CHARITÉ
UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN

Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Charité

Gesundheitseffekte von UFP aus dem Flugverkehr, und: Die Berlin-Brandenburg Air Study (BEAR)

PD Dr. med. Miriam Wiese-Posselt, MPH

Science Week Berlin

06. November 2025

Zum Vortrag

Keine Interessenskonflikte von Miriam Wiese-Posselt

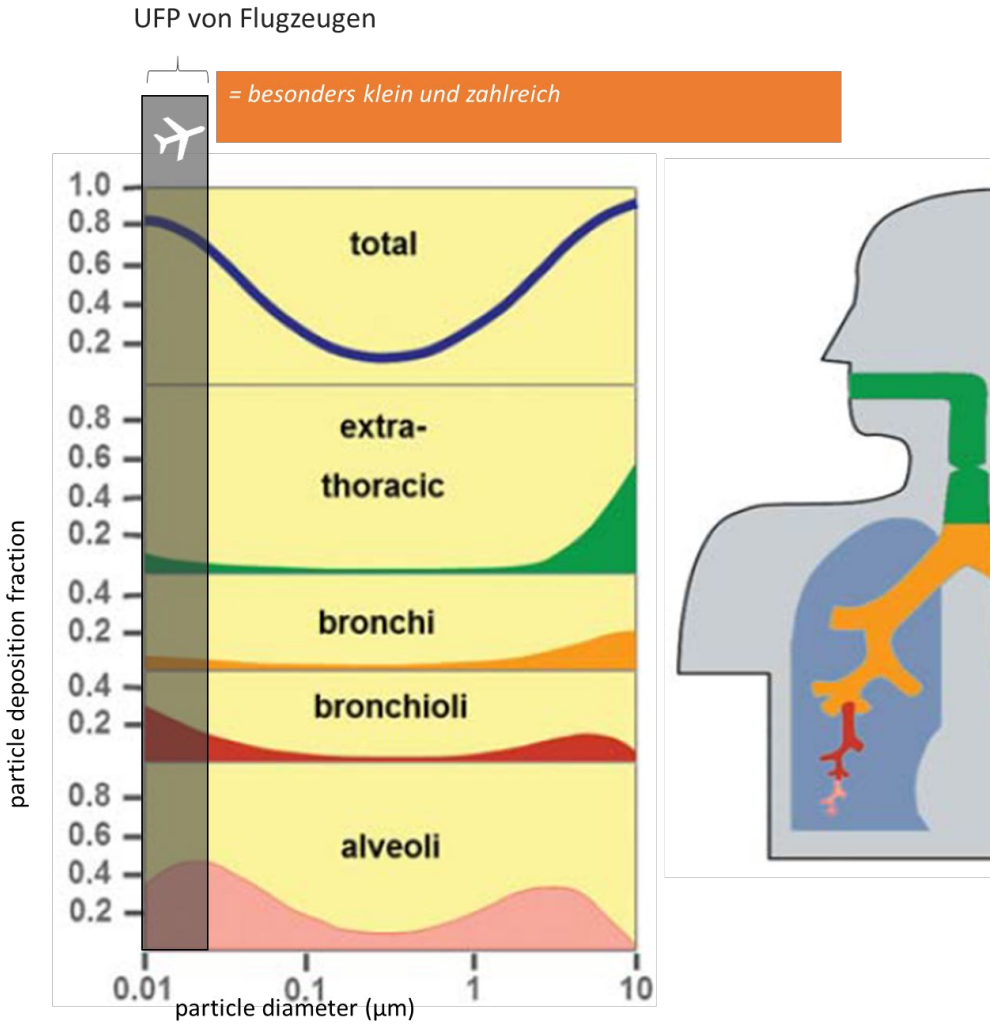
Inhalt des Vortrages:

- Auswirkungen von UFP im menschlichen Organismus & Effekte von UFP aus dem Flugverkehr auf die Gesundheit
- Berlin-Brandenburg Air Study – BEAR: Methodik der Studie & erste Ergebnisse zu kurzfristigen Effekten von UFP aus dem Flugverkehr

1 Gesundheitseffekte von UFP

Hintergrund: Ultrafeine Partikel (UFP)

Größenverteilung und Eindringtiefe in die Atemwege



UFP: <0,1 µm (100 nm)

- Gesundheitliche Auswirkungen von UFP noch nicht ausreichend untersucht
  - → Insbesondere bzgl. der kleinsten UFP aus dem Flugverkehr (10-20 nm)
  - → **= A-UFP (aviation related UFP)**

Abbildung aus: HEI Review Panel on Ultrafine Particles. 2013. HEI Perspectives 3. Health Effects Institute, Boston, MA.
Ergänzung basierend auf: Kreyling et al., *Journal of Aerosol Medicine,* 2006

Hintergrund: Ultrafeine Partikel (UFP)

Auswirkungen von UFP im menschlichem Organismus

Entzündungsreaktionen

- Aktivierung von Makrophagen (weiße Blutkörperchen)
- Freisetzung von Zytokinen (Botenstoffen): Tumornekrosefaktor-alpha (TNF-alpha), Interferonen, Interleukinen

Sauerstoffabhängige Redoxreaktionen

→ Sauerstoffradikale (reaktive Sauerstoffspezies, kurz ROS)

= Sauerstoff-enthaltende Moleküle mit sehr großer chemischer Reaktionsbereitschaft

→ **Oxidativer Stress**

= zelluläre Stoffwechsellage bei der sich das Gleichgewicht zwischen oxidativen und reduktiven Reaktionen zugunsten der oxidativen Prozesse verschiebt

Hintergrund: Ultrafeine Partikel (UFP)

Verteilung im menschlichen Körper und Auswirkungen

Chronische Entzündungsreaktionen

- **Herz-Kreislauf-Erkrankungen**: Arteriosklerose, Bluthochdruck → erhöhtes Risiko für Herzinfarkt und Schlaganfall
- **Atemwegserkrankungen**: Verschlechterung eines Asthmas / einer COPD
- **Neurodegenerative Erkrankungen**: Erhöhtes Risiko für Alzheimer und Parkinson
- **Stoffwechselerkrankungen**: Zusammenhang mit Diabetes mellitus und Adipositas
- **Reproduktion**: Erhöhtes Risiko Frühgeburtlichkeit und Neugeborenen mit geringem Geburtsgewicht

Oxidativer Stress

→ Zellmembranschäden

→ DNA-Schäden

→ Lipidperoxidation

Tumorbildungen und Krebserkrankungen

sowie

Chronische Entzündungsreaktion

Studien zu Gesundheitseffekten von UFP aus dem Flugverkehr (A-UFP)

