



Statuskolloquium Luft 2021

Ozon – Aktuelle Trends und Fakten

30. September 2021

Dominik van Pinxteren, Yaru Wang, Jacob Schacht, Bernd Heinold, Ralf Wolke,
Hartmut Herrmann

Mitglied der



TROPOS
Leibniz-Institut für
Troposphärenforschung

Ausgangslage Ozon in Sachsen

Jahresmittelwerte

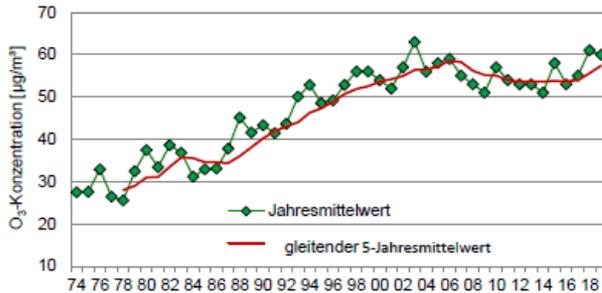


Abbildung 15: Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration an der Station Radebeul-Wahnsdorf seit 1974

- Jahresmittel konstant seit ca. 15 Jahren
- Hohe Werte durch heiße, sonnenintensive Sommer (2003, 2018, 2019)

(LfULG, Jahresbericht Luftqualität in Sachsen 2019)

Zielwert Gesundheit

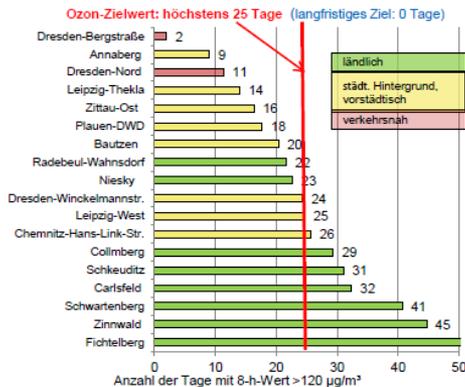


Abbildung 10: Anzahl der Tage mit Ozon-8-Stundenmittelwerten größer 120 µg/m³ (Mittelwert 2017-2019)

Zielwert Vegetation

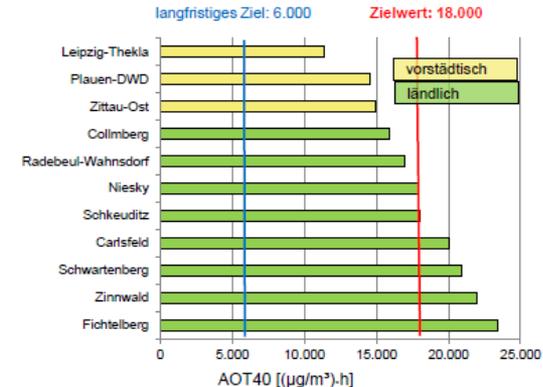


Abbildung 13: Schutz der Vegetation – AOT40 (Mittelwert 2015-2019)

2017–2019 an 7 von 18 Stationen überschritten

2015–2019 an 5 von 11 Stationen überschritten

→ O₃ weiterhin eine Herausforderung in Luftqualität



Projekt des LfULG:

Tendenzen, Verursacher und Auswirkungen der Ozonbelastung in Sachsen

- Besseres Verständnis der Quellen und Auswirkungen der Ozonbelastung in Sachsen
 - NO und NO₂
 - VOC
 - Meteorologiedurch Kombination von **statistischer Auswertung/Modellierung** mit Ergebnissen aus Chemie-Transport-Modellierung
- Abschätzung der Folgen hoher Ozonbelastung auf land- und forstwirtschaftliche Erträge und Kohlenstoffbindung in Vegetation durch Modellierung des Ozonrisikos nach VDI 2310 Blatt 6
- Schlussfolgerungen für ein Messprogramm zur Erfassung der wesentlichen ozonverursachenden meteorologischen und chemischen Komponenten

Quellen und Senken: Überblick

~ 10% des gesamten atmosphärischen Ozons in Troposphäre

Globale Flüsse

- Gesamtbilanz
~ 5000 Tg yr⁻¹
- Photochemie dominiert
Bildung & Abbau
- stratosph. Einmischung
& Deposition ~10 & 20%

TROPOS

- **Schädigungen der Vegetation**

- Re-Allokation zu Lasten anderer Pflanzenfunktionen
- verringerte Biomasse und verringerter Ertrag

- **Schädigungen der menschl. Gesundheit**

- v.a. akute und chronische Atemwegserkrankungen
- weitere Effekte auf Stoffwechsel, HKS, Nervensystem naheliegend (EPA ISA 2020)

