



Lohmeyer

Friedrichstraße 24, D - 01067 Dresden

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

Telefax: +49 (0) 351 / 8 39 14 59

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Leitung: Dr. rer. nat. Ingo Düring

Zertifiziert nach ISO9001:2015

Freitag, 21 Nov 2025

Projekt 10645-25-01 ; Dr. I. Düring, Dipl.-Geo. F. Jänich

Stadtweite Abschätzung der bodennahen Ozon-Konzentration auf Basis der NO₂-Modellierungen zur 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für Hamburg - Kurzbericht

1 Aufgabenstellung

Aus den NO₂- und NO_x-Modellierungen zur 3. Fortschreibung des LRP-Hamburgs liegen rasterbezogene Jahresmittelwerte der NO_x- und NO₂-Hintergrundbelastungen vor (Datei: IMMIKART_HH_23prog_v1korrEmi2k1.shp).

Zur Einschätzung der räumlich differenzierten Ozon-Jahresmittelwerte sollen daraus adäquate Ozon-Jahresmittelwerte abgeleitet werden.

2 Vorgehensweise

Für eine praktikable Lösung der Aufgabenstellung eignet sich das in Düring et al. (2011) beschriebene vereinfachte Chemiemodell. Die dort aufgezeigte numerische Lösung für NO₂ wird nach Ozon umgestellt und die Parametrisierung auf die Randbedingungen der Betrachtung von Hintergrundkonzentrationen angepasst und damit die Ozon-Jahresmittelwerte (Bezugsjahr 2023) berechnet. Die Kfz-Emissionen in den dicht bebauten Straßen, wo Schadstoffe eine längere Verweildauer haben, gehen nicht in die Ozon-Ableitung ein. Dort ist durch das hohe Stickoxidaufkommen mit geringeren Ozonkonzentrationen zu rechnen.

Die Ergebnisse werden auf Plausibilität geprüft und mit Ozon-Jahresmittelwerten an den Hintergrundmessstellen in Hamburg verglichen.

3 Berechnung der Ozonkonzentrationen

Die Berechnung der Ozonkonzentration basiert auf der NO_2 -Gleichung aus Düring et al. (2011), die eine photostationäre Beziehung zwischen Stickoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) beschreibt. Durch algebraische Umformung, Substitutionen und Isolieren der gesuchten Variable wird eine Formel für die Ozonkonzentration abgeleitet.

3.1 Ausgangsgleichung

$$[\text{NO}_2] = 0.5 \left(B - \sqrt{B^2 - 4([\text{NO}_x][\text{NO}_2]_O + [\text{NO}_2]_n/k\tau)} \right)$$

mit

$$\begin{aligned} [\text{NO}_2]_n &= [\text{NO}_2]_V + [\text{NO}_2]_B \\ [\text{NO}_2]_O &= [\text{NO}_2]_n + [\text{O}_3]_B \\ B &= [\text{NO}_x] + [\text{NO}_2]_O + \frac{1}{k} \left(J + \frac{1}{\tau} \right) \end{aligned}$$

3.2 Umstellen der Formel

$$\begin{aligned} [\text{NO}_2] &= A \\ [\text{NO}_x] &= N \\ [\text{NO}_2]_n &= D \\ [\text{NO}_2]_o &= y \\ C &= 1/k \cdot (J + 1/\tau) \\ B &= N + y + C \end{aligned}$$

Ausgangsgleichung:

$$A = 0.5 \cdot (B - \sqrt{B^2 - 4(Ny + D/(k\tau))})$$

Mit $2 \cdot A = B - \sqrt{(\dots)}$, quadrieren ergibt:

$$\sqrt{(\dots)} = B - 2A \rightarrow B^2 - 4(N \cdot y + D/(k\tau)) = (B - 2A)^2.$$

Kürzen führt zu:

$$N \cdot y + D/(k\tau) = A \cdot (B - A)$$

Einsetzen von $B = N + y + C$ ergibt:

$$N \cdot y + D/(k\tau) = A \cdot (N + y + C - A).$$

Nach y umstellen:

$$y \cdot (N - A) = A \cdot (N + C - A) - D/(k\tau).$$

Lösung für $[\text{NO}_2]_o$:

$$y = ([\text{NO}_2] \cdot ([\text{NO}_x] + C - [\text{NO}_2]) - [\text{NO}_2]_n/(k\tau)) / ([\text{NO}_x] - [\text{NO}_2]).$$

