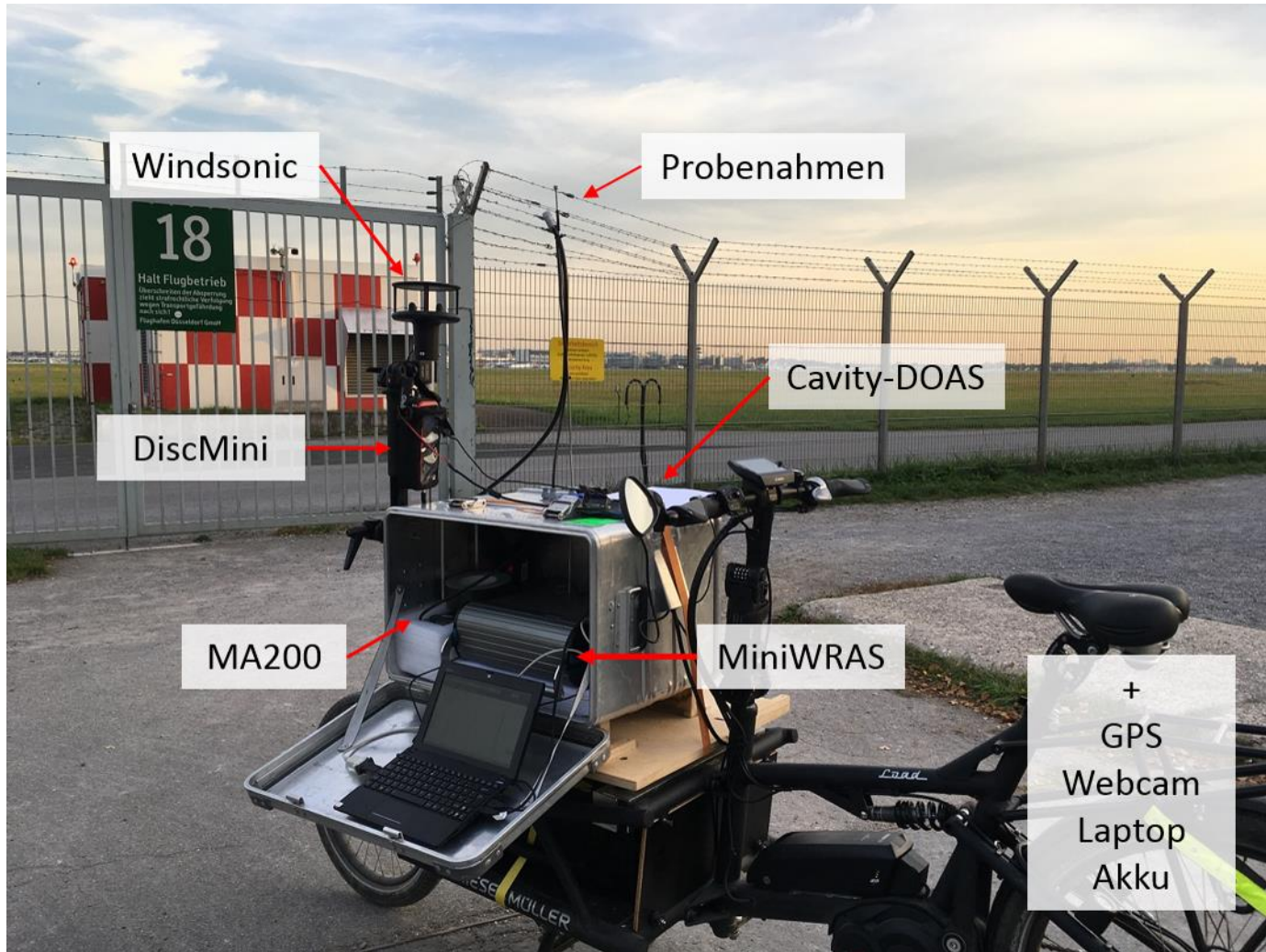
## ■ Messstandorte für die stationäre Messungen



- **Routen für die mobilen Untersuchungen mit dem Messfahrrad**



## ■ Elektrisches Messfahrrad mit Messsystemen



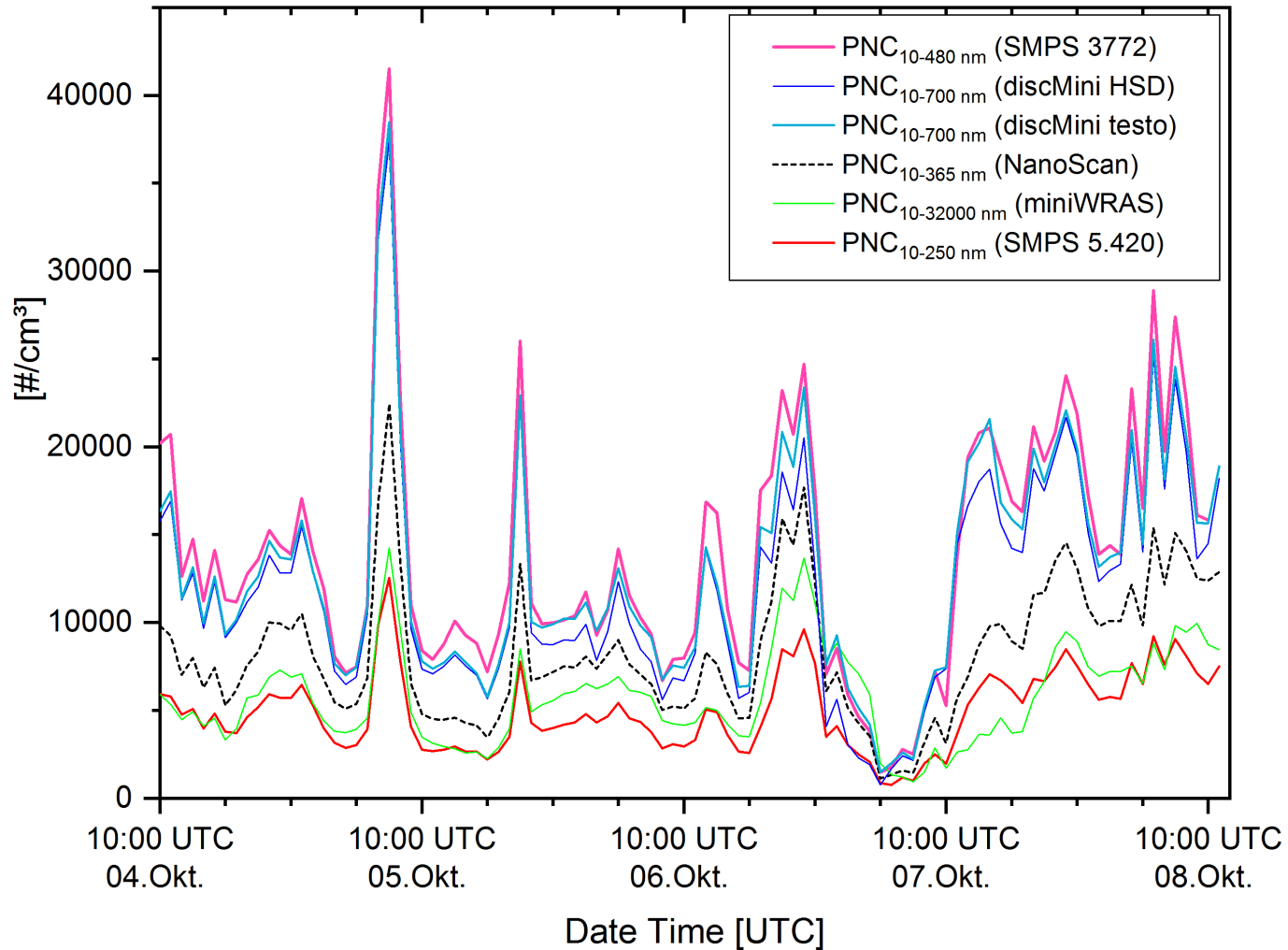
## ■ Vergleichsmessungen in Mülheim Styrum

- von 22.Okt. bisl 29.Okt.2018
- Vergleich zwischen SMPS+C (Durag/Grimm), miniWRAS (Durag/Grimm), NanoScan (TSI), 2 x DiscMini (Testo/HSD) und SMPS (TSI), betrieben durch LANUV/IUTA e.V.

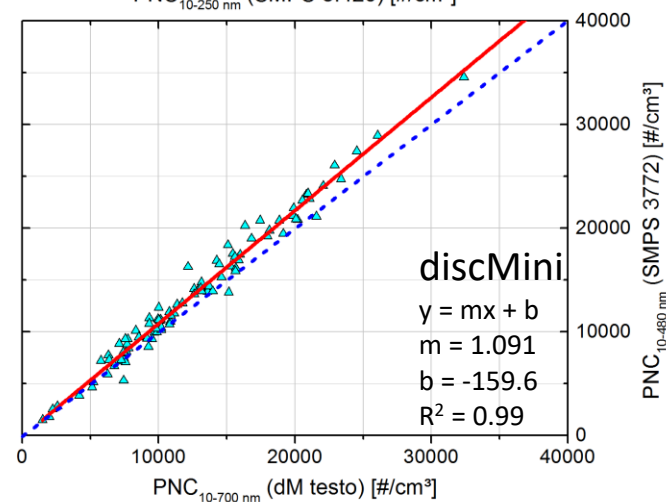
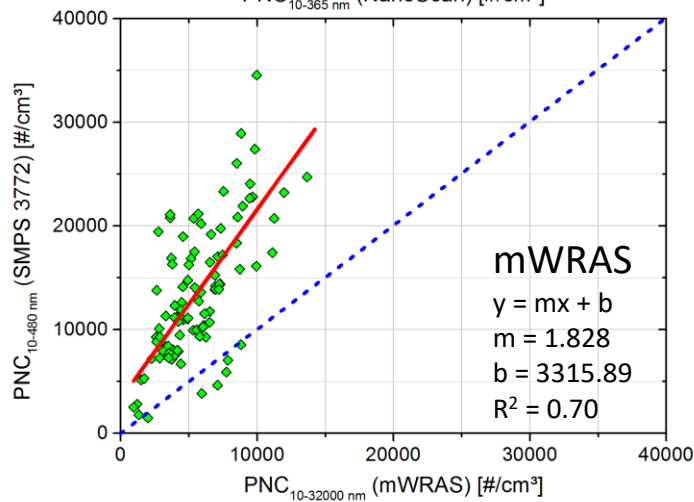
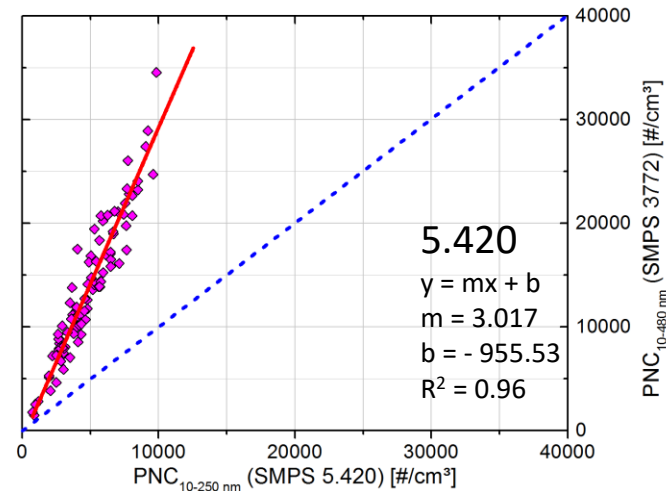
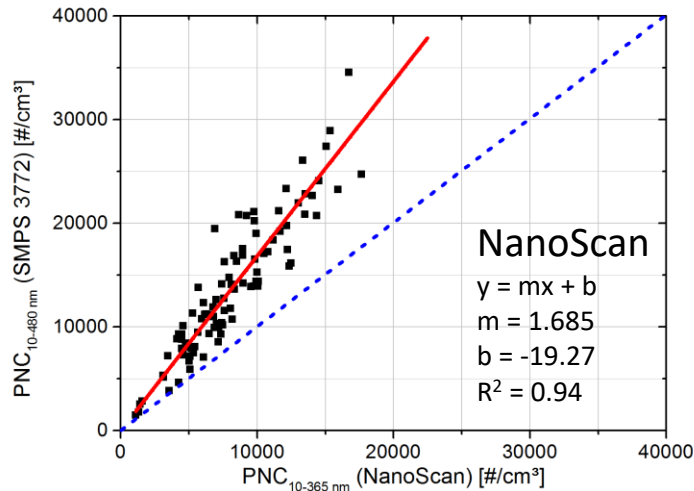




