

Modellierung von Ultrafeinpartikeln am und um den Flughafen Frankfurt/Main

Bericht aus dem UBA Forschungs- und
Entwicklungsvorhaben 3716 52 200

Helmut Lorentz, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul

Dr. Ulf Janicke, Ingenieurbüro Janicke, Überlingen

Dr. Hermann Jakobs, Rheinisches Institut für Umweltforschung an der
Universität zu Köln

Wolfram Schmidt, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul

Pia Hellebrandt, MUVEDA, Aachen

Dr. Matthias Ketzler, Aarhus University, Dänemark

Dr. Holger Gerwig, Umweltbundesamt, Langen



Titel: Einfluss eines Großflughafens auf zeitliche und räumliche Verteilungen der Außenluftkonzentrationen von **Ultrafeinstaub** < 100 nm, um die potentielle Belastung in der Nähe zu beschreiben – **unter Einbeziehung** weiterer Luftschadstoffe **Ruß, Stickoxide und Feinstaub** (PM_{2,5} und PM₁₀)

Zeitraum: 09 - 2016 bis 04 - 2019

Abschlussbericht als PDF in 2019

Ziele:

- Flächendeckende Berechnung von Ultrafeinpartikel-Anzahlkonzentrationen
- Anwendung der in Deutschland üblichen Modelle und Emissionsdatenbanken
- Vergleich der modellierten Werte mit Messwerten
- Identifizierung Modellschwächen und Wissenslücken

1. AP 1 Literaturstudie

(Tabelle über 5 Seiten erstellt)



