

Kombination mobiler Messungen mit Kleinflugzeugen und Kraftfahrzeugen

Fallstudie vom 15. Februar 2017

Statuskolloquium Luft

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

06.Dezember 2017

Dresden

Konradin Weber, Christian Fischer, Christoph Böhlke, Tobias Pohl

Labor für Umweltmesstechnik, Hochschule Düsseldorf HSD

■ Inhalt

- Einleitung
- Meteorologische Gegebenheiten
- Ergebnisse der Kfz-Messfahrt
- Daten der Messstationen des CHMI
- Ergebnisse der Befliegung
- Fazit

■ Motivation

- Untersuchung der Luftqualität durch Messungen am Boden mit Kfz sowie mit dem Flugzeug. Feststellung des Unterschiedes der Luftbelastung am Boden und in hohen Luftschichten.
- Messungen mit Kfz: Fahrt auf einer durch das LfULG vorgegebenen Strecke inkl. Vorbeifahrten an Emittenten und Messstationen im Untersuchungsgebiet.
- Messung mit Flugzeug: Flug entlang einer durch das LfULG vorgegebener Route beginnend im westlichen Teil des Nordböhmisches Beckens. Vermessung von Emittenten durch doppelte Umrundung.
- Ziel: Situationsbeschreibung der Luftqualität zur Winterzeit im Nordböhmisches Becken und entlang des Erzgebirgskammes.

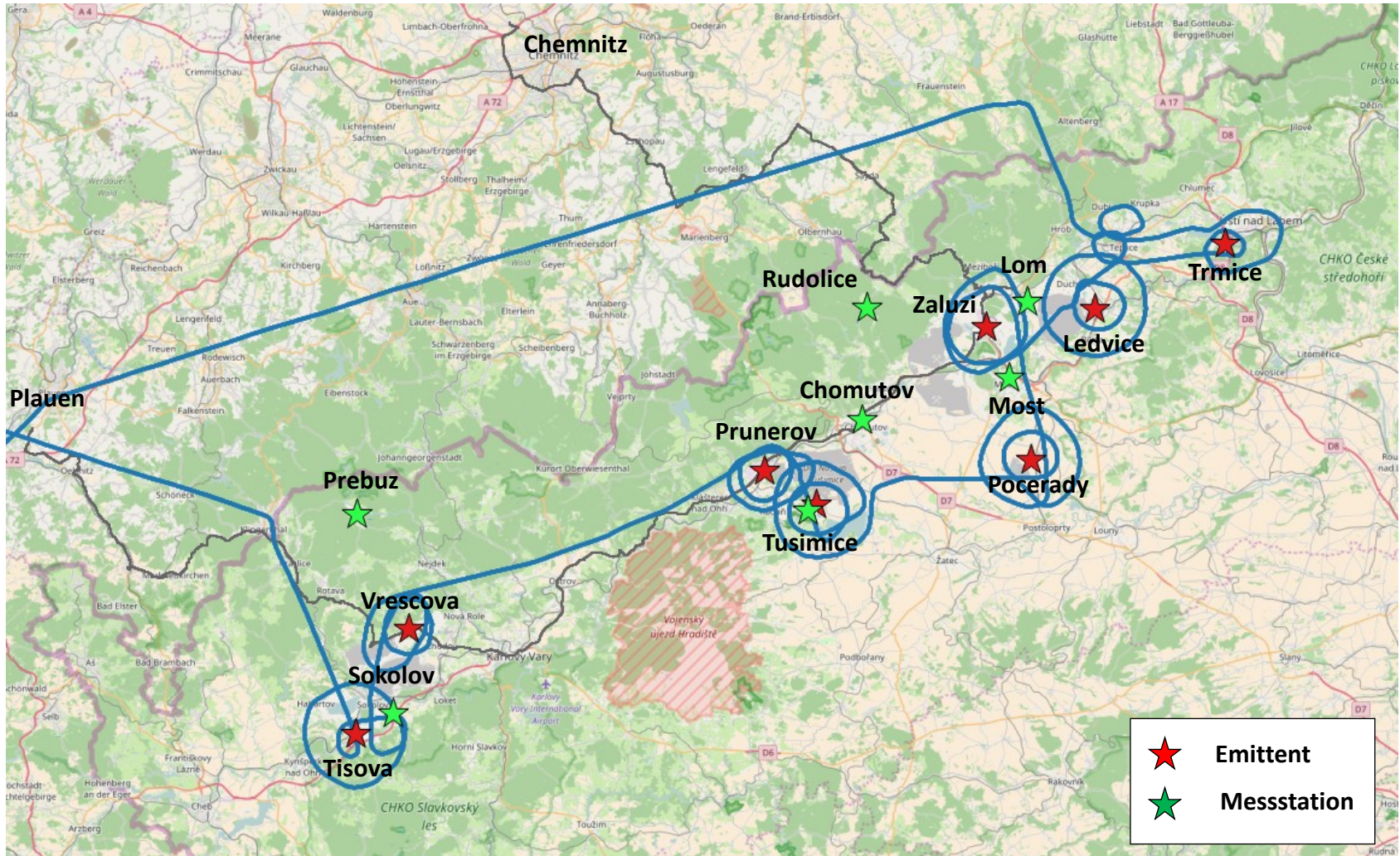
■ Messtechnische Ausstattung:

Diamond - DA42

- Aerosole (0,25 - 32 μm)
OPC (SkyOPC, Fa. Grimm)
- Ultrafeinpartikel FP (25 bis 250 nm)
FCAE (NanoCheck 1320, Fa. Grimm)
- Ruß / EC / BC
Aethalometer (AE33 Avio, Fa. Magee Scientific / Aerosol d.o.o.)
(wurde freundlicherweise von der Firma AEROSOL d.o.o., Ljubljana, für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt)
- Schwefeldioxid SO_2
UV-Fluoreszenz (Horiba APSA 370)
- Stickstoffdioxid NO_2
CAPS (AS32 M, Ansyco / Environnement S.A.)
- Ozon O_3
UV-Fluoreszenz (POM, 2b Technologies)



■ **Flugroute (12:15 - 16:15 MEZ)**



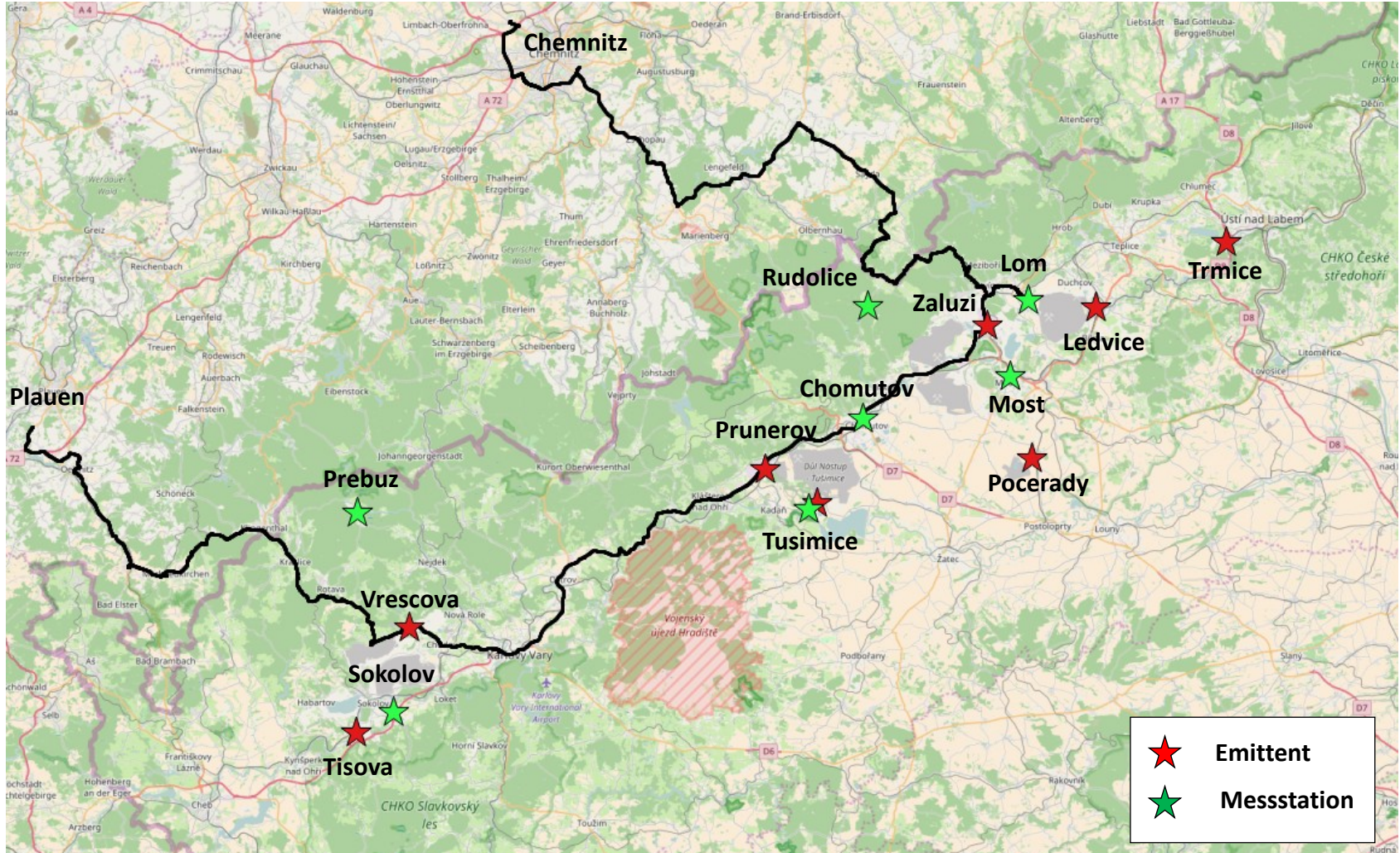
Karte: © [OpenStreetMap](#) contributors

■ Messtechnische Ausstattung:

Kraftfahrzeug

- Aerosole (0,25 - 32 μm)
OPC (OPC 1.109, Fa. Grimm)
- Ultrafeinpartikel FP (25 bis 250 nm)
FCAE (NanoCheck 1320, Fa. Grimm)
- Ruß / EC / BC
Aethalometer (AE33, Fa. Magee Scientific / Aerosol d.o.o.,
(wurde freundlicherweise von der Firma AEROSOL d.o.o.,
Ljubljana, für das Forschungsprojekt zur Verfügung
gestellt)

■ Messroute Kfz (09:15 - 16:15 MEZ)