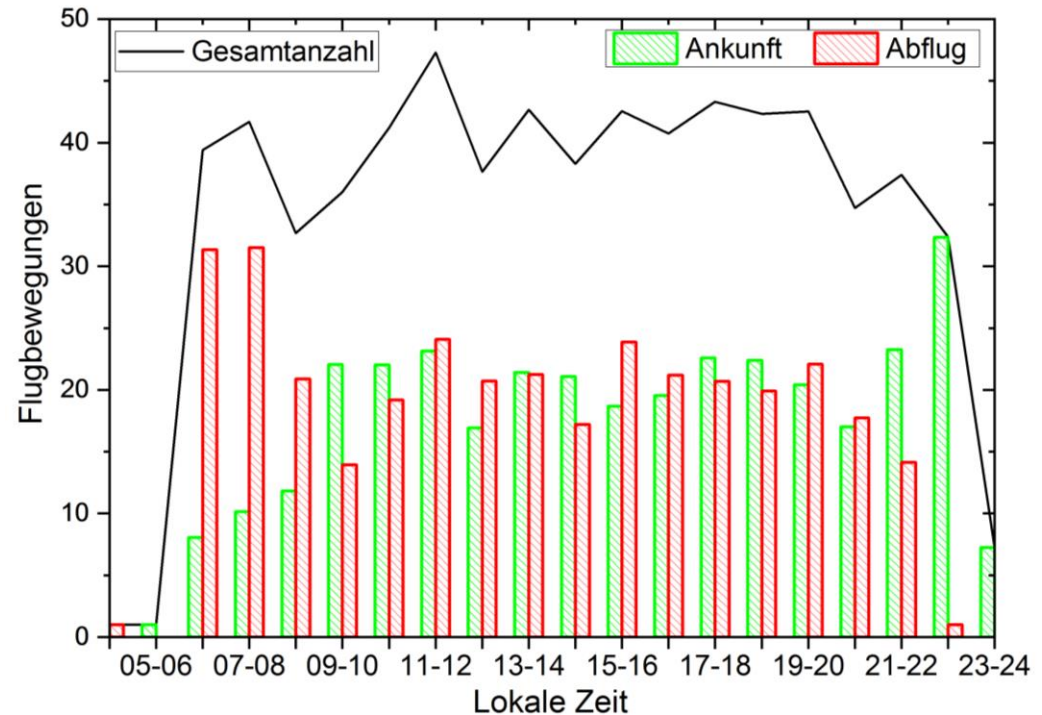
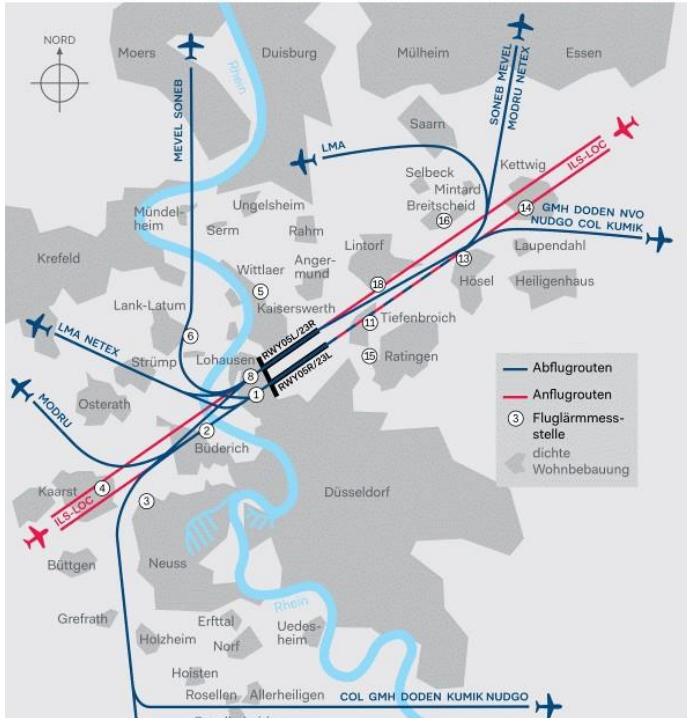
## ■ Resultate der UFP-Vergleichsmessungen in Mülheim-Styrum



- **Regressions Analyse, Vergleich mit TSI SMPS von LANUV Messstation Mülheim Styrum, dieses wurde mit Referenzlabor beim TROPOS verglichen**



- **Düsseldorf Airport DUS:**
- **Lande-/Abflugbahnen und Flugbewegungen**



Source: Düsseldorf Airport

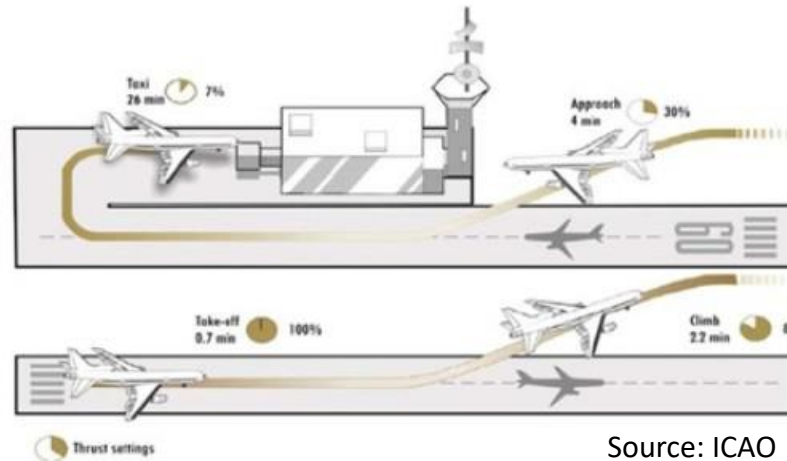
Lande-/Abflugbahnen

Gemittelte Abflüge-Ankünfte im Oktober 2018

## ■ Anflug-/Abflugzyklen nach ICAO

- Landing- Take-Off (LTO) by International Civil Aviation Organization (ICAO)

- **Taxi:**  
26 min; 7 % Schub  
(@DUS = 16min)



**Anflug:**  
4 min; 30 % Schub

**Take-Off**  
0.7 min; 100 % Schub

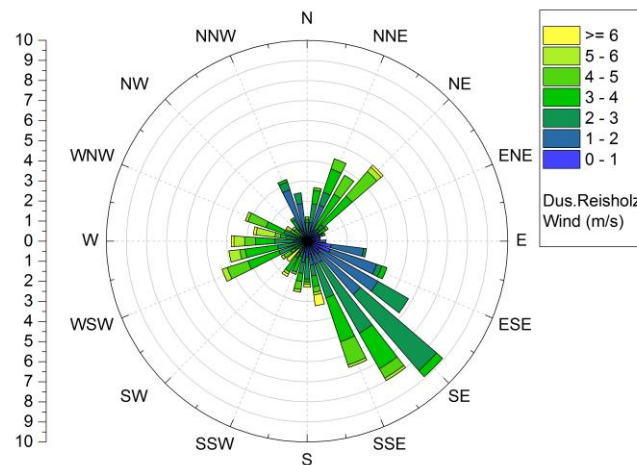
**Aufstieg:**  
2.2 min; 85 % Schub

## ■ Weitere potenzielle UFP-Quellen

- Auxiliary power units (APU) and ground power units (GPU)
- Transportbusse auf dem Rollfeld und Versorgungsfahrzeuge
- Straßenverkehr

## Übersicht über Messfahrten mit dem elektrischen Messfahrrad

Date	Time UTC	Route	Winddirection		Windspeed [m/s]	Status	Aircraft movements (Departure / Arrival)
				[°N]			
09.10.2018	15:00	DUS	ENE	60	0,7	West	
12.10.2018	12:30	DUS + North route	S	177	4,3	West	172 (89 / 83)
17.10.2018	15:20	DUS + South route	NNW	334	1,5	West	148 (75 / 73)
18.10.2018	12:00	DUS + South route	NNE	27	3,4	East	137 (70 / 67)
19.10.2018	07:20	DUS + West route	NNE	26	1,4	East	161 (77 / 84)
20.10.2018	12:30	DUS + South route	N	13	1,9	East	113 (59 / 54)
21.10.2018	08:30	DUS + North route	SSE	154	1,9	West	112 (61 / 51)
29.10.2018	04:00	DUS + West route	NNE	24	3,4	East	113 (84 / 29)
31.10.2018	07:00	DUS + North route	SE	144	3,3	West	123 (57 / 66)



