

Luftgüte

Stickstoffdioxid (NO₂) – Passivsammler:
Messergebnisse für Tirol 2024

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 - NO ₂	7
2.1 Quellen und Senken	7
2.2 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Vegetation	7
2.3 Festgelegte Grenzwerte und Richtwerte	8
3 Messmethode	9
3.1 Passivsammler.....	9
3.2 Qualitätssicherung der Messungen	10
3.3 Messstandorte	11
4 Messergebnisse	13
4.1 Jahresmittelwerte an autobahnnahen Messstandorten	13
4.2 Jahresmittelwerte an expositionsrelevanten Messstandorten	14
4.3 Räumlich-zeitliche Darstellung der Messergebnisse	16
5 Referenzen	17

Zusammenfassung

Um die Beurteilung der Immissionslage von Stickstoffdioxid (NO_2) in Tirol zu verbessern, wurde im Jahr 2018 ein Messnetz von NO_2 -Passivsammlern eingerichtet. Dieses ergänzt seither die vollautomatischen NO_2 -Messungen im Tiroler Luftgütemessnetz und liefert zusätzliche Informationen zu den NO_2 -Belastungen an stark frequentierten Abschnitten der Autobahnen und Bundes-/Landesstraßen in Tirol sowie in expositionsrelevanten Siedlungsräumen.

Passivsammler basieren auf dem Prinzip der Diffusion und binden atmosphärisches NO_2 als Nitrit-Ion in einem Absorptionsmedium. Da bei der Messung keine aktive Belüftung des Absorptionsmediums vonnöten ist, spricht man von einem passiven Messprinzip. Durch die im Labor durchgeführte Analyse des Absorptionsmediums nach der Probennahme kann die Masse der Nitrit-Ionen bestimmt und somit auf die NO_2 -Konzentration in der Atmosphäre geschlossen werden. NO_2 -Passivsammler sind leicht, klein, kostengünstig und benötigen keinen Stromanschluss. Damit sind sie vielseitig und flexibel einsetzbar. Studien zeigen auch, dass die erweiterte Messunsicherheit dabei deutlich unter der gesetzlich erlaubten Messunsicherheit liegt.

In diesem Bericht werden die Messergebnisse von NO_2 -Passivsammlern in Tirol im Jahr 2024 diskutiert und mit den vorangegangenen Messungen in den Jahren 2019 bis 2023 verglichen. In den Jahren 2019 und 2021 stand die Erfassung der Belastung entlang der Autobahnen A12 und A13 sowie im Siedlungsraum Innsbruck und Landeck im Fokus. Im Jahr 2022 wurde ein Augenmerk auf die Belastungsverhältnisse in den Siedlungsgebieten von Kitzbühel und St. Johann gelegt. Im Jahr 2023 verlegte man die dortigen Probennahmen an immissionsrelevante Punkte im Zillertal und im Großraum Innsbruck. Im Jahr 2024 versetzte man den Messschwerpunkt ein weiteres Mal und legte ihn auf autobahnnahen und expositionsrelevanten Messungen entlang der Verkehrsachse A12 Kufstein – Innsbruck.

Die Messergebnisse zeigen eine Abnahme der NO_2 -Konzentrationen über den gesamten Messzeitraum an den Messstellen entlang der Autobahnen A12 und A13, sodass 2024 der Grenzwert nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) inkl. Toleranzmarge von $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erstmals an allen Messstandorten eingehalten werden konnte. Dieser ausgeprägte Rückgang der NO_2 -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 und den Einsatz schadstoffärmerer Fahrzeuge sowie durch Softwareupdates zurückgeführt werden. Erfreulicherweise konnte in den Jahren 2019 bis 2024 an allen expositionsrelevanten Probenahmestandorten der Grenzwert nach dem IG-L inkl. Toleranzmarge ebenfalls eingehalten werden.

Der laut der Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über Luftqualität und saubere Luft in Europa ab dem Jahr 2030 einzuhaltende Grenzwert für den NO_2 -Jahresmittelwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde im Messzeitraum allerdings an 12 von 30 Messstandorten überschritten. Im Jahr 2024 konnte der Richtwert für den NO_2 -Jahresmittelwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – wie schon in den vorangegangenen Jahren – nur am Passivsammlerstandort in Kirchberg i. T. eingehalten werden.

1 Einleitung

Das 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 gilt eine qualitativ hochwertige Punktmessung mit einer zeitlichen Abdeckung über das Kalenderjahr – eine sogenannte „ortsfeste Messung“ nach dem Referenzverfahren – als sicherste Messmethode. Des Weiteren können Methoden, wie Modellrechnungen oder orientierende Messungen, sinnvoll eingesetzt werden. Diese liefern zusätzliche Informationen, beispielsweise über mögliche weitere Belastungsschwerpunkte. Diese Schwerpunkte können anschließend bei Bedarf mit präziseren Verfahren, wie ortsfesten Messungen, genauer untersucht werden.