- **Klimawirkung**

- Strahlungsantrieb $0,4 \text{ W m}^{-2}$
- ähnlich Methan

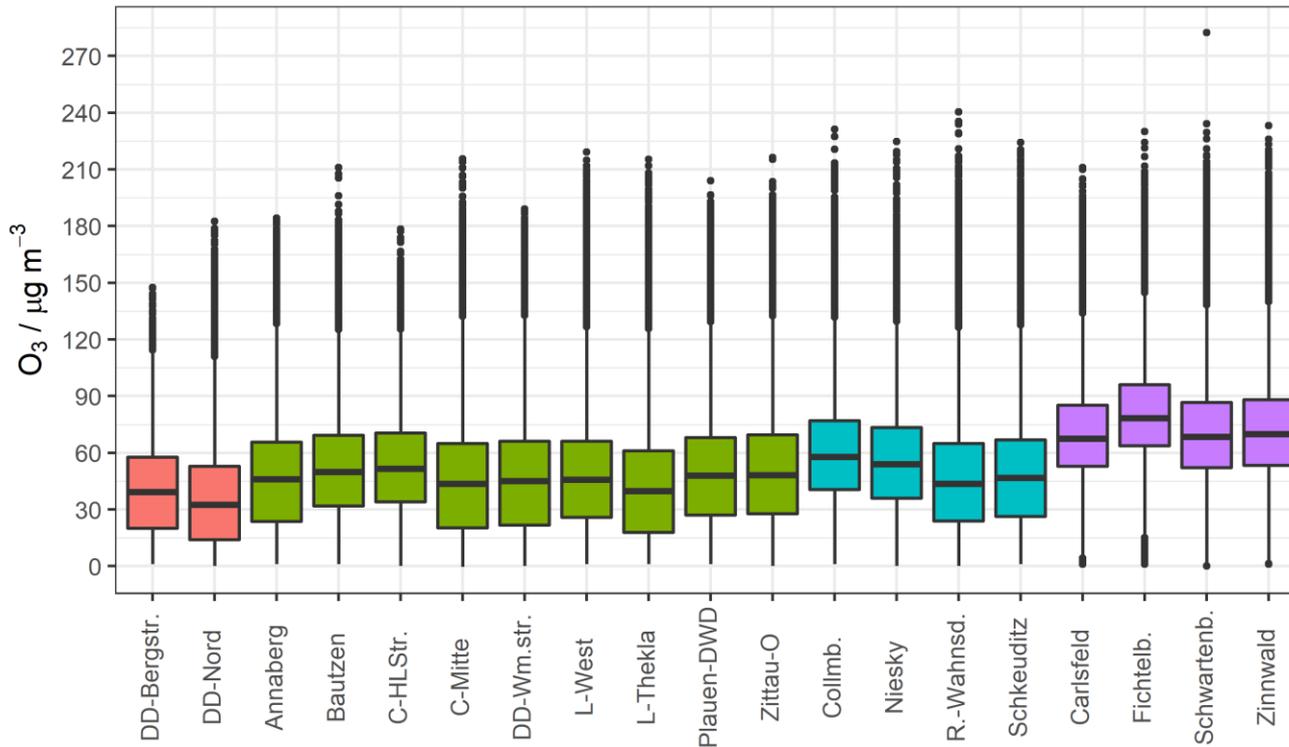
erste Ergebnisse im Projekt:

