



# **UFP-Belastungsstudie im Raum Frankfurt Flughafen und Region**

**Umwelt- und Nachbarschaftshaus Kelsterbach**

**8. März 2024**

Prof. Dr. Alexander Vogel (Goethe-Universität Frankfurt)

Projektleitung: Dr. Markus Hermann (Leibniz Institut für Troposphärenforschung, Leipzig)



## **SOURCE FFR**

„**Study on the ultrafine particles in the Frankfurt airport region**“

Eine wissenschaftliche Studie im Auftrag des Forum Flughafen und Region.

Belastungsstudie

Wirkungsstudie

## SOURCE FFR

„Study on the ultrafine particles in the Frankfurt airport region“

Eine wissenschaftliche Studie im Auftrag des Forum Flughafen und Region.

### UFP-Belastungsstudie



Leibniz-Institut für  
Troposphärenforschung

Auftragnehmer, Koordination, Messung

Hellebrandt  
Air Consulting

ETH zürich



TNO



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Modellierung

Messungen

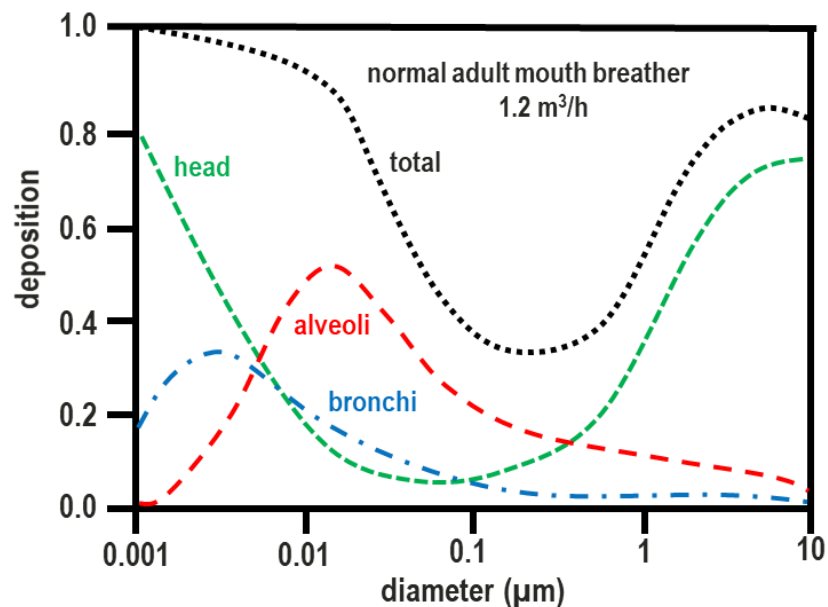
## Ziele der Belastungsstudie

Durchführung einer UFP-Belastungsstudie, in enger Abstimmung mit dem UNH/FFR, welche die Belastungssituation durch UFP in der Rhein-Main-Region hinreichend genau erfasst bzw. berechnet und darstellt.

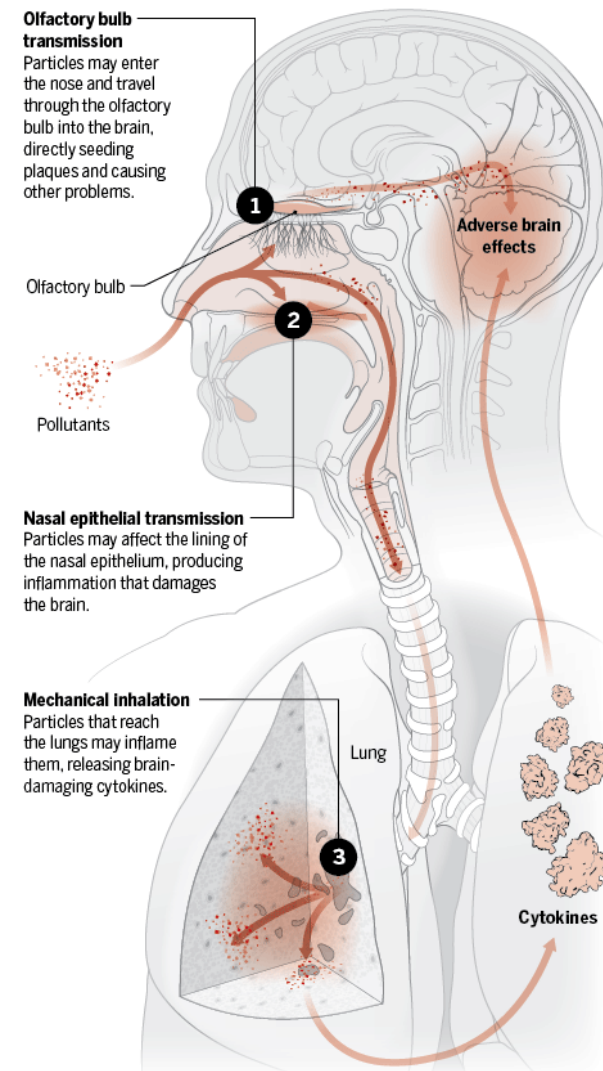
- (a) Erfassung der UFP-Emissionen des Frankfurter Flughafens und aus anderen relevanten Quellen in der Umgebung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung.
- (b) Messung der lokalen und regionalen Partikelgrößenverteilungen und Partikelanzahlkonzentrationen von flüchtigen und nicht-flüchtigen Partikeln im Größenbereich von mindestens 10 - 800 nm Durchmesser.
- (c) Erstellung von validierten Immissionskarten für das Beobachtungsgebiet und Bestimmung der Anteile von unterschiedlichen UFP-Emissionsquellen an den Immissionen.

# Motivation

- Große Anzahl kleiner Partikel → große Oberfläche.
- Entzündungen mit Auswirkungen auf die Atemwege und das Herz-Kreislauf-System.
- Exposition ggü. UFP führt zu einer systemischen Verbreitung im gesamten Körper (Riechnerv → Gehirn).



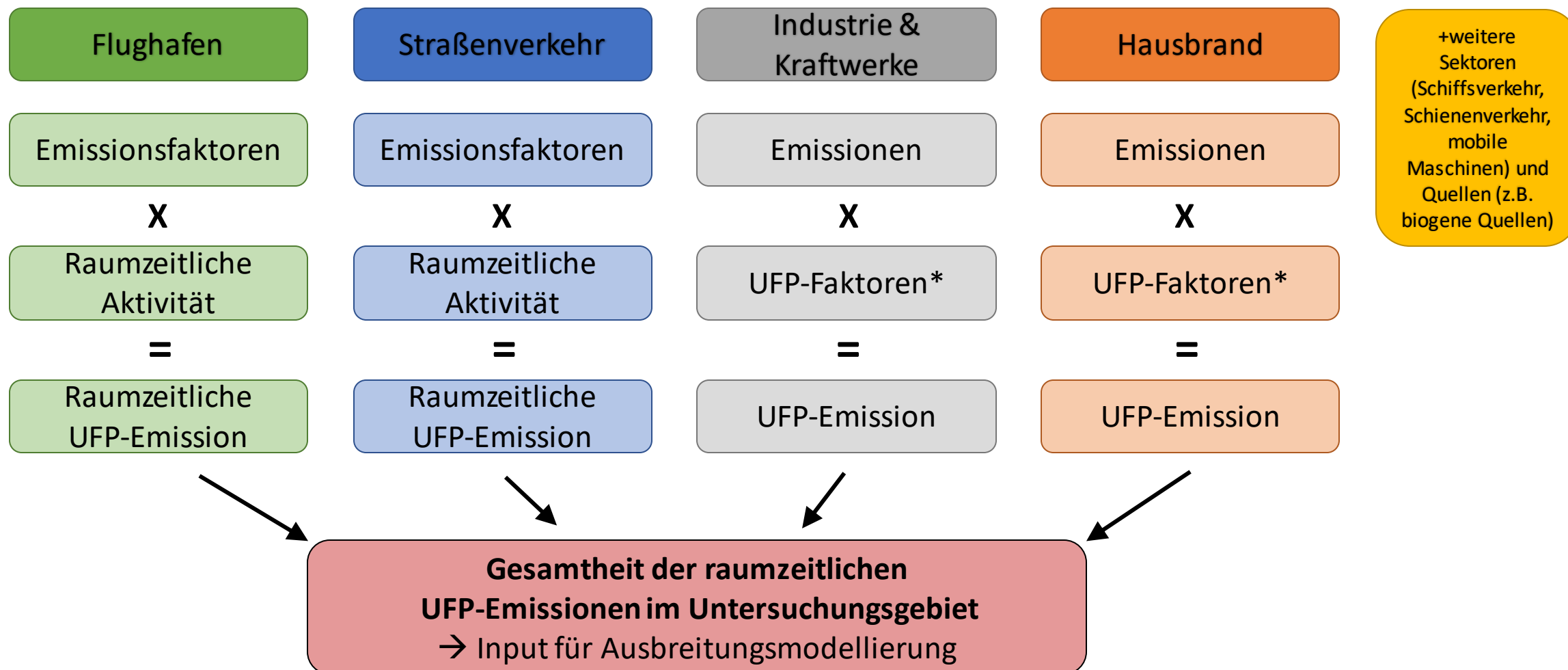
Adapted from:  
Geiser and Kreyling, *Particle Fibre Toxicol*, 2010



Adapted from:  
Underwood, *Science*, 2017



# Erfassung der UFP-Emissionen in der Region



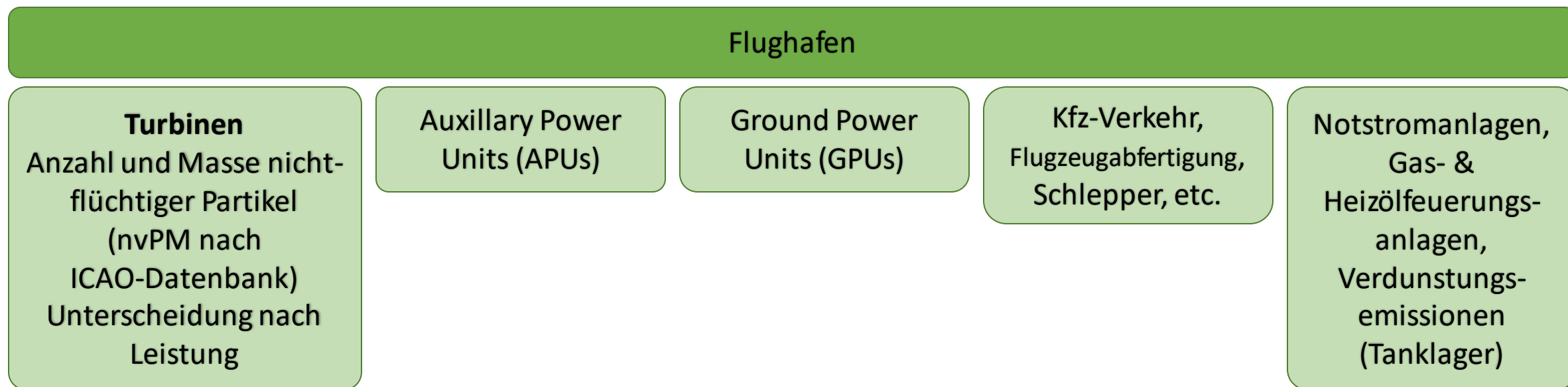
\*UFP-Faktoren werden aus  $PM_{2.5}$  Emissionen per Sektor mit dem jeweiligen UFP/ $PM_{2.5}$  Verhältnis berechnet (RI-URBANS).