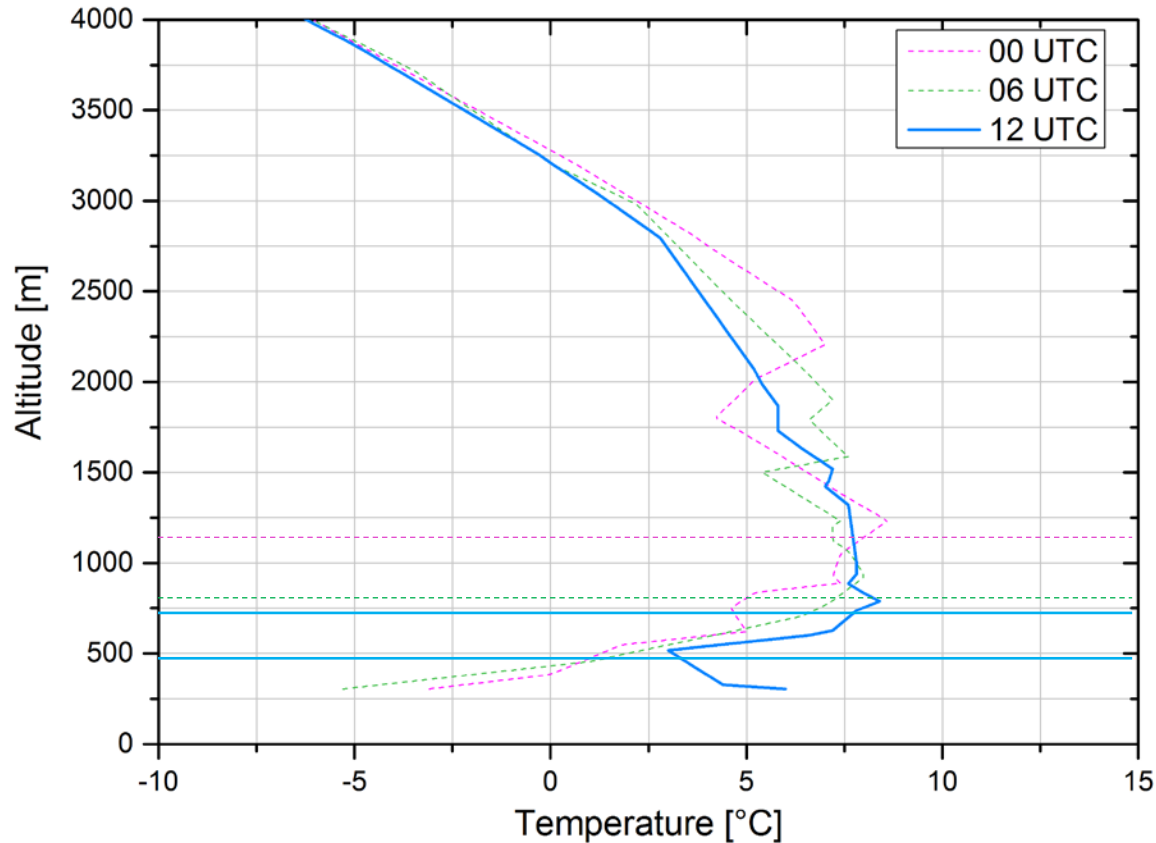


Karte: © [OpenStreetMap](#) contributors

- **Meteorologie - Wetter am 15.02.2017**
 - Stabile winterliche Wetterlage unter Hochdruckeinfluss über Mittel- und Osteuropa.
 - Keine Bewölkung. Kein Regen-/Schneefall.
 - Temperaturen in der Region. Nachts deutlich unter 0 °C. Tagsüber bis 10 °C.
 - Strahlungswetterlage. Bildung einer Bodeninversion inkl. Bodennebel in Tallagen.

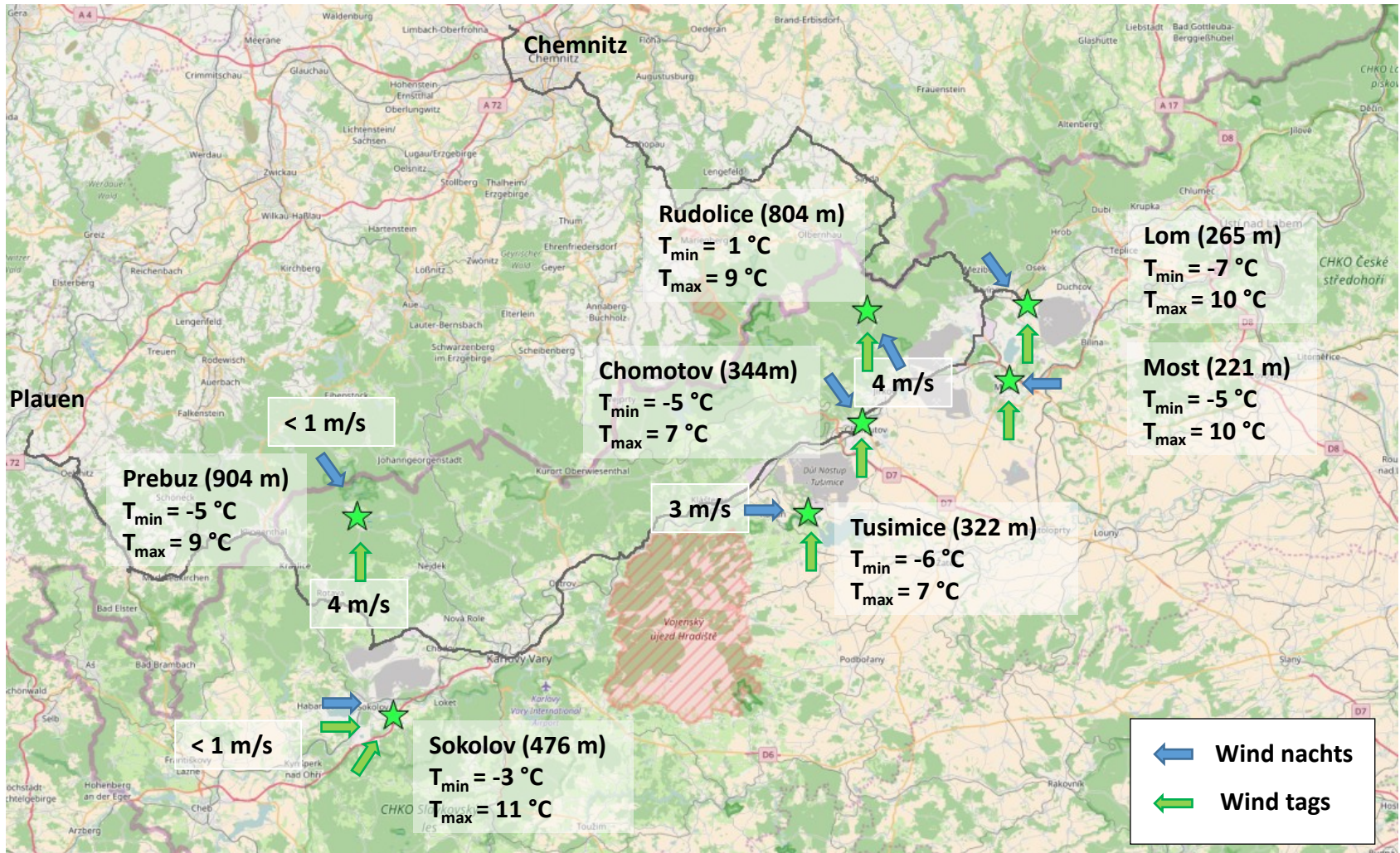
■ Meteorologie - Vertikalsondierung - 12 UTC

Station: Prag (304 m, 14.45 °E, 50.01 °N)

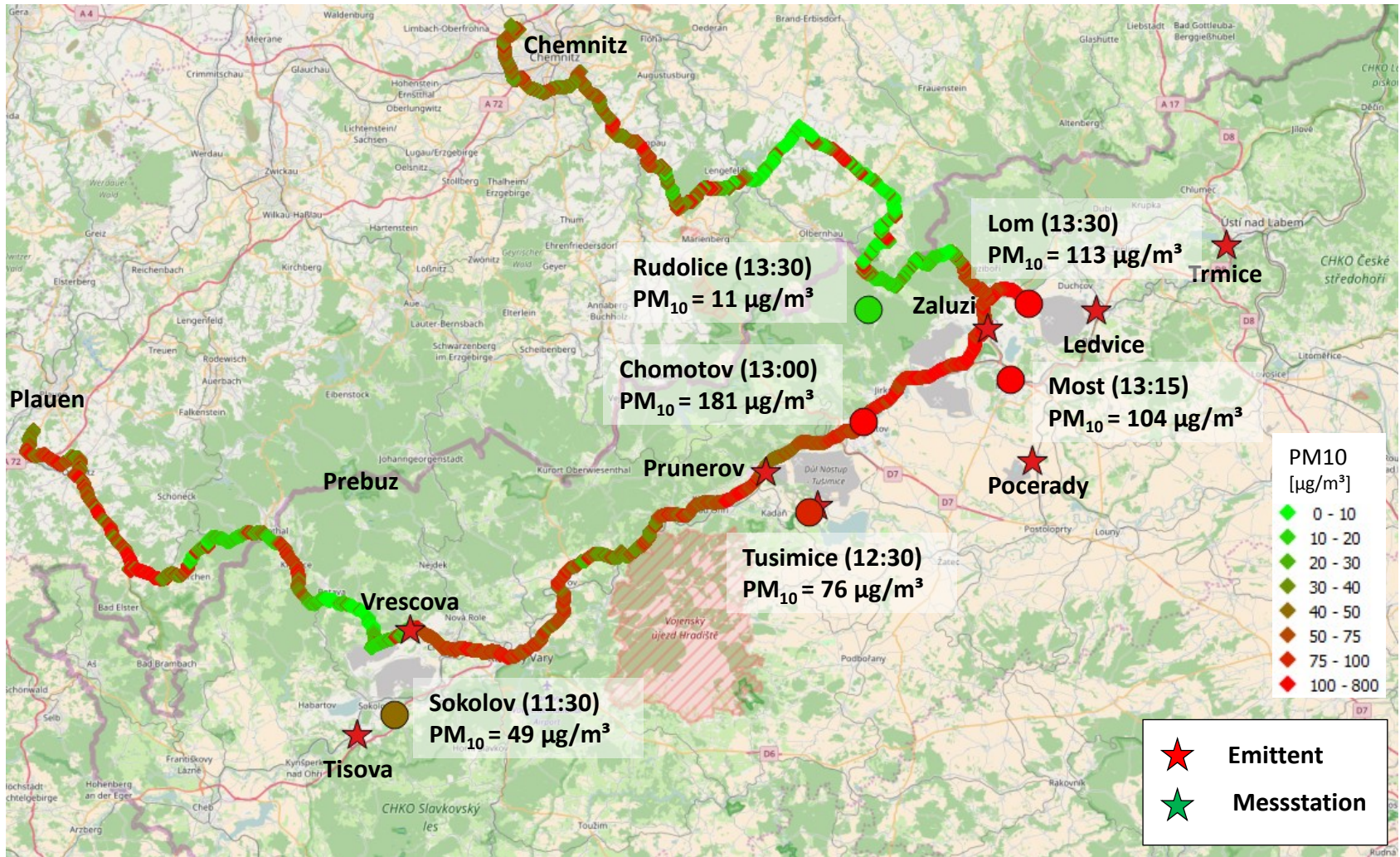


- Inversionsobergrenze ca. 800 m um 12 Uhr.
- Schwacher Wind meist aus südlichen Richtungen