Konzentrationsbereich und Trendanalysen

TROPOS

Übersicht Stundenwerte Ozon

Stundenwerte seit 1997



Mittelwerte

Erzgebirgskamm
~ 70 – 80 µg m⁻³

Ländl. Hintergr.
~ 55 – 60 µg m⁻³
~ 45 – 50 µg m⁻³

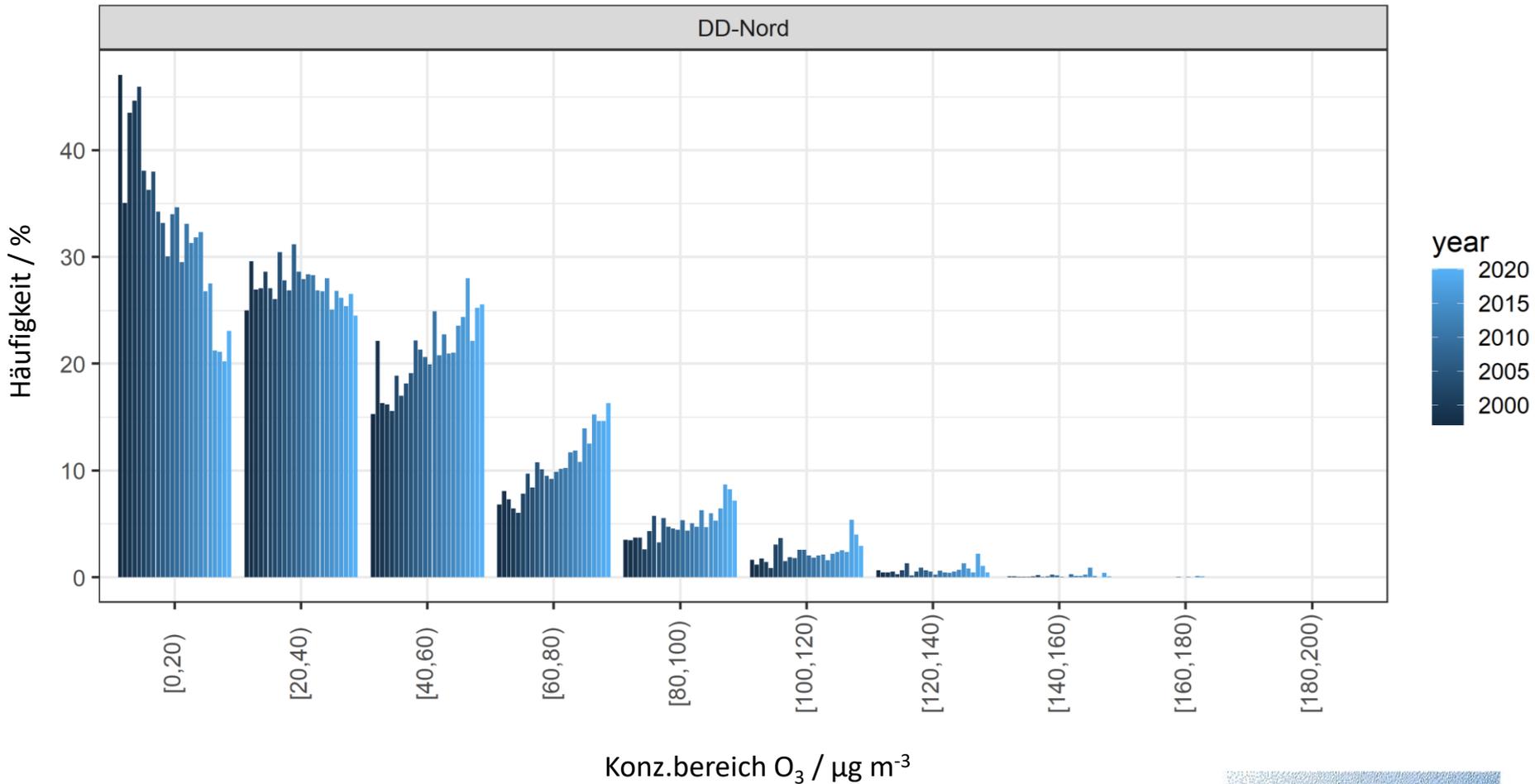
Städt. Hintergr.
~ 40 – 55 µg m⁻³

Verkehrsstation
~ 35 – 40 µg m⁻³

Max. @Schwarzenberg:
282 µg m⁻³

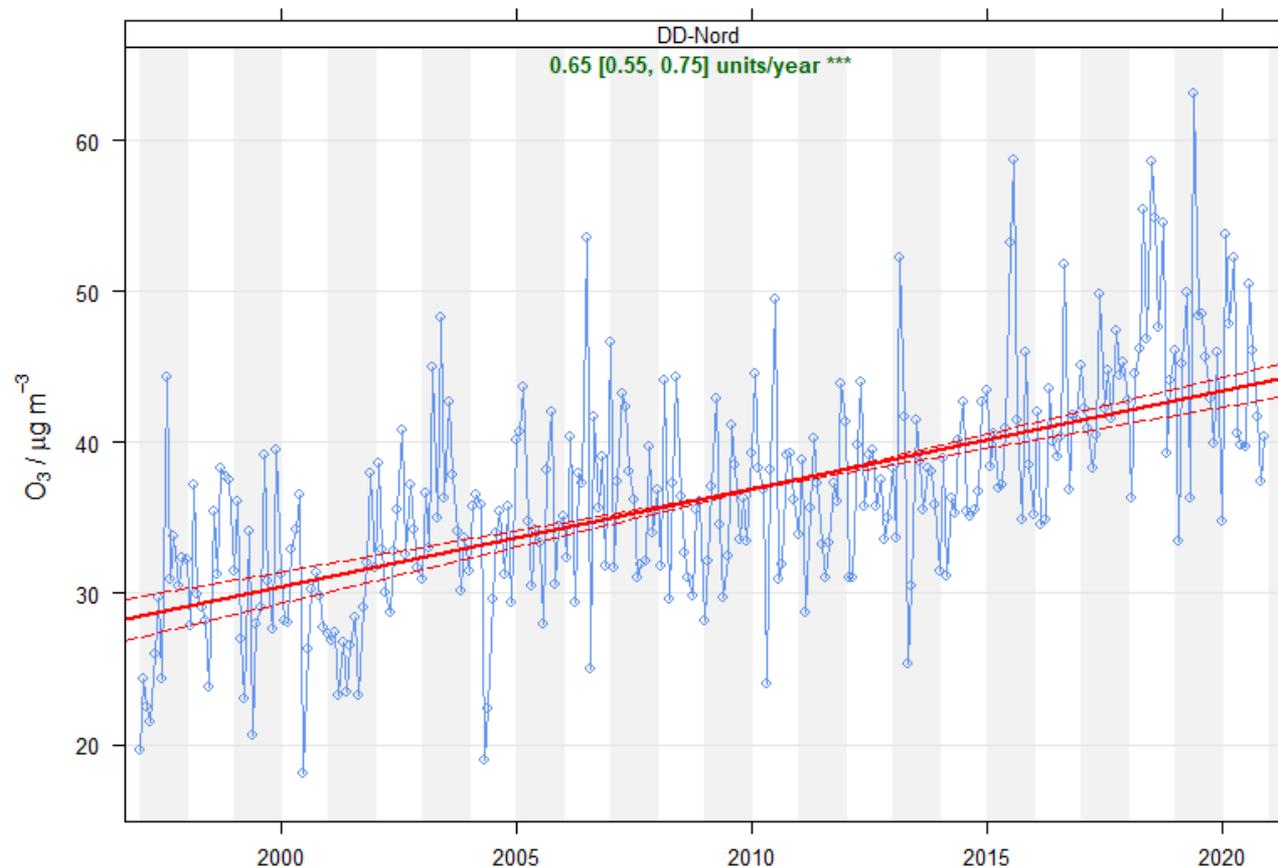
Häufigkeitsverteilung Stundenwerte Ozon

Verkehrsstation DD-Nord



Ozontrends Verkehrsstation DD-Nord