Passivsammler stellen eine Möglichkeit für orientierende Messungen von Stickstoffdioxid (NO_2) 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 [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2021].

Aufgrund von Verkehrszusammensetzung, Verkehrsaufkommen und Fahrgeschwindigkeitsbeschränkungen können NO_2 -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 dem Jahr 2018 NO_2 -Passivsammler im Tiroler Luftgütemessnetz angewandt. Ziele der Messungen sind,

- die Bestimmung der NO_2 -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.
- die Untersuchung der NO_2 -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 NO_2 -Konzentrationen gebildet. Der vorliegende Bericht beinhaltet die Entwicklung der NO_2 -Belastung in den Jahren 2019 bis 2024 (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 NO_2 und über die Definition von Grenzwerten nach dem IG-L, der EU-Luftqualitätsrichtlinie und der WHO. **Kapitel 3** beschreibt die Messmethode, die Messstandorte, sowie die Qualitätssicherung der Daten. In **Kapitel 4** werden die Ergebnisse schließlich präsentiert und diskutiert.

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 und Richtwerte

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 seinerzeit eine Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

Über die letzten Jahrzehnte kamen wissenschaftliche Studien allerdings vermehrt zu der Erkenntnis, dass es schon bei geringeren Konzentrationen von Schadstoffen in der Luft zu gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann. So geht die WHO nach neuestem Erkenntnisstand für NO₂ erst bei einer mittleren Jahresbelastung von unter 10 µg/m³ davon aus, dass diese für die menschliche Gesundheit unbedenklich ist.

Aus diesem Grund veröffentlichte die Europäische Union im Herbst 2024 eine neue Richtlinie für Luftqualität und saubere Luft in Europa [Europäische Union, 2024]. Diese sieht ab 2030 für die im IG-L geregelten Luftschadstoffe zum Teil deutlich strengere Grenzwerte als bisher vor. Die Richtlinie stellt auch einen Meilenstein für das bis zum Jahr 2050 geplante Erreichen des von der WHO empfohlenen Belastungsniveaus dar. Nach der neuen EU-Richtlinie wird ab 2030 ein NO₂-Grenzwert von 20 µg/m³ im Jahresmittel einzuhalten sein.

Zurzeit wird die neue EU-Richtlinie in nationales österreichisches Recht überführt. Spätestens Ende 2026 sollen die bis zum Jahr 2030 zu erreichenden Grenzwerte im IG-L verankert sein. Um eine fristgereichte Grenzwerteinhaltung sicherzustellen, müssen unter Umständen bereits vor dem Wirksamwerden der neuen Grenzwerte entsprechende Maßnahmen gesetzt werden. Diese sind in sogenannten Luftqualitätsfahrplänen festzulegen.

Wie in **Tabelle 2-1** ersichtlich, liegt der österreichische Grenzwert für den NO₂-Jahresmittelwert gemäß IG-L (BGBl. Nr. 115/1997 i. d. g. F.) zurzeit bei 35 µg/m³ (inklusive 5 µg/m³ Toleranzmarge), wobei für die Setzung von Luftreinhaltemaßnahmen (Erlassung von Luftqualitätsplänen, Maßnahmenverordnungen etc.) der unionsrechtlich festgelegte Grenzwert für den Jahresmittelwert von 40 µg/m³ maßgeblich ist.

Tabelle 2-1. Derzeit geltende Immissionsgrenzwerte für den Stickstoffdioxid-Jahresmittelwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft in Österreich (JMW_{IG-L}; inkl. 5 µg/m³ Toleranzmarge) sowie die seit 2010 einzuhaltenden bzw. bis 2030 zu erreichenden Grenzwerte nach den Richtlinien der Europäischen Union (JMW_{EU (2010)}, JMW_{EU (2030)}) als auch der Richtwert für den NO₂-Jahresmittelwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO_{Richtwert}).

	JMW _{IG-L}	JMW _{EU (2010)}	JMW _{EU (2030)}	WHO _{Richtwert}
Immissionsgrenzwert zum Schutz der Gesundheit	35 µg/m ³	40 µg/m ³	20 µg/m ³	10 µg/m ³

3 Messmethode

3.1 Passivsammler

Bei NO_2 -Passivsammlern 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 wird die Schutzkappe entfernt und eine Glasfrittenmembran eingesetzt. Diese reduziert den Einfluss von Wind und Turbulenzen während der Messperiode. Anschließend wird der Sammler am Messstandort in eine nach unten geöffnete Schutzbüchse gehängt.

