

# Flugzeugmessungen verschiedener Luftschadstoffe über Sachsen und der Tschechischen Republik

**EU- Projekt OdCom - wissenschaftliche Abschlusskonferenz  
Dresden, 20.05.2019**

**Konradin Weber, Tobias Pohl, Christian Fischer, Christoph Böhlke**  
Hochschule Düsseldorf HSD  
Labor für Umweltmesstechnik

Im Auftrag des  
**Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)**

## ■ Inhalt

- Eingesetzte Flugzeuge und Messtechnik
- Beispiele für den Einsatz bei den Emissionen von Einzelquellen
- Beispiele zur Untersuchung von großräumigen Luftschadstoff-Verteilungen
- Beispiel für den grenzüberschreitenden Luftschadstoff-Transport

## ■ Hintergrund

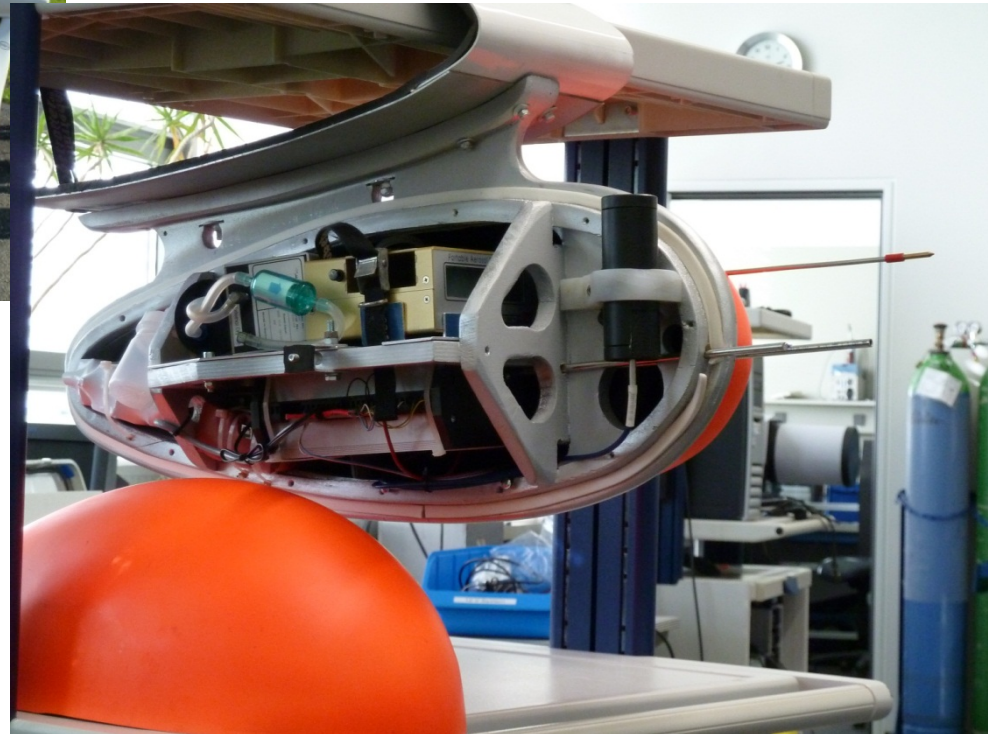
- Die Hochschule setzt bereits seit Jahren leichte Hochleistungs-Propellerflugzeuge für verschiedenste Luftschadstoff-Untersuchungen und bei Vulkanausbrüchen ein
- Flugtaugliche Messsysteme sind vorhanden mit hoher Leistungsfähigkeit
- Spezialuntersuchungen sind hiermit möglich, die sonst so nicht durchgeführt werden können
- Beispiele hierzu in diesem Vortrag

## ■ Flugzeuge und Messsysteme

## ■ Einmotoriges Forschungsflugzeug:



- 90 bis 260 km/h Geschwindigkeit
- Bis 7000 m Steighöhe
- Etwa 1500 km mittlere Reichweite



Flight Design CT

Mit speziellen turbo-aufgeladenen

Motor für große Steighöhe

## ■ **Zweimotoriges Forschungsflugzeug:**

### **Diamond - DA42**

- Bis etwa 330 km/h  
Reisegeschwindigkeit
- 5500 bis 9000 m Steighöhe
- Über 1500 km Reichweite



- Mit speziellen turbo-aufgeladenen Diesel-Motoren für große Steighöhe
- **Instrumentenflug und Nachtflug möglich**

## ■ Messtechnische Ausstattung:

### Diamond - DA42

- **Feinstaub-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.)
- **Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>**  
UV-Fluoreszenz (Horiba APSA 370 )
- **Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>**  
CAPS (AS32 M, Ansyco / Environnement S.A.)
- **Ozon O<sub>3</sub>**  
UV-Fluoreszenz (POM, 2b Technologies)



- **Ausgewählte Ergebnisse von  
Untersuchungen bei Einzelquellen**



## ■ Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen

Messflug 02.11.2011, Kraftwerk Jänschwalde



### Luv:

PM10: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

UFP 5453  $\#/\text{cm}^3$

### Lee:

PM10: bis 88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

UFP 10775  $\#/\text{cm}^3$

### Fazit:

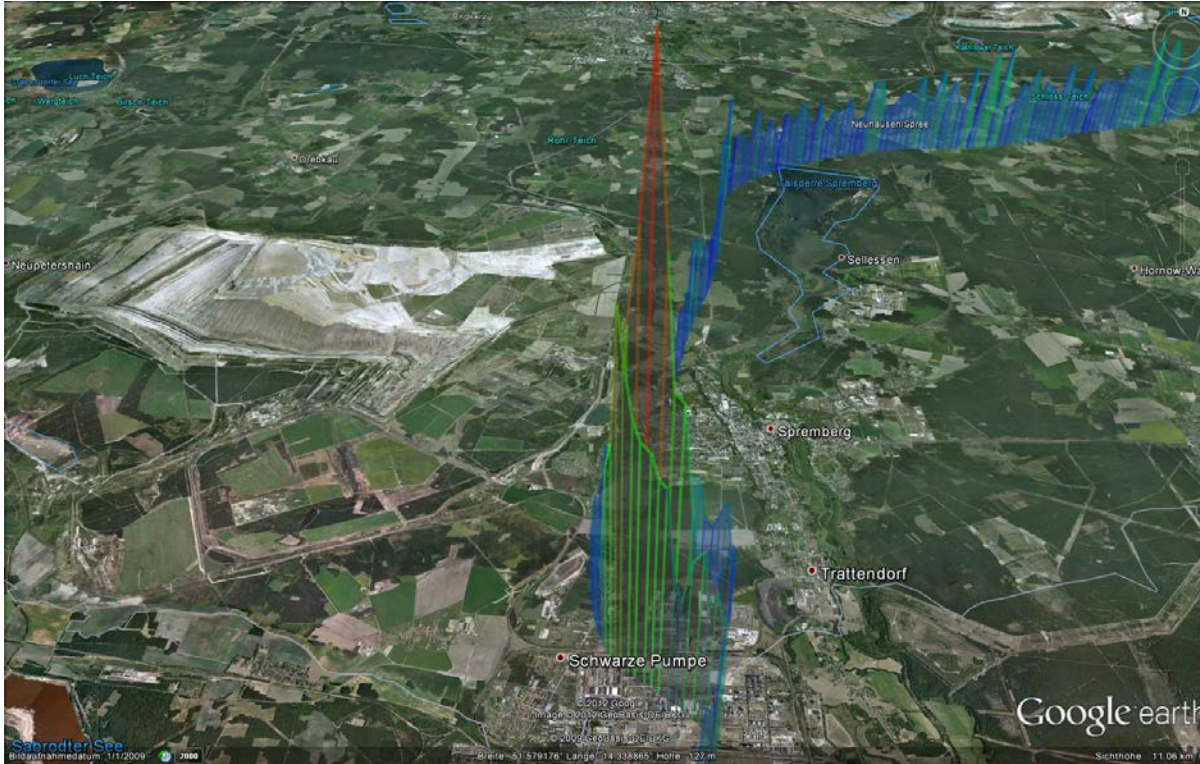
**Deutlicher Unterschied  
zwischen Luv und Lee zu  
erkennen,**

**UFP werden durch**

**Emissionsmesssysteme im  
Abgaskanal nicht gemessen**

## ■ Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen

### Messflug 23.03.2012 bei Kraftwerk Schwarze Pumpe



**Messungen mit SO<sub>2</sub>-  
DOAS**

SO<sub>2</sub>-Säulendichte: 150 ppm\*m über dem Flugzeug  
SO<sub>2</sub>-Fluss: 100 t/d

## ■ Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen

Messflug 24.10.2011, Görlitz / Zgorzelec



### PM10:

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bis 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Spitzen  
Messstation Tagesmittel 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

### UFP:

5471  $\#/\text{cm}^3$   
bei 240 mAGL

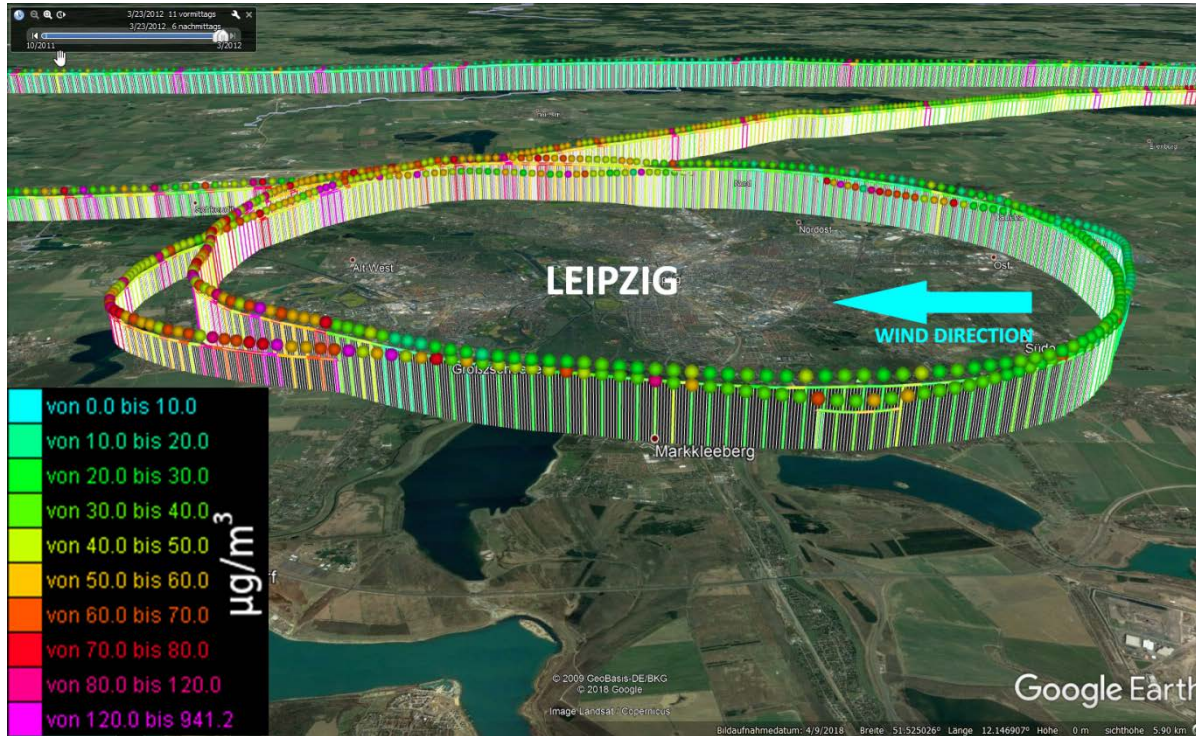
3105  $\#/\text{cm}^3$  Dp 106 nm  
bei 700 mAGL