Theil-Sen Trendabschätzung 1997 - 2020



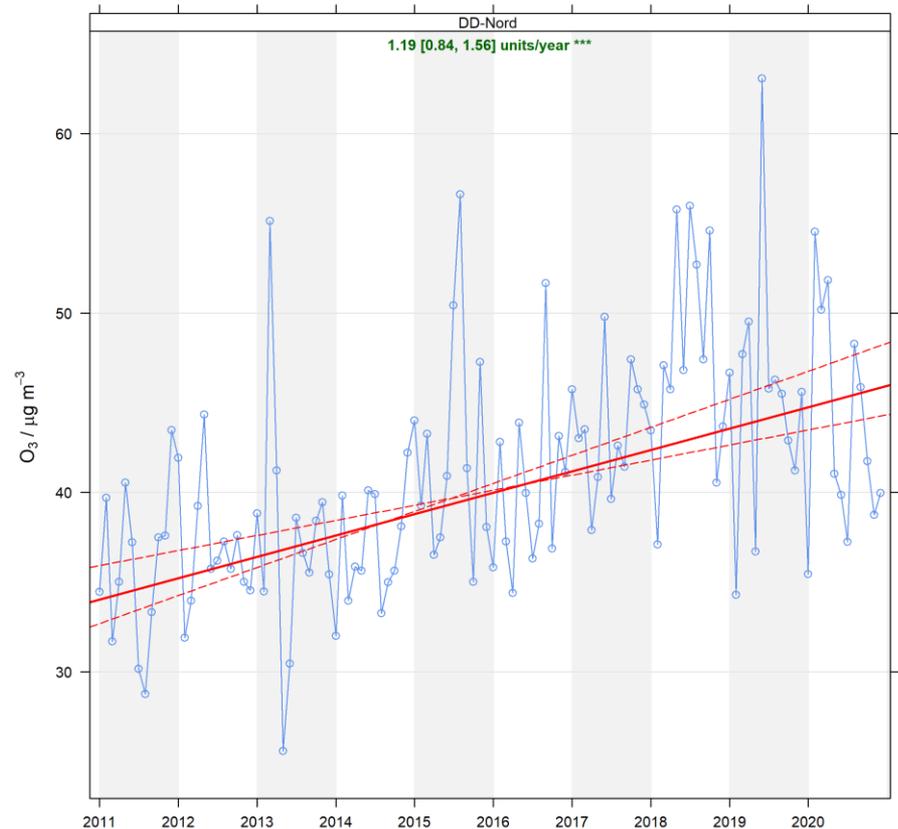
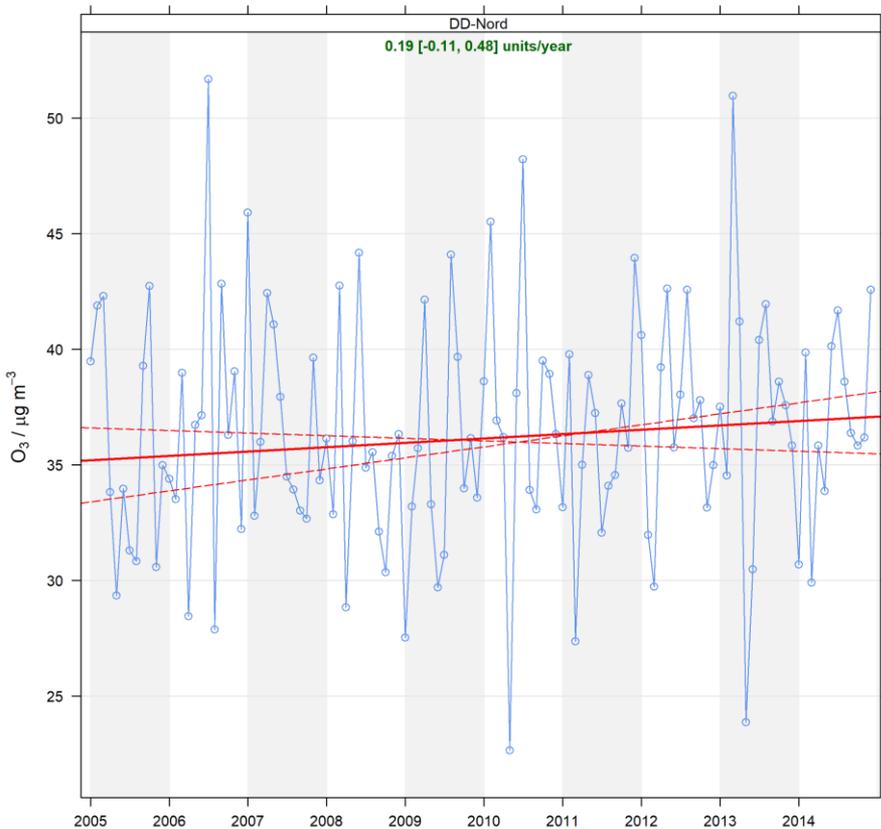
→ steigender Trend
→ $0,65 \mu\text{g m}^{-3} \text{ a}^{-1}$

Monatsmittel, Jahreszeiten-bereinigt

Ozontrends Verkehrsstation DD-Nord

2005 – 2014: Trend nicht signifikant

2011 – 2020: 1,2 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ a}^{-1}$



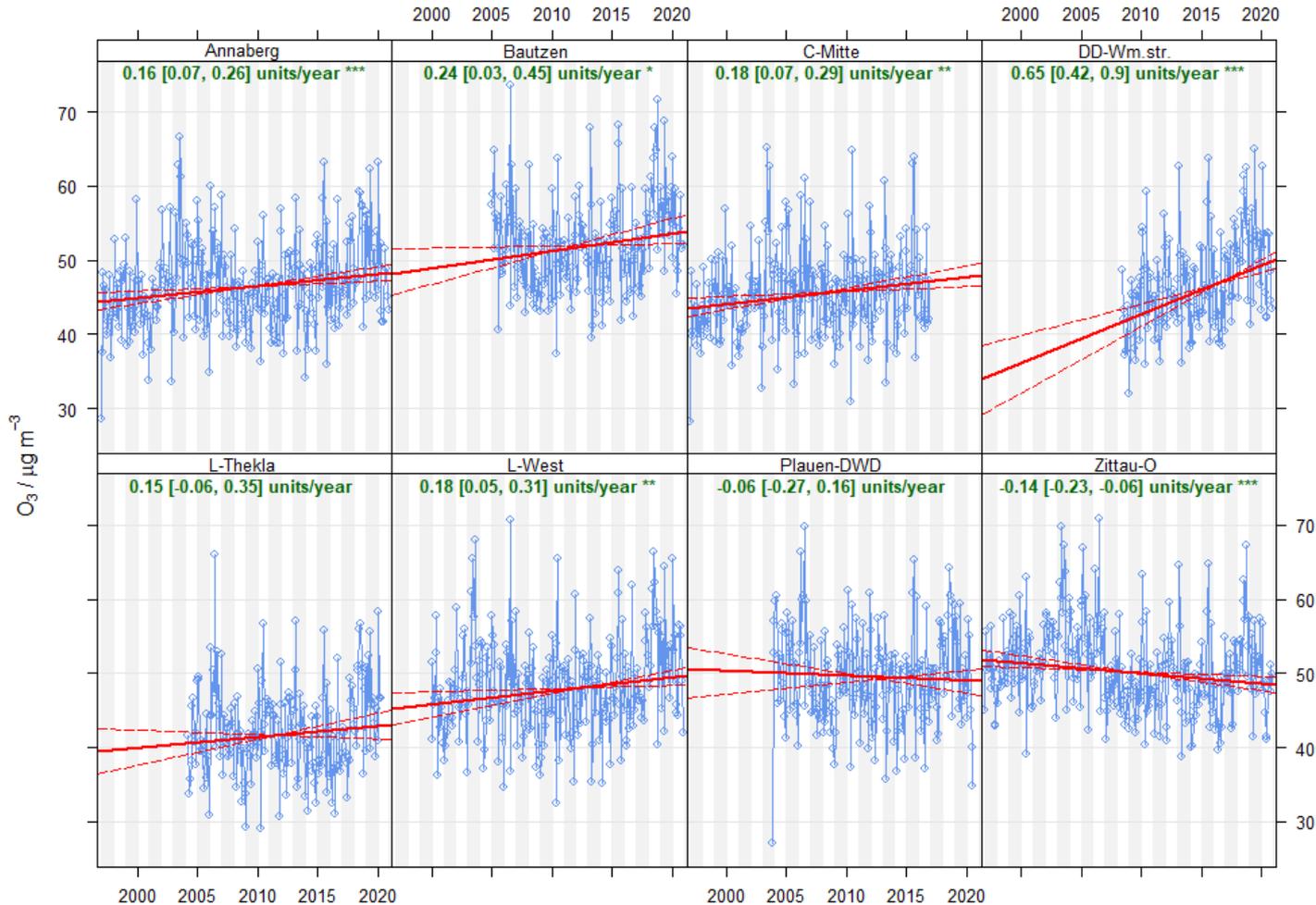
- zunehmender Trend v.a. in letzten 10 Jahren
- abnehmende NO_x -Emissionen aus Verkehr

