



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Luft, Klima und Strahlung

Standortbericht zur Massnahmenplanung Luftreinhaltung des Kantons Zürich

Urs Eggenberger, Jörg Sintermann, Gian-Marco Alt
Version 30.12.2022

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 3 |
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Stand und Entwicklung der Immissionen | 6 |
| 2.1. Vorgehen | 6 |
| 2.2. Entwicklung der Immissionen | 10 |
| 2.2.1. Feinstaub (PM ₁₀) | 10 |
| 2.2.2. Feinstaub (PM _{2.5}) | 11 |
| 2.2.3. Russ im Feinstaub (eBC) | 11 |
| 2.2.4. Stickstoffdioxid (NO ₂) | 12 |
| 2.2.5. Ozon (O ₃) | 13 |
| 2.2.6. Ammoniak und Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme | 14 |
| 2.3. Stand der Immissionen | 16 |
| 2.3.1. Grenzwertvergleich und Übermässigkeit der Immissionen | 16 |
| 2.3.2. Beurteilung in Bezug auf Richtwerte der WHO | 18 |
| 2.3.3. Schadstoffexposition von Bevölkerung und Umwelt | 21 |
| 3. Entwicklung der Emissionen | 22 |
| 3.1. Emissionsbilanzen 2015, 2020, 2030 | 22 |
| 3.2. NO _x -Emissionen im realen Fahrbetrieb | 24 |
| 4. Umsetzung des Massnahmenplans 2016 | 26 |
| 4.1. Vorgehen | 26 |
| 4.2. Sektor Verkehr | 26 |
| 4.3. Sektor Landwirtschaft | 28 |
| 4.4. Sektor Feuerungen | 30 |
| 4.5. Sektor Industrie und Gewerbe | 31 |
| 5. Fazit und Ausblick | 33 |
| 5.1. Immissionen | 33 |
| 5.2. Massnahmen: Umsetzungsstand und Handlungsbedarf | 34 |
| 5.3. Massnahmenplan Ammoniak | 34 |
| 5.4. Synergien zu weiteren Entwicklungen | 35 |
| 5.5. Empfehlungen | 35 |
| Anhang | 36 |
| Methodisches | 36 |
| Belastungskarten | 37 |
| Expositionsverteilung | 41 |

Zusammenfassung

Dieser Bericht zeigt auf, wo der Kanton Zürich bei der Umsetzung des Massnahmenplans Luftreinhaltung steht. Der Massnahmenplan hat das Ziel, die Luftqualität zu verbessern und listet dazu Massnahmen in den Bereichen Verkehr, Landwirtschaft, Feuerungen sowie Industrie und Gewerbe auf.

Für die Standortbestimmung wurden unter anderem die Messdaten des (inter-)kantonalen Luftqualitätsmessnetzes OSTLUFT im Kanton Zürich von den Jahren 2000 bis 2021 analysiert. Diese zeigen, dass sich die Luftqualität in den vergangenen Jahrzehnten enorm verbessert hat. Die Feinstaub-Immissionen ($PM_{2.5}$, PM_{10}) sind rückläufig und überschreiten die Grenzwerte seltener als früher. Immissionen von Russ im Feinstaub (eBC) sind ebenfalls rückläufig, allerdings immer noch zu hoch – insbesondere in städtischen, verkehrsreichen Gegenden. Die Luftbelastung durch Stickstoffdioxid (NO_2) ist besonders in den letzten Jahren stark gesunken, ist aber an verkehrsreichen Orten weiterhin zu hoch. Die Immissionen mit Ozon (O_3) sind vor allem im Sommer flächendeckend zu hoch. Auch die Ammoniak-Konzentrationen (NH_3) weisen zu hohe Werte auf. Entsprechend sind auch die Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosystemen wie Wälder oder Hoch- und Flachmoore fast überall übermässig.

Die Bilanz der bestehenden Massnahmen aus dem 2016 revidierten Massnahmenplan Luftreinhaltung ist positiv. Viele Massnahmen konnten bereits umgesetzt werden oder sind in Umsetzung. Die Ziele, die als abgeschätzte Emissionsreduktionen formuliert wurden, sollten dementsprechend erreicht werden. Dabei ist zu beachten, dass beispielsweise bei Feuerungen oder im Bereich Industrie und Gewerbe die abgeschätzte Wirkung verzögert eintritt, weil gewisse Fristen für den Vollzug noch laufen. Zudem ist zu erwarten, dass Massnahmen unter anderem aus der Klimastrategie (Dekarbonisierung, Netto-Null-Ziel) die Luftschadstoffe weiter reduzieren werden. Als Beispiel sei hier die beschleunigte Elektrifizierung des motorisierten Verkehrs genannt.

Die heutige Situation verpflichtet den Kanton Zürich, die Massnahmenplanung weiterzuführen und die bestehenden Massnahmen aufrechtzuhalten. Es gilt, die Luftqualität in Bezug auf die Stickstoffdioxid-Belastung aber auch auf Feinstaub und krebserregende Russpartikel weiter zu verbessern. Der Stand der Technik sollte in der Luftreinhaltung weiterentwickelt und angewendet werden. Zudem ist eine starke Verminderung der Ammoniak-Emissionen notwendig. Hierzu ist ein Massnahmenplan Ammoniak in Erarbeitung. Zusätzlich sollen die Synergien zwischen der Luftreinhaltung und dem zunehmenden Klimaschutz genutzt und Zielkonflikte minimiert werden. Die nötige Verbesserung der Belastung durch Ozon kann hingegen nur durch deutliche Verminderung der Vorläufersubstanzen (bspw. Stickoxide in Autoabgasen) auf nationaler und internationaler Ebene erreicht werden kann.

Gemäss dem Stand der Wissenschaft belasten Schadstoffe in der Luft auch unterhalb vieler Immissionsgrenzwerte die Gesundheit. Gegenwärtig lässt der Bundesrat daher einen Vorschlag zur Anpassung dieser Grenzwerte ausarbeiten. Dies könnte dazu führen, dass die Immissionen zukünftig vermehrt als übermässig beurteilt werden und die Anstrengungen weiter verstärkt werden müssen.

1. Einleitung

Belastungen, welche die Immissionsgrenzwerte (IGW) der [Luftreinhalte-Verordnung des Bundes \(LRV\)](#) überschreiten, sind gemäss Art. 13 des [Umweltschutzgesetz \(USG\)](#) als schädlich oder lästig einzustufen und somit «übermässig». Wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass aufgrund von Emissionen aus mehreren stationären Anlagen oder Verkehrsanlagen übermässige Immissionen auftreten, so sind die Kantone nach Art. 31 LRV verpflichtet, mit einem Massnahmenplan aufzuzeigen, wie diese übermässigen Immissionen verhindert oder beseitigt werden können. Gemäss Art. 33 LRV müssen die Massnahmen in der Regel innert fünf Jahren umgesetzt werden. Der Massnahmenplan ist bei Bedarf anzupassen.

Ein Meilenstein in der kantonalen Luftreinhaltepolitik bildete das 1990 beschlossene «Luftprogramm» für den Kanton Zürich. Der darauf basierende Massnahmenplan wurde in der Zwischenzeit mehrmals vom Regierungsrat aktualisiert. Die letzte Revision der Verordnung zum Massnahmenplan Luftreinhaltung wurde im Januar 2016 vom [Regierungsrat beschlossen](#) und trat am 1. Mai 2016 in Kraft.

Der aktuelle Massnahmenplan verfolgt im Wesentlichen folgende Ziele:

- Verminderung der Luftbelastung mit Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2.5})¹ und Stickstoffdioxid (NO₂) in städtischen Gebieten und entlang verkehrsreicher Strassen, so dass die IGW der LRV eingehalten werden;
- Verminderung der Luftbelastung durch krebserregenden Russ (eBC) im Feinstaub, so dass der Zielwert der [Eidgenössische Kommission für Lufthygiene \(EKL\)](#) eingehalten wird;
- Verminderung der Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)² im Sommer, damit die Belastung durch hohe Konzentrationen von Ozon (O₃) gesenkt werden kann;
- Verminderung der Emissionen von Ammoniak (NH₃) und NO_x, damit die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre³ in empfindliche Ökosysteme (vor allem Wälder, Moore, Trockenwiesen-/weiden) die kritischen Eintragsraten einhalten.

Die Teilrevision 2016 fokussiert sich insbesondere auf Massnahmen zur Verminderung krebserregender Russpartikel aus der Verbrennung von Holz und Diesel-Treibstoff sowie auf die Verminderung der NH₃-Emissionen.

Die berechneten Ziellücken im Sinne von Reduktionen für die einzelnen Luftschadstoffemissionen sollten bis ins Jahr 2020:

- bei Feinstaub PM₁₀ um rund 25 % reduziert werden;

¹ Feinstaub wird hier gemäss der LRV als PM₁₀ beziehungsweise PM_{2.5} charakterisiert. Das bedeutet, es wird das Gewicht aller Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 beziehungsweise 2.5 Mikrometern pro Kubikmeter Luft berücksichtigt.

² NO_x und VOC sind Vorläufersubstanzen, aus welchen bei intensiver Sonneneinstrahlung und unter hohen Lufttemperaturen im Sommer regional und bodennah in der Atmosphäre O₃ entsteht (O₃ = «sekundärer» Luftschadstoff).

³ Zu rund drei Viertel durch die Emissionen von NH₃ und ein Viertel durch die Emissionen von NO_x verursacht.



- bei NO_x um rund 30 % reduziert werden;
- bei NH_3 um rund 5 % reduziert werden;
- bei den VOC zu 100 % erreicht werden.

Die vorliegende Standortbestimmung kommentiert den Stand der Umsetzung der Teilrevision 2016. Sie liefert einen Überblick sowohl über die Entwicklung der Immissionen⁴ inklusive einer Bewertung der aktuellen Luftqualität (Kapitel 2) als auch der Emissionen von Luftschadstoffen aus verschiedenen Quellgruppen (Kapitel 3) und den Stand der Umsetzung der bestehenden Massnahmen im kantonalen Massnahmenplan (Kapitel 4). Im Fazit und Ausblick (Kapitel 5) werden die wichtigsten Erkenntnisse wiedergegeben und im Hinblick auf bestehende Aktivitäten und zukünftige Entwicklungen eingeordnet.

⁴ «Immissionen» bedeutet «Einwirkungen» und meint im Sinne der LRV die schädliche Einwirkung durch gesundheits- und umweltschädigende Luftschadstoffe, welche in bestimmten Konzentrationen in der Atmosphäre vorkommen.

2. Stand und Entwicklung der Immissionen

2.1. Vorgehen

In den nachfolgenden Abschnitten wird der Stand und die Entwicklung der Luftbelastung im Kanton Zürich beschrieben. Dies dient unter anderem der Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen gemäss LRV. Die folgenden Abschnitte basieren zu diesem Zweck auf verschiedenen Grundlagen:

- Messdaten⁵ des (inter-)kantonalen Luftqualitätsmessnetzes [OSTLUFT](#) im Kanton Zürich zwischen den Jahren 2000 und 2021 für Feinstaub PM₁₀, Feinstaub PM_{2.5}, Russ im Feinstaub eBC, NO₂, O₃ und Stickstoffeinträge in empfindlichen Ökosystemen; die Messreihen wurden, wo nötig und sinnvoll, ergänzt mit Daten aus dem Messnetz des Bundes ([NABEL/BAFU](#)),
- [modellierte, an Messwerten kalibrierte Belastungskarten](#)^{6,7} (Quelle: [BAFU](#)⁸ und [OSTLUFT](#)⁹) von Jahreswerten der wichtigsten Luftschadstoffe (Bezugsjahr 2021) und NH₃ sowie von Stickstoffeinträgen in empfindlichen Ökosystemen (Bezugsjahr: 2020).

Im Abschnitt 2.2 werden Langzeit-Messreihen pro Schadstoff dargestellt und erläutert. Die Darstellung wird nach lufthygienischen Standortklassen¹⁰ strukturiert (städtisch / verkehrsbelastet, städtisch / Hintergrund, ländlich / Hintergrund). Diese widerspiegeln die typischen Belastungsmuster, welche durch die wichtigsten Luftschadstoffquellen hervorgerufen werden. Sie sind somit auch repräsentativ für die Orte, an denen keine Messwerte zur Verfügung stehen. In den Grafiken ist der jeweilige IGW der LRV als schwarze Linie eingezeichnet.

In Abschnitt 2.3.1 wird der aktuelle Zustand der Luftbelastung zusammengefasst, in den Vergleich zu den IGW gesetzt und die Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen im Sinne der LRV vorgenommen. Im Hinblick auf die Beurteilung der Luftbelastung ist entsprechend der IGW-Definitionen sowohl die Langzeitbelastung (z.B. Jahresmittelwerte: JMW) als auch die Kurzzeitbelastung (z.B. Tagesmittelwerte: TMW) ausschlaggebend. Tabelle 1 führt die berücksichtigten IGW der LRV auf. Die Darstellung ist im Sinne der LRV nicht vollständig, weil in der kantonalen Luftqualitätsüberwachung vor

⁵ Daten: [OSTLUFT - die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein, Stadt Zürich, Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe \(NABEL\)](#)

⁶ Die räumliche Auflösung für Luftschadstoffe beträgt 100 x 100 m, mit einer feineren Auflösung bis zu 20 x 20 m im Umfeld verkehrsreicher Strassen. Die Auflösung für NH₃ und Stickstoffeinträge beträgt 1 x 1 km.

⁷ Die jeweiligen Farbskalen der Karten orientieren sich in der vorliegenden Darstellung an den Vorgaben des [BAFU](#) und [CERCLAIR](#); dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der eingeschränkten räumlichen Auflösung und weiterer methodischer Unsicherheiten die höchsten Belastungen in der Kartendarstellung unterrepräsentiert sein können.

⁸ [Meteotest \(2021\): Karten von Jahreswerten der Luftbelastung in der Schweiz Datengrundlagen, Berechnungsverfahren und Resultate bis zum Jahr 2020.](#)

⁹ Modell PolluMap, interpoliert auf das Jahr 2021 sowie kalibriert an JMW-Messwerten 2021.

¹⁰ Vergleiche: [BAFU \(Hrsg.\) 2021: Immissionsmessung von Luftfremdstoffen. Messempfehlungen. Stand 2021. 2. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 1990. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2104: 41 S.](#)

allen diejenigen Leitschadstoffe gemessen werden, die mit ihrem Belastungsniveau im Bereich der IGW sind und in der Schweiz noch als ausschlaggebend für die [Gesundheitsrelevanz von Luftschadstoffen](#) erachtet werden. Weitere Luftschadstoffe, wie z.B. Schwermetalle im Feinstaub, Kohlenmonoxid oder Schwefeldioxid, werden daher kantonal nicht mehr systematisch gemessen. Jedoch kann hier auf die repräsentativen [Ergebnisse des bundesweiten Messnetzes NABEL](#) abgestützt werden. Weitere Luftverunreinigungen, welche nicht in der LRV mit IGW vertreten sind, werden zusätzlich als wichtig für die Einschätzung der Luftqualität erachtet (Tabelle 2): Feinstaub an sich wird von der WHO (bzw. einer Untergruppe: [IARC](#)) als krebserregend eingestuft¹¹ und dies gilt in besonderem Masse für den darin enthaltenen Russ (eBC). Für krebserregende Luftschadstoffe gilt gemäss USG ein Minimierungsgebot, weshalb die EKL langfristig für eBC einen Zielwert von maximal $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel ausgegeben hat. Zudem soll als Zwischenziel die Belastung mit eBC bis zum Jahr 2023 auf 20% des Standes im Jahr 2013 reduziert werden¹². Des Weiteren wirken sich Emissionen von stickstoffhaltigen Luftverunreinigungen schädlich auf die Umwelt aus. Insbesondere die Belastung der Vegetation durch NH_3 sowie von empfindlichen Ökosystemen durch Stickstoffeinträge aus der Luft wird hier thematisiert. Dabei sind bei der Beurteilung der Übermässigkeit im Sinne des USG und der LRV für NH_3 die vegetationspezifische sogenannte kritische Konzentration (engl. Critical Level: CLE) sowie für Stickstoffeinträge ökosystemspezifische kritische Eintragsraten (engl. Critical Loads of Nitrogen: CLN) massgeblich und gleichwertig mit den IGW der LRV¹³.

An den Vergleich der Luftbelastung mit den IGW knüpft eine Einschätzung der aktuellen Luftqualität gemäss den neusten Luftqualitätsrichtlinien (AQG '21¹⁴) der [Weltgesundheitsorganisation WHO](#) an, welche den aktuellen Stand des Wissens bezüglich Gesundheitsauswirkungen von Luftschadstoffen widerspiegeln und sich gegenwärtig teils von den IGW der LRV unterscheiden (Abschnitt 2.3.2).