2. AP 2 Modellierung

für Bezugsjahr 2015

in 35 km² mit Zentrum Flughafen

in Stündlichen Zeitschritten

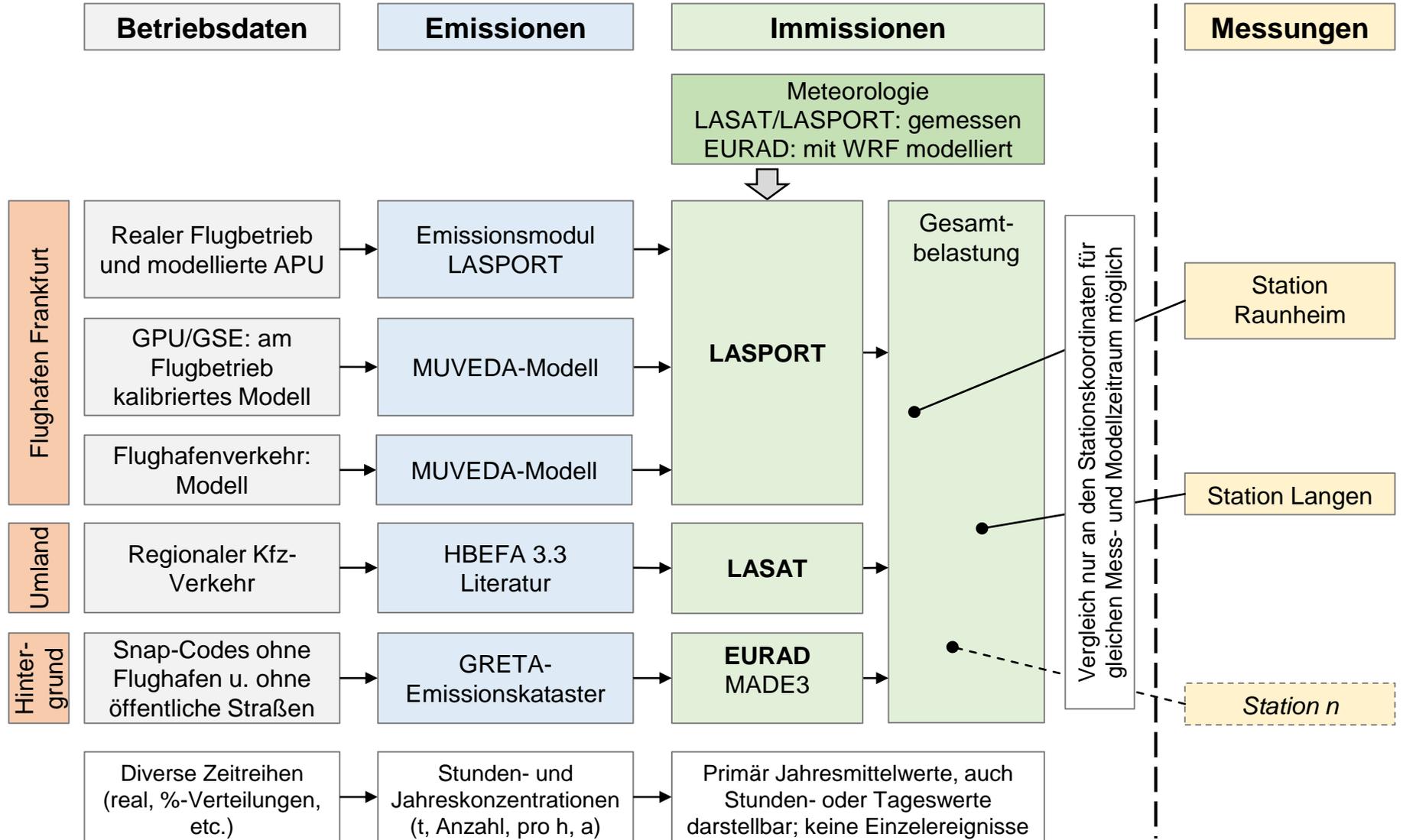


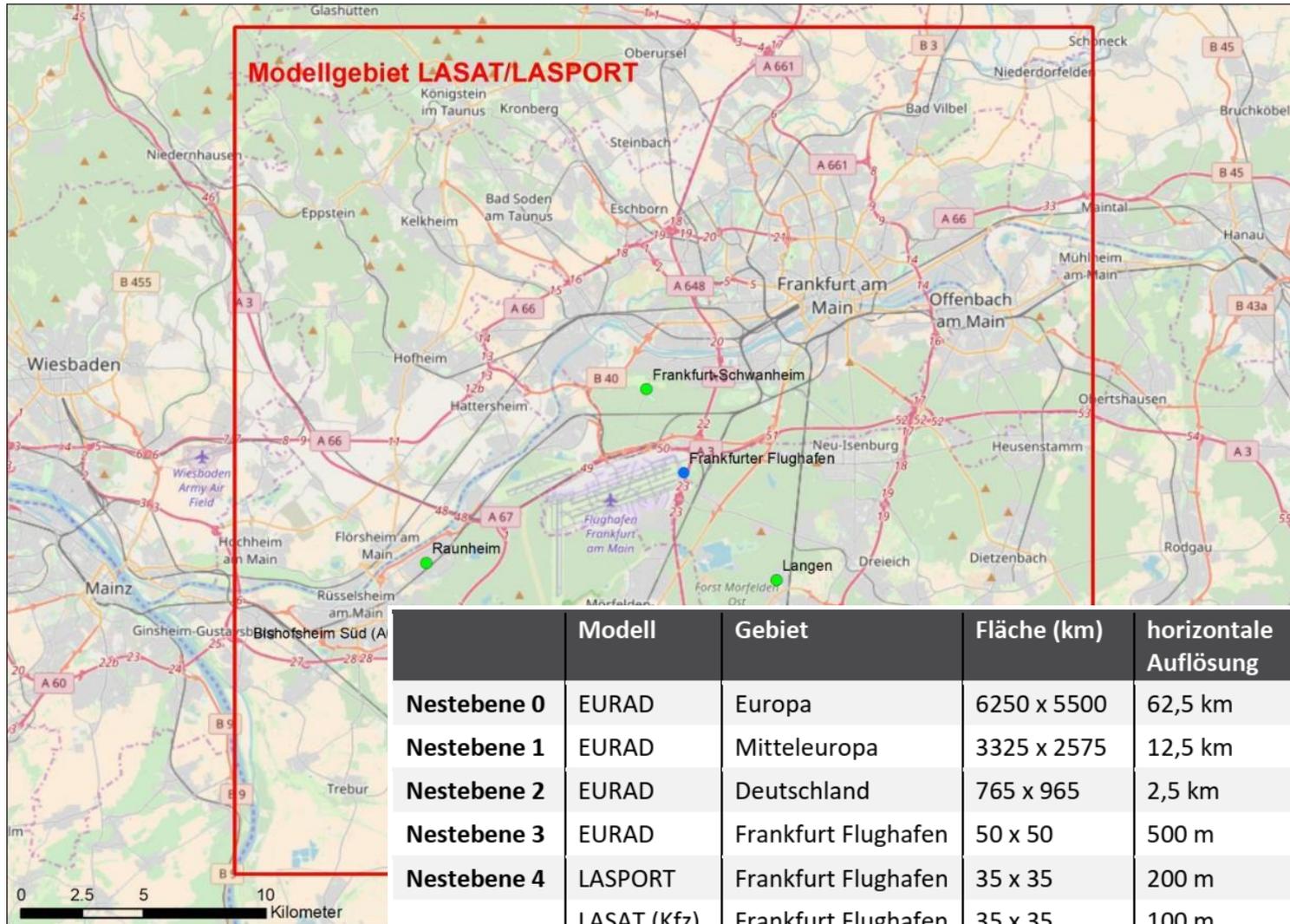
3. AP 3 Validierung

Vergleich mit Messungen Langen + Raunheim



Fotos: UBA





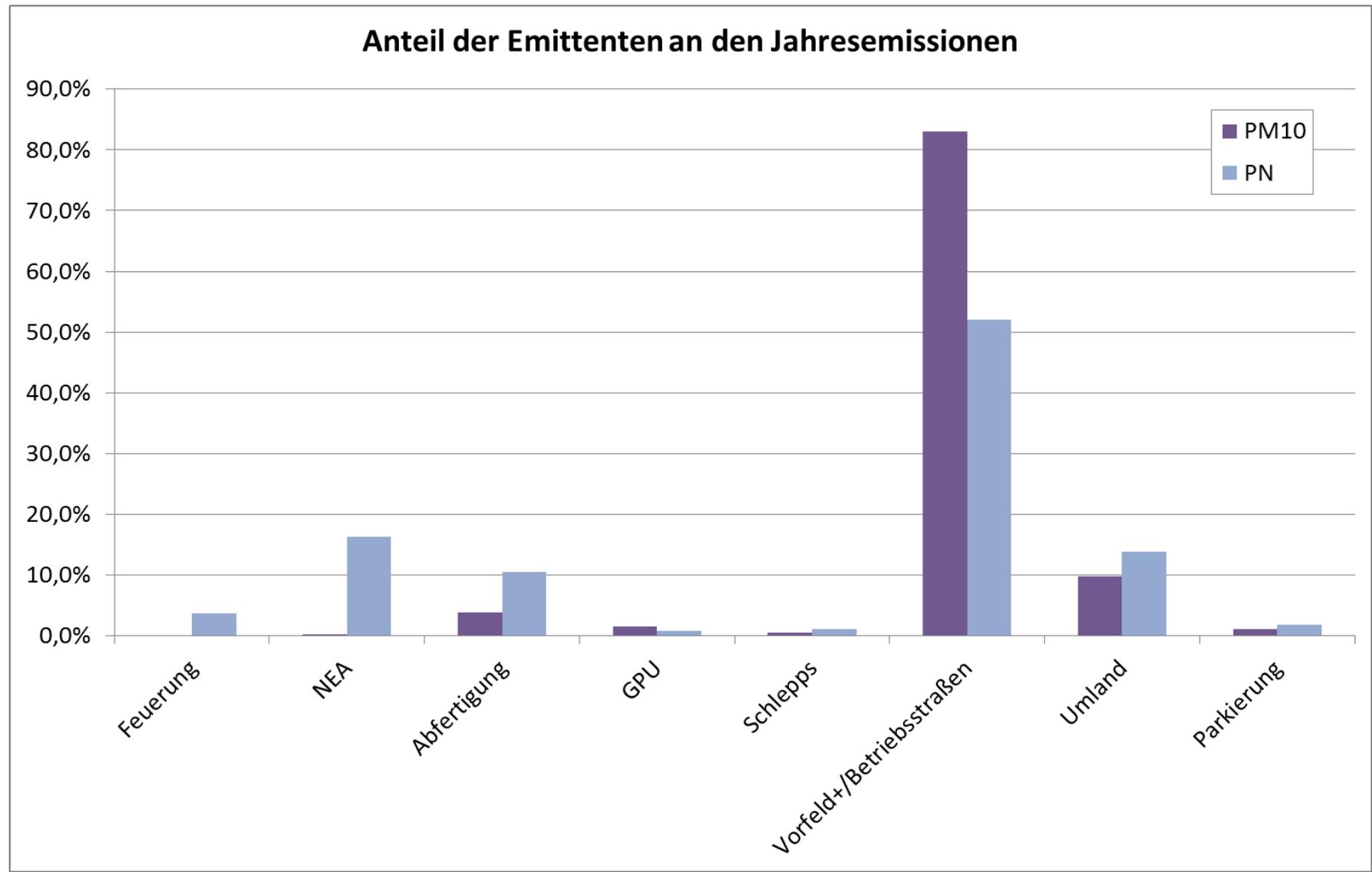
	Modell	Gebiet	Fläche (km)	horizontale Auflösung	vertikale Auflösung
Nestebene 0	EURAD	Europa	6250 x 5500	62,5 km	0–16 km (100 hPa),
Nestebene 1	EURAD	Mitteleuropa	3325 x 2575	12,5 km	23 Schichten, 15
Nestebene 2	EURAD	Deutschland	765 x 965	2,5 km	kleiner 3 km unterste Schicht 0–
Nestebene 3	EURAD	Frankfurt Flughafen	50 x 50	500 m	36 m
Nestebene 4	LASPORT	Frankfurt Flughafen	35 x 35	200 m	0–2 km, 19 Schichten, unterste Schicht 0–3 m
	LASAT (Kfz)	Frankfurt Flughafen	35 x 35	100 m	



Eingangsgrößen:

- **Verkehrsmenge (DTV), Verkehrszusammensetzung**
Emissionskataster Hessen, Hessen mobil, Bundesanstalt für Straßenwesen
- **Streckenlängsneigung**
Emissionskataster Hessen
- **Fahrzeugflotte 2015**
Kraftfahrtbundesamt-Statistik, HBEFA 3.3, Umweltzone Frankfurt
- **Verkehrssituationen**
Emissionskataster Hessen
- **Emissionsfaktoren HBEFA 3.3**
Bezugsjahr 2015







Grundlage für die Emissionsbestimmung der Flugzeugtriebwerke bilden die Empfehlungen der ICAO: International Civil Aviation Organisation (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)

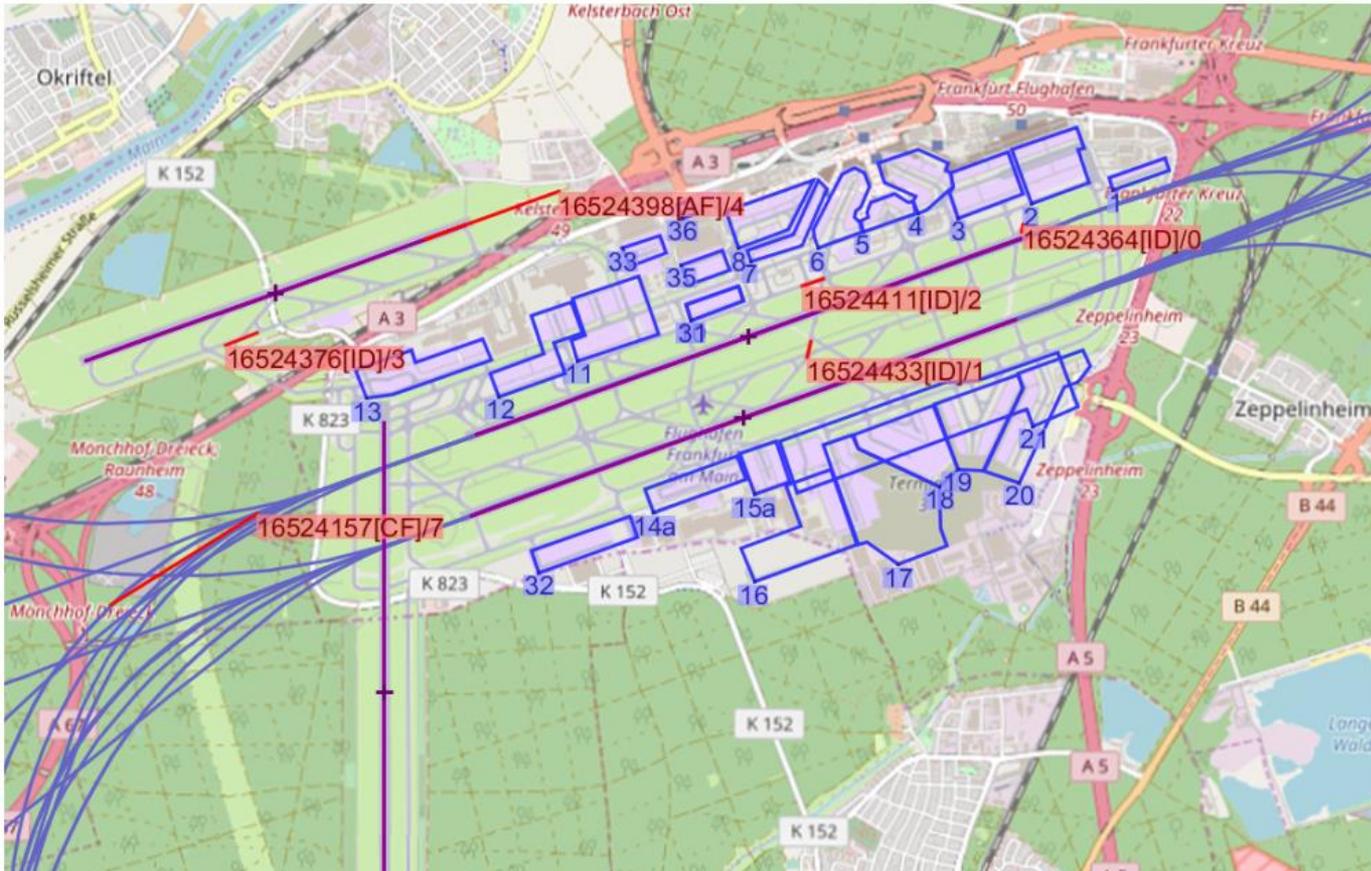
Haupttriebwerke: Engine Emission Databank (EEDB) und Anflug- und Abflugprofile entsprechend der Lärmklassierung (AzB-Profile)