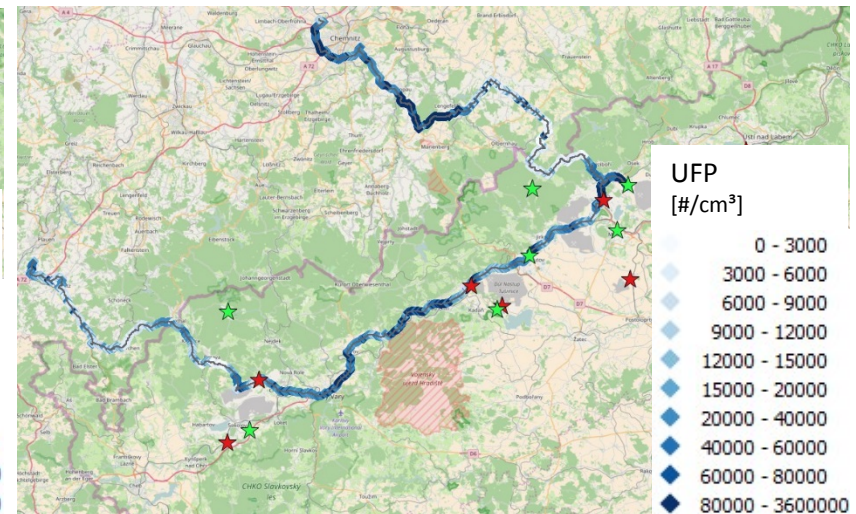
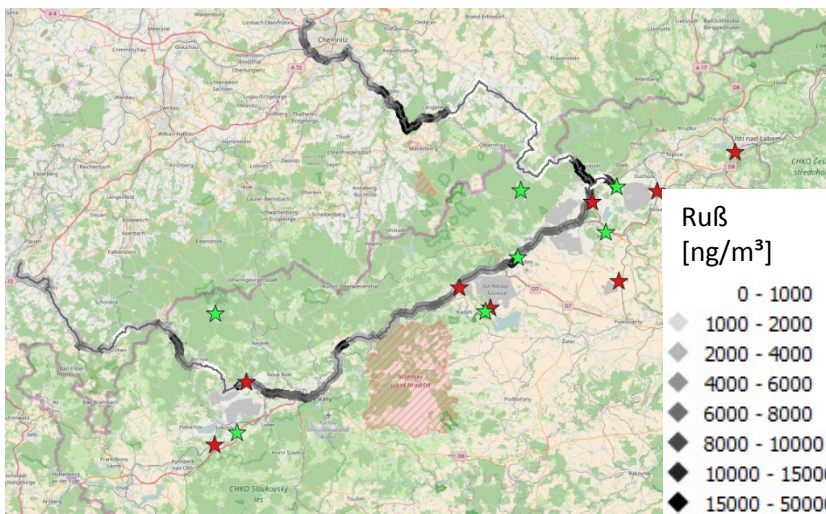
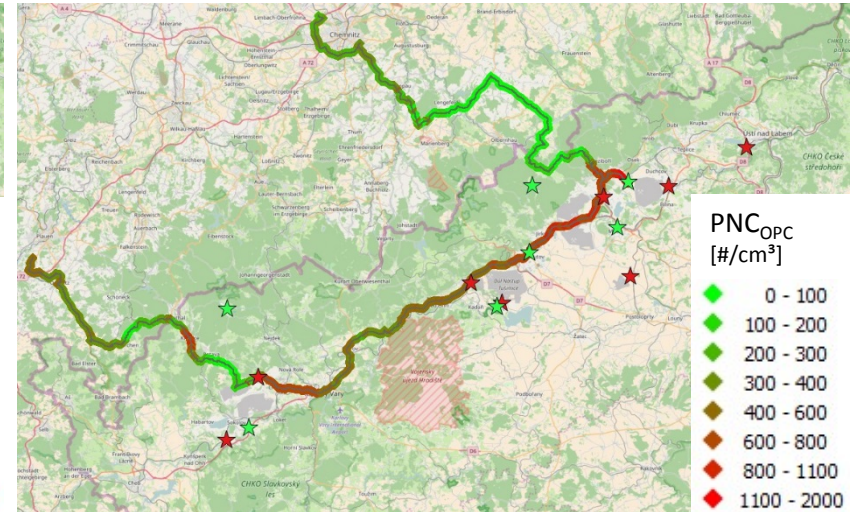
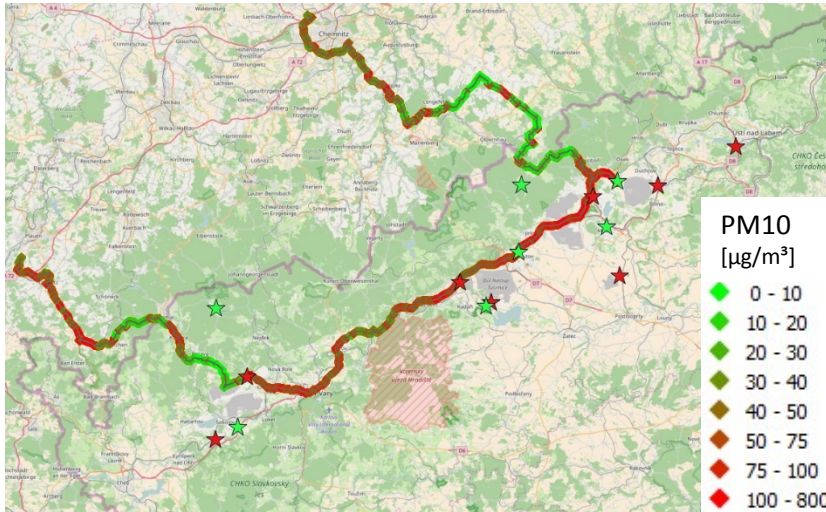
■ Meteorologie der Bodenstationen des CHMI



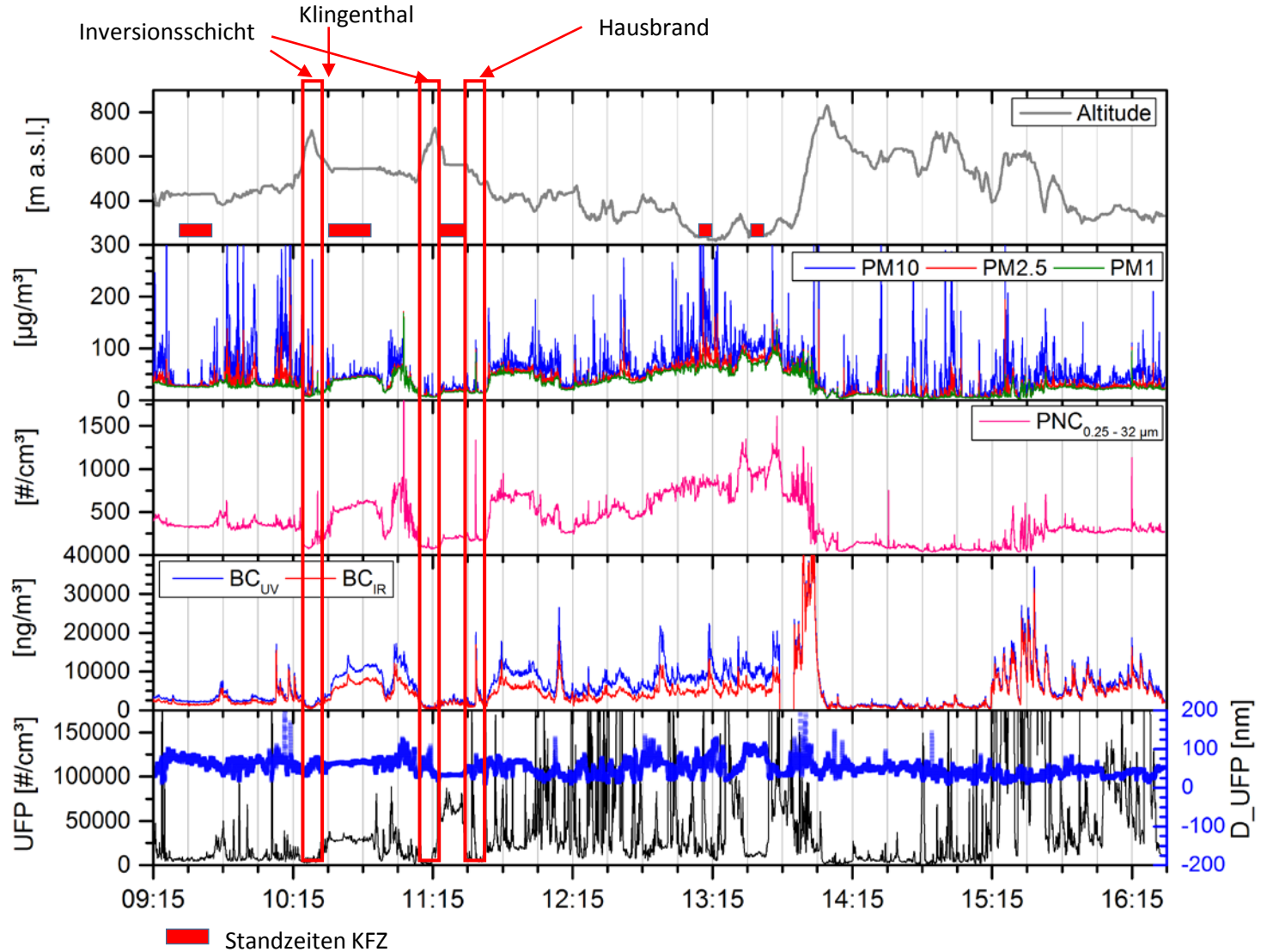
■ Vergleich stationärer und mobiler PM₁₀ Konzentrationen



Schadstoffkonzentrationen entlang der Messroute



Ergebnisse der Messung via KFZ

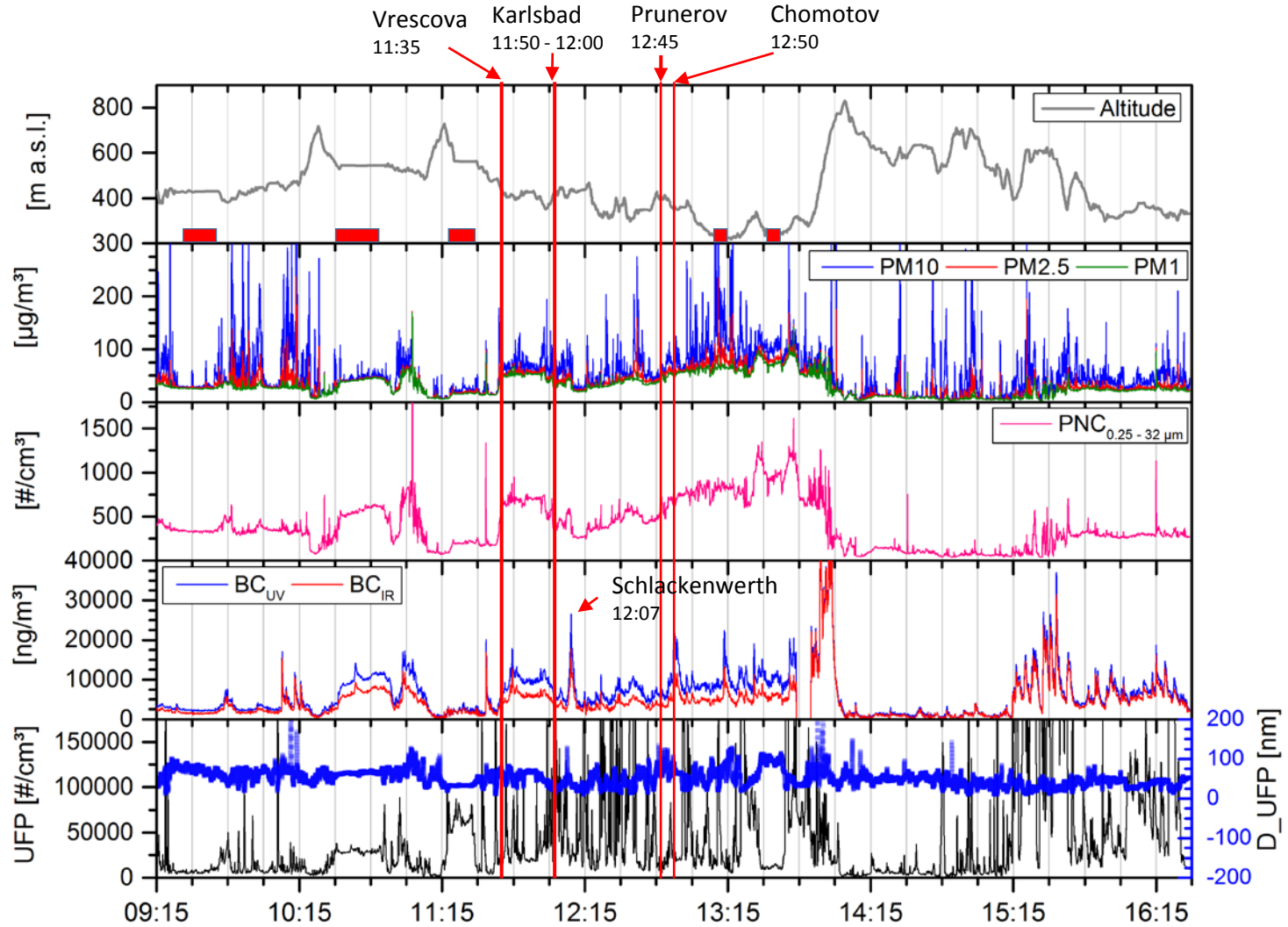


■ Ergebnisse der Messung via KFZ

- Großräumige Konzentrationsverteilungen besser bei PM_{10} , PNC und BC sichtbar. Peaks von PM_{10} können von Kfz beeinflusst sein (Aufwirbelung). $PM_{2.5}$ durch Streusalz (?).
- Peaks der UFP-Konzentration wahrscheinlich durch vorherfahrende Fahrzeuge beeinflusst.
- Passieren der Inversionsgrenzschicht -> Abfall der Konzentrationen ab einer Höhe von ca. 600 m (Oberzwota) und 560 m (Heinrichsgrün).
- Erste großflächige Erhöhungen südlich von Klingenthal.
- Peaks gegen 11:33 Uhr -> Hausbrand.