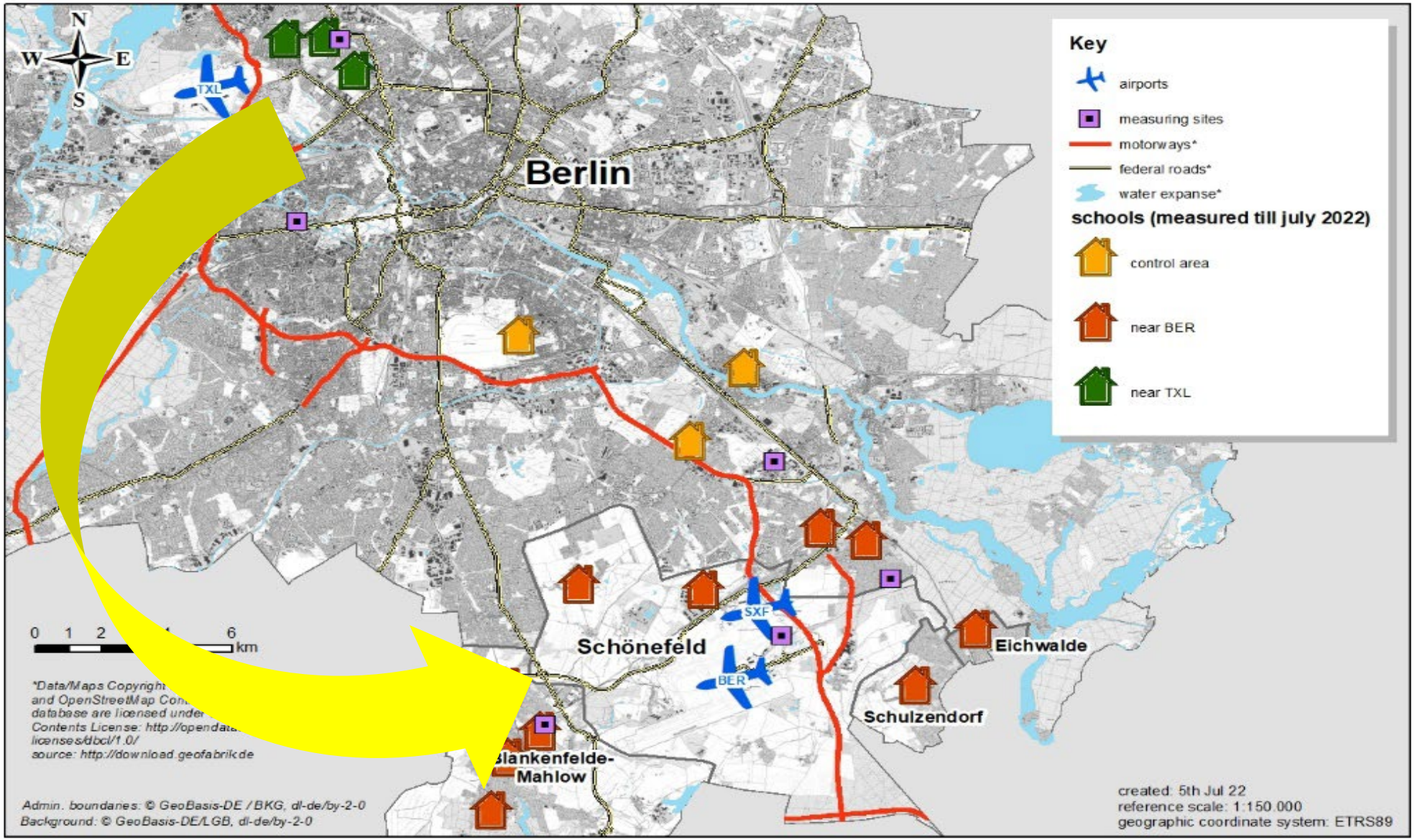
- **Bookstein,** A., et al. (2024). "Association between Airport Ultrafine Particles and **Lung Cancer** Risk: The Multiethnic Cohort Study." Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 33(5): 703–711.
- **Carter,** S. A., et al. (2023). "Maternal exposure to aircraft emitted ultrafine particles during pregnancy and likelihood of ASD (autism spectrum disorder) in children." Environ Int 178: 108061.
- **Habre**, R., et al. (2018). "**Short-term effects** of airport-associated ultrafine particle exposure on **lung function and inflammation in adults with asthma**." Environ Int 118: 48–59.
- **Jacobs**, J. H., et al. (2025). "**Birth Outcomes** among Infants Born between 2006 and 2018 after Maternal Exposure during Pregnancy to Ultrafine Particles from Aviation around a Large International Airport in the Netherlands." Environ Health Perspect 133(2): 27001.
- **Janssen**, N. A. H., et al. (2022). "Effects of **long-term exposure** to ultrafine particles from aviation around Schiphol Airport. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0068.pdf." RIVM report 2022-0068.
- **Lammers,** A., et al. (2020). "Effects of **short-term exposures** to ultrafine particles near an airport in healthy subjects." Environ Int 141: 105779.
- **Lenssen**, E. S., et al. (2024). "Beyond the Runway: **Respiratory health** effects of ultrafine particles from aviation in **children**." Environ Int 188: 108759.
- **Wing**, S. E., et al. (2020). "**Preterm Birth** among Infants Exposed to in Utero Ultrafine Particles from Aircraft Emissions." Environ Health Perspect 128(4): 47002.

2

Berlin-Brandenburg Air Study (BEAR)

Hintergrund

Umzug des Flugverkehrs von TXL nach BER – November 2020



Ziele der BEAR-Studie

1) **Luftschadstoffmessung insb. UFP** und Lärm im Umfeld von TXL & SFX/BER

→ Wie hoch ist die Belastung gegenüber UFP insgesamt?

→ Wie hoch ist die Belastung gegenüber UFP aus dem Flugverkehr?

Datengrundlage: Messkampagnen und Modellierung des Projektes **ULTRAFLEB** sowie **Partikel-Konzentrationsmessung** (PNC) mittels Kondensationspartikelzählern (CPC) **an den Studienorten**

2) Erfassung von **akuten Effekten** von Luftschadstoffen und Lärm auf die kardiorespiratorische und kognitive Gesundheit von Grundschulkindern (vor Ort an Schule/Hort):

→ Blutdruck, Lungenfunktion, Entzündungsreaktionen in der Lunge

→ Konzentrationsfähigkeit

3) Erfassung von **langfristigen Effekten** von Luftschadstoffen und Lärm von Grundschulkindern auf die kardiorespiratorische und kognitive Gesundheit (vor Ort an Schule/Hort), insbesondere:

→ Lungenwachstum

→ Kognitive Entwicklung: Aufmerksamkeit und Erinnerungsfähigkeit

PROJEKTE: ULTRAFLEB & Berlin-Brandenburg Air Study (BEAR)

BEAR: Gesundheitsuntersuchungen bei Schulkindern

- **Kohortenstudie** mit >1.000 Grundschulkindern in Berlin und Brandenburg: Wiederholte Erhebung von Gesundheits-Parametern
- Zeitgleich: **Partikel-Konzentrationsmessung** (PNC) 4nm – 1µm Größe am Studienort (Schule/Hort)
- Anschließend: **Analyse** der gesundheitlichen Auswirkungen von kurzfristiger und langfristiger Exposition gegenüber UFP aus dem Flugverkehr unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren wie: Lärm, Sozialindex sowie Faktoren beim jeweiligen Kind (Grunderkrankung, Wohnumfeld etc.).

