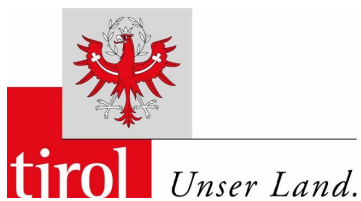




RÄUMLICHE VERTEILUNG DER STICKSTOFFDIOXID-KONZENTRATION AN ZWEI PROFILEN IN TIROL

Wolfgang Spangl
Christian Schütz
Andreas Krismer



REPORT
REP-0019

Wien, 2006



Projektleitung

Christian Schütz

Autoren

Wolfgang Spangl (Umweltbundesamt)

Christian Schütz (Umweltbundesamt)

Andreas Krismer (Amt der Tiroler Landesregierung)

Daten

Amt der Tiroler Landesregierung

Umweltbundesamt

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Titelphoto

Telegrafmast mit Passivsammler – Messstelle Wattens 07 (Amt der Tiroler Landesregierung)

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Druck: Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2006

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457818-0



INHALT

	ZUSAMMENFASSUNG	5
	Messprogramm	5
	Probenahme und Analyse	5
	Ergebnisse	6
	Vergleich mit kontinuierlicher NO₂-Messung	8
	Schlussfolgerungen	9
	Empfehlungen für den Einsatz von Passivsammlern	9
	Empfehlungen für weitere NO₂-Messungen	10
1	AUFGABENSTELLUNG	11
2	MESSMETHODEN UND QUALITÄTSSICHERUNG	12
2.1	Geräte und Probenahmeequipment	13
2.1.1	Probenahme	13
2.1.2	Analysengeräte	13
2.2	Durchführung der Analyse	13
2.2.1	Prinzip	13
2.2.2	Probentransport	13
2.2.3	Lagerung	13
2.2.4	Probenvorbereitung	13
2.2.5	Analyse	14
2.2.6	Berechnung der Konzentration	15
3	LAGE DER MESSSTELLEN	16
3.1	Profil Wattens	16
3.2	Profil Innsbruck – Gleirschalm	19
3.3	Probenahmeplan	21
4	ERGEBNISSE DER MESSUNGEN	22
4.1	Meteorologische Verhältnisse	22
4.2	Profil Wattens	23
4.3	Profil Innsbruck – Gleirschalm	26
5	VERGLEICH DER DIFFUSIONSSAMMLER MIT DEN KONTINUIERLICHEN MESSGERÄTEN	29
5.1	Tirol	29
5.2	Gärberbach	32
5.3	Oberösterreich	33
5.4	Doppelexpositionen	33



6	EMPFEHLUNGEN	35
6.1	Einsatz von Passivsammlern für die NO₂-Messung	35
6.2	Empfehlungen für weitere NO₂-Messungen im Inntal	36
7	LITERATUR	37

ZUSAMMENFASSUNG

Messprogramm

Von Jänner 2004 bis Jänner 2005 wurden Messungen der Konzentration von Stickstoffdioxid (NO₂) an zwei Profilen in Nordtirol mit Passivsammlern durchgeführt. Ziel der Messungen war die Erfassung der räumlichen Konzentrationsverteilung an Standorten mit unterschiedlichen horizontalen wie vertikalen Abständen vom Inntal bzw. von wesentlichen Stickstoffoxidemittenten. Der Vergleich mit NO₂-Messungen mit kontinuierlichen Messgeräten (dies ist die Referenzmethode gemäß Immissionsschutzgesetz Luft – IG-L) an den gemäß IG-L betriebenen Messstellen des Amtes der Tiroler Landesregierung und des Umweltbundesamtes erlaubt darüber hinaus Aussagen über die Vergleichbarkeit der NO₂-Messung mittels Passivsammler zur kontinuierlichen Messung mittels Chemilumineszenz.

Die Untersuchungen umfassten zwei Profile, die das Inntal und angrenzende höher gelegene Gebiete abdeckten:

1. Im Bereich Wattens (östlich von Innsbruck zwischen Hall i.T. und Schwaz) wurden 8 Passivsammler-Messstellen in einem Profil quer zum Inntal installiert. Die Messstellen umfassten einen Standort unmittelbar an der Inntalautobahn A12 sowie nördlich und südlich davon bis zu einem horizontalen Abstand von 1,54 km und einer relativen Höhe von 280 m gegenüber der A12 bzw. dem Talboden, wobei sowohl der Südhang als auch die nördliche Talschulter abgedeckt wurden (siehe Abbildung).
2. Zwischen Innsbruck und der Gleirschalm bei St. Sigmund im Sellrain wurden 10 Passivsammler exponiert, die unterschiedlichste Standorttypen – Stadtzentrum Innsbrucks, Stadtrand, Inntalautobahn A12, Dörfer im Inntal, erhöht gelegene Standorte im Sellrintal – abdeckten. Der Passivsammler-Standort Innsbruck Zentrum sowie der höchst gelegene Standort Gleirschalm (1666 m) waren ident mit NO₂-Messstellen des Amtes der Tiroler Landesregierung bzw. des Umweltbundesamtes (siehe Abbildung).

Probenahme und Analyse

Die Probenahmen und Analysen erfolgten gemäß ÖNORM EN 13528-3 (Außenluftqualität – Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 3).

Die Analytik der eluierten Passivsammler erfolgte mittels Ionenchromatographie gemäß ÖNORM EN ISO 10304-1 (Bestimmung der gelösten Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrit, Orthophosphat, Bromid, Nitrat u. Sulfat mittels Ionenchromatographie – Teil 1: Verfahren für gering belastete Wässer).



Ergebnisse

Die Ergebnisse wiesen die unmittelbar an der Inntalautobahn A12 gelegenen Standorte Wattens Autobahn und Kematen Autobahnparkplatz (siehe Abbildungen) mit Mittelwerten¹ um oder über 60 µg/m³ als die mit Abstand höchst belasteten Standorte aus, die damit vergleichbare Jahresmittelwerte erfassten wie die kontinuierliche NO₂-Messung an der vom Amt der Tiroler Landesregierung betriebenen Messstelle Vomp A12 Raststätte.

Deutlich niedriger war die NO₂-Konzentration in Innsbruck Zentrum Fallmerayerstraße mit 48 µg/m³; diese war im Stadtzentrum von Innsbruck mit mäßig starkem lokalem Verkehrseinfluss sogar niedriger als an der Messstelle Völs Einkaufszentrum mit einem Mittelwert von 52 µg/m³.

Mit zunehmender horizontaler Distanz von der Inntalautobahn A12 nahm im Profil Wattens die NO₂-Konzentration kontinuierlich ab. Sie lag an den Messstellen am Talboden des Inntals bei 19 bis 30 µg/m³, an den erhöht gelegenen Messstellen bei 12 bis 18 µg/m³. Die zwei am Nordhang oberhalb des Inntals in Relativhöhen von 160 bis 280 m gelegenen Messstellen weisen dabei im Mittel nahezu idente Konzentrationen auf.

Die Messstelle Tiergartenstraße am westlichen Stadtrand von Innsbruck wies mit einem Mittelwert von 31 µg/m³ eine ähnliche Konzentration auf wie Wattens Kristallwelten.

Kematen Ortszentrum (Mittelwert 24 µg/m³) kann als repräsentativ für Zentren größerer Dörfer im Inntal abseits der Hauptverkehrsstraßen angesehen werden.

Mit zunehmender horizontaler und vertikaler Distanz vom Inntal bzw. von der Inntalautobahn A12 nimmt die NO₂-Konzentration rasch ab. Sie lag in Grinzens und Oberperfuss direkt oberhalb des Oberinntals bei 10 bzw. 17 µg/m³, im Sellraintal zwischen 2 und 5 µg/m³ – mit wachsender Entfernung vom Inntal kontinuierlich abnehmend.

¹ Die Beprobung erfolgte vom 22.1.2004 bis 18.1.2005, sodass der Mittelwert der Passivsammlermessungen durchaus als „Jahresmittelwert“ anzusprechen ist.