## Erfassung der UFP-Emissionen am Flughafen

Herausforderung der UFP-Emissionen am Flughafen:

große Anzahl heterogener Quellen, deren raum-zeitliche Aktivität teils nicht erfasst ist.



- Schmierölemissionen von Turbinen sind nicht bekannt/quantifiziert.
- UFP aus der unvollständigen Verbrennung von Kerosin ist nicht erforscht.
- UFP Emissionen von APUs & GPUs sind nicht bekannt (insbes. Anzahl/Größe/Flüchtigkeit).





# Messung der UFP-Emission am Frankfurter Flughafen

*Problem:* Emissionsdatenbanken von Flugzeugturbinen enthalten keine Information über die Emission von flüchtigen Partikeln.

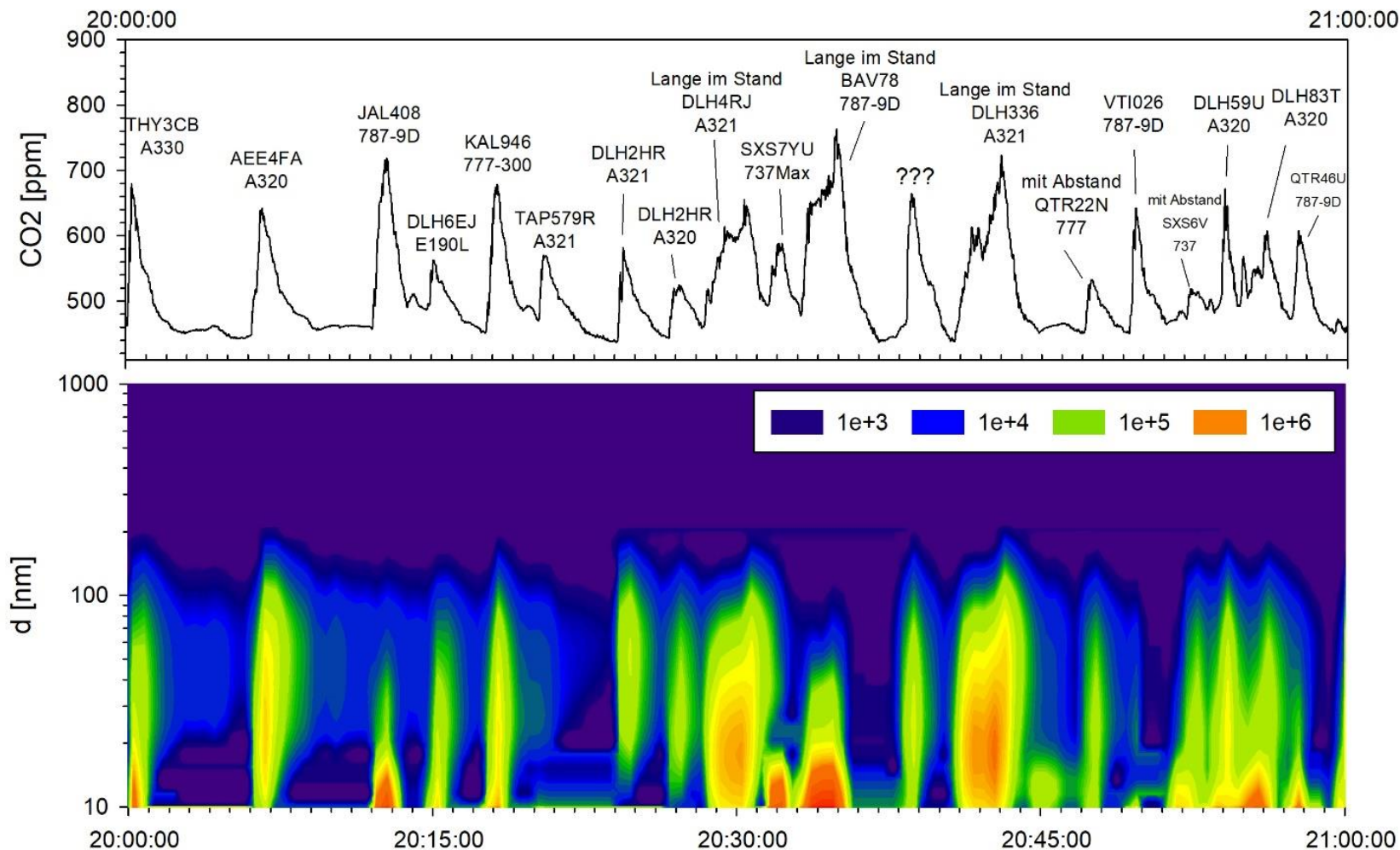
*Lösungsansatz:* Quellnahe Messung der Gesamtpartikelanzahl und der nicht-flüchtigen Partikelanzahl. Bestimmung der Emissionsfaktoren über Messung von CO<sub>2</sub>.



1. UFP-Emissionskampagne  
im September / Oktober 2023



# Messung der UFP-Emission am Frankfurter Flughafen



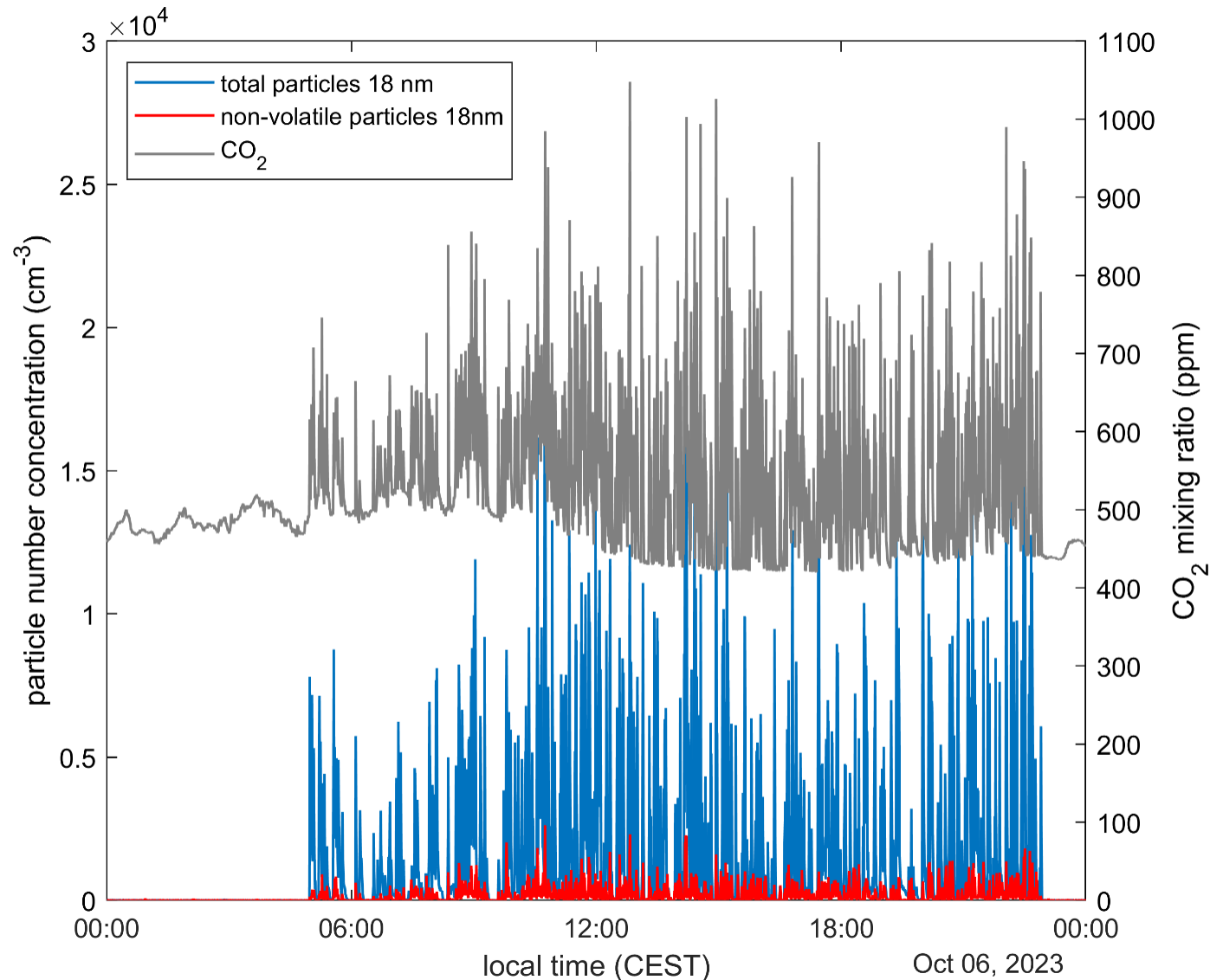
## Messungen an der Blastwall

Anzahl-Größenverteilung der nicht-volatilen Partikel.

Große Heterogenität in Anzahl und Größenspektrum verschiedener Flugzeug-/Triebwerkstypen.

