

Luftgüte

Messungen mit NO₂-Passivsammlern in Tirol
Bericht für die Jahre 2020 bis 2023

Impressum

Amt der Tiroler Landesregierung

Abteilung Waldschutz

Bürgerstraße 36, 6020 Innsbruck

Email: waldschutz@tirol.gv.at

www.tirol.gv.at/umwelt/luftqualitaet/

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Einleitung	6
2 Stickstoffdioxid - NO₂	7
2.1 Quellen und Senken.....	7
2.2 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Vegetation.....	7
2.3 Festgelegte Grenzwerte.....	8
3 Messmethode	9
3.1 Passivsammler.....	9
3.2 Qualitätssicherung der Messungen.....	10
3.3 Messstandorte.....	12
4 Messergebnisse	14
4.1 Jahresmittelwerte an autobahnnahen Messstandorten	14
4.2 Jahresmittelwerte an expositionsrelevanten Messstandorten	14
4.3 Räumlich-Zeitliche Darstellung der Messergebnisse.....	17
5 Schlussfolgerungen	19
6 Anhang.....	20
7 Referenzen	23

Zusammenfassung

Um die Beurteilung der Immissionslage von Stickstoffdioxid (NO₂) in Tirol noch weiter zu verbessern, wurde im Jahr 2018 ein Messnetz von NO₂-Passivsammlern eingerichtet. Dieses ergänzt seither die vollautomatischen Messungen des Tiroler Luftgütemessnetzes und liefert zusätzliche Informationen zur NO₂-Belastung an verkehrsbelasteten Abschnitten der Tiroler Autobahnen und Bundesstraßen sowie in expositionsrelevanten Siedlungsräumen.

Passivsammler basieren auf dem Prinzip der Diffusion und binden atmosphärisches NO₂ als Nitrit-Ion an ein Absorptionsmedium. Da bei der Messung keine aktive Belüftung des Absorptionsmedium vonnöten ist, spricht man von einem passiven Messprinzip. Durch die laboratorische Analyse des Mediums nach der Probennahme kann die Masse der Nitrit-Ionen bestimmt und somit auf die NO₂-Konzentration in der Atmosphäre geschlossen werden. NO₂-Passivsammler sind leicht, klein, kostengünstig und benötigen keinen Stromanschluss. Damit sind sie vielseitig und flexibel einsetzbar.

In diesem Bericht werden die Messergebnisse von NO₂-Passivsammlern in Tirol in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 zusammengefasst. In den Jahren 2020 und 2021 stand die Erfassung der Belastung entlang der Autobahnen A12 und A13 sowie im Siedlungsraum Innsbruck im Fokus. 2022 wurde ein weiteres Augenmerk auf die Belastungsverhältnisse in den Siedlungsgebieten von Kitzbühel und St. Johann gelegt. Im Jahr 2023 verlegte man die dortige Probennahme an immissionsrelevante Punkte im Zillertal und im Großraum Innsbruck.

Die Ergebnisse zeigen eine Abnahme der NO₂-Konzentration über den gesamten Messzeitraum an den Messstellen entlang der Autobahnen A12 und A13, sodass 2023 der Grenzwert nach Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) inkl. Toleranzmarge (35 µg/m³) wie schon 2022 an allen Messstandorten mit Ausnahme der Messstation Ampass A12 eingehalten werden konnte. Dieser ausgeprägte Rückgang der NO₂-Belastung kann einerseits auf die Einschränkungen der COVID-19 Pandemie in den Jahren 2020 und 2021 (geringeres Verkehrsaufkommen, geringere Emissionen aus Produktionsprozessen), und andererseits auf die emissionsmindernden Maßnahmen wie zum Beispiel Tempolimits, Fahrverbote, den Einsatz schadstoffärmerer Fahrzeuge oder Softwareupdates und die Erneuerung der Fahrzeugflotte, zurückgeführt werden. Erfreulicherweise konnte in den Jahren 2020 bis 2023 auch an allen expositionsrelevanten Probenahmeorten der Grenzwert nach IG-L inkl. Toleranzmarge eingehalten werden.

Der derzeit vorgeschlagene Grenzwert für den NO₂-Jahresmittelwert von 20 µg/m³ im Entwurf der überarbeiteten Luftqualitätsrichtlinie der Europäischen Union wurde im Messzeitraum allerdings nur an sehr wenigen Messstandorten unterschritten. Der Richtwert für den NO₂-Jahresmittelwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 10 µg/m³ konnte 2020 bis 2023 gar nur am Standort Kirchberg Weinberg des Passivsammlermessnetzes eingehalten werden.

1 Einleitung

Ziel der Luftqualitätsgesetzgebung und Luftgüteüberwachung ist der Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt im Allgemeinen. Die europäische Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft in Europa (2008/50/EU) und die österreichische Gesetzgebung (Immissionsschutzgesetz–Luft IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997, zuletzt geändert durch das Gesetz BGBl. I Nr. 73/2018) verlangen eine Beurteilung der Luftqualität im gesamten österreichischen Staatsgebiet bzw. in den darin festgelegten Ballungsräumen und Untersuchungsgebieten. Zu diesem Zweck sind qualitativ hochwertige Messung mit zeitlicher Abdeckung über das Kalenderjahr an einem festen Punkt – eine sogenannte „ortsfeste Messung“ nach dem Referenzverfahren. Daneben kann aber auch der Einsatz anderer Methoden, wie beispielsweise Modellrechnungen oder orientierenden Messungen, zweckmäßig sein, um zusätzliche Informationen, wie etwa über mögliche weitere Belastungsschwerpunkte zu erhalten, die dann gegebenenfalls mit noch genaueren Methoden, also ortsfesten Messungen, untersucht werden können.

Passivsammler stellen eine Möglichkeit für orientierende Messungen von NO₂ dar. Sie sind kostengünstig und einfach handzuhaben, sodass Messungen mit verhältnismäßig geringem Aufwand an einer größeren Zahl von Messorten durchgeführt werden können. Dadurch ist es möglich, auch kleinräumige Unterschiede der Luftbelastung zu erfassen, wie sie zum Beispiel im Umfeld stark befahrener Straßen typisch sind. Studien, die sich mit Vergleichen von Passivsammlern und kontinuierlichen Standardmessungen befassen, zeigen, dass die Passivsammlermessergebnisse für orientierende Messungen gut geeignet sind und mit den Langzeitwerten wie dem Jahresmittelwert eine sehr hohe Übereinstimmung erreichen können (vgl. bspw. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2021).

Aufgrund von Verkehrszusammensetzung, Verkehrsaufkommen und Fahrgeschwindigkeitsbeschränkungen können NO₂-Belastungen auf einzelnen Tiroler Straßenabschnitten sehr unterschiedlich ausfallen. Um die reale Belastungssituation an den Autobahnen A12 und A13 sowie in expositionsrelevanten Siedlungsräumen im Tiroler Unter- und Oberland zu überprüfen, werden seit 2018 NO₂-Passivsammler im Tiroler Luftgütemessnetz verwendet. Ziele der Messungen sind,

1. die Bestimmung der NO₂-Belastung an verschiedenen Autobahn- und Bundesstraßenabschnitten in Tirol, welche durch unterschiedliche Verkehrscharakteristika und Fahrgeschwindigkeiten geprägt sind. Zur Erfassung der Unterschiede dieser Straßenabschnitte werden die Messungen in einem möglichst geringen Abstand zur Fahrbahn durchgeführt.
2. die Untersuchung der NO₂-Belastung in Siedlungsbereichen bzw. Wohngebieten, welche sich unterschiedlich stark im Einflussbereich von Straßenverkehr, eines Gewerbes oder des Flughafens in Innsbruck befinden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden jährlich Messungen an bis zu 30 unterschiedlichen Standorten in Tirol durchgeführt und die Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen gebildet. Der [Passivsammler-Jahresbericht für das Jahr 2019](#) ist auf der Homepage des Amtes der Tiroler Landesregierung abrufbar. Der vorliegende Bericht beinhaltet die Entwicklung der NO₂-Belastung in den Jahren 2020 bis 2023 (also auch den Zeitraum während der COVID-19 Pandemie ab 11. März 2020) und ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Charakteristika des Spurengases NO₂ und über die Definition von Grenzwerten „zum Schutz der menschlichen Gesundheit“ und „zum Schutz von Ökosystemen und der Vegetation“. Kapitel 3 beschreibt die Messmethode, die Messstandorte, sowie die Qualitätssicherung der Daten. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert, bevor in Kapitel 5 Schlussfolgerungen gezogen werden.

2 Stickstoffdioxid - NO₂

Stickstoffdioxid ist ein nicht brennbares, stechend riechendes Gas, welches sich aus einem Stickstoffatom und zwei Sauerstoffatomen zusammensetzt. Es hat eine rotbraune Farbe und wirkt stark oxidierend sowie korrosiv. Neben seiner Wirkung auf die Qualität unserer Außenluft spielt es auch als Vorläufersubstanz für die Bildung von gesundheitsschädlichem Feinstaub und von bodennahem Ozon (O₃) eine bedeutende Rolle.