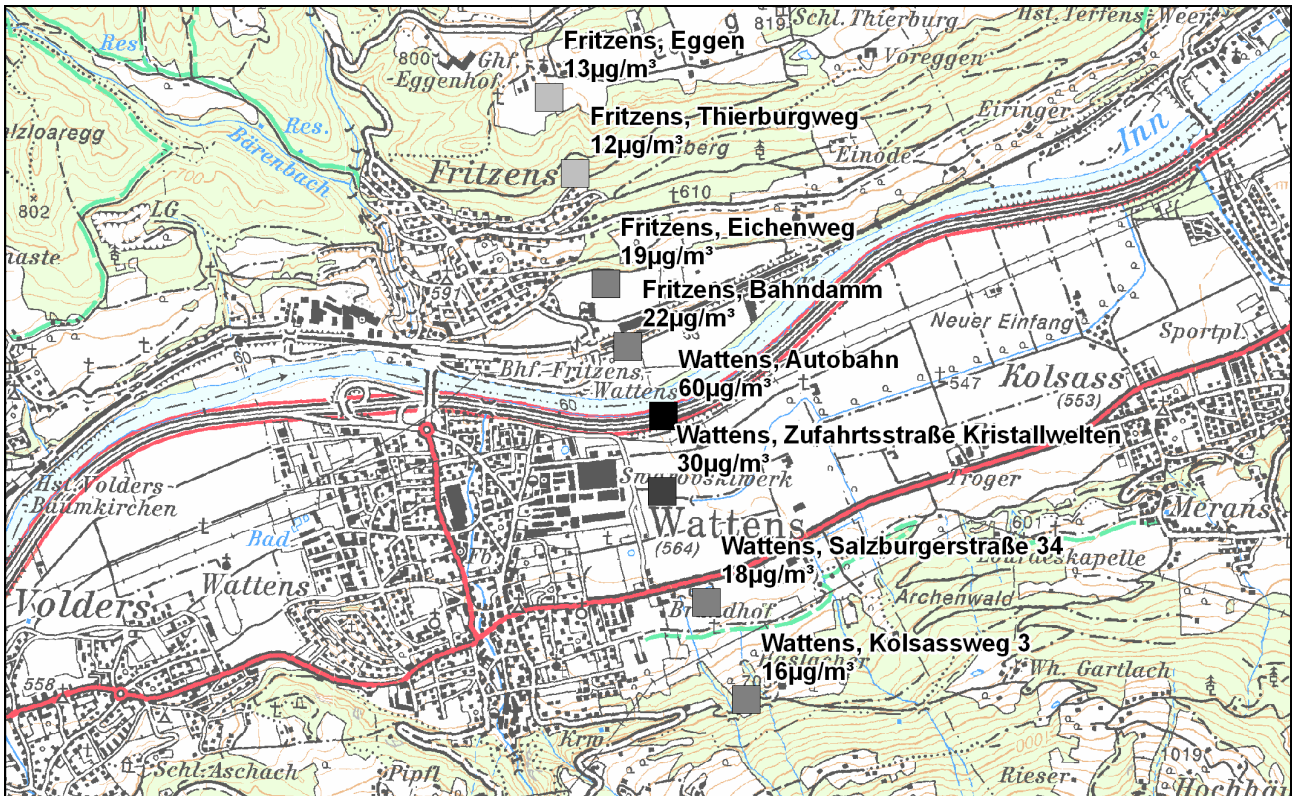


Abbildung A: NO₂-Jahresmittelwerte, Profil Wattens. Die Farbgebung der Symbole gibt die Höhe der mittleren NO₂-Konzentration an.

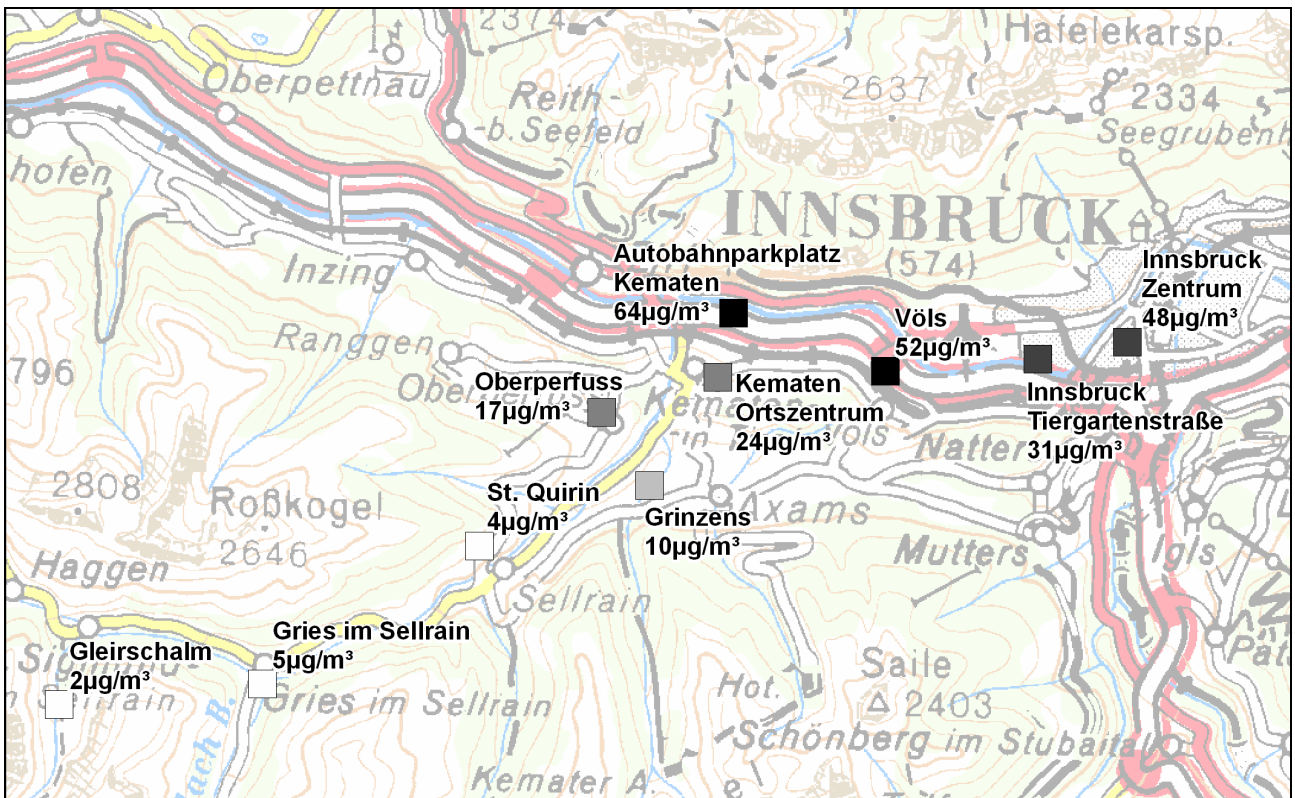


Abbildung B: NO₂-Jahresmittelwerte, Profil Innsbruck – Gleirschalm. Die Farbgebung der Symbole gibt die Höhe der mittleren NO₂-Konzentration an.

Vergleich mit kontinuierlicher NO₂-Messung

Der Vergleich der Messergebnisse der Passivsammler an den Standorten Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm mit den am selben Ort betriebenen kontinuierlichen NO₂-Messgeräten zeigt sowohl im Mittel wie im Jahrgang gute Übereinstimmung.

In Innsbruck Zentrum ergaben beide Messverfahren einen Mittelwert von 48 µg/m³, die einzelnen Periodenmittelwerte wichen allerdings um bis zu 14 µg/m³ voneinander ab. Die – verglichen mit den Messstellen im Bereich Wattens (s. u.) sehr gute Übereinstimmung mit den kontinuierlich gemessenen NO₂-Konzentrationen könnte dadurch bedingt sein, dass hier über 12 bzw. 9 Perioden Doppelbestimmungen durchgeführt wurden. Allerdings waren die Differenzen der beiden am selben Standort exponierten Passivsammler mit bis über 40 % (Standardabweichung 28 %) hoch. Auf der Gleirschalm (Mittelwert der kontinuierlichen Messung 3 µg/m³) zeigten die Passivsammler tendenziell niedrigere NO₂-Konzentrationen als die kontinuierlichen Messgeräte, bei allerdings absolut betrachtet geringen Konzentrationsdifferenzen.

Eine deutlich schlechtere Übereinstimmung mit den kontinuierlichen NO₂-Messungen, sowohl was den Mittelwert der NO₂-Konzentration als auch den Jahresverlauf betrifft, zeigt die stark verkehrsbeeinflusste Messstelle Wattens A12 gegenüber der kontinuierlichen NO₂-Messung in Vomp A12 Raststätte. Insbesondere zeigen die Passivsammler an den besonders verkehrsnahen Standorten Wattens A12 ebenso wie Kematen A12 relativ unregelmäßige Jahresverläufe, die nicht mit jenen der kontinuierlichen Messgeräte in Vomp, Hall i.T. und Kramsach übereinstimmen.

Auch die wenige 100 m von der A12 entfernten Messpunkte bei Wattens ergaben deutlich niedrigere NO₂-Konzentrationen, als sie an kontinuierlichen Messstellen Vomp an der Leiten und Hall i.T. in vergleichbarer Lage relativ zur A12 gemessen wurden. Der Vergleich mit den kontinuierlichen Messstellen ergibt in einzelnen Messperioden große Abweichungen bis 100 %.

Während die im gegenständlichen Projekt durchgeführten Passivsammlermessungen zumeist niedrigere NO₂-Konzentrationen als kontinuierliche NO₂-Messstellen in vergleichbarer Lage lieferten, wurde bei Messkampagnen in Gärberbach [NUA, 2005] sowie in Oberösterreich² (2004/05) [DANNINGER, 2005] die NO₂-Konzentration mit den Passivsammlern tendenziell überschätzt. Bei Vergleichsmessungen in Nordrhein-Westfalen³ [PFEFFER, 2006] konnten keine vergleichbar großen Abweichungen beobachtet werden (Differenz der Jahresmittelwerte +/- 10 %).

² Zum Einsatz kamen vom Institut für Chemische Technologie und Analytik der TU Wien entwickelte Passivsammler.

³ Zum Einsatz kamen modifizierte Passivsammler vom Palmes-Typ der Passam AG.



Schlussfolgerungen

Die Passivsammler-Messergebnisse geben – vorbehaltlich der im vorangegangenen Kapitel diskutierten Diskrepanzen gegenüber den kontinuierlichen NO₂-Messungen – ein plausibles Bild der räumlichen NO₂-Belastung im Inntal im Jahresmittel.

Die höchsten mittleren NO₂-Konzentrationen treten an verkehrsnahen Standorten auf, v. a. an der A12 (über 60 µg/m³); auch Völs Einkaufszentrum (52 µg/m³) weist eine höhere mittlere NO₂-Konzentration auf als Innsbruck Zentrum (48 µg/m³). Am Stadtrand von Innsbruck liegt die mittlere NO₂-Konzentration um 30 µg/m³, in größeren Siedlungen abseits der A12 um 25 µg/m³. Mit zunehmender Distanz vom Inntal nimmt die NO₂-Belastung deutlich ab, bei Relativhöhen über 300 m oberhalb des Inntals treten mittlere NO₂-Konzentrationen zwischen 10 und 20 µg/m³ auf, im Sellraintal auf über 1000 m Werte unter 5 µg/m³.