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 verbracht. 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) Schutzbüchsenbehälter 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 die Messung mit Passivsammlern kann lediglich festgestellt 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 in diese 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 mittels ÖNORM EN 16339 („Außenluft – Bestimmung der Konzentration von NO₂ mittels Passivsammler“) standardisiert. Diese Norm dient als Grundlage für die Durchführung der Messungen, der Qualitätssicherung und der Auswertungen im Fachbereich Luftgüte der Abteilung Waldschutz im Amt der Tiroler Landesregierung. 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 im Jahr 2024 $\pm 3,13\%$.

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. Mit Hilfe dieser Funktion können alle Messergebnisse der Passivsammler in den jeweiligen Perioden an die Referenzmessungen angepasst und kalibriert werden. **Tabelle 3-1** fasst die ermittelten Funktionsparameter aller Messperioden im Jahr 2024 zusammen. **Tabelle 3-2** zeigt die Jahresmittelwerte, welche aus den Rohwerten der Passivsammlermessungen, den kalibrierten Messergebnissen und den kontinuierlichen Messungen der Referenzmethode an den fünf Messstandorten ermittelt wurden.

Tabelle 3-1. Bestimmtheitsmaß (R^2) sowie Parameter der Kalibrierfunktion $f(x)=k \cdot x^n$ für die einzelnen Messperioden im Jahr 2024 (SF = Standardfehler des Parameters).

Messbeginn	Messende	R^2	k	$\pm SF$	n	$\pm SF$
20.12.23	17.01.24	0,984851	2,328077	0,416671	0,798625	0,052221
17.01.24	14.02.24	0,988024	1,952055	0,344200	0,850142	0,051020
14.02.24	13.03.24	0,989311	1,926360	0,316474	0,818816	0,051817
13.03.24	10.04.24	0,997429	1,355799	0,118637	0,903916	0,028163
10.04.24	08.05.24	0,998050	1,552336	0,144278	0,864125	0,030426
08.05.24	05.06.24	0,998032	1,526930	0,169738	0,849609	0,035762
05.06.24	03.07.24	0,996709	1,179778	0,120882	0,928053	0,034416
03.07.24	31.07.24	0,996079	1,368646	0,161811	0,886564	0,041080
31.07.24	28.08.24	0,995451	1,151058	0,137503	0,939657	0,040593
28.08.24	25.09.24	0,996784	1,467705	0,192764	0,886702	0,041533
25.09.24	23.10.24	0,991393	0,890437	0,154917	1,063494	0,058274
25.10.24	20.11.24	0,985974	1,838380	0,312338	0,853631	0,054594
20.11.24	18.12.24	0,976354	2,778046	0,552190	0,746814	0,059999

Gemäß der Richtlinie 2024/2881 des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2024 ist bei ortsfesten Messungen bezogen auf den Jahresmittelwert mit einer Mindestdatenerfassung von 85% eine Messunsicherheit von 30% zulässig. Bei orientierenden Messungen beträgt die höchstzulässige Messunsicherheit 40%. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen ermittelte 2021 auf Grundlage eines großen Datenpools aus Passivsammlermessungen mehrerer deutscher Bundesländer für den NO₂-Jahresmittelwert eine erweiterte Messunsicherheit von 8,6%. Diese liegt somit klar innerhalb der zulässigen Messunsicherheit für orientierende Messungen (sogar innerhalb der zulässigen

Messunsicherheit für ortsfeste Messungen) und belegt die Eignung dieser Messmethode [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2021].

Tabelle 3-2. Vergleich der Jahresmittelwerte (20.12.2023, 12:00 Uhr bis 18.12.2024, 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 2024 vom 1.1. bis 31.12.2024 (JMW_{2024}) im Tiroler Luftgütemessnetz.

Standort	JMW_{PS}	JMW_{CAL}	JMW_{KONT}	JMW_{2024}
Vomp Raststätte A12	27,7	28,9	29,2	29
Vill Zenzenhof A13	25,6	27,0	26,9	27
Innsbruck Fallmerayerstraße	18,5	20,6	20,3	21
Innsbruck Sadrach	9,1	11,2	11,4	12
Wörgl Stelzhammerstraße	13,9	16,1	16,1	16