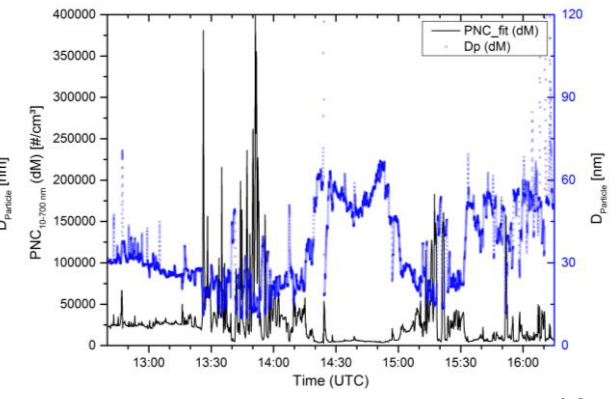
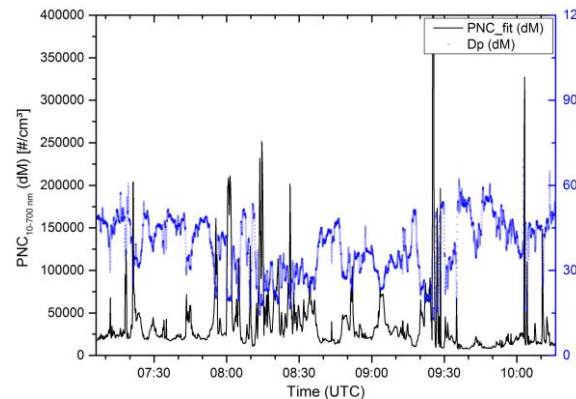
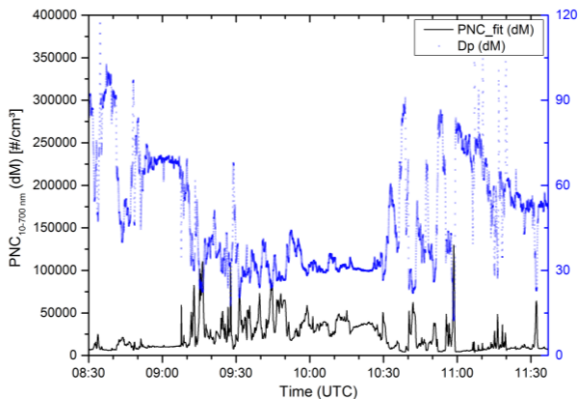
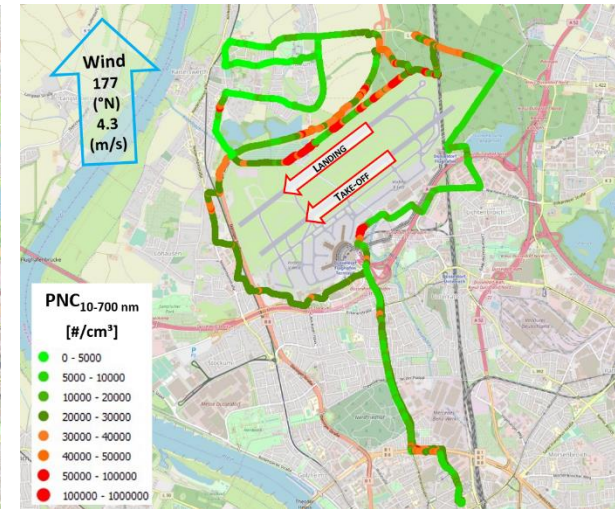
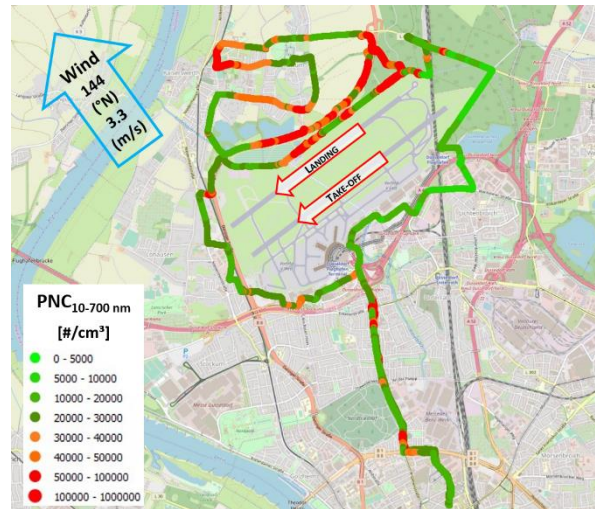
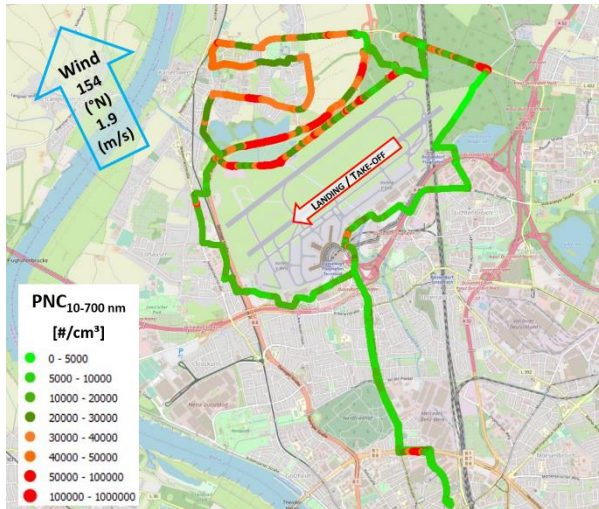
Station Reisholz

## ■ Nördliche Routen des Mess-Fahrrades, Übersicht

Sun. 21.Oct.  
154 °N - 1.9 m/s  
112 (61 - 51)

Wed. 31.Oct.  
144 °N - 3.3 m/s  
123 (57 - 66)

Fri. 12.Oct.  
177 °N - 4.3 m/s  
172 (89 - 83)



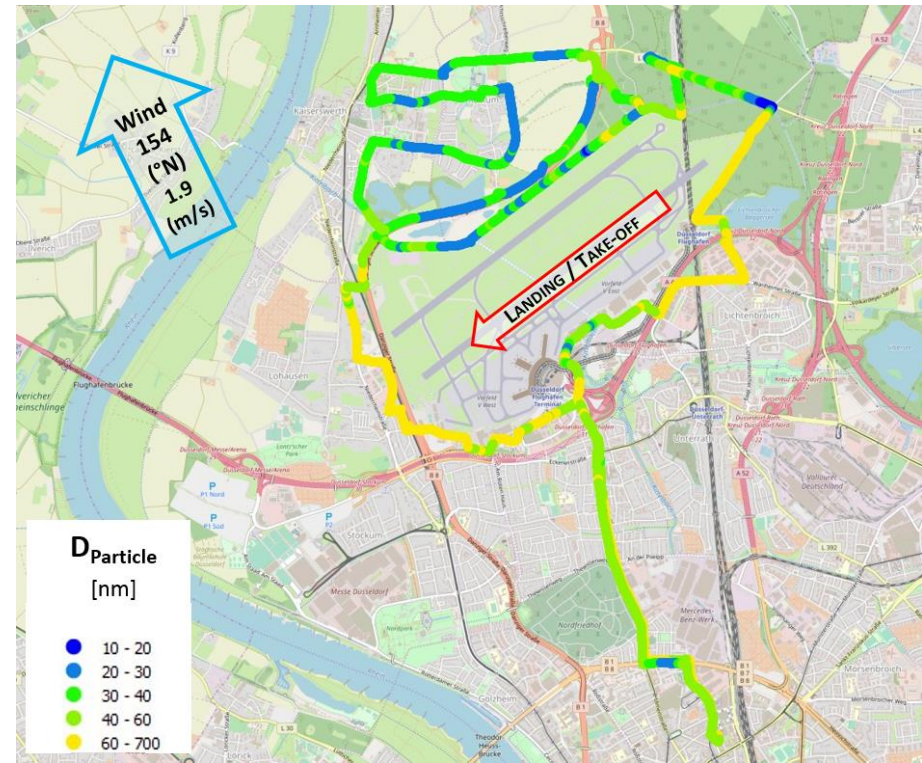
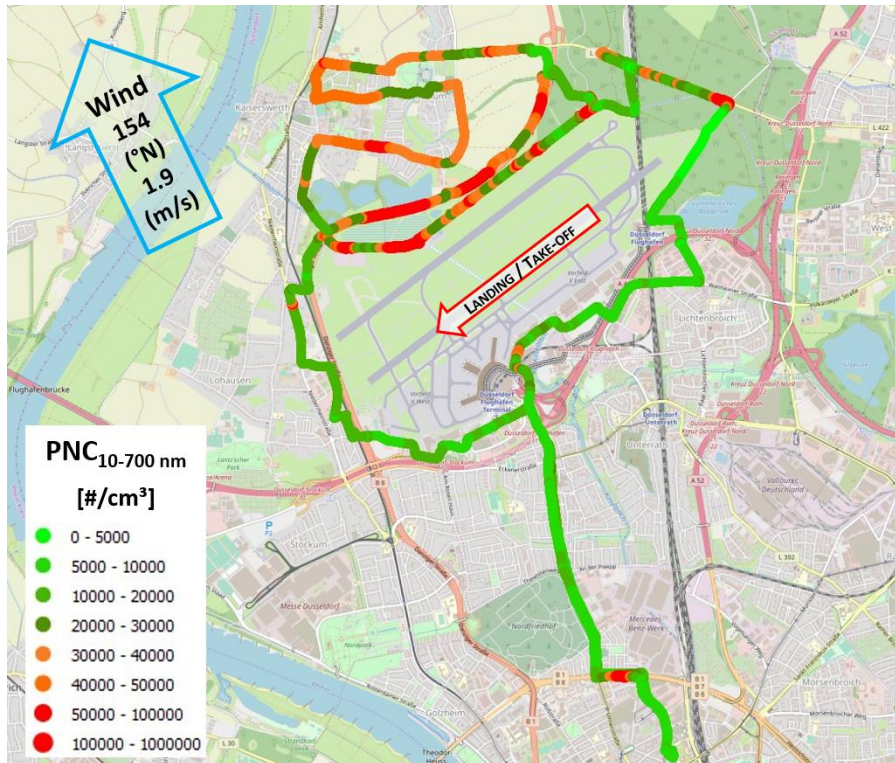
Zeitliche Auflösung 10 Sekunden

## Nördliche Route – Partikel-Anzahl-Konzentration und durchschnittlicher Partikeldurchmesser

Sun. 21.Oct.