2.1 Quellen und Senken

In bodennahen Luftschichten wird NO₂ hauptsächlich durch Oxidation von Stickstoffmonoxid (NO) gebildet. NO entsteht wiederum vorrangig aus atmosphärischem Stickstoff (N) und Sauerstoff (O₂) bei Temperaturen größer 1000°C. Solch hohe Temperaturen werden vor allem bei Verbrennungsprozessen erreicht. Aus diesem Grund sind die größten Quellen für NO₂ in der Atmosphäre anthropogenen und bodennahen Ursprungs. Sie umfassen vor allem Verbrennungsprozesse in Industrie und Verkehr. Dieselmotoren sind hierbei wesentlich stärkere Emittenten als Ottomotoren. Da Dieselmotoren mit mehr Luftzufuhr als Ottomotoren arbeiten, entstehen beim Verbrennungsprozess auch mehr Stickoxide. Natürliche Emissionen tragen einen viel kleineren Anteil zur atmosphärischen NO₂-Konzentration bei als anthropogene (~10% vs. ~90%). Sie finden beispielsweise bei mikrobiologischen Reaktionen in Böden, durch Blitzschläge oder infolge von Vulkanausbrüchen statt.

NO₂ selbst wird nur eingeschränkt durch Regen aus der Atmosphäre gewaschen. Allerdings kann NO₂ in der Luft zu Salpetersäure (HNO₃) reagieren und auf diesem Wege die Atmosphäre verlassen. Des Weiteren kann NO₂ durch den Einfluss des Sonnenlichtes in NO und atomaren Sauerstoff (O) gespalten werden. Der atomare Sauerstoff kann anschließend mit O₂ zu Ozon (O₃) reagieren.

2.2 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Vegetation

NO₂ wird durch das respiratorische System des Menschen aufgenommen. Bei kurzfristig hoher Exposition, z. B. an stark befahrenen Straßen oder in Fahrzeugen selbst, können besonders bei Kleinkindern, älteren Menschen oder Personen mit Atemwegserkrankungen akute Reizwirkungen auftreten. Husten und eine kurzzeitige Verschlechterung der Lungenfunktion können die Folge sein, wobei in diesen Fällen nicht davon ausgegangen wird, dass ärztliche Hilfe in Anspruch genommen werden muss. Erst bei anhaltender Reizwirkung und dem damit assoziierten oxidativen Stress resultieren entzündliche Prozesse, die auch in anderen Organen schädigende Wirkungen entfalten können.

Eine Vielzahl epidemiologischer Untersuchungen zeigt Zusammenhänge von langfristiger NO₂-Exposition mit Erkrankungen der Lunge sowie des Herz-Kreislaufsystems (z. B. Asthma, Herzinfarkte oder Schlaganfälle). Diese direkten kurz- und langfristigen Wirkungen von NO₂ sind eine der Begründungen für die Messung und Regulierung von NO₂ in der Umgebungsluft (World Health Organization, 2013a, b, 2021; Ritz et al., 2019).

Nicht nur auf den Menschen, sondern auch auf die Umwelt hat NO₂ eine schädigende Wirkung. In direkter Emissionsnähe kann es über Blattöffnungen in Pflanzen eindringen und zu vorzeitigen Alterungsprozessen sowie zur Zerstörung von Chlorophyll führen. Des Weiteren kann NO₂ - wie schon erwähnt - in der Luft über die Reaktion zu Salpetersäure (HNO₃) aus der Atmosphäre gewaschen werden und in den Boden gelangen. Somit ist es auch ein Hauptverursacher für die Versauerung und Eutrophierung von Böden und Gewässern.

2.3 Festgelegte Grenzwerte

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt haben sich die Mitgliedstaaten der EU im Jahr 1999 darauf geeinigt, dass ab dem Jahr 2010 ein NO₂-Jahresmittelwert von 40 µg/m³ eingehalten werden muss. Grundlage war eine entsprechende Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Man ging damals davon aus, dass dieser Wert bei einem gleichbleibenden Verkehrsaufkommen in den Innenstädten und mit einer verbesserten Abgasreinigung innerhalb von zehn Jahren einhaltbar wäre. Nicht erwartet hatte man die – unter anderem durch Steuervorteile bedingte – zunehmende Zahl von Dieselfahrzeugen sowie die Tatsache, dass die Realemissionen älterer Diesel-PKW nicht den gesetzlichen Vorgaben entsprachen.

Wie in **Derzeit wird** auf EU-Ebene der Entwurf einer geänderten europäischen Luftqualitätsrichtlinie verhandelt (Vorschlag für eine Richtlinie – COM(2022)542). Dieser Entwurf sieht für die im IG-L geregelten Luftschadstoffe zum Teil deutlich strengere Grenzwerte als bisher vor. Diese sollen ab 2030 verbindlich sein. Um eine fristgereichte Grenzwerteinhaltung sicherzustellen, müssen die Mitgliedstaaten erforderlichenfalls bereits vor dem Wirksamwerden der neuen Grenzwerte entsprechende Maßnahmen setzen, die in einem Luftqualitätsfahrplan festzulegen sind.

Die WHO sieht für diesen Luftschadstoff in den neuen Leitlinien einen noch niedrigen Jahresmittelwert von 10 µg/m³ vor. Aus dem Entwurf der neuen Luftqualitätsrichtlinie ergibt sich, dass die EU längerfristig die Einhaltung dieses Grenzwertes beabsichtigt, wobei dafür allerdings kein konkreter Zeitplan vorgesehen ist.

Tabelle 2-1 ersichtlich, liegt der österreichische Jahresgrenzwert gemäß IG-L (BGBl. Nr. 115/1997 i.d.g.F.) für NO₂ bei 35 µg/m³ (inklusive 5 µg/m³ Toleranzmarge), wobei für die allfällige Setzung von Luftreinhaltemaßnahmen (Erlassung von Luftqualitätsplänen, Maßnahmenverordnungen etc.) der derzeit unionsrechtlich festgelegte JMW von 40 µg/m³ maßgeblich ist. Darüber hinaus gilt für NO₂ ein Alarmwert von 400 µg/m³. Dieser Alarmwert ist erreicht, wenn ein gemessener Dreistundenmittelwert über 400 µg/m³ liegt. Es besteht dann die Pflicht für die zuständigen Behörden, unverzüglich Maßnahmen zur Verringerung der NO₂-Konzentration zu ergreifen.

Derzeit wird auf EU-Ebene der Entwurf einer geänderten europäischen Luftqualitätsrichtlinie verhandelt (Vorschlag für eine Richtlinie – COM(2022)542). Dieser Entwurf sieht für die im IG-L geregelten Luftschadstoffe zum Teil deutlich strengere Grenzwerte als bisher vor. Diese sollen ab 2030 verbindlich sein. Um eine fristgereichte Grenzwerteinhaltung sicherzustellen, müssen die Mitgliedstaaten erforderlichenfalls bereits vor dem Wirksamwerden der neuen Grenzwerte entsprechende Maßnahmen setzen, die in einem Luftqualitätsfahrplan festzulegen sind.

Die WHO sieht für diesen Luftschadstoff in den neuen Leitlinien einen noch niedrigen Jahresmittelwert von 10 µg/m³ vor. Aus dem Entwurf der neuen Luftqualitätsrichtlinie ergibt sich, dass die EU längerfristig die Einhaltung dieses Grenzwertes beabsichtigt, wobei dafür allerdings kein konkreter Zeitplan vorgesehen ist.

Tabelle 2-1. Derzeit geltende Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂) zum Schutz der Gesundheit sowie der Zielwert zum Schutz von Ökosystemen und der Vegetation nach Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) und der Richtlinie der Europäischen Union (TMW: Tagesmittelwert; HMW: Halbstundenmittelwert, JMW: Jahresmittelwert über ein Kalenderjahr inkl. Toleranzmarge; JMW/EU: Jahresmittelgrenzwert der EU).

NO ₂	TMW	HMW	JMW	JMW /EU
Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit	-	200 µg/m ³	35 µg/m ³	40 µg/m ³
Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz von Ökosystemen und der Vegetation	80 µg/m ³	-	-	-

3 Messmethode

3.1 Passivsammler

Bei NO_2 -Passivsammlern wandern (diffundieren) atmosphärische NO_2 -Moleküle aufgrund ihrer Eigenbewegung in Richtung eines Absorptionsmediums und werden dort gebunden. Da hierfür die Luft nicht aktiv mit einer Pumpe durch das Absorptionsmedium gefördert wird, wird von einer passiven Probenahme gesprochen.

Die verwendeten Passivsammler der *passam ag* (Zürich, CH; **Abbildung 3-1**) setzen sich aus einem Polypropylenröhrchen mit einer Öffnung von 9,8 mm Durchmesser und einem im Inneren befestigten Absorptionsmedium, bestehend aus einem Filter mit Triethanolamin, zusammen. Zur Messung werden die vordere Schutzkappe entfernt und durch eine Glasfrittenmembran ersetzt, welche den Einfluss von Wind und Turbulenzen während der Messperiode reduziert. Anschließend wird der Sammler in eine nach unten offene Schutzbüchse gehängt, welche am Messstandort montiert ist.