Tobias Schripp, DLR-VT

# Messung der UFP-Emission am Frankfurter Flughafen



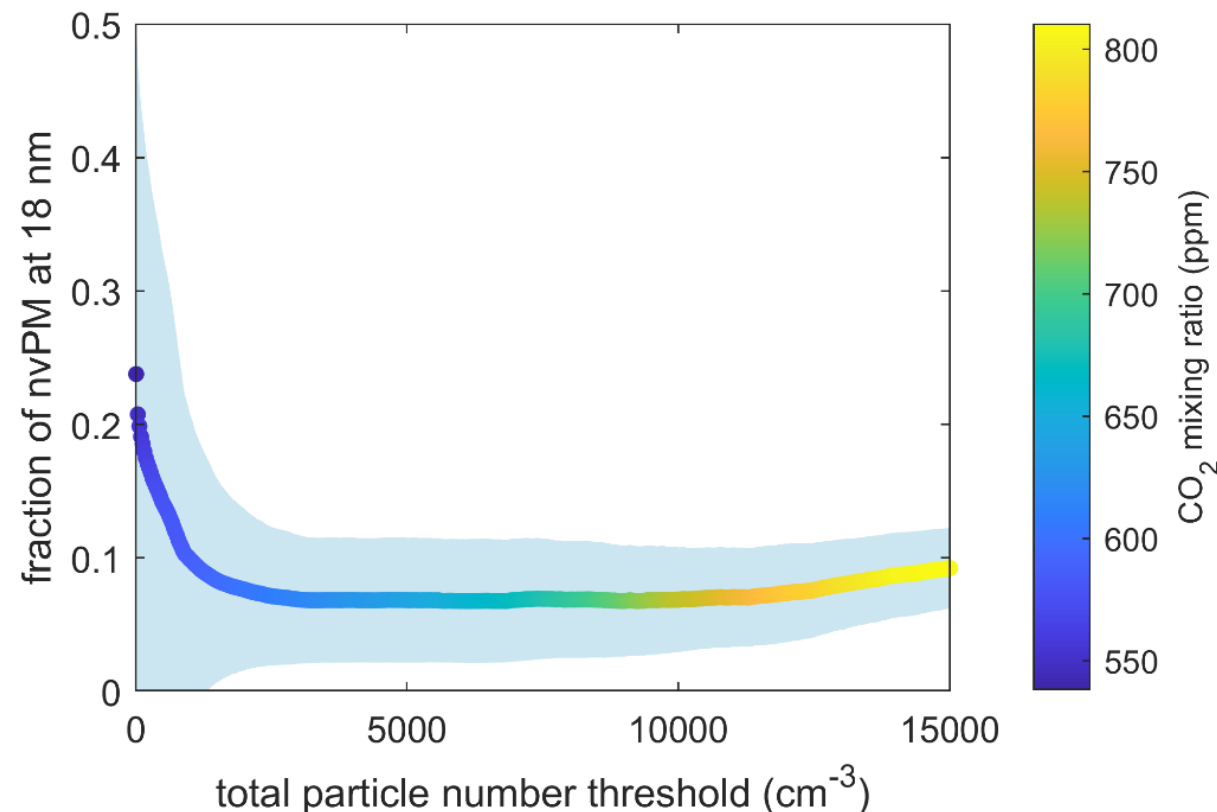
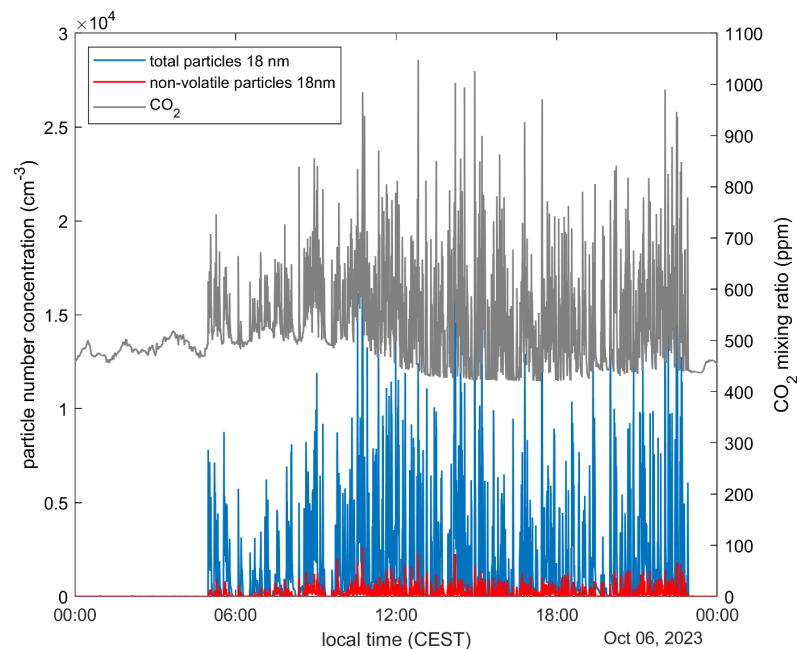
Messungen (DLR-VT) an der Blastwall der Startbahn West

Deutliche Korrelation zwischen CO<sub>2</sub>-Signal und Partikelanzahl-Konzentration (18 nm-Partikel).

Während des Nachtflugverbots: Sehr wenige 18 nm Partikel (teils unter Nachweisgrenze des Detektors) & keine Peaks im CO<sub>2</sub>-Signal.



# Messung der UFP-Emission am Frankfurter Flughafen

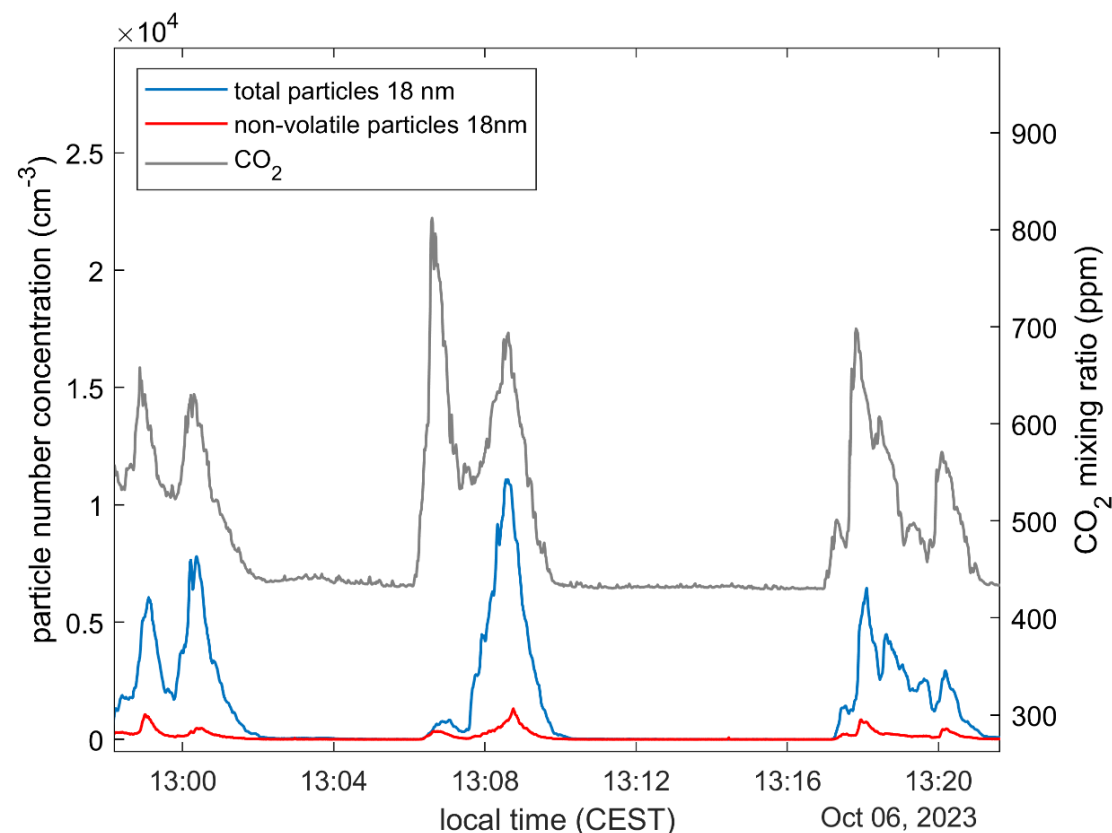


> 90% der UFP im Zentrum der Abgasfahne der Station Blastwall Startbahn West haben einen flüchtigen Charakter (verdampfen bei 300°C).

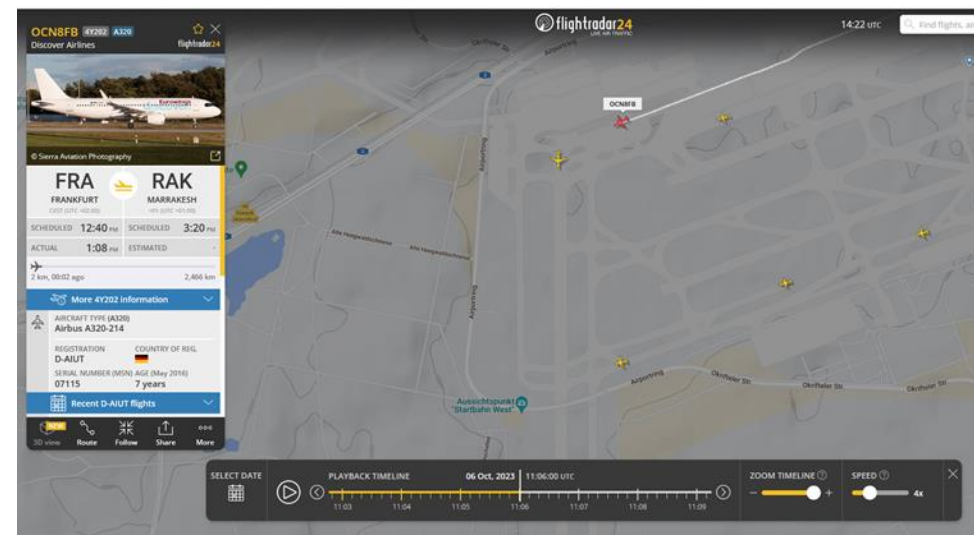
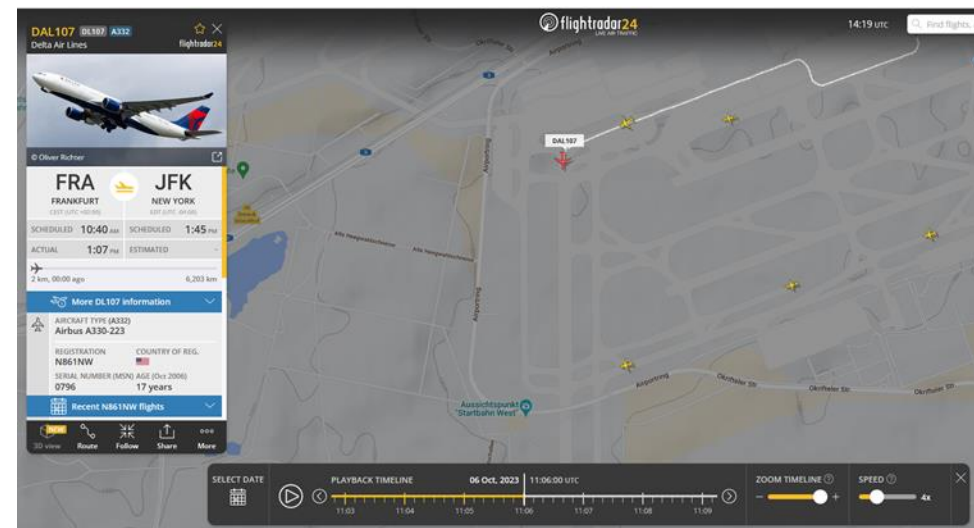
*Vorläufige Daten – nicht final verifiziert!!!*