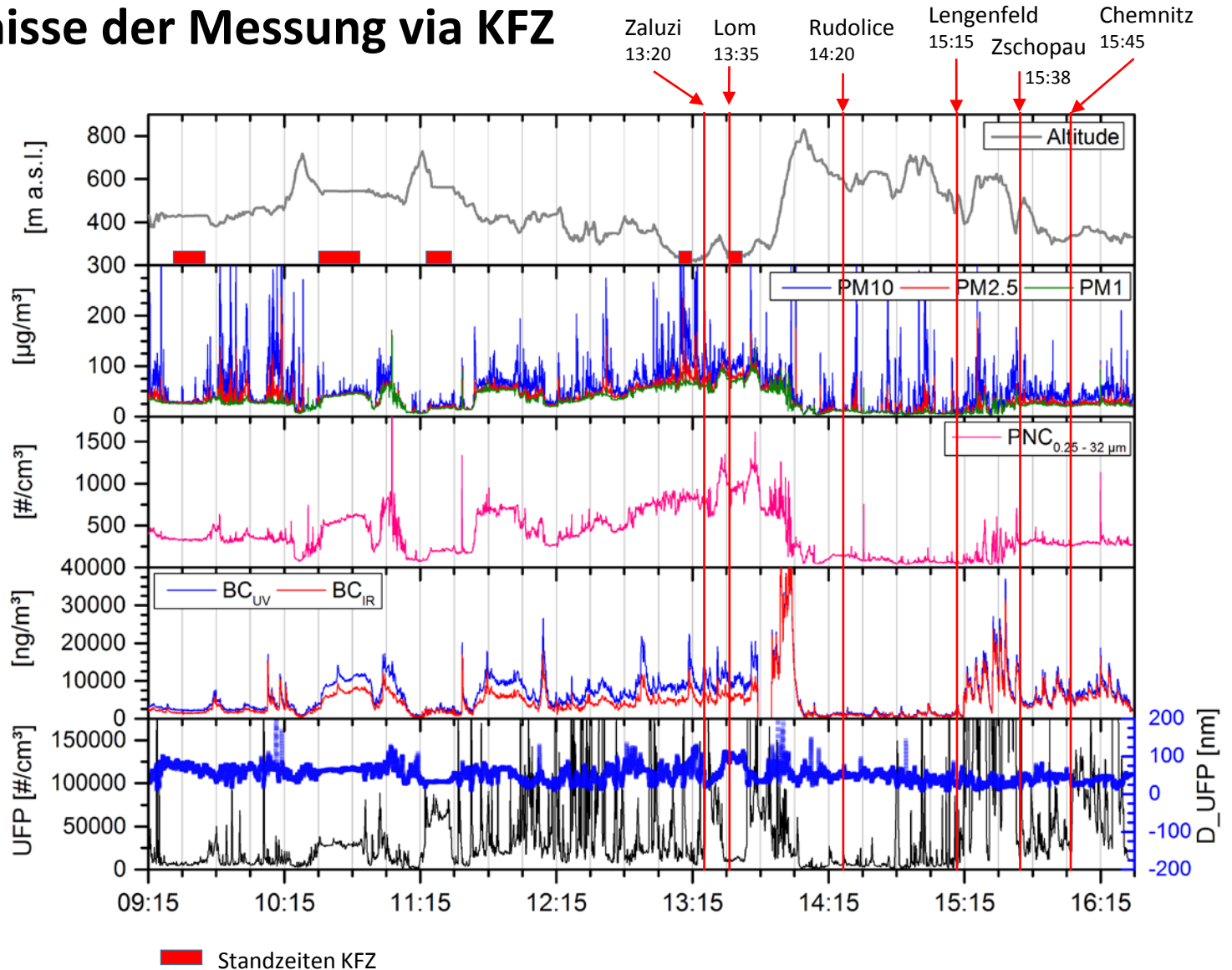


Ergebnisse der Messung via KFZ

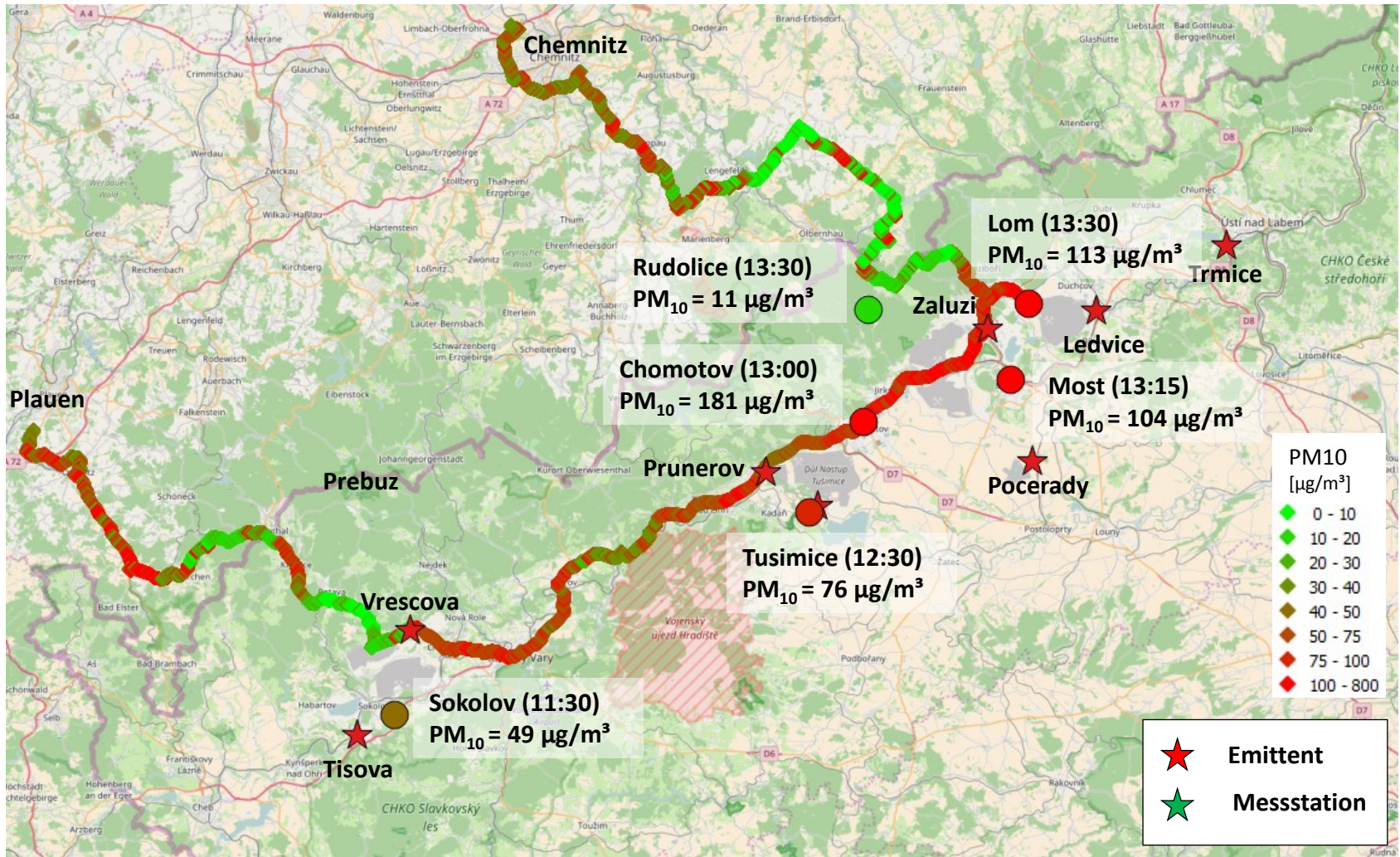


Standzeiten KFZ

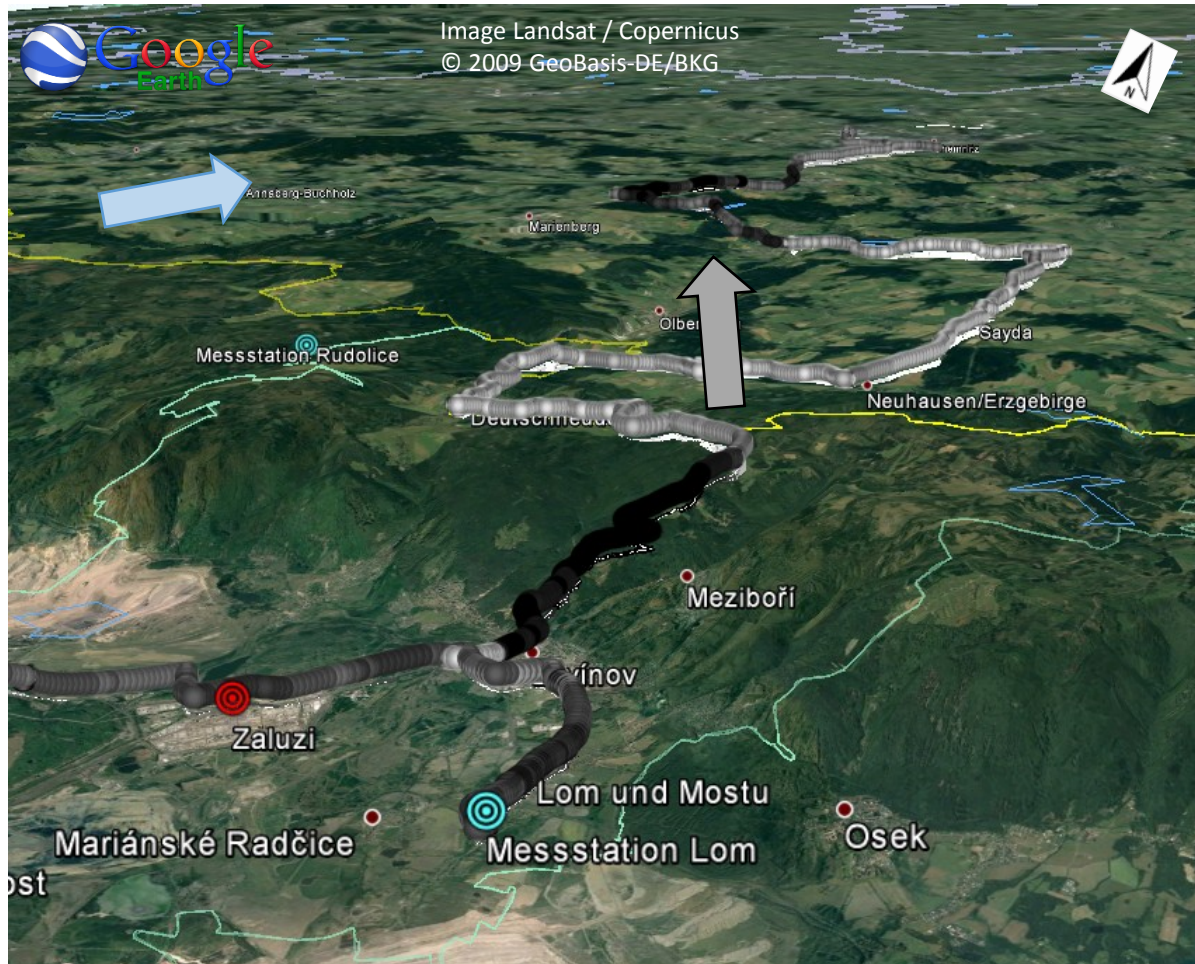
■ **Ergebnisse der Messung via KFZ**



■ Vergleich stationärer und mobiler PM₁₀ Konzentrationen

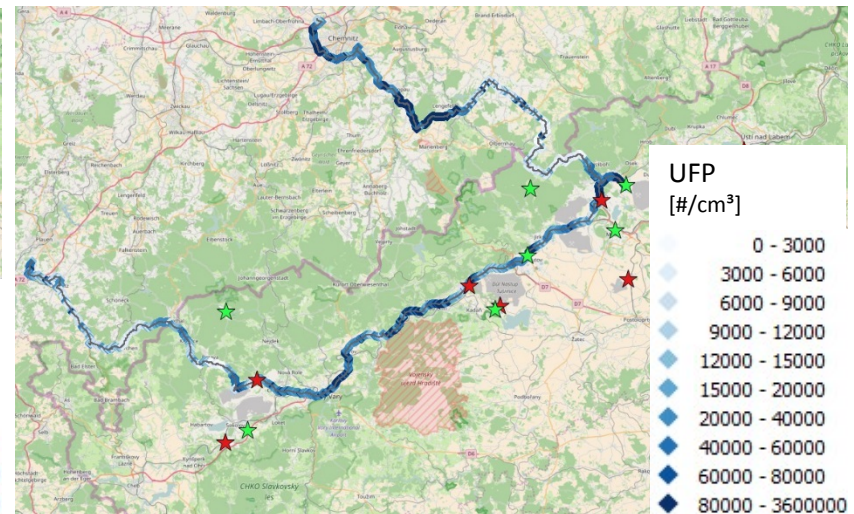
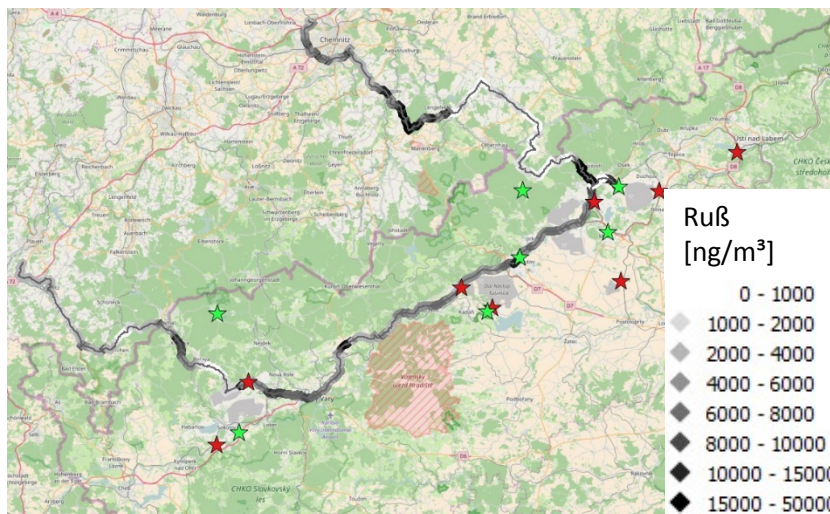
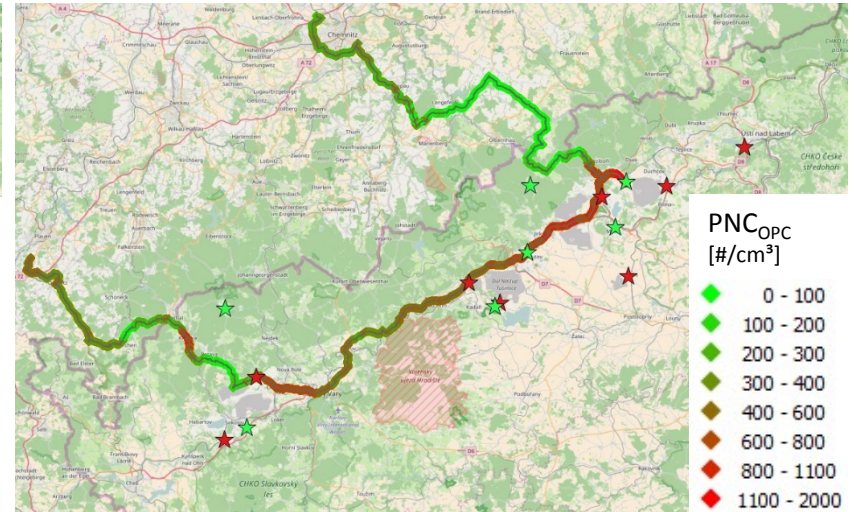
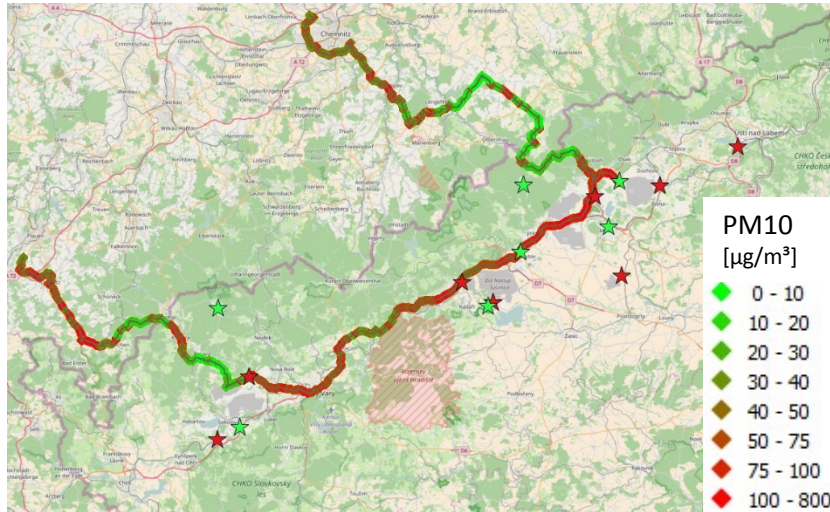


- **Ergebnisse der Messung via KFZ**



Karte: © 2017 Google LLC

■ Schadstoffkonzentrationen entlang der Messroute



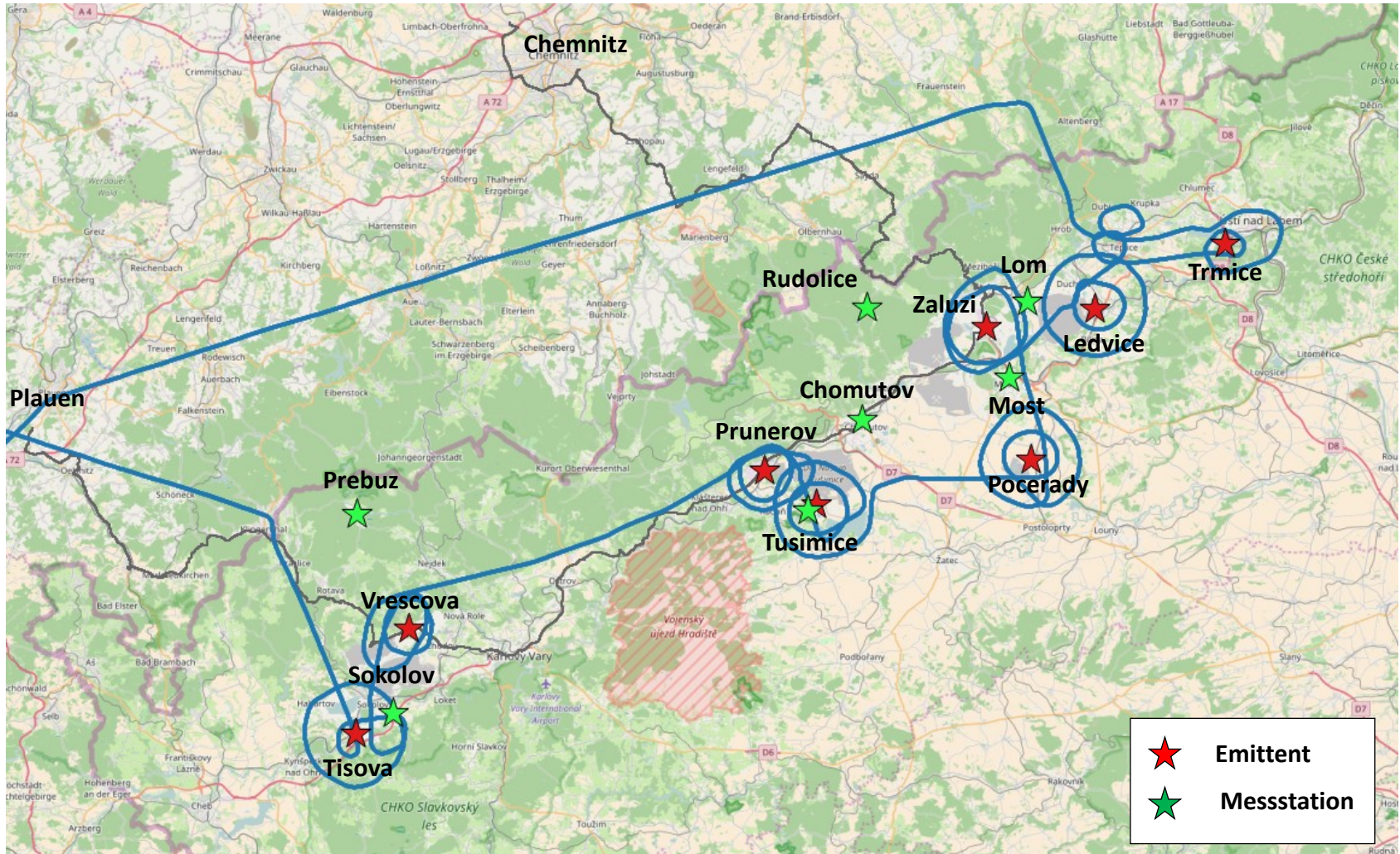
■ Fazit der Messung via KFZ

- Großflächig erhöhte Werte im Nordböhmisches Becken (auch zwischen den Messstationen durch mobile Messungen nachgewiesen). Auch UFP und BC gemessen.
- Gemittelte Schadstoffbelastungen im Nordböhmisches Becken:
 $PM_{10} = 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 $UFP = 35.000 \text{ \#/cm}^3$
 $BC = 6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Konzentrationen steigen, je weiter man im Nordböhmisches Becken Richtung Osten kommt.
- Daten werden durch die Messwerte des CHMI bestätigt. Zusätzlich zu den Daten des CHMI jetzt auch Daten für UFP und BC durch die Messfahrten verfügbar.
- Konzentration sind auf deutscher Seite in der Tendenz geringer.
- Jedoch lokale Konzentrationserhöhung für UFP und BC auch auf deutscher Seite durch die Messfahrt detektiert.