Nach Abschluss der vierwöchigen Probenahmezeit wird der Sammler wieder mit der Schutzkappe verschlossen und zur Analyse in das Labor der Chemisch-Technischen Umweltschutzanstalt im Amt der Tiroler Landesregierung gebracht. Dort wird durch eine kontinuierlichen Durchflussanalyse die Menge an gelöstem Nitrit photospektrometrisch bestimmt und mit Hilfe der Fick'schen Diffusionsgleichung in eine NO_2 -Konzentration umgerechnet. Nach dem zugrundeliegenden Messprinzip kann daraus auf die mittlere Konzentration über den Probenahmezeitraum geschlossen werden.

Das Probenahme- und Messprinzip der Passivsammler bietet den Vorteil, dass die räumlichen und organisatorischen Anforderungen an die Probenahmestelle gegenüber einer stationären Luftmessstation sehr viel geringer sind, weil keine Stellfläche und kein Stromanschluss benötigt werden. Die Ausbringung eines Passivsammlers verlangt lediglich eine kleine Schutzbüchse, welche problemlos z. B. an einem Laternenmast befestigt werden kann.

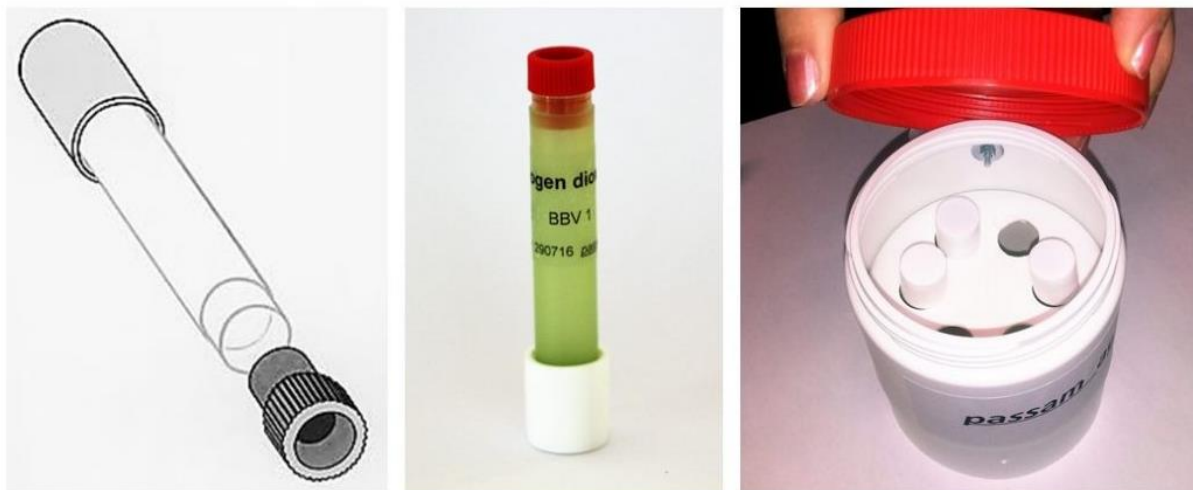


Abbildung 3-1. Schematische Darstellung des Passivsammlers für Stickstoffdioxid (NO_2 ; links); Passivsammler des Röhrchen-Typs (Mitte); ein (am Boden offener) Schutzbehälter zur Installation der Passivsammler (rechts) (Quelle: *passam ag*).

Der Nachteil der Passivsammler liegt darin, dass die räumliche Verteilung von Luftschadstoffen hochkomplex ist und unter anderem von den meteorologischen Bedingungen am Standort und den variierenden Emissionsparametern bestimmt wird. Die zu messenden Luftschadstoffkonzentrationen sind somit zeitlich und räumlich starken Schwankungen unterworfen. Durch Messung mit Passivsammlern kann lediglich gesagt werden, wie hoch die Belastung im Mittel über einen bestimmten Zeitraum war. Spitzenwerte (wie etwa bei einem Verkehrsstau) oder Tiefstwerte (wie etwa während eines Sturmereignisses) fließen dann in eine mittlere Belastung ein. Die Ergebnisse der Passivsammlermessungen werden zudem von der Umgebungstemperatur, dem Luftdruck, der Luftfeuchte, den Windgeschwindigkeiten an der Fritte sowie von den NO- und O₃-Konzentrationen am Messstandort beeinflusst. Deshalb wird die NO₂-Messung mittels Passivsammler als eine „orientierende“ Messmethode angesehen.

3.2 Qualitätssicherung der Messungen

Der Gebrauch und die Auswertung der Passivsammlermessungen ist standardisiert in der ÖNORM EN 16339 „Außenluft – Bestimmung der Konzentration von NO₂ mittels Passivsammler“, welche als Grundlage für die Durchführung der Messungen, der Qualitätssicherung und der Auswertungen im Fachbereich Luftgüte in der Abteilung Waldschutz des Amtes der Tiroler Landesregierung dient. Für die interne Kalibrierung der Passivsammlerergebnisse werden jeweils zwei NO₂-Passivsammler direkt neben der Luftansaugvorrichtung der Referenzmessungen an fünf Messstellen mit sehr unterschiedlichen NO₂-Belastungen positioniert. Als Referenzmethode dient eine kontinuierliche NO₂-Messung mittels Chemilumineszenz (Messgerät APNA 370). Folgende Messstellen im Tiroler Luftgütemessnetz werden für die Kalibrierung herangezogen: Vomp Raststätte A12, Vill Zenzenhof bzw. Mutters Gärberbach A13, Innsbruck Fallmerayerstraße, Innsbruck Sadrach und Imst A12 bzw. Wörgl Stelzhamerstraße. An allen Referenzmessstellen ist für die Qualitätssicherung im Labor ein zusätzlicher verschlossener Sammler angebracht (Nullmessung). Die mittlere relative Standardabweichung der Doppelproben betrug in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 jeweils ±3,1%, ±3,1%, ±3,6% und ±3,5%.

Die Ergebnisse der jeweils ca. vierwöchigen Passivsammlermessungen werden in einem ersten Schritt mit den Referenzmessungen verglichen. Dabei wird der Zusammenhang zwischen den beiden Messungen für jede Messperiode mittels einer Potenzfunktion der Form $f(x)=k \cdot x^n$ beschrieben, welche mittels dem Rechenprogramm GNUPLOT (www.gnuplot.info) approximiert wird. Mit Hilfe dieser Funktion können alle Messergebnisse der Passivsammler in den jeweiligen Perioden an die Referenzmessungen angepasst und kalibriert werden. **Tabelle 6-1, Tabelle 6-2, Tabelle 6-3 und Tabelle 6-4** im Anhang fassen die ermittelten Funktionsparameter aller Messperioden in den Jahren 2020 bis 2023 zusammen. **Tabelle 3-1, Tabelle 3-2, Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4** zeigen die Jahresmittelwerte, welche aus den Rohwerten der Passivsammlermessungen, den kalibrierten Messergebnissen und den kontinuierlichen Messungen der Referenzmethode an den fünf Messstandorten ermittelt wurden.

Gemäß der Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 ist bei ortsfesten Messungen bezogen auf den Jahresmittelwert mit einer Mindestdatenerfassung von 90% eine Messunsicherheit von 15% zulässig, bei orientierenden Messungen eine Messunsicherheit von 25%. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen ermittelte 2021 auf Grundlage eines großen Datenpools aus mehreren deutschen Bundesländern für den NO₂-Jahresmittelwert eine erweiterte Messunsicherheit von 8,6%. Diese liegt somit klar innerhalb der zulässigen Messunsicherheit für ortsfeste Messungen und belegt die Eignung dieser Messmethode (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2021).

Tabelle 3-1. Vergleich der Jahresmittelwerte (23.12.2019, 12:00 Uhr bis 23.12.2020, 12:00 Uhr), errechnet aus den Rohwerten der Passivsammler (JMW_{PS}), den kalibrierten Messwerten (JMW_{CAL}) und den Referenzmessungen (JMW_{KONT}) sowie dem gesamten Kalenderjahr 2020 vom 1.1. bis 31.12.2020 (JMW_{2020}) im Tiroler Luftgütemessnetz (*aus: „Luftgüte in Tirol - Jahresbericht 2020.“, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz).

2020				
Standort	JMW_{PS}	JMW_{CAL}	JMW_{KONT}	JMW_{2020}^*
Vomp Raststätte A12	32,3	35,2	36,1	36
Mutters Gärberbach A13	26,4	29,1	28,8	29
Innsbruck Fallmerayerstraße	24,3	27,3	27,5	27
Innsbruck Sadrach	12,5	14,8	15,2	15
Imst A12	21,2	24,0	23,5	24

Tabelle 3-2. Vergleich der Jahresmittelwerte (23.12.2020, 12:00 Uhr bis 22.12.2021, 12:00 Uhr) errechnet aus den Rohwerten der Passivsammler (JMW_{PS}), den kalibrierten Messwerten (JMW_{CAL}) und den Referenzmessungen (JMW_{KONT}) sowie dem gesamten Kalenderjahr 2021 vom 1.1. bis 31.12.2021 (JMW_{2021}) im Tiroler Luftgütemessnetz (*aus: „Luftgüte in Tirol - Jahresbericht 2021.“, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz).