Da $[\text{O}_3] = [\text{NO}_2]_o - [\text{NO}_2]_n$ gilt:

$$[\text{O}_3] = y - [\text{NO}_2]_n.$$

Ergibt als Ergebnis:

$$[\text{O}_3] = ([\text{NO}_2] \cdot ([\text{NO}_x] + 1/k \cdot (J + 1/\tau) - [\text{NO}_2]) - [\text{NO}_2]_n/(k\tau)) / ([\text{NO}_x] - [\text{NO}_2]) - [\text{NO}_2]_n$$

(Konzentrationswerte in ppb)

4 Eingangsdaten und Parametrisierung

Für die Berechnung werden folgende Eingangsdaten und Parametrisierungen verwendet:

- Die Berechnungen werden für das Bezugsjahr 2023 durchgeführt, wofür die flächendeckenden NO_x/NO_2 -Konzentrationen aus dem LRP vorliegen.
- Als Eingangsdaten für die Konzentrationswerte diente die Datei IMMİKART_HH_23prog_v1korrEmi2k1.shp, welche dem Basisszenario 2023 aus dem LRP entspricht.
- Da die Ozonhintergrundbelastung gesucht ist, entspricht die NO_x -Gesamtbelastung der genannten Daten gleich der NO_x -Vorbelastung zur Eingabe in die Formel.
- Die NO_x -Vorbelastung wurde für jedes 500 m x 500 m große Berechnungsraster aus den flächenhaft interpolierten NO_x -Vorbelastungen durch IMMİKART (Feld „ $\text{NO}_x_I1_mes$ “ in o.g. Datei) übernommen. IMMİKART verwendet bei der Interpolation auch die NO_x -Messwerte der Hintergrundstationen.
- Nach der Interpolation wurden die NO_2 -Vorbelastungen mit Romberg et al. (1996) aus den NO_x -Konzentrationen bestimmt.
- Die Werte für die Parameter k ($0.00039 \text{ (ppb s)}^{-1}$) und j (0.0045 1/s) entsprechen denen aus Düring et al. (2011) für Jahresmittelwerte.
- Der Parameter τ wurde entsprechend Düring et al. (2011) für freie Ausbreitung zu 40 s festgelegt.

5 Ergebnis

Im Ergebnis liegt flächendeckend für das Stadtgebiet von Hamburg die räumlich differenzierte bodennahe Ozon-Hintergrundkonzentration für 2023 vor. Diese ist in **Abb. 5.1** grafisch dargestellt.

Die Ozonkonzentrationen nehmen vom Stadtrand zum Stadtzentrum/Hafen hin erwartungsgemäß tendenziell ab, von über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis zu ca. $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In der **Abb. 5.2** ist die zeitliche Entwicklung der gemessenen Ozon-Jahresmittelwerte an den Hintergrundstationen in Hamburg dargestellt. So lagen die Werte an den Stationen Sternschanze im Jahr 2022 bzw. 2023 bei 48 bzw. $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an der Station Neugraben bei 53 bzw. $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und an der Station Bramfeld bei 52 bzw. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