Die im Jahr 2004 gültige Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge für NO₂ – 45 µg/m³ als Jahresmittelwert – ist damit entlang der gesamten Inntalautobahn zumindest zwischen Vomp und Kematen überschritten. Der hohe NO₂-Mittelwert von 64 µg/m³ in Kematen deutet darauf hin, dass die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge an der gesamten Länge der A12 in Nordtirol überschritten sein dürfte, wobei davon auszugehen ist, dass die NO_x-Emissionen der A12 mit zunehmender Distanz von Innsbruck aufgrund geringeren Verkehrsaufkommens abnehmen.

Die Passivsammler-Messungen lassen vermuten, dass an verkehrsnahen Standorten abseits der A12, wie Völs Einkaufszentrum (52 µg/m³), mit einer Überschreitung der Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge zu rechnen ist.

Der im IG-L festgelegte, ab 2012 einzuhaltende Grenzwert für NO₂ – 30 µg/m³ als Jahresmittelwert – könnte ev. auch am westlichen Stadtrand von Innsbruck (Tiergartenweg 31 µg/m³) sowie in Wattens (Kristallwelten 30 µg/m³) nicht eingehalten werden. Mit Überschreitungen des Grenzwertes ist somit in Teilen des Stadtgebietes von Innsbruck sowie in Kleinstädten im Inntal zu rechnen.

Klar unter dem Grenzwert liegt die mittlere NO₂-Belastung in größeren Dörfern abseits der Hauptverkehrsstraßen (Kematen 24 µg/m³, Fritzens Bahndamm 22 µg/m³).

Empfehlungen für den Einsatz von Passivsammlern

Die Auswertung der Passivsammler-Messdaten zeigt teilweise erhebliche Diskrepanzen zwischen Passivsammlern und kontinuierlicher NO₂-Messung, aber auch zwischen zwei am selben Standort exponierten Passivsammlern auf.

Zudem wurden v. a. an den stark verkehrsbelasteten Standorten teilweise unplausible Jahresgänge erfasst. Dafür sind möglicherweise Querempfindlichkeiten mit den höheren NO-Konzentrationen an diesen Standorten verantwortlich.

Die Unsicherheit der analytischen Methode ist nach derzeitigem Kenntnisstand mit ca. 5 % (mittlere Abweichung des zertifizierten Standardmaterials vom Sollwert) nur für einen geringen Teil der Messunsicherheit verantwortlich. Die Standardabweichung von Doppelbestimmungen bei der Analyse lag bei 2 %, gegenüber knapp 30 % zwischen den am selben Standort exponierten Passivsammlern.

Dennoch zeigen die Mittelwerte von Doppelexpositionen, verglichen mit Einzelexpositionen, wesentlich bessere Übereinstimmung mit der kontinuierlichen NO₂-Messung und ergeben nahezu idente Jahresmittelwerte. Daraus ist die Empfehlung abzuleiten, **Passivsammlermessungen der NO₂-Konzentration nur mit Doppelexpositionen durchzuführen**, um die aus der Aufnahme von NO₂ des individuellen Passivsammlers resultierenden Unsicherheiten zu verringern.

Die großen Differenzen der bei Doppelbestimmungen am selben Standort gemessenen NO₂-Konzentration zeigt allerdings, dass die Passivsammler-Methode eine grundlegende Unsicherheit aufweist, welche wohl im Wesentlichen durch die Sammelcharakteristik bei der Exposition bedingt ist.

Eine mögliche Ursache der Probleme bei sehr verkehrsnahen Passivsammler-Standorten könnte die „Verstopfung“ der Diffusionskörper durch Staub sein, wodurch die Sammelcharakteristik beeinträchtigt wird. Daher werden, bei Verwendung von Passivsammlern des Radiello-Typs mit einer mittleren Porengröße von 25 µm, **an die lokale Feinstaubbelastung angepasste Wechselintervalle der Diffusionskörper** empfohlen. Entsprechend den Herstellerangaben sollte die **Expositionszeit jedoch maximal 2 Wochen** betragen.

Nachdem die Sammelrate (siehe Kapitel 3.2.6) stark von der Temperatur abhängig ist, wird, wenn möglich kontinuierliche **Aufzeichnung der Temperatur** an jeder Messstelle, empfohlen.

Darüber hinaus wird eine verstärkte Qualitätssicherung bei allen Arbeitsschritten der Probenahme durch mehr Feldblindwerte sowie eine verstärkte Dokumentation möglicher lokaler Beeinflussungen und Beeinträchtigungen der Probenahme empfohlen, auch wenn dadurch die – an sich niedrigen – Kosten von Passivsammlermessungen erhöht werden.

Empfehlungen für weitere NO₂-Messungen

In Hinblick auf das räumliche NO₂-Belastungsbild im Inntal, welches die Passivsammlermessungen ergeben, werden Messkampagnen mittels kontinuierlicher NO₂-Messgeräte zu einer präziseren Erfassung des NO₂-Belastungsniveaus an stark verkehrsbeeinflussten Messstellen empfohlen.

Untersucht werden sollten

- a. die A12 im Inntal westlich von Innsbruck
- b. verkehrsnah Standorte im Inntal abseits der A12.

Die Passivsammler-Messergebnisse von Kematen A12 (64 µg/m³) deuten jedenfalls auf eine deutliche Überschreitung der aktuell geltenden Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge in diesem Bereich der A12 hin. Kontinuierliche Messungen sollten dieses Belastungsniveau verifizieren und dazu beitragen, den Bereich, in dem Überschreitungen auftreten, einzugrenzen.



1 AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen eines Monitoringprojektes wurden vom Umweltbundesamt in Kooperation mit dem Amt der Tiroler Landesregierung während der Dauer eines Jahres NO₂-Messungen in Tirol mittels Passivsammlern der Firma Radiello durchgeführt, mit dem Ziel, Informationen über die räumliche NO₂-Konzentrationsverteilung im Inntal zu erhalten. Da in den letzten Jahren vor allem die Stärke der Konzentrationsabnahme mit zunehmender Entfernung von der Autobahn - die für weite Teile des Unterinntals die dominierende Stickoxidquelle darstellt – häufig zur Streitfrage wurde, wurden zwischen Jänner 2004 und Jänner 2005 Messungen in zwei Bereichen des Inntals durchgeführt:

1. Am östlichen Rand der Ortschaft Wattens, in einem topographisch durch das Plateau des Gnadentaler Rückens an der Nordflanke des Tales interessanten Abschnitt, wurde ein Querprofil aus acht Passivsammler-Messstellen erfasst, das an der nördlichen Talseite bis in eine Höhe von 260 m, am der südlichen bis 160 m über den Talboden reicht.
2. Westlich von Innsbruck wurden zehn Messpunkte ausgewählt, die den Belastungsgradienten zwischen dem Stadtzentrum von Innsbruck über das Inntal westlich von Innsbruck und das Sellraintal bis zur Gleirschalm (1666 m Seehöhe) bei St. Sigmund im Sellrain (Hintergrundmessstelle des Umweltbundesamtes) erfassen.

Die Messungen liefern wichtige Informationen über den vertikalen und horizontalen Konzentrationsgradienten im Inntal, an dessen Hängen und in dessen Seitentälern.

Darüber hinaus liefern die Messungen Grundlagen für die Beurteilung einer Einsetzbarkeit von Passivsammlern zur Erfassung der Langzeitbelastung von NO₂.

2 MESSMETHODEN UND QUALITÄTSSICHERUNG

Die Probenahmen und Analysen erfolgten gemäß ÖNORM EN 13528-3 (Außenluftqualität – Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 3). Diese Norm fordert im Punkt 11 eine Reihe von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Im Rahmen dieses Projekts wurden folgend Maßnahmen umgesetzt:

Die Analytik der eluierten Passivsammler erfolgte mittels Ionenchromatographie gemäß ÖNORM EN ISO 10304-1 (Bestimmung der gelösten Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrit, Orthophosphat, Bromid, Nitrat u. Sulfat mittels Ionenchromatographie – Teil 1: Verfahren für gering belastete Wässer).

1. Zur Quantifizierung wurden drei unterschiedliche Arbeitsbereiche mit mindestens je fünf Kalibrationsstandards herangezogen.
2. Die Kalibration der einzelnen Arbeitsbereiche erfolgte mit jeder neuen Serie als Tageskalibration.
3. Die Überprüfung der Kalibration erfolgte mittels von der Kalibration unabhängiger, auf NIST rückführbarer, zertifizierter Standards, die den jeweiligen Arbeitsbereich abdeckten.
4. Die Dokumentation der Kontrollstandards erfolgte in Form von Regelkarten. Die mittlere Abweichung der Kontrollstandards betrug über die Gesamtlaufdauer des Projekts 5 %.
5. Sämtliche Daten werden im Rahmen des Qualitätssicherungssystems des Labors des Umweltbundesamtes (Akkreditierte Prüfstelle gemäß ÖNORM EN ISO/IEC 17025) 10 Jahre aufbewahrt.
6. Mit jeder Expositionsserie wurde ein Feldblindwert, der den Transport, den Ein- und Ausbau im Sammelsystem sowie die Elution und die Analytik im Labor abdeckt, mitanalysiert.
7. Die Sammeleffizienz der Passivsammler wurde pro Expositionsserie durch Vergleich der Ergebnisse der Passivsammler mit denen kontinuierlicher NO₂-Messungen verglichen. Als Standort für diese Vergleichsmessungen wurde ein emissionsferner Standort (Gleirschalm) und ein emissionsnaher Standort (Innsbruck Zentrum) herangezogen.
8. Im Rahmen dieser Vergleichsmessungen wurden 80 % der Proben als Doppelproben (Zweifachexposition) ausgeführt.
9. Im Rahmen der ionenchromatographischen Bestimmung wurden zusätzlich jeweils 5-10 % der Analysenproben doppelt analysiert. Die mittlere Standardabweichung der Doppelbestimmungen betrug über die Gesamtlaufdauer des Projekts 2 %.
10. Um Verschleppungen bei der Analyse auszuschließen, wurden in regelmäßigen Abständen Analysenblindwerte aufgenommen, die alle unter der Bestimmungsgrenze der Methode lagen.
11. Die Probenahmen wurden mittels Probenahmeprotokoll (Probenahmeort, Beginn und Ende der Probenahme, Sammlerkennung, Betreuer) dokumentiert.