In Abschnitt 2.3.3 wird für den Kanton Zürich die Exposition der Bevölkerung und Umwelt in Bezug auf die Luftbelastung aufgezeigt. Bei der Expositions Betrachtung wird die Verteilung der Luftbelastung auf die Bevölkerung und Umwelt berechnet. Dabei werden die Belastungskarten für Feinstaub PM_{10} , Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$ und NO_2 für das Jahr 2021 (siehe Anhang) mit den Einwohnerzahlen im Kanton Zürich¹⁵ kombiniert. Dabei ergibt sich aufgrund methodischer Unsicherheiten (vergleiche Anhang) eine Bandbreite an möglichen Expositionen (mindestens, im Mittel, maximal). Weil lokale Spitzenbelastungen in den Belastungskarten tendenziell unterrepräsentiert sind, ist die Exposition im Bereich des Maximalwertes wahrscheinlicher als im Bereich des Minimal- oder Mittelwertes.

¹¹ Cohen, A.J., Samet, J.M., Straif, K. (Eds.), 2013. Air pollution and cancer. International Agency for Research on Cancer, Lyon.

¹² Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) 2013: Feinstaub in der Schweiz 2013. Bern. 63 S.

¹³ BAFU (Hrsg.) 2020: Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen. Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2003: 23 S.

¹⁴ WHO global air quality guidelines. Particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

¹⁵ [Statistik der Bevölkerung und Haushalte \(STATPOP\), Geodaten 2021](#)



Tabelle 1: In vorliegendem Bericht berücksichtigte Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV, Anhang 7) sowie ausgewählte Richtwerte¹⁶ der aktuellen WHO Luftqualitätsrichtlinien aus dem Jahr 2021 (AQG '21)¹⁷ – inklusive Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen der berücksichtigten IGW der LRV (LRV-Anhang 7).

| Schadstoff | LRV Immissionsgrenzwert | WHO AQG '21 Richtwert | Definition | Übermässigkeit der Immissionen (gemäss LRV) |
|--|-------------------------|-----------------------|---|--|
| Stickstoffdioxid (NO ₂) | 30 µg/m ³ | 10 µg/m ³ | Jahresmittelwert ¹⁸ | teilweise übermässig IGW-Überschreitungen an einigen städtischen Verkehrsstandorten |
| | 80 µg/m ³ | 25 µg/m ³ | 24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden | vereinzelt übermässig vereinzelte IGW-Überschreitungen häufiger als einmal pro Jahr |
| Ozon (O ₃) | 100 µg/m ³ | - | 98% der ½h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m ³ | flächendeckend übermässig IGW an allen Standorten während mehrerer Monate pro Jahr überschritten |
| | 120 µg/m ³ | - | 1h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden | flächendeckend übermässig IGW an allen Standorten häufiger als einmal pro Jahr überschritten |
| | - | 60 µg/m ³ | Mittelwert der täglichen maximalen 8 h Mittelwerte in der «peak season» (= die sechs aufeinanderfolgenden Monate im Jahr mit der höchsten mittleren O ₃ Konzentration) | - |
| Schwebestaub ¹⁹ (PM ₁₀) | 20 µg/m ³ | 15 µg/m ³ | Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) | nicht übermässig |
| | 50 µg/m ³ | 45 µg/m ³ | 24h-Mittelwert; darf höchstens dreimal pro Jahr überschritten werden | vereinzelt übermässig vereinzelte IGW-Überschreitungen häufiger als dreimal pro Jahr |
| Schwebestaub (PM _{2,5}) | 10 µg/m ³ | 5 µg/m ³ | Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) | teilweise übermässig IGW-Überschreitungen an städtischen Verkehrsstandorten, bzw. in einzelnen Jahren |

¹⁶ Zu beachten: die LRV IGW dienen der Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen und sind im Sinne USG und LRV in der Schweiz rechtlich verbindlich, die WHO Richtwerte hingegen fassen den aktuellen Stand der Wissenschaft zur Schwelle der schädlichen Gesundheitsauswirkungen von Luftschadstoffen zusammen.

¹⁷ WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

¹⁸ Mittelwerte immer arithmetisch gebildet.

¹⁹ Die Begriffe Schwebestaub und Feinstaub werden in vorliegendem Bericht synonym verwendet.

| | | | |
|---|----------------------|--|---------------------------------------|
| | | | an vielen städtischen Stand- orten |
| – | 15 µg/m ³ | 24h-Mittelwert; darf höchstens dreimal pro Jahr überschritten werden | |

Tabelle 2: Für die Beurteilung der Luftqualität relevante Referenzwerte zu Luftverunreinigungen ohne Immissionsgrenzwert in der LRV²⁰ - inklusive der Beurteilung der Übermässigkeit in Bezug auf Critical Levels für NH₃ und Critical Loads für empfindliche Ökosysteme (CLE und CLN sind gleichwertig mit den IGW der LRV) als Ergebnis des vorliegenden Berichtes.

| Schadstoff | Referenzwert | Definition | Übermässigkeit der Immissionen (gemäss BAFU) |
|---|-------------------------|--|---|
| Russ (eBC) | 0.1 µg/m ³ | Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) | – |
| Ammoniak (NH ₃) | 1 µg/m ³ | Jahresmittelwert; CLE - Flechten und Moose (inklusive Ökosysteme, in welchen diese zentraler Bestandteil sind) | flächendeckend übermässig CLE an fast allen Orten überschritten |
| | 2 – 4 µg/m ³ | Jahresmittelwert; CLE - Höhere Pflanzen (inklusive Heiden, Weiden und Waldbodenvegetation) | flächendeckend übermässig CLE an fast allen Orten überschritten |
| Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme | 5 – 20 kgN/ha/Jahr | Jahressumme; CLN – Wald (umfasst Laub- und Nadelwald) | flächendeckend übermässig CLN an den fast allen empfindlichen Ökosystemen überschritten |
| | 5 – 10 kgN/ha/Jahr | Jahressumme; CLN - Hochmoore | flächendeckend übermässig CLN an den fast allen empfindlichen Ökosystemen überschritten |
| | 10 – 30 kgN/ha/Jahr | Jahressumme; CLN – Flachmoore (umfasst verschiedene Typen Flachmoore) | flächendeckend übermässig CLN an den fast allen empfindlichen Ökosystemen überschritten |
| | 10 – 25 kgN/ha/Jahr | Jahressumme; CLN – Trockenrasen (umfasst verschiedene Typen Trockenwiesen und -weiden) | flächendeckend übermässig CLN an den fast allen empfindlichen Ökosystemen überschritten |

²⁰ Zu beachten: für eBC gilt das Minimierungsgebot und der aufgeführte Referenzwert entspricht dem EKL-Zielwert. Die Referenzwerte für NH₃ und N-Einträge entstammen der entsprechenden Vollzugshilfe des Bundes (BAFU 2020) und sind mit dem Status der IGW in der LRV gleichzusetzen; die ökosystemspezifischen CLO sind hier der Übersichtlichkeit halber zusammengefasst und stellungsrundsätzlich auf Ökosystem-Typen feiner aufgliederte Bereich dar – Details finden sich in Tabelle 2 der Vollzugshilfe.

2.2. Entwicklung der Immissionen

2.2.1. Feinstaub (PM₁₀)

Die Entwicklung der Immissionen von Feinstaub PM₁₀ ist im Betrachtungszeitraum seit dem Jahr 2007 rückläufig (Abbildung 1)²¹. Bei der Langzeitbelastung (JMW) wurde der IGW erstmalig 2014 nicht überschritten, letztmalig wurden Überschreitungen des IGW an stark verkehrsgeprägten Standorten im Jahr 2018 beobachtet.

Die Entwicklung lief bei der Kurzzeitbelastung (TMW) ähnlich, wie bei der Langzeitbelastung. Die maximal drei erlaubten Überschreitungen des Tagesmittel-Grenzwertes wurden erstmals 2016 eingehalten, ebenso wie in den Jahren 2020 und 2021. Vereinzelt Überschreitungen des Tagesmittel-Grenzwertes können zudem aufgrund von aussergewöhnlich austauscharmen Wetterlagen (Inversionen) im Winter oder durch Ferntransport von Saharastaub auftreten.

Die Belastung mit Feinstaub PM₁₀ ist allgemein in städtischen Gebieten an verkehrsreichen Standorten am höchsten, gefolgt von Quartieren im lufthygienischen städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss. An ländlichen Hintergrundstandorten ist die Belastung am niedrigsten und heutzutage ungefähr halb so hoch, wie an den höchstbelasteten Standorten.

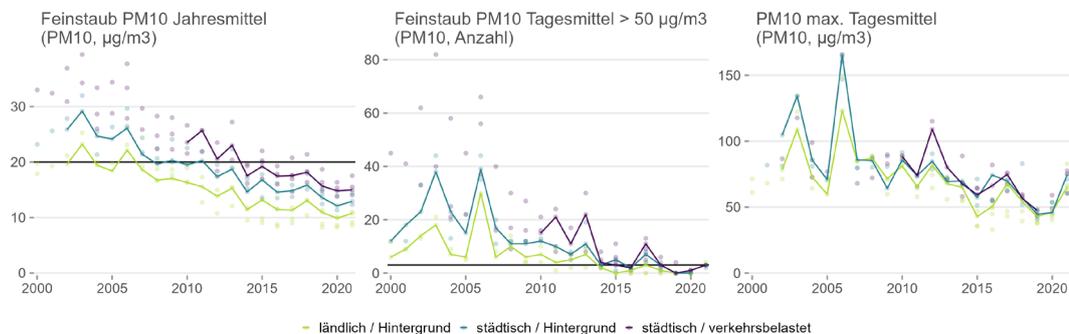


Abbildung 1: Langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit Feinstaub PM₁₀; farbige Linien = ausgewählte Standorte mit Langzeit-Messreihen (städtisch / verkehrsbelastet: Zürich – Schimmelstrasse (beachte: 2020 = unvollständiger Jahresmittelwert mit Datenabdeckung < 90%, der Vollständigkeit halber hier dargestellt), städtisch / Hintergrund: NABEL-Zürich – Kaserne, ländlich / Hintergrund: NABEL-Tänikon).

²¹ In allen Zeitreihen-Grafiken ist zusätzlich zu den Messwerten an einzelnen Standorten (Punkte) pro Standortklasse jeweils eine durchgehende Langzeitmessreihe dargestellt (Linien), um die Zeitverläufe an einem Standort beispielhaft aufzuzeigen. Für die Fälle, in denen keine geeignete Langzeitmessreihe im Kanton Zürich verfügbar ist (vor allem bei einigen Schadstoffen in der Standortklasse des ländlichen Hintergrundes), wurde auf Messreihen des NABEL im Schweizer Mittelland zurückgegriffen, die auch für die Situation im Kanton Zürich repräsentativ sind.

2.2.2. Feinstaub (PM_{2.5})

Auch die Entwicklung der Immissionen von Feinstaub PM_{2.5} ist im Betrachtungszeitraum seit dem Jahr 2007 rückläufig (Abbildung 2). Bei der Langzeitbelastung (JMW) wurde [der im Jahr 2018 in der LRV eingeführte IGW](#) seitdem an den meisten, jedoch noch nie an allen Messorten eingehalten.

Die Belastung mit Feinstaub PM_{2.5} ist allgemein in städtischen Gebieten an verkehrsreichen Standorten am höchsten (hier treten auch am ehesten IGW-Überschreitungen auf), gefolgt von Quartieren im lufthygienischen städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss. An ländlichen Hintergrundstandorten ist die Belastung am niedrigsten und heutzutage ungefähr halb so hoch, wie an den höchstbelasteten Standorten.

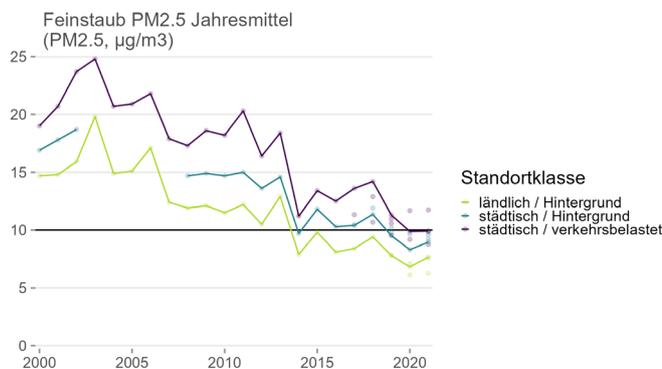


Abbildung 2: Langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit Feinstaub PM_{2.5}; farbige Linien = ausgewählte Standorte mit Langzeit-Messreihen (städtisch / verkehrsbelastet: Bern - Bollwerk, städtisch / Hintergrund: Zürich - Kaserne, ländlich / Hintergrund: NABEL-Payerne).

2.2.3. Russ im Feinstaub (eBC)

Die Entwicklung der Immissionen von Russ im Feinstaub eBC²² ist im Betrachtungszeitraum seit dem Jahr 2007 rückläufig (Abbildung 3). Im Jahr 2021 lag die Belastung an verkehrsbelasteten Standorten bei rund 30 % der Belastung des Jahres 2013 (Reduktions-Zwischenziel 2023 der EKL: 20 %). Die eBC-JMW übertreffen auch heute noch flächendeckend den EKL-Zielwert von 0.1 µg/m³, wobei sich die Ziellücke im Vergleich zu den frühen 2000er Jahren deutlich verringert hat und sich die Belastung an den ersten Standorten im lufthygienischen ländlichen Hintergrund dem Zielwert annähert.

Die räumliche Verteilung der Belastung durch eBC folgt dem typischen Muster der Quelineinflüsse und ist allgemein in städtischen Gebieten an verkehrsreichen Standorten am höchsten, gefolgt von Quartieren im lufthygienischen städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss. An ländlichen Hintergrundstandorten ist sie am niedrigsten und beträgt heutzutage ungefähr ein Drittel der Belastung der höchstbelasteten Standorte.

²² Zu beachten: eBC Jahresmittelwerte wurden grösstenteils auf der Basis von Stichproben-Tagesmesswerten erhoben. Zudem wurden die Analysen teils in unterschiedlichen PM-Fractionen (PM₁₀ und PM_{2.5}) vorgenommen, weshalb einzelne Jahresmittelwerte eine erhöhte Ungenauigkeit aufweisen.

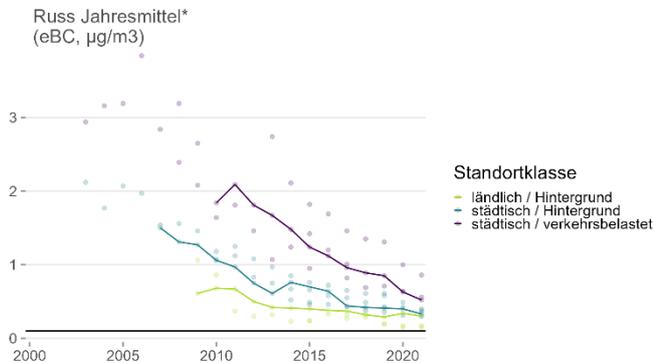


Abbildung 3: Langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit Russ im Feinstaub (eBC); farbige Linien = ausgewählte Standorte mit Langzeit-Messreihen (städtisch / verkehrsbelastet: Zürich - Schimmelstrasse, städtisch / Hintergrund: Winterthur Obertor-Veiltheim, ländlich / Hintergrund: NABEL-Payerne).

2.2.4. Stickstoffdioxid (NO₂)

Die Entwicklung der Immissionen von NO₂ ist bei der Langzeitbelastung (JMW) im Betrachtungszeitraum an stark verkehrsbelasteten Standorten erst seit dem Jahr 2016 deutlich rückläufig (Abbildung 4). An Standorten im lufthygienischen städtischen Hintergrund sinken die Jahresmittelwerte bereits länger in geringem Umfang und analog zu den Verkehrsstandorten stärker in den letzten rund sechs Jahren. Der IGW wird von den JMW heutzutage noch an vielen stärker verkehrsbelasteten Standorten überschritten, während er im lufthygienischen städtischen Hintergrund seit dem Jahr 2018 an allen Standorten eingehalten wurde.

Die Entwicklung lief bei der Kurzzeitbelastung (TMW) ähnlich wie bei der Langzeitbelastung. Der entsprechende IGW von maximal einer erlaubten Überschreitung des Tagesmittel-Grenzwertes wurde erstmals 2020 an allen Standorten eingehalten. Zwischen den Jahren 2014 und 2019 wurde der entsprechende IGW nur noch an einzelnen, verkehrsgeprägten Standorten häufiger als einmal überschritten.