**Deutliche Höhenabhängigkeit  
der Konzentrationen  
nachweisbar**



## Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen

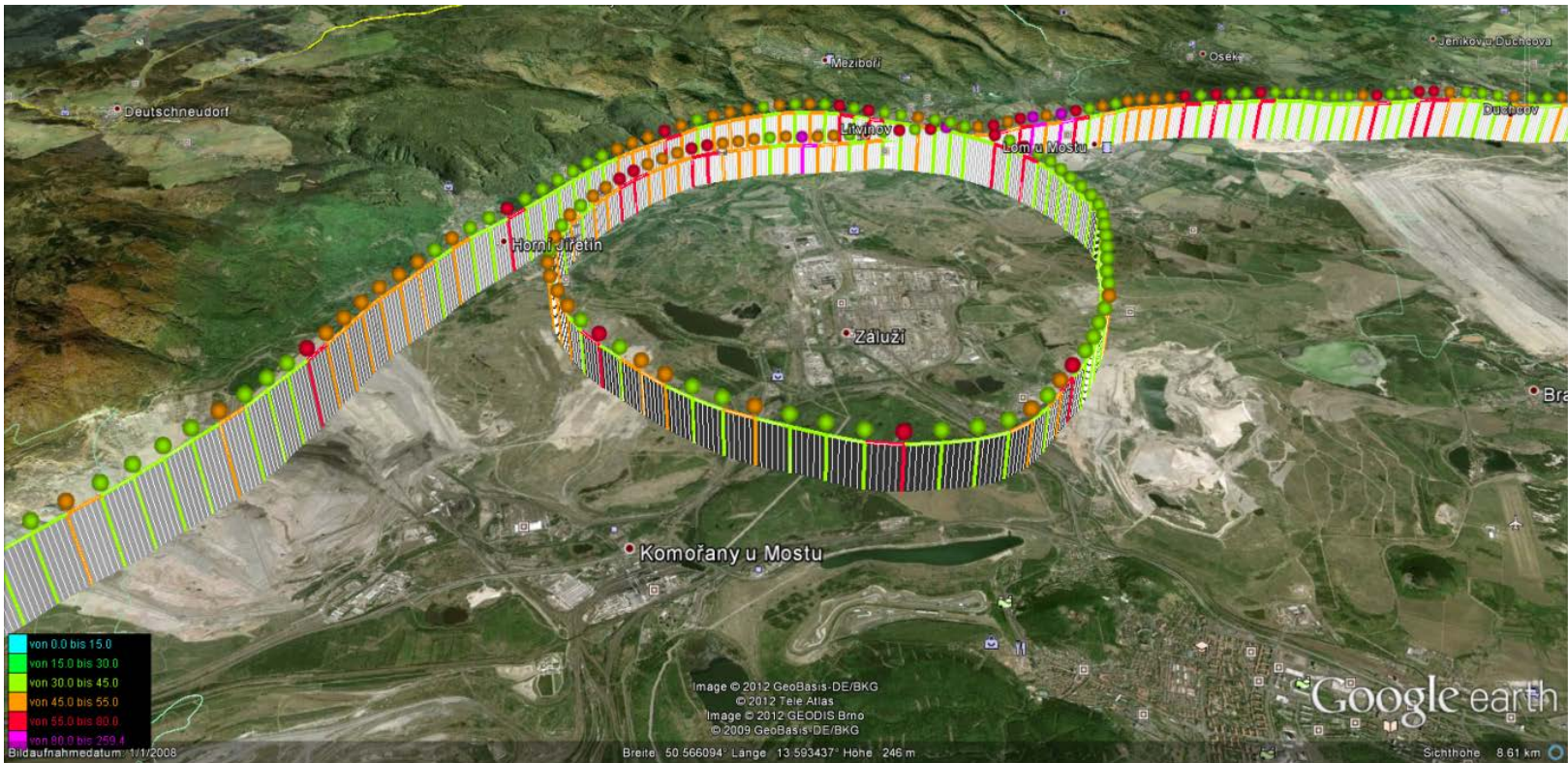
### Messflug 23.03.2012 um Leipzig



Deutliche Unterschiede  
in Luv-Lee:  
Leipzig insgesamt als  
signifikante  
Gesamtquelle  
nachweisbar

Leipzig	PM10 µg/m <sup>3</sup>	PM2,5 µg/m <sup>3</sup>	PM1 µg/m <sup>3</sup>
LUV	25,4	25,0	21,3
LEE	68,4	56,0	45,9

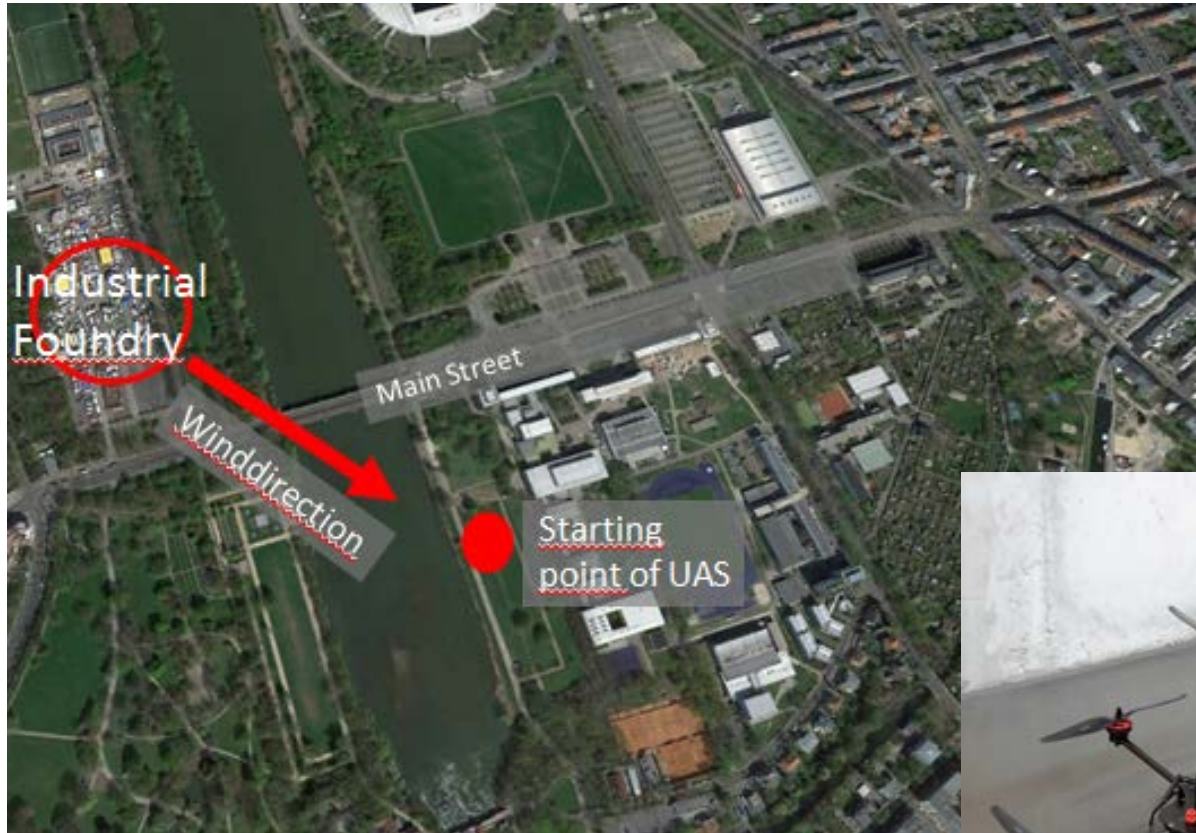
- **Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen, Zaluzi**



Umrundung des Bereichs Zaluzi bei südlichen Winden  
**Deutliche Luv-Lee Situation nachweisbar**



- **Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen**  
**Flug mit einer Messdrohne in Leipzig**