Ozontrends städt. Hintergrundstation

Nur Stationen mit > 10 Jahre Daten

Monatsmittel (JZ-bereinigt)

alle verfügbaren Jahre



→ Unterschiedliche Bezugszeiträume erschweren Vergleichbarkeit



Ozontrends städt. Hintergrundstation

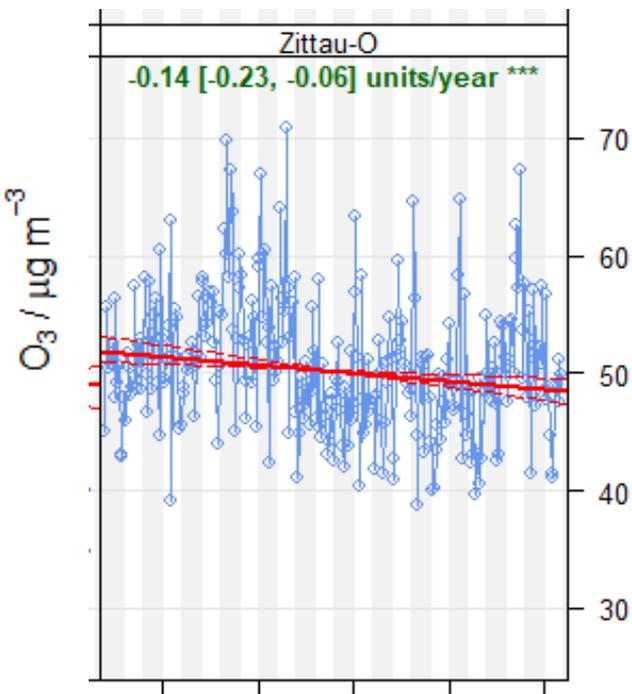
Trendberechnung Zittau-Ost für verschiedene Bezugszeiträume

Monatsmittel (JZ-bereinigt)