Die Belastung mit NO₂ ist allgemein in städtischen Gebieten an verkehrsreichen Standorten am höchsten, gefolgt von Quartieren im lufthygienischen städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss. An ländlichen Hintergrundstandorten ist die Belastung am niedrigsten. Die Spanne zwischen höchster, mittlerer und niedrigster Belastung ist sehr gross, hat sich aber aufgrund der Abnahme von Strassenverkehrsemissionen in den letzten Jahren etwas verkleinert. Die Belastung ist heutzutage im JMW an den höchstbelasteten Standorten grob fünf Mal so hoch, wie an ländlichen Hintergrundstandorten – städtische Quartiere ohne direkten Verkehrseinfluss liegen dazwischen.

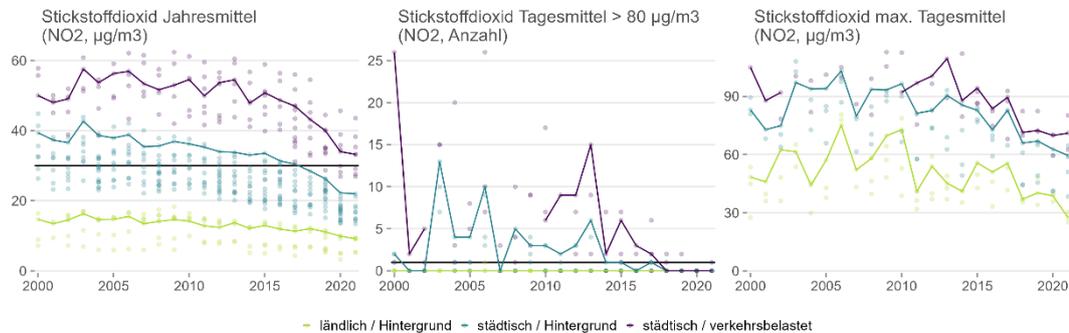


Abbildung 4: Langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit Stickstoffdioxid (NO₂); farbige Linien = ausgewählte Standorte mit Langzeit-Messreihen (städtisch / verkehrsbelastet: Winterthur – Technikumstrasse bei Jahresmittelwerten & Zürich – Schimmelstrasse bei Tagesmittelwerten, städtisch / Hintergrund: Zürich – Stampfenbachstrasse, ländlich / Hintergrund: NABEL-Tänikon).

2.2.5. Ozon (O₃)

Die Entwicklung der Immissionen mit O₃ ist über den Betrachtungszeitraum nur gering rückläufig (Abbildung 5). Sowohl die «Langzeitbelastung» durch hohe Ozonwerte während der Sommermonate (maximales 98%-Perzentil der Halbstundenmittelwerte pro Monat²³) als auch die kurzzeitige Spitzenbelastung (maximale Stundenmittel²⁴ und Anzahl Stundenmittel > 120 µg/m³) waren vor dem Jahr 2006 etwas höher als seither. In den letzten 15 Jahren befindet sich die entsprechende Luftbelastung durch O₃ auf anhaltend hohem Niveau ohne eindeutigen Trend.

Die Immissionen schwanken typischerweise von Jahr zu Jahr mit dem Einfluss der Witterung, weil sich O₃ aus Vorläufersubstanzen wie Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen erst in der Atmosphäre bildet. Die Bedingungen dafür sind bei heissem, hochsommerlichem Wetter am besten, weshalb sogenannter «Sommersmog» durch hohe O₃-Belastung v.a. unter solchen Bedingungen entsteht.

Der IGW wird heutzutage im 98%-Perzentil der Halbstundenmittelwerte pro Monat deutlich überschritten. Dabei treten IGW-Überschreitungen an mehreren Monaten während der warmen Jahreszeit auf²⁵. Die Anzahl der Stundenmittel-Konzentrationen > 120 µg/m³ übertrifft bei weitem – im Extremfall um mehr als den Faktor 500 – den IGW von einer erlaubten Überschreitung pro Jahr. Dabei stechen Hitzesommer, wie im Jahr 2003 oder 2018, mit besonders vielen Stunden hoher Ozonbelastung heraus.

Die Belastung mit O₃ ist allgemein an Standorten im lufthygienischen ländlichen Hintergrund und in städtischen Gebieten mit wenig Verkehrseinfluss am höchsten. An verkehrsgeprägten Standorten liegt sie etwas tiefer. Emissionen des Strassenverkehrs stellen zwar einen wichtigen Beitrag zu ozonbildenden Vorläufersubstanzen dar, aber durch die Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO), welche solche Standorte prägen,

²³ Das 98%-Perzentil der Halbstundenmittelwerte pro Monat kann als Mass für die durchschnittliche Spitzenbelastung pro Monat interpretiert werden.

²⁴ Für das maximale Stundenmittel pro Jahr gibt es in der LRV keinen Grenzwert, dieser Parameter wird ausschliesslich zur Verdeutlichung der Entwicklung der Spitzenbelastung mit O₃ gezeigt.

²⁵ Vergleiche Jahresbericht OSTLUFT sowie BAFU/NABEL.

wird O₃ kurzzeitig lokal abgebaut. Das ausgestossene NO wird dabei zu NO₂ umgewandelt, welches in einiger Entfernung zum Strassenverkehr umso mehr zur Ozonbildung beiträgt.

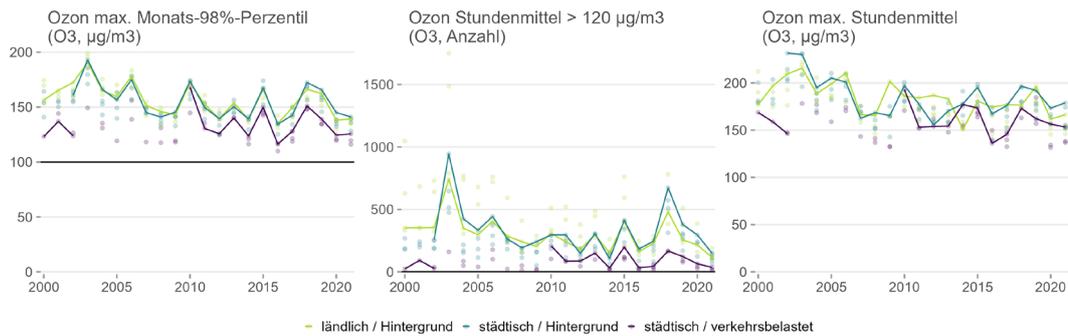


Abbildung 5: Langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit Ozon (O₃); farbige Linien = ausgewählte Standorte mit Langzeit-Messreihen (städtisch / verkehrsbelastet: Zürich - Schimmelstrasse, städtisch / Hintergrund: Zürich - Heubeeribüel, ländlich / Hintergrund: NABEL-Tänikon).

2.2.6. Ammoniak und Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme

Zu viel Ammoniak hat schädliche Auswirkungen auf die Vegetation. Ammoniak ist zudem die wichtigste Quelle für Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme.

Die CLE für höhere Pflanzen bzw. Flechten und Moose werden bei naturnahen Flächen fast überall im Kanton Zürich überschritten (Abbildung 8). In der Schweiz und im Kanton Zürich zeigen NH₃-Messreihen eine hohe Variabilität von Jahr zu Jahr und aufgrund der hohen räumlichen Heterogenität auch zwischen verschiedenen Messorten. Die Langzeitentwicklung kann sich je nach Standort unterscheiden, zeigt allgemein jedoch keine eindeutige Tendenz^{26,27}. Die Verteilung der NH₃-Konzentrationen im Jahr 2020 (siehe Anhang) widerspiegelt mehrheitlich die Verteilung von NH₃-Quellen aus der intensiven Tierhaltung.

Die Einträge von Stickstoffverbindungen aus der Luft in empfindliche Ökosysteme – unter anderem in Wälder, Hoch- und Flachmoore sowie artenreiche Trockenwiesen und -weiden – übertreffen fast überall in der Schweiz²⁸ und auch im Kanton Zürich die kritischen Eintragsraten (CLN) und entwickeln sich seit Anfang des Jahrtausends nicht rückläufig²⁹. Dieses Bild zeigt auch die kantonale Langzeitmessreihe am Bachtel (Abbildung 6). Aufgrund des Einflusses der Witterung schwanken die Einträge von Jahr zu Jahr – jedoch ohne eindeutigen Trend. Dabei trägt der Eintrag oxidierter Stickstoffverbindungen (aus NO_x-Quellen) zu rund 25% zum Gesamteintrag in den Wald am Bachtel

²⁶ Seitler, E. und Meier, M. (2022): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2021 – Messbericht, 83 S., Rapperswil, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), der OSTLUFT (AI, AR, GL, GR, SG, SH, TG, ZH, FL), der inNET (LU, NW, OW, SZ, UR, ZG), und der Kantone AG, BE, BL/BS, FR, NE, SO.

²⁷ Im Messnetz des Bundes NABEL demonstrieren die Ergebnisse an den Messorten Rigi und Payerne, dass NH_x (= Summe von gasförmigem NH₃ + NH₄⁺ im Feinstaub; eine Schätzgrösse für die Emissionsentwicklung von NH₃) seit dem Jahr 2000 nicht zugenommen, bzw. eher leicht abgenommen hat, siehe: [BAFU und Empa \(Hrsg.\) 2021: Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL Messergebnisse 2020](#), 91 S., Bern.

²⁸ BAFU, 2018. Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Environmental studies 80.

²⁹ Seitler E., Meier M., Ehrenmann Z., 2021: Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2019. FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, Rapperswil. 131 S.

bei. Die anderen 75% verursacht der Eintrag reduzierten Stickstoffs (aus NH₃-Quellen). Mit einem Eintrag von rund 27 bis maximal 39 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr³⁰ liegt die Belastung deutlich oberhalb der kritischen Eintragsrate für Waldstandorte.

Messergebnisse an anderen empfindlichen Ökosystemen (Hochmoor, Flachmoor, Trockenrasen, Wald) im Kanton Zürich in den Jahren 2019 bis 2021 zeigen auf, dass die Überschreitung der CLN kein Einzelfall, sondern die Regel sind (Abbildung 7). Die Höhe der Belastung wird dabei auch durch die Nähe zu starken landwirtschaftlichen NH₃-Quellen (z.B. Ställe, Gülleausbringung) beeinflusst. Berechnungen des BAFU (Grundlage siehe Anhang) machen deutlich, dass die entsprechenden CLN an fast allen empfindlichen Ökosystemen im Kanton Zürich, und dies zum Teil stark, überschritten werden (Abbildung 9).

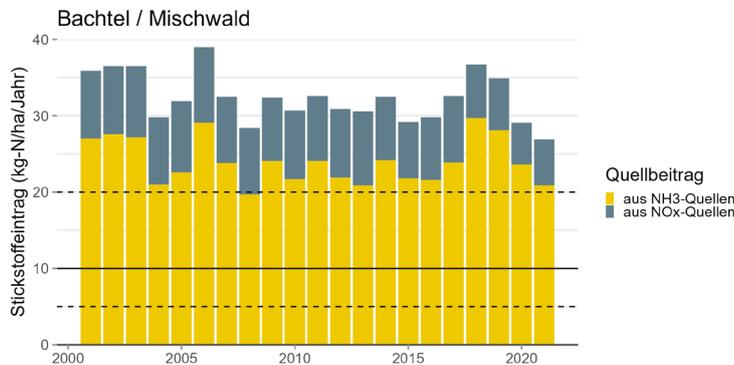


Abbildung 6: Langjährige Entwicklung der Stickstoffeinträge aus der Luft in den Wald am Messort Bachtel (Mischwald), unterteilt nach Beiträgen aus NO_x-Quellen (v.a. Verbrennungsprozesse) sowie NH₃-Quellen (v.a. aus der intensiven Landwirtschaft); schwarze horizontale Linien = ökosystemspezifischer Critical Load Bereich (gestrichelt) und standortspezifischer Einzel-Bezugswert (durchgezogen); Daten: OSTLUFT.

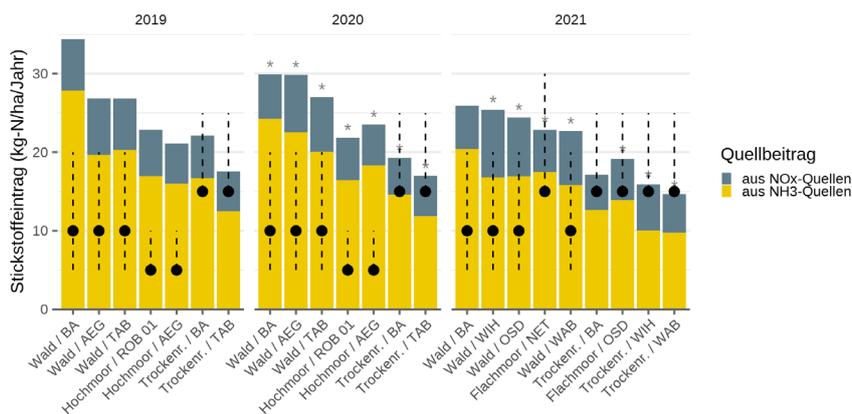


Abbildung 7: Stickstoffeinträge aus der Luft in verschiedene empfindliche Ökosysteme im Kanton Zürich in den Jahren 2019 bis 2021, unterteilt nach Beiträgen aus NO_x-Quellen (v.a. Verbrennungsprozesse) sowie NH₃-Quellen (v.a. aus der intensiven Landwirtschaft); Ergebnisse aus dem Luftqualitäts-Messnetz OSTLUFT; schwarze vertikale Linien = ökosystemspezifischer Critical Load Bereich (gestrichelt), schwarzer Punkt = standortspezifischer Einzel-Bezugswert, Stern: kennzeichnet Standorte / Jahre an denen ausschliesslich die NH₃-Deposition gemessen und die restlichen Beiträge geschätzt wurden; Daten: OSTLUFT.

³⁰ Dies entspricht grob der Menge Stickstoffdünger, die typischerweise mit einer Gülleausbringung auf intensiv bewirtschaftete Landwirtschaftsflächen ausgebracht wird.

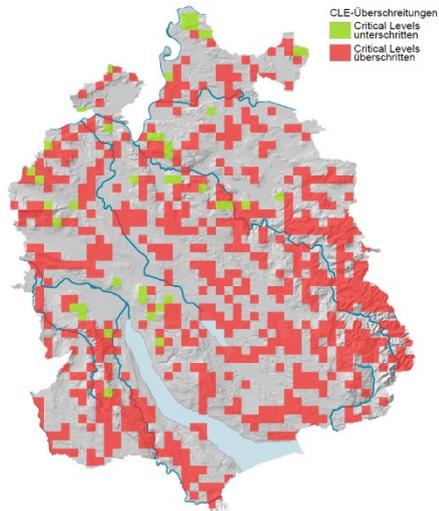


Abbildung 8: Karte der CLE-Überschreitungen durch NH_3 auf Flächen mit naturnaher Vegetation im Jahr 2020.

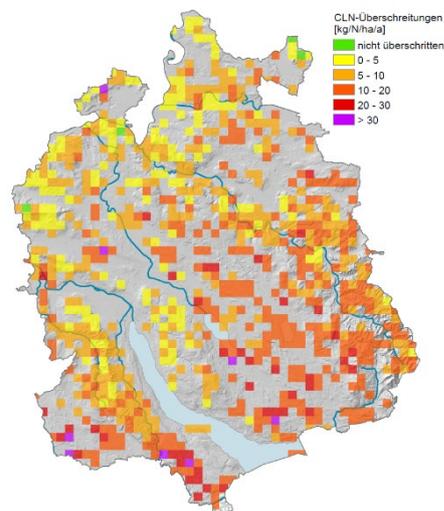


Abbildung 9: Karte der CLN-Überschreitungen durch Stickstoffeinträge im Jahr 2020.

2.3. Stand der Immissionen

2.3.1. Grenzwertvergleich und Übermässigkeit der Immissionen

Die Zusammenstellung in Abschnitt 2.2 hat verdeutlicht, dass bei den meisten Luftschadstoffen über die Jahre Verbesserungen erzielt wurden, die eine Verringerung der jeweiligen Luftbelastung mit sich brachten. Der heutige Stand der Immissionen wird nun zusammengefasst, indem die Messergebnisse der wichtigsten Schadstoffe über die Jahre 2018 bis 2021 den entsprechenden IGW der LRV (Tabelle 1) gegenübergestellt werden (Abbildung 10). Der Einbezug der letzten 4 Jahre ist zweckdienlich, weil die Luftbelastung typischerweise von Jahr zu Jahr durch den Einfluss der Witterung auf die Ausbreitung und bodennahe Anreicherung der ausgestossenen Schadstoffe schwankt. Zudem wurden insbesondere im Jahr 2020 und teilweise im Jahr 2021 durch die Einschränkungen, die die Covid-19 Pandemie mit sich brachte, aufgrund geringerer Verkehrsaktivität als üblich, weniger Luftschadstoffe ausgestossen³¹.