Hilfstriebwerke: ICAO-Dokument 9889

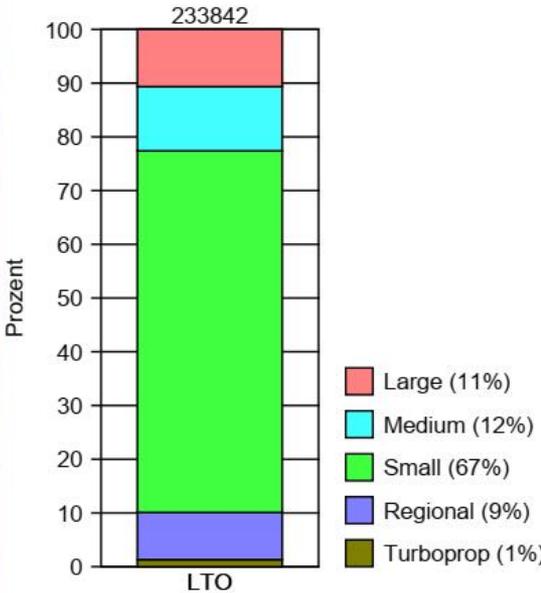
Zu jeder Flugbewegung (Start oder Landung) waren im Flugtagebuch folgende Angaben vermerkt:

- Zeitpunkt der Landung bzw. des Starts
- Zeitpunkt des Andockens bzw. Abdockens
- Piste
- Rollweg
- Positionsbereich
- Flugroute bei Starts
- Flugzeugtyp
- Triebwerkstyp und Anzahl der Triebwerke

Es wurde die Liste mit individuellen Flugbewegungen des Jahres 2015 von Fraport AG verwendet.

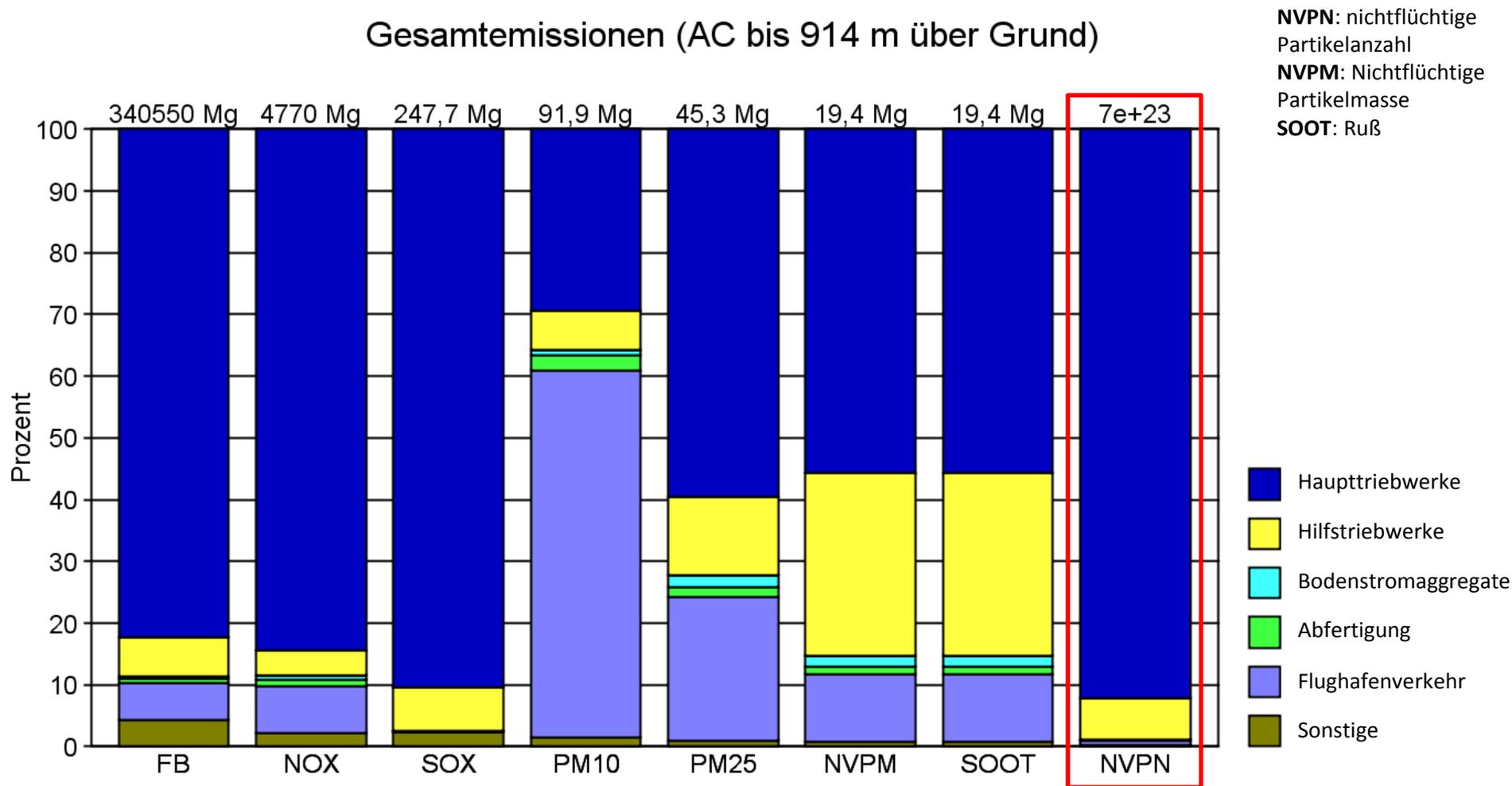


Flugbewegungen



Modell-Momentaufnahme der Flugbewegungen (Aufsicht, horizontaler Ausschnitt)

Gesamtemissionen (AC bis 914 m über Grund)

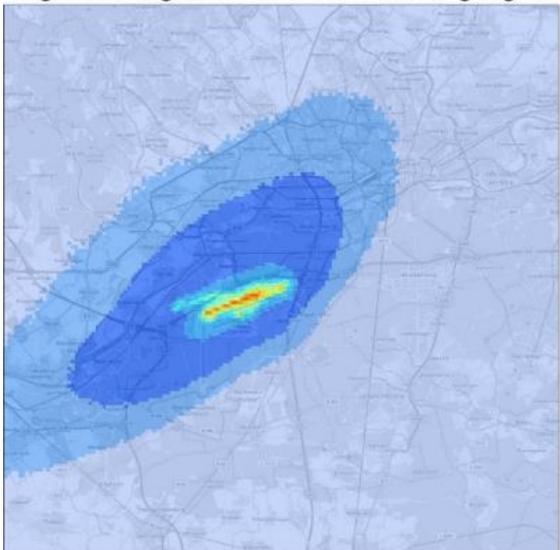


Emissionsquellen:

UFP: stammen (> 90 %) aus Haupttriebwerken, 60% aus Rollwegen

PM10 (> 50%) aus Kfz

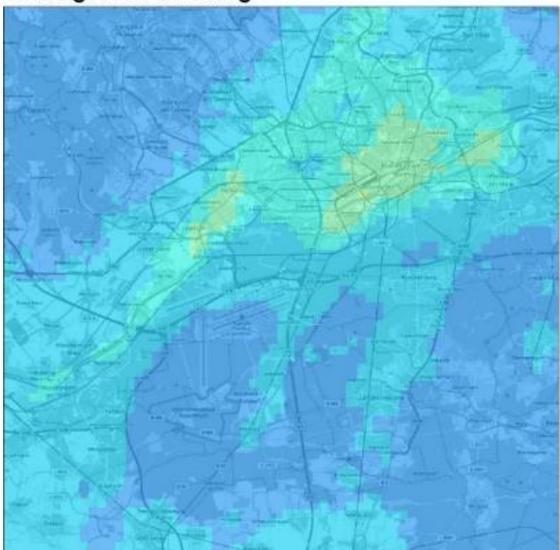
Flughafen Flugbetrieb und Bodenabfertigung



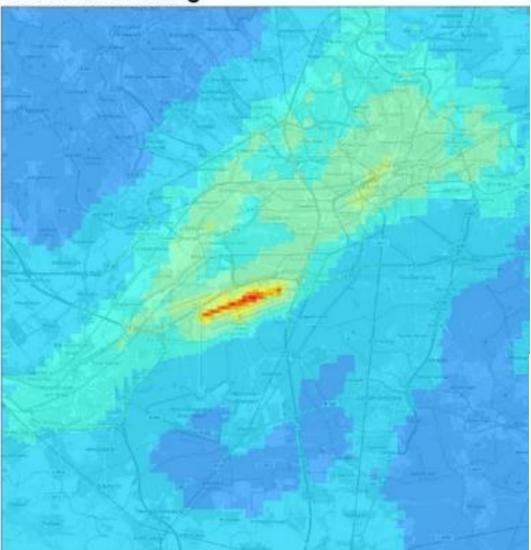
Kraftfahrzeuge Umland



Hintergrundbelastung



Gesamtbelastung



UFP Verteilung

ist aufgrund Flughafenaktivitäten u. der vorherrschenden Windrichtungen im Bereich N + NW sowie SW einige Kilometer ausgedehnt.