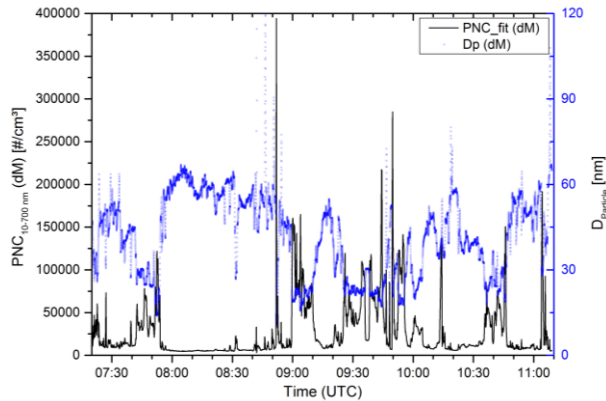
154 °N - 1.9 m/s

112 (61 - 51)

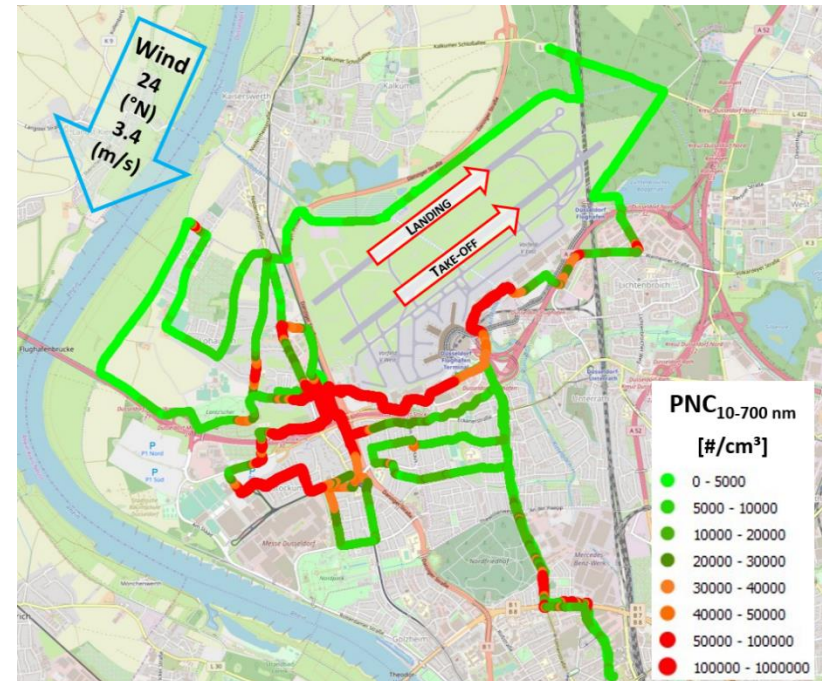
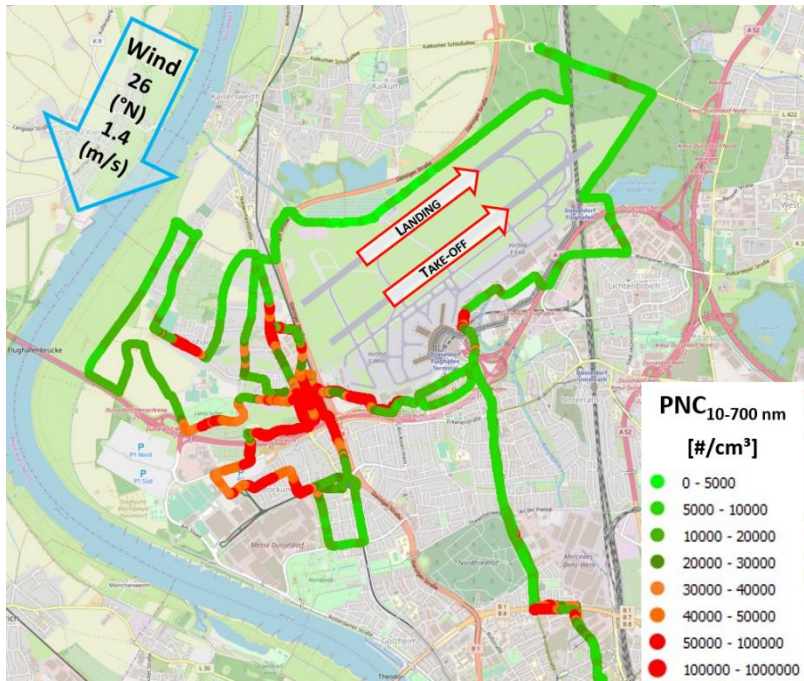
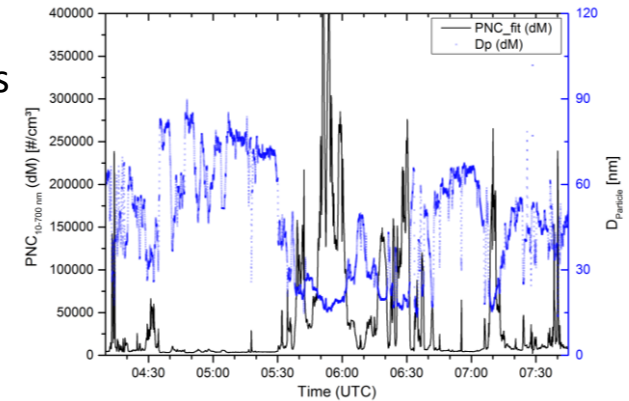


## Westliche Routen des Mess-Fahrrades, Übersicht

Fri. 19.Oct.  
26 °N - 1.4 m/s  
161 (77 - 84)



Mon. 29.Oct.  
24 °N - 3.4 m/s  
113 (84 - 29)

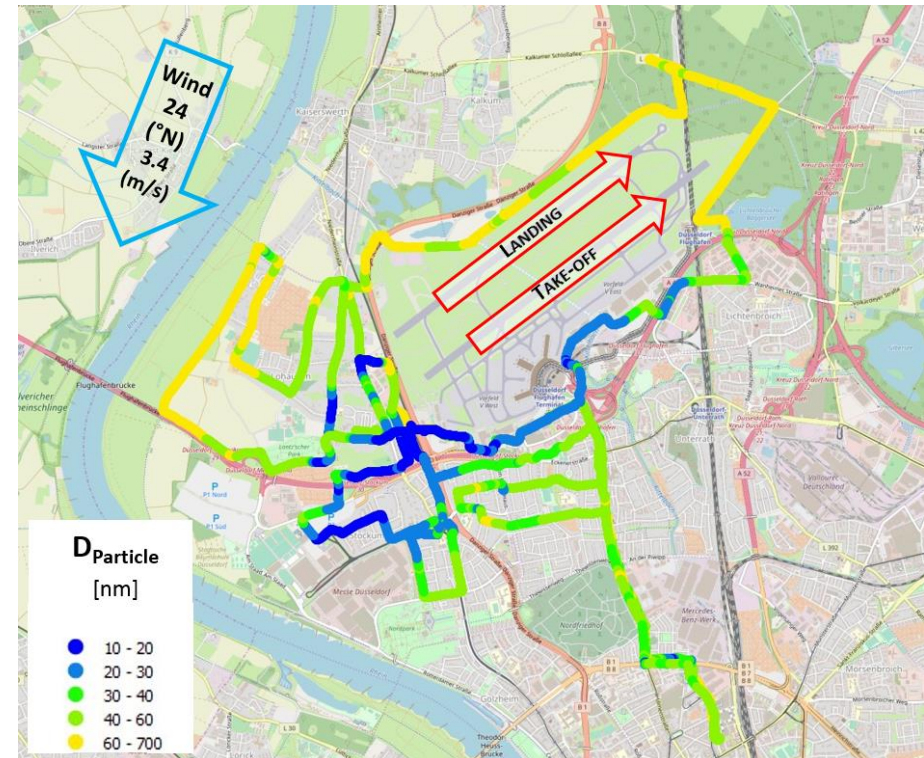
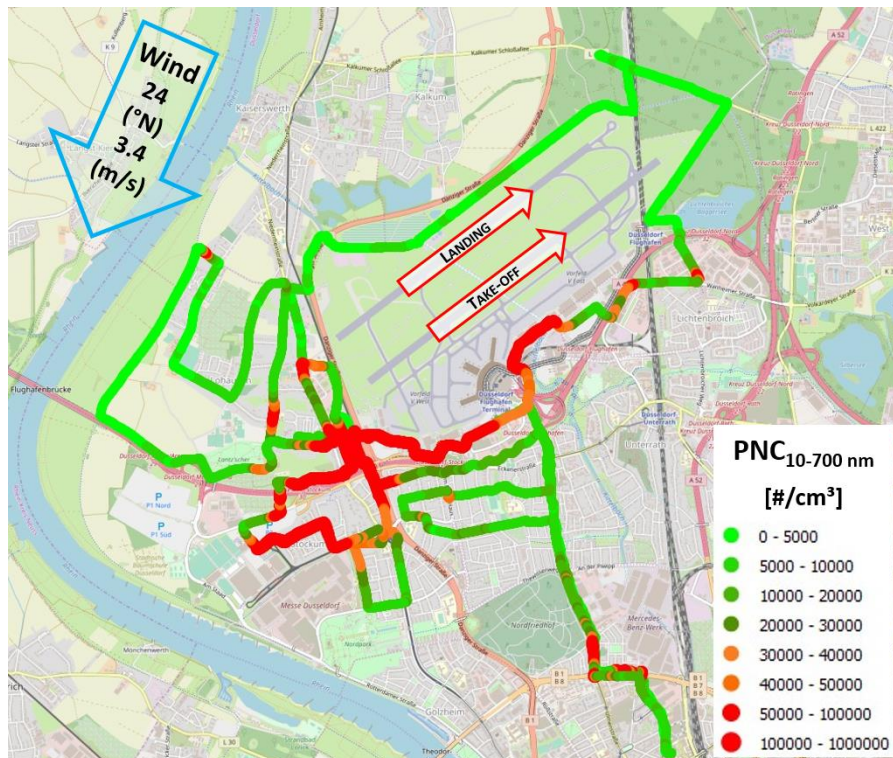


Zeitliche Auflösung 10 Sekunden



## West Route - Partikel-Anzahl-Konzentration und durchschnittlicher Partikeldurchmesser

Mon. 29.Oct.  
24 °N - 3.4 m/s  
113 (84 - 29)