2021				
Standort	JMW_{PS}	JMW_{CAL}	JMW_{KONT}	JMW_{2021}^*
Vomp Raststätte A12	31,1	33,5	33,2	34
Mutters Gärberbach A13	25,4	27,6	27,6	28
Innsbruck Fallmerayerstraße	22,3	24,5	24,6	25
Innsbruck Sadrach	11,5	13,3	13,5	14
Imst A12	20,4	22,5	22,0	22

Tabelle 3-3. Vergleich der Jahresmittelwerte (22.12.2021, 12:00 Uhr bis 21.12.2022, 12:00 Uhr) errechnet aus den Rohwerten der Passivsammler (JMW_{PS}), den kalibrierten Messwerten (JMW_{CAL}) und den Referenzmessungen (JMW_{KONT}) sowie dem gesamten Kalenderjahr 2022 vom 1.1. bis 31.12.2022 (JMW_{2022}) im Tiroler Luftgütemessnetz (*aus: „Luftgüte in Tirol - Jahresbericht 2022.“, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz).

2022				
Standort	JMW_{PS}	JMW_{CAL}	JMW_{KONT}	JMW_{2022}^*
Vomp Raststätte A12	33,3	34,0	34,0	34
Vill Zenzenhof	28,7	29,9	29,4	30
Innsbruck Fallmerayerstraße	23,1	24,9	25,6	25
Innsbruck Sadrach	12,3	14,1	13,4	13
Wörgl Stelzhammerstraße	16,8	18,5	20,3	19

Tabelle 3-4. Vergleich der Jahresmittelwerte (21.12.2022, 12:00 Uhr bis 20.12.2023, 12:00 Uhr) errechnet aus den Rohwerten der Passivsammler (JMW_{PS}), den kalibrierten Messwerten (JMW_{CAL}) und den Referenzmessungen (JMW_{KONT}) sowie dem gesamten Kalenderjahr 2023 vom 1.1. bis 31.12.2023 (JMW_{2023}) im Tiroler Luftgütemessnetz (*aus: „Luftgüte in Tirol - Jahresbericht 2023.“, Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Waldschutz).

2023				
Standort	JMW_{PS}	JMW_{CAL}	JMW_{KONT}	JMW_{2023}^*
Vomp Raststätte A12	30,5	31,9	32,2	32
Vill Zenzenhof	27,0	28,7	28,9	29
Innsbruck Fallmerayerstraße	20,4	23,0	22,6	23
Innsbruck Sadrach	9,9	12,4	12,7	13
Wörgl Stelzhammerstraße	14,3	16,9	17,2	17

3.3 Messstandorte

Im Zeitraum von 2020 bis 2023 wurden jährlich an 30 Standorten in Tirol Passivsammlermessungen durchgeführt. Manche Standorte wurden nach einem Jahr Messzeitraum wieder verlegt, um auf diese Art eine bessere räumliche Abdeckung zu erreichen. So verlegte man 2022 elf Messstandorte in die Siedlungsräume von Kitzbühel und St. Johann in Tirol, während in den Jahren 2020 und 2021 der Messschwerpunkt im Inn- und Wipptal lag. 2023 wurde der Fokus auf immissionsrelevante Punkte im Zillertal und im Raum Innsbruck gelegt. Alle gewählten Messstandorte lagen entweder an stark verkehrsbelasteten Abschnitten der Autobahnen A12 und A13 oder in expositionsrelevanten Siedlungsräumen in Nordtirol. Die Abstände von den Messstellen zu den Asphaltkanten der Autobahn betragen dabei zwischen 2,6 und 4,4 m und die Messhöhe lag bei ca. 2,2 m über Grund. **Tabelle 3-5** gibt einen Überblick über die räumliche und zeitliche Verteilung der Passivsammler im Untersuchungszeitraum 2020 bis 2023.

Beispielhaft sind in **Abbildung 3-2** die Messstelle „Zirl Dirschenbach A12 (km 93,3)“ und die Referenzmessstelle „Innsbruck Fallmerayerstraße“ dargestellt. Die Passivsammler befinden sich in den PVC-Schutzbehältern, welche mit Kabelbindern auf Eisenstangen bzw. Eisenrohren befestigt werden. An den Referenzmessstellen befinden sich die Passivsammler in unmittelbarer Nähe zu den Luftansaugöffnungen für die kontinuierliche NO_2 -Messung als Referenzmethode.



Abbildung 3-2. Beispiele für typische Messstandorte im Passivsammler-Messnetz. Links: Messstelle Zirl Dirschenbach A12 (km 93,3) als verkehrsnaher Standort. Rechts: Referenzmessstelle Innsbruck Fallmerayerstraße, mit Anbringung des Passivsammlers neben der Ansaugöffnung des kontinuierlich messenden Messgeräts APNA 370 für die NO_2 -Referenzmessung. Die roten Kreise heben die Passivsammler in den Fotos hervor.

Tabelle 3-5. Räumlicher und zeitlicher Überblick über die Passivsammlermessungen in Tirol im Zeitraum 2020 bis 2023.

Standort	Länge	Breite	2020	2021	2022	2023
Aldrans L32 (km 2,0)	11,432700	47,253594				•
Aldrans Zentrum	11,446167	47,251564				•
Ampass A12 (km 71.5)	11,459251	47,266308	•	•	•	•
Ampass A12 (km 71.5) - Begleitweg	11,459175	47,266347	•	•	•	•
Ellmau B178 (km 17.0)	12,286892	47,520028			•	
Fügen Dorf	11,849247	47,347056				•
Fügen Gagering	11,851364	47,362228				•
Fügen Kapfing	11,861667	47,333503				•
Imst A12	10,735687	47,216954	•	•		
Innsbruck Bleichenweg 54	11,435014	47,259296	•	•	•	•
Innsbruck Burgenlandstraße 18	11,413661	47,259217	•	•	•	•
Innsbruck Bürgerstraße 36 Innenhof	11,390797	47,262522	•	•	•	•
Innsbruck Fallmerayerstr.	11,392356	47,262622	•	•	•	•
Innsbruck Flughafen Ost	11,363885	47,262090	•	•	•	•
Innsbruck Flughafen West	11,329220	47,258757	•	•		
Innsbruck Hallerstraße	11,444147	47,277214	•	•	•	•
Innsbruck Karl-Innerebner-Str.	11,351471	47,267127	•	•		
Innsbruck Kranebitten B171	11,335886	47,262072				•
Innsbruck Langer Weg	11,426433	47,269881	•	•	•	•
Innsbruck Sadrach	11,374617	47,269915	•	•	•	•
Innsbruck Sieglanger	11,357823	47,254146	•	•	•	•
Innsbruck Technikerstr.	11,339374	47,264526	•	•		
Inzing-Zirl Raststätte A12 (ab 12.5.2021)	11,212202	47,277163		•		
Kematen L13 (km 2,5)	11,266681	47,251489				•
Kirchberg i. T. Weinberg 32	12,315875	47,453250			•	•
Kitzbühel B170 (km 29.0)	12,374183	47,450669			•	
Kitzbühel Bauhof	12,386228	47,458656			•	
Kitzbühel Bezirkshauptmannschaft	12,390347	47,444819			•	
Kitzbühel Hornkreuzung	12,392036	47,449547			•	
Kolsass A12 (km 58.7)	11,609768	47,303418	•	•		
Mutters Gärberbach A13	11,390647	47,239548	•	•		
Natters Fleischhof Schmid	11,390647	47,239548	•	•		
Oberndorf i. T. Gemeinde	12,385286	47,499894			•	
Schönberg im Stubaital A13 (km 8.4)	11,398051	47,194832	•	•		
Schönberg im Stubaital Gemeinde	11,404953	47,185619		•		
Silz A12 (km 114.7)	10,943396	47,273356	•	•		
St. Johann i. T. Apfeldorf	12,414803	47,514706			•	
St. Johann i. T. B178 (km 29.0)	12,424511	47,526781			•	
St. Johann i. T. Bauhof	12,432939	47,528092			•	
St. Johann i. T. Griesbach	12,396506	47,501578			•	
St. Johann i. T. Sommerer	12,424533	47,512658			•	
Stams A12 (km 111.1)	10,985076	47,285325	•	•		
Stans A12 (km 46.0)	11,736608	47,369825	•	•		
Telfs Bahnhofstr.	11,071560	47,302143	•	•		
Tulfes A12 (km 65,0)	11,543250	47,280233				•
Vill A13 (km 4.4)	11,393705	47,227998	•			
Vill Zenzenhof	11,392008	47,225466			•	•
Völs A12 (km 83.5)	11,316307	47,263703	•	•	•	•
Völs Sonnwinkel	11,334750	47,252900				•
Vomp A12 (km 49.6)	11,696596	47,352406	•			
Vomp An der Leiten	11,694550	47,350000		•	•	•
Vomp Raststätte A12	11,692017	47,348781	•	•	•	•
Wörgl Stelzhamerstr.	12,066631	47,488555			•	•
Wörgl Kreuzung B171 Stelzhamerstr.	12,067850	47,487506			•	•
Zirl Bauhof	11,235268	47,265015	•	•		
Zirl Dirschenbach A12 (km 93.3)	11,189303	47,283844	•	•	•	•
Zirl Dirschenbach B171 (bis 12.5.2021)	11,190768	47,283890	•	•		
Zirl Mühlgasse	11,242308	47,276625				•
Zirl Zentrum	11,241544	47,273522				•