Die **Zusatzbelastung** beträgt dabei **unter 5 000 1/cm³ nv PNC**

Partikel in 1/cm ³	
	<= 500
	> 500 - 1000
	> 1000 - 5000
	> 5000 - 10000
	> 10000 - 12500
	> 12500 - 15000
	> 15000 - 20000
	> 20000 - 25000
	> 25000 - 30000
	> 30000 - 35000
	> 35000 - 40000
	> 40000 - 45000
	> 45000 - 50000
	> 50000 - 60000
	> 60000 - 75000

Hintergrundkarte: © OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA



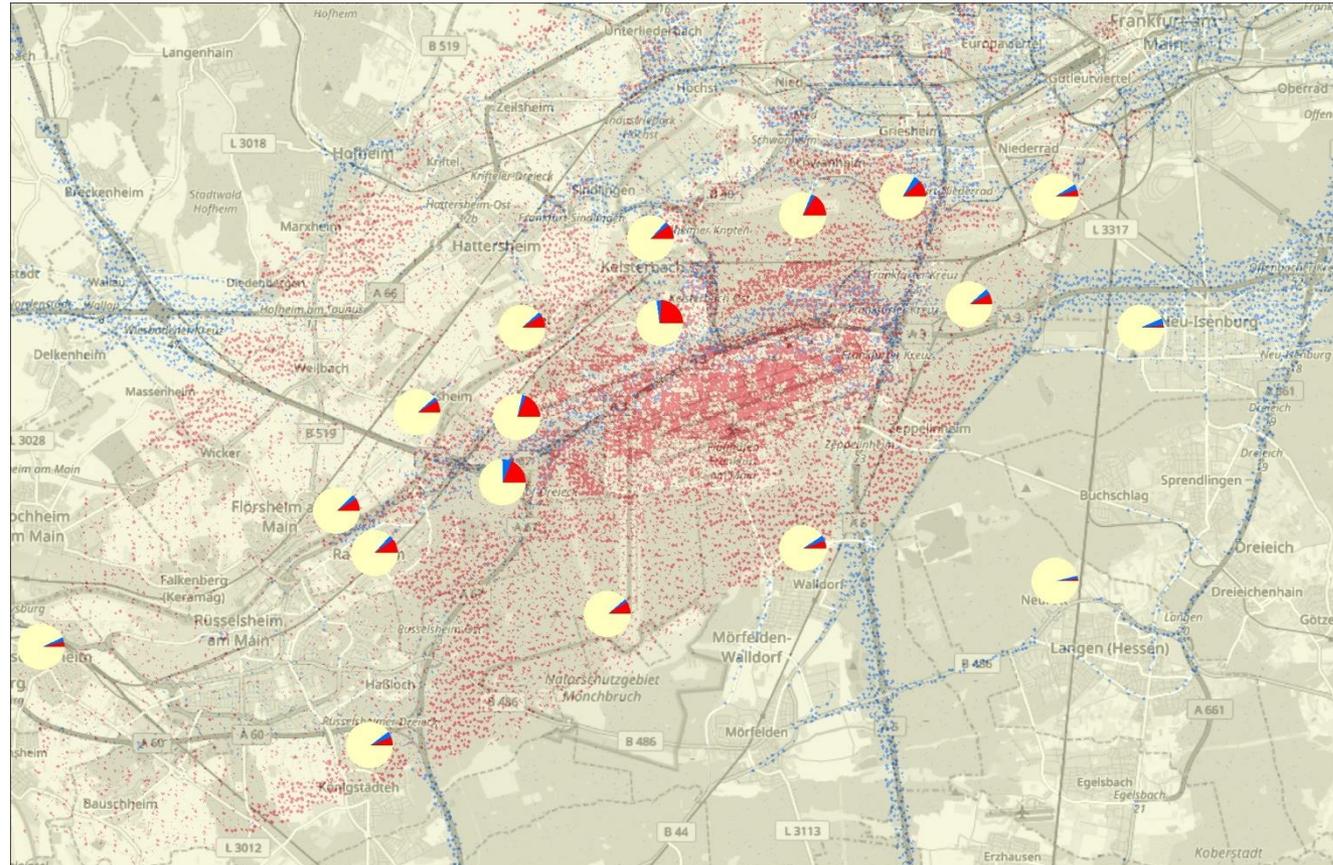


UFP-Anteile der Quellgruppen

UFP Quellen aufgrund

- Kfz (blau)
- Flughafenbetrieb (rot)
- Hintergrund (gelb)

**UFP Anteil aufgrund
Flughafenbetrieb
kann > 25 %
außerhalb des
Flughafengeländes
betragen**



Anteile der Quellgruppen

-  Flughafen Flugbetrieb und Bodenabfertigung
-  Kraftfahrzeuge Umland
-  Hintergrundbelastung

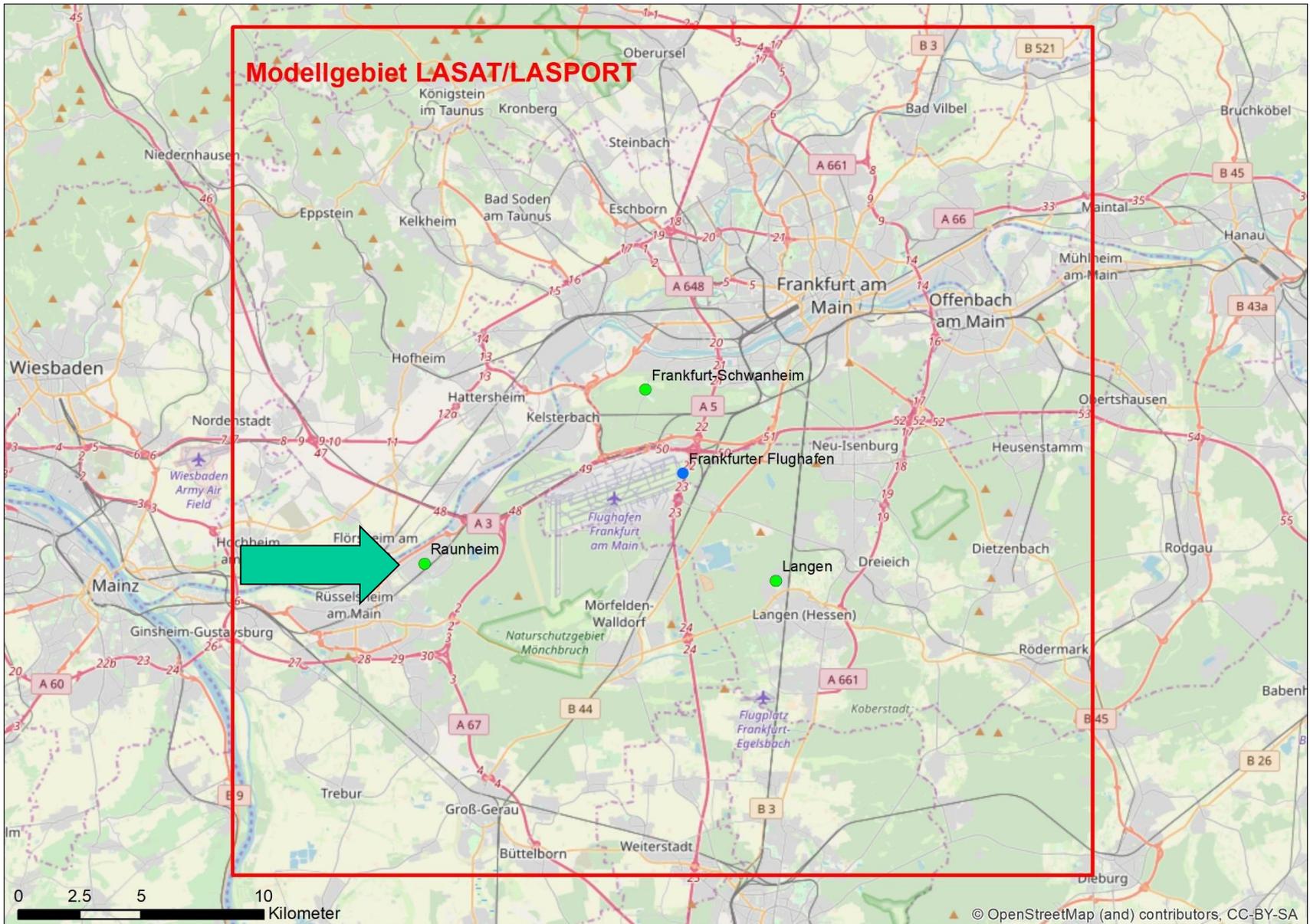
Hintergrundkarte: © OpenStreetMap
(and) contributors, CC-BY-SA