2.1 Geräte und Probenahmeequipment

2.1.1 Probenahme

- Radiello© Sammlersystem bestehend aus:
- Polycarbonathalterungen – Typ 120
- Diffusionskörper blau – Typ 120-1
- Absorptionskörper für NO₂ – Typ 166
- Schutzdach (Protective shelter) – Typ 196
- Aufstellung in ca. 1,5 m Höhe.

2.1.2 Analysengeräte

Zur Elution wurde ein Vortexrührer verwendet.

Als Analysengerät wurde ein Ionenchromatographie System eingesetzt.

2.2 Durchführung der Analyse

2.2.1 Prinzip

Die verwendeten Radiello©-Passivsammler bestehen aus microporösem Polyethylen, das mit Triethanolamin (TEA) beschichtet ist. Das TEA besitzt die Eigenschaft, die Stickstoffdioxidmoleküle aus der Luft durch chemische Adsorption zu binden. Nach Elution mit Reinstwasser wird die Nitritkonzentration mittels Ionenchromatographie bestimmt.

2.2.2 Probentransport

Die exponierten Passivsammler wurden mittels Post oder Bahnexpress ins Labor des Umweltbundesamtes geschickt.

2.2.3 Lagerung

Bis zur Analyse wurden die Proben im Labor kühl und dunkel gelagert.

2.2.4 Probenvorbereitung

Die Elution erfolgte in den Transportröhrchen mit 10 ml Wasser (MilliQ© R>18 MOhm) mittels Vortex-Rührer (15 s bei 2500 min⁻¹).

2.2.5 Analyse

Geräteparameter:

- Pumpflow: 0,8 ml min⁻¹
- Eluent: 3,2 mmol l⁻¹ Na₂CO₃ und 1,0 mmol l⁻¹ NaHCO₃ + 10% Aceton
- Suppressorregenerant: 20 mmol l⁻¹ H₂SO₄
- Trennsäule: Metrosep A Supp 5; 150*4 mm
- Vorsäule: Metrosep A Supp 4/5 Guard
- Suppressor Metrohm Nr. 6.2832.000.

Alle verwendeten Chemikalien wiesen mindestens die Qualität „zur Analyse“ oder besser auf.

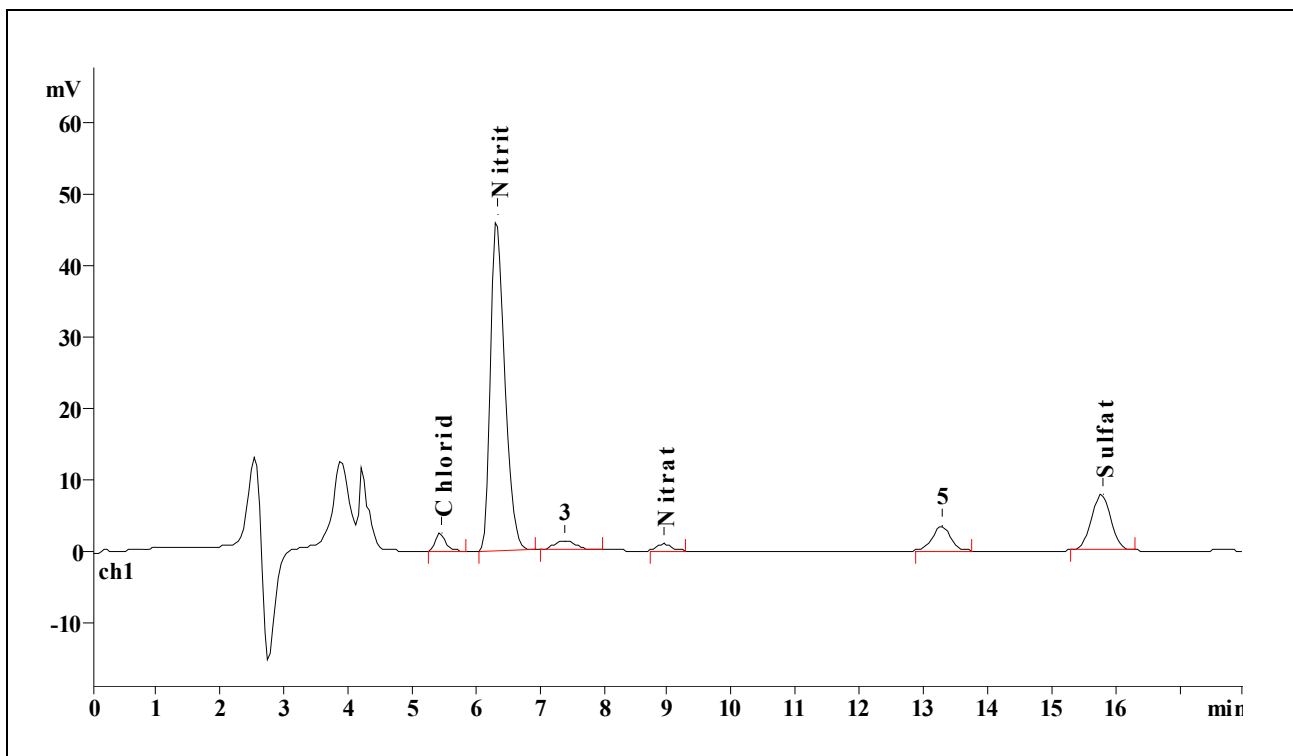


Abbildung 1: Chromatogramm eines Probeneluats.

2.2.6 Berechnung der Konzentration

Die Berechnung der Sammelrate erfolgte mittels untenstehender Formel, die vom Hersteller der Passivsammler zur Verfügung gestellt wurde. Die zugrunde gelegten mittleren Monatstemperaturen wurden auf Basis der Monatmittelwerte der Stationen Innsbruck-Zentrum und Gleirschalm mittels lineare Extrapolation über die Seehöhe ermittelt.

$$Q_k = 0,141 \times \left(\frac{T_k}{298} \right)^7$$

Q_k Sammelrate bei einer gegebenen Temperatur in $\text{ng ppb}^{-1} \text{min}^{-1}$
 T_k Temperatur in Kelvin (Monatsmittelwert)

$$[NO_2] = \frac{m_{NO_2}}{Q_k \times t}$$

NO_2 $\text{ppb } NO_2$
 m_{NO_2} Masse NO_2 bestimmt auf dem Sammler in ng
 Q_k Sammelrate bei einer gegebenen Temperatur in $\text{ng ppb}^{-1} \text{min}^{-1}$
 t Expositionszeit in min

Aufgrund dieser Formel ist ersichtlich, dass eine genaue Erfassung der Temperatur für die Bestimmung der Konzentration essentiell ist.

Die Mittelwerte der Temperatur über die Probenahmeperioden ist für Innsbruck und St. Sigmund Gleirschalm in Abbildung 2 dargestellt.

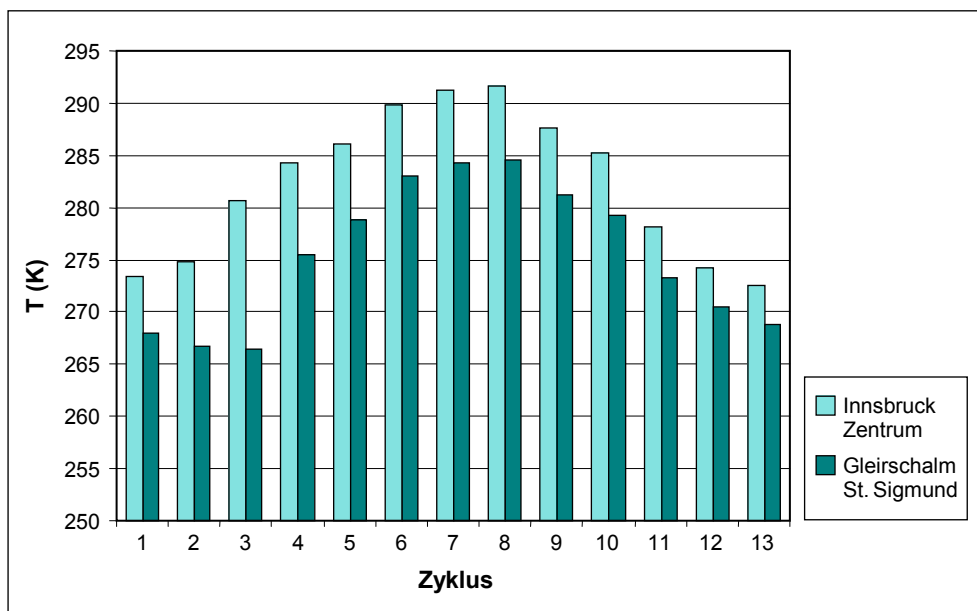


Abbildung 2:
 Perioden-Mittelwerte der
 Temperatur in Innsbruck
 und St. Sigmund.