CHARITÉ UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN

HELMHOLTZ MUNICH

hhu Heinrich Heine Universität Düsseldorf

Erste Phase von BEAR mit bis zu 3 Untersuchungen der Studienteilnehmenden: 01/2020 bis 12/2024

Gefördert durch
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

Durchgeführte Untersuchungen bei den Kindern (6-12 Jahre)

Ultrafeine Partikel (UFP) und Gesundheit/neurokognitive Leistungsfähigkeit

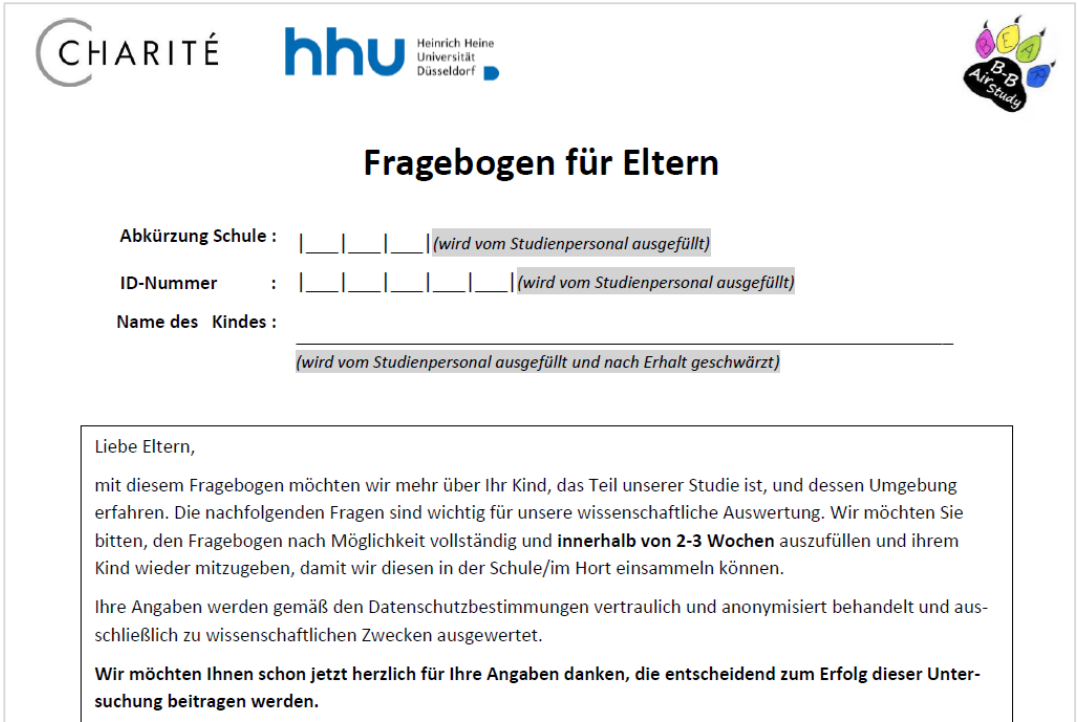
- Fragebogen zur aktuellen Gesundheit und Lebensqualität
- Blutdruckmessung
- Messung von FeNO in der Ausatemluft
- Lungenfunktionstestung
- Neurokognitive Testung (am PC)
  (N-Back-Test, ANT-Test)

Elternfragebögen

Ultrafeine Partikel (UFP) und Gesundheit/neurokognitive Leistungsfähigkeit

Wiederholte Befragung der Eltern/Erziehungsberechtigten zu:

- Demographischen Angaben
- Wohnort und Wohnumfeld
- Medizinische Anamnese des Kindes
- Aktivitäten/Sport des Kindes
- Expositionen im Wohnumfeld: Rauchen, Haustiere und Verkehr
- Schulabschluss und Erwerbstätigkeit der Eltern



CHARITÉ hhu Heinrich Heine Universität Düsseldorf

Fragebogen für Eltern

Abkürzung Schule : |___|___|___| *(wird vom Studienpersonal ausgefüllt)*

ID-Nummer : |___|___|___|___|___| *(wird vom Studienpersonal ausgefüllt)*

Name des Kindes : _____

(wird vom Studienpersonal ausgefüllt und nach Erhalt geschwärzt)

Liebe Eltern,

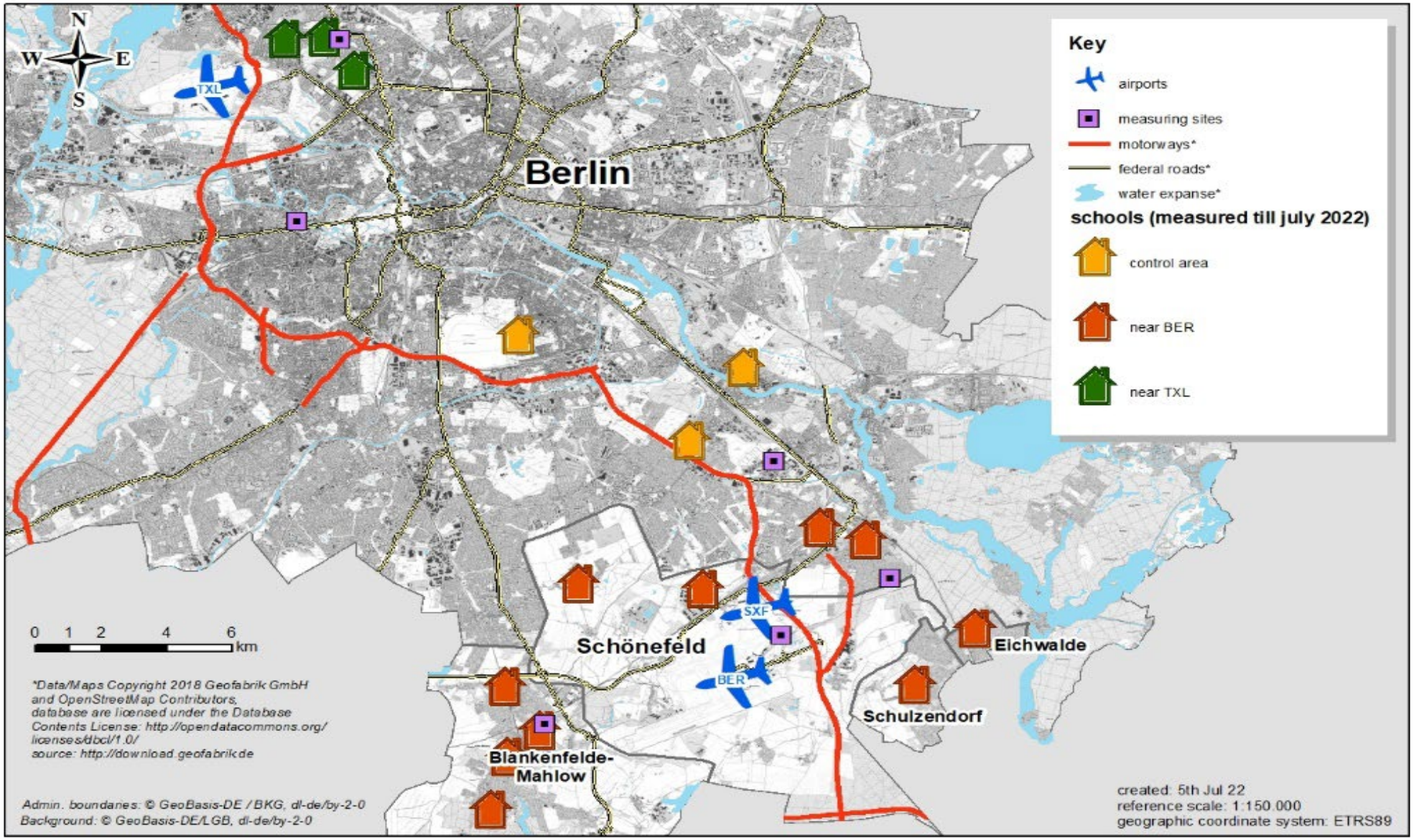
mit diesem Fragebogen möchten wir mehr über Ihr Kind, das Teil unserer Studie ist, und dessen Umgebung erfahren. Die nachfolgenden Fragen sind wichtig für unsere wissenschaftliche Auswertung. Wir möchten Sie bitten, den Fragebogen nach Möglichkeit vollständig und **innerhalb von 2-3 Wochen** auszufüllen und ihrem Kind wieder mitzugeben, damit wir diesen in der Schule/im Hort einsammeln können.

Ihre Angaben werden gemäß den Datenschutzbestimmungen vertraulich und anonymisiert behandelt und ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet.