Bei der Langzeitbelastung (JMW von PM_{10} / $\text{PM}_{2.5}$ / NO_2 sowie O_3 max. 98 % Perzentil, Abbildung 10 links) wird der IGW für Feinstaub PM_{10} heutzutage praktisch überall eingehalten. Im Fall von Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$ wird der IGW, je nach Jahr, an mehreren Messorten oder nur vereinzelt übertroffen. Dabei treten IGW-Überschreitungen überwiegend an städtischen verkehrsbelasteten Standorten auf und betragen grob 115 bis 140 % des IGW. Für die Langzeitbelastung mit NO_2 gilt, dass Überschreitungen des IGW entlang stark befahrener Strassen beobachtet werden und dass die JMW höchstens rund 150 bis 180 % des IGW betragen. Städtische Quartiere ohne direkten Verkehrseinfluss sowie ländliche Gebiete weisen heute keine IGW-Überschreitungen für NO_2 mehr auf. Die

³¹ OSTLUFT (2020): Auswirkungen der verringerten Aktivitäten durch die Sars-CoV-2 Pandemie auf die Luftqualität.

maximalen monatlichen 98 %-Perzentile der O₃-Halbstundenmittel liegen an allen Messorten und während mehreren Monaten im Jahr deutlich oberhalb des IGW.

Bei der Kurzzeitbelastung (TMW und Stundenmittelwerte: SMW, Abbildung 10 rechts) treten für die TMW von Feinstaub PM₁₀ und NO₂ vereinzelt IGW-Überschreitungen auf und die zulässige dreimalige (PM₁₀) bzw. einmalige Überschreitung (NO₂) wird nur selten übertroffen. Aussergewöhnliche Witterungssituationen, z.B. der Ferntransport von Saharastaub, können die Anzahl TMW > IGW für Feinstaub PM₁₀ in einzelnen Jahren zusätzlich beeinflussen. Ein anderes Bild bietet die Kurzzeitbelastung der SMW von O₃, welche den Wert von 120 µg/m³ nur einmal pro Jahr überschreiten dürfen. Hier treten während sommerlichem Wetter oft und flächendeckend IGW-Überschreitungen auf, im Extremfall bis zu knapp 800-mal im Jahr. Während eines durchschnittlichen Sommers wird heutzutage der IGW grob 20 (an verkehrsgeprägten Standorten) bis 400-mal im Jahr (im ländlichen Hintergrund) überschritten.

Für die Beurteilung der Immissionen durch NH₃ und Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme sind die vegetationsspezifischen CLE und die ökosystemspezifischen CLN gleichwertig mit den IGW der LRV³². Die JMW der NH₃-Konzentrationen übertreffen im Kanton Zürich die CLE für Moose und Flechten sowie für höhere Pflanzen an den meisten Standorten. Die Stickstoffeinträge aus der Luft in empfindliche Ökosysteme sind flächendeckend deutlich höher als die jeweiligen ökosystemspezifischen CLN (siehe Abschnitt 2.2.6).

³² BAFU (Hrsg.) 2020: Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen. Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2003: 23 S.

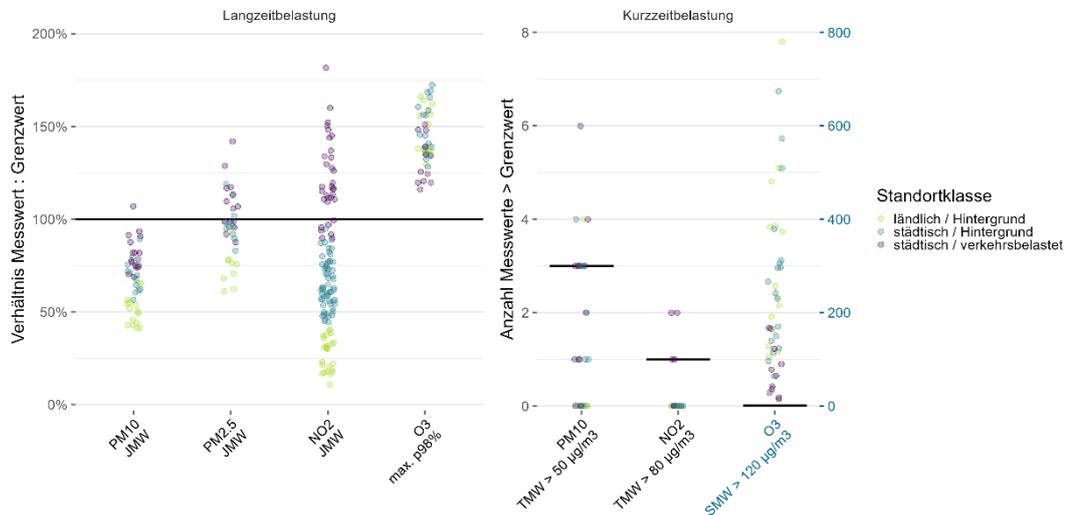


Abbildung 10: Stand der Langzeitbelastung sowie Kurzzeitbelastung mit ausgewählten Luftschadstoffen im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der LRV (Jahre 2018 - 2021); Punkte = Messwerte einzelner Messorte, «JMW» = Jahresmittelwert, «max. p98%» = maximales monatliches 98%-Perzentil der Halbstundenmittelwerte, «TMW» = Tagesmittelwert, «SMW» = Stundenmittelwert; horizontale schwarze Linie bei «100%» bzw. bei «Anzahl Messwerte > TMW/SMW» entspricht dem jeweiligen Grenzwert der LRV, für den Parameter «O₃ SMW > 120 µg/m³» sind die Ergebnisse auf einer zweiten y-Achse aufgetragen (blau, rechts); Daten: OSTLUFT, Stadt Zürich, NABEL/BAFU.

In Tabelle 1 wird der aktuelle Stand der Immissionen in Bezug auf ihre Übermässigkeit gemäss LRV beurteilt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Immissionen von NO₂ heutzutage vereinzelt bis teilweise übermässig sind, für O₃ sind sie flächendeckend übermässig, für Feinstaub PM₁₀ nicht übermässig, für Feinstaub PM_{2.5} teilweise übermässig, für NH₃ sowie für Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme flächendeckend übermässig. In der LRV (LRV-Anhang 7) sind weitere IGW verankert, die in vorliegendem Bericht nicht dargestellt werden. Gemäss den repräsentativen [Ergebnissen des Messnetzes des Bundes \(NABEL\)](#)³³ überschreiten die Immissionen dieser Schadstoffe nicht die jeweiligen IGW und die Immissionen sind daher nicht übermässig. Im Falle der Luftbelastung durch krebserregenden Russ im Feinstaub (eBC) gilt das Minimierungsgebot. Der Zielwert der EKL von 0.1 µg/m³ eBC im Jahresmittel wird flächendeckend überschritten, jedoch lässt sich heutzutage an vereinzelt Standorten im lufthygienischen ländlichen Hintergrund erstmals eine Belastung nahe dem Zielwert feststellen.

2.3.2. Beurteilung in Bezug auf Richtwerte der WHO

Gemäss USG (Art. 14) sind die Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen unter anderem so festzulegen, «dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte [...] Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebens-

³³ BAFU (Hrsg.) 2022: Luftqualität 2021. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Zustand Nr. 2227: 29 S.

gemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden». Auf wissenschaftlicher Seite liefert die WHO mit periodischen Syntheseberichten («Air Quality Guidelines», AQG) zum aktuellen Stand des Wissens über die Gesundheitsauswirkungen von Luftschadstoffen die wichtigste Grundlage. Die entsprechenden, aktuellen AQG wurden im Jahr 2021 veröffentlicht³⁴ (AQG '21, siehe auch Tabelle 1). In diesen Berichten werden Richtwerte und Zwischenziel-Richtwerte zur Verfügung gestellt, die Nationalstaaten bei Bedarf in ihre Gesetzgebung integrieren können. In der Schweiz basieren die meisten IGW der LRV auf solchen (älteren) Richtwert-Empfehlungen der WHO. Die Entscheidung, ob und welche Werte aus den AQG '21 in IGW überführt werden, obliegt dem Bundesrat, der sich dabei von der EKL beraten lässt. Dieser Prozess ist gegenwärtig aufgrund der neuen AQG '21 im Gange³⁵. Die Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen im Sinne der LRV (Abschnitt 2.3.1) ist auf die aktuell gültigen Schweizer IGW abgestützt. Dem aktuellen Stand der Wissenschaft nach (AQG '21) treten jedoch gesundheits-schädliche Wirkungen von Luftschadstoffen auch bei Belastungen unterhalb einiger IGW der LRV auf³⁶. Somit unterscheidet sich gegenwärtig die rechtliche und die wissenschaftliche Beurteilung der Luftqualität. Die Richtwerte der AQG '21 stellen dabei die Schwellenwerte dar, ab denen nach heutigem Stand mit ausreichender wissenschaftlicher Genauigkeit gesundheitsschädliche Auswirkungen auftreten und quantifiziert werden können. Deshalb wird nachfolgend im Sinne eines Ausblicks die heutige Luftbelastung auch im Vergleich mit den AQG '21 dargestellt (Abbildung 11).

In Abbildung 11 wird die Langzeitbelastung (JMW von PM₁₀ / PM_{2.5} / NO₂ sowie O₃ «peak season») in das Verhältnis zu den jeweiligen Richtwerten gesetzt. Dabei ändert sich die Situation im Vergleich zu der Beurteilung mit den IGW der LRV (vergleiche Abbildung 10). Bei Feinstaub PM_{2.5} liegen die JMW aller Messorte deutlich oberhalb des Richtwertes. Sie betragen an den höchstbelasteten Standorten um bis zu 250 – 300 % des Richtwertes. Im Falle der JMW von Feinstaub PM₁₀ liegt der Richtwert nahe bei dem aktuellen IGW und daher ändert sich das Bild für PM₁₀ weniger stark. An verkehrsgeprägten Standorten treten jedoch PM₁₀ Belastungen oberhalb des Richtwertes auf. Die JMW von NO₂ übertreffen den Richtwert sehr deutlich, um bis zu rund 450 - 550 %. Kein städtischer Messort unterschreitet den Richtwert. Die Spannweite zwischen den Standorten ist für NO₂ aufgrund des prägenden Einflusses des Verkehrs sehr gross. Die meisten Messorte im lufthygienischen ländlichen Hintergrund weisen deshalb bereits heute Belastungen unterhalb vom Richtwert auf. Die LRV kennt als Mass für die durchschnittliche Langzeit-Spitzenbelastung mit O₃ das 98 %-Perzentil der Halbstundenwerte pro Monat. In den AQG '21 wird hingegen die sogenannte «peak season»-Belastung mit O₃ ausgewiesen. Es handelt sich dabei, (eher) kurz gesagt, um die mittlere Belastung während den sechs Monaten in der warmen Jahreszeit mit der höchsten O₃-Durchschnittsbelastung (vergleiche Tabelle 1). Die O₃-Belastung am Grossteil der Messorte liegt in der O₃-«peak season» oberhalb und maximal bei rund 175 % des Richtwertes. Das Bild ist dabei ähnlich, wie bei den IGW für das 98 %-Perzentil.

³⁴ WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.

³⁵ Siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/internationale-luftreinhaltung/who-air-quality-guidelines.html>

³⁶ In der Schweiz basieren die meisten IGW der LRV auf Richtwert-Empfehlungen der WHO. Die Entscheidung, ob und welche Richtwerte in IGW überführt werden, obliegt dem Bundesrat, der sich dabei von der EKL beraten lässt. Dieser Prozess ist gegenwärtig aufgrund der neuen AQG '21 im Gange, siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/internationale-luftreinhaltung/who-air-quality-guidelines.html>.

Der Vergleich fällt auch bei der Kurzzeitbelastung (TMW, Abbildung 11 rechts) deutlicher aus. Die AQG '21 weisen, im Gegensatz zur LRV, einen TMW-Richtwert für Feinstaub $PM_{2.5}$ aus, der höchstens drei Mal im Jahr überschritten werden dürfte. In den Jahren 2018 bis 2021 war dies jedoch, je nach Messort, grob zwischen wenigen bis zu 100-mal pro Jahr der Fall. An allen städtischen Standorten übertraf der $PM_{2.5}$ -TMW den Richtwert öfter als rund 30-mal im Jahr. Für Feinstaub PM_{10} ist die Kurzzeitbelastung bei Berücksichtigung der AQG '21 ähnlich wie beim IGW und der TMW überschreitet nur selten häufiger als drei Mal den Richtwert. Im Gegensatz dazu liegt der TMW-Richtwert für NO_2 , der nur einmal im Jahr überschritten werden dürfte, in den AQG '21 sehr viel niedriger als der entsprechende IGW in der LRV. Dementsprechend wird der Richtwert an den höchstbelasteten Messorten (bei starkem Verkehrseinfluss) rund 200- bis 350-mal im Jahr übertroffen. An Messorten im lufthygienischen städtischen Hintergrund geschieht dies, je nach Jahr und Standort, noch an rund 10 bis 100 Tagen pro Jahr.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich vor allem die Einschätzung der Lang- und Kurzzeitbelastung mit Feinstaub $PM_{2.5}$ und NO_2 im Hinblick auf ihre gesundheitlichen Auswirkungen unter Berücksichtigung der AQG 21' deutlich verschlechtert. Dabei zeigt sich, dass vor allem bei Feinstaub $PM_{2.5}$, NO_2 und O_3 weiterhin grosser Handlungsbedarf besteht, um gesundschädliche Auswirkungen dieser Luftschadstoffe zu vermeiden.

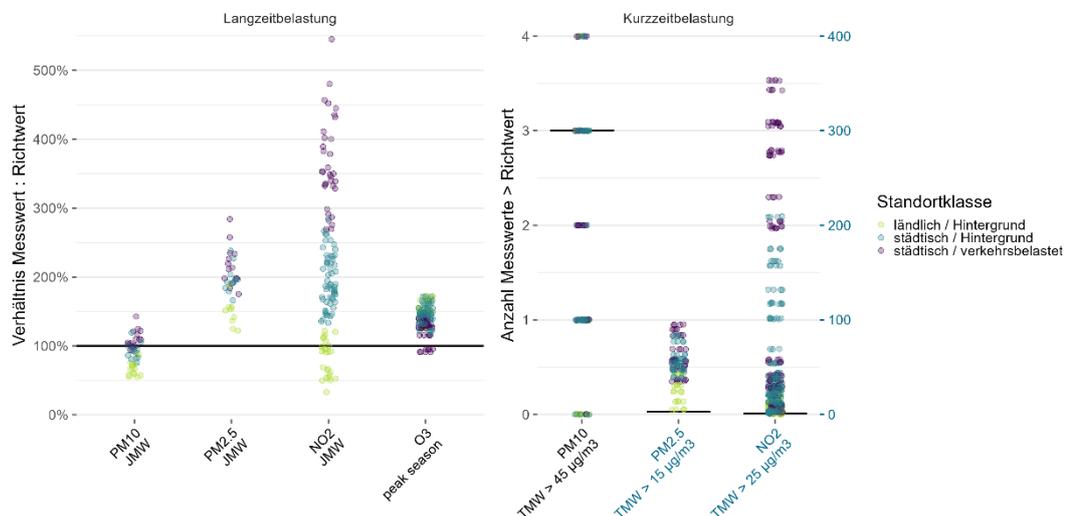


Abbildung 11: Stand der Langzeitbelastung (links) sowie Kurzzeitbelastung (rechts) mit ausgewählten Luftschadstoffen (2018 - 2021) im Vergleich zu den aktuellen Richtwerten der WHO aus dem Jahr 2021 (AQG '21); Punkte = Messwerte einzelner Messorte, «JMW» = Jahresmittelwert, «TMW» = Tagesmittelwert; horizontale schwarze Linie bei 100% bzw. Anzahl Messwerte > Richtwerte entspricht dem WHO-Richtwert der AQG '21, für die Parameter « $PM_{2.5}$ TMW > $15 \mu g/m^3$ » und « NO_2 TMW > $25 \mu g/m^3$ » sind die Ergebnisse auf einer zweiten y-Achse aufgetragen (blau, rechts); Daten: OSTLUFT, Stadt Zürich, NABEL/BAFU.