4 Messergebnisse

4.1 Jahresmittelwerte an autobahnnahen Messstandorten

Die zeitliche Entwicklung der Jahresmittelwerte in **Abbildung 4-1** (oben) zeigt einen rückläufigen Trend der NO₂-Konzentration von 2019 bis 2023 für sämtliche autobahnnahen Messstellen. Während 2019 der EU-Grenzwert von 40 µg/m³ noch an fünf Messstellen im Bereich der IG-L-Verkehrsmaßnahmen (permanente Tempo-100 Geschwindigkeitsbeschränkung und IG-L-Schwerverkehrsmaßnahmen) überschritten wurde (Ampass A12, Kolasass A12, Vill A13, Vomp Raststätte A12 & Vomp A12 (km 49,6)), war dies 2020 sowie 2021 nur mehr an der Messstelle Ampass A12 der Fall. In den Jahren 2022 und 2023 wurden mit 39,8 µg/m³ bzw. 36,8 µg/m³ auch dort der EU-Grenzwert eingehalten.

Der Grenzwert für den Jahresmittelwert nach IG-L inkl. Toleranzmarge (35 µg/m³) wurde in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 an der Messstelle Ampass A12 überschritten. Diese Probenahmestelle ist allerdings als nicht expositionsrelevant anzusehen, da sich diese direkt am Fahrbahnrand an der Fahrbahnböschung der A12 (somit auf der Straßenanlage) befindet.

Die durchgeführten Messungen haben im Übrigen auch den von den Experten im Rahmen der IG-L-Maßnahmenplanung u.a. ermittelten deutlich positiven Effekt einer Tempo-100 Geschwindigkeitsbeschränkung auf die NO₂-Belastung bestätigt. Vergleicht man beispielsweise die Jahresmittelwerte der ortsnahen Autobahnmessstellen Völs A12 und Zirl Dirschenbach A12 miteinander, stellt man am Standort in Völs, für den eine entsprechende Geschwindigkeitsbeschränkung gilt, trotz der höheren täglichen Anzahl an KFZ (ca. 25.000 KFZ pro Tag mehr als an der Messstelle in Zirl Dirschenbach, **Abbildung 4-1** (unten)) eine geringere NO₂-Belastung im Jahresmittel fest als in Zirl Dirschenbach, wo keine Geschwindigkeitsbeschränkung verordnet ist. Es ist auch zu erkennen, dass die Verkehrsdichte in den Jahren 2022 und 2023 wieder annähernd das Niveau von 2019, also vor der COVID-19 Pandemie, erreicht hat und deshalb der Verkehrsrückgang alleine den Rückgang der NO₂-Belastung nicht erklärt.

Die **Tabelle 6-5** im Anhang enthält eine detaillierte Auflistung aller gemessenen Werte an den autobahnnahen Messstandorten und Verkehrszählstellen.

4.2 Jahresmittelwerte an expositionsrelevanten Messstandorten

Zusätzlich zu den Messungen an den Autobahnen wurden auch in diversen Siedlungsgebieten im Inntal, Zillertal, Sölllandl und Leukental, welche sich im Einflussbereich einer Autobahn, des Durchzugverkehrs, eines Gewerbes oder des Flughafens Innsbruck befinden, NO₂-Konzentrationen ermittelt (**Abbildung 4-2**).

Wenn auch nicht so ausgeprägt wie an den autobahnnahen Standorten, zeigt sich auch an den expositionsrelevanten Messstandorten ein rückläufiger Trend des NO₂-Gehalts in der Atmosphäre. Erfreulich ist, dass in allen Jahren der Jahresgrenzwert inkl. Toleranzmarge für NO₂ nach IG-L eingehalten wurde (35 µg/m³). Ein eindeutiger Einfluss des Flugverkehrs auf die NO₂-Belastung konnte an keiner der Messstellen um den Flughafen nachgewiesen werden.

Die

Tabelle 6-6 im Anhang listet die detaillierten Messwerte und gibt eine Kurzbeschreibung der gewählten Messstandorte.

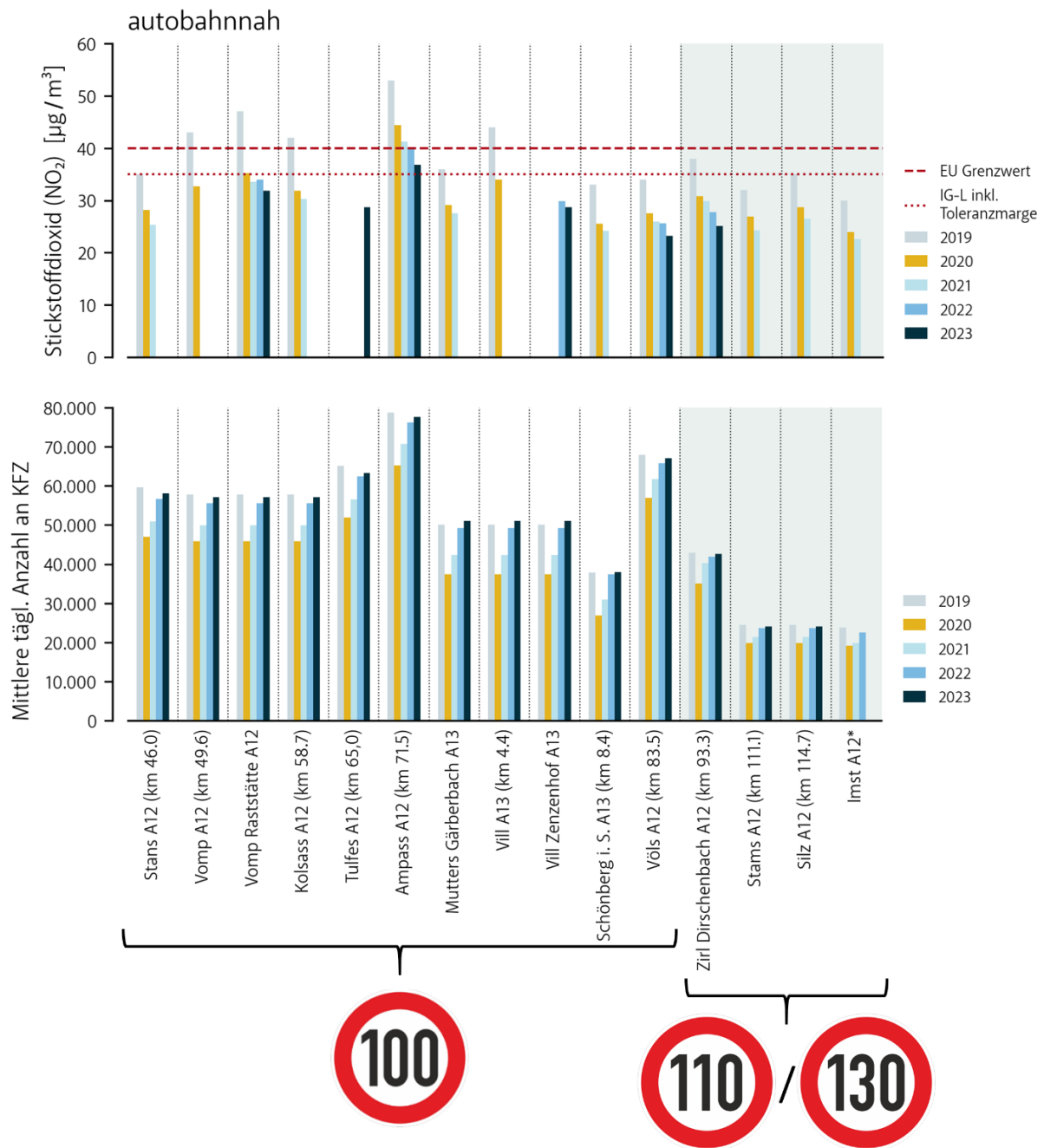


Abbildung 4-1. NO₂-Jahresmittelwerte der Jahre 2020, 2021, 2022 und 2023 an allen autobahnnahen Messstandorten der Passivsammler (**oben**). Durchschnittliche tägliche Anzahl an Kraftfahrzeugen (Mo-So) in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 an den nächstgelegenen Zählmessstellen der ASFINAG (www.asfinag.at/verkehr/verkehrszaehlung, **unten**). Werte des Jahres 2019 (vor der COVID-19 Pandemie) sind zur besseren Einordnung der zeitlichen Entwicklung aufgetragen. Die Jahresmittelwerte reihen sich nach dem Tempolimit, das am Messstandort rechtlich vorgeschrieben ist (100 bzw. 130/110 km/h - 110 km/h gültig zw. 22:00 – 5:00 Uhr; grau schattiert). Horizontale gestrichelte Linien kennzeichnen den EU-Grenzwert für den NO₂-Jahresmittelwert von 40 µg/m³ sowie den Grenzwert inkl. Toleranzmarge nach Immissionsschutzgesetz-Luft von 35 µg/m³.