Wir möchten Ihnen schon jetzt herzlich für Ihre Angaben danken, die entscheidend zum Erfolg dieser Untersuchung beitragen werden.

BEAR-Studie: 16 Studienstandorte

Start: Januar 2020 in Berlin, April 2021 in Brandenburg



Parikel number concentration (PNC) an 16 Standorten (Schulen)

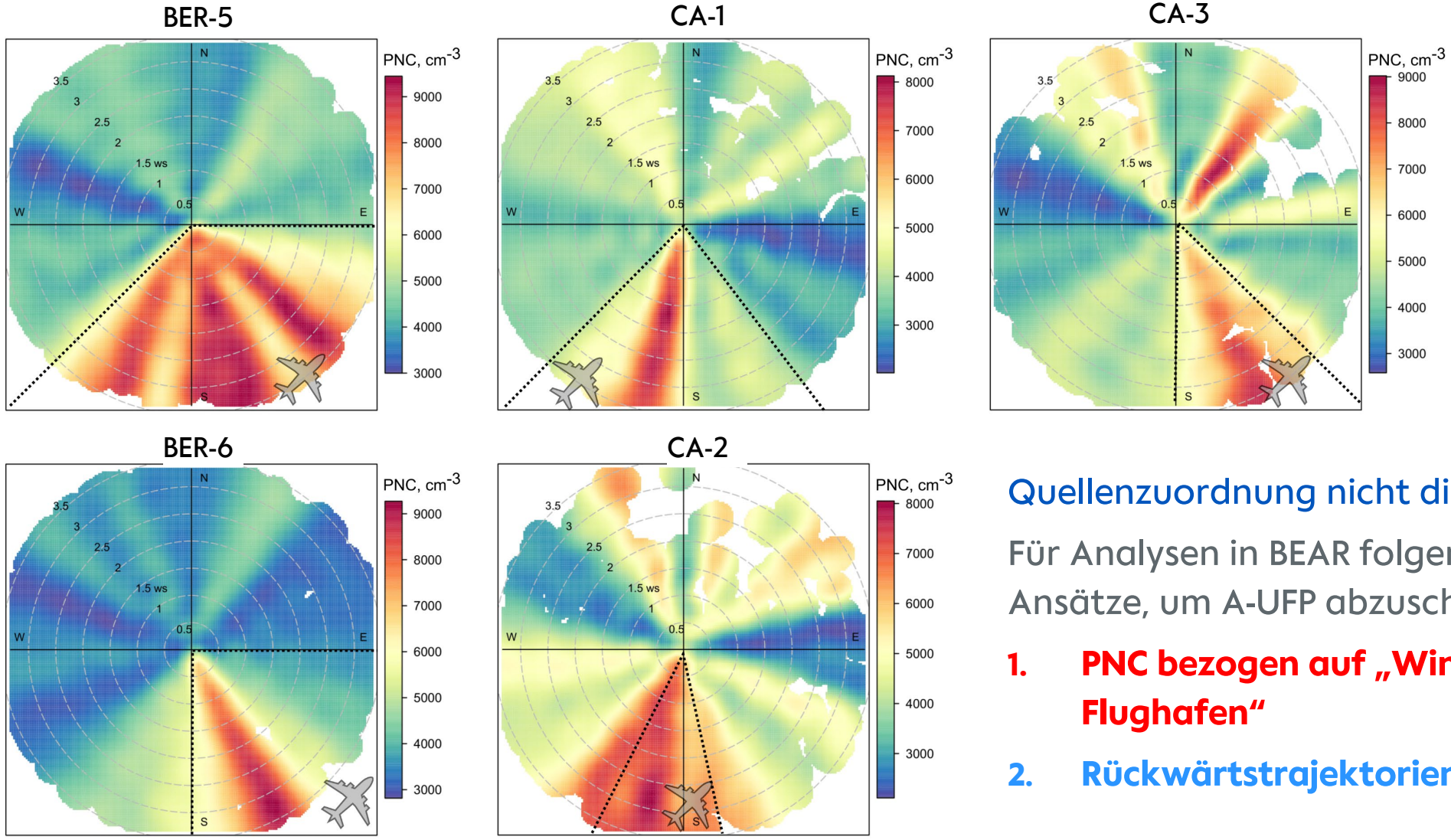
Mit drei Kondensationspartikelzählern (CPC, EDM 465, Grimm, Germany)

Particle size range: 4 nm – 1 µm (1.000 nm); UFP <100 nm

Output: PNC/cm^3

PNC an Schulen/Horten, Januar 2020 – Dezember 2022

In Schönefeld (BER-5, BER-6) und Kontrollregionen (CA-1, CA-2, CA-3)



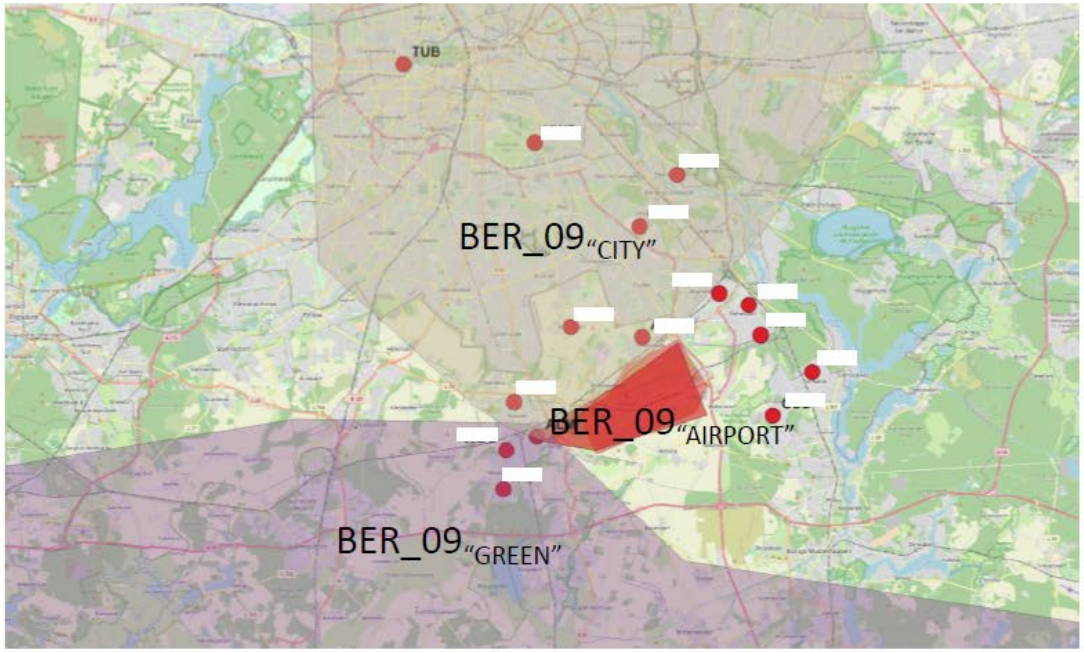
Quellenzuordnung nicht direkt möglich!