3.3 Messstandorte

Im Zeitraum von 2020 bis 2024 wurden jährlich an 30 Standorten in Tirol Passivsammlermessungen durchgeführt. Manche Standorte wurden nach einem Messzeitraum von einem Jahr wieder verlegt, um auf diese Art eine größere räumliche Abdeckung zu erreichen. So verlegte man 2022 elf Messstandorte in die Siedlungsräume von Kitzbühel und St. Johann in Tirol, während 2020 und 2021 die Aufmerksamkeit im Inn- und Wipptal lag. In den Jahren 2023 bzw. 2024 wurden die Schwerpunkte auf immissionsrelevante Gebiete im Zillertal und im Raum Innsbruck bzw. autobahnnah aber expositionsrelevante Messungen entlang der Verkehrsachse A12 zwischen Kufstein und 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 betrugen dabei zwischen 2,6 und 4,4 m und die Messhöhe lag bei ca. 2,2 m über Grund. **Tabelle 3-3** gibt einen Überblick über die räumliche und zeitliche Verteilung der Passivsammler im Untersuchungszeitraum 2020 bis 2024.

In **Abbildung 3-2** sind die Messstellen Zirl Dirschenbach A12 (km 93,3) und die Referenzmessstelle Wörgl Stelzhammerstraße als Beispiel 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 Wörgl Stelzhammerstraße, 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 3-3. Räumlicher und zeitlicher Überblick über die Passivsammlermessungen in Tirol im Zeitraum 2020 bis 2024.

Standort	Länge	Breite	2020	2021	2022	2023	2024
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	•	•	•	•	•
Brixlegg Bahnhof	11,877191	47,434414					•
Brixlegg Innweg	11,871818	47,428567					•
Ebbs A12 (km 0,5) – Eichelwang	12,187029	47,602230					•
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	•	•			
Kramsach A12 (km 34,8) – Begleitweg	11,854417	47,420754					•
Kufstein Schubertstr.	12,162325	47,583689					•
Kundl A12 (km 25,1) – Begleitweg	11,958332	47,468953					•
Langkampfen A12 (km 8,6) – Begleitweg	12,120076	47,548661					•
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	•	•	•	•	•
Wattens Ost Kristallweltenstr.	11,602159	47,296700					•
Wattens Zentrum Swarovskistr.	11,593332	47,296134					•
Wörgl A12 (km 19,0) – Gewerbepark	12,034844	47,484572					•
Wörgl Kreuzung B171 Stelzhamerstr.	12,067850	47,487506			•	•	•
Wörgl Stelzhamerstr.	12,066631	47,488555			•	•	•
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** zeigt einen rückläufigen Trend der NO_2 -Konzentration von 2019 bis 2024 für sämtliche autobahnnahen Messstellen. Während 2019 der EU-Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noch an fünf Messstellen im Bereich der IG-L-Verkehrsmaßnahmen (permanente Tempo-100 Geschwindigkeitsbeschränkung und IG-L-Schwerverkehrsmaßnahmen) überschritten wurde (Ampass A12, Kolsass A12, Vill A13, Vomp Raststätte A12 & Vomp A12 (km 49,6)), war dies 2020 sowie 2021 nur mehr an der Messstelle Ampass A12 (km 71,5) der Fall. In den Jahren 2022 und 2023 wurden mit $39,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $36,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auch dort der EU-Grenzwert eingehalten. Im Jahr 2024 wurde nun erstmals an allen autobahnnahen Messstellen der Grenzwert für den Jahresmittelwert von $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inkl. $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Toleranzmarge eingehalten. Am Messstandort Völs A12 (km 83,5) wurde sogar der ab 2030 einzuhaltende EU-Grenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel eingehalten. Hier ist jedoch anzumerken, dass diese Messstelle im Sommerhalbjahr durch eine temporäre Baustelle mit einhergehender Verkehrsregulierung (einspurige Befahrung der A12 in diesem Bereich) stark beeinflusst wurde.