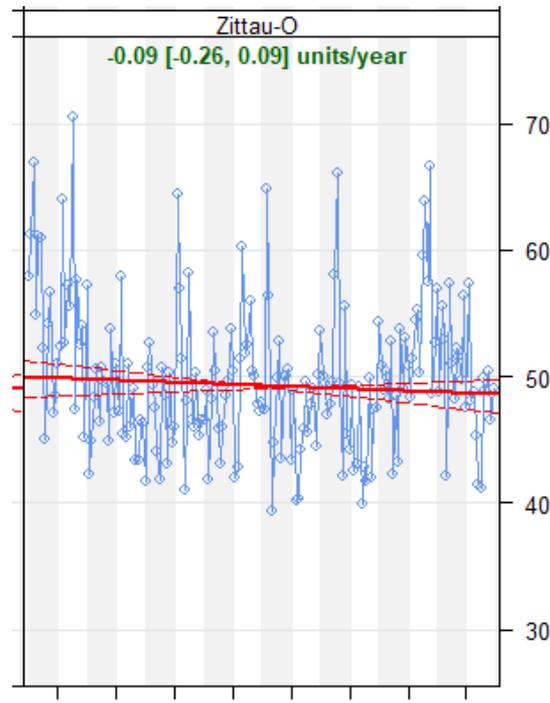
1997-2020

2005-2020

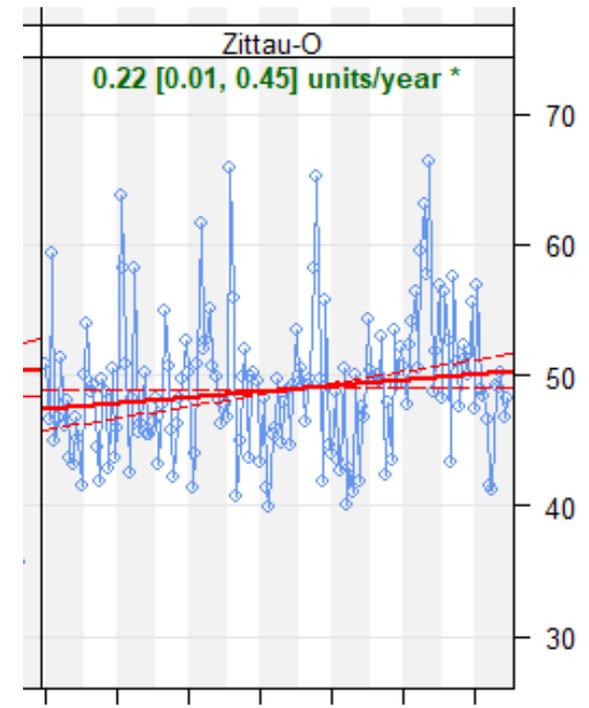
2008-2020



sign. neg. Trend



kein. neg. Trend



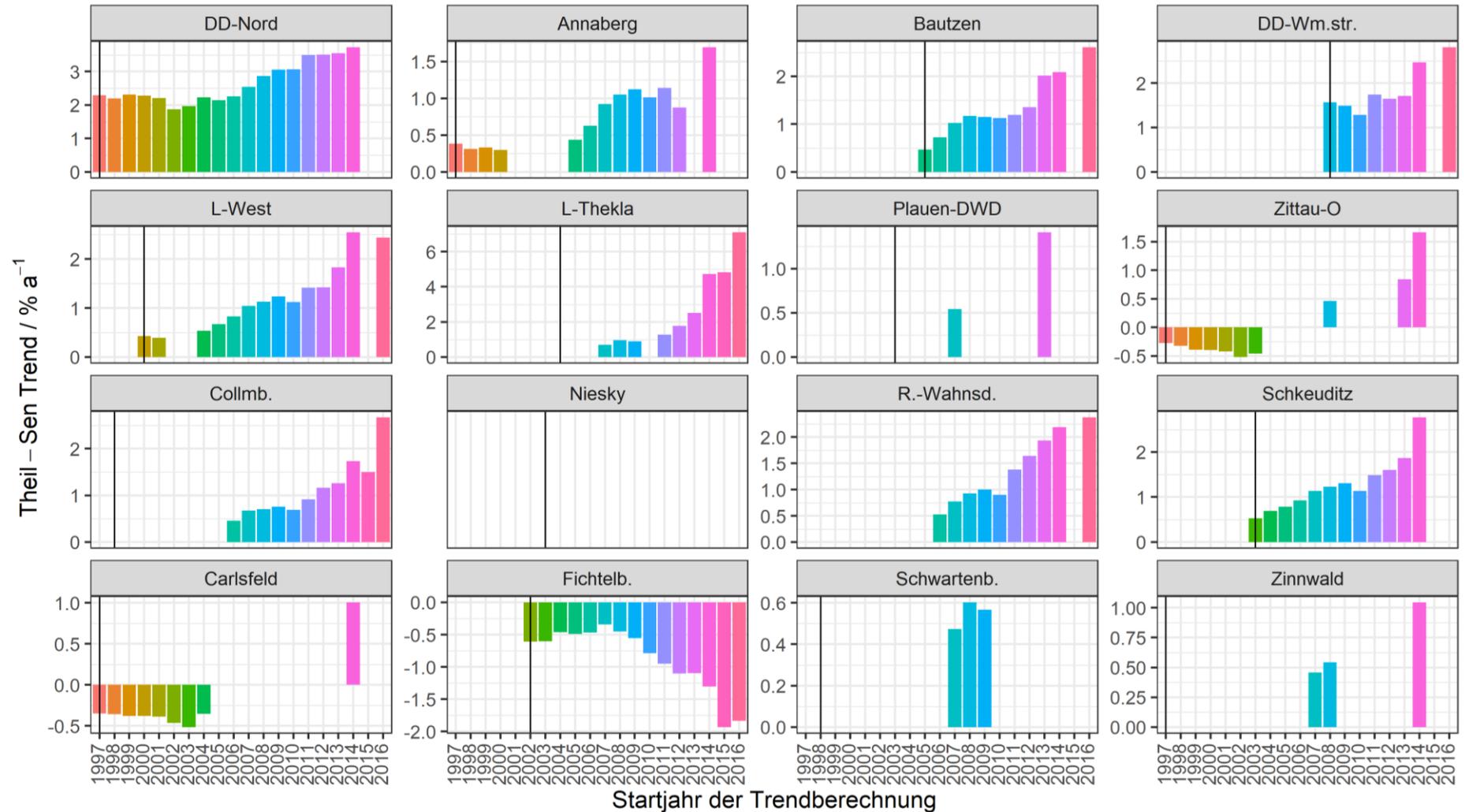
sign. pos. Trend

→ Bezugszeitraum wichtig



Ozontrends ~ versch. Bezugszeitraum

Trend in % a⁻¹, immer bis Ende 2020, unterschiedlich lange Zeiträume (5 – 24 Jahre)



Vorläufige Befunde Ozontrends

- Höhe (und Signifikanz) des linearen Trends abhängig von Bezugszeitraum
- Trends i.d.R. am stärksten ausgeprägt für jüngste 5-7 Jahre
- Trends nicht einheitlich an versch. Stationstypen, v.a. bzgl. Signifikanz

	~10 Jahre	~15 Jahre	~20 Jahre
Verkehrsstation	+ 3 % a ⁻¹	+ 2 % a ⁻¹	+ 2 % a ⁻¹
Städt. Hintergr. (Ausn. Plauen, Zittau: meist n.s.)	+ 1 % a ⁻¹	+ 0,5 % a ⁻¹	+ 0,5 % a ⁻¹ (nur L-West)
Ländl. Hintergr. (Ausn. Niesky: n.s.)	+ 1 % a ⁻¹	+ 0,5 % a ⁻¹	nicht signifikant
Erzgebirgskamm (v.a. Fichtelb.) (Schwartenb., Zinnw.: meist n.s. oder pos., Carlsfeld: sign. neg. erst ab > 15 J.)	- 1 % a ⁻¹	- 0,5 % a ⁻¹	- 0,5 % a ⁻¹

erste Ergebnisse im Projekt:

Einflussgrößen

TROPOS

Untersuchung der Einflussgrößen

Ansatz

Maschinelles Lernen: „boosted regression trees“ („verstärkte Regressionsbäume“)

→ flexibles Modell, gute Erkennung von Mustern und Abhängigkeiten in komplexen Daten

→ Ozon in DD-Nord 2001-2020: $r = 0.91$, $FAC2 = 83\%$, $RMSE = 11.6 \mu\text{g m}^{-3}$, $\text{bias} = -0.04 \mu\text{g m}^{-3}$

Basismodell:

meteorolog. Stationsdaten (T, RF, WG, WR, GS)

Zeitvariablen (Tag des Jahres, Wochentag, Stunde des Tages, Trend)

→ Partial Dependence Plots (PDPs, partielle Abhängigkeiten)

→ stellen „marginale Effekte“ („Grenzeffekte“) dar

→ Effekt einer Einflussgröße auf die abhängige Variable, wenn alle anderen Einflussgrößen konstant bzw. in einer Kategorie gehalten werden

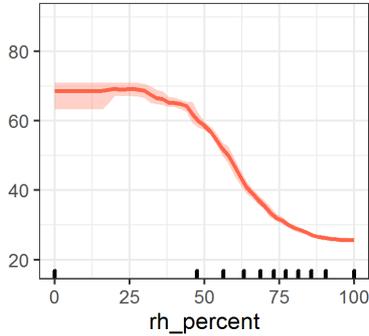
Basismodell erweitert um weitere mögliche Einflussgrößen