*Seit 2021 ist das ganzjährige IG-L-Tempo 100 aufgehoben. Seit Ende 2023 auch die auf die Monate November bis Jänner eingeschränkte IG-L-Geschwindigkeitsbeschränkung.

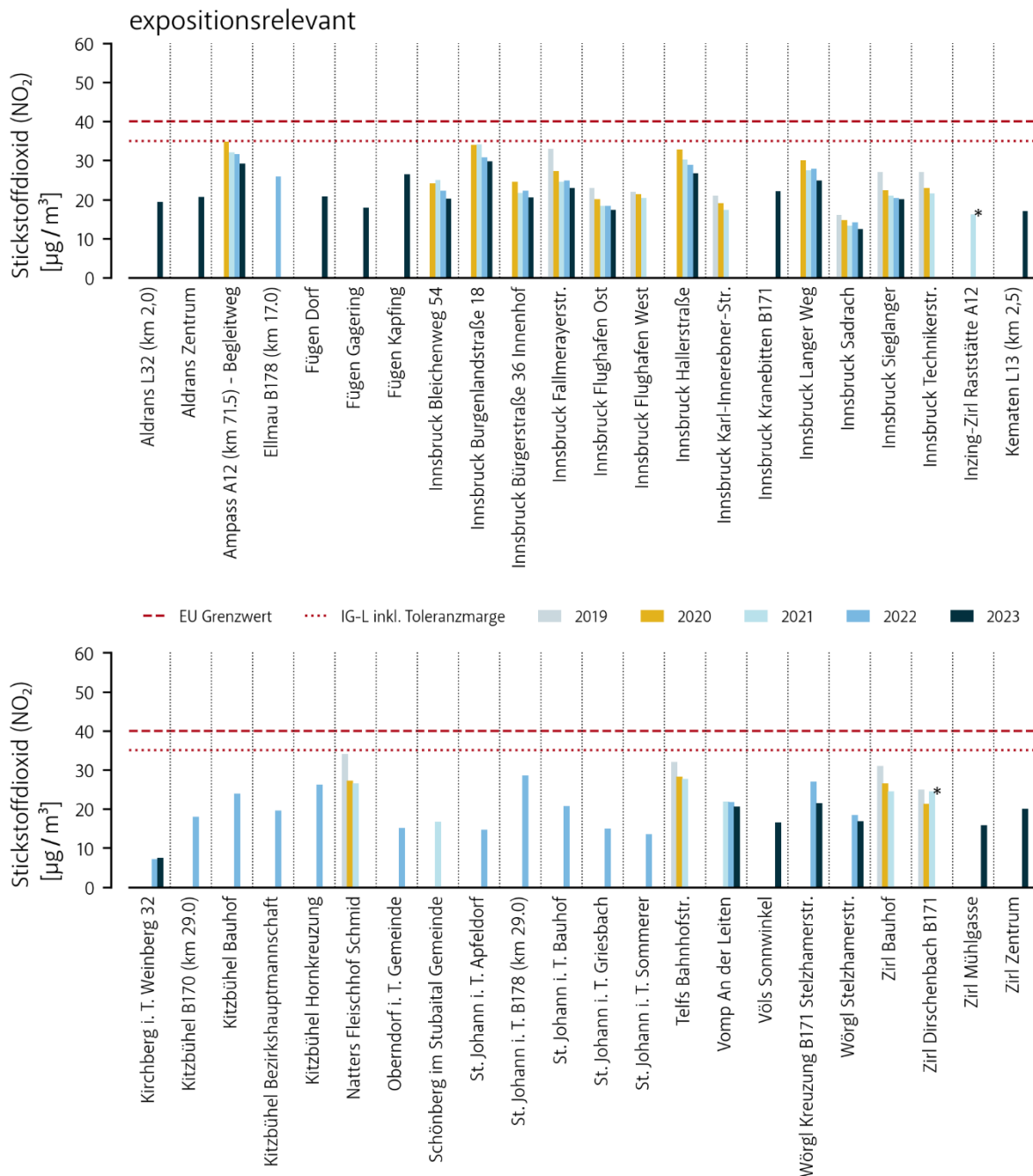


Abbildung 4-2. NO₂-Jahresmittelwerte der Jahre 2020, 2021, 2022 und 2023 an allen expositionsrelevanten Messstandorten der Passivsammler. Werte des Jahres 2019 (vor der COVID-19 Pandemie) sind zur besseren Einordnung der zeitlichen Entwicklung aufgetragen. Horizontale gestrichelte Linien kennzeichnen den EU-Grenzwert für den NO₂-Jahresmittelwert von 40 µg/m³ sowie den Grenzwert inkl. Toleranzmarge nach Immissionsschutzgesetz-Luft von 35 µg/m³.

* Die Messstation Zirl Dirschenbach B171 wurde am 12.5.2021 an die nahegelegene Raststätte A12 Inzing-Zirl verlegt – die dargestellten Werte zeigen in diesem Falle den Mittelwert von 23.12.2020 bis 12.5.2021 (Zirl Dirschenbach B171) sowie 12.5.2021 bis 22.12.2021 (Inzing-Zirl Raststätte A12).

4.3 Räumlich-zeitliche Darstellung der Messergebnisse

Zur besseren Veranschaulichung der NO₂-Belastung zeigt **Abbildung 4-3** die räumlich-zeitliche Entwicklung der Passivsammlermessergebnisse über die Jahre 2019 bis 2023. Dazu wurde eine Klasseneinteilung, die auf den in Kapitel 2.3 beschriebenen Grenzwerten basiert, herangezogen (siehe **Tabelle 4-1**).