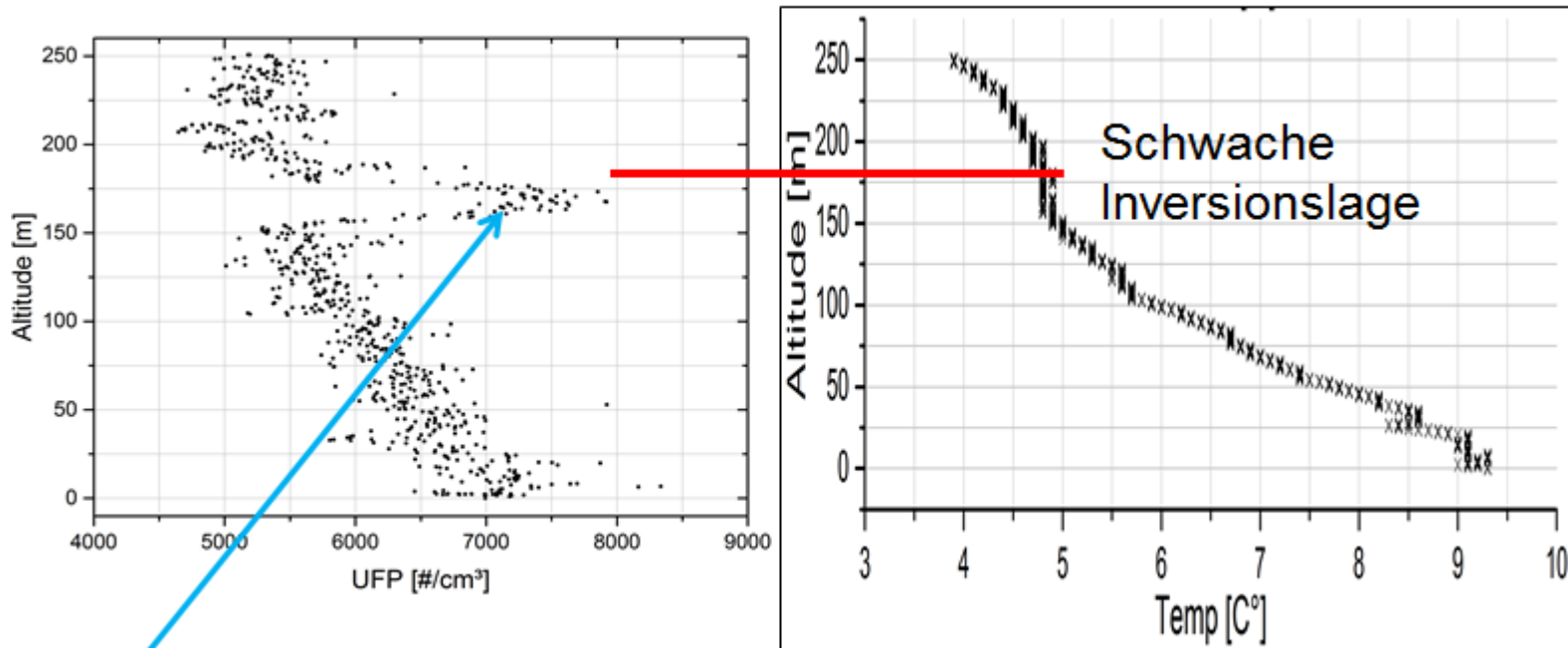
Verschiedene Messdrohnen  
an der HSD



## ■ Ausgewählte Ergebnisse Einzelquellen

### Flug mit einer Messdrohne in Leipzig

#### Beispiel für Messergebnisse von UFP

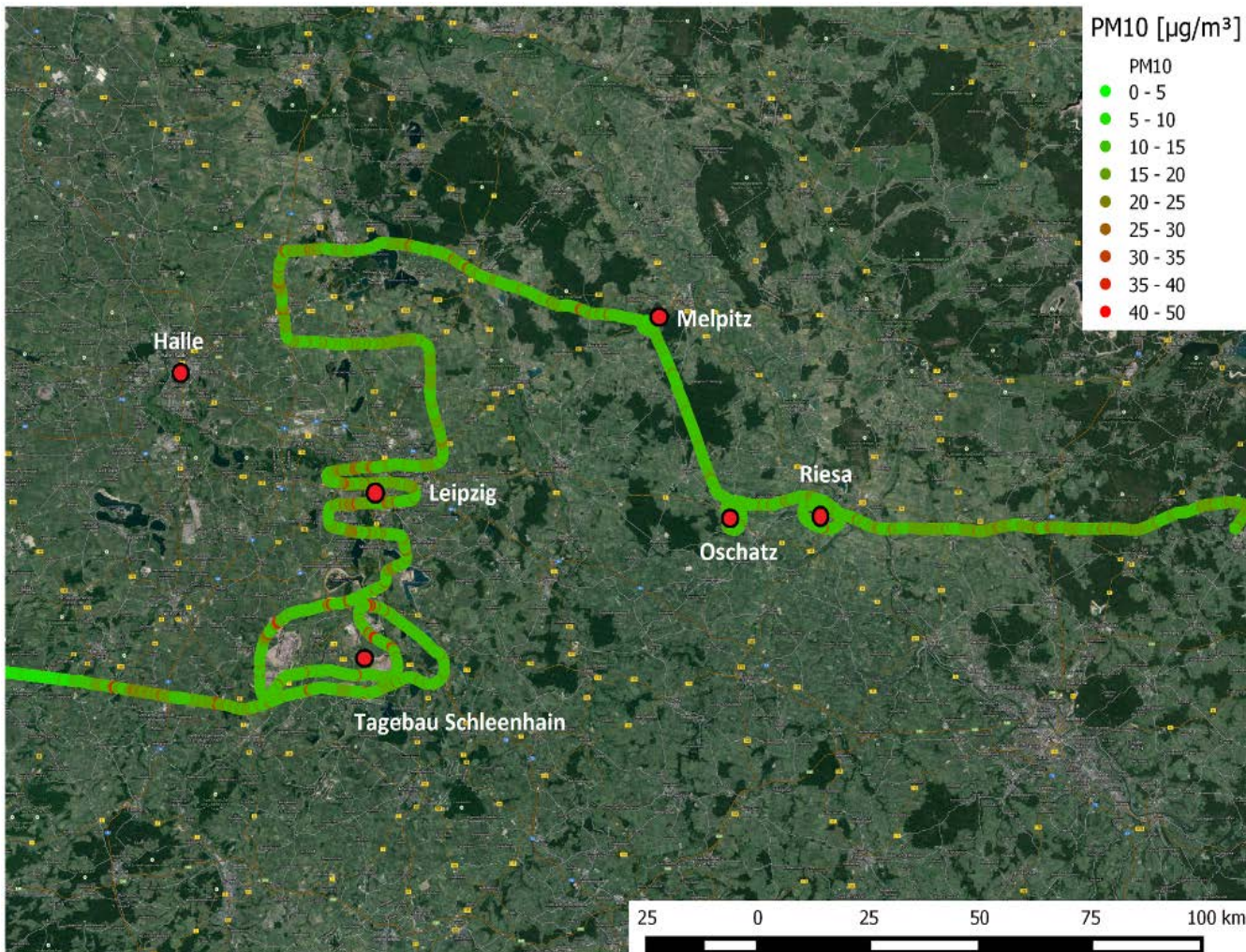


**Akkumulation der UFP-Partikel** ausgelöst von der schwachen Inversionslage in 170 m Höhe; UFP-Partikel stammen aus der nahen Industriegießerei



## ■ Ausgewählte Ergebnisse für großräumige Verteilung in Sachsen

- **Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport**  
**Räumliche Verteilung der PM10-Konzentrationen am 28.09.2014**

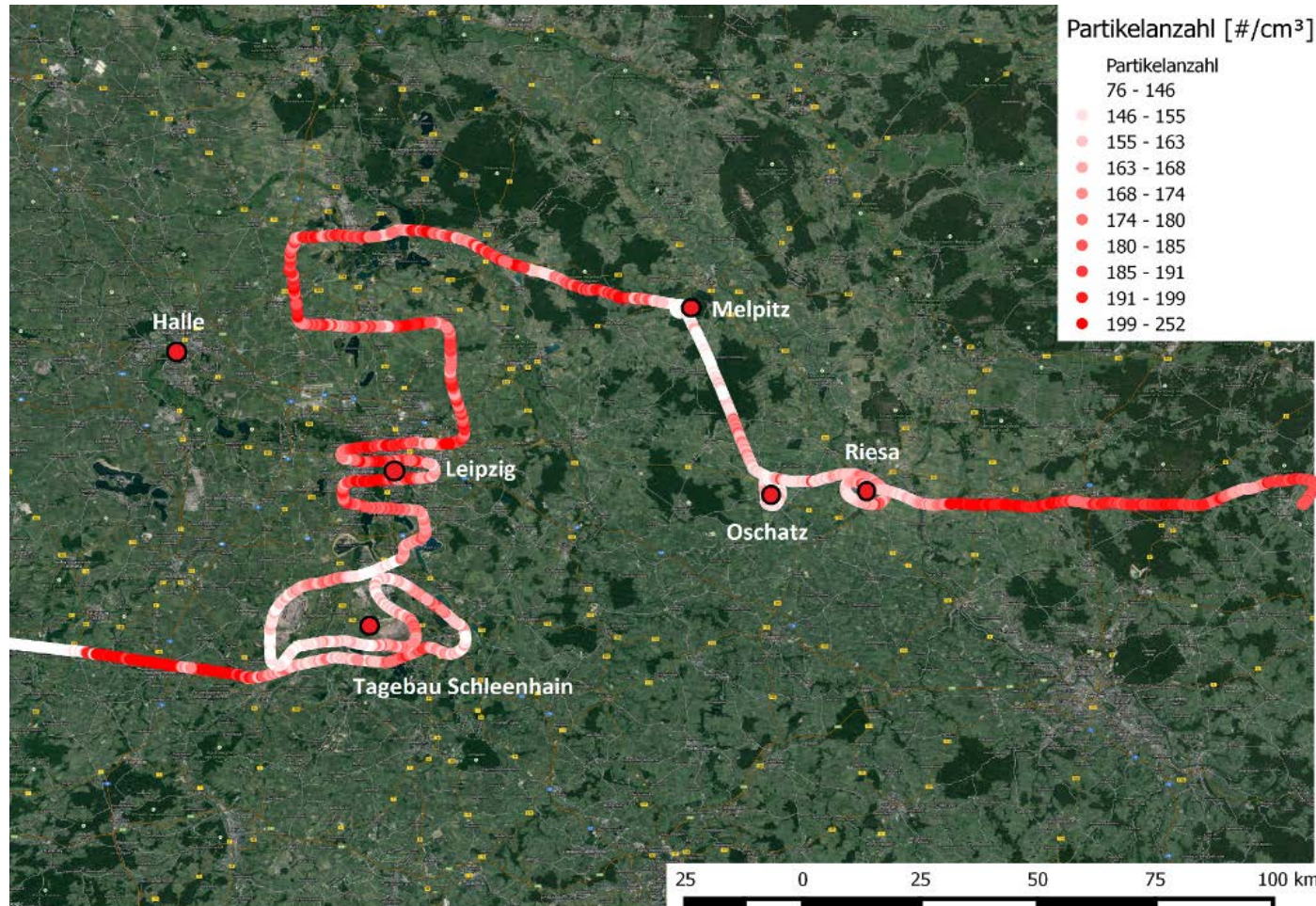


Relativ  
gleichmäßige  
Verteilung von  
PM<sub>10</sub> im  
Untersuchungs  
gebiet



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport

### Räumliche Verteilung der Partikelanzahl am 28.09.2014



Relativ geringe Belastung im Bereich Tagebau Oberschleenhain und Kraftwerk Lippendorf

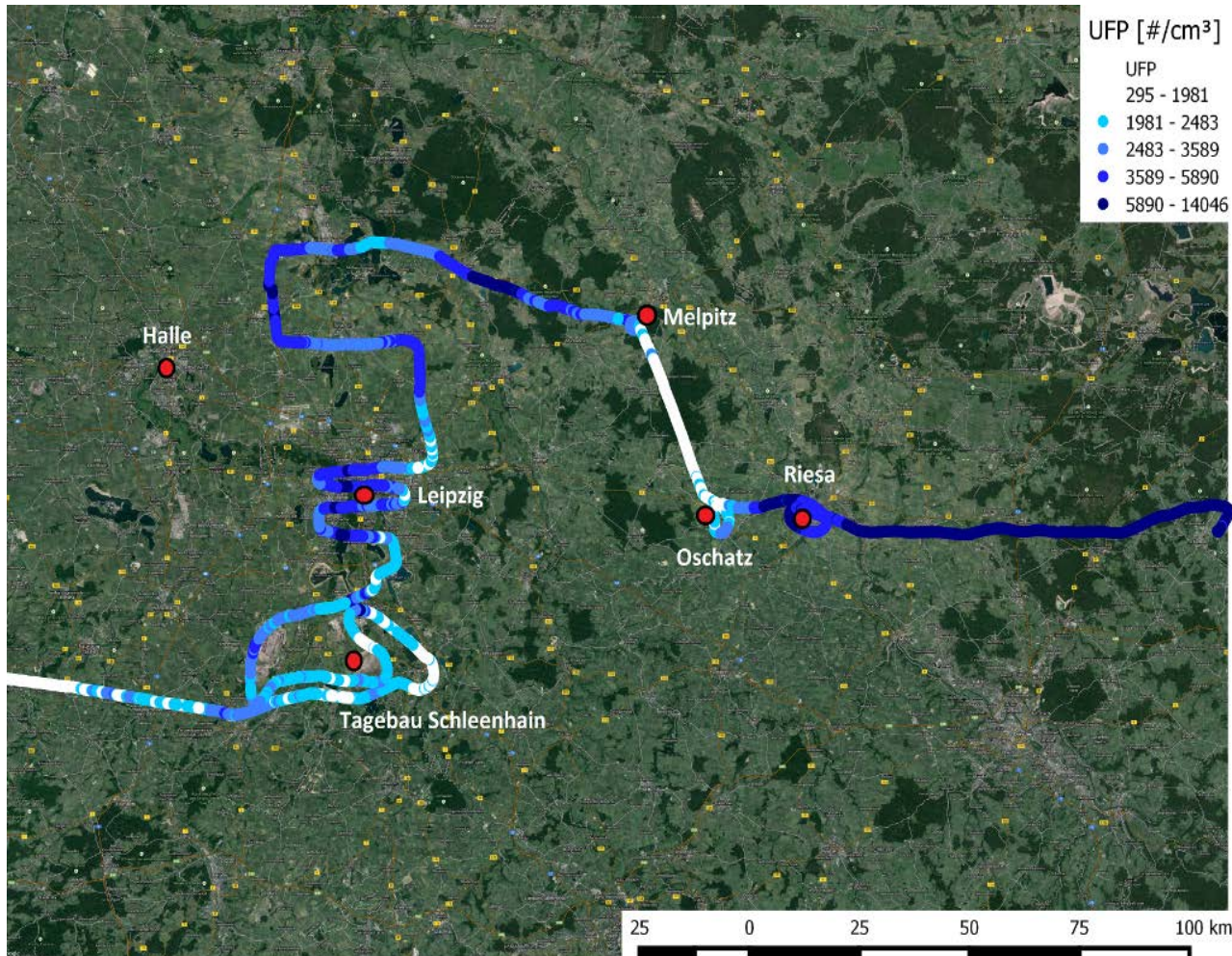
Erhöhung über Leipzig,

Abluftfahnen von Leipzig, Flughafen Halle-Leipzig, Dresden



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport

### Räumliche Verteilung der Ultrafeinpartikel am 28.09.2014



Relativ geringe Belastung im Bereich Tagebau Oberschleenhain und Kraftwerk Lippendorf