Für Analysen in BEAR folgende zwei Ansätze, um A-UFP abzuschätzen:

1. **PNC bezogen auf „Wind vom Flughafen“**
2. **Rückwärtstrajektorien**

Abschätzung der Exposition gegenüber A-UFP (Ansatz 2)

Analyse der Rückwärtstrajektorien



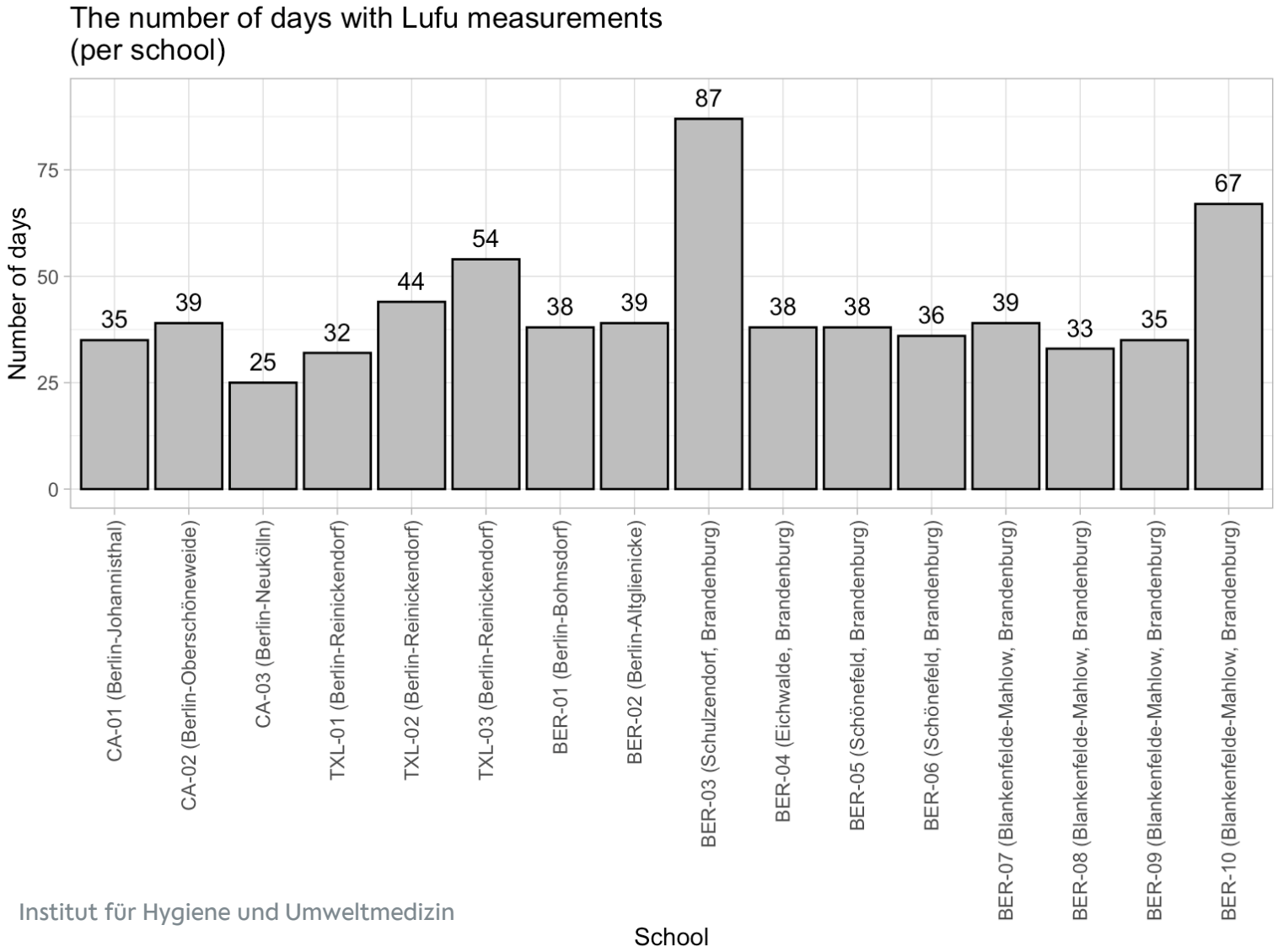
- 3 Sektoren ("AIRPORT", "CITY", and "GREEN") wurden für jede Schule identifiziert.

Kecorius et al., *Environ Int*, 2024

- Rückwärtstrajektorien wurden mit dem R-Paket „splitr" und dem Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory-Modell (HYSPLIT) berechnet.
- Es wurden 8 Stunden lange und 50 m hohe Flugbahnen berechnet.
- Insgesamt wurden mehr als 150 000 Rückwärts-trajektorien berechnet.

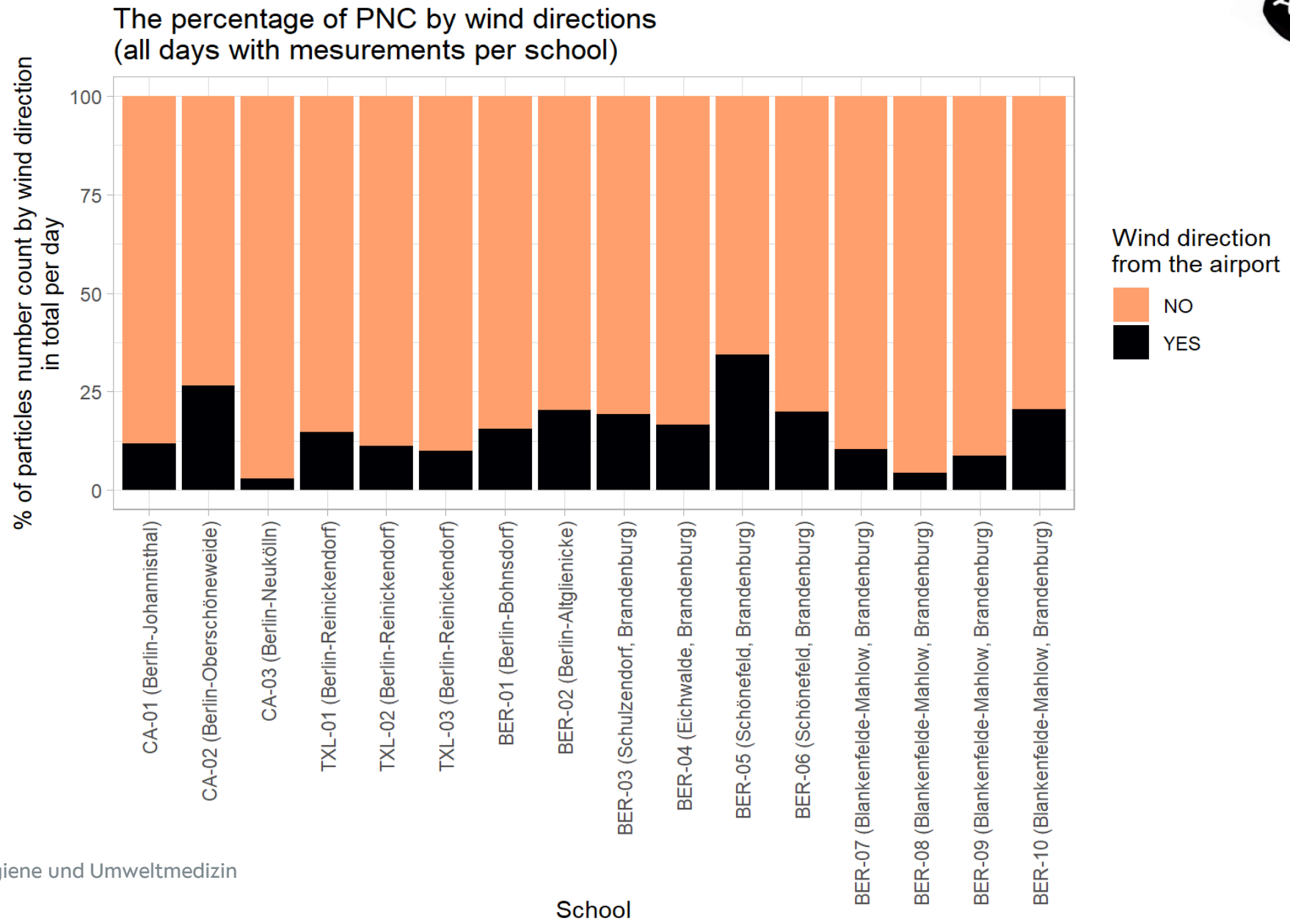
Anzahl Untersuchungstage (U-Tage) in jeweiliger Schule/Hort