3 LAGE DER MESSSTELLEN

3.1 Profil Wattens

Die Standorte der acht Passivsammler, die das Querprofil in Wattens bilden, sind in Abbildung 3 auf einem Orthophoto des Inntales zwischen Volders und Terfens eingezeichnet; Tabelle 1 gibt die dazugehörigen Stations- und Standortbezeichnungen sowie die Seehöhe der Messpunkte an. Vertikale und horizontale Distanzen zwischen den Messstellen sowie bezogen auf den zentralen Passivsammler W4 an der Inntalautobahn A12 sind in Tabelle 2 aufgelistet.

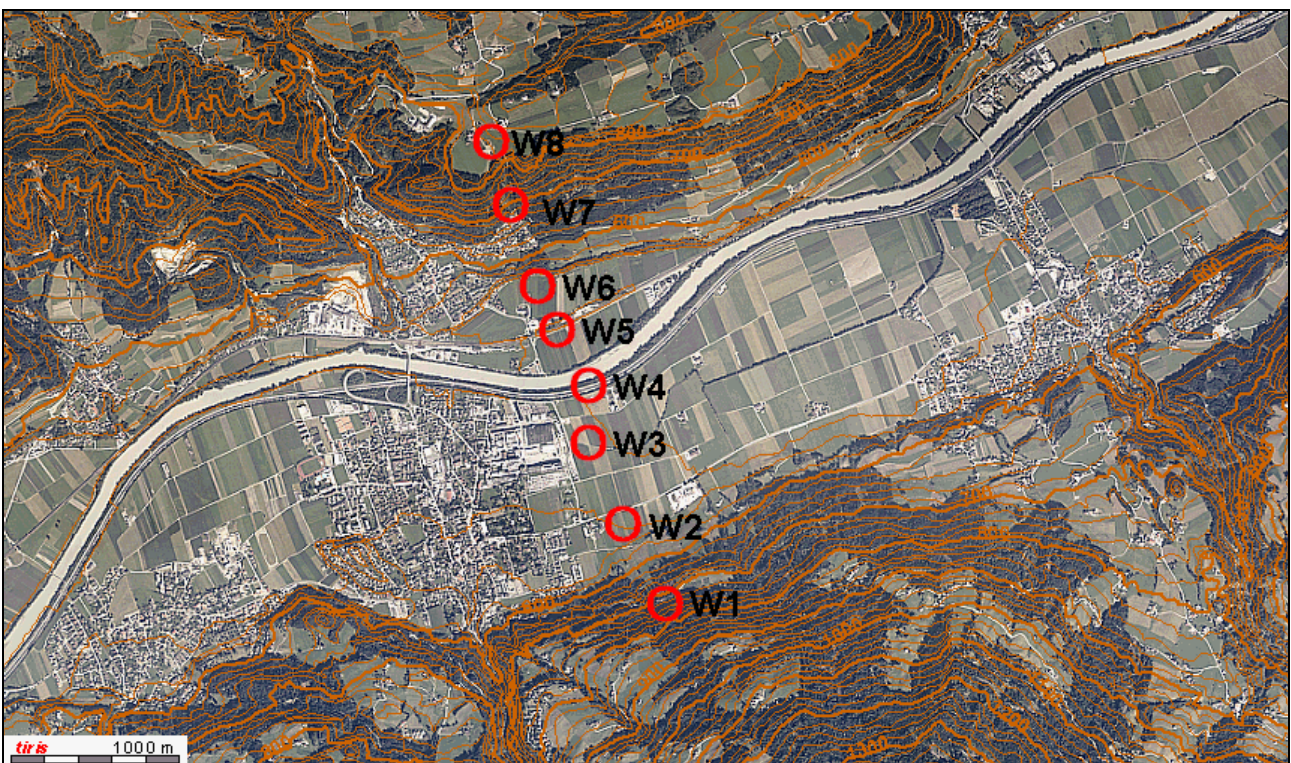


Abbildung 3: Orthophoto mit Höhenlinien und Lage der Passivsammler in Wattens (Quelle: tiris).

Tabelle 1: Standortsbezeichnungen und Höhe der Passivsammler.

Nr.	Standort	Umgebung	Geogr. Länge	Geogr. Breite	Seehöhe
W1	Wattens, Kolsassweg 3	Weiler, Wald	11°36'28"	47°17'20"	700 m
W2	Wattens, Salzburgerstraße 34	LW Nutzfläche	11°36'19"	47°17'34"	560 m
W3	Wattens, Zufahrtsstraße Kristallwelten	LW Nutzfläche, Straße	11°36'09"	47°17'50"	540 m
W4	Wattens, Autobahn	Autobahn, LW Nutzfläche	11°36'09"	47°18'01"	540 m
W5	Fritzens, Bahndamm	Straße, LW Nutzfläche	11°36'01"	47°18'11"	540 m
W6	Fritzens, Eichenweg	LW Nutzfläche	11°35'56"	47°18'20"	540 m
W7	Fritzens, Thierburgweg	Dorf, LW Nutzfläche	11°35'49"	47°18'36"	700 m
W8	Fritzens, Eggen	Weiler, LW Nutzfläche	11°35'43"	47°18'47"	820 m

Strecke	Distanz	Höhendifferenz
Abstände zwischen den Passivsammlern		
W1 - W2	480 m	140 m
W2 – W3	540 m	20 m
W3 – W4	340 m	0 m
W4 – W5	370 m	0 m
W5 – W6	300 m	0 m
W6 – W7	490 m	160 m
W7 – W8	390 m	120 m
Abstände zum Passivsammler an der Autobahn		
W4 – W1	1330 m	160 m
W4 – W2	860 m	20 m
W4 – W3	340 m	0 m
W4 – W5	370 m	0 m
W4 – W6	670 m	0 m
W4 – W7	1150 m	160 m
W4 – W8	1540 m	280 m

Tabelle 2:
Entfernungen zwischen
den Passivsammlern.

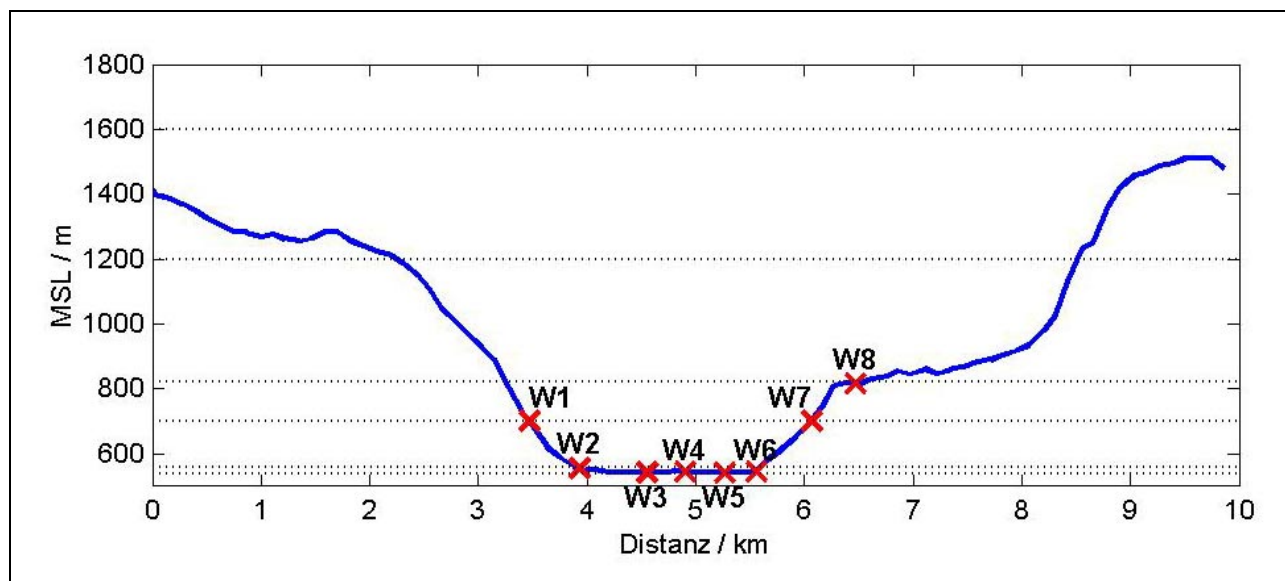


Abbildung 4: Strecken-Höhenprofil eines Talquerschnitts (Süd-Nord) entlang der Passivsammler; dreifach überhöht.

Die folgenden Abbildungen gegen die Lage der Messstellen des Profils Wattens an.

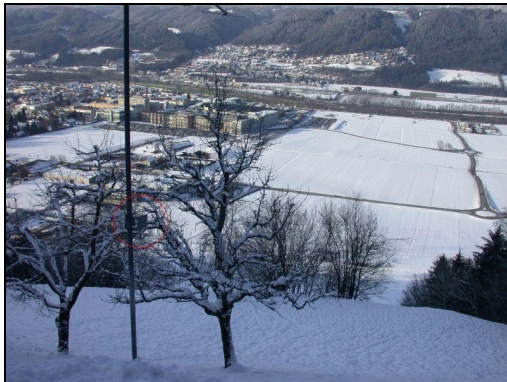


Abbildung 5: Wattens 01.