# Messung der UFP-Emission am Frankfurter Flughafen



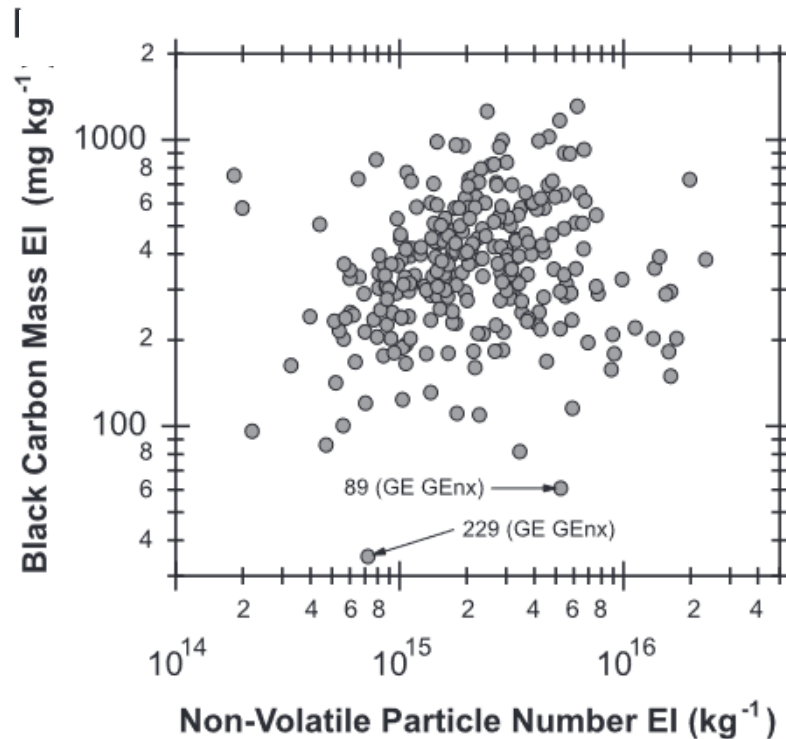
Zuordnung einzelner  $\text{CO}_2$ - und Partikelanzahl-Emissionspeaks zu den jeweiligen Flugzeugen während der Startphase möglich.



# Berechnung der nicht-volatilen Partikelemissionen

$$EI_X = \frac{X}{CO_2} \frac{V_m}{M_{CO_2}} (EI_{CO_2})$$

$$EI_{CO_2} = \frac{RT}{PV_m} \frac{M_{CO_2}}{(M_C + \alpha M_H)} \sim 3160 \text{ gCO}_2 \text{ kg}^{-1}$$



**Emissions-Indizes (EI) von nvPM verschiedener Triebwerkstypen unterscheiden sich um bis zu zwei Größenordnungen!**

**Beispiel der Verwendung der Emissions-Indizes (EI) zur Bestimmung der Emission einer B747-8:**

$EI_{nvPM} = 1.95 \times 10^{15} \text{ Partikel / kg}^{-1}$  (GEnx-2B67, Moore et al.)

Fuel flow (T/O, GEnx-2B67, ICAO) = 2.45 kg / sec

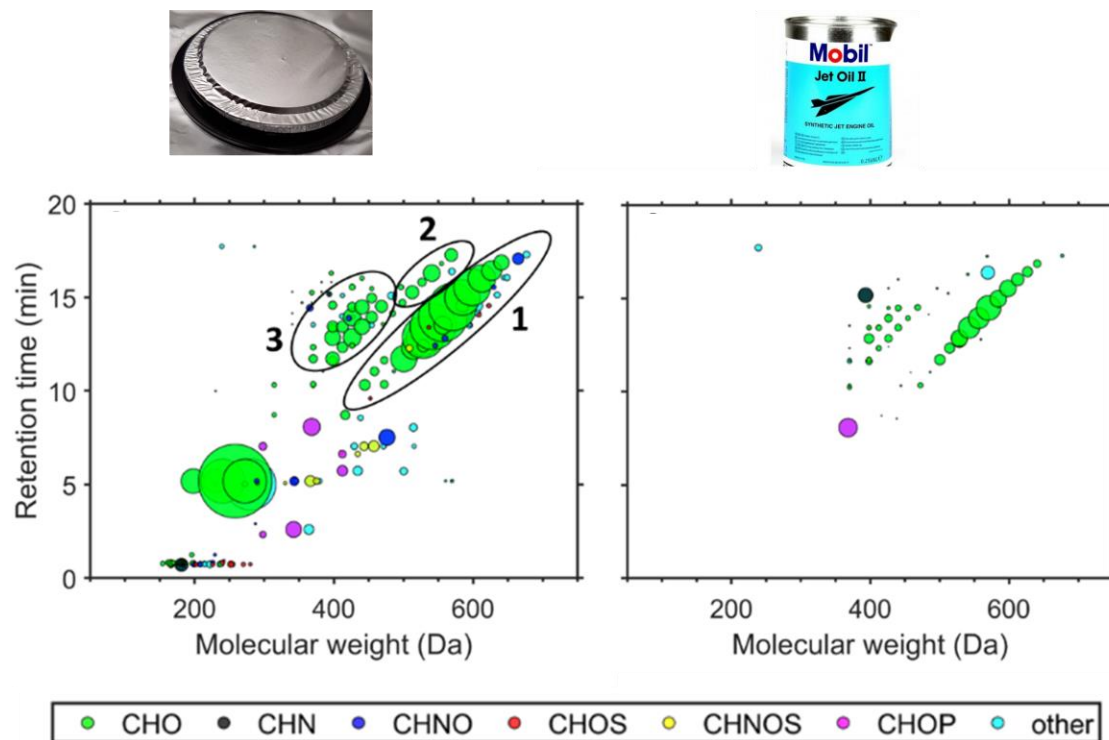
Verbrauch Kerosin pro Startvorgang: FC = 450 kg (B747-8)

Gesamtemission pro Startvorgang:

$E_{\text{Startvorgang}_{B747-8}} = FC * EI_{nvPM} = 8.78 \times 10^{17} \text{ Partikel (nvPM)}$