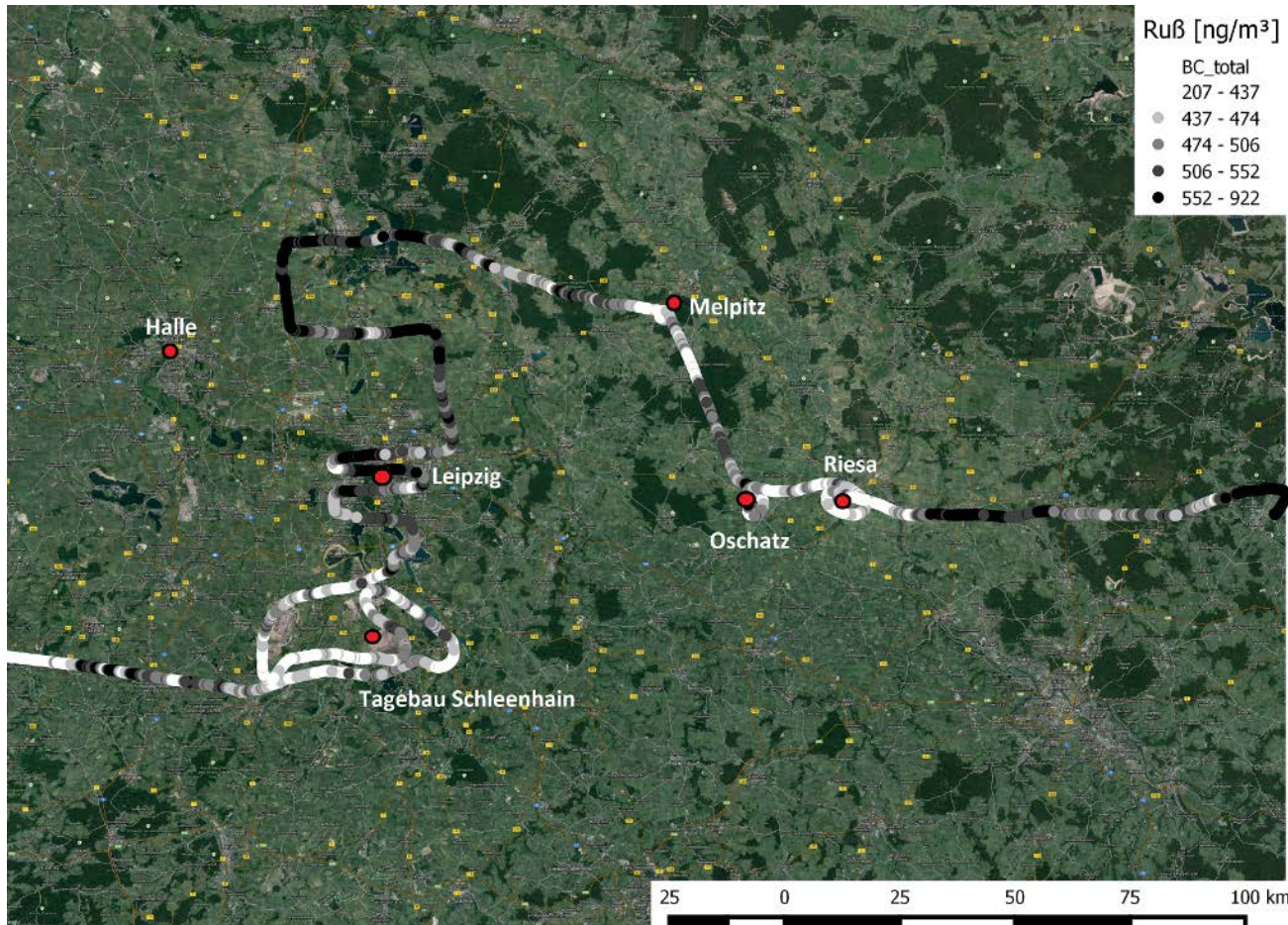
Erhöhung über Leipzig,

Abluftfahnen von Leipzig, Flughafen Halle-Leipzig, Dresden



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport

### Räumliche Verteilung der Rußpartikel am 28.09.2014



Relativ geringe Belastung im Bereich Tagebau Oberschleenhain und Kraftwerk Lippendorf

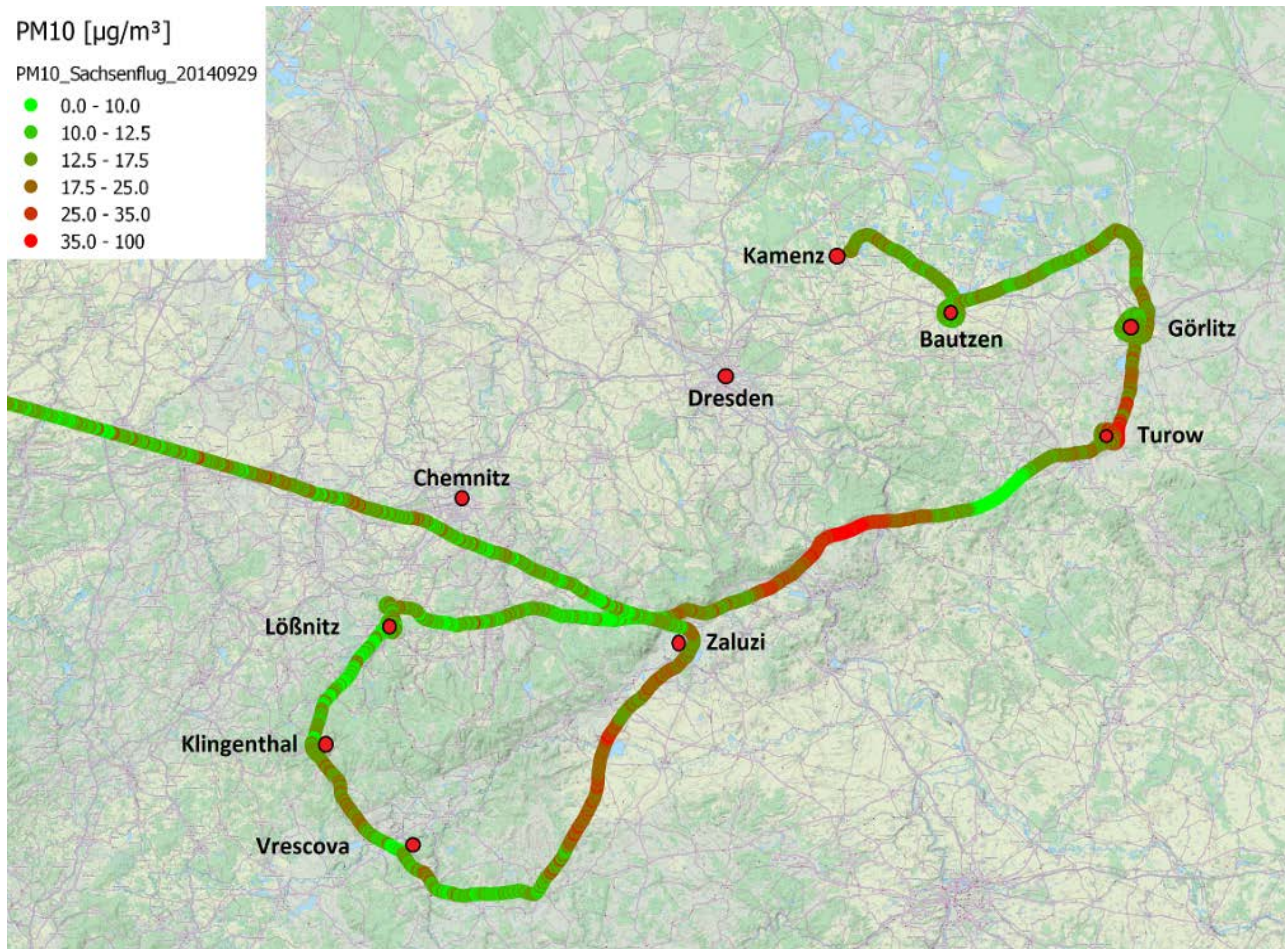
Erhöhung über Leipzig,

Abluftfahnen von Leipzig, Flughafen Halle-Leipzig, Dresden

- **Ausgewählte Ergebnisse für großräumige Verteilung im Böhmischem Becken**



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport Flugroute und PM10 am 29.09.2014



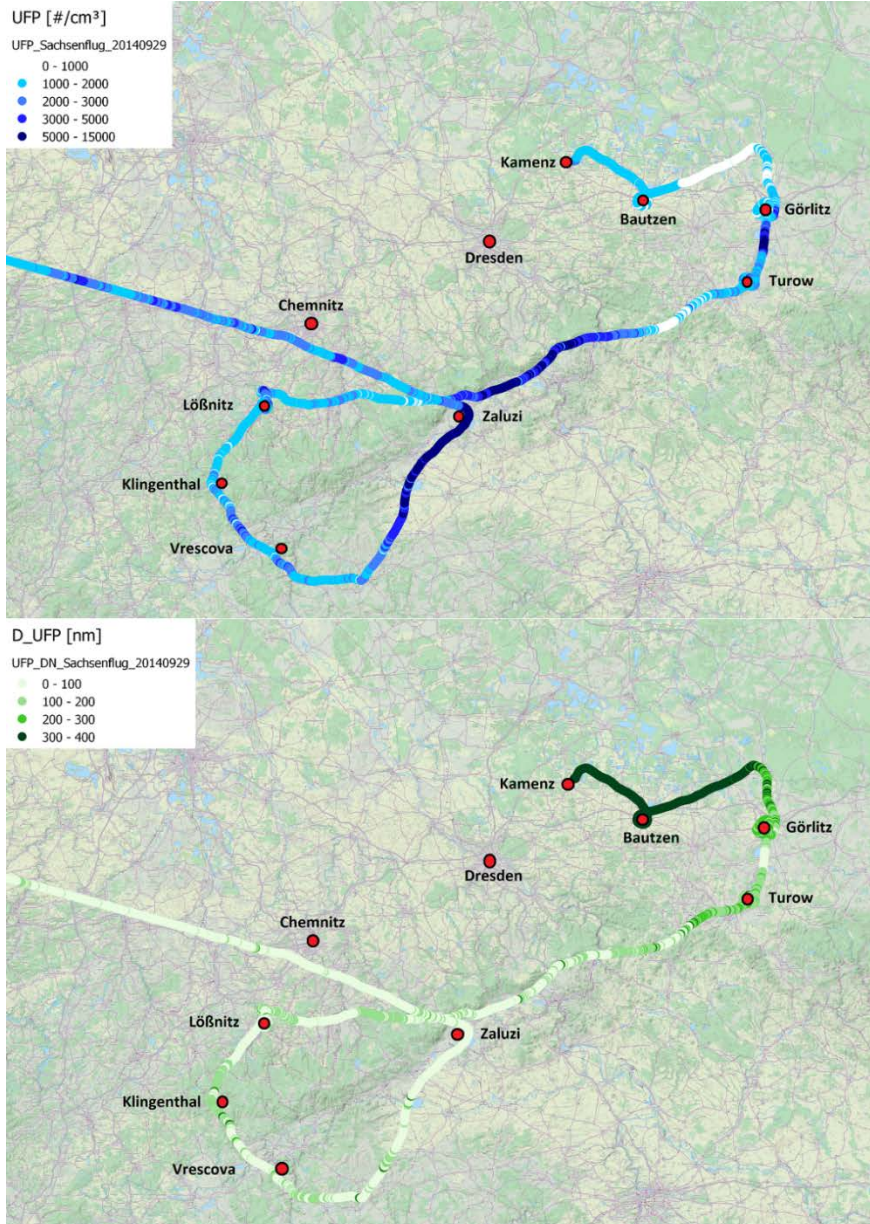
Konzentrations  
schwerpunkte:  
Bereich um  
Turow  
Bereiche  
nördlich-  
südlich von  
Zaluži,  
Klingenthal