2.3.3. Schadstoffexposition von Bevölkerung und Umwelt

In Tabelle 3 werden die Anzahl Einwohner im Kanton Zürich, bzw. die Bevölkerungsanteile zusammengefasst, die gemäss Expositionsrechnung im Jahresmittel 2021 einer Luftbelastung mit Feinstaub PM₁₀ und PM_{2.5} sowie NO₂ oberhalb der IGW ausgesetzt waren. Im Jahr 2021 war der überwiegende Teil der Bevölkerung im Kanton Zürich einer Langzeit-Luftbelastung von Feinstaub PM₁₀ und PM_{2.5} sowie NO₂ unterhalb der IGW ausgesetzt. Gemäss Expositionsrechnung waren noch bis zu 1.7% aller Einwohner, bzw. bis zu 26'800 Personen einer NO₂-Belastung oberhalb des IGW ausgesetzt (beachte Bandbreite des Unsicherheitsbereiches, vergleiche auch Anhang). Für Feinstaub PM₁₀ war dies bei keiner Person der Fall. Bei Feinstaub PM_{2.5} für maximal 18'800 Personen bzw. 1.2% der Bevölkerung. Tabelle 3 enthält auch die Bevölkerungsexposition in Bezug auf die AQG '21 Richtwerte. Diese Zahlen drücken somit gemäss dem aktuellen Stand der Wissenschaft aus, wie viele Einwohner und Einwohnerinnen im Kanton Zürich einer Luftbelastung ausgesetzt waren, die schädliche gesundheitliche Auswirkungen zur Folge hat. Für Feinstaub PM₁₀ war dies bei maximal 18'500 Personen bzw. 1.2% der Bevölkerung der Fall. Hingegen waren im Jahr 2021 alle Einwohner und Einwohnerinnen im Kanton Zürich einer Belastung durch Feinstaub PM_{2.5} oberhalb der AQG '21 Richtwerte ausgesetzt. Bei NO₂ waren fast alle - maximal 1'545'000 Personen bzw. 98.9% der Bevölkerung ungesund belastet. Die Langzeitbelastung durch hohe O₃ Konzentrationen (Abschnitt 2.2.5) war im Jahr 2021 flächendeckend, also für die ganze kantonale Bevölkerung über dem IGW (und auch über dem Richtwert der AQG '21). Die JMW-Belastung durch Russ im Feinstaub (eBC) lag für die ganze Bevölkerung über dem Zielwert der EKL.

Schädliche Auswirkungen der Immissionen von NH₃ auf höhere Pflanzen sowie Flechten und Moose sind im Bezugsjahr 2020 als Folge der Überschreitung der CLE an fast allen naturnahen Flächen im Kanton Zürich aufgetreten (siehe Abschnitt 2.2.6). Empfindliche Ökosysteme wurden an allen Flächen im Kanton Zürich im Jahr 2020 durch zu hohe Stickstoffeinträge aus der Luft belastet (vergleiche Anhang und Abschnitt 2.2.6).

Tabelle 3: Anzahl Personen sowie Bevölkerungsanteil im Kanton Zürich mit Jahresmittelbelastungen 2021 durch Feinstaub PM₁₀ und PM_{2.5} sowie NO₂ oberhalb der IGW bzw. der AQG '21; dargestellt sind, wenn nötig, Bandbreiten gemäss Unsicherheitsabschätzung in der Expositionsrechnung; Werte gerundet.

| Referenz | Metrik | PM ₁₀ | PM _{2.5} | NO ₂ |
|----------|--------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| LRV | Anzahl Personen ≥ IGW | 0 | 0 - 18'800 | 0 - 26'800 |
| | Anteil Bevölkerung ≥ IGW | 0 % | 0% - 1.2 % | 0% - 1.7 % |
| AQG '21 | Anzahl Personen ≥ AQG | 0 - 18'500 | 1'561'500 | 1'529'100 - 1'545'000 |
| | Anteil Bevölkerung ≥ AQG | 0 % - 1.2 % | 100% | 97.9 % - 98.9 % |

3. Entwicklung der Emissionen

3.1. Emissionsbilanzen 2015, 2020, 2030

Zu den wichtigsten Quellen der Luftschadstoffbelastung gehören folgende Verursacherkategorien, die zu unterschiedlichen Anteilen am Ausstoss der Luftschadstoffe beteiligt sind (Abbildung 12):

- Verkehr (Strassen-, Schienen- und Luftverkehr),
- Haushalte und Dienstleistungen (vor allem Feuerungen),
- Industrie und Gewerbe (Feuerungen, Baumaschinen, industrielle Fahrzeuge, industrielle Verarbeitungsprozesse, Verteilung von Brenn- und Treibstoffen sowie Verwendung von Lösemitteln),
- Land- und Forstwirtschaft (land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge sowie Ausscheidungen von Nutztieren).

Der Verkehr ist mit einem Anteil von rund zwei Dritteln Hauptverursacher für die Stickoxidemissionen (NO_x). Auch bezüglich Feinstaub PM_{10} und Russ eBC trägt er mit je einem Drittel der Emissionen einen wesentlichen Anteil bei. Die Russpartikel sind Bestandteil des PM_{10} und entstehen bei der Verbrennung des Treibstoffs. Durch Aufwirbelungs- und Abriebprozesse entstehen auch grössere Partikel. Weiter ist der Verkehr infolge von Kaltstartemissionen und Betankungsverlusten für einen Fünftel der VOC-Emissionen verantwortlich.

In Abbildung 13 ist die zeitliche Entwicklung der Emissionen dargestellt. Aufgrund von Verbesserungen der Fahrzeugtechnologien (siehe auch Abschnitt 3.2) werden die NO_x - und Russemissionen bis ins Jahr 2030 weiter deutlich abnehmen. Mit der Einführung der verschärften Abgasnormen haben sowohl die NO_x als auch die PM_{10} - bzw. Russemissionen der Fahrzeuge abgenommen und werden auch künftig weiter abnehmen.

Weitere bedeutende Beiträge der PM_{10} - und NO_x -Emissionen stammen aus den Öl-, Gas- und Holzfeuerungen. Diese verursachen rund einen Drittel der PM_{10} -Emissionen und fast die Hälfte der Russemissionen. Dabei stammt der Feinstaub vor allem aus Holzfeuerungen, die im Vergleich zu einer Öl- oder Gasfeuerung ein Vielfaches davon ausstossen.

Industrielle und gewerbliche Betriebe sind bezüglich der VOC-Emissionen mit einem Anteil von mehr als der Hälfte der Emissionen als Hauptverursacher zu bezeichnen. Zudem steuern sie einen Drittel der PM_{10} -Emissionen bei.

Auch die Landwirtschaft trägt einen bedeutenden Anteil zu den Luftschadstoff-Emissionen bei. Bei den Ammoniakemissionen ist sie mit einem Anteil von knapp 90% eindeutige Hauptverursacherin.

Gemäss den in EMIS hinterlegten Emissionsszenarien werden die Emissionen der meisten Luftschadstoffe in den nächsten Jahren abnehmen. Bei den NO_x-, Russ-, und in geringem Ausmass auch bei den PM_{2.5}-Emissionen ist dieser Abnahmetrend vor allem infolge verbesserter Fahrzeugtechnologie stark ausgeprägt, bei den PM₁₀ wird dieser Effekt durch die steigende Fahrleistung und der damit verbundenen Zunahme von Partikeln aus dem Reifen- und Bremsabrieb aufgehoben.

Bei den Ammoniakemissionen ist kein abnehmender Trend absehbar.

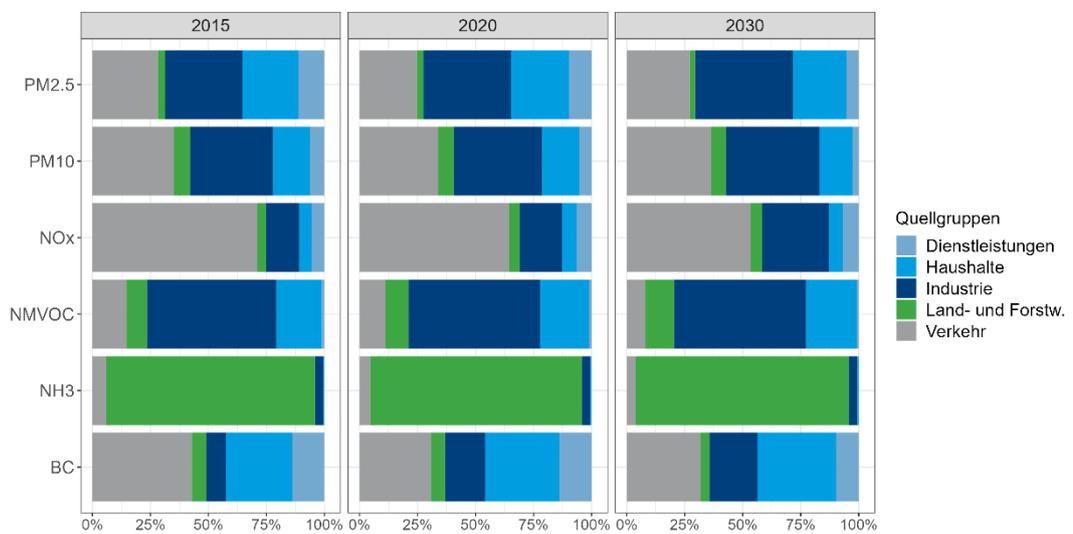


Abbildung 12: Anteile verschiedener Verursacher-Quellgruppen an den gesamten Emissionen von Luftschadstoffen in den Jahren 2015, 2020 und 2030; Daten: BAFU.

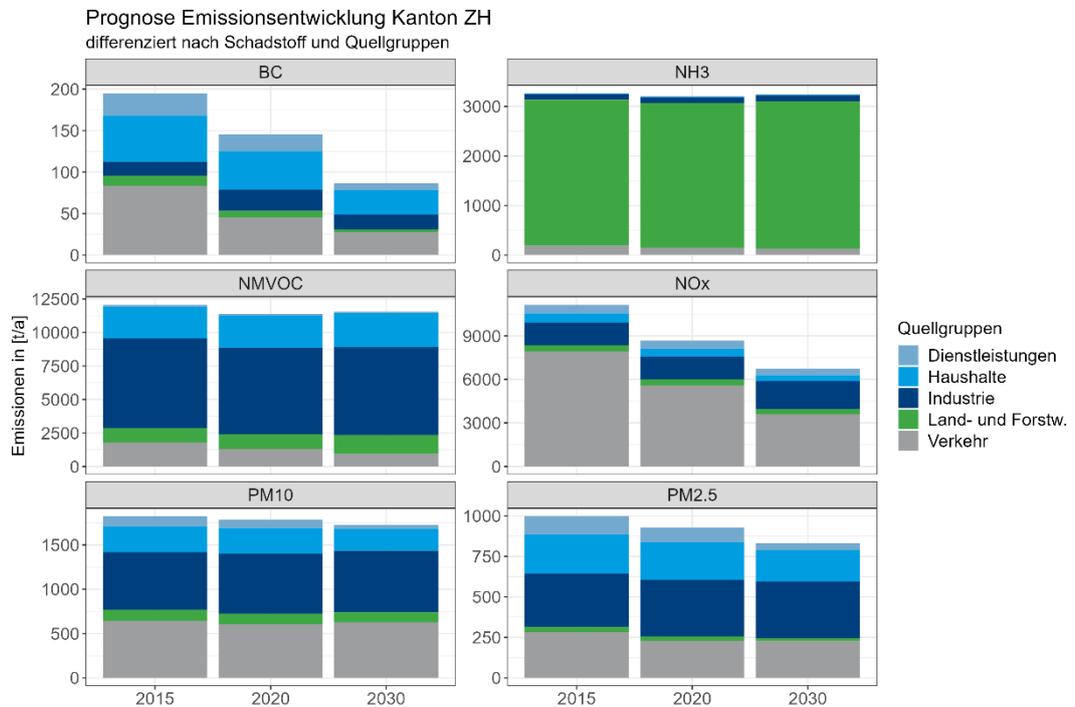


Abbildung 13: Prognose der zeitlichen Entwicklung der Emissionen von Luftschadstoffen, unterteilt nach Verursacher-Quellgruppen, im Kanton Zürich bis zum Jahr 2030; Daten: BAFU.

3.2. NO_x-Emissionen im realen Fahrbetrieb

In regelmässigen sogenannten «Remote Sensing» Messkampagnen³⁷ erfasst der Kanton Zürich die NO_x-Emissionen von Personen- und Lieferwagen im realen Fahrbetrieb. Diese «RSD-Messungen» sind ein Element der Wirkungskontrolle des bestehenden Massnahmenplans. Hintergrund ist, dass über viele Jahre und Abgasnormen das Typengenehmigungsverfahren zur Marktzulassung von Fahrzeugen nicht realistisch genug die realen Fahrbedingungen abgebildet hat. Zudem wurden von den Herstellern legale Grauzonen und illegale Abschaltvorrichtungen bei der Abgasreinigung von Fahrzeugen genutzt, um bei der Typengenehmigung den Emissionsgrenzwert einzuhalten (Stichwort Dieselskandal), nicht aber im realen Fahrbetrieb. In der Konsequenz lagen die NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen auf der Strasse um ein Vielfaches höher, als auf dem Prüfstand. Die RSD-Messungen zeigen dies für den Kanton Zürich (Abbildung 14). Seit Einführung der Abgasnorm Euro 2 im Jahr 1997 stiessen dieselfetriebene Personen- und Lieferwagen im realen Fahrbetrieb deutlich mehr NO_x aus, als es der Grenzwert der Typenzulassung vorsah. Die Lücke vergrösserte sich über die Zeit / Abgasnormen bis zur Norm Euro 5 (abgelöst durch Euro 6b im Jahr 2015), wobei Dieselfahrzeuge auf der Strasse im Mittel rund 5- bis 7-mal mehr NO_x ausstiessen als bei der Typenzulassung. Seit Einführung der Norm Euro 6b nach dem Dieselskandal sowie

³⁷ Sintermann, J., Alt, G.M., Götsch, M., Baum, F., Delb, V., 2021. Langjährige Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing (No. v1.4). Kanton Zürich / Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.

der Ablösung des alten Prüfverfahrens durch einen neuen Prüfzyklus und die sogenannten RDE Prüfungen (im realen Strassenverkehr), hat sich die Lücke verkleinert. Dieselfahrzeuge der neusten Abgasnorm Euro 6d stossen auch auf der Strasse maximal so viel NO_x aus, wie es der Grenzwert erlaubt – ein Hauptfaktor dafür, dass an verkehrsgeprägten Standorten die Immissionen von NO_2 seit dem Jahr 2018 stärker gefallen sind (siehe Abschnitt 2.2.4).

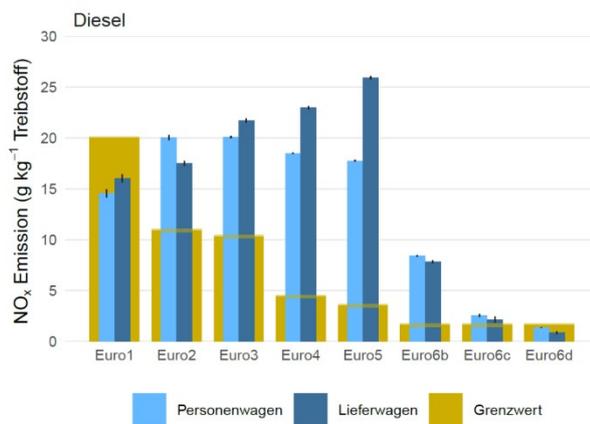


Abbildung 14: NO_x -Emissionen von Dieselfahrzeugen im realen Fahrbetrieb nach Abgasnorm – Ergebnisse der jährlichen RSD-Messkampagnen 2002 bis 2021 an zwei Standorten im Kanton Zürich; Daten: Kanton Zürich / AWEL.

4. Umsetzung des Massnahmenplans 2016

4.1. Vorgehen

Dieses Kapitel beschreibt den Umsetzungsgrad der neuen, angepassten oder unverändert weitergeführten Massnahmen des bestehenden Massnahmenplans, schätzt die Wirkung in Bezug auf die Schadstoffreduktion qualitativ ab und gibt wo nötig weitere Massnahmen an.