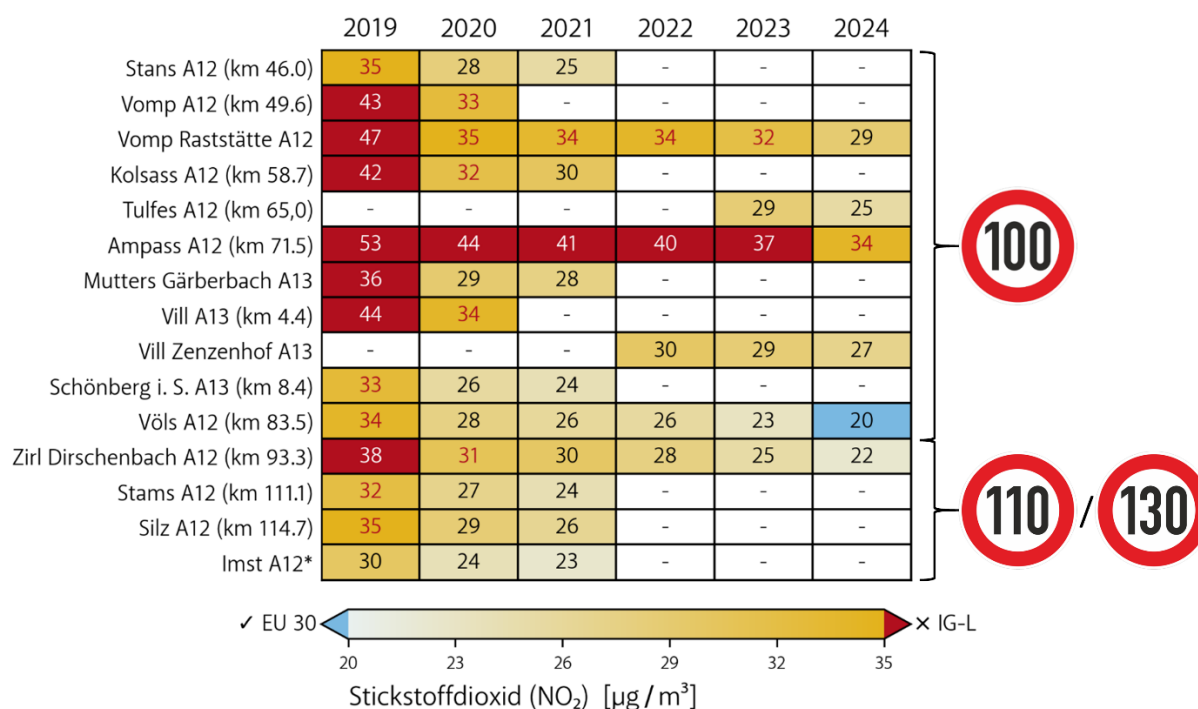


Abbildung 4-1. NO_2 -Jahresmittelwerte in den Jahren 2019 bis 2024 an allen autobahnnahen Messstandorten des Tiroler Passivsammler-Messnetzes. Dunkelrote Zellen kennzeichnen Überschreitungen des Grenzwertes nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) inkl. Toleranzmarge ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dunkelrote Beschriftungen kennzeichnen Überschreitungen des Grenzwertes ohne Toleranzmarge nach dem IG-L ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Hellblaue Zellen kennzeichnen Messwerte unterhalb des ab 2030 einzuhaltenden EU-Jahresgrenzwertes von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Einträge reihen sich nach dem am Messstandort rechtlich vorgeschriebenen Tempolimit (100 bzw. 130/110 km/h – 110 km/h gültig zw. 22:00 – 5:00 Uhr; grau schattiert).

* Ganzjährige IG-L-Tempo 100 Beschränkung seit 2021 auf November bis Jänner eingeschränkt, seit Ende 2023 ganzjährig aufgehoben.

Die durchschnittlichen täglichen Anzahlen an Kraftfahrzeugen von 2019 bis 2024 an den nächstgelegenen Zählmessstellen der ASFINAG sind in **Abbildung 4-2** dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Verkehrsdichte im Jahr 2024 wieder das Niveau von 2019, also vor der COVID-19 Pandemie, erreicht hat. Trotz der Verkehrszunahme ist die NO_2 -Belastung rückläufig. Dies ist insbesondere auf verbesserte Motorentechnik samt Abgasreinigung aber auch auf die stetige Zunahme von Elektrofahrzeugen zurückzuführen.