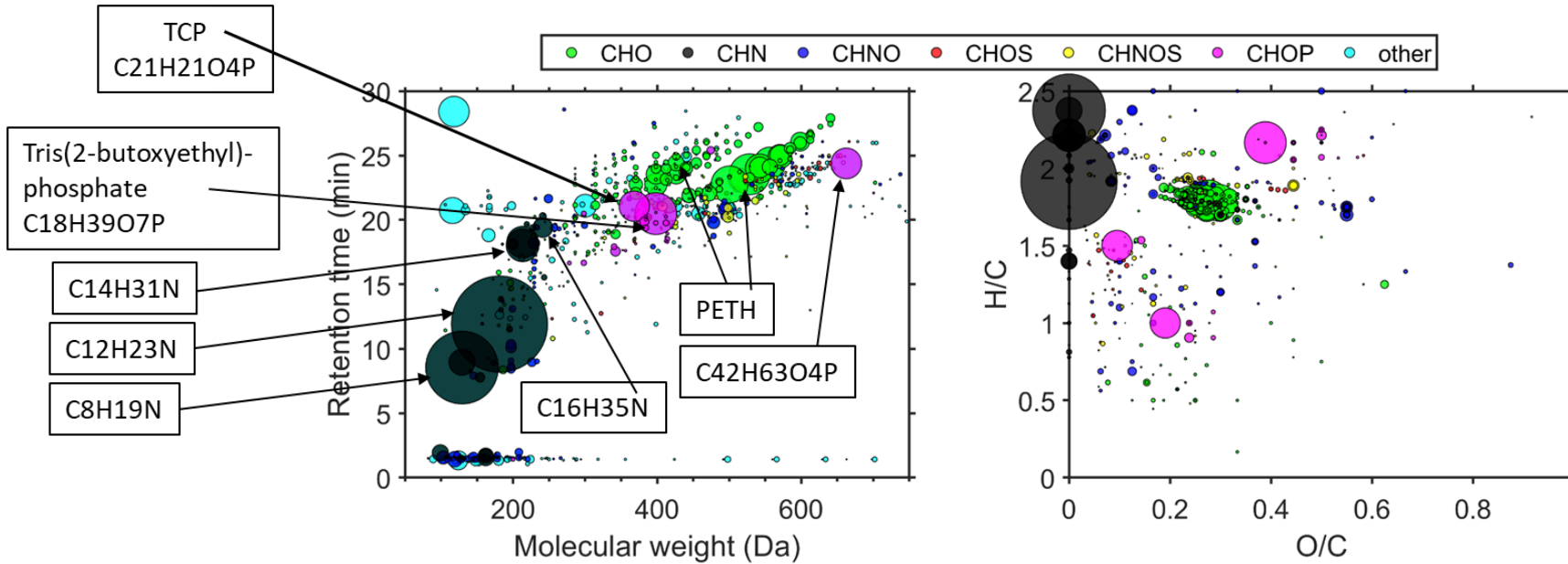


# Chemische Charakterisierung von UFP



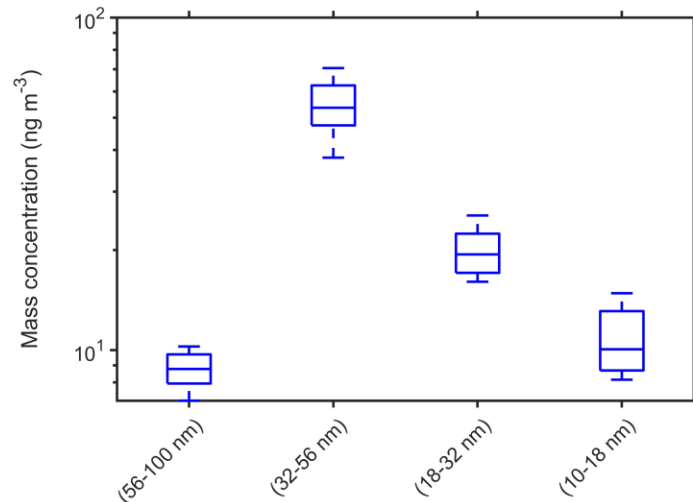
Probenahme von UFP auf einem Kaskadenimpaktor (Probenahmedauer 72 Stunden).  
 Vier UFP-Fractionen: 10-18 nm, 18-32 nm, 32-56 nm, 56-100 nm  
 Lösemittel-Extraktion und Messung mit Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie.

# Chemische Charakterisierung von UFP



**FF101 0.056 – 0.1  $\mu\text{m}$**   
19.09.2023 15:00 –  
22.09.2023 14:58

28 Messungen:  
7 x 72 h Probenahme  
auf 4 UFP Stufen.



Vorläufige Daten (nicht verlust-korrigiert!).

Masse-Konzentration der Summe aller detektierten Schmierölester. Größte absolute Masse in Partikeln der Größenklasse 32-56 nm detektiert.

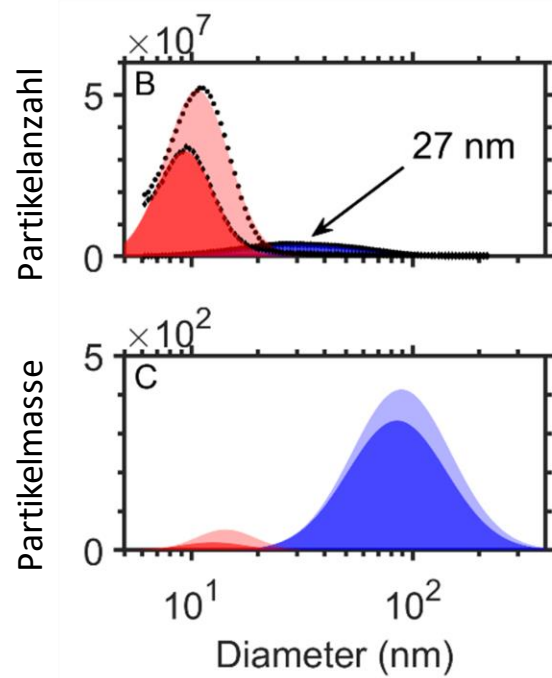
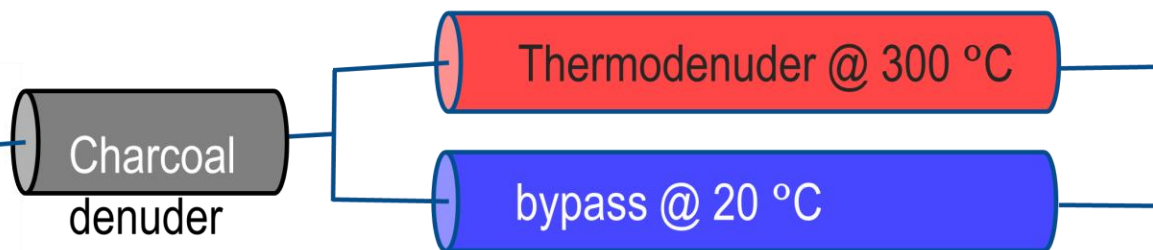
ToDo: Berechnung des relativen Beitrags der Schmieröle zu der gemessenen Masse in den jeweiligen Größenklassen.



# Flüchtigkeit von Flughafen-UFP



0.04 g L<sup>-1</sup> jet oil  
in methanol



NanoSMPS  
TSI model 3938

Jet Oil-Partikel verdampfen bei 300°C.

Partikelanzahl-Konzentration ↑  
Partikelmasse-Konzentration ↓

**Experimenteller Nachweis für schnelle  
Partikelnukleation durch Schmieröle.**

ARTICLE

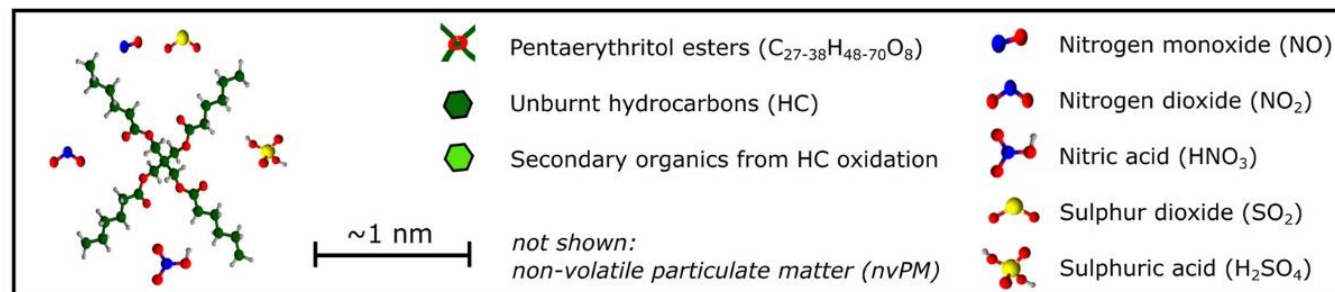
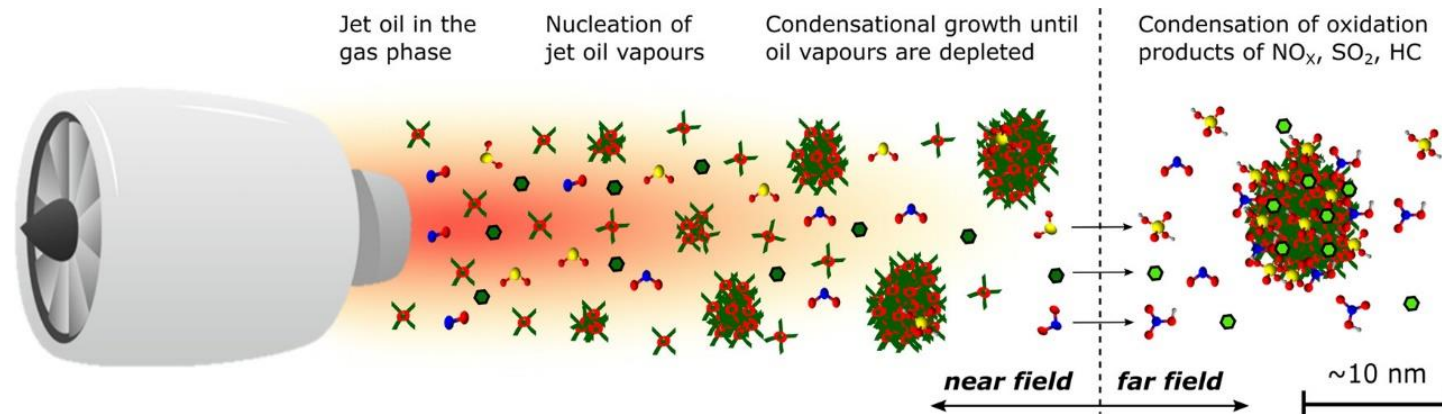


<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00653-w> **OPEN**

# Nucleation of jet engine oil vapours is a large source of aviation-related ultrafine particles

Florian Ungeheuer<sup>1</sup>, Lucía Caudillo<sup>1</sup>, Florian Ditas<sup>2</sup>, Mario Simon<sup>1</sup>, Dominik van Pinxteren<sup>3</sup>, Doğuşhan Kılıç<sup>4,5</sup>, Diana Rose<sup>2</sup>, Stefan Jacobi<sup>2</sup>, Andreas Kürten<sup>1</sup>, Joachim Curtius<sup>1</sup> & Alexander L. Vogel<sup>1</sup>