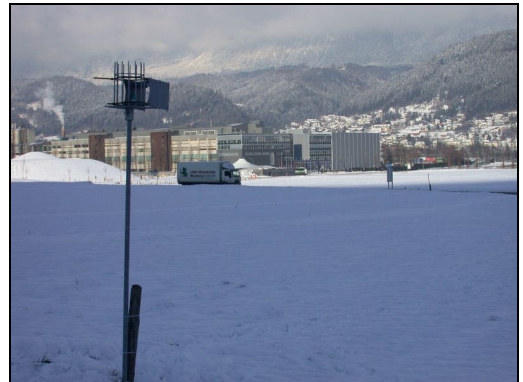


Abbildung 6: Wattens 02.



Abbildung 7: Wattens 03 mit Kreis.



Abbildung 8: Wattens 04 mit Kreis.



Abbildung 9: Wattens 05.



Abbildung 10: Wattens 06.

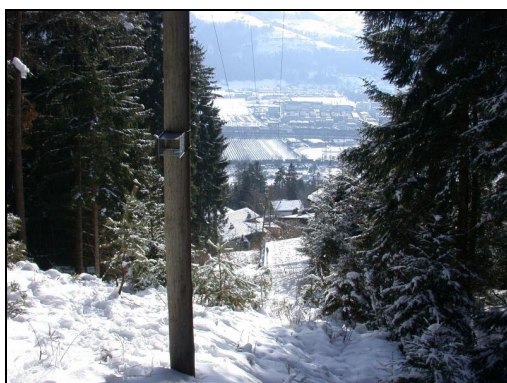


Abbildung 11: Wattens 07.

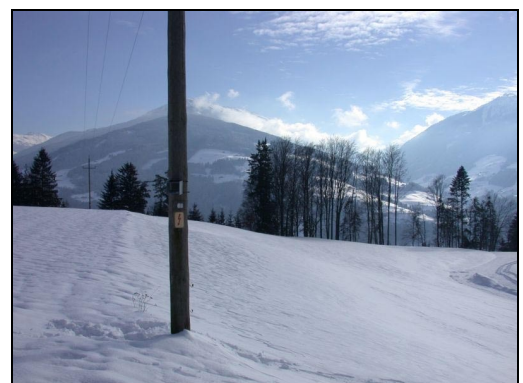


Abbildung 12: Wattens 08.

3.2 Profil Innsbruck – Gleirschalm

Die Standorte der Passivsammler des Profils zwischen Innsbruck Zentrum und Gleirschalm sind in Tabelle 3 angeführt. Abbildung 13 zeigt die Lage der Messstellen, diese sind in Abbildung 14 bis 23 abgebildet.

Tabelle 3: Passivsammler-Standorte des Profils zwischen Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm.

Nr.	Standort	Lage	Länge	Breite	Höhe (m)
G1	Innsbruck Zentrum	dicht verbautes Stadtgebiet, mäßig stark befahrene Straßen	11°23'35"	47°15'47"	580
G2	Innsbruck Tiergartenstraße	locker verbautes Stadtgebiet am Stadtrand	11°22'06"	47°15'34"	590
G3	Völs	großes Dorf, stark befahrene Straße	11°19'34"	47°15'23"	590
G4	Autobahnparkplatz Kematen	Autobahn, LW Nutzfläche	11°17'01"	47°16'00"	600
G5	Kematen Ortszentrum	großes Dorf, mäßig befahrene Straße	11°16'47"	47°15'16"	610
G6	Grinzens	Dorf, LW Nutzfläche	11°15'42"	47°14'01"	920
G7	Oberperfuss	Dorf, LW Nutzfläche	11°14'52"	47°14'50"	820
G8	St. Quirin	Dorf, LW Nutzfläche	11°12'54"	47°13'17"	1246
G9	Gries im Sellrain	Dorf, LW Nutzfläche	11°09'21"	47°11'39"	1180
G10	Gleirschalm	Alm	11°05'59"	47°11'21"	1666

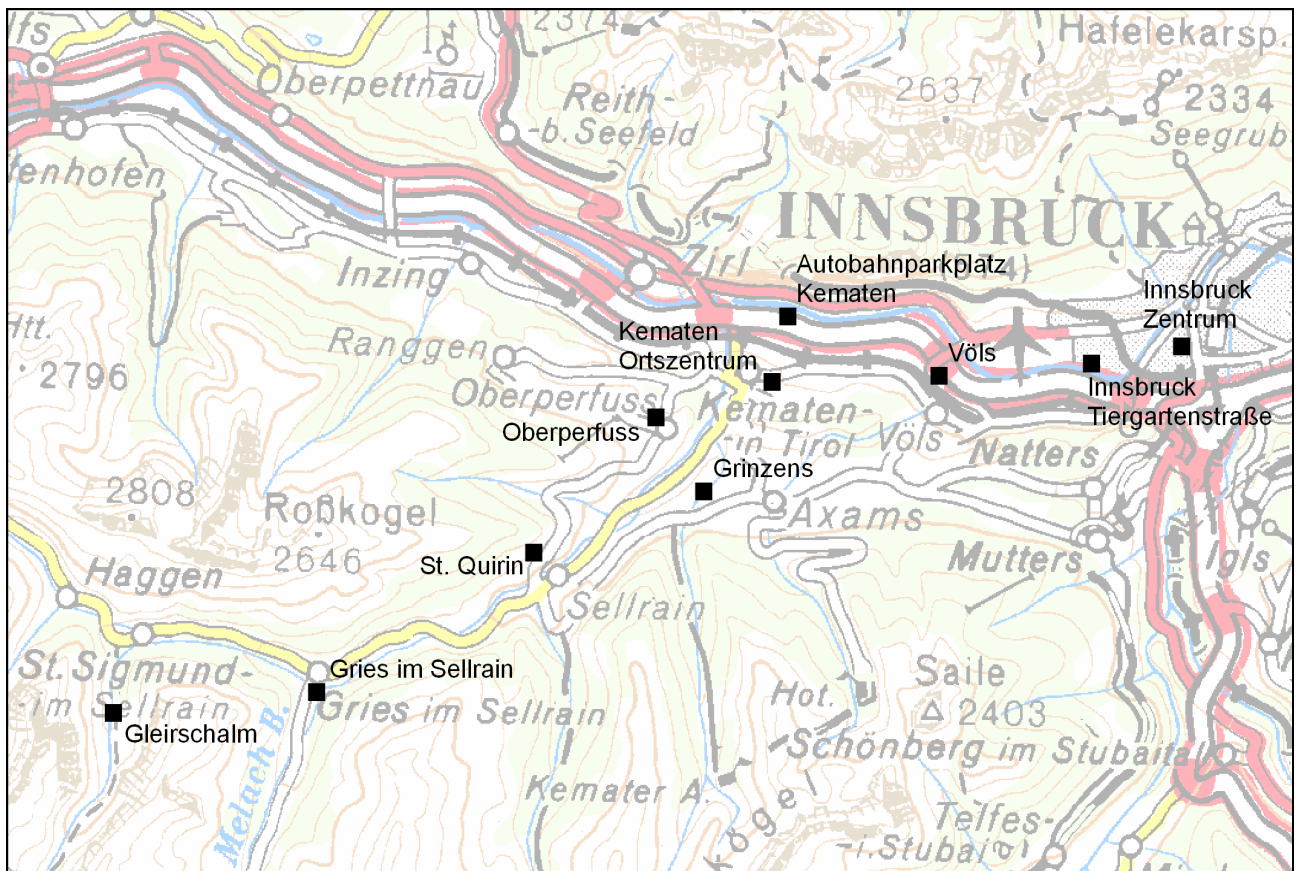


Abbildung 13: Messstellen des Profils zwischen Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm.

Die folgenden Abbildungen geben die Lage der Messstellen im Profil Innsbruck – Gleirschalm an.



Abbildung 14: Messpunkt Innsbruck Zentrum, Fallmerayerstraße.



Abbildung 15: Messpunkt Innsbruck Tiergartenstraße.



Abbildung 16: Messpunkt Völs.



Abbildung 17: Messpunkt Autobahnprapplatz Kematen, A12.

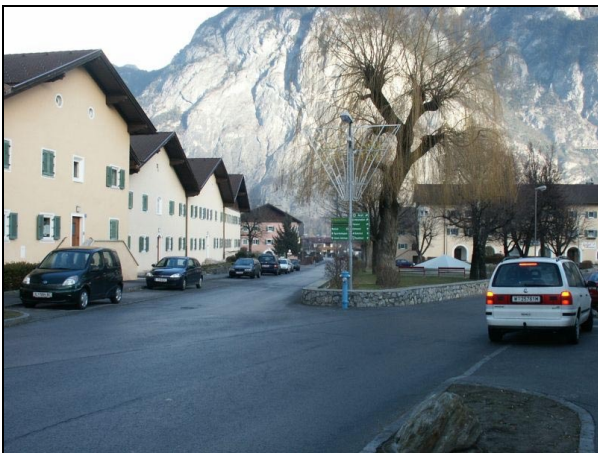


Abbildung 18: Messpunkt Kematen Ortszentrum.



Abbildung 19: Messpunkt Grinzens.