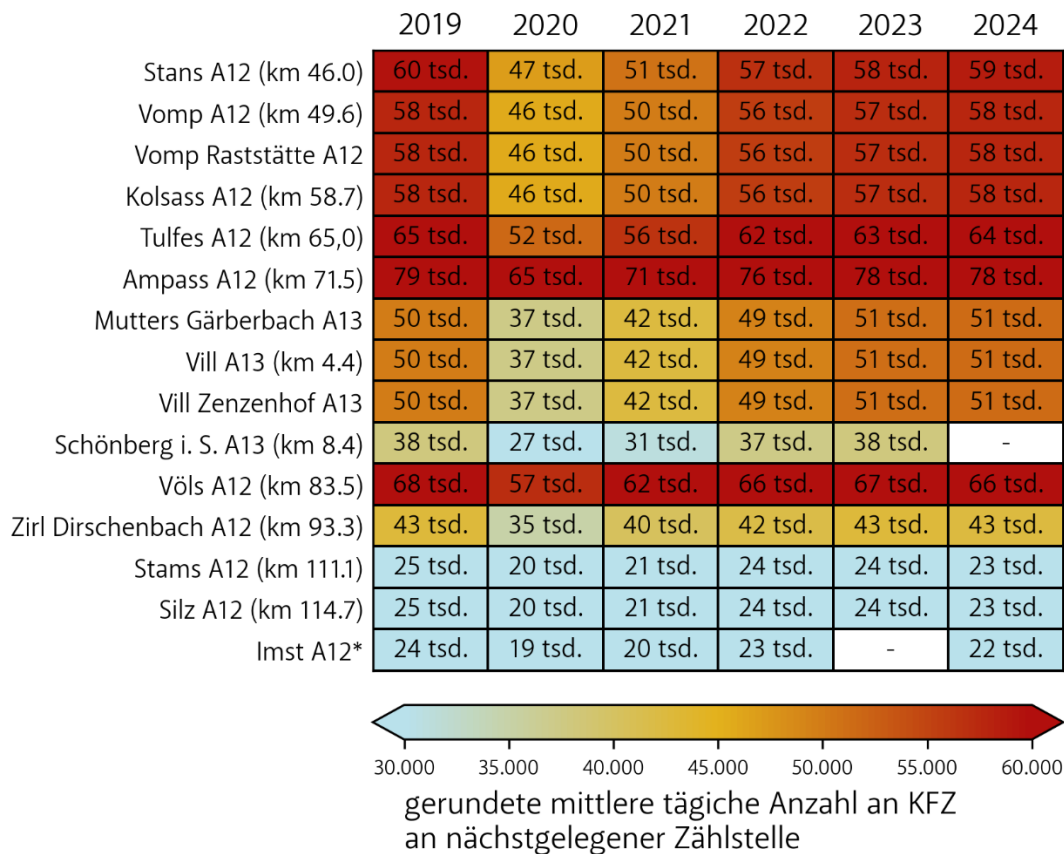


Abbildung 4-2. Durchschnittliche tägliche Anzahl an Kraftfahrzeugen (Mo-So) in den Jahren 2019 bis 2024 an den nächstgelegenen Zählmessstellen der ASFINAG (www.asfinag.at/verkehr/verkehrszaehlung).

4.2 Jahresmittelwerte an expositionsrelevanten Messstandorten

Zusätzlich zu den Messungen an den Autobahnen wurden auch in diversen Siedlungsgebieten im Inntal, Zillertal, Söllandl und Leukental, welche sich im Einflussbereich einer Autobahn, des Durchzugverkehrs, eines Gewerbes oder des Flughafens Innsbruck befinden, NO₂-Konzentrationen ermittelt (**Abbildung 4-3**).

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 Umgebungsluft. Erfreulich ist, dass in allen Jahren der Jahresgrenzwert inkl. Toleranzmarge für NO₂ nach dem IG-L eingehalten wurde (35 µg/m³). An 17 der 24 expositionsrelevanten Messstandorte wurde auch der ab 2030 einzuhaltende EU-Grenzwert von 20 µg/m³ im Jahresmittel eingehalten.