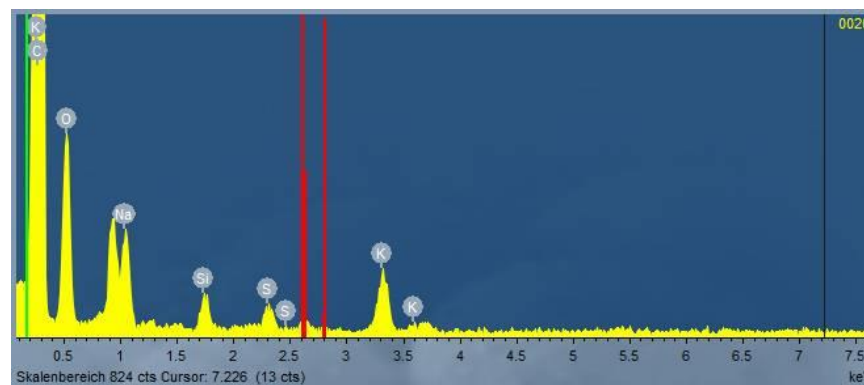
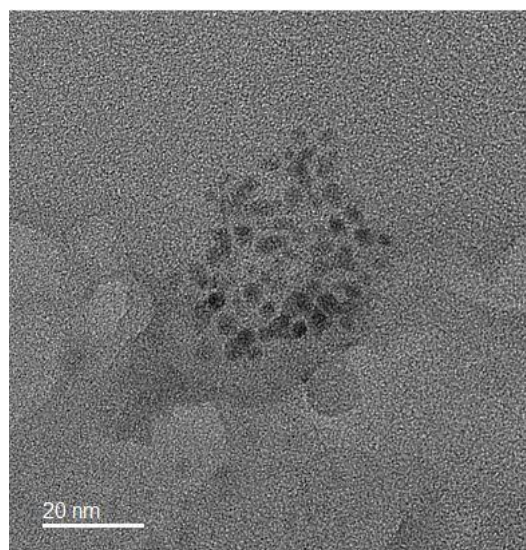
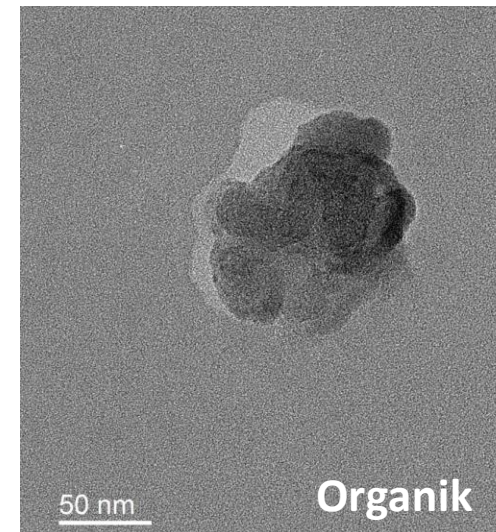
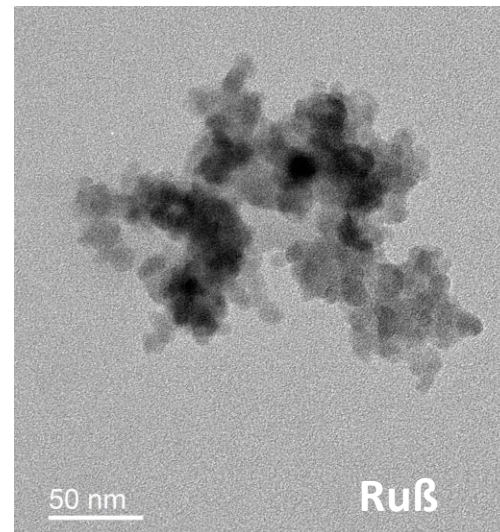
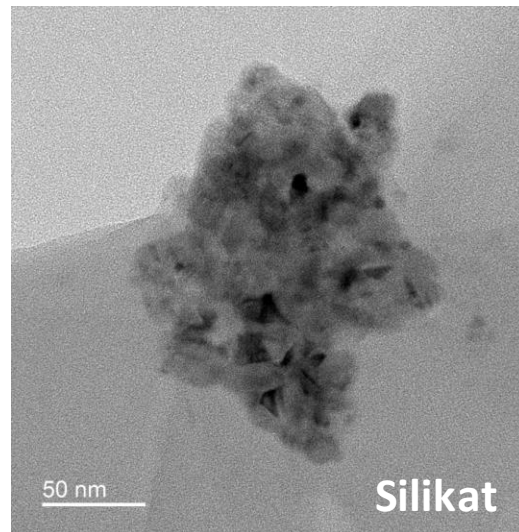
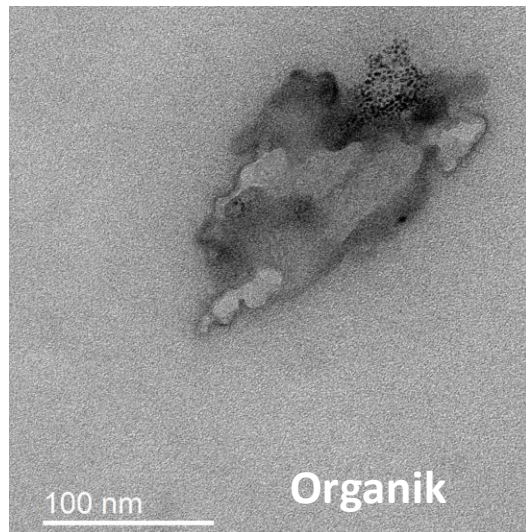
## Partikelneubildung durch Turbinenschmieröle?





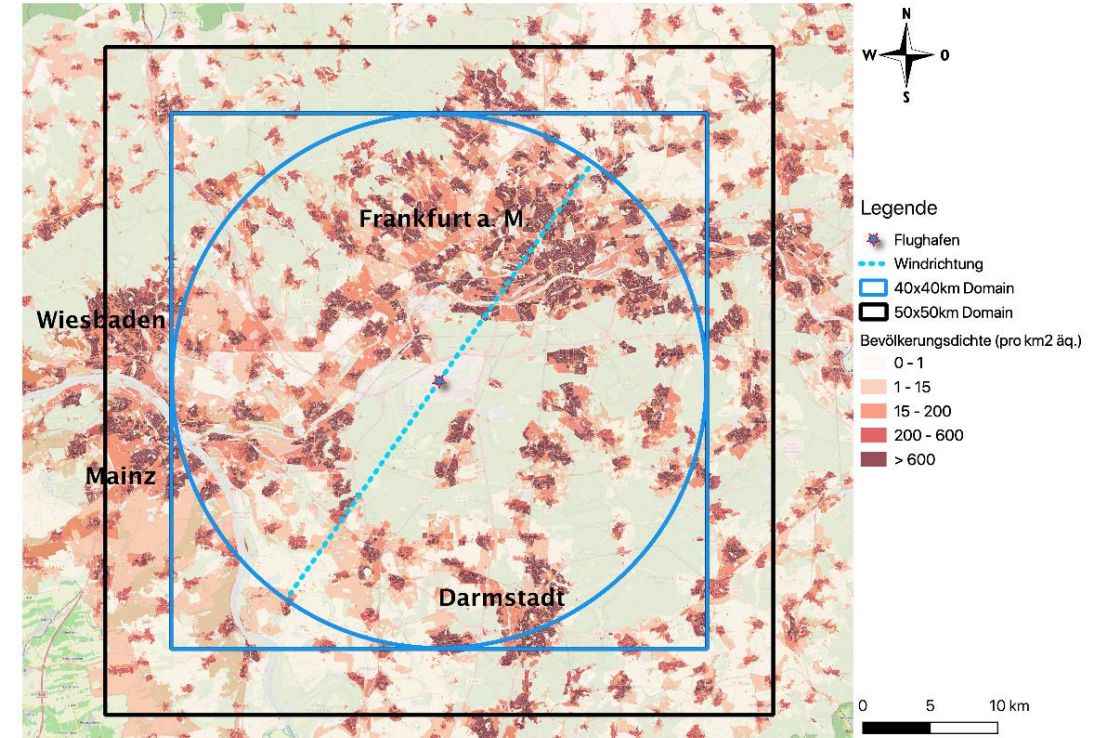
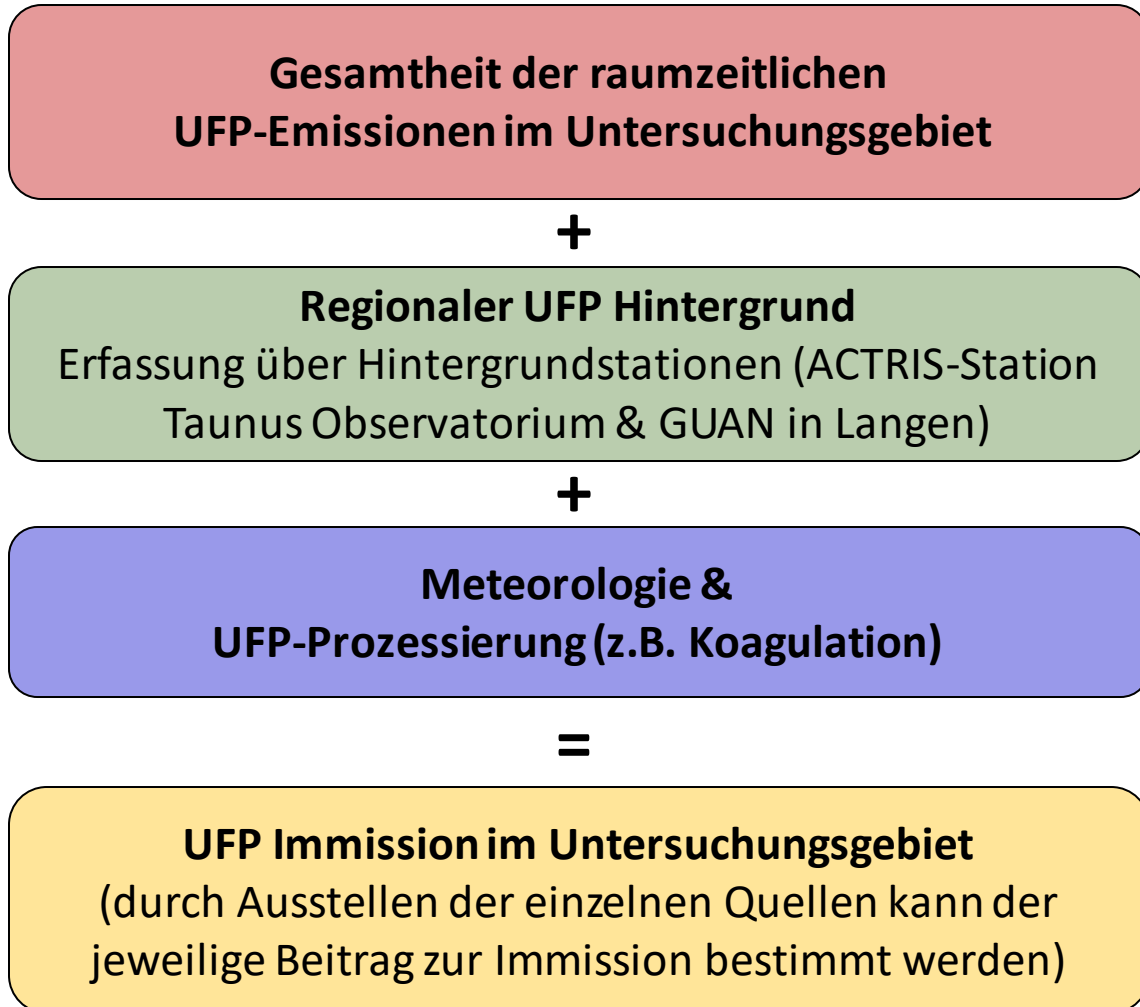
# Chemische & morphologische Charakterisierung

Rasterelektronenmikroskopie TU Darmstadt.