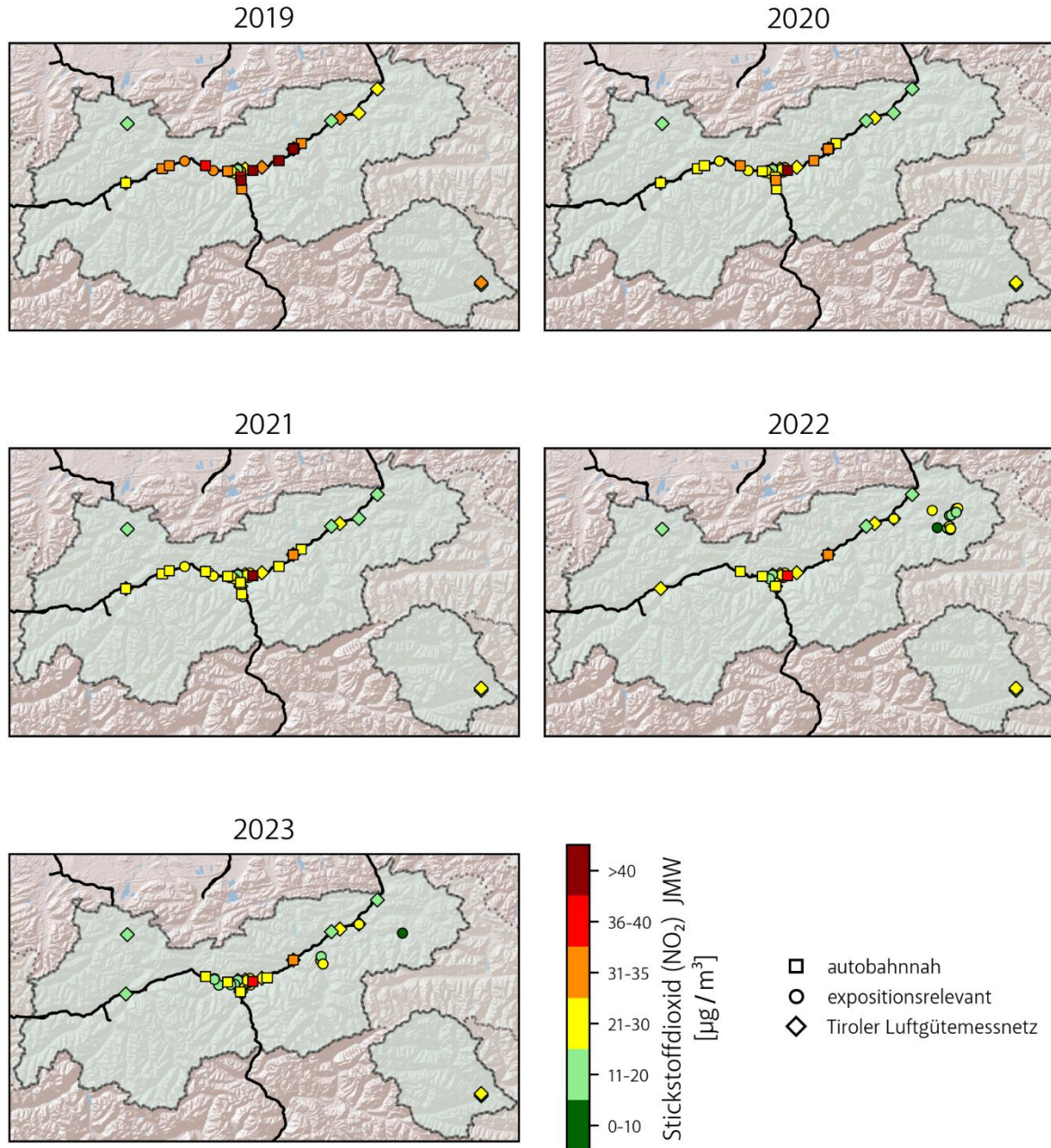


Abbildung 4-3. Räumliche Verteilung der NO₂-Messstellen in Tirol. Neben den autobahnnahen und expositionsrelevanten Messstandorten der NO₂-Passivsammler werden auch die Standorte der kontinuierlichen Messungen des Tiroler Luftgütemessnetz gezeigt. Farben kennzeichnen den Jahresmittelwert (JMW) der jeweiligen Messstelle in den Jahren 2020 bis 2023 auf Basis der Einteilung in **Tabelle 4-1** (siehe **Tabelle 6-5** und

Tabelle 6-6 für eine detaillierte Auflistung der Werte). Werte des Jahres 2019 (vor der COVID-19 Pandemie) sind zur besseren Einordnung der zeitlichen Entwicklung ebenfalls aufgetragen.

Tabelle 4-1. Klassifizierung der NO₂-Immissionsbelastungswerte (Jahresmittelwerte) in **Abbildung 4-3**.

NO ₂ [µg/m ³]	Beschreibung
0 - 10	Einhaltung der Grenzwertempfehlung der Weltgesundheitsorganisation
11 - 20	Einhaltung des Grenzwertes im Entwurf der neuen Luftqualitätsrichtlinie der EU
21 - 30	Einhaltung des Grenzwertes nach Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L)
31 - 35	Überschreitung des Grenzwertes nach IG-L Einhaltung des momentan gültigen Grenzwertes nach IG-L inkl. Toleranzmarge
36 - 40	Überschreitung des momentan gültigen Grenzwertes nach IG-L inkl. Toleranzmarge Einhaltung des EU-Grenzwertes
> 40	Überschreitung des EU-Grenzwertes

Klar erkennbar ist eine Abnahme der NO₂-Belastung über den gesamten Messzeitraum. Wie schon in Kapitel 4.1 muss aber festgehalten werden, dass dies neben dem COVID-19-bedingten Verkehrsrückgang vor allem auch durch schadstoffärmere Fahrzeuge, die Erneuerung der Fahrzeugflotte und die tempo- und verkehrsmindernden bzw. verkehrssteuernden Maßnahmen entlang der Verkehrsachse Kufstein-Brenner ermöglicht wurde.

Der vorgeschlagene Grenzwert im Entwurf der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie wurde nur an sehr wenigen Messstandorten unterschritten. Die Grenzwertempfehlung der WHO konnte gar nur an einem Standort des Passivsammlermessnetzes eingehalten werden, nämlich an der Messstelle in Kirchberg Weinberg 32.

5 Schlussfolgerungen

- Der Einsatz von NO₂-Passivsammlern ist kostengünstig und eignet sich gut, die NO₂-Belastung an ausgewählten Messstandorten zu bestimmen. Studien zeigen, dass die erweiterte Messunsicherheit dabei deutlich unter den gesetzlich erlaubten 15% für Standardmessverfahren liegt (bei einer Mindestdatenerfassung von 90%; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2021).
- Die Messstellen entlang der Autobahnen A12 und A13 zeigen eine Abnahme der NO₂-Konzentration über den gesamten Messzeitraum, sodass 2022 und 2023 der Grenzwert nach IG-L inkl. Toleranzmarge (35 µg/m³) an allen Messstandorten mit Ausnahme der Messstelle Ampass A12 (km 71,5) eingehalten werden konnte. Die Messergebnisse dokumentieren den lufthygienischen Effekt der gesetzten IG-L-Verkehrsmaßnahmen (100 km/h-Geschwindigkeitsbeschränkung und Schwerverkehrsmaßnahmen) und deren Bedeutung für die Grenzwerteinhaltung.
- Erfreulicherweise konnte in den Jahren 2020 bis 2023 an allen expositionsrelevanten Probenahmestellen der Grenzwert nach IG-L inkl. Toleranzmarge (35 µg/m³) eingehalten werden. Der vorgeschlagene Grenzwert im Entwurf der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie (20 µg/m³) wurde allerdings nur an wenigen Messstandorten eingehalten bzw. unterschritten. Die Grenzwertempfehlung der WHO (10 µg/m³) konnte gar nur an einer Hintergrundmessstelle im Passivsammlermessnetz eingehalten werden.

6 Anhang

Tabelle 6-1. Bestimmtheitsmaß (R^2) sowie Parameter der Kalibrierfunktion $f(x)=k \cdot x^n$ für die einzelnen Messperioden im Jahr 2020 (SF = Standardfehler des Parameters).

2020						
Messbeginn	Messende	R^2	k	\pm SF	n	\pm SF
23.12.19	22.1.20	0,981	1,709	0,379	0,919	0,060
22.01.20	19.2.20	0,993	1,762	0,324	0,890	0,051
19.02.20	18.3.20	0,995	1,369	0,191	0,931	0,042
18.03.20	15.4.20	0,995	1,842	0,198	0,807	0,039
15.04.20	13.5.20	0,998	1,204	0,091	0,951	0,026
13.05.20	10.6.20	0,997	0,953	0,102	1,012	0,035
10.06.20	08.7.20	0,991	1,313	0,230	0,930	0,059
08.07.20	05.8.20	0,995	1,024	0,161	1,008	0,050
05.08.20	02.9.20	0,994	1,024	0,163	0,982	0,050
02.09.20	30.9.20	0,993	1,196	0,197	0,953	0,052
30.09.20	28.10.20	0,988	1,366	0,273	0,926	0,064
28.10.20	25.11.20	0,965	1,175	0,407	0,987	0,106
25.11.20	23.12.20	0,936	1,691	0,796	0,902	0,136

Tabelle 6-2. Bestimmtheitsmaß (R^2) sowie Parameter der Kalibrierfunktion $f(x)=k \cdot x^n$ für die einzelnen Messperioden im Jahr 2021 (SF = Standardfehler des Parameters).

2021						
Messbeginn	Messende	R^2	k	\pm SF	n	\pm SF
23.12.20	20.01.21	0,920	2,628	1,186	0,782	0,133
20.01.21	17.02.21	0,972	1,376	0,465	0,948	0,099
17.02.21	17.03.21	0,965	1,747	0,634	0,881	0,112
17.03.21	14.04.21	0,994	2,138	0,299	0,787	0,047
14.04.21	12.05.21	0,993	1,862	0,211	0,807	0,039
12.05.21	09.06.21	0,966	0,888	0,349	1,065	0,133
09.06.21	07.07.21	0,997	0,767	0,085	1,084	0,036
07.07.21	04.08.21	0,996	0,968	0,123	1,021	0,041
04.08.21	01.09.21	0,992	0,703	0,130	1,114	0,060
01.09.21	29.09.21	0,989	1,206	0,269	0,932	0,069
29.09.21	27.10.21	0,994	1,390	0,174	0,923	0,040
27.10.21	24.11.21	0,984	1,456	0,303	0,922	0,065
24.11.21	22.12.21	0,973	0,861	0,306	1,054	0,099

Tabelle 6-3. Bestimmtheitsmaß (R^2) sowie Parameter der Kalibrierfunktion $f(x)=k \cdot x^n$ für die einzelnen Messperioden im Jahr 2022 (SF = Standardfehler des Parameters).

2022						
Messbeginn	Messende	R^2	k	\pm SF	n	\pm SF
22.12.21	19.01.22	0,970	0,676	0,285	1,157	0,119
19.01.22	16.02.22	0,983	1,710	0,439	0,881	0,071
16.02.22	16.03.22	0,983	2,148	0,381	0,793	0,053
16.03.22	13.04.22	0,983	2,123	0,449	0,759	0,065
13.04.22	11.05.22	0,994	1,336	0,154	0,896	0,038
11.05.22	08.06.22	0,991	1,043	0,176	0,957	0,057
08.06.22	06.07.22	0,993	1,288	0,183	0,900	0,046
06.07.22	03.08.22	0,993	1,558	0,171	0,862	0,036
03.08.22	31.08.22	0,996	1,222	0,125	0,901	0,032
31.08.22	28.09.22	0,992	1,417	0,202	0,890	0,046
28.09.22	27.10.22	0,995	0,792	0,125	1,086	0,051
27.10.22	23.11.22	0,988	1,595	0,279	0,886	0,053
23.11.22	21.12.22	0,987	1,034	0,242	1,061	0,069

Tabelle 6-4. Bestimmtheitsmaß (R^2) sowie Parameter der Kalibrierfunktion $f(x)=k \cdot x^n$ für die einzelnen Messperioden im Jahr 2023 (SF = Standardfehler des Parameters).