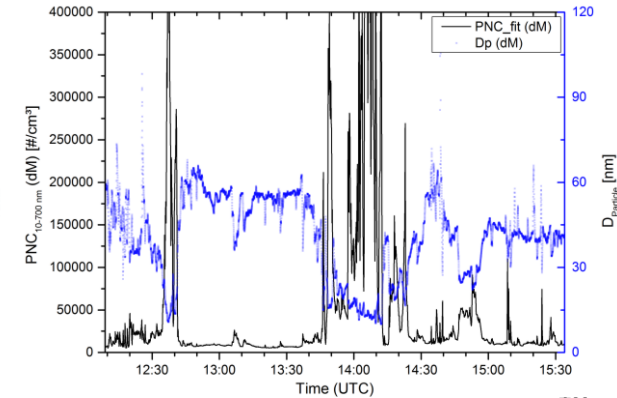
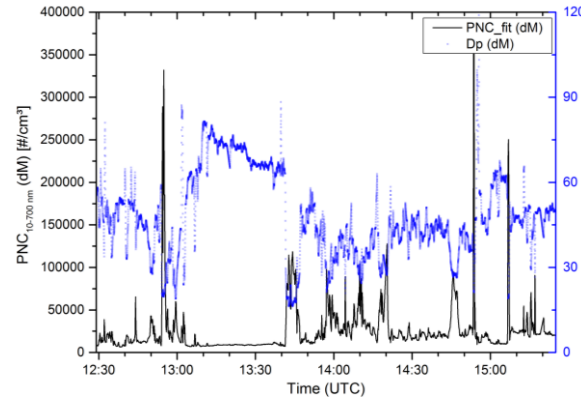
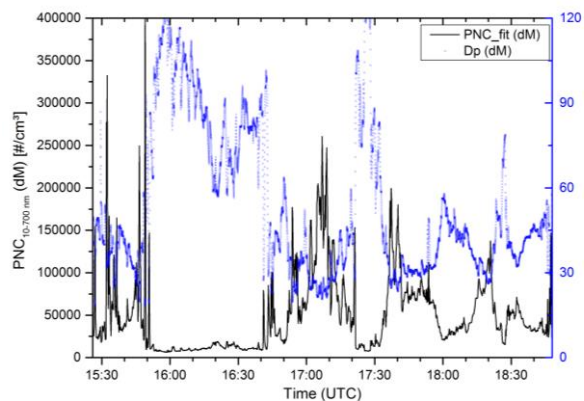
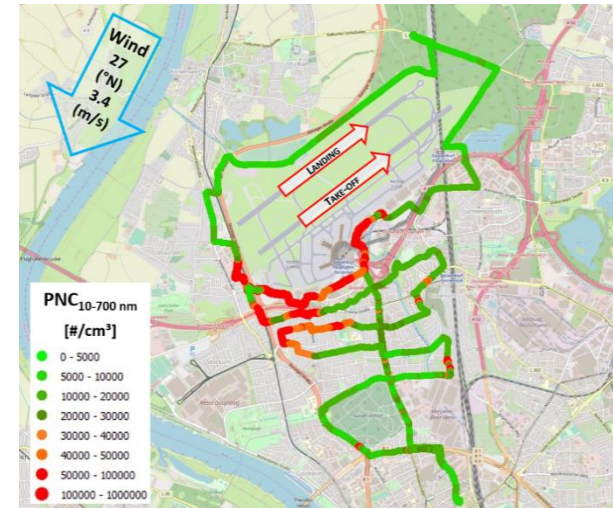
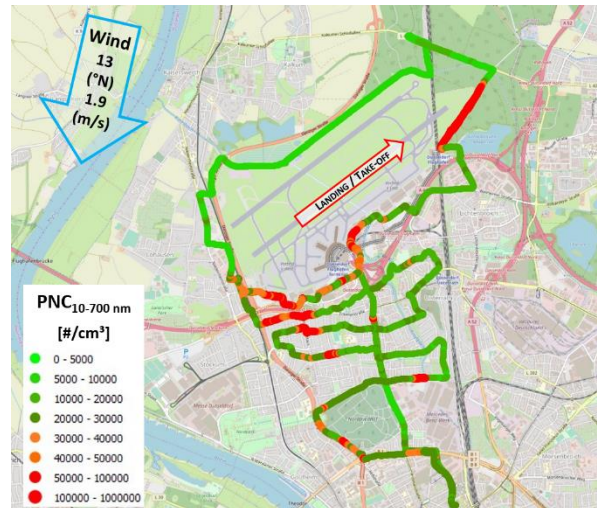
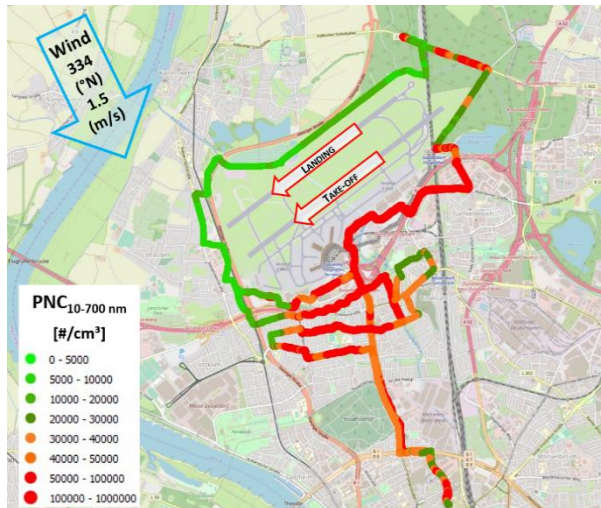


## ■ Südliche Routen des Mess-Fahrrades, Übersicht

Wed. 17.Oct.  
334 °N - 1.5 m/s  
148 (75 - 73)

Sat. 20.Oct.  
13 °N - 1.9 m/s  
113 (59 - 54)

Thu. 18.Oct.  
27 °N - 3.4 m/s  
137 (70 - 67)



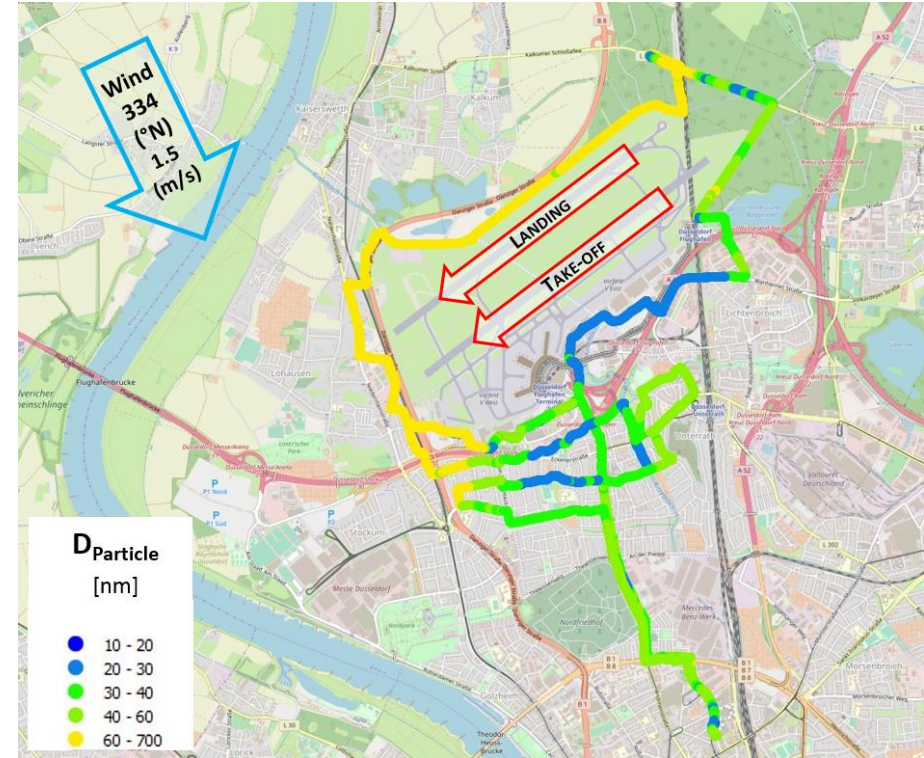
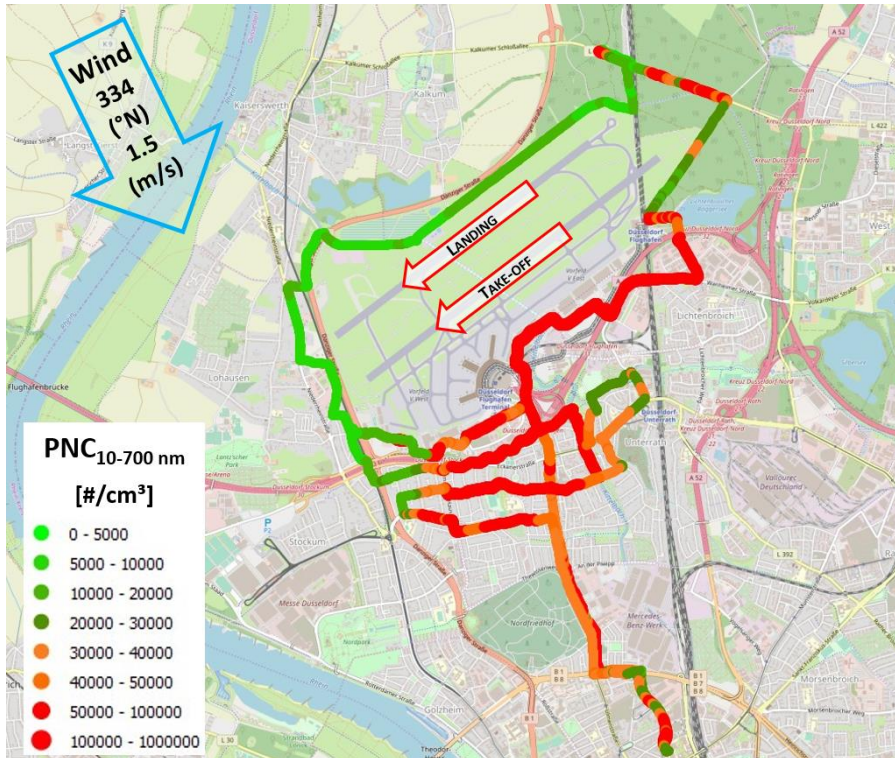
Zeitliche Auflösung 10 Sekunden

## ■ Nördliche Route – Partikel-Anzahl-Konzentration und durchschnittlicher Partikeldurchmesser

Wed. 17.Oct.