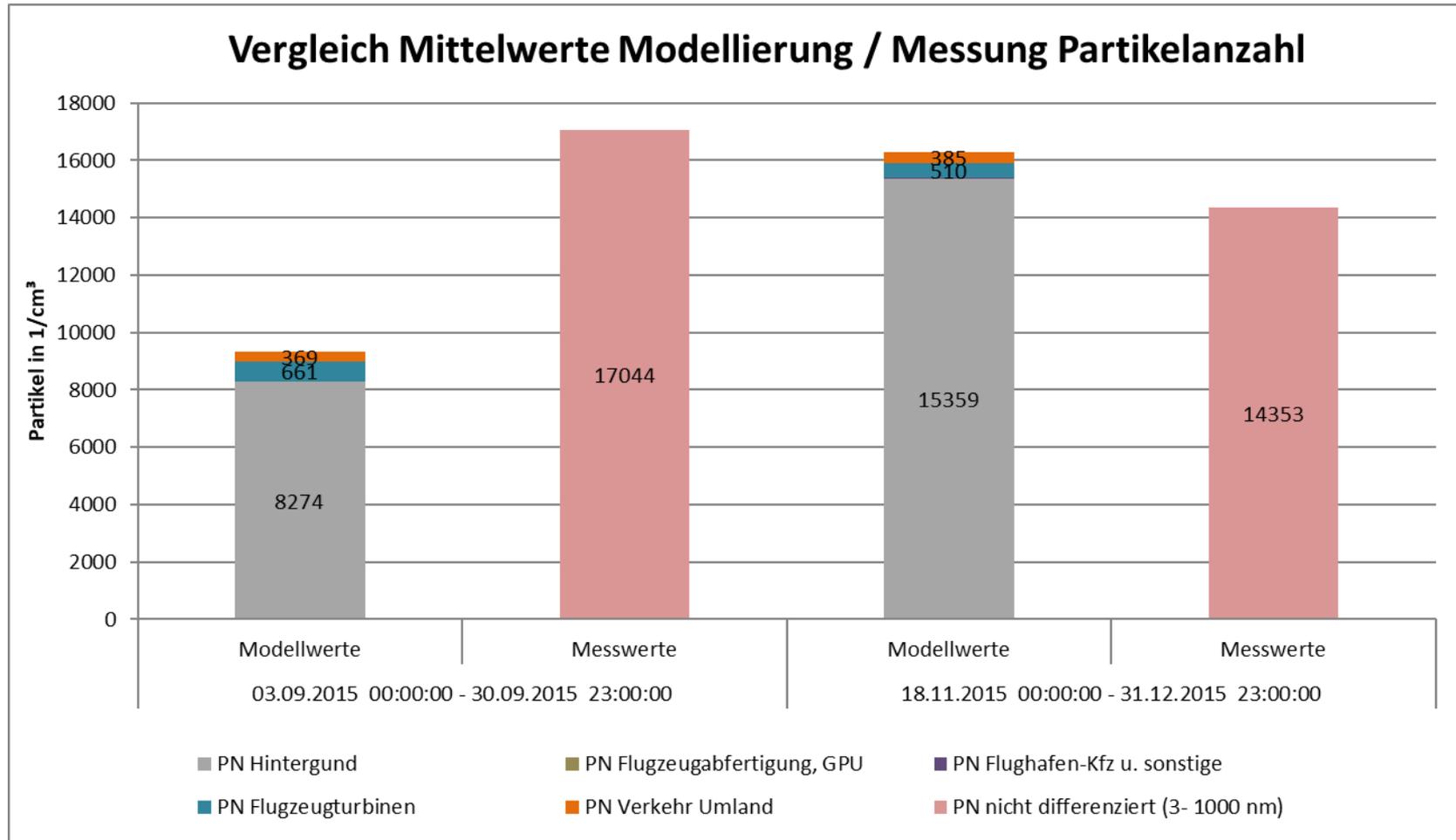
Punkt = 1000 Partikel 1/cm³
Punkte sind entsprechend Quellgruppe eingefärbt.





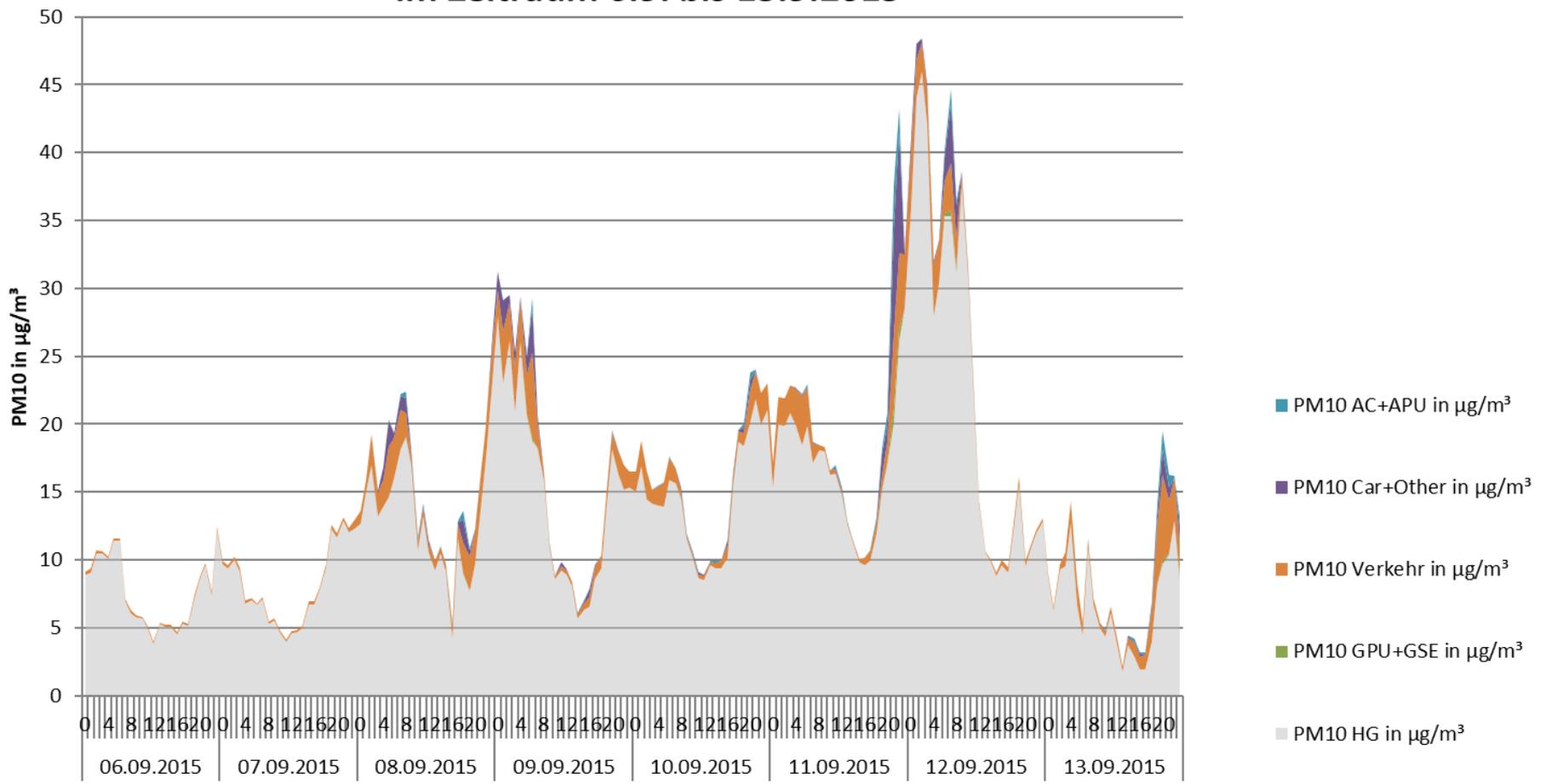
ID	Kategorie	Datensatz / Lage / Modell	Grundlage / Emissionen	Partikel-typ	Durchmesser / Unterbereiche	Zeitraum / Auflösung
M1	Messung	HLNUG Raunheim	UCPC (3776)	v+nv	3 – 1000 nm nein	ab 12/2015 5s
M2	Messung	HLNUG Raunheim	SMPS (3031)	v+nv	10 – 500 nm ja	ab 9/2017 5 min
M3	Messung	HLNUG Schwanheim	SMPS (3031)	v+nv	10 – 500 nm ja	ab 10/2017 5 min
M4	Messung	UBA Langen	SMPS (3936)	v+nv	20 – 500 nm ja	ab 2015 10 min
M5	Messung	UBA Langen	SMPS (3031)	v+nv	10 – 500 nm ja	ab 2015 5 min
S1	Modell	Hintergrund EURAD+MADE	GRETA	v+nv	3 – 3000 nm ja	2015 1 h
S2	Modell	AC+APU LASPORT	ICAO und FOA3N	nv	15 – 50 nm nein	2015 1 h
S3	Modell	Flughafen, weitere LASPORT	HBEFA und weitere	nv	23 – 4000 nm nein	2015 1 h
S4	Modell	Kfz Umland LASAT	HBEFA und weitere	nv	23 – 4000 nm nein	2015 1 h