4.2. Sektor Verkehr

| Nr. | Bezeichnung / Massnahme | Umsetzung / Wirkung |
|---------------------|---|---|
| Vn1 (neu) | Mobilitätsmanagement für die kantonale Verwaltung und weitere kantonale Institutionen Prüfung, ob ein Mobilitätsmanagement eingeführt werden soll, mit dem Ziel, die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel sowie des Fahrrads mit geeigneten Massnahmen zu fördern. | nicht umgesetzt Es wurde ein Mobilitätsmanagement für die kantonale Verwaltung und weitere kantonale Institutionen geprüft und diverse Massnahmen den Direktionen zur Umsetzung empfohlen. Konkrete Massnahmen wurden jedoch bislang nicht umgesetzt. |
| Vn2 (neu) | Ausgestaltung von Verkehrssteuerungselementen Berücksichtigung von lufthygienischen Kriterien bei der Ausgestaltung von Verkehrssteuerungselementen. | nicht umgesetzt Es wurden keine entsprechenden Verkehrssteuerungselemente in der Planung ergriffen. |
| Vn3 (neu) | Überwachung der Fahrzeugemissionen (Antrag an Bund) Überwachung der Abgasemissionen im Alltagsbetrieb. | teilweise umgesetzt Ab 2023 wird die Wirkungskontrolle bei Partikelfiltern national verbindlich und von den kantonalen Strassenverkehrsämtern umgesetzt. |
| Vn4 (neu) | Veloförderung Förderung der Velonutzung im Rahmen des kantonalen Veloförderprogramms mittels Einrichtung einer Koordinationsstelle Veloverkehr sowie Schaffung von besseren Voraussetzungen für die Velonutzung im Alltag. | teilweise umgesetzt Es wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, die Veloinfrastruktur zu verbessern. 2016 wurde ein Velonetzplan beschlossen, der derzeit noch in der Umsetzung ist. |

| | | |
|---------------------|---|--|
| V3a | Gütertransporte bei grösseren Baustellen | umgesetzt |
| | Änderung der bestehenden Massnahme: Anpassung der Regelung bezüglich der zugelassenen Fahrzeuge für Baustellentransporte bei grösseren Baustellen an die Aktualisierung der Abgasnormen. | Vollzugsaufgabe wird laufend umgesetzt. |
| V3c (neu) | Gütertransporte mit der Bahn (Antrag an Bund) | umgesetzt |
| | Transporte von Kies, Aushub und Massengütern im Auftrag des Bundes sollen in erster Linie mit der Bahn erfolgen (Übernahme einer Vorbildfunktion analog derjenigen des Kantons gemäss Massnahme V3b). | Der Bund hat zugestimmt, dass dies eine geeignete Massnahme im Bereich Verkehrsemissionen ist. Wird im UVP- oder Plangenehmigungsverfahren mittels Auflagen umgesetzt. |
| V4 | Parkierung und Verkehrserschliessung | teilweise umgesetzt |
| | Änderung der bestehenden Massnahme: Aktualisierung der Wegleitung der Baudirektion vom Oktober 1997 zur Regelung des Parkplatzbedarfs in kommunalen Erlassen, Koordination der Parkierungsvorschriften der Gemeinden. | Die Teilmassnahmen werden unterschiedlich von den Gemeinden umgesetzt. |

Ergänzende Informationen

Die Massnahmen Vn1, Vn2 und Vn4 sind vorwiegend planerischer Natur und zielen auf eine vermehrte Nutzung des öffentlichen Verkehrs und Velos. Diese Massnahmen nennen zwar einzelne, konkret anzustrebende planerische Ziele, sind aber weitgehend offen formuliert, indem sie Stossrichtungen und Verpflichtungen in bestimmten Handlungsfeldern definieren.

Die Massnahmen im Bereich Verkehr sind weitgehendstes als Handlungsaufforderungen an die Organisationseinheiten zu verstehen und müssen teilweise in geänderter Form weitergeführt werden.

Vn3 Überwachung der Fahrzeugemissionen: Im Rahmen dieser Massnahme wurde der Bund beauftragt, die Fahrzeugemissionen im Alltagsbetrieb zu erheben, um dem Dieselskandal und dem Problem mit defekten Partikelfiltern zu begegnen. Inzwischen hat das Bundesamt für Umwelt RSD-Messungen (Messungen mit einem Remote Sensing Detector zur berührungsfreien Messung von Abgasen vorbeifahrender Fahrzeuge) durchgeführt. Die durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft langjährigen Emissionsmessungen (RSD-Messungen) sowie Pilotmessprojekte an Partikelfiltern im Strassenverkehrsamt haben massgeblich zum beschriebenen Teilerfolg beigetragen.

Vn4 Veloförderung: Die Planung des Velonetzes liegt inzwischen in der Verantwortung der Baudirektion.

V4 Parkierung und Verkehrserschliessung: Die geändert weitergeführte Massnahme erfordert eine differenzierte Betrachtung. Im Zuge von Teilmassnahme a) wurde eine aktualisierte Parkplatzwegleitung in die Vernehmlassung gegeben und veröffentlicht. Es kam jedoch nicht zur Beschlussfassung des Regierungsrats. Den Gemeinden ist es derzeit freigestellt, ob sie sich auf die offiziell gültige Wegleitung von 1997 oder auf die Vernehmlassungsversion abstützen wollen. Bei Teilmassnahme b) handelt es sich um eine Vollzugsaufgabe, die bei Umweltverträglichkeitsprüfungen und raumplanerischen Geschäften laufend geprüft wird. Bei den Teilmassnahmen c) und d) handelt es sich um Empfehlungen, die von den Gemeinden unterschiedlich umgesetzt werden. Die im Massnahmenplan anvisierten Reduktionen der Schadstoffemissionen sind Abschätzungen der Wirkung wie z.B. durch Verlagerung der Verkehrsträger. Eine konkrete Überprüfung im Sinne einer messbaren Grösse ist nicht möglich, insbesondere, da die Auswirkungen der globalen Geschehnisse in den vergangenen zwei Jahren einen erheblich grösseren Einfluss auf das Verkehrsaufkommen hatten. Die Beschreibung der Zielerreichung bei den einzelnen Massnahmen, kann jedoch als qualitativer Hinweis dienen, ob die genannten Reduktionen tatsächlich eingetreten sind.

4.3. Sektor Landwirtschaft

| Nr. | Bezeichnung / Massnahme | Umsetzung / Wirkung |
|----------------------|--|--|
| LWn1 (neu) | Öffentliche Landwirtschaftsbetriebe Emissionsarme Gülleausbringetechniken (z. B. Schleppschauch) sollen auf öffentlichen Landwirtschaftsbetrieben möglichst flächendeckend eingesetzt werden (soweit es Hangneigung und örtliche Gegebenheiten erlauben), dasselbe gilt auf verpachtetem Land im Besitz des Kantons. | umgesetzt Kantoneigene Betriebe haben ihre Gülleausbringung wo notwendig umgestellt, Pachtverträge wurden angepasst. |
| LWn2 (neu) | Emissionsreduktion bei Stallbauten Reduktion des Ammoniakausstosses in der Abluft von grossen Tierhaltungsanlagen für Schweine und Geflügel. | umgesetzt In Verordnung zum Massnahmenplan Luftreinhaltung (MaPlaV) festgesetzt (für neue Anlagen und mit Sanierungsfrist für bestehende Anlagen). Emissionsminderung aufgrund Entwicklungen zu offenen Ställen geringer als im MaPla 2016 geschätzt. |
| LWn3 (neu) | Anpassung Stickstoffausnutzungsgrad in der Suisse-Bilanz (Antrag an Bund) Überprüfung der Grundlagen, insbesondere des geltenden Basiswertes für den Stickstoffausnutzungsgrad in der Nährstoffbilanz und allfällige Anpassung an die heutigen Gegebenheiten. | umgesetzt Antrag an Bund wurde gestellt. Bund prüft im Rahmen der Agrarplanung 2022 (AP22) eine Anpassung – AP22 wurde jedoch vom Parlament sisiert. |

| LWn4 | Landwirtschaftsbetriebe im Umfeld von Naturschutzgebieten | umgesetzt |
|-------------|---|--|
| (neu) | Prüfung von Möglichkeiten und allenfalls Entwicklung eines Konzeptes zur Reduktion von Ammoniakemissionen bei Landwirtschaftsbetrieben im Umfeld von Naturschutzgebieten unter Einbezug der betroffenen Kreise. | Prüfung in Pilotprojekt ist erfolgt. Ergebnisse des Pilotprojektes zeigen, dass nur eine Emissionsminderung an allen Quellen zielführend ist, daher ist ein separater Massnahmenplan Ammoniak in Erarbeitung. |

Ergänzende Informationen

LWn1 Öffentliche Landwirtschaftsbetriebe: Der Kanton Zürich soll mit der emissionsarmen Ausbringung von Gülle (z.B. Schleppschläuche oder Prallteller) durch kantonseigene Landwirtschaftsbetriebe und auf kantonseigenem Pachtland eine Vorbildrolle einnehmen. Ab Januar 2024 gilt landesweit die Pflicht zur emissionsarmen Gülleausbringung, welche in der LRV verankert wurde.

LWn2 Emissionsreduktion bei Stallbauten: In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat die starke Berücksichtigung des Tierwohls sich auf den Stallbau ausgewirkt. Dementsprechend werden kaum neue geschlossene Ställe gebaut, sondern solche mit offenen Laufhöfen. In diesen Fällen ist eine Abluftreinigung nicht möglich oder sehr ineffizient. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass lediglich etwa 10 % der anvisierten Reduktionswirkung erreicht wurde. Es ist davon auszugehen, dass der Trend für mehr Tierwohl anhalten wird. Dementsprechend müssen neue Vorgaben zur Reduktion der Stallemissionen evaluiert und umgesetzt werden. Diese werden im Rahmen des separaten Massnahmenplanes Ammoniak erarbeitet werden.

LWn3 Anpassung Stickstoffausnutzungsgrad in der Suisse-Bilanz: Obwohl die AP22 vom Parlament sistiert wurde, laufen zurzeit konkrete Rechtsetzungsprogramme, worin klar erkennbar ist, dass das Anliegen der griffigeren und strengeren Überprüfung des Stickstoffausnutzungsgrades vollumfänglich umgesetzt werden wird. Die Massnahme ist als umgesetzt anzusehen, auch wenn die entsprechenden Vorgaben frühestens ab 2024 greifen werden. Die Massnahme kann in dem Sinne weitergeführt werden, dass der Kanton sich bei Vernehmlassungen dafür einsetzt, dass die geplanten Bundesvorgaben die gewünschte Wirkung zeigen werden.

LWn4 Landwirtschaftsbetriebe im Umfeld von Naturschutzgebieten: Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde geprüft, welche emissionsmindernden Massnahmen speziell in der Nähe von Naturschutzgebieten ergriffen werden könnten. Dabei resultierten folgende Erkenntnisse: Die Naturschutzgebiete im Kanton Zürich bilden einen kantonsweiten «Flickenteppich». Für eine relevante Emissionsreduktion müsste mindestens ein Flächengürtel von 500 m Breite um diese Gebiete berücksichtigt werden, womit ein grosser Teil der Kantonsfläche betroffen wäre. Doch selbst einschneidende Massnahmen auf diesen Flächen würden nicht reichen, um die kritischen Stickstoffeinträge einzuhalten. Das Fazit ist demzufolge, dass nur ein kantonsweiter Massnahmenplan zielführend sein kann. Dieser wird zurzeit erarbeitet.

Dank der inzwischen vom Bund eingeführten Massnahmen im Bereich emissionsarmer Gülleausbringung kann die erzielte Wirkung bis Ende 2023 erreicht oder gar übertroffen

werden. Im Bereich der Güllelagerabdeckungen ist das im Massnahmenplan anvisierte Ziel auch ohne Sanierungsmassnahmen bereits erreicht. Im Sinne einer Weiterführung dieser Massnahme wird bei Neu- und Umbauten von landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen im Vollzug überprüft, ob die Emissionen dieser Anlagen allein bereits zu einer Überschreitung der kritischen Stickstoffeinträge in einem Naturschutzgebiet in der Nähe führen. Ist dies der Fall, so wird die Anlage emissionsseitig so lange optimiert bis keine Überschreitungen mehr vorkommen.

4.4. Sektor Feuerungen

| Nr. | Bezeichnung / Massnahme | Umsetzung / Wirkung |
|---------------------|--|---|
| Fn1 (neu) | Abstimmung Dimensionierung der Holzfeuerungen auf Wärmebedarf Verminderung von Betriebszuständen mit hohen Emissionen wie Startphasen oder Ausbrandphasen, Betrieb von kleinen Holzfeuerungsanlagen bis 70 kW ausschliesslich mit trockenem Holz-brennstoff. | weitgehend umgesetzt Umsetzung über die Vorgabe der Anzahl Anfeuerungenvorgängen und weiteren betrieblichen Vorgaben (MaPlaV) wird bei Neu- und Umbauten sowie Sanierungen von Anlagen konsequent verfolgt. Es gibt jedoch Verzögerungen bei bestehenden Anlagen. |
| Fn2 (neu) | CO-Grenzwert für Holzfeuerungen Verschärfung des Grenzwertes für Kohlenmonoxid (CO) mit dem Ziel einer besseren Wartung und Instandhaltung sowie allenfalls Erneuerung von veralteten Holzfeuerungen. | weitgehend umgesetzt Es wurden Emissionsmessungen bei kleinen Holzfeuerungen eingeführt. Aufgrund der umfangreichen Vorbereitungs-massnahmen ist die Umsetzung erst ab 2026 flächendeckend gewährleistet. |
| F1b | Emissionsvorschriften für Holzfeuerungen über 70 kW Änderung der bestehenden Massnahme: kleine Anpassungen in der Fussnote bezüglich der Feuerungswärmeleistung und der betroffenen Feuerungsanlagen. | umgesetzt Einige wenige Anlagen erhielten aus verschiedenen Gründen eine Verlängerung der Sanierungsfrist um 1 bis 3 Jahre. Diese Anlagen werden bis spätestens 2024 saniert sein. |

Ergänzende Informationen

Elf Massnahmen (F1 a), F2 – F11) welche 2016 bereits umgesetzt waren und ihre volle Wirkung entfalteten, müssen zwecks Aufrechterhaltung ihrer Wirkung weitergeführt werden. Sie können abgeschrieben werden, wenn die Vorgaben entweder in die LRV übernommen werden oder aus anderen Gründen nicht mehr relevant sind.

Fn1 Abstimmung Dimensionierung der Holzfeuerungen auf Wärmebedarf: Die Erfolgskontrolle erfolgt über einen in der Anlage eingebauten Zähler, welcher bei der periodischen Abgaskontrolle alle zwei Jahre abgelesen wird. Dies führt dazu,

dass es bei gewissen Anlagen, die über keinen Zähler verfügen, bis zu vier Jahre dauern kann bis auswertbare Daten vorliegen. Aus diesem Grund hat sich die Umsetzung bei den bestehenden Anlagen etwas verzögert. Die Massnahme sollte bei einer Sanierungsfrist von vier Jahren bis Ende 2026 umgesetzt sein. Es kommt hinzu, dass seit 2018 für diese Anlagen in der LRV ein minimales Wärmespeichervolumen vorgegeben wird, was den Vollzug weiter erleichtert, da diese Vorgabe die Dimensionierung der Anlage vereinfacht.

Fn2 CO-Grenzwert für Holzfeuerungen: Mit dieser Massnahme wurde bei kleinen Holzfeuerungen eine Emissionsmessung eingeführt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde bei kleinen Holzfeuerungen alle zwei Jahre nur eine optische Kontrolle der Anlagen durchgeführt. Bei Bedarf wurde die Asche kontrolliert und die Anlagenbetreiber bezüglich eines optimalen Betriebes ihrer Feuerung beraten. Während einige Gemeinden den Messbetrieb rasch umsetzen konnten, hat es bei anderen aufgrund der umfangreichen Vorbereitungsmaßnahmen (z.B. Update Kataster, Messausbildung Kontrolleure, Anschaffung von Messgeräten) länger gedauert. Obwohl inzwischen überall die Voraussetzungen für den Messbetrieb geschaffen wurden, ist die vollständige Umsetzung erst im 2026 zu erwarten.

In der LRV wird seit 2018 schweizweit alle vier Jahre eine CO-Messung für diese Anlagen vorgegeben. Beim Messintervall des Kantons Zürich (alle zwei Jahre) handelt es sich also um eine Verschärfung der LRV. Die Wirkung der Massnahme liegt im Bereich der Abschätzungen und wird weitergeführt.

4.5. Sektor Industrie und Gewerbe

| Nr. | Bezeichnung / Massnahme | Umsetzung / Wirkung |
|----------------------|---|--|
| IGn1 (neu) | Emissionsreduktion bei Maschinen und Geräten (Antrag an Bund) Gleiche Anforderungen für dieselbetriebene Maschinen und Geräte ab 18 kW wie für Baumaschinen auf Baustellen, unabhängig von ihrem Einsatzgebiet. | umgesetzt Der Vollzug im Kanton Zürich wurde angepasst, insbesondere bei Maschinen und Geräten in Kiesgruben und Recycling-Anlagen. Nachrüstungen und Ersatzkäufe sind weitgehend abgeschlossen. |
| IGn2 (neu) | Emissionsvorschriften für Gastrocknungsanlagen Verschärfter Emissionsgrenzwert für staubförmige Emissionen. | umgesetzt Die Emissionsvorschriften wurden gemäss dem in Deutschland aktuellen Stand der Technik angepasst, d.h. der Emissionsgrenzwert der LRV wurde halbiert. |
| IG3 | Verwendung umweltverträglicher Verfahren und Mittel für den Oberflächenschutz | umgesetzt Wurde durch eine Meldepflicht ergänzt und muss weitergeführt werden. |

Änderung der bestehenden Massnahme: Einführung einer Meldepflicht für Korrosionsschutzarbeiten im Freien, Ausdehnung der Regelung auf asbesthaltige Altbeschichtungen.

IG4c Gasdichtes Lager- und Verteilsystem umgesetzt

für flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Wurde für gasdichte VOC-Lager vollzugstechnisch aktualisiert und muss weitergeführt werden.