■ Fazit der Messung via KFZ

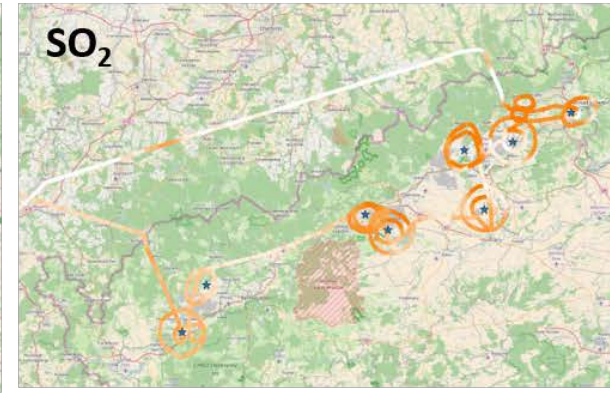
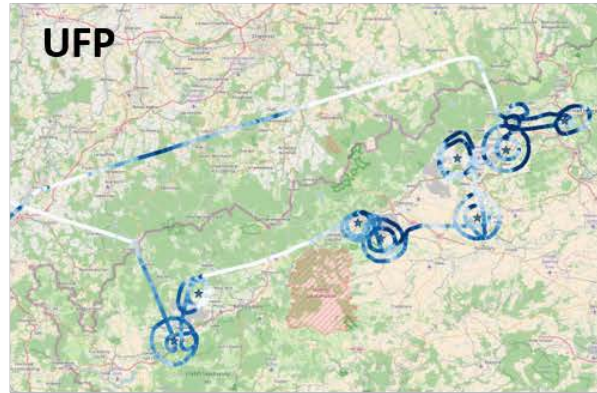
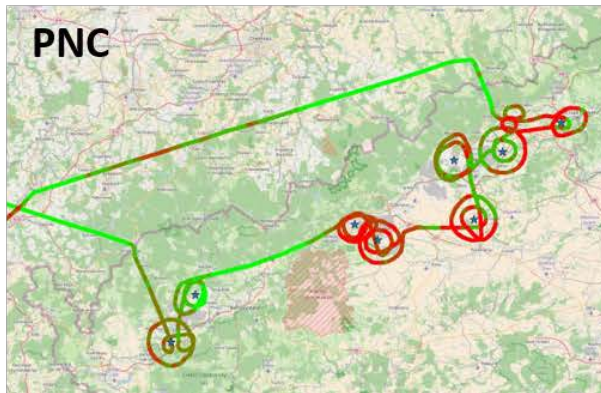
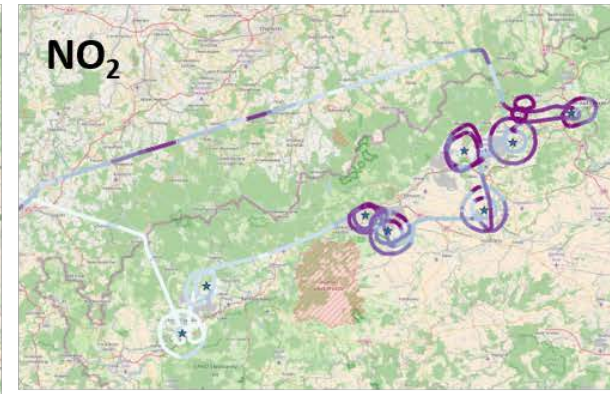
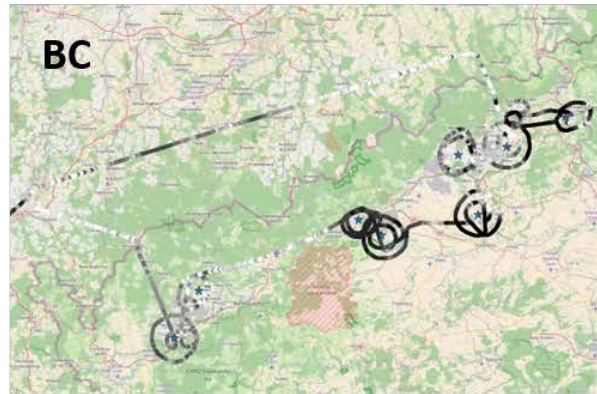
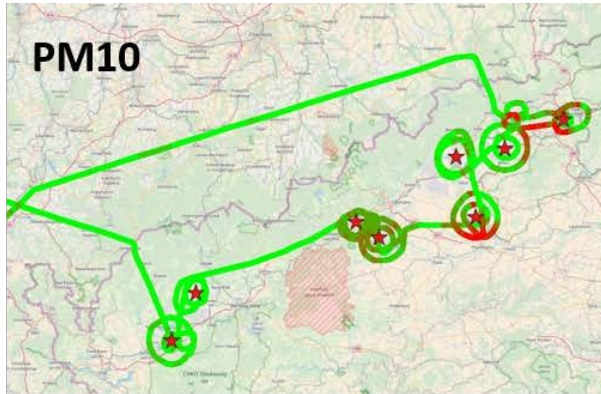
- Austausch über den Erzgebirgskamm aufgrund von Inversionsschicht zwischen 500 und 700 m größtenteils unterbunden (Abfluss durch tiefer liegende Täler möglich).
- Inversionsgrenze auch gut in mobilen Messungen sichtbar.
- Schadstoffanreicherung südlich des Erzgebirgskammes durch schwachen Wind und Inversion.
- Meteorologie ist bei winterlichen Wetterlagen extrem wichtig.
- Mobile Messungen erfassen auch kleinräumige Besonderheiten welche z.B. durch topographische Gegebenheiten beeinflusst sind.

■ **Flugroute (12:15 - 16:15 MEZ)**



Karte: © [OpenStreetMap](#) contributors

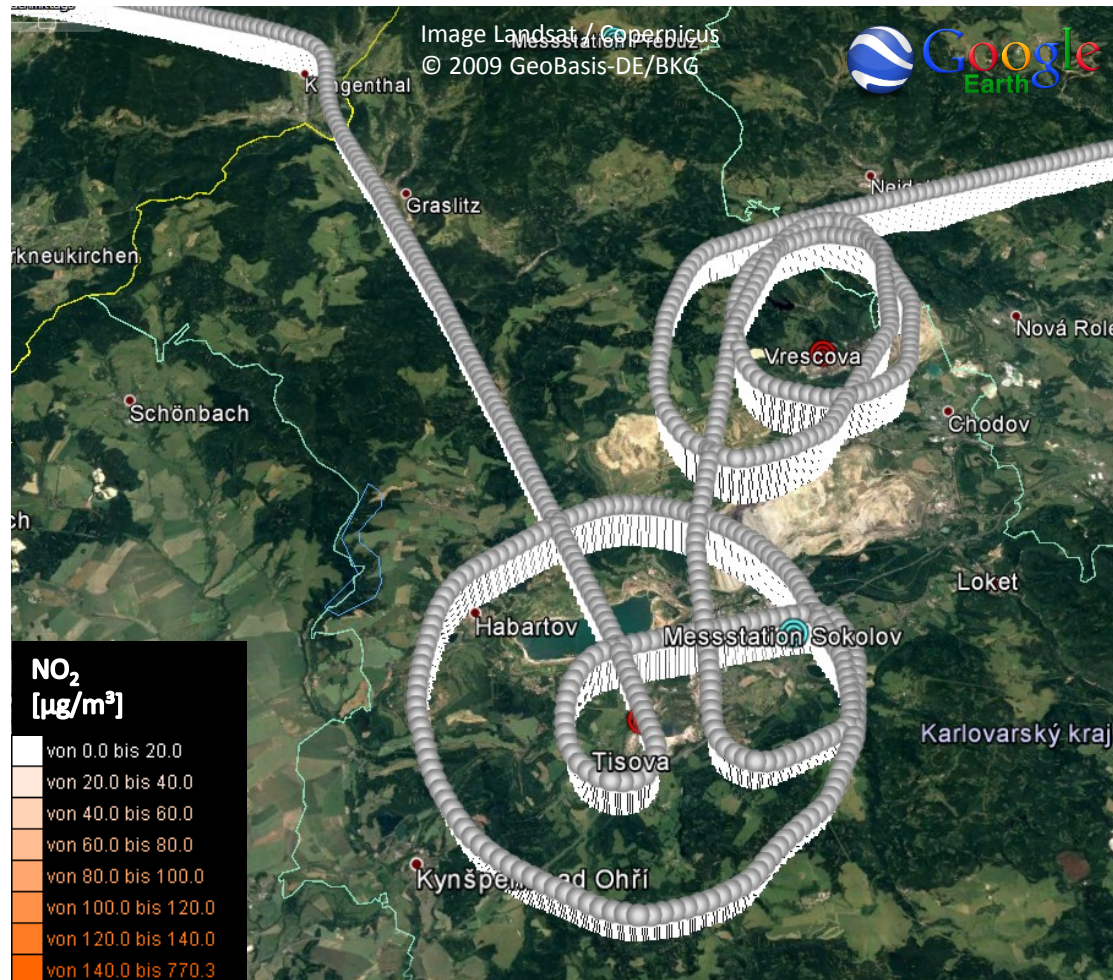
■ Übersicht der Konzentrationsverteilungen des Messfluges



Karte: © [OpenStreetMap](https://www.openstreetmap.org/) contributors

Besonderheit: bei den Flugzeugmessungen auch UFP und BC gemessen

■ Ergebnisse fluggestützter Messungen- Tisova & Vrescova

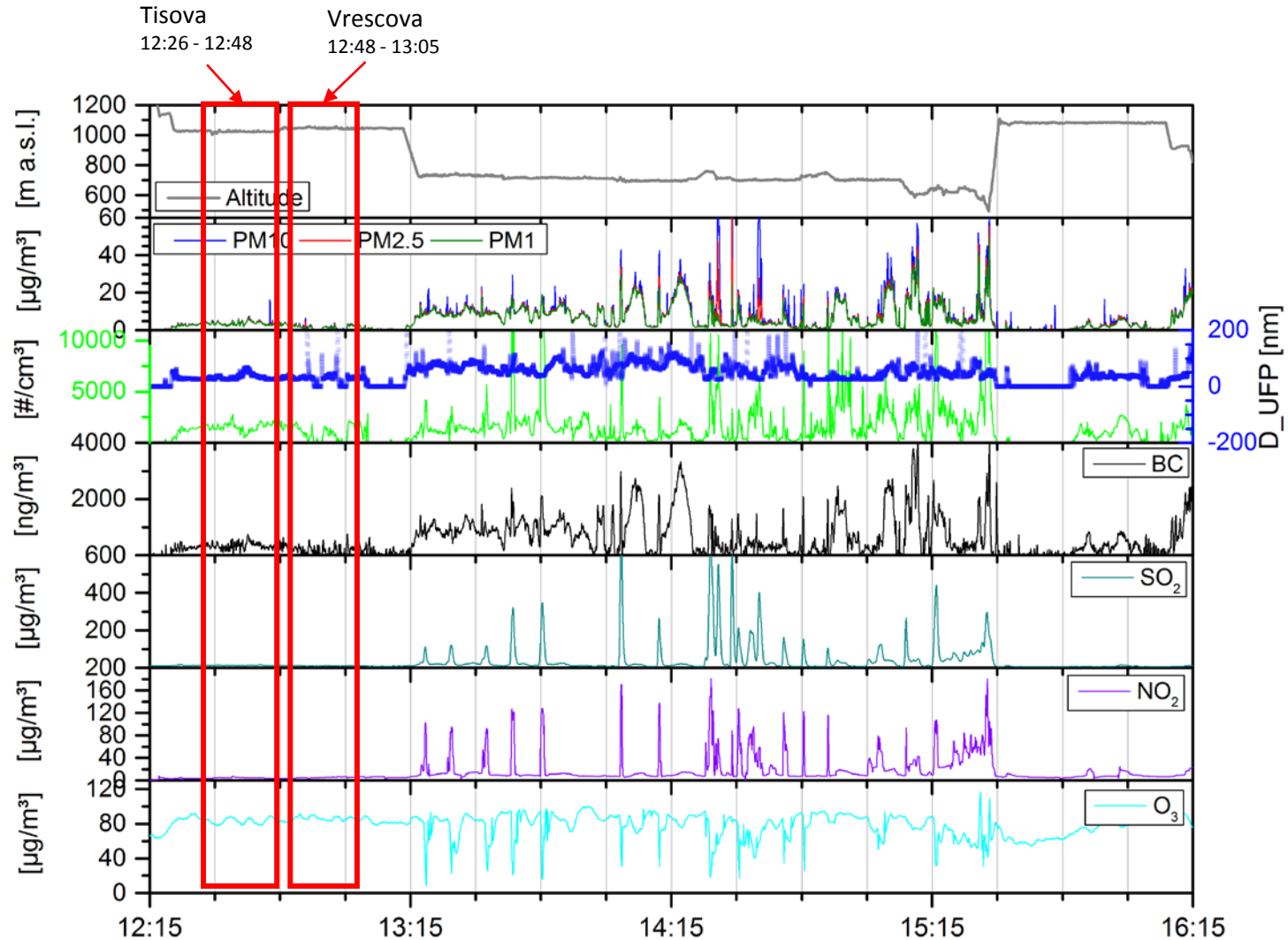


- **Ergebnisse fluggestützter Messungen - Tisova & Vrescova**



Blick Richtung Nordost in das Nordböhmisches Becken. Im Vordergrund Tisova.