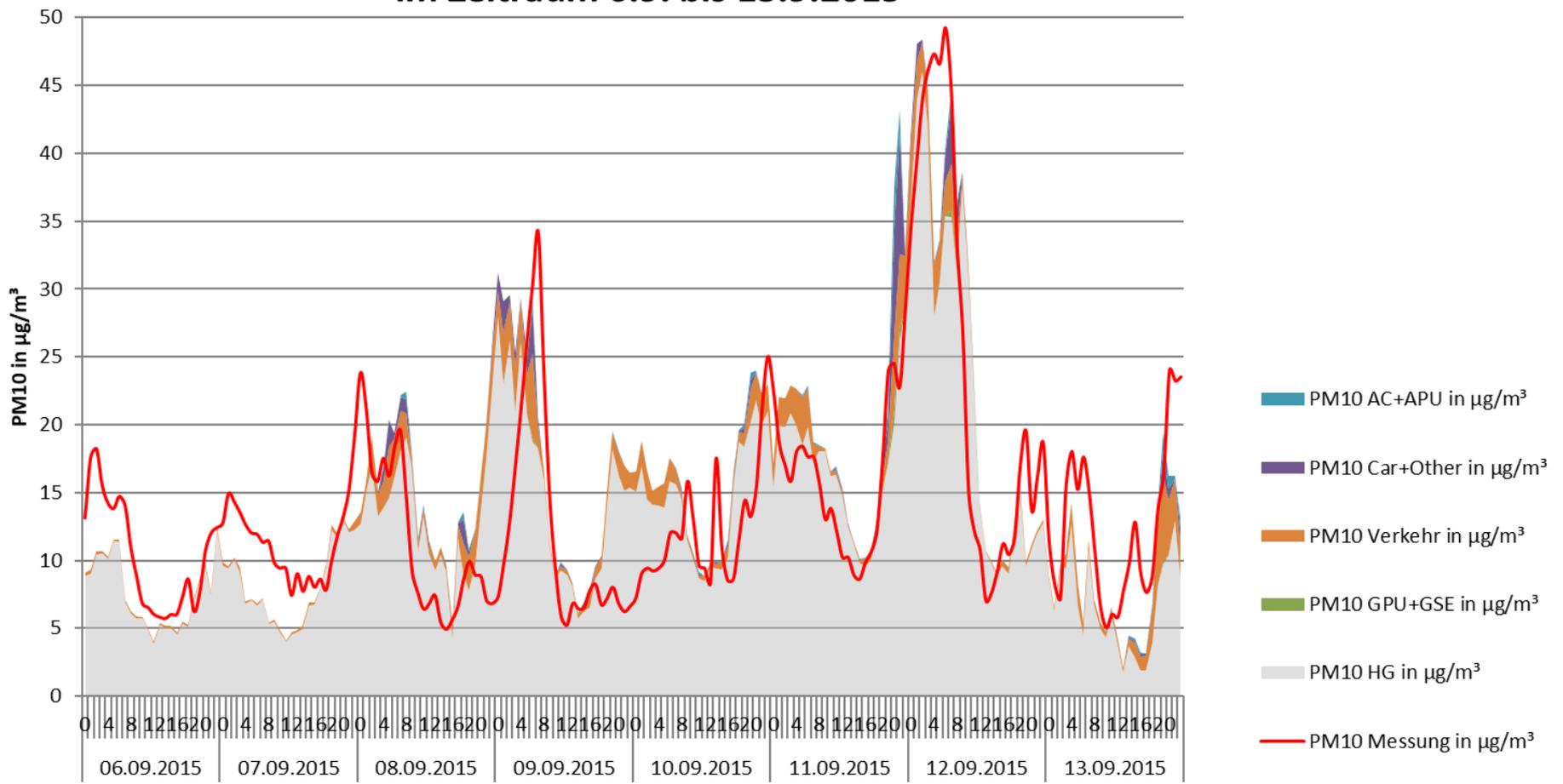




Vergleich Modellierung / Messung PM10 im Zeitraum 6.9. bis 13.9.2015

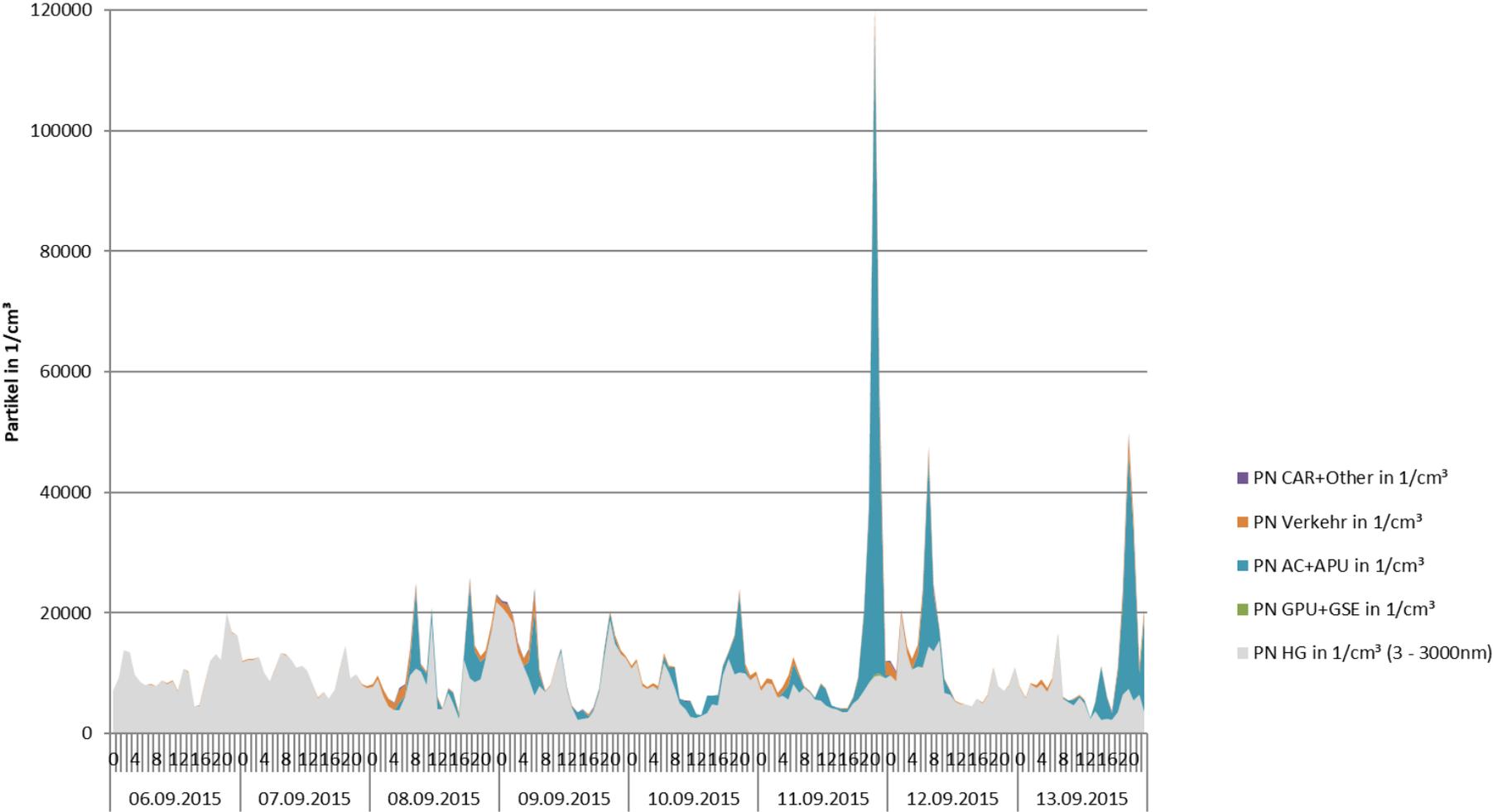


Vergleich Modellierung / Messung PM10 im Zeitraum 6.9. bis 13.9.2015



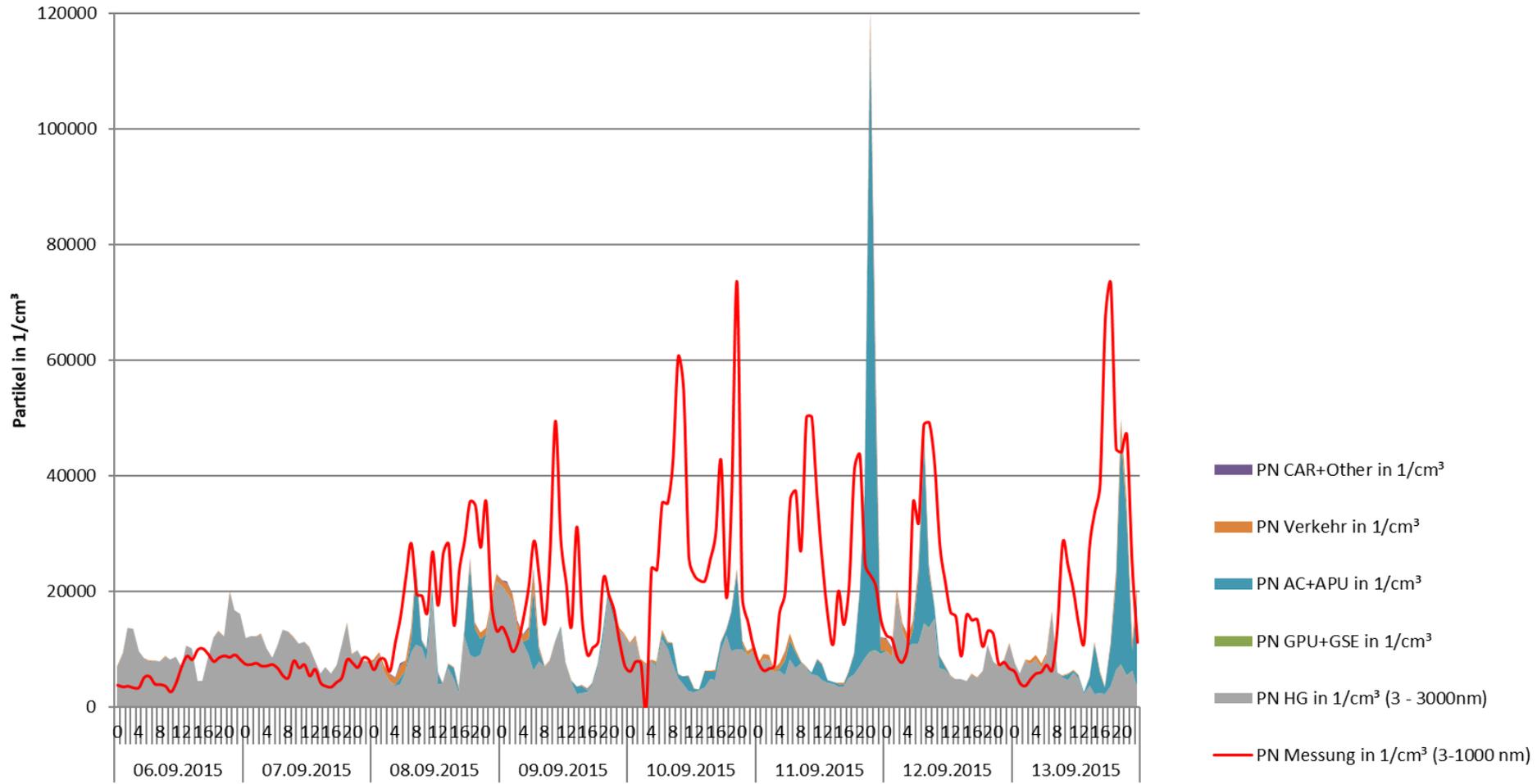