01/2020 – 12/2024



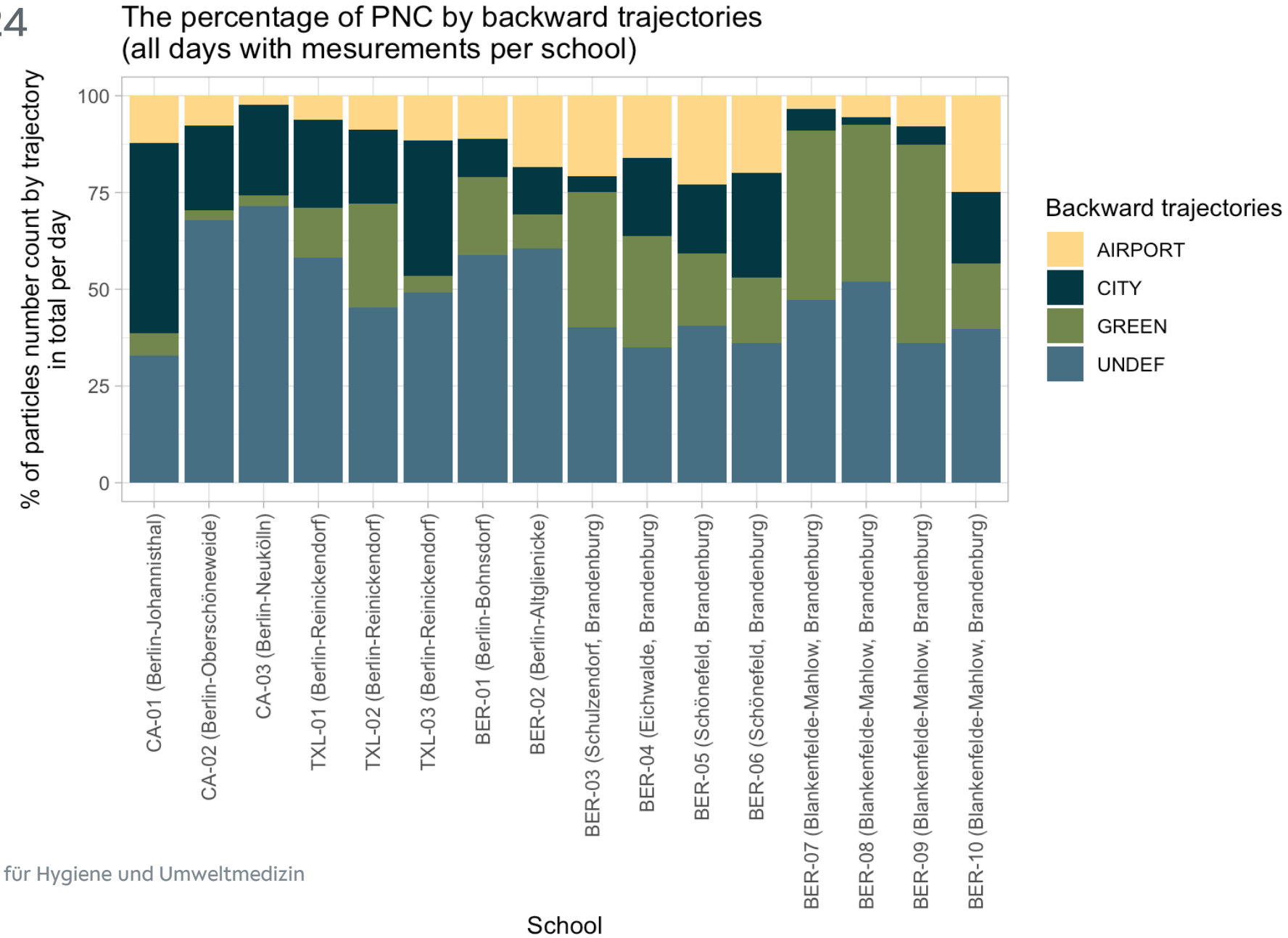
Ansatz 1: Anteil PNC bei „Wind vom Flughafen“ an U-Tagen

01/2020 – 12/2024



Ansatz 2: Anteil PNC bezogen auf Rückwärtstrajektorien an U-Tagen

01/2020 – 12/2024



BEAR-Teilnehmende: Anzahl durchgeführter Untersuchungen (1/2020 – 12/2024)

Studienregion	Studienzentrum	Anzahl (n) 1. Untersuchung	Anzahl (n) 2. Untersuchung	Anzahl (n) 3. Untersuchung	Anzahl (n) Gesamt
Kontrollregion	CA-1 (Berlin-Johannisthal)	94	74	58	226
	CA-2 (Berlin-Oberschöneweide)	65	54	59	178
	CA-3 (Berlin-Neukölln)	67	56	44	167
	Subtotal Anzahl (n)	**226**	**184**	**161**	**571**
TXL-Region	TXL-1 (Berlin-Reinickendorf)	90	83	69	242
	TXL-2 (Berlin-Reinickendorf)	91	77	46	214
	TXL-3 (Berlin-Reinickendorf)	110	100	77	287
	Subtotal Anzahl (n)	**291**	**260**	**192**	**743**
BER-Region	BER-1 (Berlin-Bohnsdorf)	147	123	88	358
	BER-2 (Berlin-Altglienicke)	67	57	45	169
	BER-3 (Schulzendorf, Brandenburg)	69	61	56	186
	BER-4 (Eichwalde, Brandenburg)	54	44	26	124
	BER-5 (Schönefeld, Brandenburg)	52	45	27	124
	BER-6 (Schönefeld, Brandenburg)	42	32	19	93
	BER-7 (Blankenfelde-Mahlow, Brandenburg)	33	28	19	80
	BER-8 (Blankenfelde-Mahlow, Brandenburg)	36	27	11	74
	BER-9 (Blankenfelde-Mahlow, Brandenburg)	33	24	10	67
	BER-10 (Blankenfelde-Mahlow, Brandenburg)	53	51	39	143
	Subtotal Anzahl (n)	**586**	**492**	**340**	**1418**
Gesamt	**Total Anzahl (n)**	**1103**	**936**	**693**	**2732**

Daten und Informationen zur Studienpopulation

Untersuchungszeitpunkte: erste (t0), zweite (t1) und dritte (t2) Untersuchung; 01/2020 – 12/2024