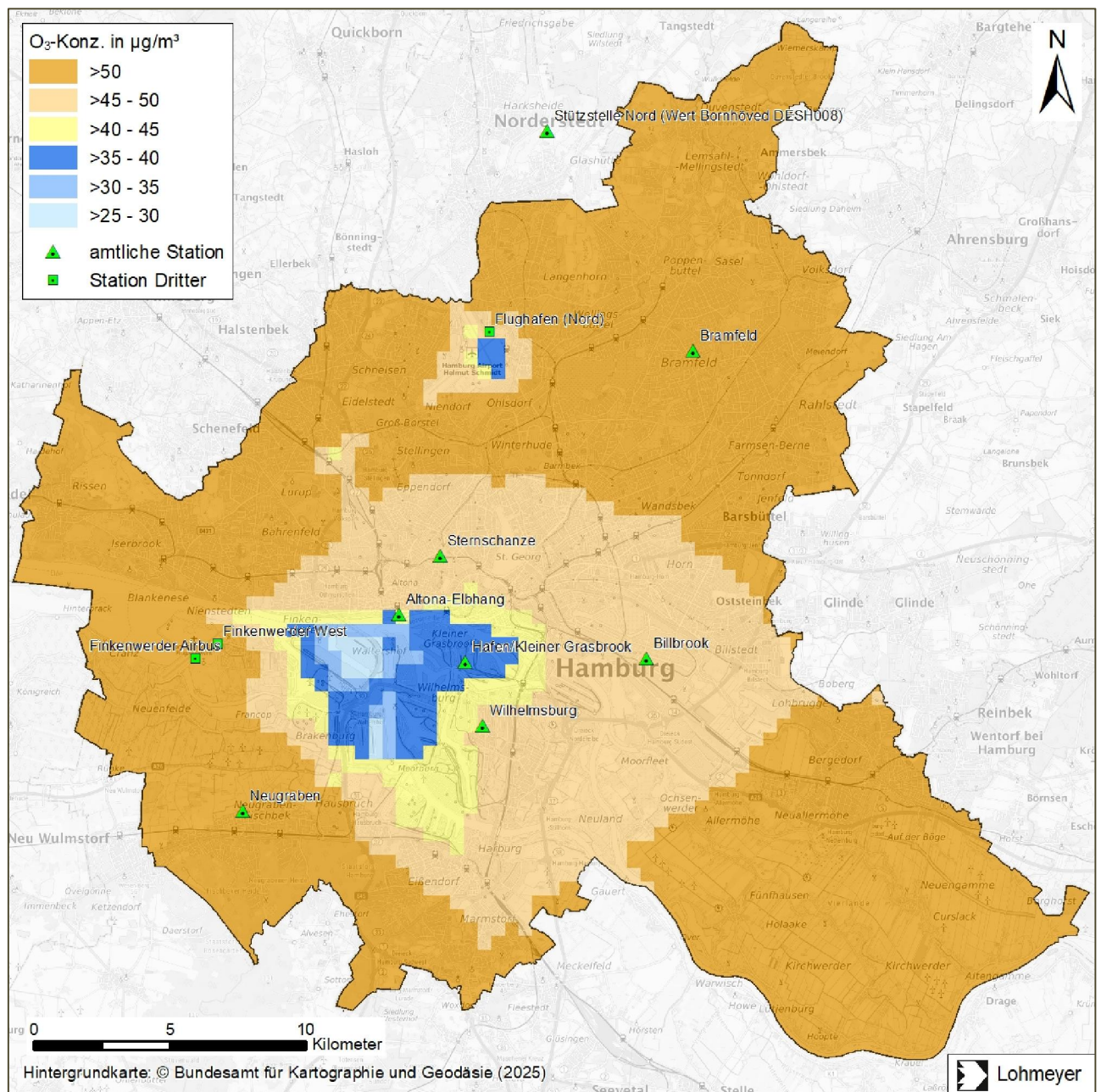


Abb. 5.1: Jahresmittelwerte der bodennahen Ozon-Hintergrundbelastung im Bezugsjahr 2023 für Hamburg.