334 °N - 1.5 m/s

148 (75 - 73)



## Einfluss und Vergleich der Vorfeldemission während und vor dem Flugbetrieb

UFP-Konzentrationen in Abhängigkeit von Windrichtung und Flughafen-Betrieb (29.10.2019) Westroute

1. Round: (04:28 - 04:35 UTC) -> Vor Flugbetrieb

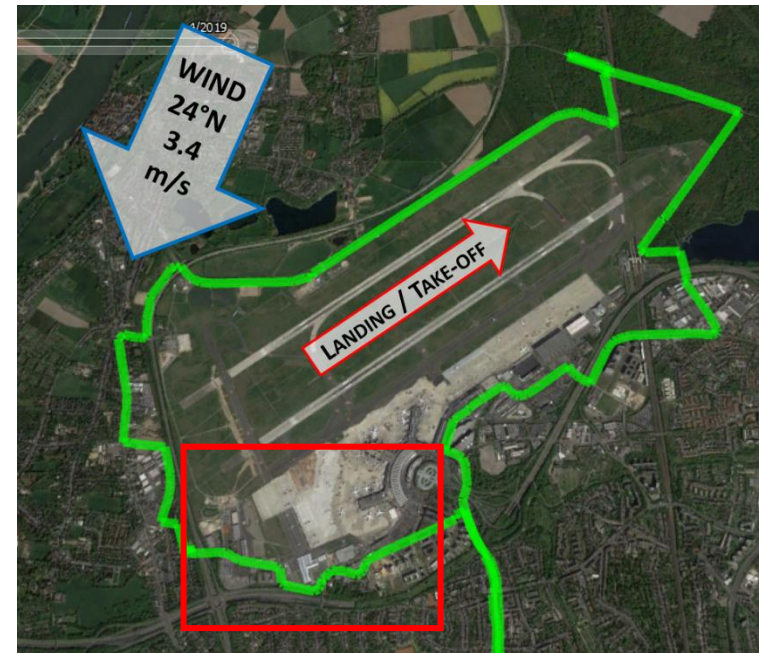
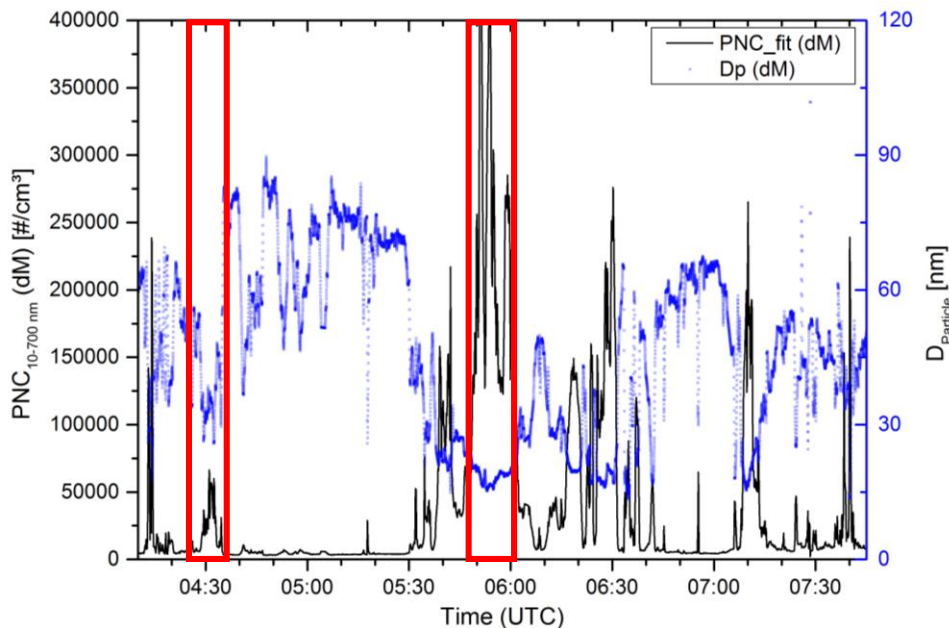
UFP (mean) = 32.000 #/cm<sup>3</sup> ( $D_p = 35$  nm)

1. Round: (04:50 - 05:30 UTC) -> Hintergrund (nördlich)

UFP (mean) = 4.400 #/cm<sup>3</sup> ( $D_p = 69$  nm)

2. Round: (05:45 - 05:52 UTC) -> Mit Flugbetrieb

UFP (mean) = 163.000 #/cm<sup>3</sup> ( $D_p = 21$  nm)



## ■ Forschungsflug am 31.10.2018

### Nachverfolgen der Abluftfahne des Flughafens über viele Kilometer in Lee des Flughafens



Zweimotorige  
Hochleistungsmaschine  
DA42

Hohe Reichweite, hohe  
Steigleistung,  
Instrumentenflug möglich  
(auch nachts)

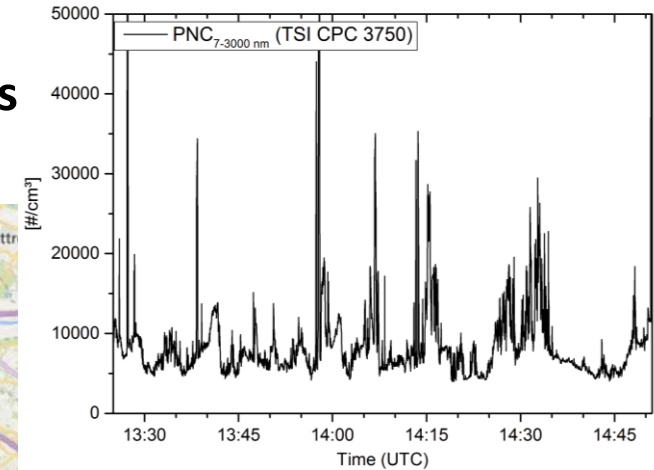
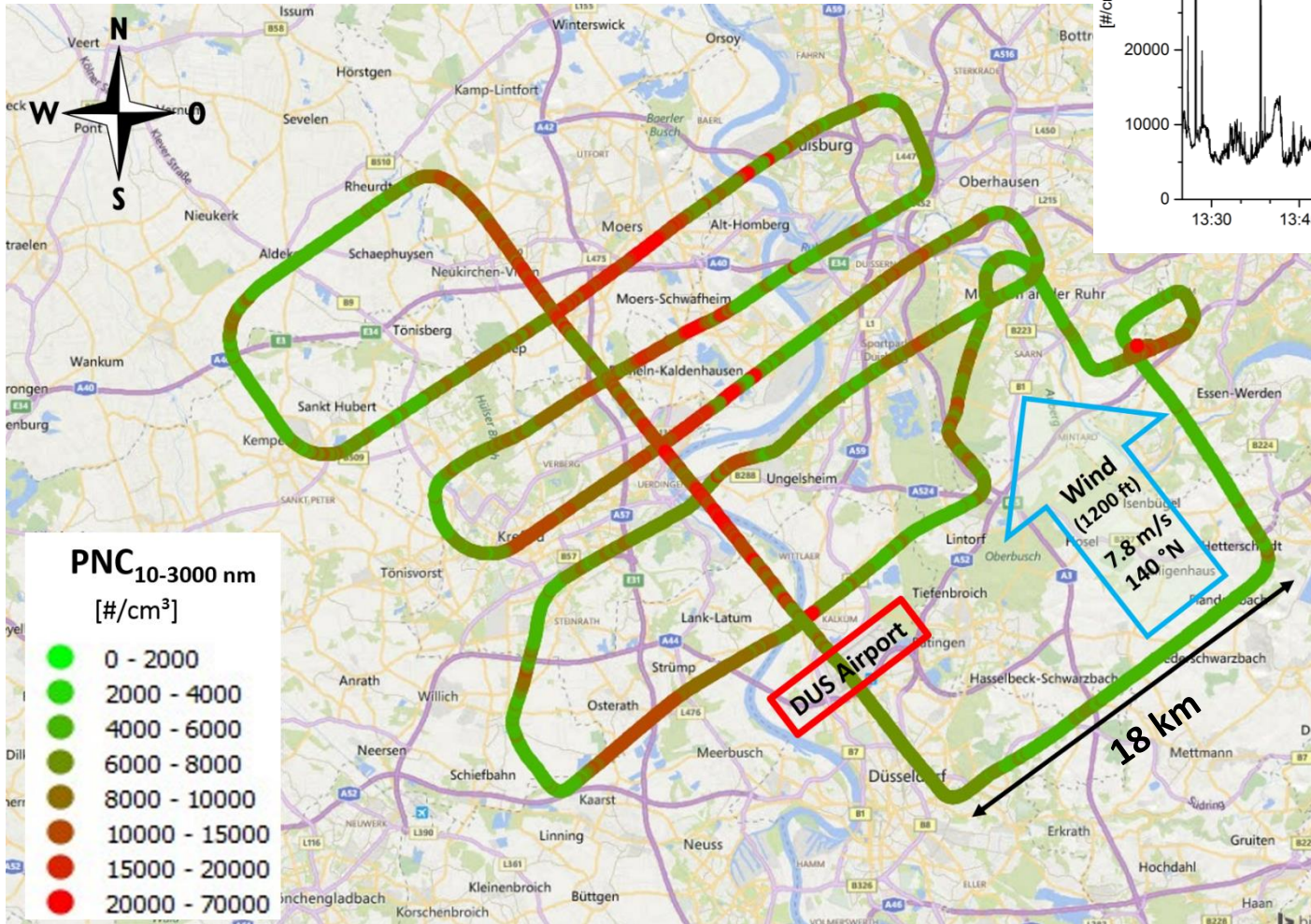
Aerosol- und Gasmessungen  
möglich

Ansonsten:  
Flüge bei Industrieanlagen, zum  
grenzüberschreitenden Schadstoff-  
Transport,  
Abluftfahnen von Großemittenden,  
Landesumweltamt Sachsen, DWD,  
Britische Regierung