Ergebnisse fluggestützter Messungen - Tisova & Vrescova



Ergebnisse fluggestützter Messungen - Prunerov & Tusimice



Prunerov

Distanz: 3 km

UFP = 4.200 #/cm³

BC = 1.400 ng/m³

SO₂ = 110 µg/m³

NO₂ = 100 µg/m³

Tusimice

Distanz: 2,5 (5) km

UFP = 20.000 #/cm³

BC = 2.400 ng/m³

SO₂ = 280 µg/m³

NO₂ = 120 µg/m³

- **Ergebnisse fluggestützter Messungen - Prunerov & Tusimice**

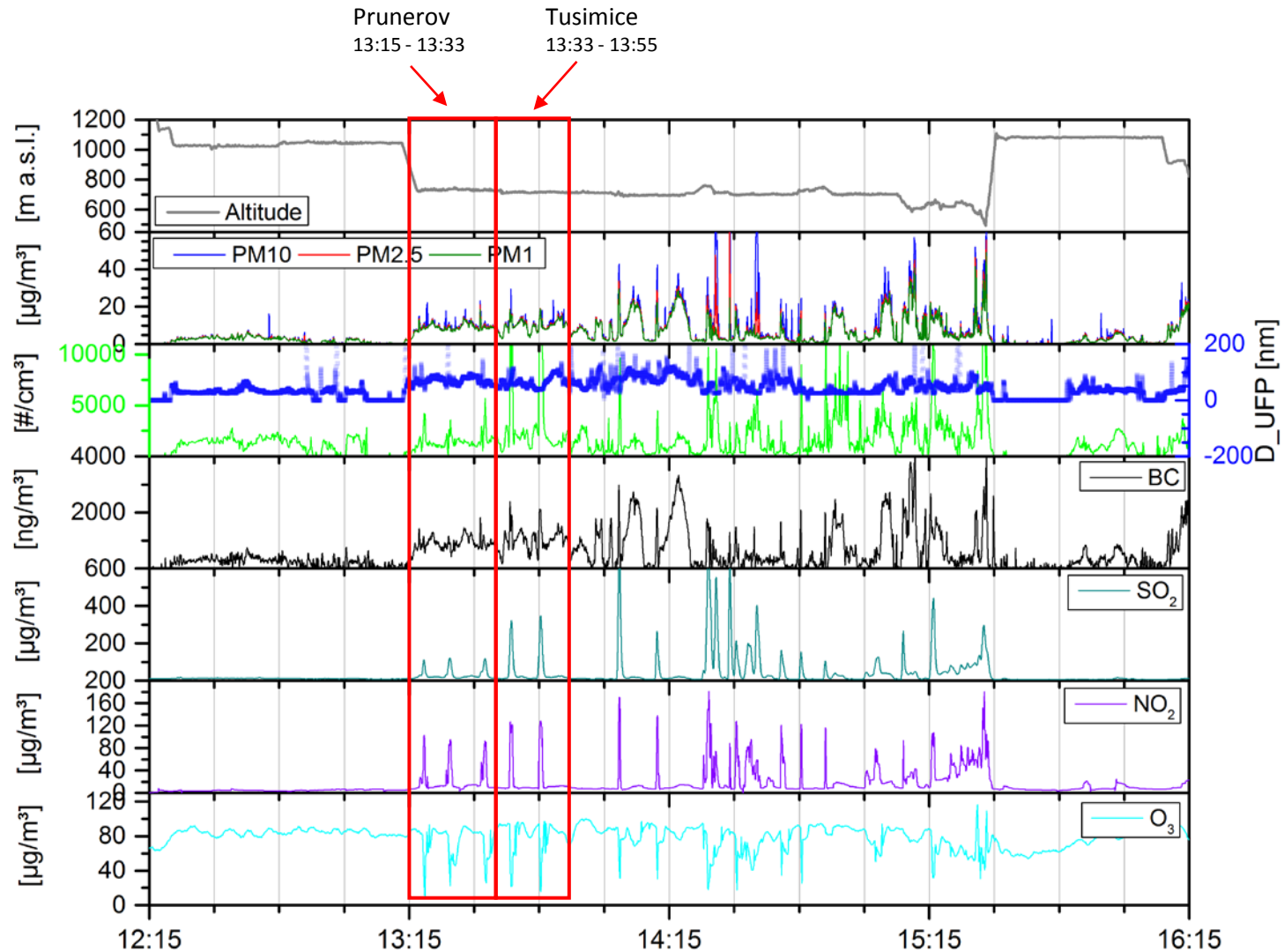


Anflug auf Prunerov (links) und Tusimice (rechts). Gut sichtbar: abknickende Abgasfahnen über der Grenzschicht.

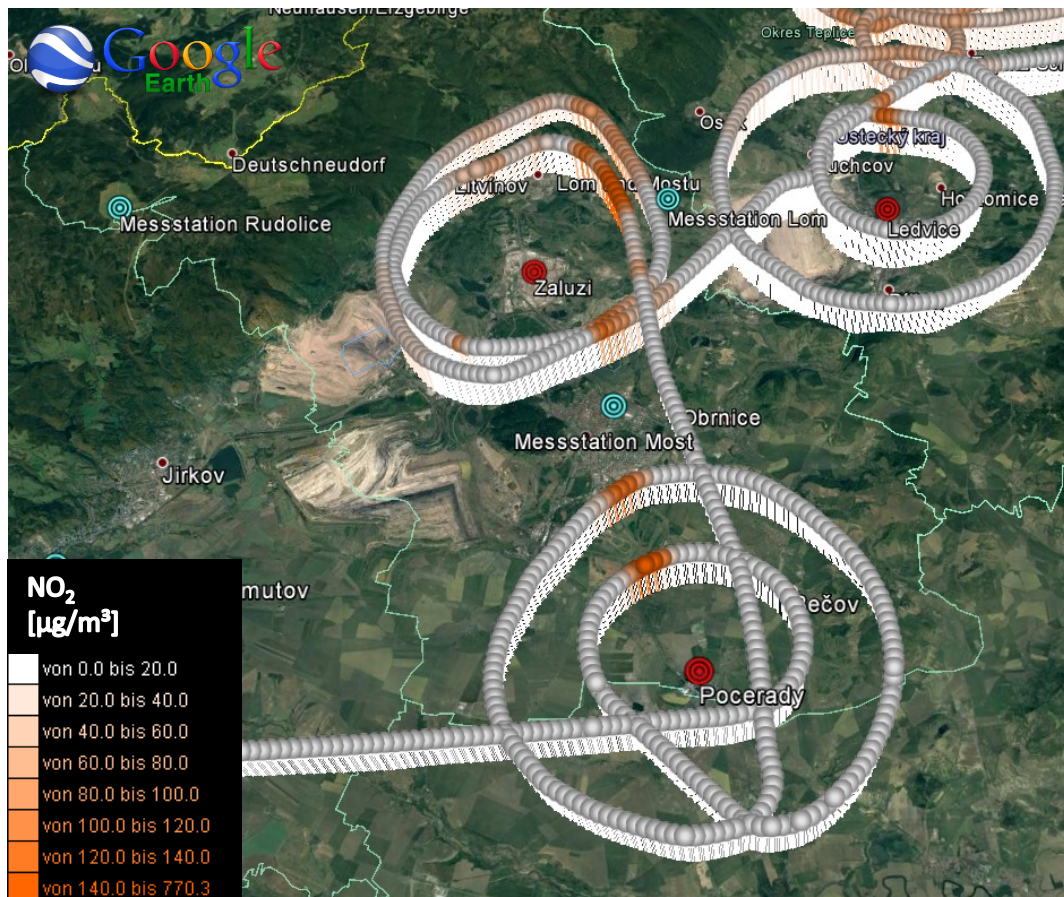


Blick auf Prunerov beim Umflug. Gut sichtbar: Anreicherungsschicht mit erhöhten Konzentrationen.

Ergebnisse fluggestützter Messungen - Prunerov & Tusimice



Ergebnisse fluggestützter Messungen - Pocerady, Zaluzi & Ledvice



Karte: © 2017 Google LLC

Pocerady

Distanz: 2,8 (5,8) km

UFP = 9.300 #/cm³

BC = 3.000 ng/m³

SO₂ = 750 µg/m³

NO₂ = 170 µg/m³

Zaluzi

Distanz: 3,5 (6) km

UFP = 1.800 #/cm³

BC = 1.800 ng/m³

SO₂ = 770 µg/m³

NO₂ = 180 µg/m³

Ledvice

Distanz: 3,2 (6,5) km

UFP = 9.000 #/cm³

BC = 2.100 ng/m³

SO₂ = 160 µg/m³

NO₂ = 120 µg/m³

Ergebnisse fluggestützter Messungen - Pocerady, Zaluzi & Ledvice



Blick Richtung Nordwest auf Pocerady.
Abknickende Abgasfahnen über
Grenzschicht
Schneefreie Flächen im Süden des
Kraftwerkes.

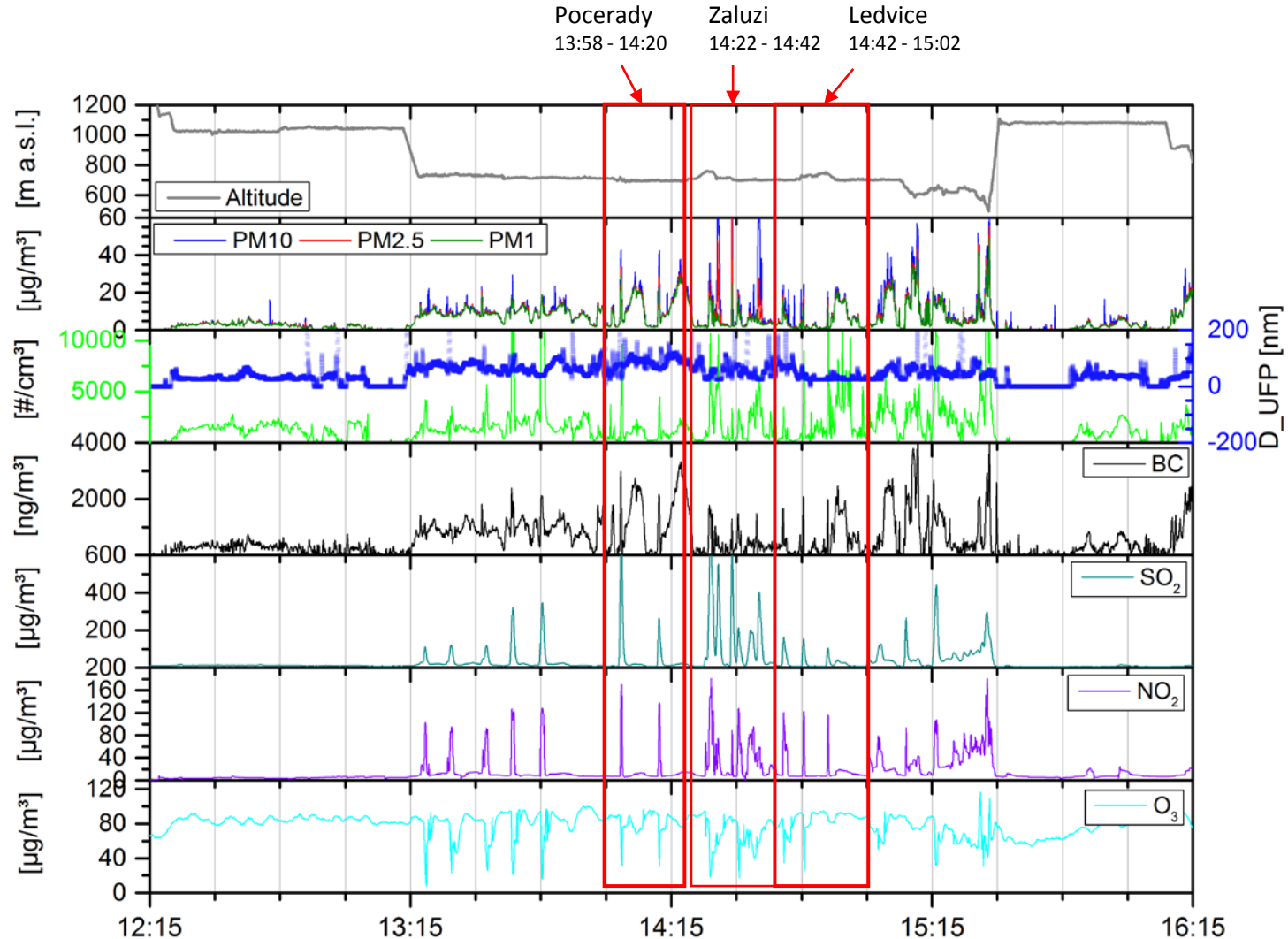
06.12.2017



Blick Richtung Norden. Im Vordergrund liegt
die Stadt Most.
Gut sichtbar Obergrenze der
Inversionsschicht. Darunter zu erahnen die
Abgasfahnen von Zaluzi.