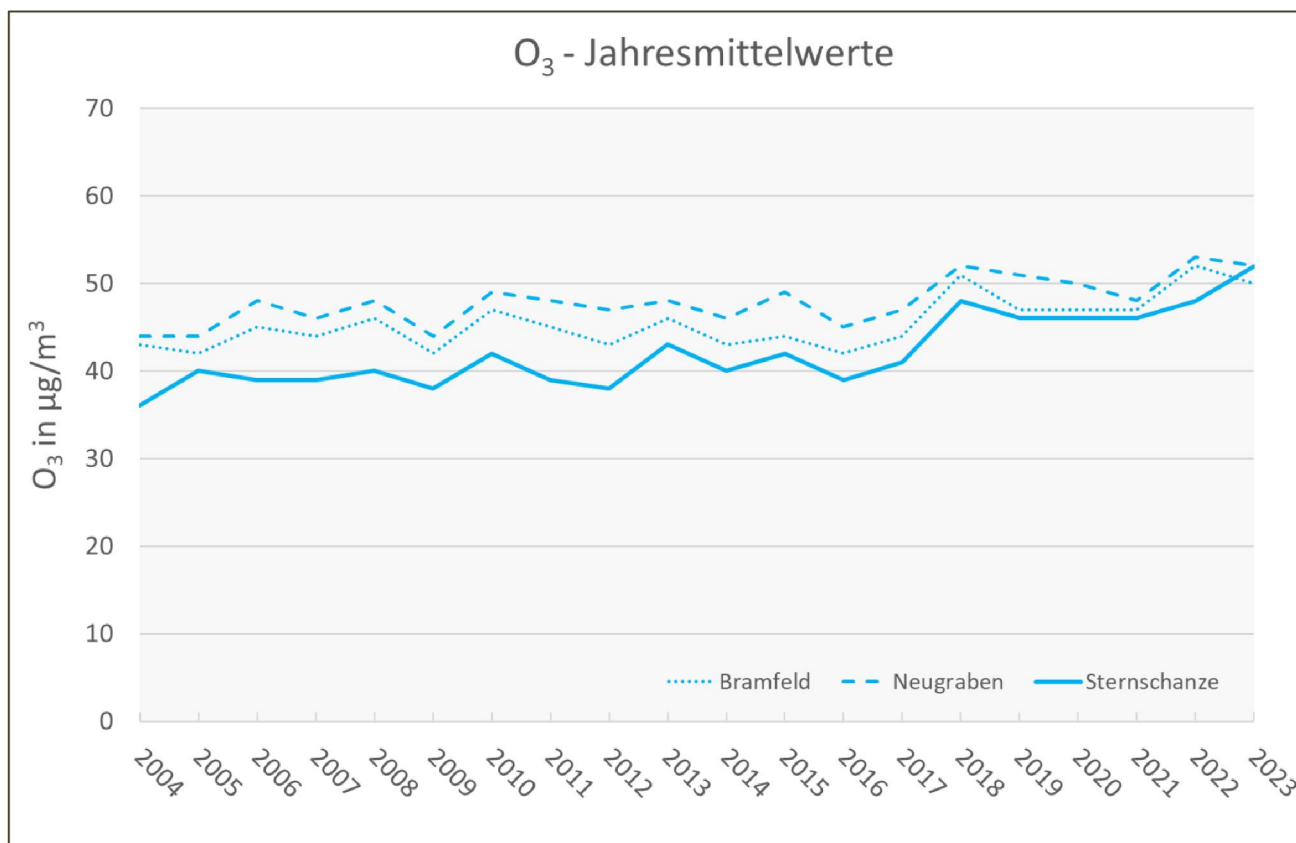


Abb. 5.2: Zeitliche Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen bodennahen Ozon-Hintergrundbelastung an den Hintergrundmessstationen in Hamburg. Quelle: Immissionsjahresbericht Hamburg für 2023.

Die **Tab. 5.1** zeigt den Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messwerten der Bezugsjahre 2022 bis 2024 an diesen Stationen, ergänzt um die Ozon-Werte an der Station HH-Flughafen (Quelle: HaLM, 2025).

Die Abweichungen variieren von Station zu Station und liegen zwischen -10% und +12%. Dies kann als gut bezeichnet werden.

Messstation	2022	2023	2024	Modellierung	Abweichung
-	in µg/m ³	in µg/m ³	in µg/m ³	in µg/m ³	-
Bramfeld	52	50	51	54.8	+5 bis +10%
Neugraben	53	52	52	58.1	+10 bis +12%
Sternschanze	48	52	50	47.5	-1 bis -5%
Flughafen-Nord	52	51	51	46.7	-8 bis -10%

Tab. 5.1: Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messwerten an Stationen in Hamburg für die Jahre 2022 bis 2024

Die berechneten Werte werden als Shape-Datei mit flächendeckenden Quadraten der Größe von 500 m übergeben.

6 Literatur

Düring, I., Bächlin, W., Ketzel, M., Baum, A., Friedrich, U., Wurzler, S. (2011): A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20 067-073 (February 2011).

HaLM (2025): Hamburger Luftmessnetz, Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburger Landesinstitut für Lebensmittelsicherheit, Gesundheitsschutz und Umweltuntersuchungen, Abt. Luft und Radioaktivität, Hamburg; <https://luft.hamburg.de/>, zuletzt abgerufen am 21.11.2025

Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.