## Forschungsflug am 31.10.2018

### Nachverfolgen der Abluftfahne des Flughafens

### über viele Kilometer in Lee des Flughafens

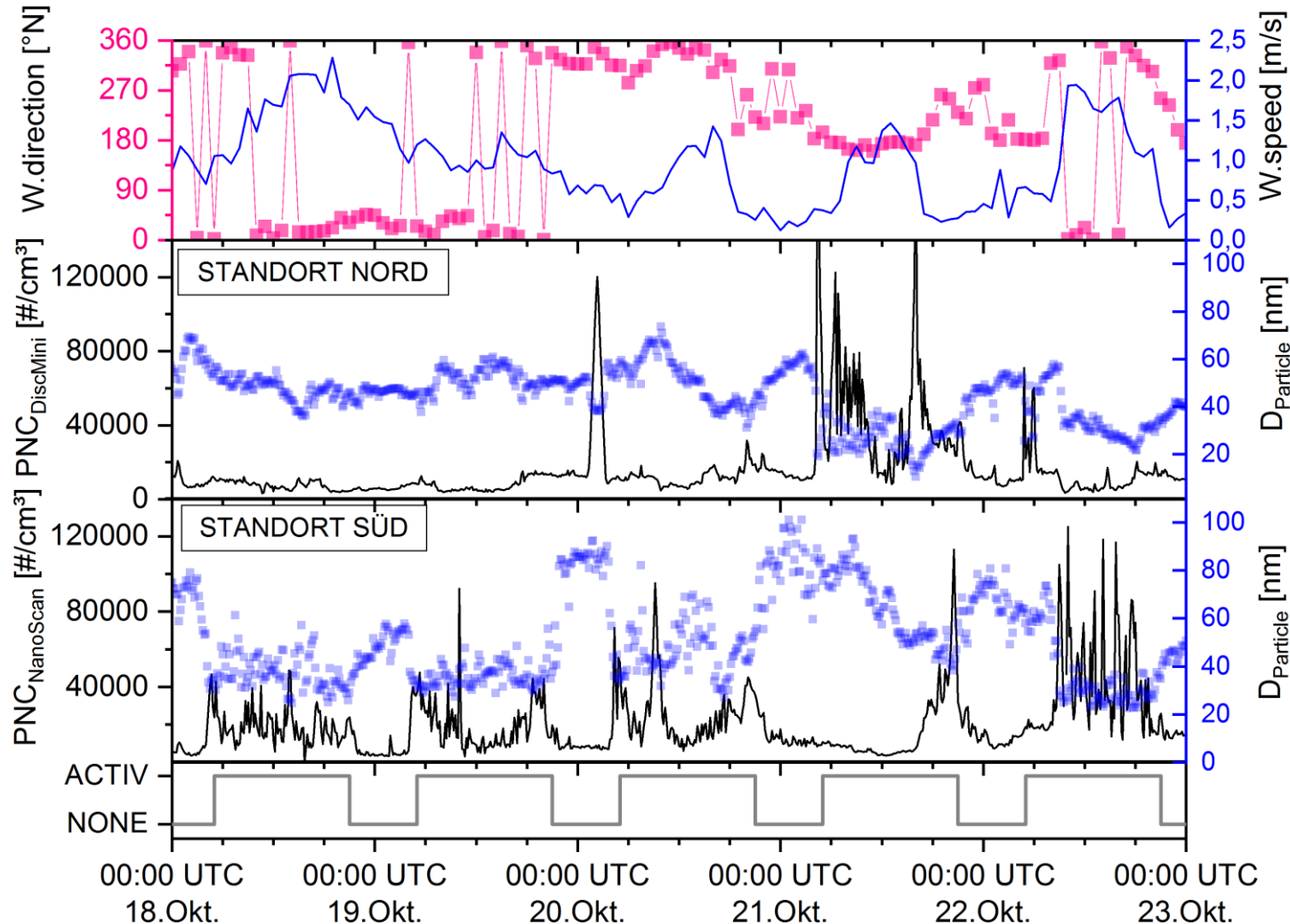


## ■ Messstandorte für die stationären Messsysteme



## Ergebnisse der stationären Messungen (Standort Nord, Standort Süd)

UFP-Konzentrationen in Abhängigkeit von Windrichtung (Windsonic) und Flughafen-Betrieb



Zeitliche Auflösung 10 Minuten

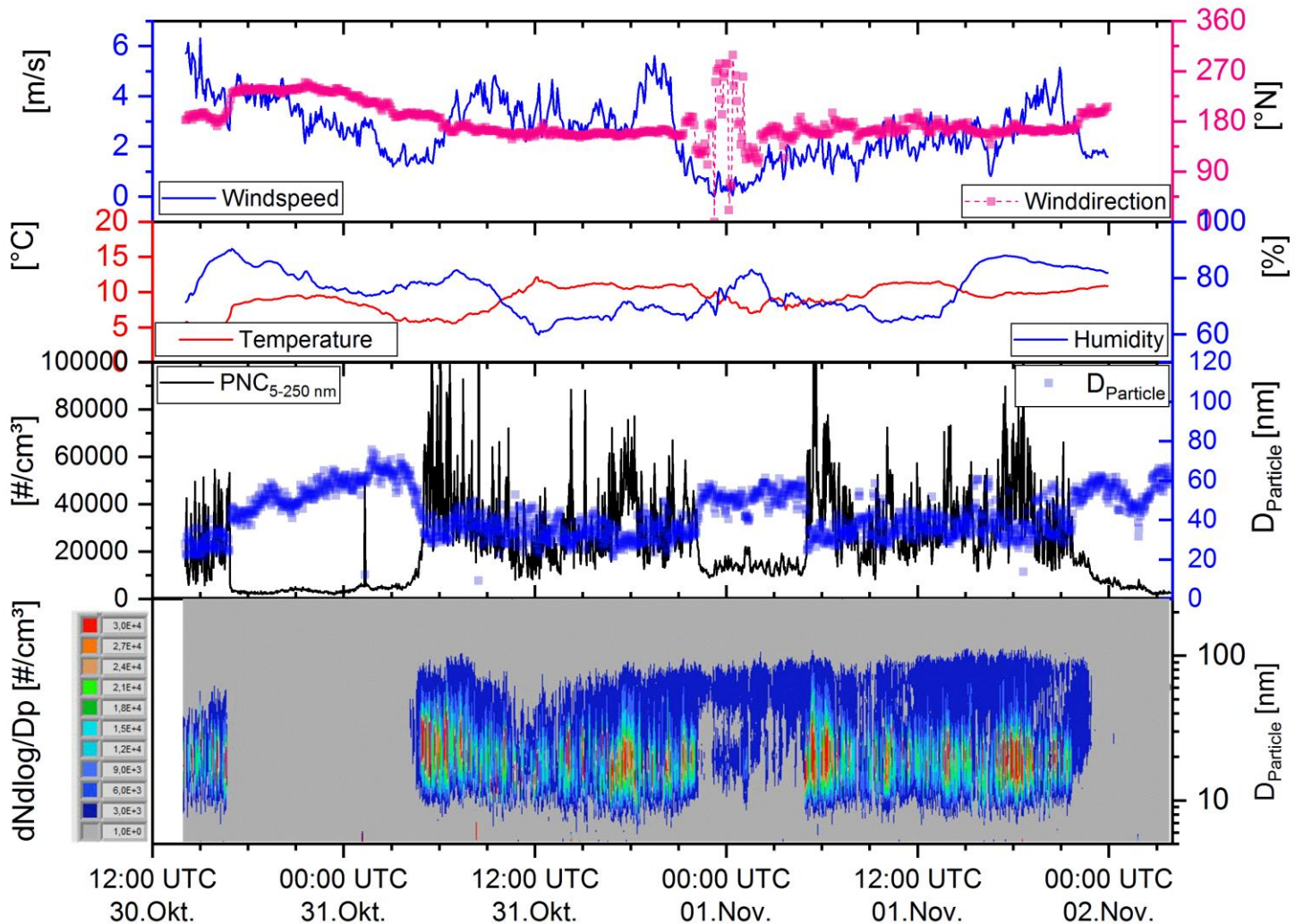


## ■ Messstandorte für die stationären Messsysteme



## Stationäre Messungen mit dem Messwagen (SMPS)

Standort: Nord Mitte

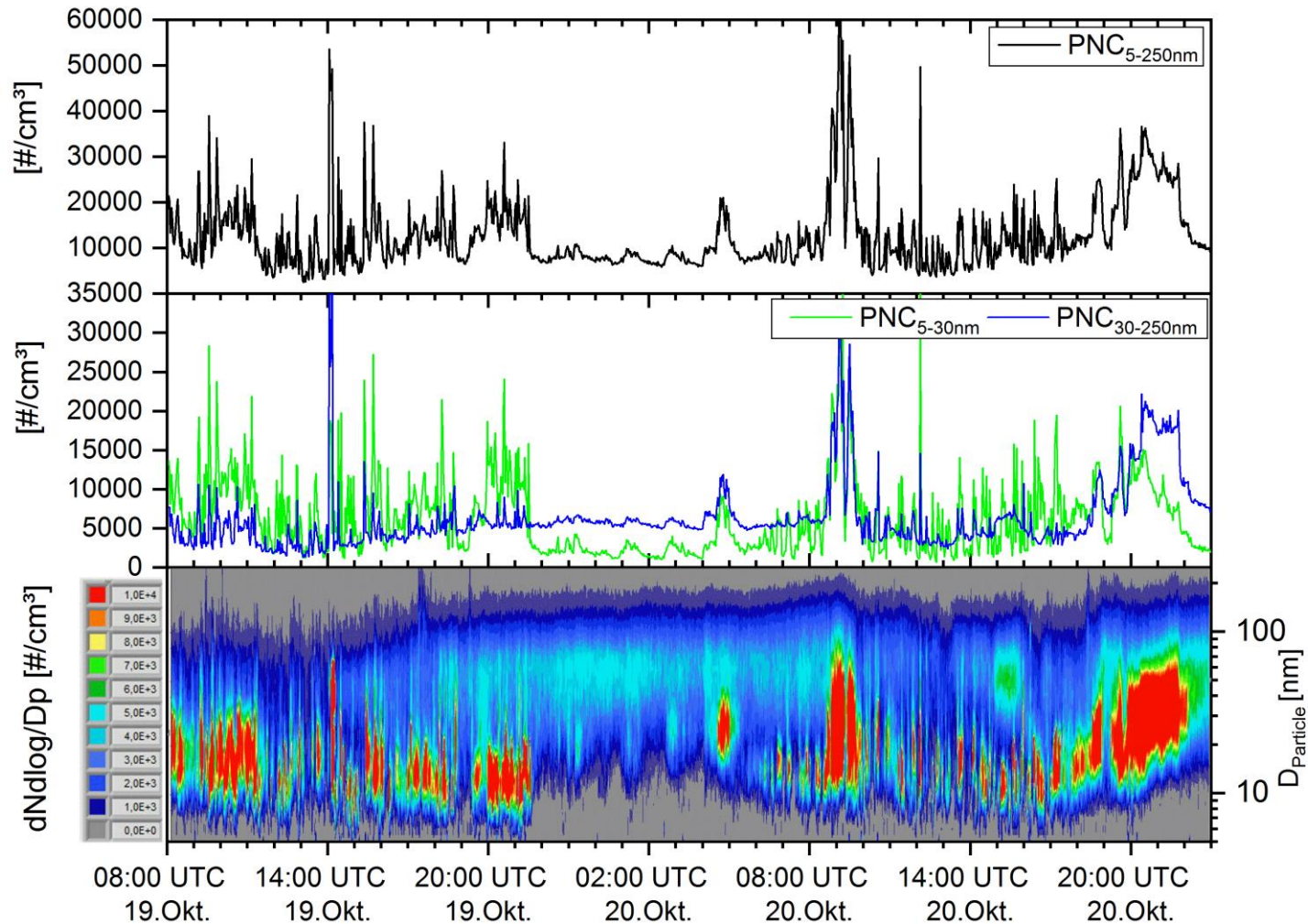


## ■ Messstandorte für die stationären Messsysteme



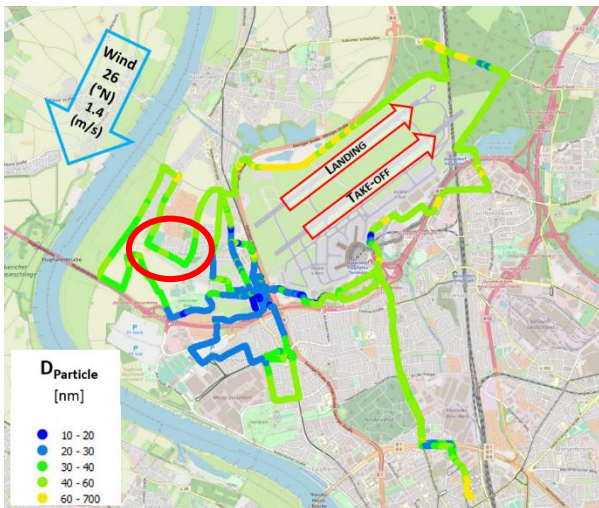
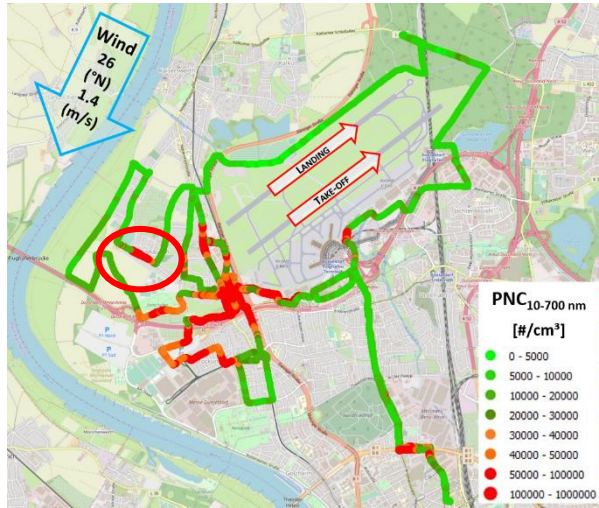
## ■ Stationäre Messungen mit dem Messwagen (SMPS)