→ Veränderungen in den PDPs untersuchen

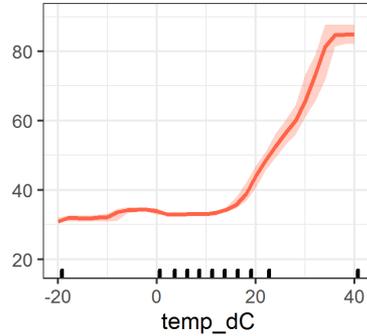
Einflussgrößen DD-Nord 2001-2020

Konzentration O₃ / µg m⁻³

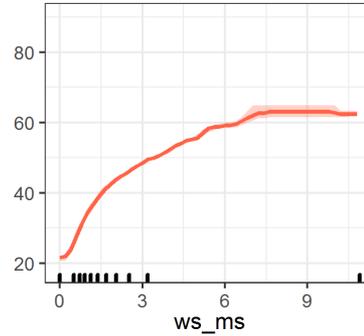
rh_percent (50.9%)



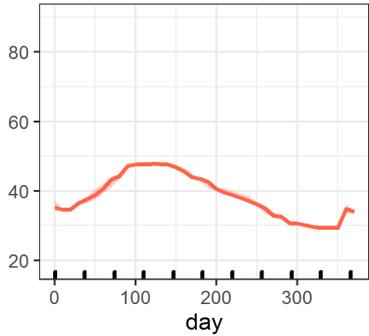
temp_dC (17.6%)



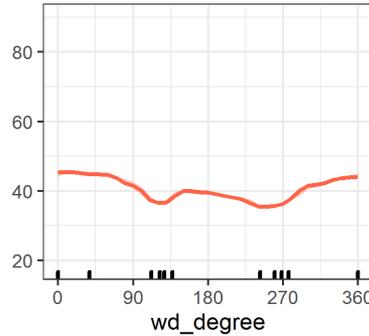
ws_ms (9.9%)



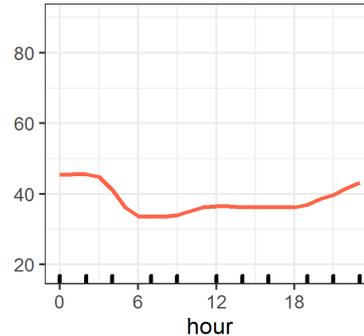
day (8.6%)



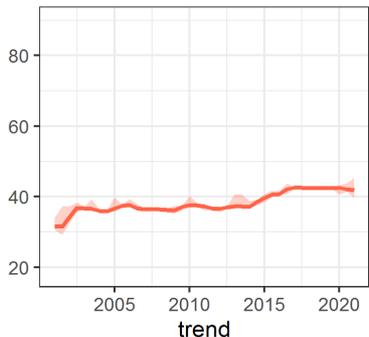
wd_degree (5.4%)



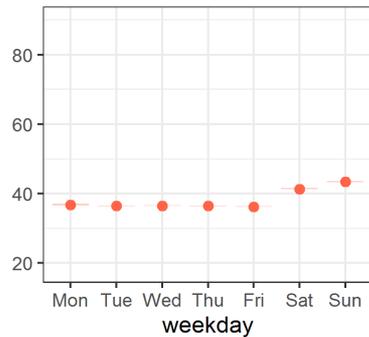
hour (3.3%)



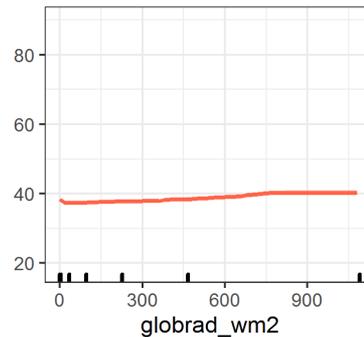
trend (2%)



weekday (1.8%)



globrad_wm2 (0.6%)



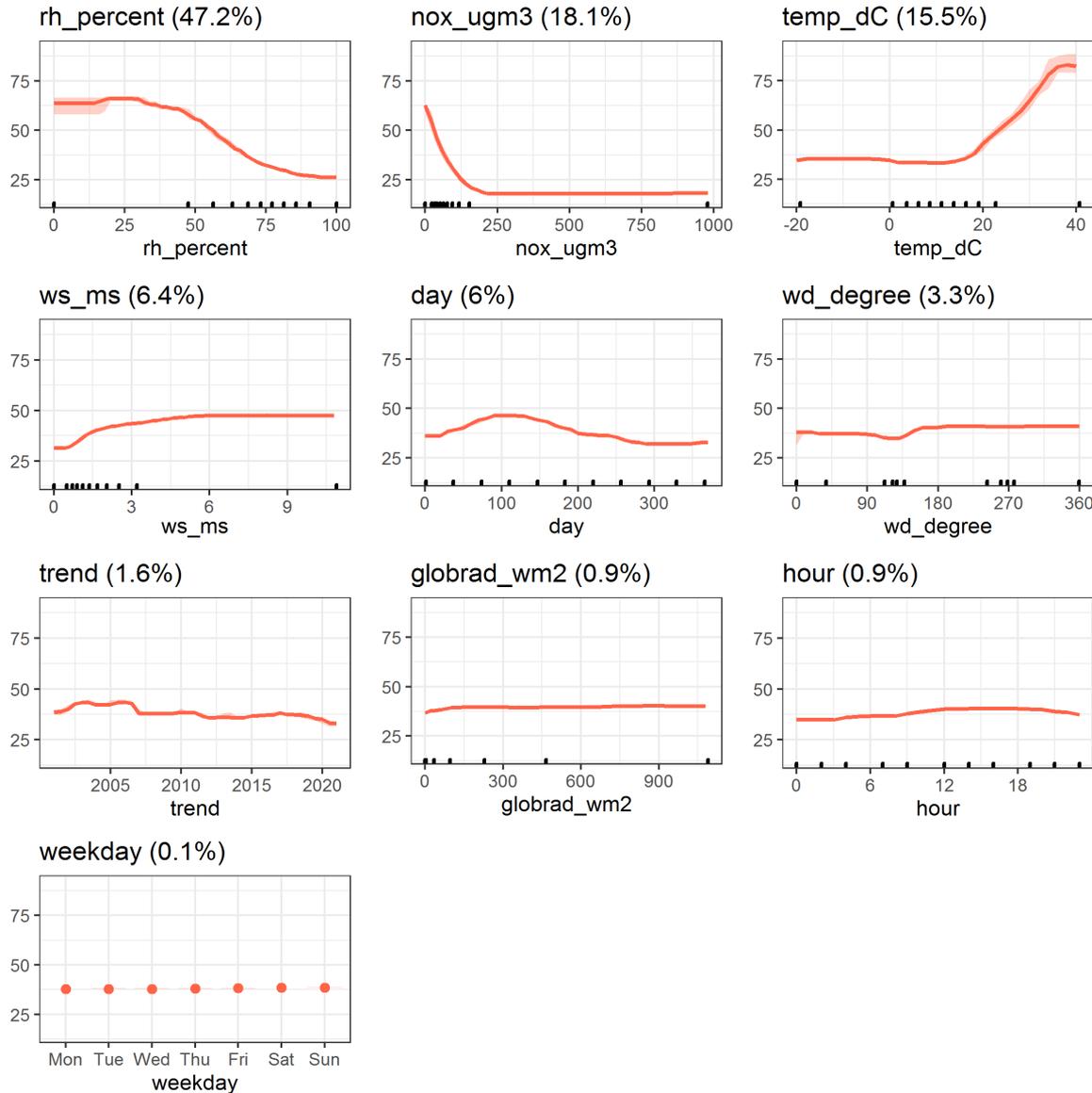
- RF: Deposition
- T: Emissionen Vorläufer, Photochemie
- WG: Verdünnung NO_x
- TdJ: Vegetation
- WR: lokales NO_x
- SdT: Verkehr
- Trend: ähnlich Messungen
- TdW: Verkehr
- GS: Photochemie in T?, jNO₂