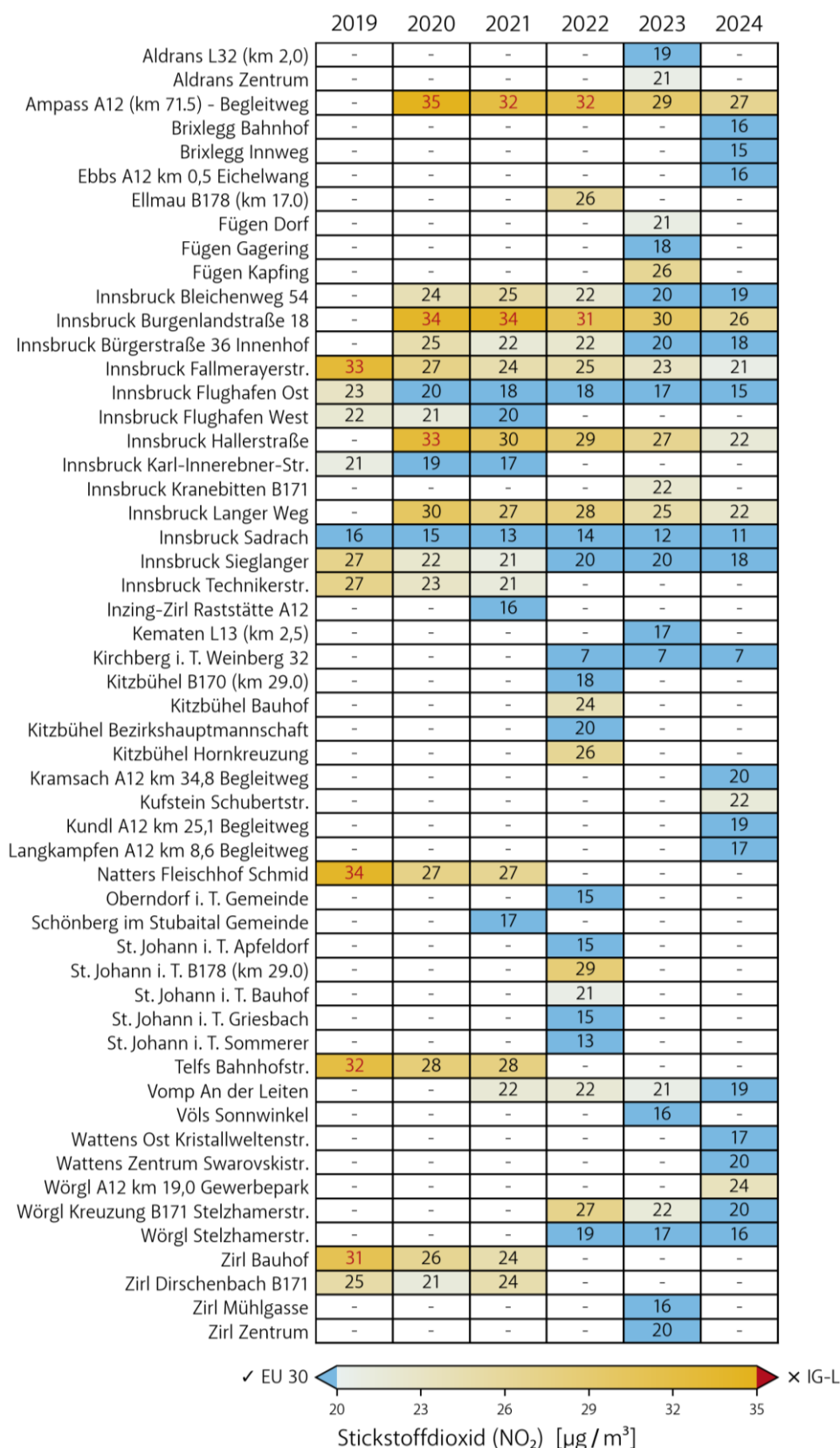


Abbildung 4-3. NO₂-Jahresmittelwerte der Jahre 2019 bis 2024 an allen expositionsrelevanten Messstandorten der Passivsammler. Dunkelrote Beschriftungen kennzeichnen Überschreitungen des Grenzwertes ohne Toleranzmarge nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (30 µg/m³). Hellblaue Zellen kennzeichnen Messwerte unterhalb des ab 2030 einzuhaltenden EU-Jahresgrenzwertes von 20 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 des Rückganges der NO_2 -Belastung in Tirol zeigt **Abbildung 4-4** die räumlich-zeitliche Entwicklung der NO_2 -Messergebnisse im Passivsammlermessnetz sowie an den kontinuierlichen Messstellen im Tiroler Luftgütemessnetz über die Jahre 2019 bis 2024. Dazu wurde eine Klasseneinteilung, die auf den in **Kapitel 2.3** beschriebenen Grenzwerten basiert, herangezogen (siehe **Tabelle 4-1**).