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport Flugroute und Partikelanzahl am 29.09.2014



Konzentrationschwerpunkte:  
Bereich um Turow  
Bereiche nördlich-südlich von Zaluzi  
Klingenthal



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport

### UFP und deren Durchmesser und am 29.09.2014

Konzentrations Schwerpunkte:  
Bereich um Turow  
Bereiche nördlich-südlich von Zaluži  
Klingenthal

Antikorrelation  
UFP - D<sub>p</sub>



## ■ Großräumige Verteilung und grenzüberschreitender Transport Flugroute und Rußpartikel am 29.09.2014

BC [ng/m<sup>3</sup>]

BC\_Sachsenflug\_20140929

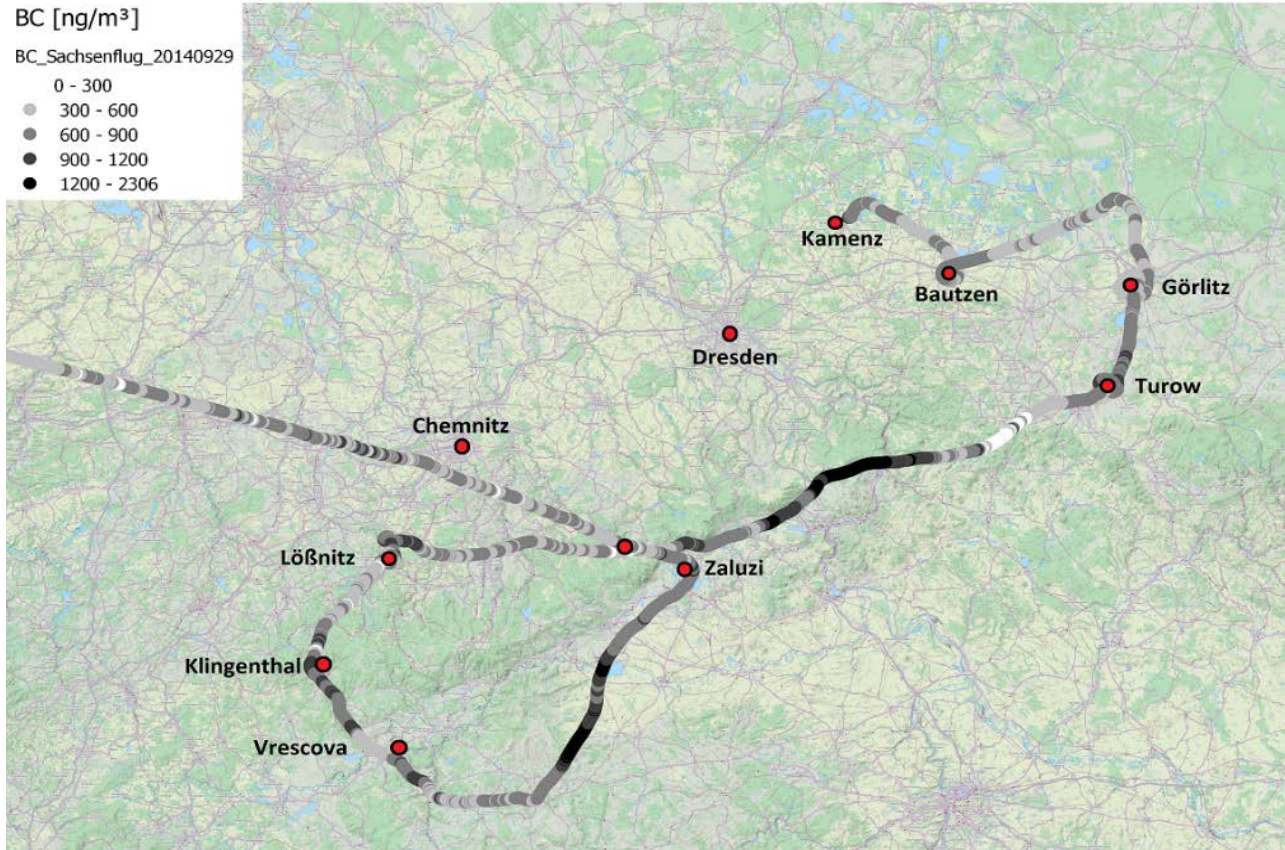
0 - 300

● 300 - 600

● 600 - 900

● 900 - 1200

● 1200 - 2306



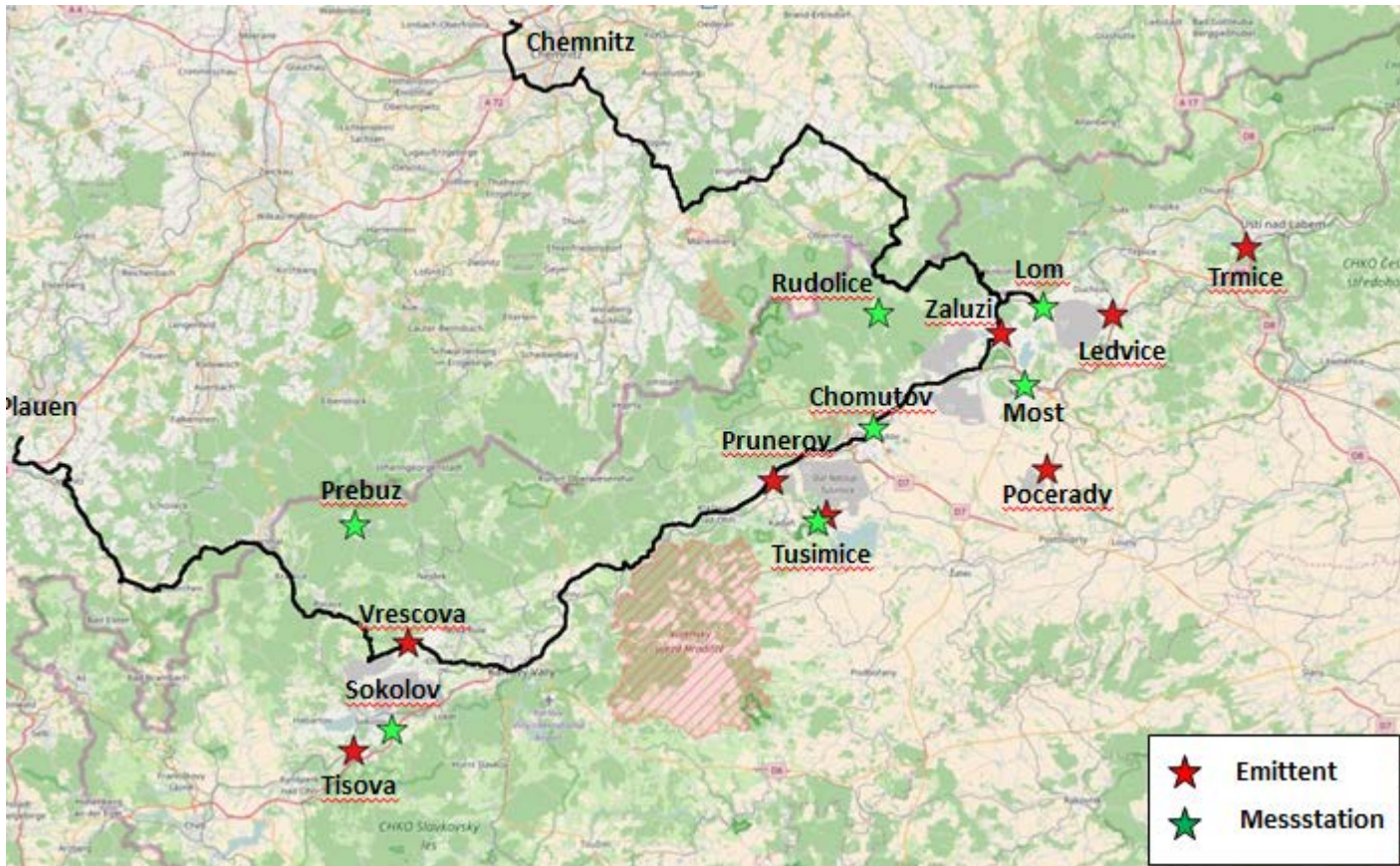
Konzentrations  
schwerpunkte:  
Bereich um  
Turow  
Bereiche  
nördlich-südlich  
von Zaluzi  
Klingenthal

**Fazit: Insgesamt erhöhte Konzentrationen von verschiedenen Luftschadstoffen im Böhmischem Becken**

- **Untersuchung der großräumigen Verteilung bei gleichzeitiger Messung mit Mess-PKW und Messflugzeug in winterlicher Inversionswetterlage**