Grundsätzlich ähnliche Befunde an anderen Stationen

→ **Einflüsse nicht sehr stationsabhängig**

Einflussgrößen DD-Nord 2001-2020

Konzentration $O_3 / \mu g m^{-3}$



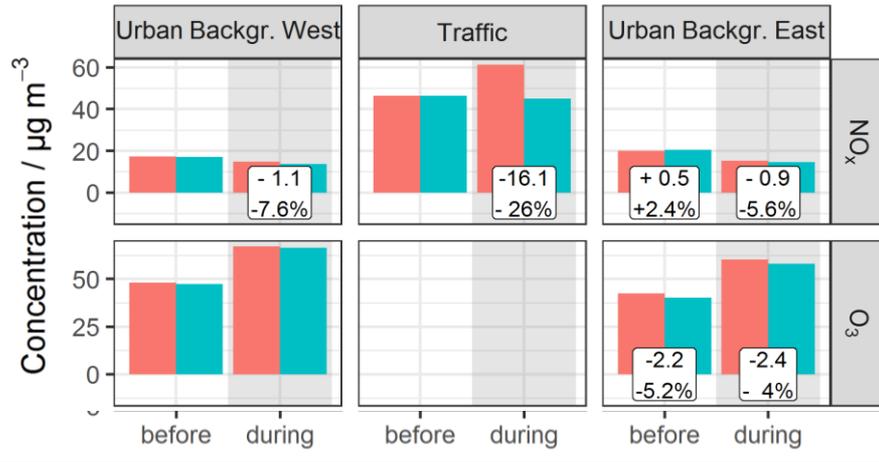
Basismodell + NO_x

- starke O_3 -Abnahme mit zunehmendem NO_x (Ozonabbau)
- Trend: fallend, wenn auch für NO_x korrigiert
- ähnlich auch an anderen Stationen

Vorläufige erste Befunde Einflussgrößen

- Luftfeuchte, Temperatur, Tag des Jahres mit deutlichem Einfluss auf Ozon
 - Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Stunde des Tages, Wochentag nur als Proxy für NO_x
 - Einfluss verringert/verschwindet wenn NO_x -kontrolliert
- Wenn zusätzlich um NO_x -Einfluss bereinigt: Fallender Trend auch in Städten, ähnlich zu Hintergrund (Fichtelberg)

NO_x und O₃ im Corona-Lockdown in Leipzig



vor Lockdown: Wochen 1-11 in 2020
während Lockdown: Wochen 12-20 in 2020

Messdaten
Modellierte Daten

schattierter Bereich: Lockdown
Kästen: stat. sign. Unterschiede ($\alpha = 0.05$)

Atmospheric
Chemistry
and Physics
EGU

COVID-19 lockdowns highlight a risk of increasing ozone pollution in European urban areas

Stuart K. Grange^{1,2}, James D. Lee², Will S. Drysdale², Alastair C. Lewis^{2,3}, Christoph Hueglin¹, Lukas Emmenegger¹, and David C. Carslaw^{2,4}

Geophysical Research Letters*

Research Letter

COVID-19 Crisis Reduces Free Tropospheric Ozone Across the Northern Hemisphere

Wolfgang Steinbrecht , Dagmar Kubistin, Christian Plass-Dülmer, Jonathan Davies, David W. Tarasick, Peter von der Gathen, Holger Deckelmann, Nis Jepsen, Rigel Kivi, Norrie Lyall ... [See all authors](#)

reduziertes NO_x lässt verringerten Ozonabbau durch NO_x erwarten
→ höhere O₃-Konzentration

reduziertes NO_x verringert O₃-Bildung aus NO₂ im Hintergrund
→ niedrigere O₃-Konzentration aus dem regionalen Hintergrund

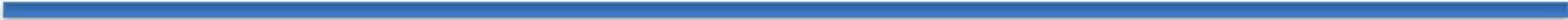
→ **Gegenläufige Effekte auf Ozonkonzentration durch großflächig verringerte Reduktion der Vorläufer**



- Ozon: rein sekundärer Luftschadstoff
- Wirkung auf Klima, Gesundheit, Vegetation
- Zunehmende Trends in Städten und teilweise im ländl. Hintergrund
- Abnehmende Trends im entlegenen Hintergrund (Fichtelberg)
- Luftfeuchte (Deposition), Temperatur (Photochemie, BVOC-Emissionen), Tag des Jahres (BVOC-Emissionen) und NO_x (Ozonabbau) sind wichtige Einflussgrößen
- Isolierte, mittlere Einflüsse über PDPs quantifizierbar
- Witterungs- und NO_x-bereinigte Trends auch in Städten fallend, ähnlich zu Hintergrund (Fichtelberg)
- Work in progress...

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!





TROPOS