Änderung der bestehenden Massnahme: Aktualisierung der Massnahme aufgrund der im Jahr 2012 aktualisierten Empfehlung Nr. 22 des Cercl'air, Festsetzung einer Sanierungsfrist von drei Jahren.

Ergänzende Informationen

Die Massnahmen IG2 Reduktion von VOC-Emissionen in Betrieben und IG4 Gasdichtes Lager- und Verteilsystem für flüchtige organische Verbindungen a) – b), welche 2016 bereits umgesetzt waren und ihre volle Wirkung entfalteteten, müssen zwecks Aufrechterhaltung ihrer Wirkung weitergeführt werden. Sie können abgeschrieben werden, wenn die Vorgaben entweder in die LRV übernommen werden oder aus anderen Gründen nicht mehr relevant sind.

IGN1 Emissionsreduktion bei Maschinen und Geräten (Antrag an Bund):

Hierbei handelte es sich um die Grundlage einer Partikelpflicht für Baumaschinen unabhängig von ihrem Einsatzort. Der Bundesrat wies in seiner Antwort auf den Antrag des RR (RRB 525/2016) darauf hin, dass die beantragten Vorgaben ab Juli 2016 EU-weit vorgegeben und je nach Motorenleistung ab 2019 greifen würden.

IGN2 Emissionsvorschriften für Grastrocknungsanlagen:

Es werden nur noch in vereinzelt Anlagen regelmässig Grastrocknungen durchgeführt. Bei den meisten Anlagen wurde der Betrieb eingestellt oder auf andere Produkte und Verfahren umgestellt.

5. Fazit und Ausblick

5.1. Immissionen

Bei der Luftbelastung wurden in den letzten zwei Jahrzehnten Verbesserungen erzielt. Insbesondere die Belastung durch Feinstaub PM_{10} liegt mittlerweile unterhalb des IGW. Auch die Belastung durch Feinstaub $PM_{2.5}$ und NO_2 hat sich verbessert. Sie liegt heutzutage teilweise oberhalb bzw. teilweise unterhalb der IGW. Es lassen sich geringere Verbesserungen bei der Belastung durch hohe O_3 Konzentrationen feststellen, wobei die Belastung heutzutage weiterhin flächendeckend deutlich über dem IGW liegt. Schädliche Einwirkungen auf die Vegetation durch zu hohe NH_3 -Konzentrationen treten fast überall im Kanton Zürich auf. Ebenso sind die Stickstoffeinträge in allen empfindlichen Ökosystemen höher als die entsprechenden CLN und übertreffen diese grösstenteils deutlich.

Dementsprechend sind heutzutage die Immissionen im Sinne der LRV bezogen auf die Belastung durch NH_3 , Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme und O_3 flächendeckend übermässig. Für die Belastung durch Feinstaub $PM_{2.5}$ und NO_2 sind sie, je nach Ort und Zeit, teilweise übermässig. Bei Feinstaub PM_{10} haben die Verbesserungen dazu geführt, dass keine Übermässigkeit mehr festzustellen ist.

Im Fall der Luftbelastung durch krebserregenden Russ im Feinstaub (eBC) wurden deutliche Verbesserungen erzielt, jedoch wird der Zielwert der EKL noch flächendeckend überschritten

Die Exposition der Bevölkerung mit Luftschadstoffen hat aufgrund von Verbesserungen der Luftbelastung abgenommen. Sie ist jedoch noch nicht überall ausreichend niedrig, so dass im Jahr 2021 noch maximal 1.2 % der Bevölkerung im Kanton Zürich Immissionen von Feinstaub $PM_{2.5}$ ausgesetzt war, welche den IGW überschritten haben. Bei der Belastung durch NO_2 war dies für maximal 1.7 % der Bevölkerung der Fall. Bei den weiteren Schadstoffen, welche flächendeckend die IGW bzw. CLE und CLN überschreiten (O_3 , NH_3 , Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme), sind alle Einwohner und Einwohnerinnen bzw. alle naturnahe Vegetation und empfindlichen Ökosysteme von zu hoher Luftbelastung betroffen.

Gemäss dem aktuellen Stand der Wissenschaft (den AQG '21 Richtwerte der WHO) treten bei der heutigen Luftbelastung auch unterhalb der momentan in der Schweiz gültigen IGW negative Gesundheitsauswirkungen auf, vor allem durch Feinstaub $PM_{2.5}$ und NO_2 . Gegenwärtig berät sich die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene EKL, um dem Bundesrat einen Vorschlag zur Anpassung der IGW in der LRV zu unterbreiten. Je nachdem, was der Bundesrat diesbezüglich in der LRV als IGW verankert, würde sich die zukünftige Beurteilung der Übermässigkeit der Immissionen deutlich verschlechtern.

5.2. Massnahmen: Umsetzungsstand und Handlungsbedarf

Viele Massnahmen des Massnahmenplans 2016 konnten bereits umgesetzt werden oder sind in Umsetzung. In gewissen Bereichen, wie beispielsweise bei Feuerungen und Industrie und Gewerbe, tritt die erwartete Wirkung aus vollzugstechnischen Gründen verzögert ein.

Für die flächendeckende Einhaltung der IGW von NO₂ und Feinstaub PM_{2.5} braucht es weitere Emissionsreduktionen, insbesondere im Bereich Verkehr.

Für die Reduktion der Russ (eBC) im Feinstaub als kanzerogene Substanz ist generell ein Minimierungsgebot gegeben. Zur Einhaltung des Zielwertes der EKL bedarf es weiterer Emissionsminderungen beim Verkehr und vor allem bei Holzfeuerungen.

Die sommerliche Belastung durch hohe O₃-Konzentrationen wird nicht nur durch die Emissionen der Vorläufersubstanzen im Kanton Zürich beeinflusst. Die weiträumige Verfrachtung von O₃, welches in anderen Weltregionen gebildet wurde, sowie Transport aus der stratosphärischen Ozonschicht spielt ebenso eine grosse Rolle, wie der Einfluss der Witterung auf die Ozonbildung. Daher müssen für eine Verbesserung weitere Emissionsminderungen der Vorläufersubstanzen von O₃ über die regionale, nationale als auch internationale Ebene erreicht werden. Zudem trägt die komplexe Chemie der Ozonbildung dazu bei, dass sich Emissionsreduktionen nicht 1:1 in einer Minderung der O₃-Belastung niederschlagen.

Für die Einhaltung der CLN in empfindlichen Ökosystemen und CLE für NH₃ sind weitere substantielle NH₃-Emissionsreduktionen im Bereich der landwirtschaftlichen Tierhaltung notwendig und ein kantonaler Massnahmenplan zur Minderung der NH₃-Emissionen ist gegenwärtig in Erarbeitung (vgl. Abschnitt 5.3).

Je nachdem, in welchem Umfang der Bundesrat den aktuellen Wissensstand zu Gesundheitswirkungen von Luftschadstoffen, d.h. die Richtwerte aus den AQG '21 der WHO, in IGW der LRV überführt, wird sich der Handlungsbedarf zur Senkung der Luftbelastung erhöhen (vgl. Abschnitt 2.3.2 und 5.1).

5.3. Massnahmenplan Ammoniak

Mit Annahme der Postulate 7/2019 «Umweltbericht: Reduktion der Ammoniakemissionen» und 381/2019 «Überhöhte Stickstoffeinträge reduzieren» hat der Regierungsrat sich verpflichtet einen Massnahmenplan Ammoniak zu erarbeiten und bis Anfang 2024 zur Umsetzung vorzulegen. Dieser Teil-Massnahmenplan wird gegenwärtig ausgearbeitet und stellt eine wichtige Weiterentwicklung des bestehenden Massnahmenplans Luft dar. Die Ziellücke kann demnach wesentlich verkleinert werden. Weitere nationale und allfällige kantonale Massnahmen sollen die Lücke zu einem späteren Zeitpunkt komplett schliessen, damit der fortschreitende Abbau der Artenvielfalt nicht nur verlangsamt, sondern weitgehend gestoppt werden kann.

5.4. Synergien zu weiteren Entwicklungen

Mit den Bestrebungen der Dekarbonisierung der Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft und dem Netto-Null-Ziel werden die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger zu einem grossen Teil reduziert werden. Abgas-Emissionen von Luftschadstoffen sind ein wesentlicher Treiber für Luftverschmutzung. Die bereits begonnene Elektrifizierung der Fahrzeugflotte wird weiter fortschreiten und lokal zu einer deutlichen Verringerung der Luftbelastung führen. Mit dem Netto-Null-Ziel einher gehen auch Bestrebungen, die Ernährung der Bevölkerung klimaverträglicher zu gestalten, was der Luftqualität zugutekommen würde.

5.5. Empfehlungen

Die heutige Belastungssituation verpflichtet den Kanton Zürich zur Weiterführung der Massnahmenplanung. Aus diesem Grund sollen die bestehenden Massnahmen aufrechterhalten und der Stand der Technik in der Luftreinhaltung, wo möglich und sinnvoll, im Rahmen des ordentlichen Vollzuges weiterentwickelt und angewendet werden. Es gilt die Luftqualität in Bezug auf die NO₂-Belastung, aber auch auf Feinstaub und krebserregende Russpartikel, weiter zu verbessern.

Zudem ist eine starke Verminderung der NH₃-Emissionen notwendig, um die übermässige Belastung der Vegetation durch NH₃ und von empfindlichen Ökosystemen durch Stickstoffeinträge zu vermeiden. Der entsprechende Massnahmenplan Ammoniak ist in Erarbeitung und wird bis Anfang 2024 zur Umsetzung vorliegen. Der bestehende Massnahmenplan 2016 soll demnach bis und mit 2025 bestehen bleiben. Zwischenzeitlich sind Synergien zwischen der Luftreinhaltung und dem zunehmenden Klimaschutz zu nutzen und Zielkonflikte zu minimieren. So sollen Massnahmen zur Substitution fossiler Energieträger und tierischer Produkte in der Ernährung im Rahmen der Umsetzung des Netto-Null-Zieles unterstützt und wo möglich lufthygienisch optimiert werden, beispielsweise im Bereich von Holzfeuerungen oder Biogasanlagen.

Bis zu diesem Zeitpunkt dürfte auch geklärt sein, wie der Bund mit den aktualisierten WHO-Richtwerten umgeht, welche Massnahmen er in der LRV dazu festlegt und welche Handlungsfelder sich auf kantonaler Ebene ergeben.

Anhang

Methodisches

Emissionsbilanzen

Die Daten für die dargestellten Emissionsbilanzen stammen aus dem Emissionsinformationssystem der Schweiz ([EMIS](#)). In diesem Emissionsinventar werden die Emissionen der verschiedenen Quellen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen vom BAFU oder in dessen Auftrag erhoben, in einer Datenbank gesammelt und für die beiden jährlichen Datensubmissionen (Luftschadstoffe: «[Switzerland's Informative Inventory Report](#)», Treibhausgase: «[Switzerland's Greenhouse Gas Inventory](#)») zuhanden der internationalen Konventionen und für nationale Bedürfnisse zusammengestellt.

Die aufgeführten Emissionsbilanzen basieren für das Jahr 2015 auf den schweizerischen Emissionen 2015, für die Jahre 2020 und 2030 auf Emissionsszenarien aus dem Bericht [IIR 2019](#). Die Emissionsdaten für den Kanton Zürich stehen unter dem Titel «[Luftschadstoffemissionen im Kanton Zürich](#)» zudem als Open Government Data zur freien Verfügung.

Immissionskarten

Für die Modellierung der Immissionskarten der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid, Russ und Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} mittels [PolluMap](#) wird eine räumliche Aufschlüsselung der Emissionen auf das Hektarraster benötigt. Diese Methodik für die räumliche Umlegung der nationalen Emissionen auf die Hektare wurde in einem Projekt (BAFU/OST-LUFT) auf weitere Luftschadstoffe und Klimagase angewendet. Das detaillierte Vorgehen ist in der BAFU-Publikation «[Emissionskataster Schweiz 2015 Treibhausgase und Luftschadstoffe](#)» dokumentiert.

Expositionsrechnung

Die Belastungskarten liegen in einer variablen räumlichen Auflösung von 100 x 100 m bis zu 20 x 20 m vor, die Einwohnerzahlen ausschliesslich für ein Raster von 100 x 100 m. Zudem bilden die Belastungskarten punktuelle Spitzenbelastungen aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der realen Belastungen zum Teil ungenau ab. Somit ist die Zuweisung der Belastung auf die Anzahl Einwohner im Kanton Zürich mit methodischen Ungenauigkeiten behaftet. Diesem Sachverhalt wird mit folgendem Vorgehen Rechnung getragen: Bei der Zuweisung von Belastung und Bevölkerung muss die räumliche Auflösung der Belastungskarten überall auf die 100 x 100 m Auflösung der Einwohnerzahlen aggregiert werden. Dadurch ergibt sich für viele Rasterzellen eine minimale, mittlere und maximale Exposition. Diese Bandbreite wird in Abschnitt 2.3.3 berücksichtigt, weil sie wahrscheinlich den Grossteil der Unsicherheiten bei der Expositionsrechnung abdeckt. Weil lokale Spitzenbelastungen in den Belastungskarten tendenziell unterrepräsentiert sind, ist die Exposition im Bereich des Maximalwertes eher wahrscheinlich als im Bereich des Minimalwertes. Im Fall der Exposition von empfindlichen Ökosystemen durch Stickstoffeinträge aus der Luft liegt die Kartengrundlage des BAFU im Raster von 1 x 1 km für das Jahr 2020 vor und wurde direkt für den Kanton Zürich ausgewertet.

Belastungskarten

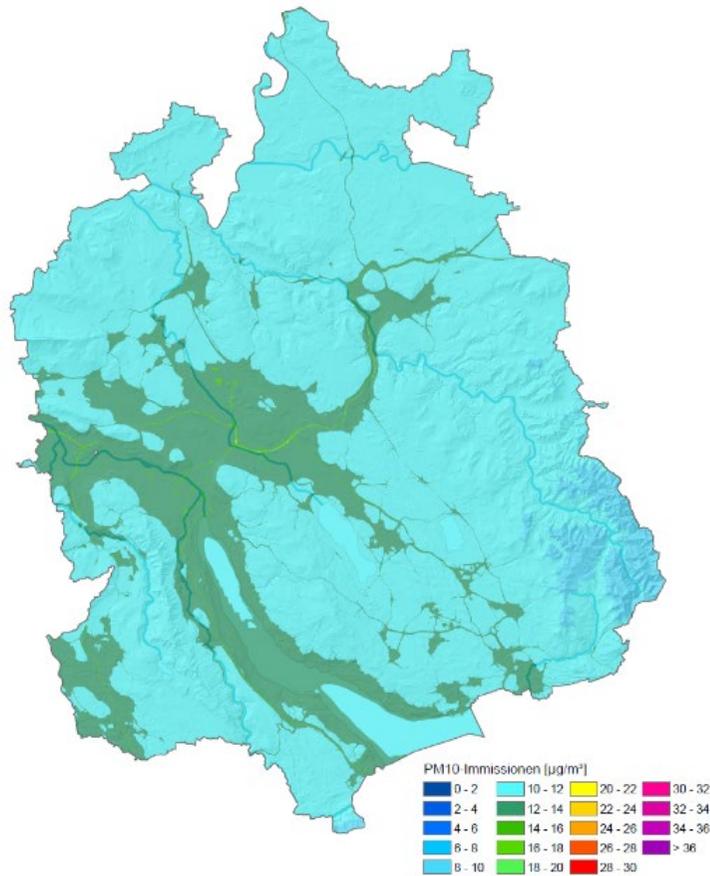


Abbildung 15: Karte der Immissionen von Feinstaub PM_{10} für das Jahr 2021 (JMW).