Hauptsächlich C-reiche  
Partikel, mit S- und K-Anteilen.  
Ruß tritt auf, ist aber selten.

# Modellierung der UFP-Immission

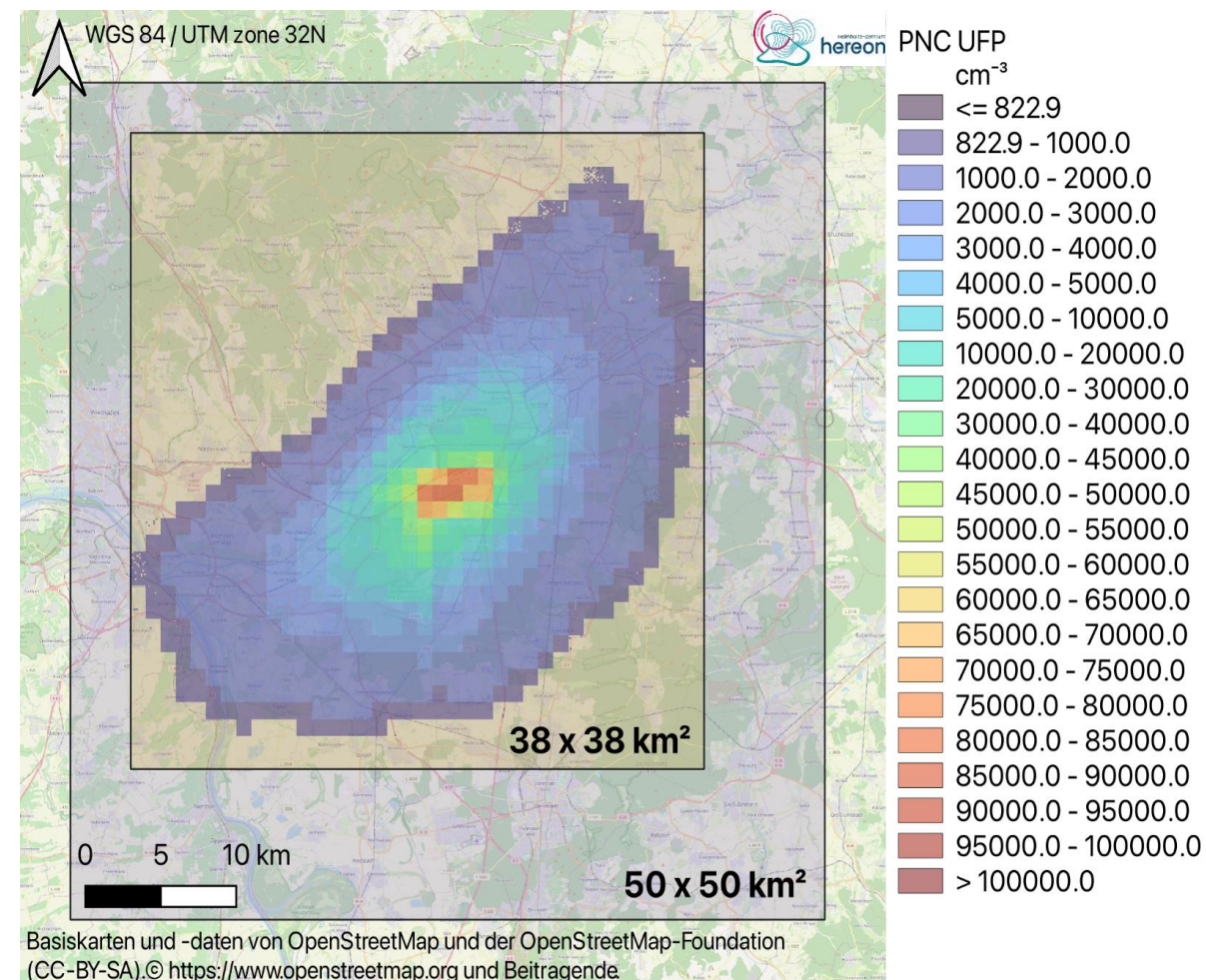
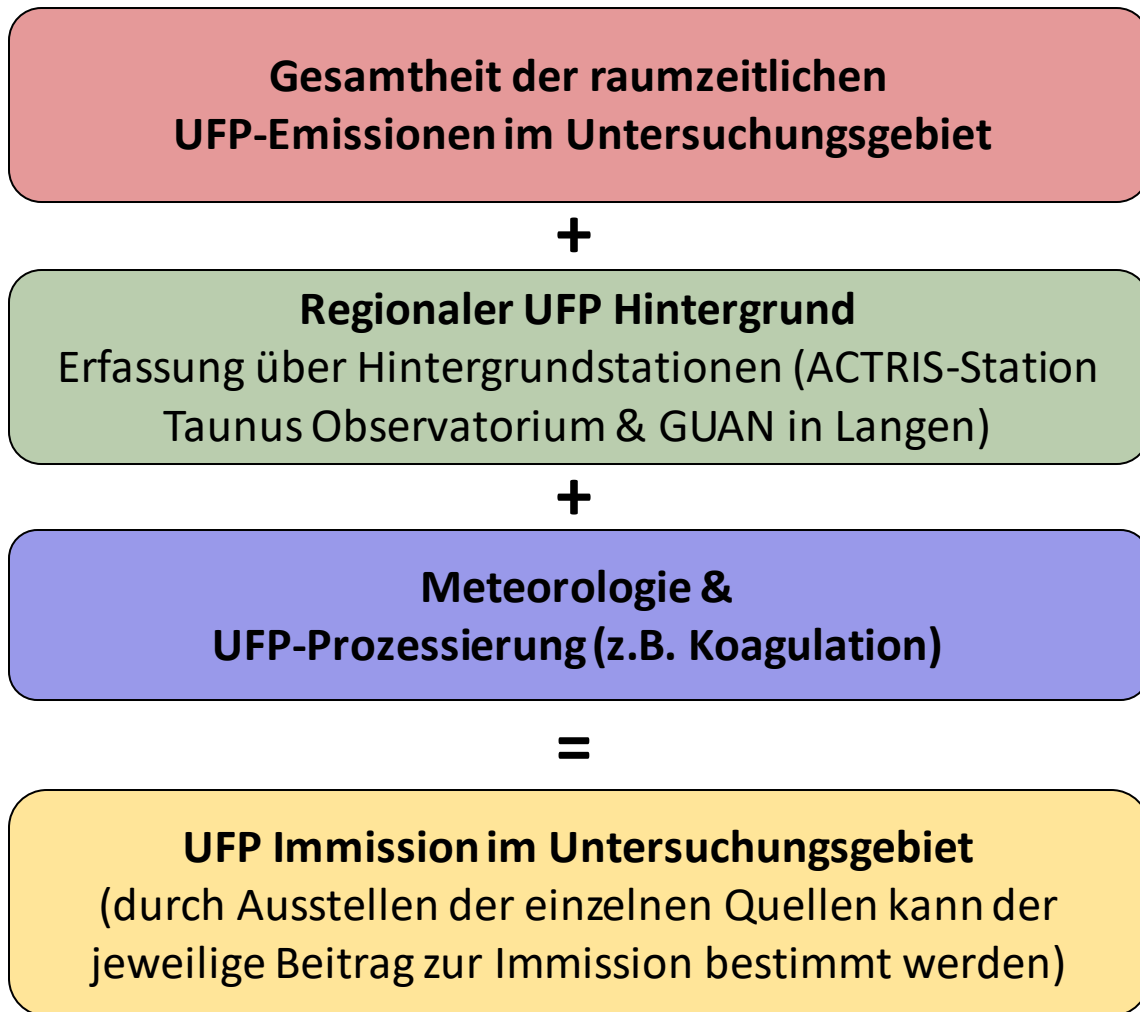


**Modellierung des Gebietes mit relevanter UFP-Belastung aus dem Flugverkehr.**

UFP-Jahresmittel des Flughafenbeitrags liegt mind. 10% über dem gemessenen UFP-Jahresmittel der regionalen Hintergrundbelastung (z.B. am UBA Langen).



# Grobabschätzung zur Gebietsfestlegung der Detailmodellierung



# Immissionsmessungen

Ergänzung der bereits existierenden UFP-Messungen des HLNUG an weiteren Standorten in Abstimmung mit Modellierungsgruppe (HEREON).

**Ziel: Validierung der UFP-Immissionsmodellierung und messtechnische Erfassung von flüchtigen und nicht-flüchtigen UFP, chemische Tracer und Morphologie.**

Erste Messungen derzeit in Riedberg, Schwanheim und Raunheim.