2023						
Messbeginn	Messende	R^2	k	\pm SF	n	\pm SF
21.12.22	18.01.23	0,983	1,937	0,392	0,843	0,059
18.01.23	15.02.23	0,983	2,817	0,495	0,815	0,055
15.02.23	15.03.23	0,988	1,916	0,330	0,839	0,052
15.03.23	12.04.23	0,993	1,519	0,204	0,874	0,041
12.04.23	10.05.23	0,998	1,372	0,109	0,875	0,025
10.05.23	07.06.23	0,997	1,967	0,208	0,783	0,034
07.06.23	05.07.23	0,962	1,447	0,781	0,879	0,170
05.07.23	02.08.23	0,992	1,451	0,234	0,881	0,052
02.08.23	30.08.23	0,998	1,442	0,155	0,869	0,034
30.08.23	27.09.23	0,989	1,258	0,250	0,923	0,065
27.09.23	25.10.23	0,988	1,268	0,262	0,923	0,064
25.10.23	21.11.23	0,990	1,874	0,282	0,827	0,048
22.11.23	20.12.23	0,989	2,000	0,339	0,845	0,049

Tabelle 6-5. NO₂-Jahresmittelwerte aller autobahnnahen Messstandorte von Passivsammlern sowie durchschnittliche tägliche Anzahl an Kraftfahrzeugen in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 an den nächstgelegenen ASFINAG-Zählmessstellen (www.asfinag.at/verkehr/verkehrszaehlung) für die Jahre 2020, 2021, 2022 und 2023. Die Abstände von den Messstellen zu den Asphaltkanten betragen zwischen 2,6 und 4,4 Meter. (* seit Winter 2023/2024 permanent Tempo 130 km/h, davor (2021 bis 2023) IG-L Tempo 110 km/h nur im Zeitraum Nov. bis Jan.).

Standort	NO ₂ [μ g/m ³]				Tempo [km/h]	KFZ			
	2020	2021	2022	2023		2020	2021	2022	2023
Ampass A12 (km 71.5)	44,4	41,2	39,8	36,8	100	65.199	70.676	76.189	77.657
Imst A12	24,0	22,5			130/110*	19.063	19.832	22.557	-
Kolsass A12 (km 58.7)	31,8	30,3			100	45.876	49.870	55.561	57.109
Mutters Gärberbach A13	29,1	27,6			100	37.419	42.336	49.238	51.097
Schönberg i. S. A13 (km 8.4)	25,6	24,2			100	26.786	30.980	37.408	37.997
Silz A12 (km 114.7)	28,7	26,5			130/110	19.875	21.401	23.614	24.058
Stams A12 (km 111.1)	26,9	24,3			130/110	19.875	21.401	23.614	24.058
Stans A12 (km 46.0)	28,2	25,3			100	46.984	50.874	56.717	58.015
Tulfes A12 (km 65.0)				28,7	100	51.832	56.500	62.408	63.343
Vill A13 (km 4.4)	34,0				100	37.419	42.336	49.238	51.097
Vill Zenzenhof			29,9	28,7	100	37.419	42.336	49.238	51.097
Völs A12 (km 83.5)	27,5	25,9	25,6	23,2	100	57.006	61.691	65.792	67.130
Vomp A12 (km 49.6)	32,7				100	45.876	49.870	55.561	57.109
Vomp Raststätte A12	35,2	33,5	34,0	31,9	100	45.876	49.870	55.561	57.109
Zirl Dirschenbach A12 (km 93.3)	30,8	29,8	27,7	25,1	130/110	35.079	40.260	41.965	42.608

Tabelle 6-6. NO₂-Jahresmittelwerte aller expositionsrelevanten Messstandorte von Passivsammlern für die Jahre 2020, 2021 und 2022. Die Messstation Zirl Dirschenbach B171 wurde am 12.5.2021 an die nahegelegene Raststätte A12 Inzing-Zirl verlegt – die dargestellten Werte zeigen in diesem Falle den Mittelwert von 23.12.2020 bis 12.5.2021 (Zirl Dirschenbach B171) sowie 12.5.2021 bis 22.12.2021 (Inzing-Zirl Raststätte A12).

Standort	NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				Kurzbeschreibung
	2020	2021	2022	2023	
Aldrans L32 (km 2,0)				19,4	verkehrsnahe
Aldrans Zentrum				20,7	Wohngebiet, verkehrsnahe
Ampass A12 (km 71.5) - Begleitweg	34,8	32,1	31,6	29,2	verkehrsnahe
Ellmau B178 (km 17.0)			25,8		verkehrsnahe
Fügen Dorf				20,8	Wohngebiet, verkehrsnahe
Fügen Gagering				17,9	Wohngebiet, verkehrsnahe
Fügen Kapfing				26,4	Wohngebiet
Innsbruck Bleichenweg 54	24,1	25,0	22,2	20,2	städtisches Wohngebiet, verkehrsnahe
Innsbruck Burgenlandstraße 18	34,0	34,1	30,8	29,8	städtisches Wohngebiet, verkehrsnahe
Innsbruck Bürgerstraße 36 Innenhof	24,5	21,7	22,3	20,5	städtischer Hintergrund
Innsbruck Fallmerayerstr.	27,3	24,5	24,9	23,0	städtischer Zentralraum
Innsbruck Flughafen Ost	20,1	18,3	18,4	17,3	Siedlungsgebiet in Flughafennähe
Innsbruck Flughafen West	21,4	20,3			Siedlungsgebiet in Flughafennähe
Innsbruck Hallerstraße	32,8	30,2	28,9	26,7	Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Innsbruck Karl-Innerebner-Str.	19,1	17,3			städtisches Wohngebiet
Innsbruck Kranebitten B171				22,1	verkehrsnahe
Innsbruck Langer Weg	30,0	27,4	27,9	24,8	Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Innsbruck Sadrach	14,8	13,3	14,1	12,4	städtischer Siedlungsrand
Innsbruck Sieglanger	22,4	21,0	20,3	20,1	städtisches Wohngebiet, verkehrsnahe
Innsbruck Technikerstr.	23,0	21,5			städtischer Siedlungsraum
Kematen L13 (km 2,5)				17,1	verkehrsnahe
Kirchberg i. T. Weinberg 32			7,2	7,4	ländliches Siedlungsgebiet
Kitzbühel B170 (km 29.0)			18,0		verkehrsnahe
Kitzbühel Bauhof			24,0		Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Kitzbühel Bezirkshauptmannschaft			19,6		städtisches Siedlungsgebiet
Kitzbühel Hornkreuzung			26,3		verkehrsnahe
Natters Fleischhof Schmid	27,3	26,6			Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Oberndorf i. T. Gemeinde			15,2		verkehrsnahe
St. Johann i. T. Apfeldorf			14,6		ländlicher Hintergrund
St. Johann i. T. B178 (km 29.0)			28,5		verkehrsnahe
St. Johann i. T. Bauhof			20,7		verkehrsnahe
St. Johann i. T. Griesbach			14,9		Siedlungsgebiet, verkehrsnahe
St. Johann i. T. Sommerer			13,5		ländlicher Hintergrund
Schönberg im Stubaital Gemeinde		16,7			ländliches Siedlungsgebiet
Telfs Bahnhofstr.	28,3	27,7			Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Völs Sonnwinkel				16,5	Wohngebiet
Vomp An der Leitern		21,9	21,8	20,6	Siedlungsgebiet, verkehrsnahe
Wörgl Kreuzung B171 Stelzhamerstr.			27,0	21,5	städtisches Siedlungsgebiet, verkehrsnahe
Wörgl Stelzhamerstr.			18,5	16,9	städtisches Siedlungsgebiet
Zirl Bauhof	26,5	24,5			Gewerbegebiet, verkehrsnahe
Zirl Dirschenbach B171	21,4	24,5			Siedlungsgebiet, verkehrsnahe
Zirl Mühlgasse				15,8	Wohngebiet, verkehrsnahe
Zirl Zentrum				20,1	Wohngebiet, verkehrsnahe

7 Referenzen

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2021): Messen von Stickstoffdioxid in der Außenluft: Nachweis der Gleichwertigkeit von Passivsammlern, LANUV-Fachbericht 108, Recklinghausen.

Ritz B., Hoffmann B., Peters A. (2019): The Effects of Fine Dust, Ozone, and Nitrogen Dioxide on Health, Dtsch. Arztebl. Int., doi: 10.3238/arztebl.2019.0881.

World Health Organization (2013a): Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP Project, Technical Report, Copenhagen, Denmark.

World Health Organization (2013b): Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for Concentration-Response Functions for Cost-Benefit Analysis of Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide, Copenhagen, Denmark;

World Health Organization (2021): WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, Geneva, Switzerland.