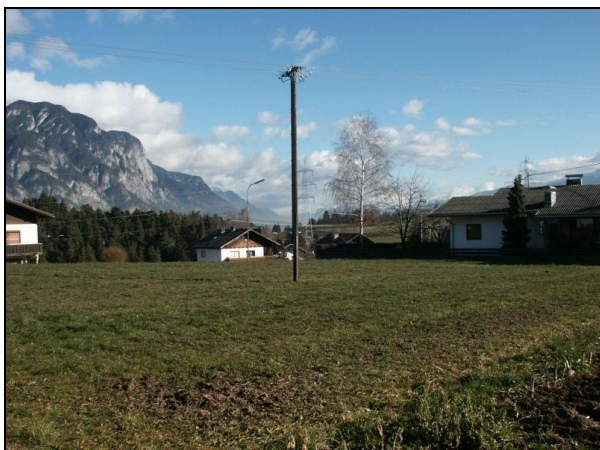


Abbildung 20: Messpunkt Oberperfuss.



Abbildung 21: Messpunkt St. Quirin.



Abbildung 22: Messpunkt Gries i.S.



Abbildung 23: Messpunkt Gleirschalm.

3.3 Probenahmeplan

Tabelle 4 gibt die Zeiträume der ca. vierwöchigen Probenahmeperioden an.

Nr.	Beginn	Ende
1	22.01.04	17.02.04
2	17.02.04	16.03.04
3	16.03.04	13.04.04
4	13.04.04	11.05.04
5	11.05.04	08.06.04
6	08.06.04	06.07.04
7	06.07.04	03.08.04
8	03.08.04	31.08.04
9	31.08.04	28.09.04
10	28.09.04	27.10.04
11	27.10.04	23.11.04
12	23.11.04	21.12.04
13	21.12.04	18.01.05

Tabelle 4:
Probenahmeperioden.

4 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN

4.1 Meteorologische Verhältnisse

Die Schadstoffausbreitung im Inntal wird durch die topographischen Gegebenheiten und die von diesen gesteuerten meteorologischen Verhältnisse bestimmt.

Wesentliche Spezifika der Schadstoffausbreitung im Inntal sind:

1. Schadstofftransport und -verdünnung sind im Wesentlichen nur parallel zum Tal möglich.
2. Bodeninversionen halten sich, verglichen mit dem außeralpinen Raum, u. U. länger, da der Talboden durch die südlich gelegenen Berge länger beschattet wird; dies ist v. a. im engeren oberen Inntal von Bedeutung.
3. Der Wind wird im Inntal entsprechend der Talrichtung kanalisiert und weist – ausgenommen jene Fälle, bei denen die synoptische (großräumige) Strömung mit hoher Windgeschwindigkeit zum Boden durchgreift (Frontdurchgänge, Föhn) einen tagesperiodischen Wechsel auf: Nachts bis Vormittags weht Talauswind (West bis Südwest), Mittags bis Nachmittags Taleinwind (Ost bis Nordost).
4. Die tagesperiodische Hangwindzirkulation führt tagsüber zu Luftmassen- und damit Schadstofftransport entlang der Hänge und in die Seitentäler aufwärts.

Diese sog. thermotopographische Zirkulation wird durch Taleinwind (Nordostwind) mittags bis nachmittags und Talauswind (Südwestwind) nachts bis vormittags bestimmt. Da die Hänge über den Tälern in Relation zum Luftvolumen über dem Tal eine wesentlich größere Fläche zur Aufnahme von Wärme aus Sonneneinstrahlung besitzen, als dies über dem außeralpinen Flachland der Fall ist, wärmt sich die Luft über den Alpen stärker auf als im Alpenvorland. Daher strömt erwärmte Luft an den Hängen hinauf und in die Täler ein. Nachts führt die Abkühlung der Luft zum Abfließen kälterer Luft entlang der Hänge abwärts bzw. die Täler hinaus [u. a. VERGEINER 1983].

Für die Schadstoffausbreitung bedeutet die durch die Topographie eingeschränkte Schadstoffverdünnung, dass gleiche Emissionen, verglichen mit dem außeralpinen Raum, höhere Immissionen zur Folge haben.

Der tagesperiodische Wechsel des talparallelen Windes führt dazu, dass Luftmassen und damit Schadstoffe im Inntal hin- und hertransportiert werden und u. U. über mehrere Tage Schadstoffakkumulation stattfinden kann.

Die Hangwindzirkulation transportiert am Talboden emittierte Schadstoffe entlang der Hänge aufwärts und führt zu einem Konzentrationsgradienten. Dieser ist in jenem Höhenbereich, in dem häufig die Obergrenze der Bodeninversion liegt (ca. 170 bis 200 m über Talboden) besonders ausgeprägt (THUDIUM, 2001).

Durch die Talwindzirkulation der Seitentäler wird schadstoffbelastete Luft in diese „angesaugt“. In den emissionsarmen Seitentälern – im Rahmen der gegenständlichen Studie wurde das Sellraintal beprobt – wird die Schadstoffbelastung daher vom Ausmaß des Transportes aus dem Inntal bestimmt und nimmt mit der Entfernung vom Inntal ab.

Das Jahr 2004 war im Durchschnitt über Österreich ca. -0,5°C kühler als 2003 und ca. 1°C kühler als 2002; verglichen mit der Klimaperiode 1961-1990 lag die Temperatur im Großteil Österreichs jedoch um bis +0,6°C über dem langjährigen Mittel. Besonders warm mit Abweichungen über 0,5°C war es u. a. im Unterinntal, im Raum

Linz, in Wiener Becken, in der Südoststeiermark und im oberen Murtal, insgesamt zeigen die Abweichungen der Jahresmitteltemperatur vom Klimawert aber kein ausgeprägtes regionales Muster.

Die Niederschlagsmengen erreichten im Großteil Österreichs ungefähr den Durchschnitt der Klimaperiode 1961-1990; vergleichsweise trocken mit unter 90% des langjährigen Mittelwerts waren v. a. Vorarlberg und der Westen Nordtirols, Osttirol sowie der Südosten Österreichs.

4.2 Profil Wattens

Die Mittelwerte der NO₂-Konzentration an den Messstellen des Profils Wattens sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: NO₂-Konzentration in den einzelnen Probenahmeperioden (PN) an den Messstellen des Profils Wattens, µg/m³ NO₂.

	Messpunkt							
	Wattens Kolsassweg	Wattens Salzburgerstr.	Wattens Kristall- welten	Wattens A12	Fritzens Bahndamm	Fritzens Eichenweg	Fritzens Thierburg- weg	Fritzens Eggen
	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8
1.PN	28	52	52	83	52	54	12	26
2.PN	18	25	34	80	34	33		18
3.PN	9	12	30	52	44	32	28	15
4.PN	10	12	27	43	20	17	9	8
5.PN	8	12	9	55	19	9	12	7
6.PN	7				10	11	7	4
7.PN	11	15	29	160*	19	20	14	11
8.PN	7	6	12	37	10	11	4	7
9.PN	12	5	29	46	14	12	9	8
10.PN	18	7	34	75	15	9	10	5
11.PN	11	5	30	78	5	12	9	15
12.PN	31		39	62	13	8	19	29
13.PN	32	51	39	52	18	15	23	20
Mittelwert	16	18	30	69 (60)*	22	19	12	13

* Wert unplausibel

** ohne Wert der 7. Periode

Innerhalb des Wattener Profils (Abbildung 24) war die autobahnahe Messstelle Wattens A12 (W4) stets die am höchsten belastete.

Die anderen Messstellen am Talboden (Wattens Zufahrtsstraße Kristallwelten⁴, Fritzens Bahndamm und Fritzens Eichenweg) wiesen in der ersten Jahreshälfte 2004 relativ ähnliche NO₂-Konzentrationen auf, während im Herbst 2004 und im Winter 2004/05 Kristallwelten wesentlich höhere Konzentrationen erfasste als Bahndamm (W5) und Eichenweg (W6), wo die NO₂-Konzentration ab der 10. Periode unter der Konzentration der höher gelegenen Messstellen (Wattens Kolsassweg, im Winter auch Fritzens Thierburgweg und Eggen) lag.

Anzumerken ist, dass die Konzentrationen von W5 und W6 ab der 8. Periode ungewöhnlich niedrig waren. Im Vergleich zu den Passivsammler-Werten des ersten Halbjahres sowie zu den Messwerten der kontinuierlichen NO₂-Messstellen sehen diese Konzentrationen unplausibel niedrig aus. Die Ursache für die Minderbefunde konnte nicht gefunden werden.

Die 20 m über Talboden gelegene Messstelle Wattens Salzburgerstraße wies in der ersten Periode eine sehr ähnliche Konzentration auf wie die Messstellen am Talboden (außer Autobahn), von Frühling bis Herbst 2004 lag sie um 5 bis 10 µg/m³ unter dem Konzentrationsniveau von Kristallwelten, Bahndamm und Eichenweg.

Der Messwert von der Salzburgerstraße (W2) in der 13. Periode (51 µg/m³) entspricht nahezu jenem in Wattens Autobahn (52 µg/m³), allerdings auch der Konzentration, die in Kramsach Angerberg (kontinuierliche Messung) erfasst wurde, wohingegen die kontinuierliche Messstelle Vomp A12 mit 100 µg/m³ einen wesentlich höheren Periodenmittelwert erfasste als Wattens Autobahn (W4). Daher erscheint der (hohe) NO₂-Wert von der Salzburgerstraße eher plausibel als der (niedrige) Wert von Wattens Autobahn.

Vergleicht man die auf 700 m (160 m über Talboden) gelegenen Messstellen Wattens Kolsassweg (W2) und Fritzens Thierburgweg (W7), so zeigen sich teilweise gegenläufige Belastungsbilder. In der ersten Periode sowie im Herbst und Winter 2004/05 wies Kolsassweg auf der südlichen Talseite höhere NO₂-Konzentrationen auf als Thierburgweg am nördlichen Hang, im Frühling und Sommer hingegen Thierburgweg (wobei der Wert von W7 in der 1. und 3. Periode unplausibel aussieht). Die höhere NO₂-Konzentration am Hang nördlich des Inntals im Frühling und Sommer könnte mit verstärktem Schadstofftransport durch die Hangwindzirkulation am südexponierten Hang bei Gnadenwald bedingt sein.