31

Ergebnisse fluggestützter Messungen - Pocerady, Zaluzi & Ledvice



■ Fazit fluggestützte Messungen I

- Es konnte sowohl durch die im Flug gemessenen Werte als auch durch die Bilder gezeigt werden, dass die Abgasfahnen der Kraftwerke aufgrund ihrer Thermik durch die Inversionsgrenzschicht brechen. Hierdurch konnten die Abgasfahnen gezielt vermessen werden.
- Die Flughöhe befand sich überwiegend im oberen Grenzbereich der Inversionsschicht. Die Abgasfahnen lassen sich gut dem jeweiligen Emittenten zuordnen.
- Die Abgasfahnen werden durch die Topographie des Erzgebirgskammes in nordöstliche Richtungen hin abgelenkt.

■ Fazit fluggestützte Messungen II

- Es konnte nachgewiesen werden, dass die real gemessenen Abgasfahnen der Kraftwerke sich durch ein signifikant unterschiedliches SO_2/NO_2 Verhältnis auszeichnen. Pocerady und Zaluzi zeichnen sich im Gegensatz zu den anderen Emittenten durch hohe SO_2/NO_2 -Verhältnisse aus.
- Stickoxide können gut als Indikator für eine Quellzuordnung (Verbrennungsprodukte) zum Emittenten genutzt werden.

■ Gesamtfazit

Die Verunreinigungslage oberhalb und unterhalb der Inversionsschicht ist extrem unterschiedlich. Mobile KFZ-Messungen und fluggestützte Messungen können jeweils eine atmosphärische Schicht passend charakterisieren

Mobile Kfz-Messungen haben während der Messkampagne in dieser Inversionswetterlage folgende Ergebnisse gezeigt:

- Die Belastungen im Nordböhmisches Becken steigen in Richtung Osten.
- Die Belastungen liegen auf einem hohem Level.
- Die Vergleichbarkeit der Messwerte zu den stationären Messstationen ist gut.
- Die Messfahrten geben gute Interpolationen zwischen den Messtationen. Zusätzlich konnten UFP und BC Konzentrationen gemessen werden. Die Messdaten lassen Rückschlüsse auf einzelne Quellen zu.

Gesamtfazit

Die fluggestützten Messungen haben folgende Ergebnisse gezeigt:

- Die Abgasfahnen der Großemittenten ließen sich deutlich identifizieren
- Die Abgasfahnen der großen Emittenten konnten annähernd ohne Fremdverschmutzungen vermessen werden, die Ausbreitung konnte gut nachverfolgt werden
- Die Verhältnisse von Stick- und Schwefeloxidkonzentrationen variieren je nach Kraftwerk, zusätzlich konnten UFPs und Black Carbon gemessen werden
- **Mobile Kfz Messungen und fluggestützte Messungen ergänzen sich gegenseitig.**

**Wir danken dem
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
des Freistaat Sachsen
für die Förderung des Projektes.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt:

Prof. Dr. Konradin Weber

University of Applied Sciences Duesseldorf
Laboratory for Environment Measurement Techniques

Münsterstr. 156
40476 Düsseldorf

+49 (0) 175 4141 444
konradin.weber@hs-duesseldorf.de

Zusatzfolien

zu Möglichkeiten von mobilen Messungen

durch das

Labor für Umweltmesstechnik

der

Hochschule Düsseldorf HSD

Möglichkeiten zu weiteren mobilen Messungen seitens der HSD, Messwagen



Anemometer
Gill Instruments - WindSonic

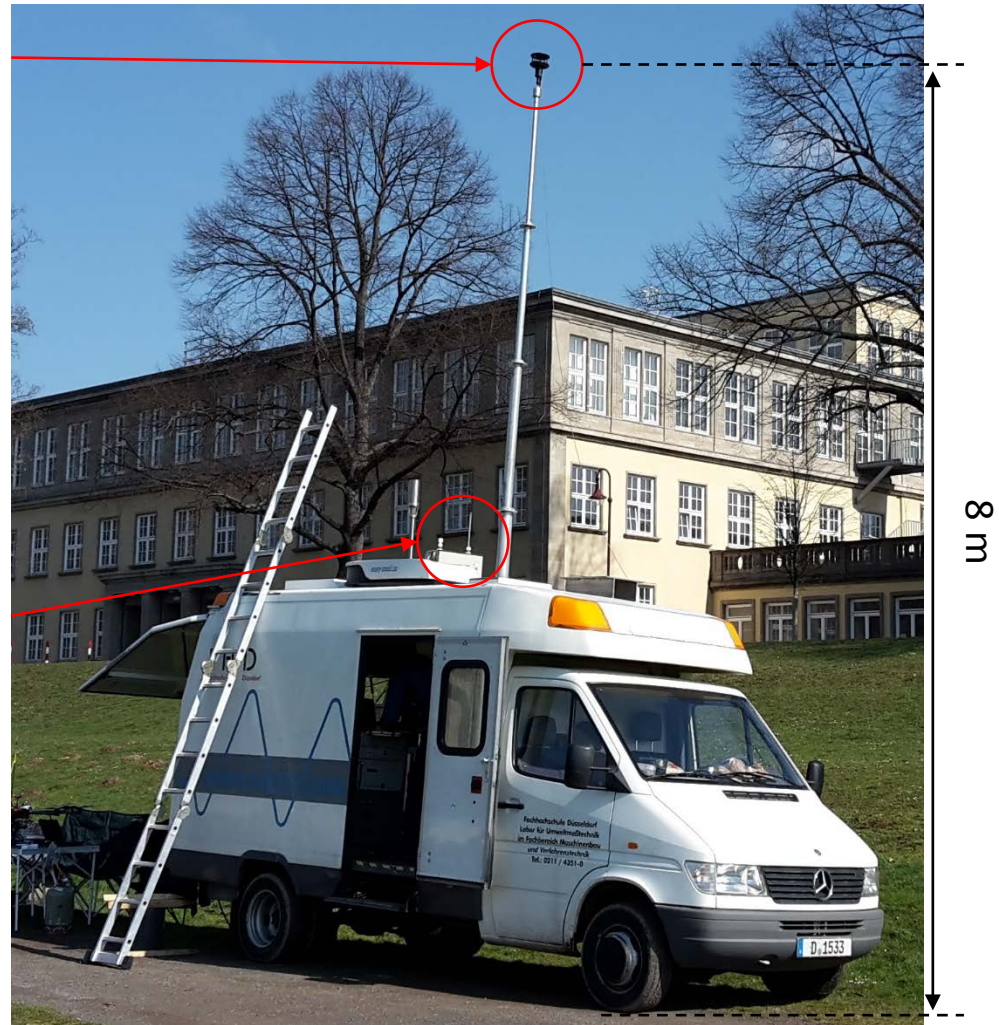
NO₂ - Messgerät
Ansyco - CAPS AS32M

Aethalometer
Magee/Aerosol d.o.o. - AE33

Partikelspektrometer
Grimm - G1.107

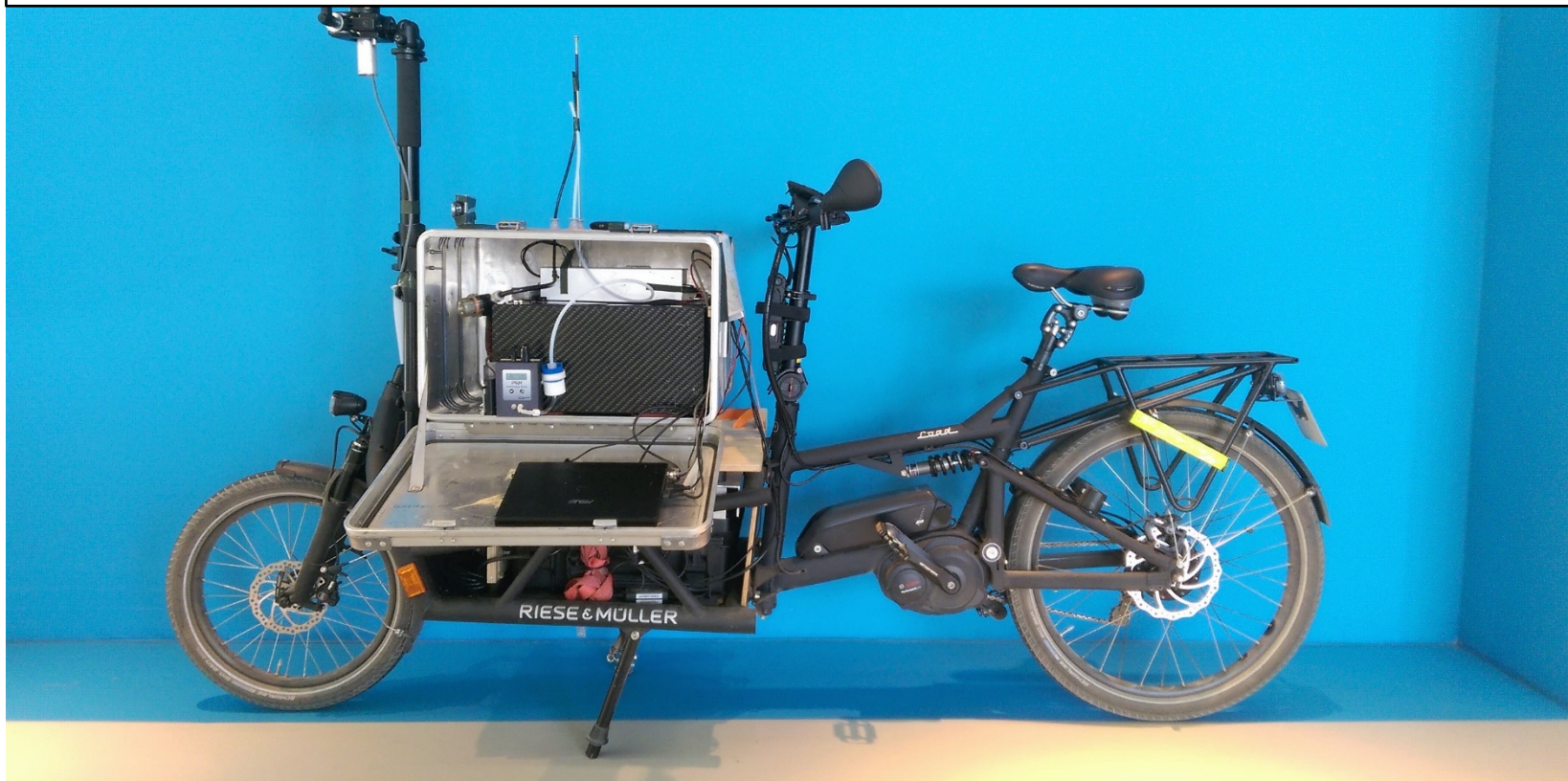
Partikelspektrometer
Grimm - SMPS+C

Außerdem möglich
SO₂ - Analysator
Ansyco - AF21M



- **Möglichkeiten zu weiteren mobilen Messungen seitens der HSD**

Mess-Pedelec „Load“ ausgestattet mit mobiler Messtechnik für mobile Luftschadstoffmessungen von NO₂, Feinstaub (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, PNC), Ultrafeinstaub, Ozon, SO₂, Ruß (BC)



- **Möglichkeiten zu weiteren mobilen Messungen seitens der HSD**



Möglichkeiten zu weiteren mobilen Messungen seitens der HSD, Multicopter, hier als Beispiel Quadcopter