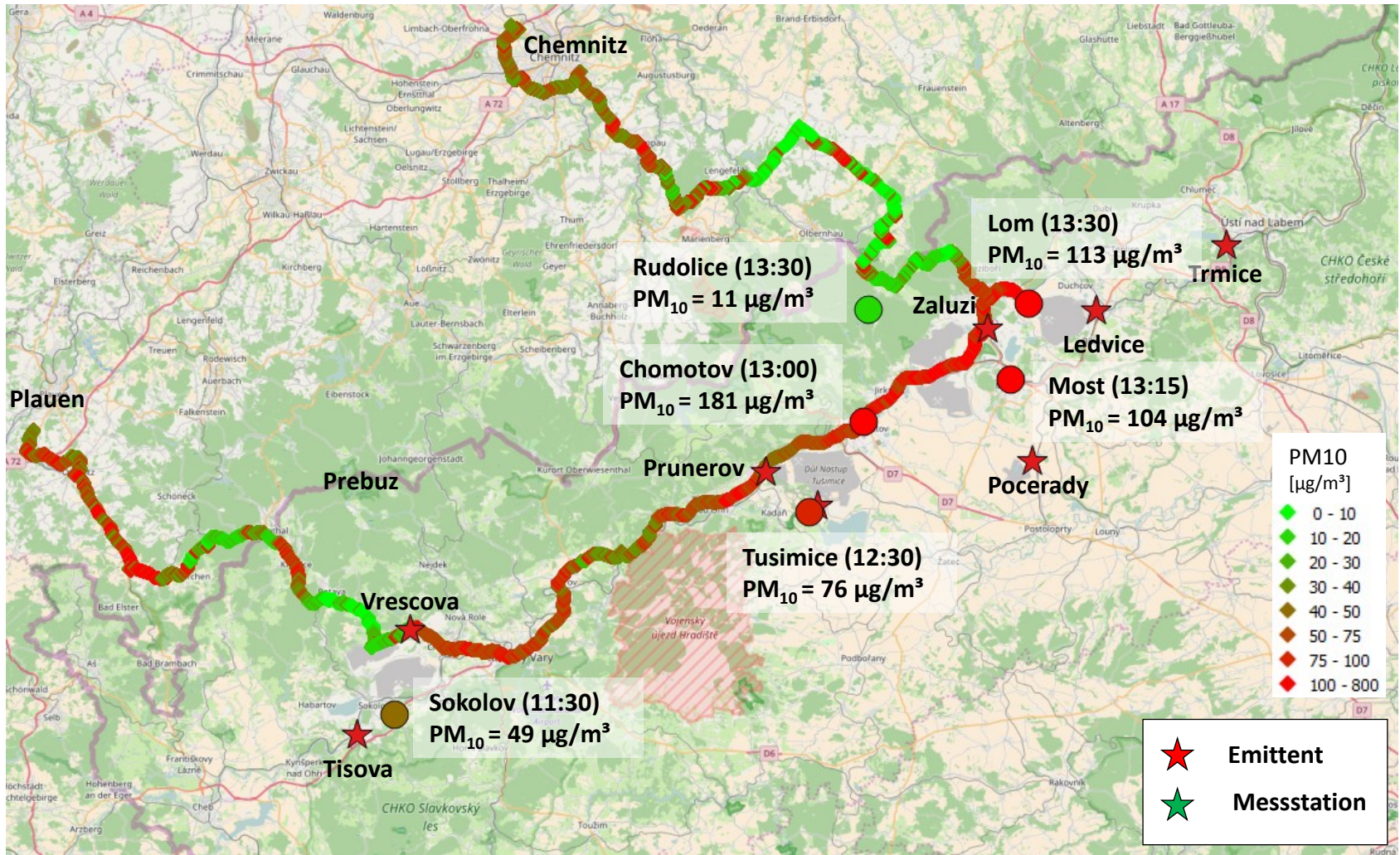
- Messroute des Mess-Kfz 15.2.2017
- Messfahrt außerhalb des Erzgebirges unterhalb der Inversionsschicht (09:15 - 16:15 MEZ)



Karte: Openstreetmaps



## ■ Vergleich stationärer und mobiler PM<sub>10</sub> Konzentrationen



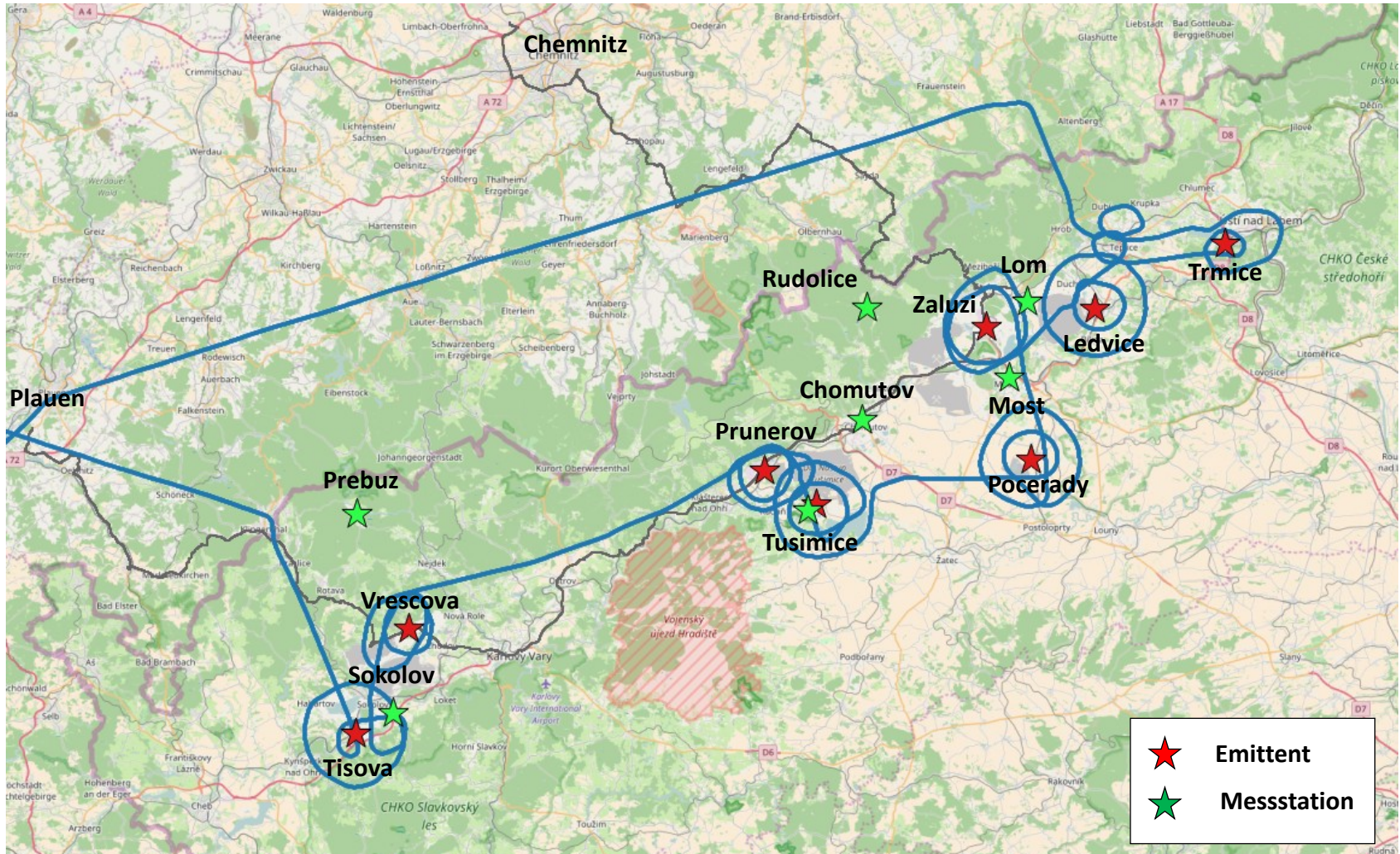
## ■ Fazit der Messung via KFZ

- Großflächig erhöhte Werte im Nordböhmisches Becken für PM<sub>10</sub> und auch für andere Komponenten. (auch zwischen den Messstationen nachgewiesen).
- Gemittelte Schadstoffbelastungen im Nordböhmisches Becken:  
PM<sub>10</sub> = 65 µg/m<sup>3</sup>  
UFP = 35.000 #/cm<sup>3</sup>  
BC = 6,5 µg/m<sup>3</sup>
- 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 auch Daten für UFP und BC durch die Messfahrten verfügbar
- Konzentration sind auf deutscher Seite im Mittel geringer.
- Schadstoffanreicherung südlich des Erzgebirgskammes durch schwachen Wind und Inversion.



- **Messflug oberhalb der Inversionsschicht zur gezielten Untersuchung der Großemittenden**

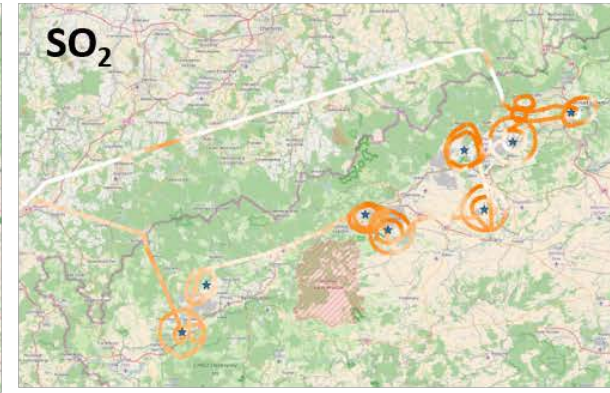
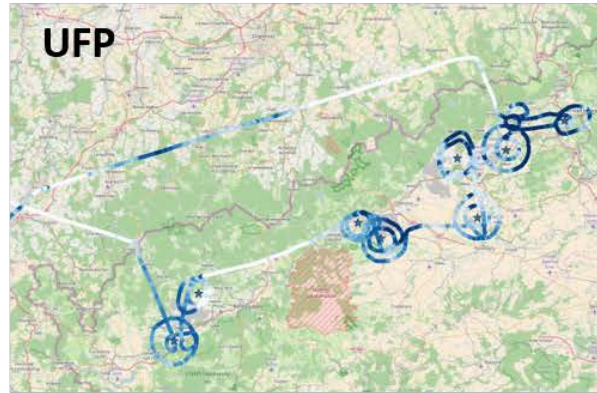
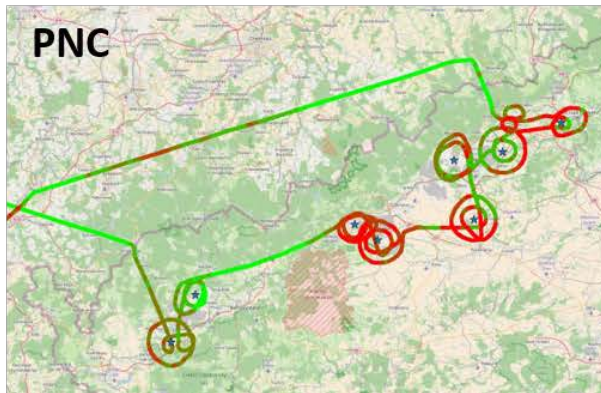
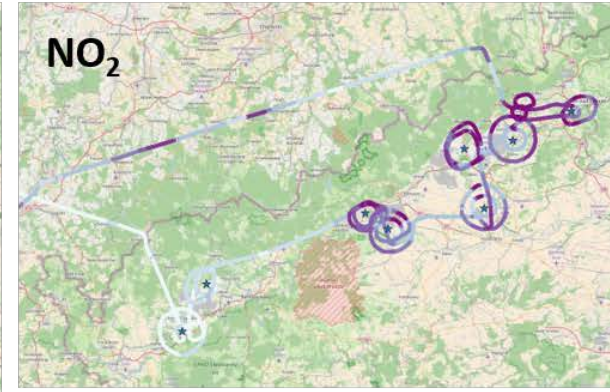
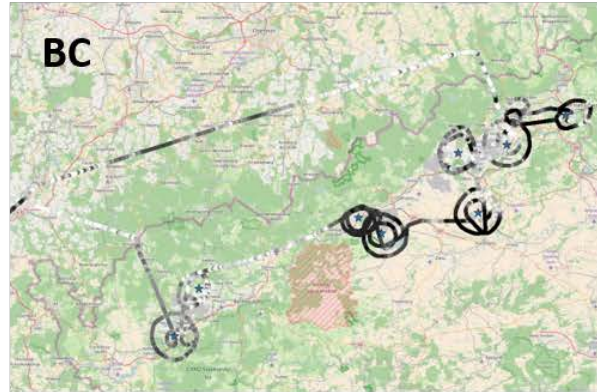
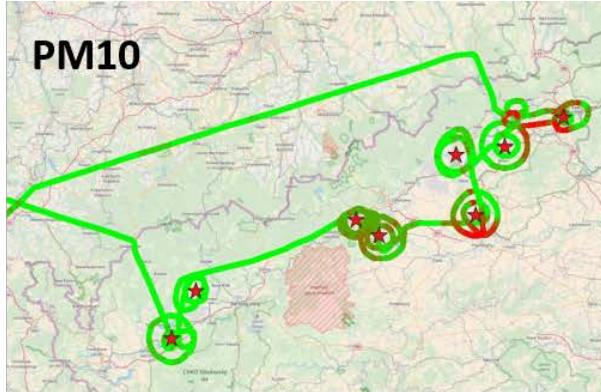
■ **Flugroute (12:15 - 16:15 MEZ)**