Anzahl Beobachtungen (Untersuchungen) = 2218, Anzahl untersuchte Kinder = 995

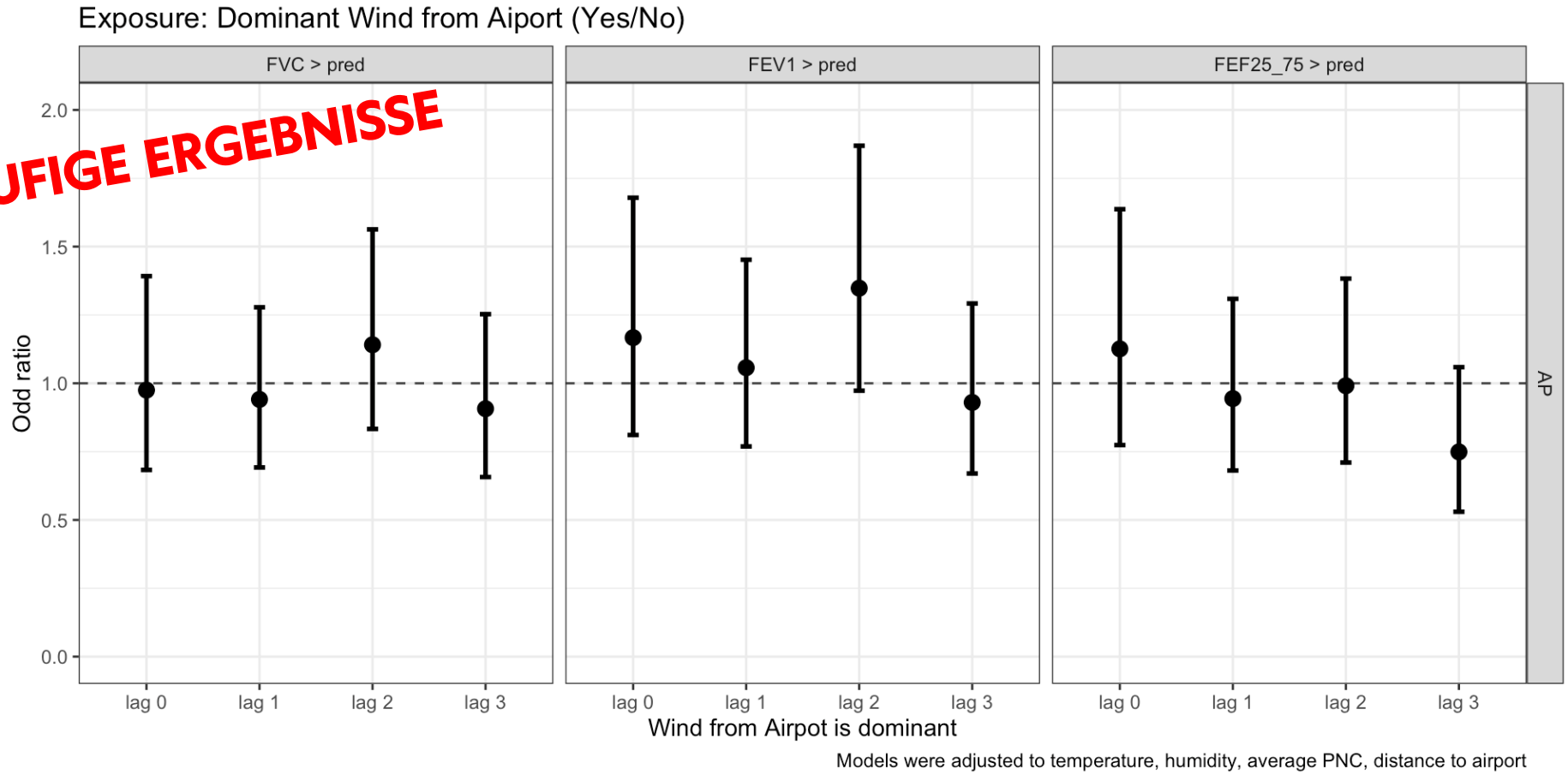
	t0 (N obs =791)	t1 (N obs =846)	t2 (N obs =581)	Overall (N obs =2218)
Alter				
Mean (SD)	8.59 (1.05)	9.87 (1.11)	10.7 (0.962)	9.63 (1.35)
Geschlecht				
Female	411 (52.0%)	419 (49.5%)	294 (50.6%)	1124 (50.7%)
Male	380 (48.0%)	427 (50.5%)	287 (49.4%)	1094 (49.3%)
Groesse, m				
Mean (SD)	1.37 (0.0840)	1.45 (0.0956)	1.50 (0.0884)	1.43 (0.104)
Gewicht, kg				
Mean (SD)	33.7 (8.29)	39.4 (10.7)	43.7 (11.2)	38.5 (10.8)
FVC, liter				
Mean (SD)	2.17 (0.424)	2.52 (0.532)	2.74 (0.527)	2.45 (0.543)

Lungenfunktion – PNC bei „Wind vom Flughafen“ an den U-Tagen

01/2020 – 12/2024; n = 2218 Untersuchungen

Ansatz 1

VORLÄUFIGE ERGEBNISSE



lag0 = U-Tag, lag1 – lag3 = 1 Tag – 3 Tage vor U-Tag

FVC = forcierte Vitalkapazität / FEV1 = forciertes exspiratorisches Volumen in der ersten Sekunde /

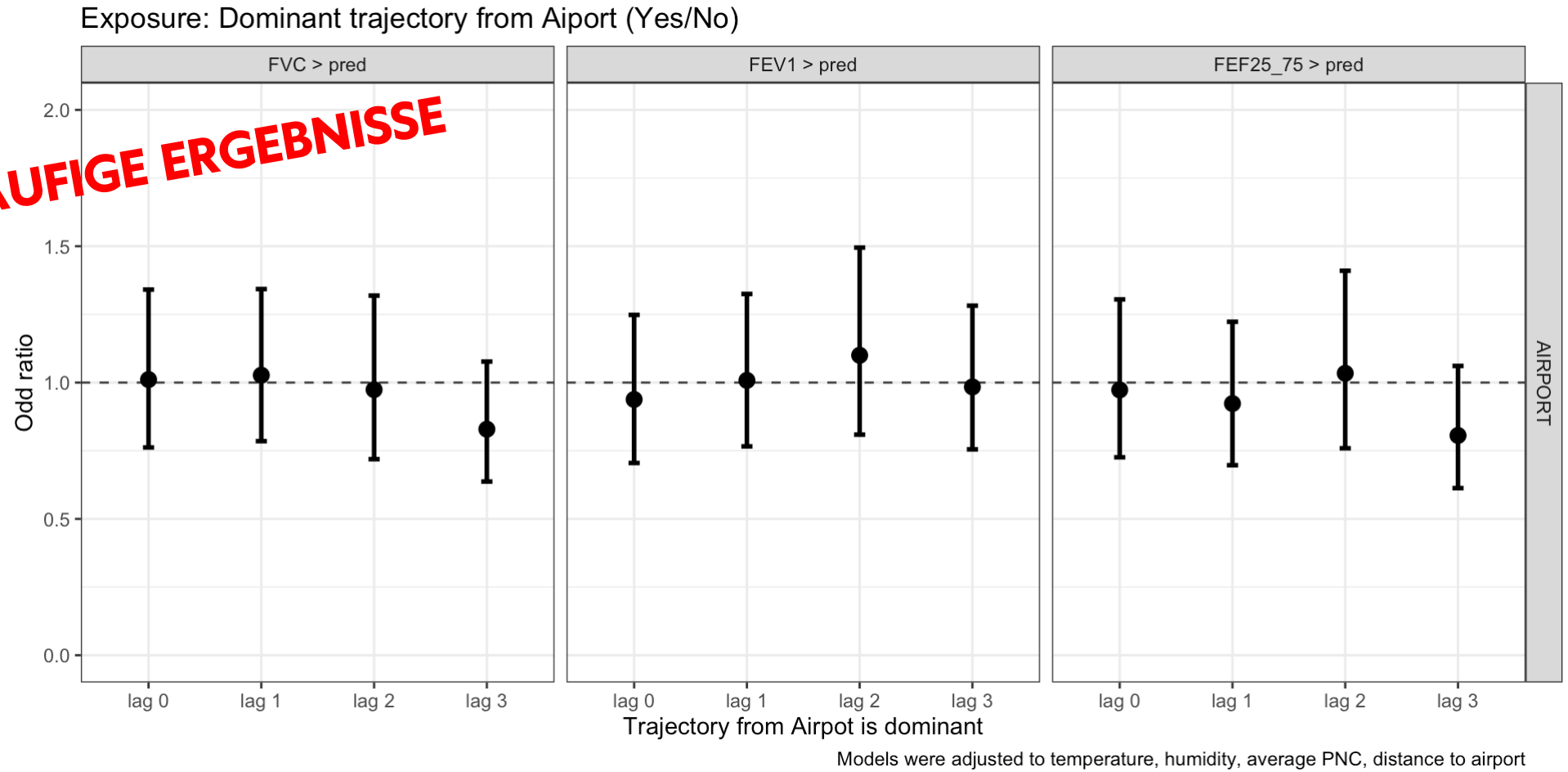
FEF 25-75 = mittlerer maximaler Luftstrom während der Ausatmung