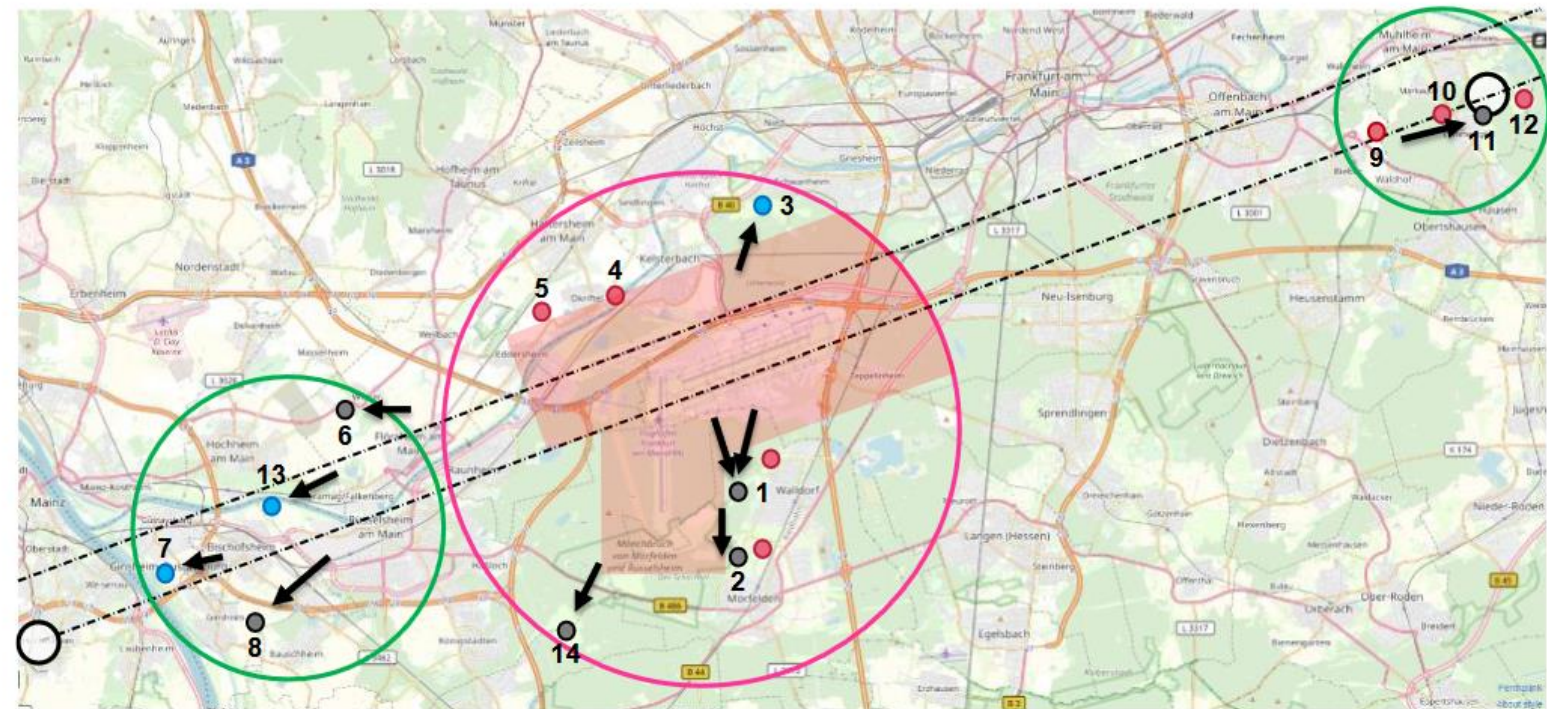
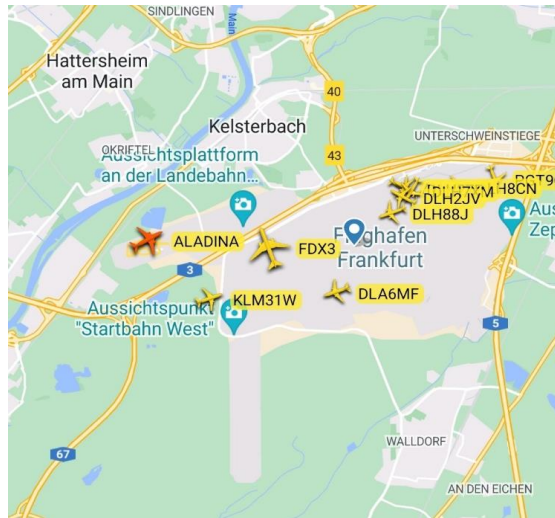


# Vertikale UFP-Messungen

Vertikale Messungen mittels ALADINA-Drohne der TU Braunschweig.

Erste erfolgreiche Testung des Transponders im Mai 2023 in Absprache mit DFS und Fraport.

Identifizierung von geeigneten Standorten für Drohnenmessungen.



- Standort geeignet
- FAP
- Standort nicht geeignet
- Luftraum D – Kontrollzone FRA
- Standort eingeschränkt geeignet
- 1NM Zone
- ← Windrichtung & -stärke
- Gebiet „Gesamteintrag“
- Gebiet „Eintrag von Oben“





Hellebrandt  
*Air Consulting*



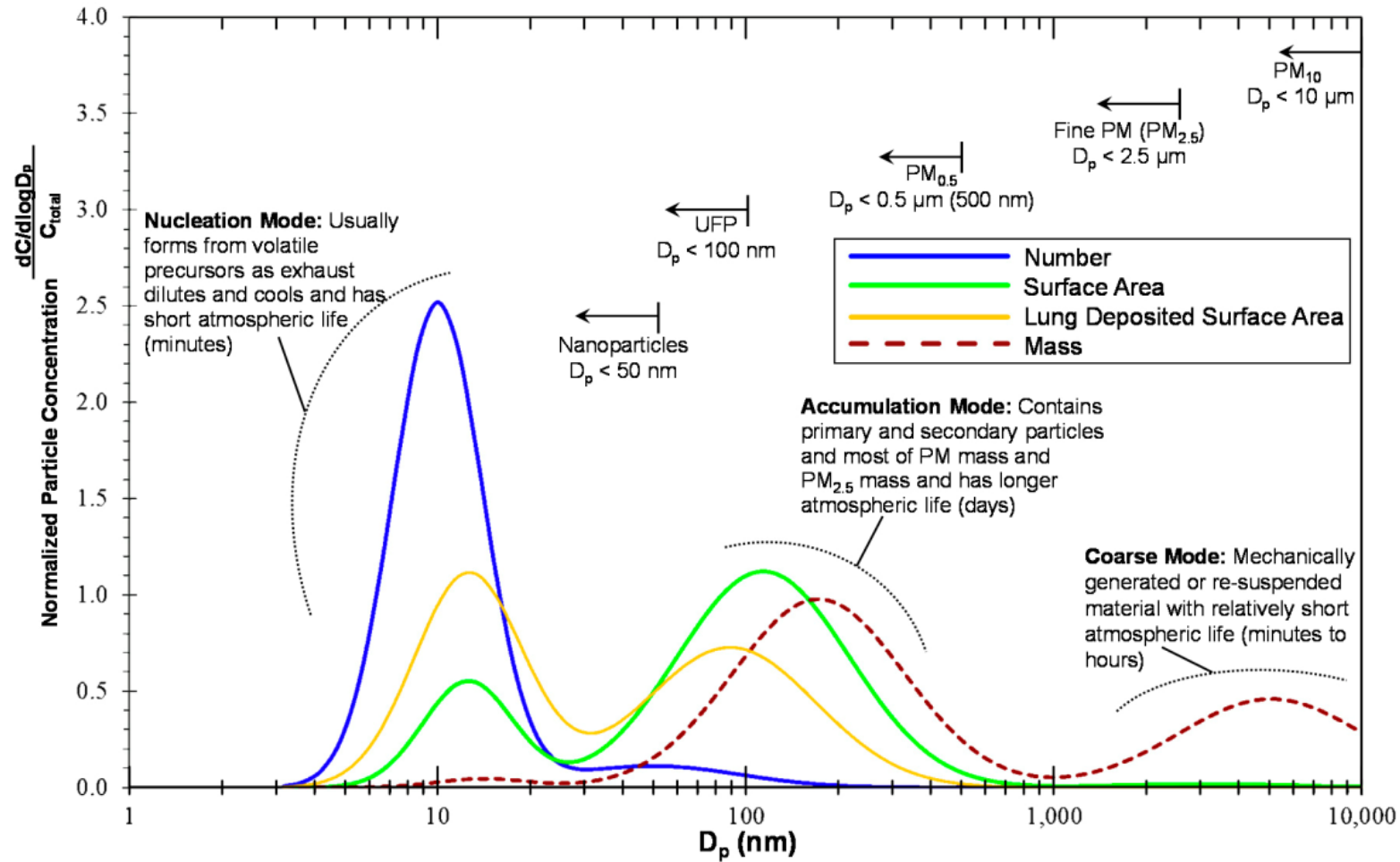
**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit.**



**ETH zürich**



# Herausforderung: UFP Anzahl vs Masse



## Occurrence and *in vitro* toxicity of organic compounds in urban background PM<sub>2.5</sub>

Jonas P. Wallraff<sup>a,1</sup>, Florian Ungeheuer<sup>a,1</sup>, Andrea Dombrowski<sup>b</sup>, Jörg Oehlmann<sup>b</sup>, Alexander L. Vogel<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Institute for Atmospheric and Environmental Sciences, Goethe-University Frankfurt, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt am Main, Germany

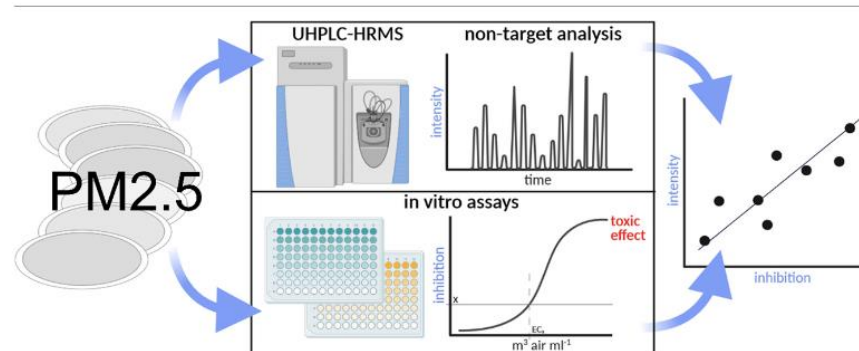
<sup>b</sup> Institute of Ecology, Evolution and Diversity, Goethe-University Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 9, 60438 Frankfurt am Main, Germany



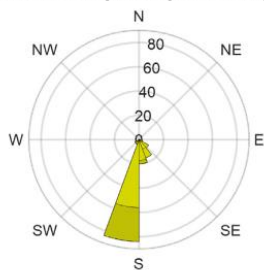
### HIGHLIGHTS

- High-resolution mass spectrometry and *in vitro* toxicity assays applied on PM<sub>2.5</sub>.
- The chemical composition of urban background PM<sub>2.5</sub> has a strong source dependency.
- Urban PM<sub>2.5</sub> exerts higher *in vitro* toxicity than PM<sub>2.5</sub> advected from an airport.
- Unspecific and specific toxicity correlate well with PM<sub>2.5</sub> mass concentration.
- Future work needs to identify the drivers for toxicity in urban PM.

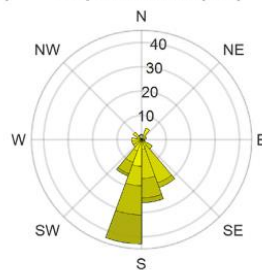
### GRAPHICAL ABSTRACT



Normal airport operation (AN)



Airport strike (AS)



City (C)