Karte: Openstreetmaps



- **Übersicht der Konzentrationsverteilungen des Messfluges  
(Messung oberhalb der Grenzschicht)**





## Ergebnisse fluggestützten Messung - Prunerov & Tusimice



### Prunerov

Distanz: 3 km

UFP = 4.200 #/cm<sup>3</sup>

BC = 1.400 ng/m<sup>3</sup>

SO<sub>2</sub> = 110 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> = 100 µg/m<sup>3</sup>

### Tusimice

Distanz: 2,5 (5) km

UFP = 20.000 #/cm<sup>3</sup>

BC = 2.400 ng/m<sup>3</sup>

SO<sub>2</sub> = 280 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> = 120 µg/m<sup>3</sup>

- **Ergebnisse fluggestützten Messung - Prunerov & Tusimice**



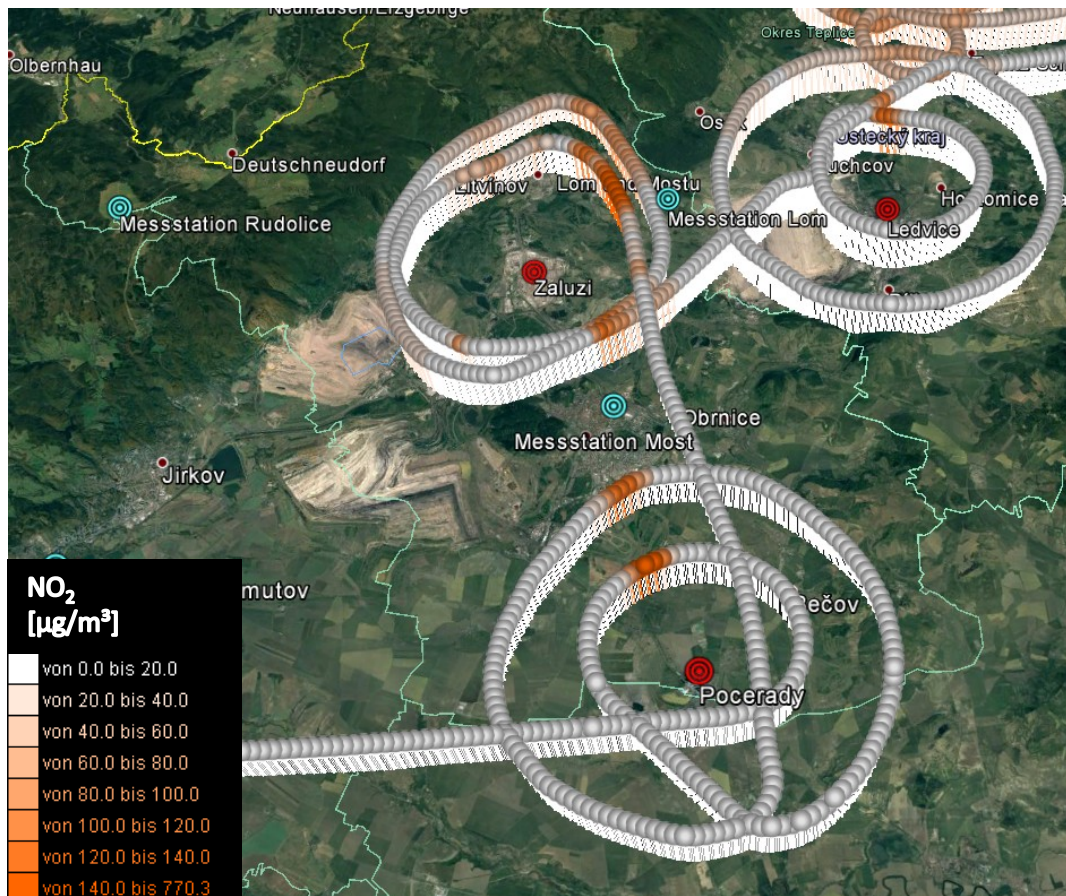
Anflug auf Prunerov (links) und Tusimice (rechts). Gut sichtbar: abknickende Abgasfahnen über der Grenzschicht.



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



## Ergebnisse fluggestützten Messung - Pocerady, Zaluzi & Ledvice



Karte: Google Earth

### Pocerady

Distanz: 2,8 (5,8) km

UFP = 9.300 #/cm<sup>3</sup>

BC = 3.000 ng/m<sup>3</sup>

SO<sub>2</sub> = 750 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> = 170 µg/m<sup>3</sup>

### Zaluzi

Distanz: 3,5 (6) km

UFP = 1.800 #/cm<sup>3</sup>

BC = 1.800 ng/m<sup>3</sup>

SO<sub>2</sub> = 770 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> = 180 µg/m<sup>3</sup>

### Ledvice

Distanz: 3,2 (6,5) km

UFP = 9.000 #/cm<sup>3</sup>

BC = 2.100 ng/m<sup>3</sup>

SO<sub>2</sub> = 160 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> = 120 µg/m<sup>3</sup>

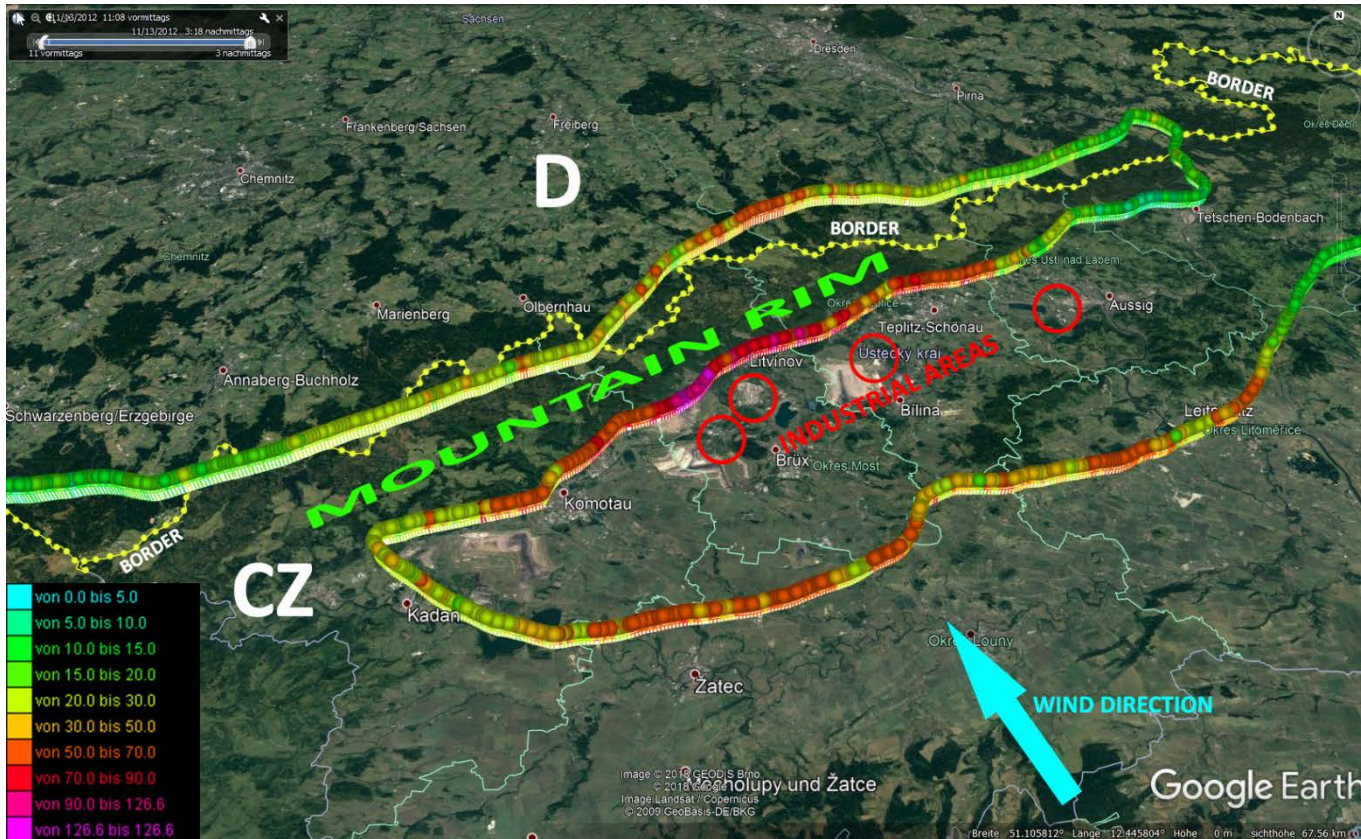
## ■ Fazit dieser fluggestützten Messungen

- Abgasfahnen können durch die Inversionsschicht brechen.
- Die Abgasfahnen lassen sich gut dem jeweiligen Emittenten zuordnen.
- Die Abgasfahnen werden durch die Topographie des Erzgebirgskammes in nordöstliche Richtungen hin abgelenkt und ziehen Richtung Deutschland.
- Die Abgasfahnen hatten unterschiedliches  $\text{SO}_2/\text{NO}_2$ -Verhältnis