Lungenfunktion – PNC bei Trajektorie vom Flughafen an U-Tagen

01/2020 – 12/2024; n = 2218 Untersuchungen

Ansatz 2

VORLÄUFIGE ERGEBNISSE



lag0 = U-Tag, lag1 – lag3 = 1 Tag – 3 Tage vor U-Tag

FVC = forcierte Vitalkapazität / FEV1 = forciertes exspiratorisches Volumen in der ersten Sekunde /

FEF 25-75 = mittlerer maximaler Luftstrom während der Ausatmung

Interpretation der Ergebnisse zur Lungenfunktion

Kurzfristige Effekte!

VORLÄUFIGE ERGEBNISSE

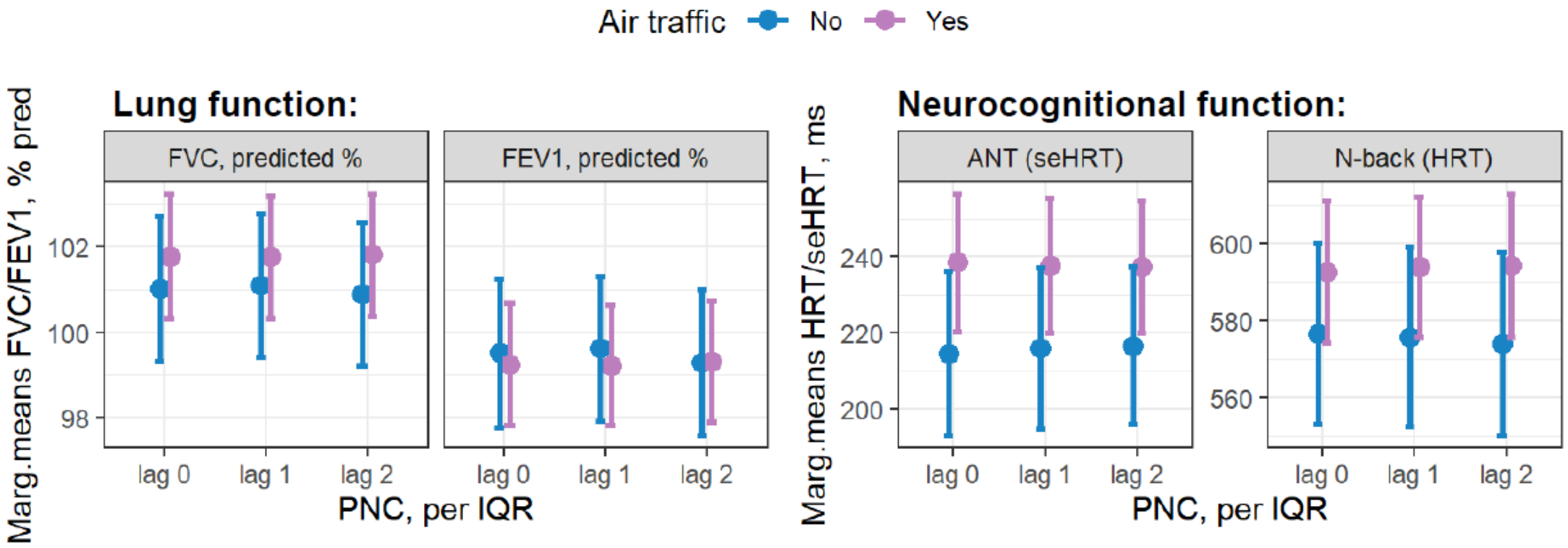
Diskussionspunkte

- Anzahl Beobachtungen zu gering? Fallzahlberechnung nahm Anzahl von 2.800 – 3.200 an.
- Bewertung der Exposition-Abschätzung von UFP aus den Flugverkehr:
  - → Ansatz: PNC bei „Wind vom Flughafen“
  - → Ansatz: PNC bezogen auf Rückwärtstrajektorie vom Flughafen
- Relativ wenige Untersuchungstage mit „Exposition von UFP vom Flughafen“
- Bisher keine Berücksichtigung anderer Luftschadstoffe (wie PM10, PM2.5, NOx)
- Bisher keine Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren (wie vorliegendes Asthma, Medikamenteneinnahme, Wohnumfeld des Kindes)
- Stratifizierung der Schulstandorte nach: Einflussbereich eines Flughafens ja/nein?
  Oder: Stratifizierung nach den Studienregionen: Kontroll-, TXL- und BER-Region

Lungenfunktion und Reaktionsvermögen/Aufmerksamkeit

VORLÄUFIGE ERGEBNISSE

Exposure PNC (ohne Quellenzuordnung); n = 2002 Untersuchungen



HRT: hit reaction time (Attentional Network Task, ANT),

FVC = forcierte Vitalkapazität / FEV1 = forciertes exspiratorisches Volumen in der ersten Sekunde

Fazit

- 1. Phase der BEAR-Studie erfolgreich abgeschlossen; > 1.000 Kinder/Jugendliche in BEAR eingeschlossen

- Solide Datenbasis bzgl. der Exposition: PNC vor Ort, Messkampagnen und Modellierung in ULTRAFLEB

- Vorläufige Ergebnisse der Effekt-Analyse von kurzfristiger UFP-Exposition: Einfluss auf die Lungenfunktion nicht erkennbar, in der neurokognitiven Testung zeigten Kinder mit Flughafen-Exposition eine leicht verlängerte Reaktionszeit.

- **Ergänzende Ziele der 2. Phase der BEAR-Studie ab Ende 2025:**

  → Gute Datenbasis zur Identifikation von Effekten bei kurzfristiger UFP-Exposition (größere Anzahl an Untersuchungen) und bei langfristiger Exposition (längere Beobachtungszeit)

  → Quellenspezifische UFP-Messungen: Abschätzung durch parallelen Einsatz von Messgeräten mit größenfraktionierter UFP-Bestimmung und CPCs

Förderer von BEAR

Finanzielle Förderung durch:

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Umweltbundesamt (UBA)
- Ministerium für Gesundheit und Soziales des Landes Brandenburg
- Gemeinden Blankenfelde-Mahlow, Eichwalde, Schönefeld und Schulzendorf
- Schutzgemeinschaft „Umlandgemeinden Flughafen Schönefeld“ e.V.
- Beteiligte Einrichtungen

Unterstützung durch Bereitstellung von Daten:

- Umweltbundesamt (UBA): REFOPLAN ULTRAFLEB
- Senatsverwaltung für Mobilität, Klimaschutz und Umwelt, Berlin
- Landesamt für Umwelt Brandenburg, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg
- Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

Weitere Unterstützung durch:

- Berliner Senat & Senatsverwaltung
- Bürgermeister der BER-Anrainergemeinden
- Beteiligte Schulen und Horte

Vielen Dank!