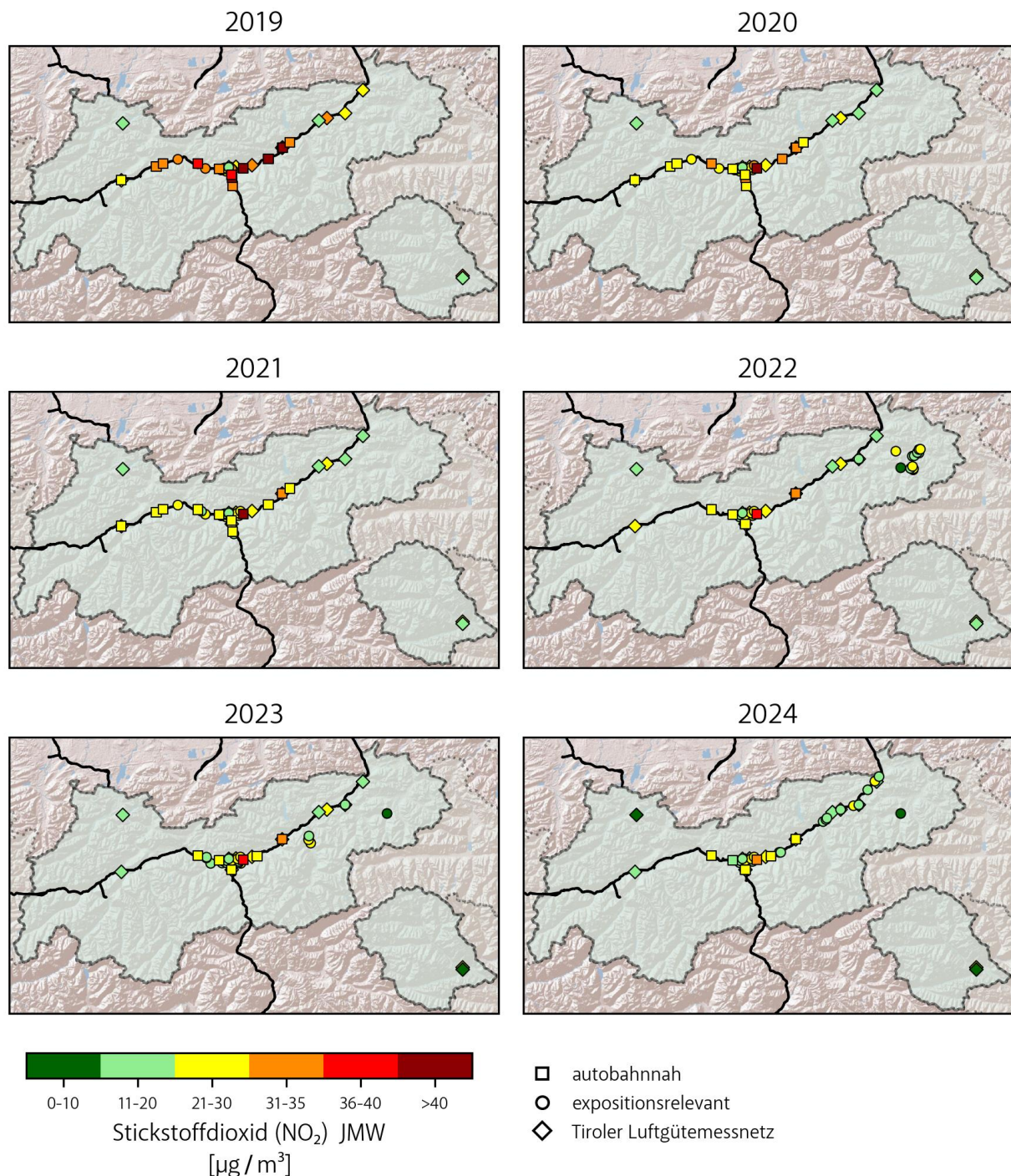


Abbildung 4-4. Räumliche Verteilung der NO_2 -Messstellen in Tirol. Neben den autobahnnahen und expositionsrelevanten Messstandorten der NO_2 -Passivsammler werden auch die Standorte der kontinuierlichen Messungen des Tiroler Luftgütemessnetzes gezeigt. Farben kennzeichnen die Einstufung des Jahresmittelwerts (JMW) der jeweiligen Messstelle in den Jahren 2019 bis 2024 auf Basis der Einteilung in **Tabelle 4-1**. Schwarze Linien kennzeichnen Autobahnen und Schnellstraßen.

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

NO ₂ [µg/m ³]	Beschreibung
0 - 10	Einhaltung der Grenzwertempfehlung der Weltgesundheitsorganisation
11 - 20	Einhaltung des ab 2030 geltenden EU-Grenzwertes
21 - 30	Einhaltung des Grenzwertes nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L)
31 - 35	Überschreitung des Grenzwertes nach dem IG-L Einhaltung des momentan gültigen Grenzwertes nach dem IG-L inkl. Toleranzmarge
36 - 40	Überschreitung des momentan gültigen Grenzwertes nach dem IG-L inkl. Toleranzmarge; Einhaltung des seit 2010 geltenden EU-Grenzwertes
> 40	Überschreitung des seit 2010 geltenden EU-Grenzwertes

Klar erkennbar ist eine Abnahme der NO₂-Belastung über den gesamten Messzeitraum. Wie schon in **Kapitel 4.1** muss festgehalten werden, dass dies vor allem durch schadstoffärmere Fahrzeuge (kontinuierliche Erneuerung der Fahrzeugflotte) und die tempo- und verkehrsmindernden bzw. verkehrssteuernden Maßnahmen entlang der Verkehrsachse Kufstein-Brenner ermöglicht wurde.

Der ab 2030 einzuhaltende Grenzwert der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie wurde an 12 von 30 Messstandorten überschritten. Die Grenzwertempfehlung der WHO konnte gar nur an einem Standort des Passivsammlermessnetzes eingehalten werden, nämlich an der Messstelle in Kirchberg i. T. Weinberg 32.

5 Referenzen

Europäische Union (2024): Richtlinie (EU) 2024/2881 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2024 über Luftqualität und sauberere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union.

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.