- **Gezielte Untersuchung des grenzüberschreitenden Luftschadstoff-Transports**

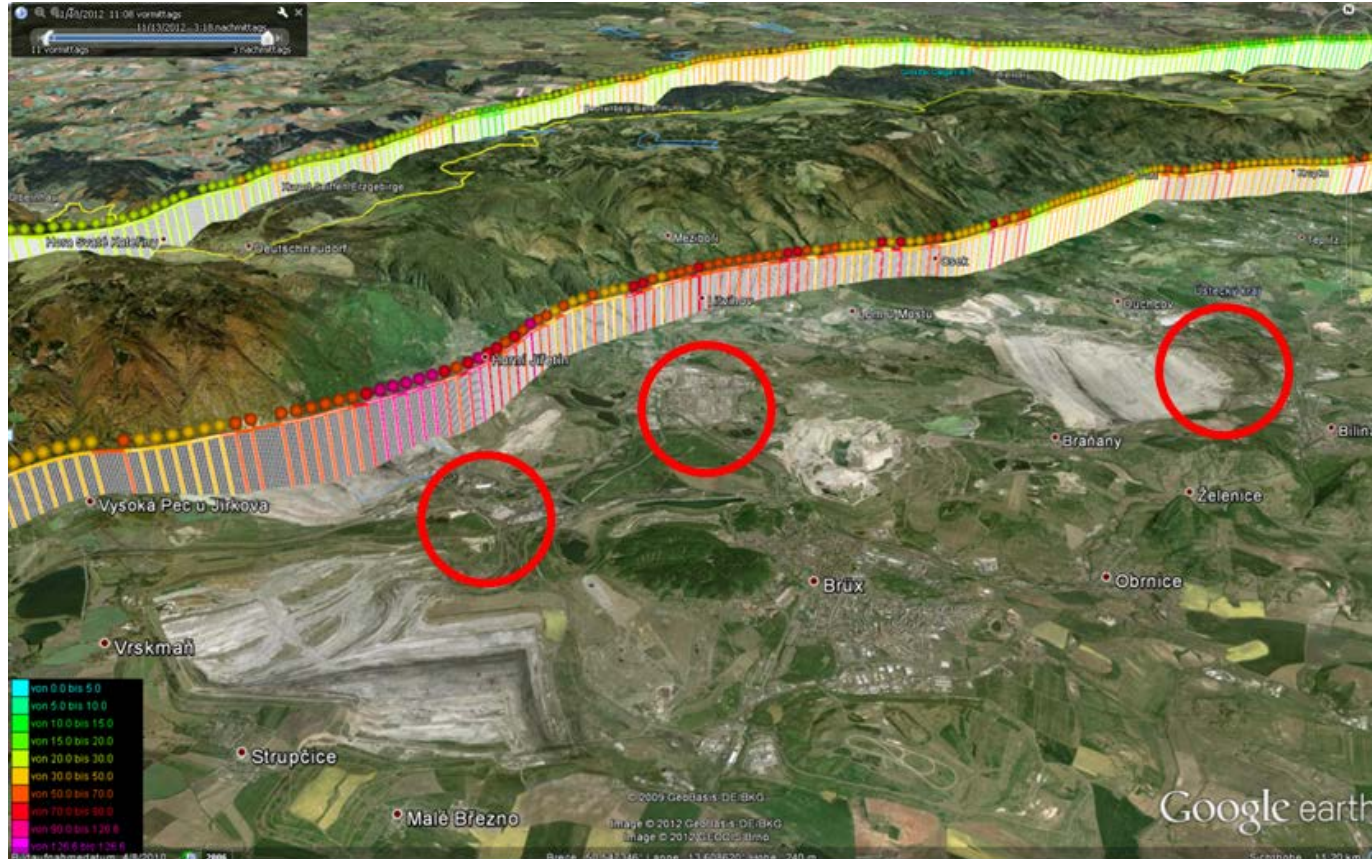
## ■ Grenzüberschreitender Transport



Hohe Partikel-  
Konzentrationen  
aus der Tschechischen  
Republik (CZ) (rot)  
nach Deutschland (D)  
bei Wind  
aus Südosten.



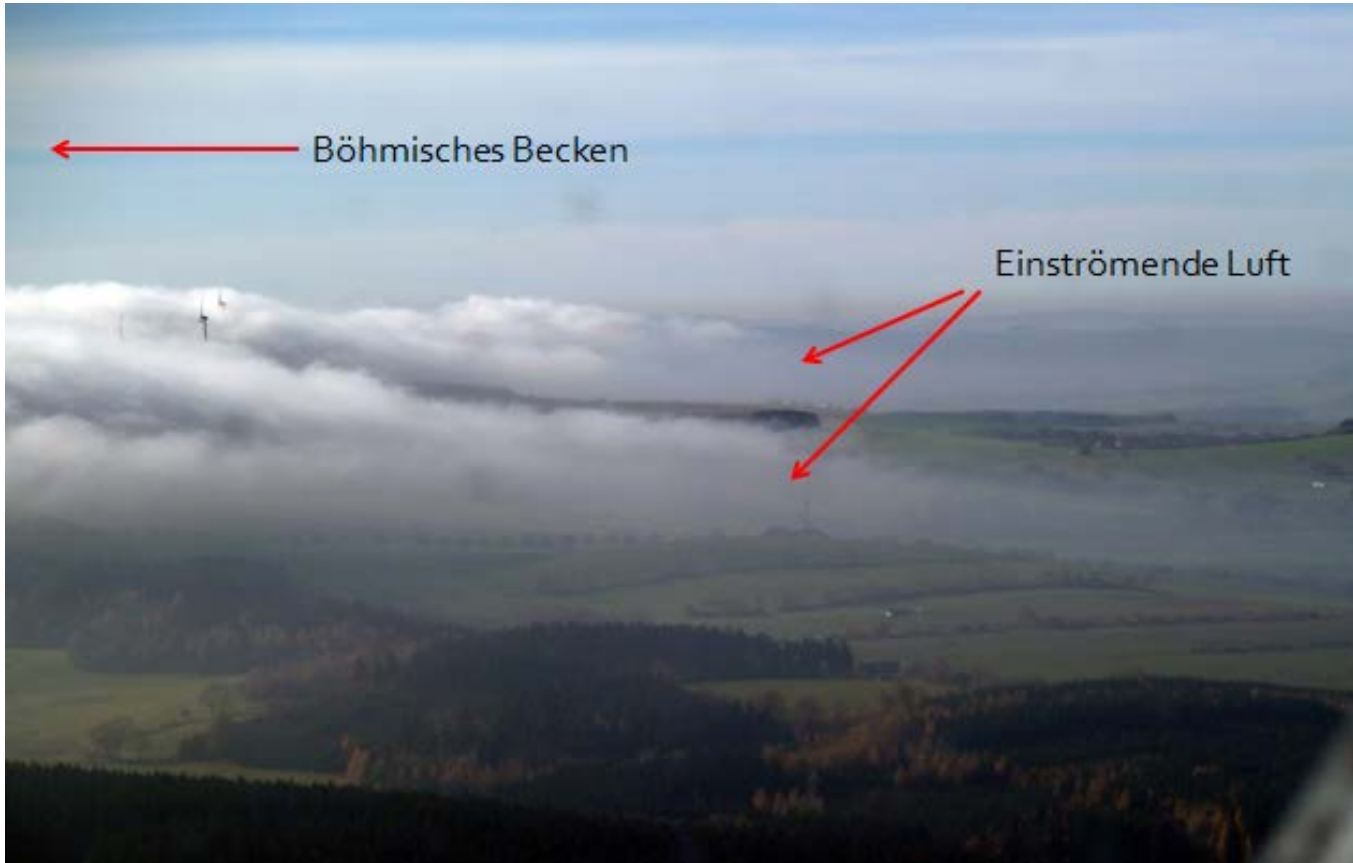
## ■ Grenzüberschreitender Transport



Hohe Partikelkonzentrationen aus der Tschechischen Republik (CZ) (rot) nach Deutschland (D) bei Wind aus Südosten.



## ■ Grenzüberschreitender Transport



Hohe Partikelkonzentrationen aus der Tschechischen Republik (CZ) nach Deutschland (D) bei Wind aus Südosten.

## ■ Grenzüberschreitender Transport



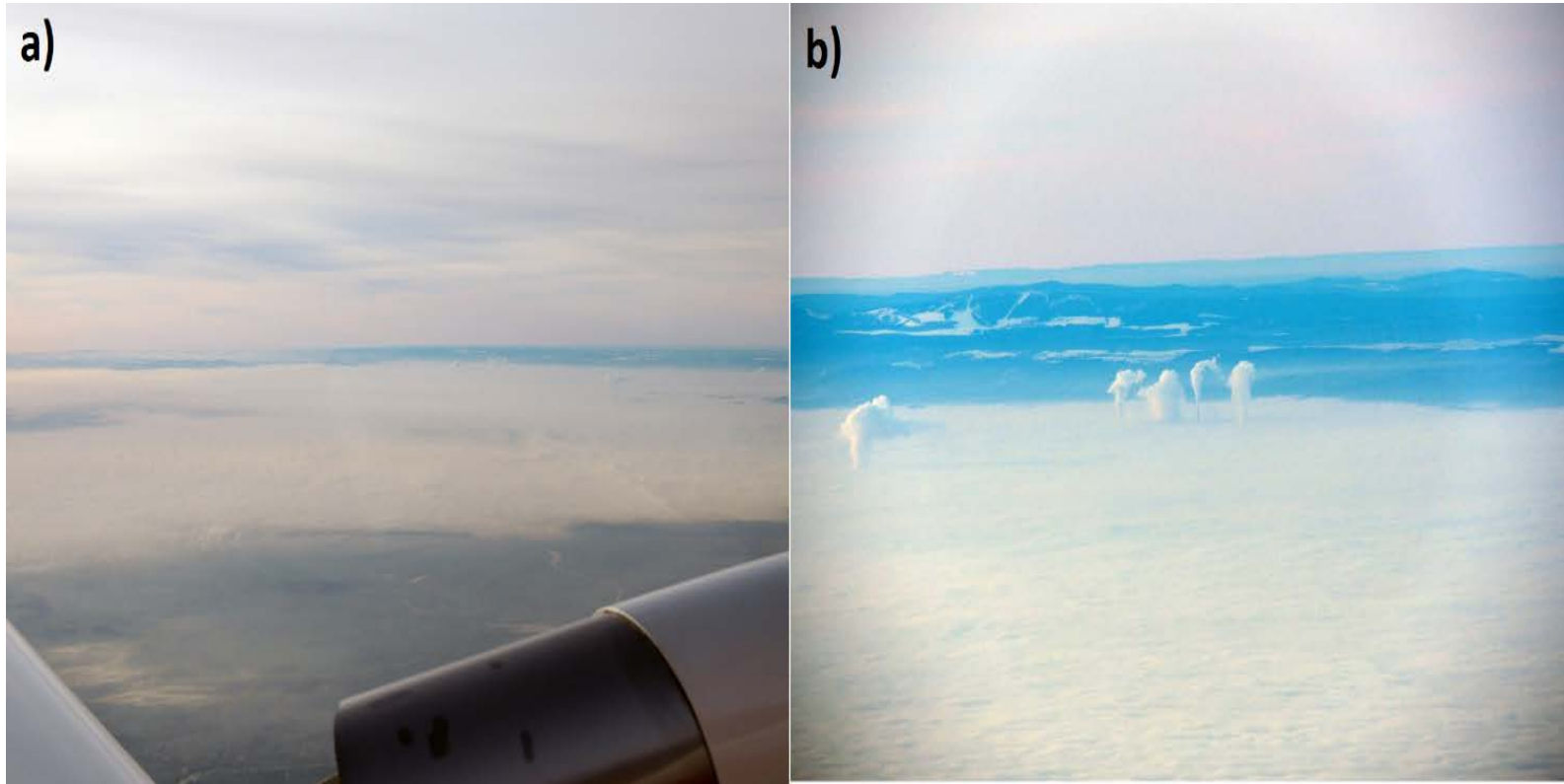
Hohe Partikelkonzentrationen aus der Tschechischen Republik (CZ) nach Deutschland (D) bei Wind aus Südosten.

Klingenthal

Gebirge im Lee →  
ohne Wolkendecke



## ■ Grenzüberschreitender Transport



Aufstauen von Luftmassen vor dem Erzgebirge bei Winden aus Süden, einzelne Kraftwerksfahnen können die Wolkendecke und Inversion durchstoßen

**Fazit: Grenzüberschreitender Luftschadstoff-Transport konnte für bestimmte Situationen gezeigt werden**



## ■ **Schlussfolgerungen**

- Die fluggestützten Messungen haben ihre Leistungsfähigkeit bei der Untersuchung von Einzelquellen gezeigt (Luv-Lee-Vergleiche, Höhenabhängigkeit der Schadstoffverteilung).
- Großflächige Konzentrationsschwerpunkte konnten für bestimmte Situationen für verschiedenen Luftschadstoffe in Sachsen aufgezeigt werden (z.B. in Lee von Flughäfen und Großstädten)
- Im Nordböhmisches Becken konnten für bestimmte Wettersituationen Aufkonzentrationen von Luftschadstoffen gezeigt werden.
- Diese können zum Teil durch die Täler im Erzgebirge bis nach Deutschland abfließen.