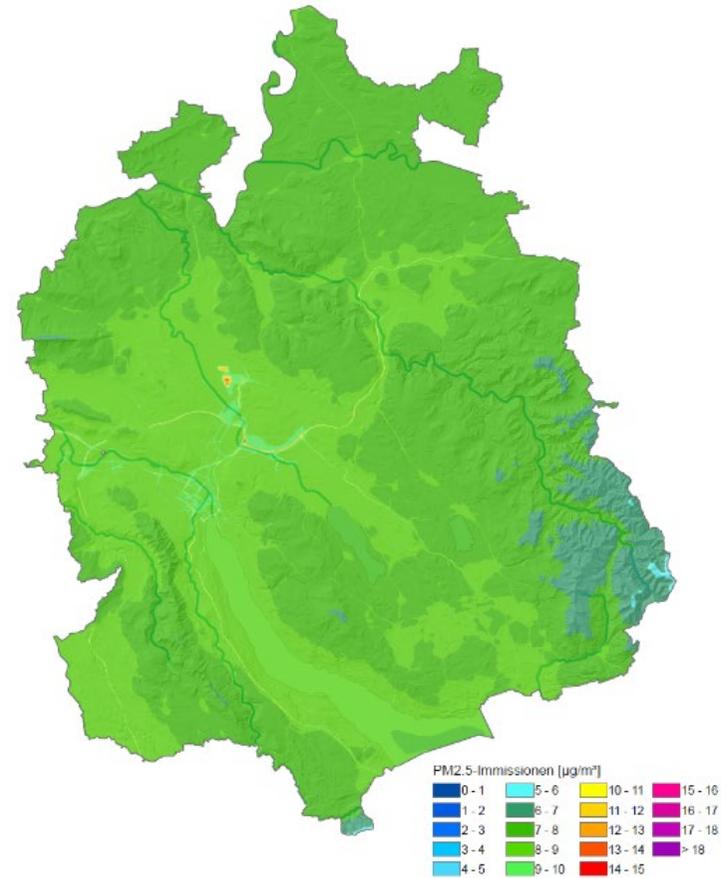


Abbildung 16: Karte der Immissionen von Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$ für das Jahr 2021 (JMW).

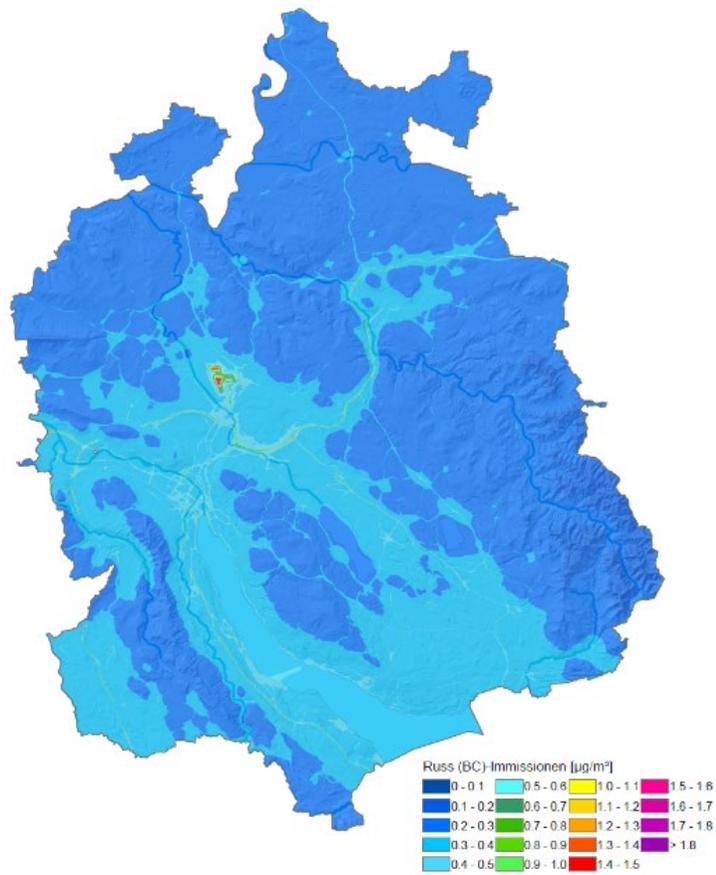


Abbildung 17: Karte der Immissionen von Russ im Feinstaub eBC für das Jahr 2021 (JMW).

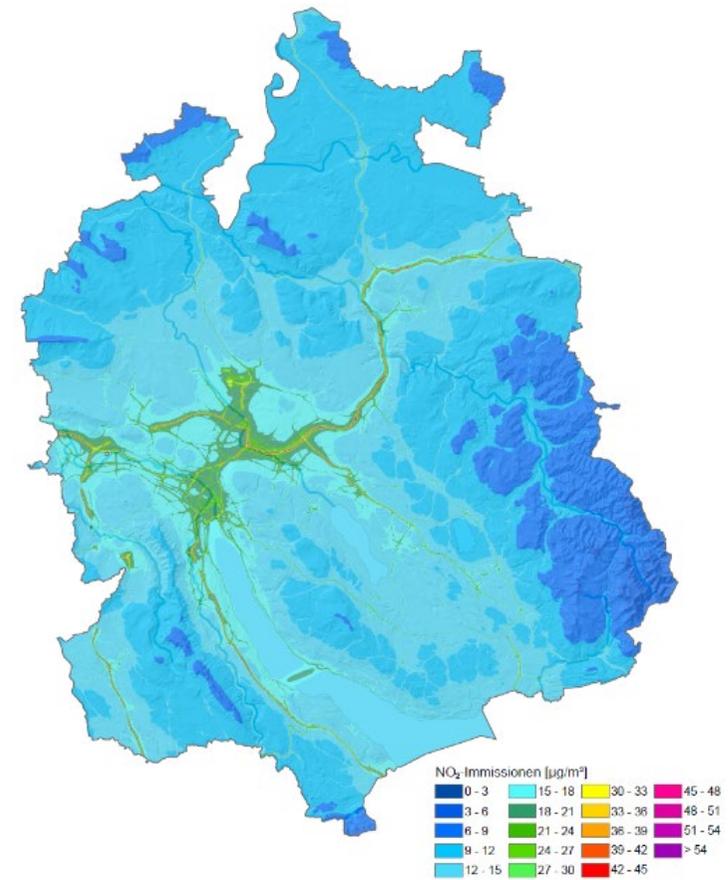


Abbildung 18: Karte der Immissionen von NO₂ für das Jahr 2021 (JMW).

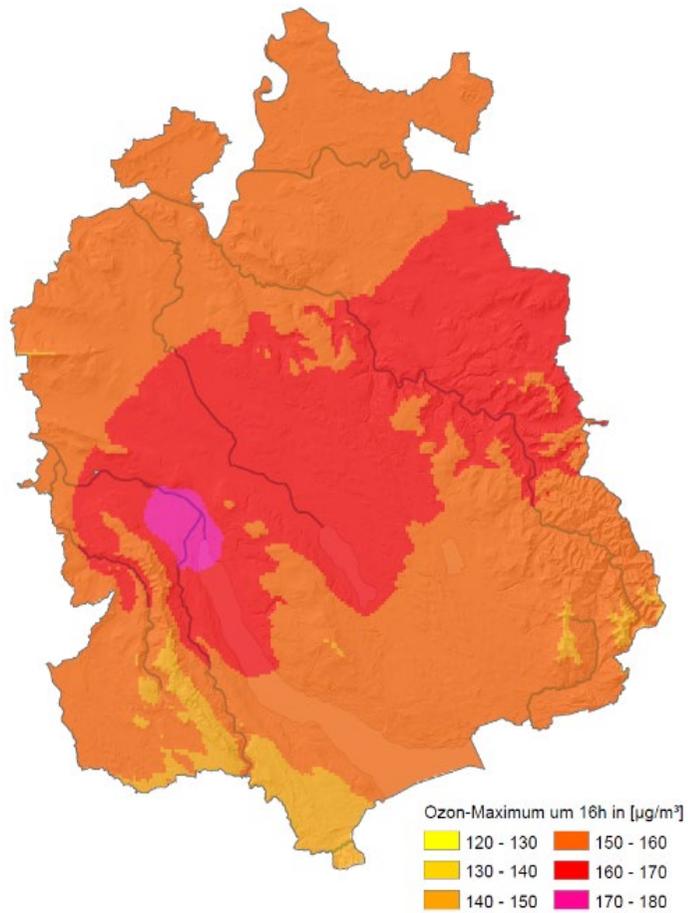


Abbildung 19: Karte der maximalen Stundenmittel-Konzentration von O₃ (um 16:00 Uhr, was ungefähr der höchsten Konzentration pro Tag entspricht) für das Jahr 2021.

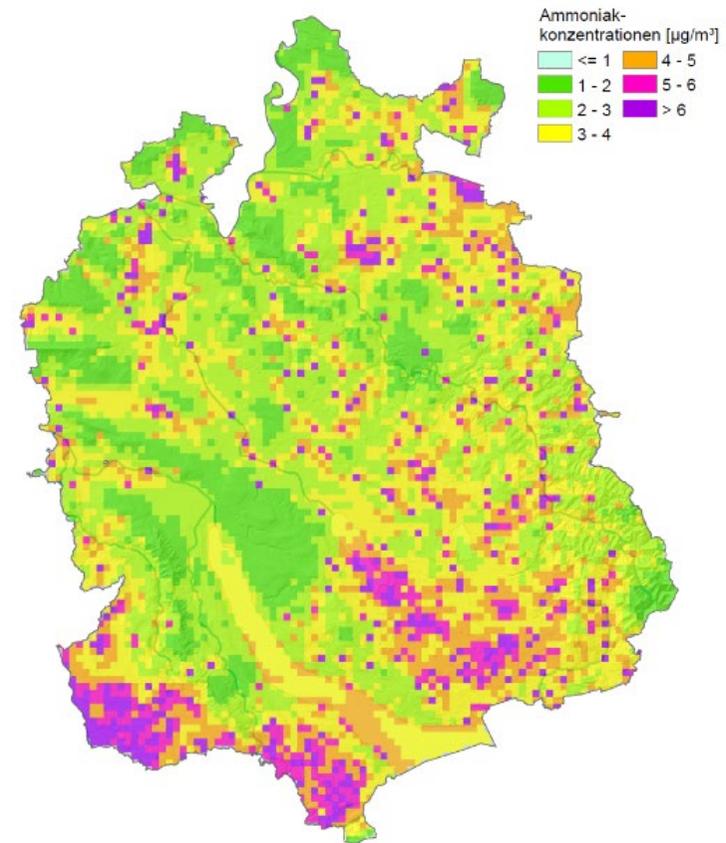


Abbildung 20: Karte der NH₃-Konzentrationen für das Jahr 2020 (JMW).

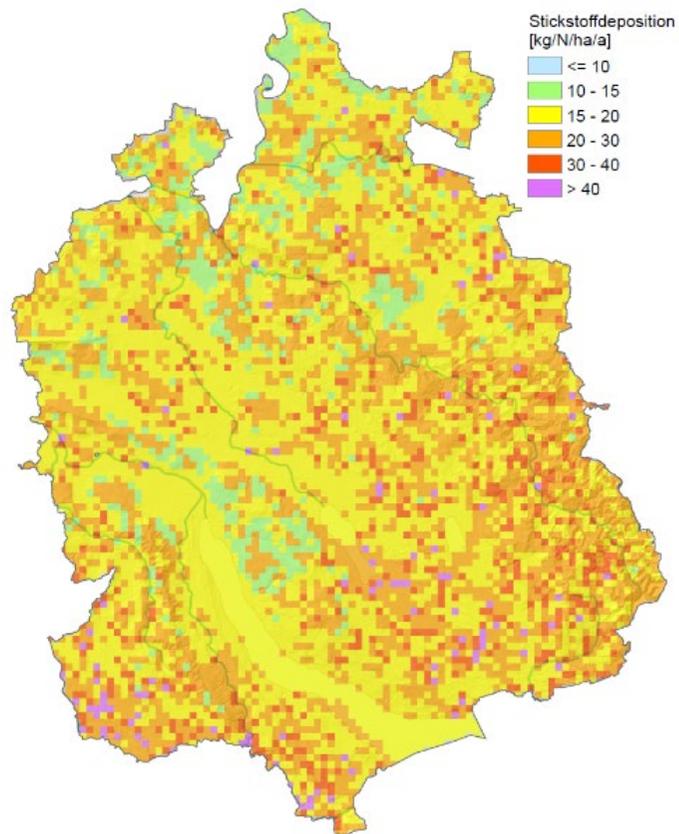


Abbildung 21: Karte der Stickstoffdeposition im Jahr 2020 (Jahressumme).

Expositionsverteilung

In Abbildung 22 ist die aufsummierte Anzahl der Einwohner ersichtlich (y-Achse), die eine Luftbelastungen ober- bzw. unterhalb einer bestimmten Konzentration (x-Achse) erfahren haben³⁸. So waren gemäss Expositionsrechnung 0 bis 1.7% (Bandbreite des Unsicherheitsbereiches) aller Einwohner, bzw. 0 bis 26'800 Personen einer NO₂-Belastung oberhalb des IGW ausgesetzt. Aufgrund der Luftqualitätsmessungen (siehe Abschnitt 2.2.4) weiss man, dass an einigen Standorten NO₂ JMW oberhalb der IGW gemessen wurden, so dass die Realität wahrscheinlich eher bei dem «pessimistischen» Wert des Unsicherheitsbereiches anzusiedeln ist. In Abbildung 22 lassen sich die Expositionszahlen auch unter Berücksichtigung der AQQ '21 Richtwerte ablesen.

Empfindliche Ökosysteme wurden an allen Flächen im Kanton Zürich im Jahr 2020 durch zu hohe Stickstoffeinträge aus der Luft belastet (Abbildung 23, siehe auch Abschnitt 2.2.6). Die CLN wurden an allen Hochmoor-Flächen um rund 14 bis 40 kg/N/ha/Jahr überschritten. An rund 80% aller Flachmoore überstiegen die Stickstoffeinträge die CLN um mehr als 10 kg/N/ha/Jahr. Rund 50% aller Waldflächen waren um mehr als 10 kg/N/ha/Jahr zu hoch belastet. Viele Trockenwiesen und -weiden vertragen etwas mehr Stickstoff als die anderen empfindlichen Ökosysteme. Trotzdem waren alle Flächen von zu hohen Stickstoffeinträgen betroffen, rund 10% um mehr als 10 kg/N/ha/Jahr.

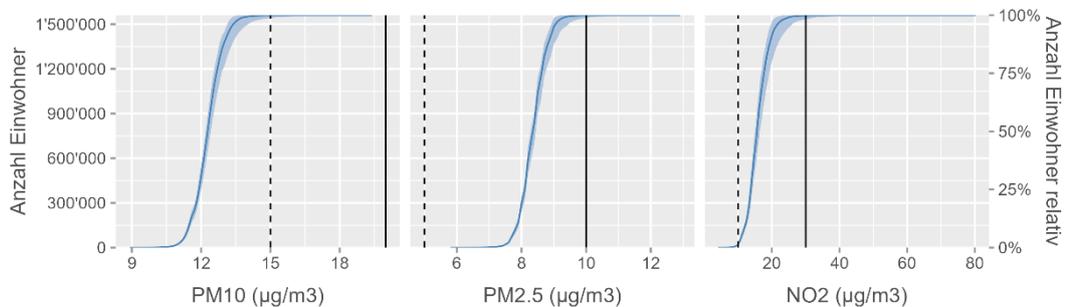


Abbildung 22: Exposition der Bevölkerung im Kanton Zürich (kumulierte Verteilung) durch Immissionen (JMW 2021) von Feinstaub PM₁₀ und PM_{2.5} sowie NO₂; blau: Bandbreite gemäss methodischer Unsicherheit inkl. Mittelwert (blaue Linie); vertikale schwarze Linien = IGW (durchgezogen) sowie Richtwert der AQQ '21 (gestrichelt); Datengrundlage: Luftschadstoffkarten (vergleiche Belastungskarten) und Bevölkerungsstatistik im Hektarraster.

³⁸ Ein Lesebeispiel zur Abbildung: Die kumulierte Kurve zeigt die Summe aller Einwohner und Einwohnerinnen (y-Achse), die einer Konzentration unter- bzw. oberhalb eines bestimmten Wertes (x-Achse) ausgesetzt sind. Zum Beispiel kann man so ablesen, dass die Hälfte aller Personen (50% der Einwohner bzw. in der Mitte der y-Achse) PM₁₀ Konzentrationen von weniger als ca. 12.3 µg/m³ ausgesetzt waren (d.h., wenn man bei 50% Einwohner auf die kumulierte Kurve trifft und senkrecht nach unten gehend die entsprechende PM₁₀-Konzentration auf der x-Achse abliest).

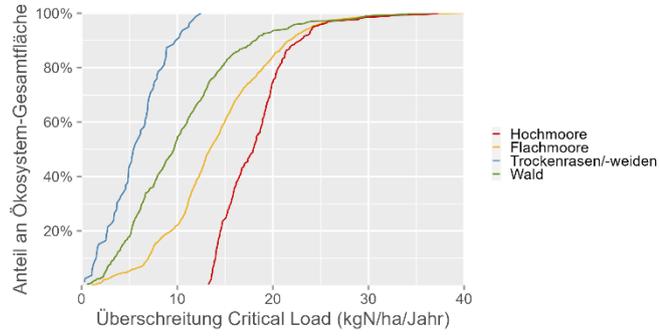


Abbildung 23: Anteile empfindlicher Ökosysteme im Kanton Zürich (kumulierte Verteilung), an welchen die jeweiligen CLN im Jahr 2020 durch Stickstoffeinträge aus der Luft überschritten wurden; Datengrundlage BAFU (vergleiche Belastungskarte).