Vergleich Modellierung / Messung Partikelanzahl im Zeitraum 6.9 bis 13.9.2015





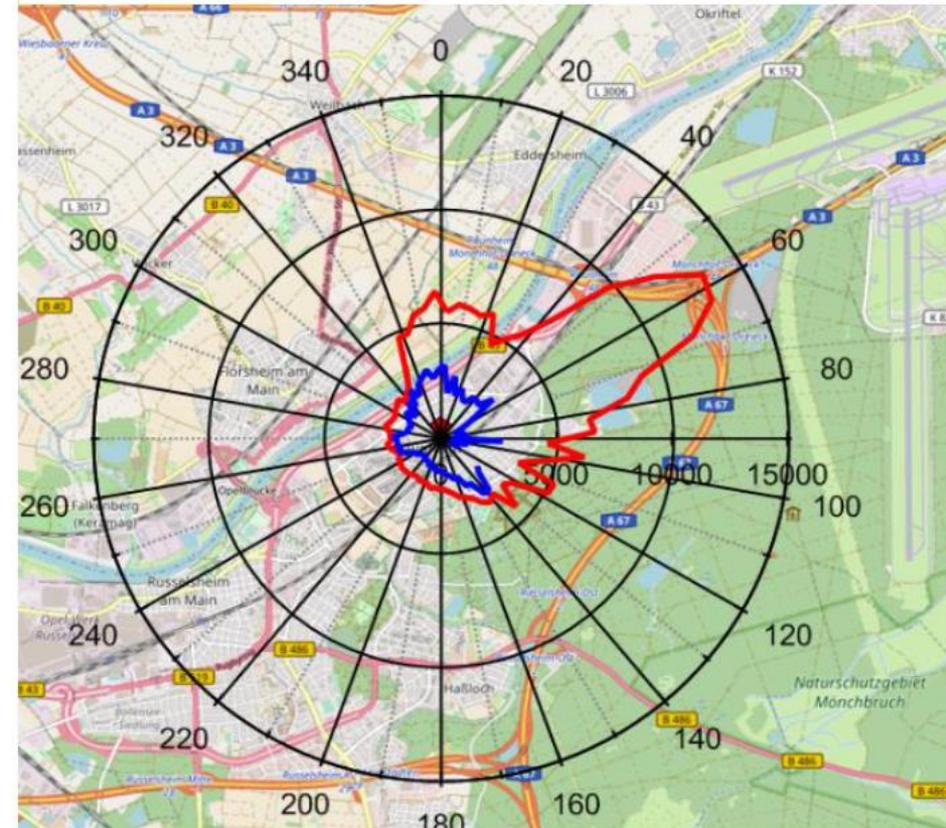
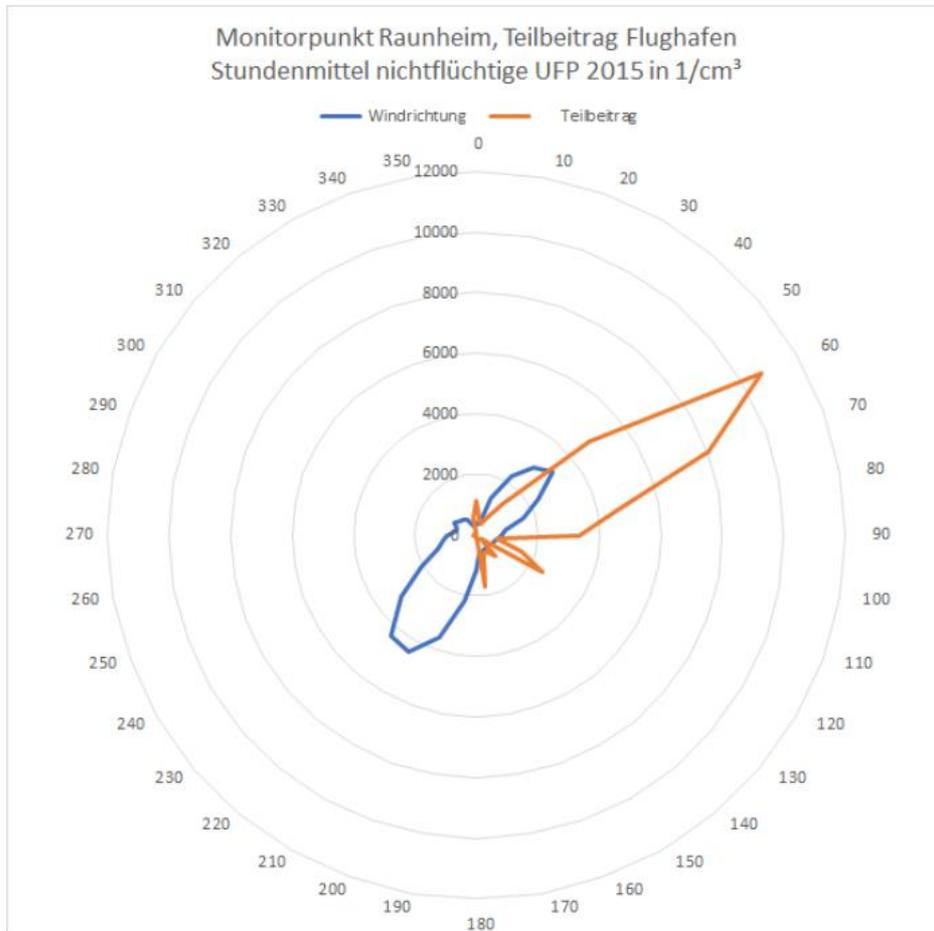
Vergleich Modellierung / Messung Partikelanzahl im Zeitraum 6.9 bis 13.9.2015



Vergleich modellierte Triebwerkskonzentrationen (AC+APU) mit HLOG-Messungen in Raunheim 2018