Standort: West



Zeitliche Auflösung 2 Minuten

- Unterscheidung zum Straßenverkehr durch Partikelgröße



19.10.18 10:13:33

Kamera-Aufnahme während der Messfahrt zur Quellenzuordnung

- **Schlussfolgerungen aus diesen Untersuchungen**
  - Es konnte deutlich die UFP-Abluftfahne des Düsseldorfer Flughafens bei verschiedenen Windrichtungen in Lee des Flughafens identifiziert werden
  - Luv-Lee Vergleiche ergaben deutliche Unterschiede sowohl bei mobilen als auch bei stationären Messungen, d.h. sowohl die mobilen als auch die stationären Messungen zeigen den Flughafen als UFP-Quelle

- **Schlussfolgerungen aus diesen Untersuchungen**
  - Die gemessenen UFP-Konzentrationen sind stark mit den Aktivitäten des Flughafens korreliert (Tag-Nacht-Unterschiede)
  - Die UFP, die durch den Flughafen freigesetzt werden, haben einen kleinen Partikel-Durchmesser von etwa  $D_p \sim 10-20$  nm, der mittlere Durchmesser der UFP-Partikel kann als zusätzlicher Indikator zur Unterscheidung zwischen UFPs aus Jet-Triebwerken und KFZ-Verkehr herangezogen werden
  - Die UFP-Fahne des Flughafens konnte bis zu einige Kilometer in Lee des Flughafens nachverfolgt werden

- **Ausblick weitere Untersuchungsmöglichkeiten (teilweise schon begonnen)**
  - Unterscheidung flüchtiger/nichtflüchtiger Verbindungen mit Thermo-Denudern (für LASPORT von Bedeutung)
  - Weitere Untersuchungen mit Forschungsflugzeug
  - Zusätzliche Untersuchungen mit Messdrohnen, auch mehrere synchron, direkte Detektion der Abluftfahne möglich (für LASPORT von Bedeutung), zwei bis drei Drohnenpiloten an der HSD vorhanden.
  - Erste Untersuchungen mit Messdrohnen wurden jetzt bereits am Flughafen Düsseldorf durchgeführt.



## ■ Messdrohnen an der HSD, selbstgebaute und kommerzielle Drohnen

	UAS1	UAS 2	UAS 3	UAS 4
Durchmesser	0,6 m	0,82 m	1,15 m	1,13 m
Leergewicht	1,3 kg	2,4 kg	3,8 kg	9,6 kg
Abfluggewicht	2,6 kg	5,5 kg	10,0 kg	15,1 kg
Flugzeit	20 min	25 min	25 min	25 min

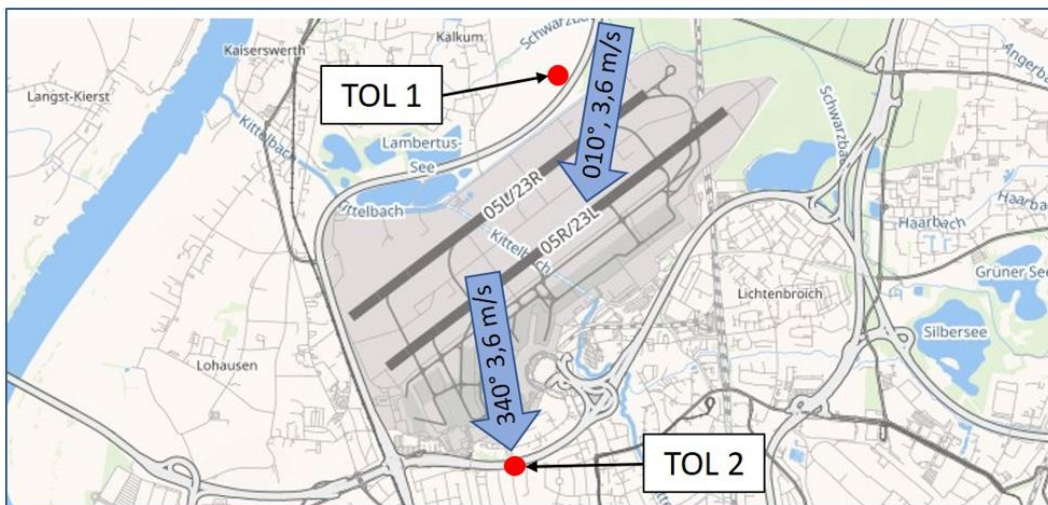
Zahlreiche Untersuchungen mit diesen Drohnen wurden bereits im industriellen und urbanen Umfeld von UMT durchgeführt



## ■ Beispiel für Untersuchungen von Ultrafeinpartikeln am Düsseldorfer Flughafen mit Messdrohnen



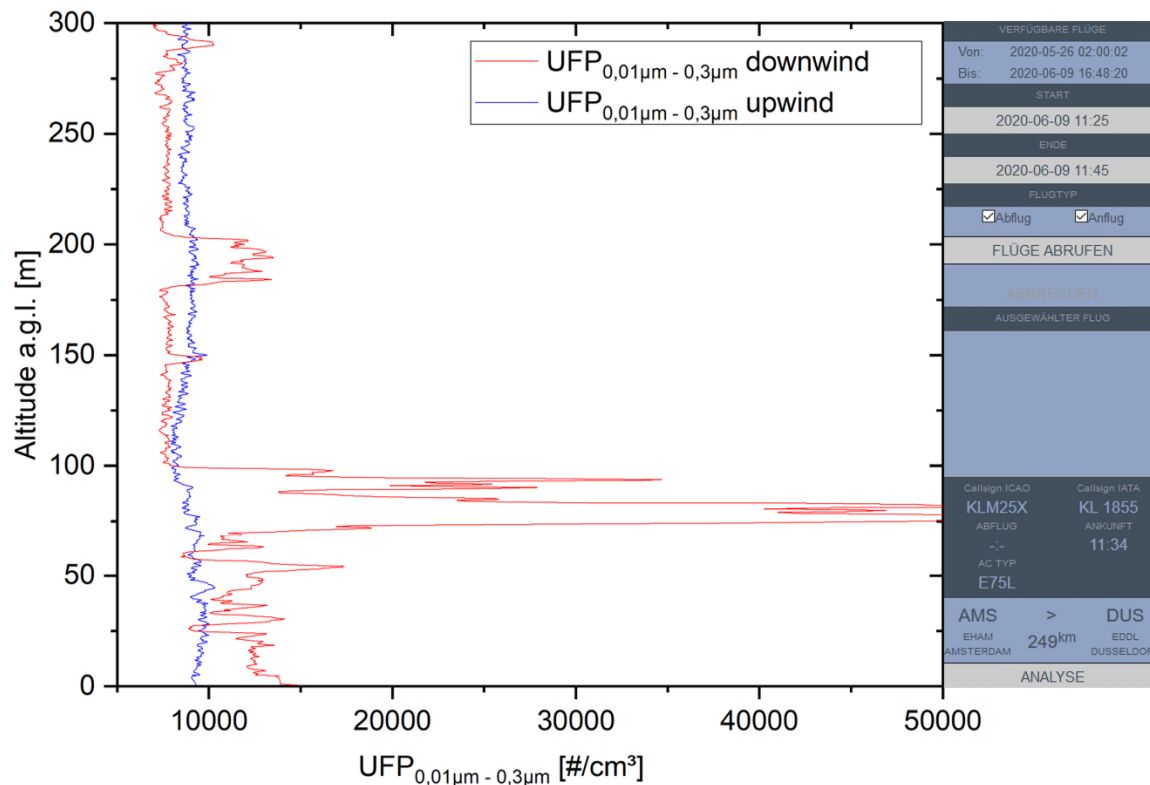
UMT-Messdrohne bei Untersuchungen am Flughafen Düsseldorf



Aufstiegs- und Landepunkte der UMT-Messdrohne am Flughafen Düsseldorf (TOL 1 und TOL 2)

## ■ Beispiel für Untersuchungen von Ultrafeinpartikeln am Düsseldorfer Flughafen mit Messdrohnen

Hier im Beispiel: Detektion und Quantifizierung der Abgasfahne eines einzelnen Flugzeugs im Flug



Emissionsfahne eines einzelnen Flugzeugs in etwa 80 m Höhe am Flughafen Düsseldorf, mit UMT Messdrohne gemessen (roter Graph: mit der Drohne gemessenes UFP-Vertikalprofil in Lee, blauer Graph: UFP-Vertikalprofil in Luv, blaues Chart: Flugdaten des Flugzeugs)

## ■ **Schlußbemerkung**

- Signifikante Erhöhungen der UFP-Konzentrationen konnten mit mobilen und stationären Messungen in der Abluftfahne des Düsseldorfer Flughafens nachgewiesen werden
- Es wurde auch ein Forschungsflugzeug für die Untersuchungen eingesetzt
- Die Untersuchungen werden derzeit mit verschiedenen fortschrittlichen Methoden zur Erweiterung der Aussagen noch ergänzt, z.B. durch Untersuchungen mit Messdrohnen direkt am Flughafen
- Wir danken dem LANUV NRW und dem MULNV für die Förderung
- **Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !!!**

Thank you very much for your attention.

**Contact:**

**Prof. Dr. Konradin Weber**

University of Applied Sciences Duesseldorf  
Laboratory for Environment Measurement Techniques

+49 (0) 175 4141 444

[konradin.weber@hs-duesseldorf.de](mailto:konradin.weber@hs-duesseldorf.de)