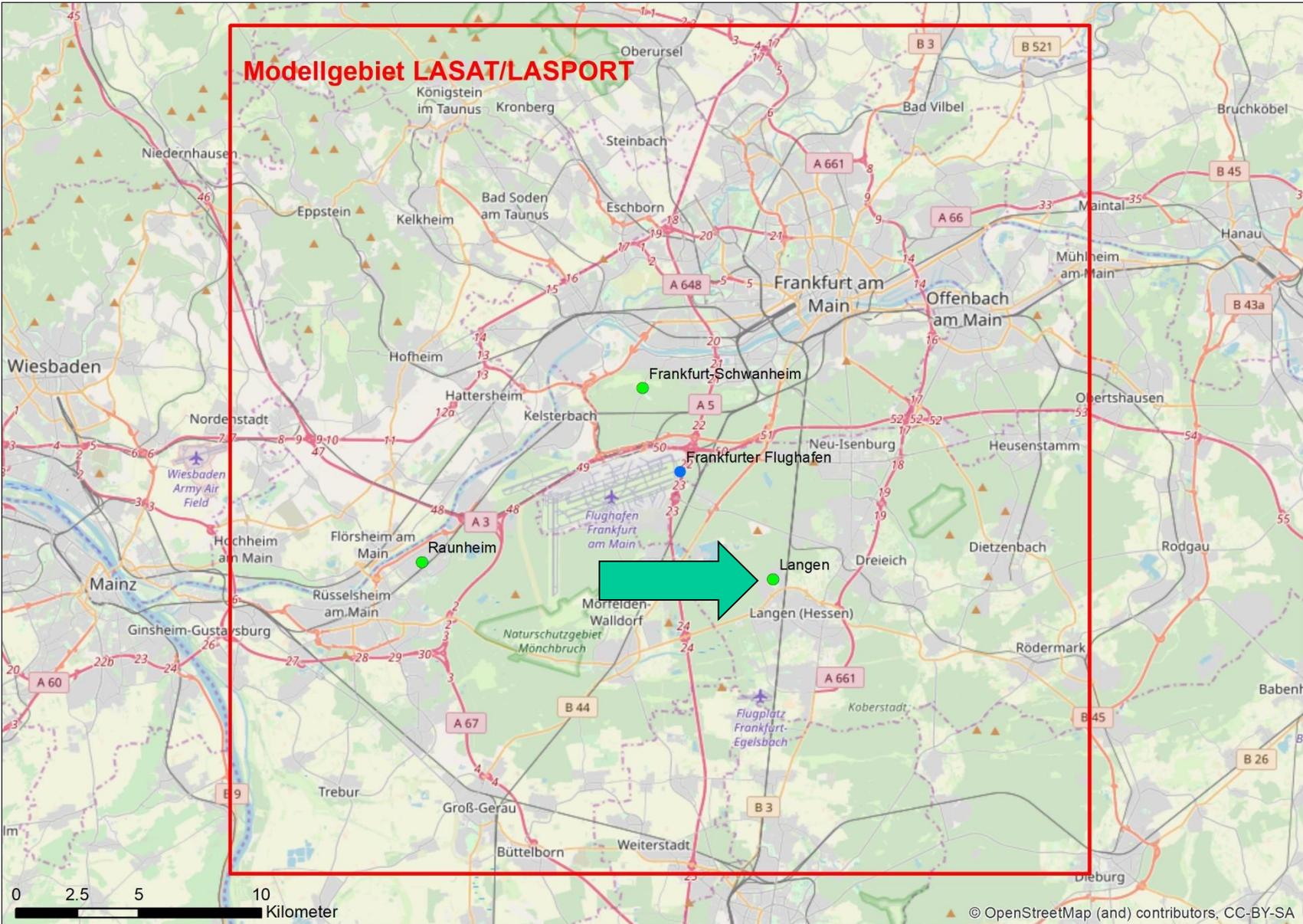
Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG
Karlsruhe und Dresden



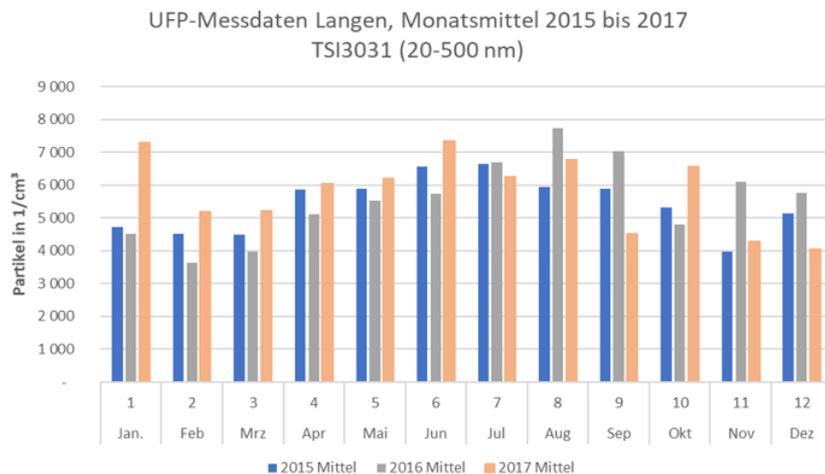
Ogrange Linie: modellierte jahresmittlere UFP-Anzahl-Konzentration *nicht flüchtiger* Partikel resultierend aus Flugzeugtriebwerken.

Blaue Linie: Windrichtung, zeitl. Auflösung: 1h

In Raunheim gemessene mittlere (2017/10 – 2018/2) UFP-Anzahl-Konzentration *flüchtiger* und *nicht flüchtiger* Partikel, zeitl. Auflösung: 5 min, Rote Linie: tags, blaue Linie: nachts

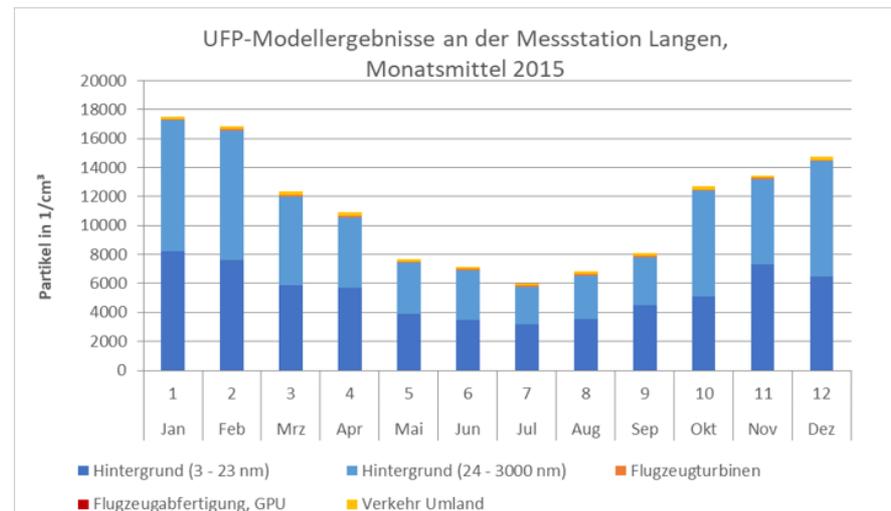


Validierung der Modellergebnisse auf Basis der Messwerte der Stationen Langen, UFP Jahrgang Monatsmittelwerte



Messung (links): 2015 – 2017
UFP Maximum im Sommer.
Auswertungen zeigen besonders
Partikel < 50 nm.

Ergebnis: Hintergrundmodell gibt Partikelneubildung nicht in ausreichendem
Maße wider.



Modell (rechts)
Im Gegensatz zu Messung **Minimum im Sommer.**

- Bei den Emissionsfaktoren der einzelnen Quellgruppen (Verkehr, Flugzeugtriebwerke, Bodenstromaggregate, Flughafenverkehr) und auch bei verschiedenen Messgeräten (Scanning Mobility Particle Sizer: SMPS, Kondensationspartikelzähler: CPC) werden unterschiedliche Partikel-Größenklassen berücksichtigt bzw. gemessen.
→ Dies erschwert die Modellierung der gemessene Werte.
- Ultrafeinpartikel: Modellergebnisse liegen bezogen auf Jahres-Mittelwerte in der gleichen Größenordnung wie Messwerte.
- Ultrafeinpartikel : Modellergebnisse können die zeitliche Dynamik der Messzeitreihen nicht wiedergeben. Die Modellzeitreihen weisen im Sommer niedrigere Werte auf als im Winter. In den Messzeitreihen verhält sich dies genau umgekehrt.



- PM10 und NO_x: Modellergebnisse liegen sowohl bezogen auf Monats- und Jahres-Mittelwerte als auch im Tagesverlauf in der gleichen Größenordnung wie Messwerte.



- Die Ergebnisse des Modell-Messwert-Vergleiches deuten darauf hin, dass die Partikelbildungsprozesse eine wichtige Rolle spielen, die jedoch mit den derzeitigen Standardmodellen nicht entsprechend wiedergegeben werden.
- Für die Modellvalidierung werden mehr kontinuierliche UFP-Messstationen benötigt (ein erster Schritt erfolgte bereits mit der Einrichtung der Messstelle Frankfurt-Schwanheim).
- Bei der Bestimmung/Messung der Ultrafeinpartikel-Emissionen der einzelnen Quellgruppen sollte zukünftig darauf geachtet werden, dass die gleichen Größenklassen abgedeckt werden und dass zwischen flüchtigen und nichtflüchtigen Partikeln unterschieden wird.
- Der Einfluss der flüchtigen Partikel sollte noch weiter untersucht werden.



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**