Die auf 820 m, d. h. 280 m über Talboden auf der nördlichen Talschulter gelegene Messstelle Fritzens Eggen (W8) wies bis Sommer 2004, aber auch zeitweise im Winter 2004/05 durchwegs ähnliche NO₂-Konzentrationen wie Wattens Kolsassweg (700 m) auf, im Herbst 2004 sowie in der 13. Periode deutlich niedrigere. Eggen erfasste mit einem Jahresmittelwert von 13 µg/m³ eine halb so hohe NO₂-Belastung wie Kramsach Angerberg (80 m über Talboden; 26 µg/m³).

Mit Ausnahme von Wattens Autobahn zeigen die Messstellen des Wattener Profils einen deutlichen Jahresgang mit erhöhten NO₂-Konzentrationen im Winter.

Ungewöhnlich sind die niedrigen Konzentrationen an den Messstellen Fritzens Bahndamm und Eichenweg im Winter 2004/05, die deutlich unter den Konzentrationen an den gleichen Messpunkten in der ersten Jahreshälfte 2004, aber teilweise auch unter den Konzentrationen an höher gelegenen Messstellen im Winter 2004/05 liegen.

⁴ im Folgenden Kristallwelten genannt

Einen relativ unregelmäßigen Jahresgang weist Wattens Autobahn (W4) auf, mit relativ niedrigen Konzentrationen in den Perioden 12 und 13, die unter den NO₂-Konzentrationen an den Messstellen Vomp A12, Vomp a.d.L. und Hall i.T. liegen.

Derartige verkehrsnahen Standorte weisen eine vergleichsweise hohe NO-Konzentration auf, die NO₂-Konzentration wird hier wesentlich durch die Geschwindigkeit der lokalen Umwandlung (Oxidation) von NO in NO₂ bestimmt. Da diese Umwandlung im Sommer dank höherer Ozonkonzentrationen schneller abläuft, ist im Sommer die NO₂-Konzentration vergleichsweise hoch. Extrem verkehrsnahen Messstellen (mit einem sehr niedrigen NO₂/NO_x-Verhältnis) wie z. B. Wien Hietzinger Kai weisen im Sommer im Mittel eine höhere NO₂-Konzentration auf als im Winter.

Verglichen mit den Jahresgängen der kontinuierlichen Messstellen fallen die niedrigen NO₂-Konzentrationen an den Passivsammlern im Sommer auf. Die kontinuierlichen Messstellen weisen zwar im Winter generell höhere NO₂-Konzentrationen als im Sommer auf, zwischen Mai und Oktober (Probenahmeperioden 5 bis 10) ist allerdings an den kontinuierlichen Messstellen die NO₂-Konzentration zeitlich nahezu konstant, während die Passivsammler ein Konzentrationsminimum im Hochsommer, v. a. in den Perioden 6 und 8, aufweisen.

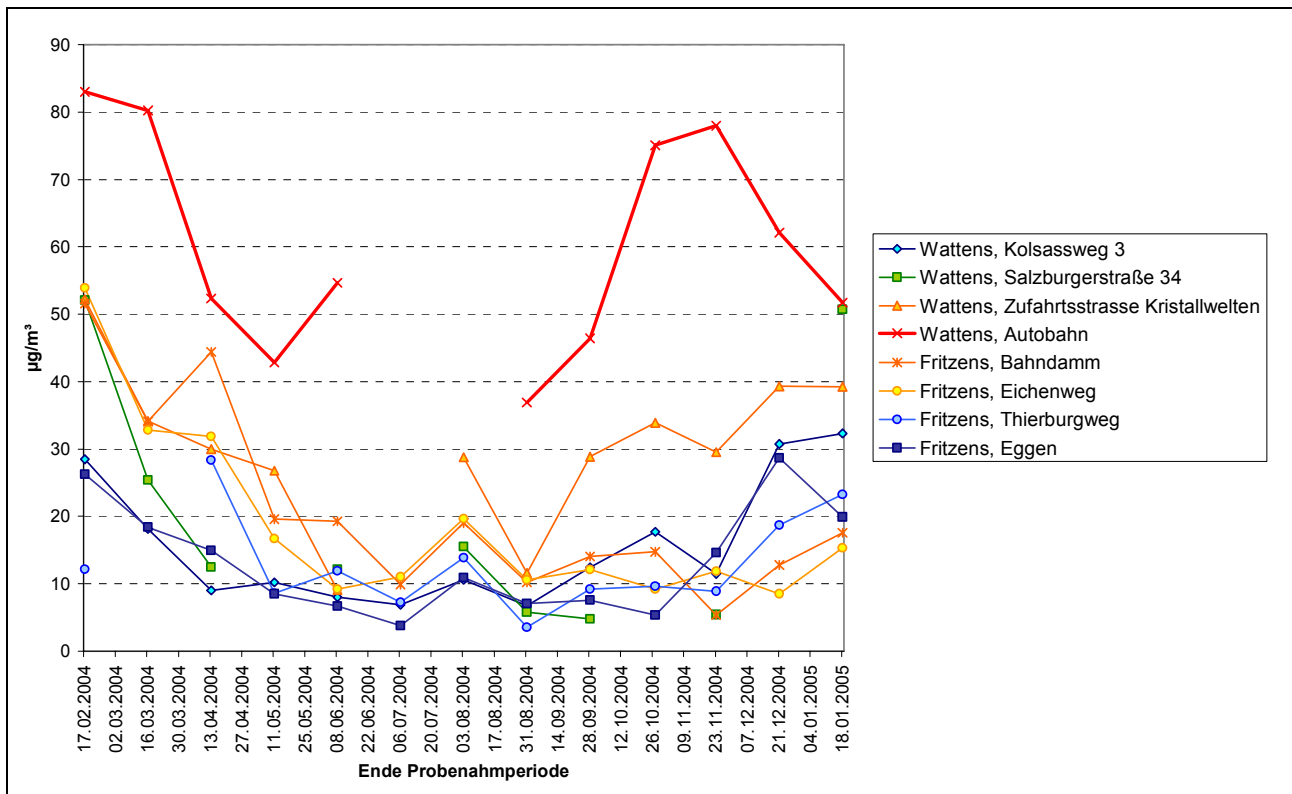


Abbildung 24: Periodenmittelwerte der NO₂-Konzentration, Profil Innsbruck – Gleirschalm.

4.3 Profil Innsbruck – Gleirschalm

Die Mittelwerte der NO₂-Konzentration an den Messstellen des Profils Innsbruck – Gleirschalm sind in Tabelle 6 zusammen gestellt.

Tabelle 6: NO₂-Konzentration in den einzelnen Probenahmeperioden an den Messstellen des Profils Innsbruck – Gleirschalm, µg/m³ NO₂.

	Messpunkt									
	Innsbruck Zentrum	Innsbruck Zentrum	Völs Einkaufszentrum	Kematen A12	Kematen Zentrum	Grinzens	Oberperfuss	St. Quirin	Gries i.S.	Gleirschalm
	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	G 8	G 9	G 10
1.PN	72	51	60	93	56	14	31	5	6	2
2.PN	60	47	74	48	34	11	28	6	7	3
3.PN	45	25		77	23	8	13	4	6	3
4.PN	35	17	41	61	18	8	12	5	4	3
5.PN	42	21	66	68	21	6	8	3	2	2
6.PN	27	26	36		12	7	8	3	2	1
7.PN	30	21	30	37	11	5	9	3	1	1
8.PN	44	17	44	46	14	8	9	1	3	1
9.PN	42	29	31	65	6	8	13	4	4	2
10.PN	42	26		58	22	11	14	5	6	2
11.PN	55	28	53	39	22	15	21	4	12	3
12.PN	58	34	64	53	26	20	30	5	6	2
13.PN	76	62	53	127	43	12	29	3	5	2
Mittel	48	31	52	64	24	10	17	4	5	2

Unter den Messstellen des Profils Innsbruck – Gleirschalm (Abbildung 27) weist G4 Kematen Autobahnparkplatz im Mittel die höchste NO₂-Belastung auf, gefolgt von Völs (G3) und Innsbruck Zentrum (G1).

Kematen Autobahn (G4) weist mit 64 µg/m³ eine ähnliche mittlere NO₂-Konzentration auf wie Wattens Autobahn W4 (69 µg/m³; ohne den Wert der 7. Periode: 60 µg/m³) bzw. Vomp A12 (kontinuierliche Messung 68 µg/m³). Daraus kann geschlossen werden, dass an der Inntalautobahn A12 westlich von Innsbruck – zumindest im stärker befahrenen Abschnitt zwischen Innsbruck und Telfs – eine ähnliche NO₂-Belastung auftritt wie im Unterinntal bei Vomp. In Hinblick auf das höhere Verkehrsaufkommen auf der A12 östlich von Innsbruck ist zu erwarten, dass im Autobahnabschnitt östlich von Innsbruck noch höhere mittlere NO₂-Konzentrationen zu erwarten sind als in Vomp.

Kematen Autobahn und Völs sind stark verkehrsbelastete Standorte, an denen lokale NO_x-Emissionen die NO₂-Belastung dominieren. Innsbruck Zentrum (G1) weist mit 48 µg/m³ eine deutlich geringere mittlere NO₂-Belastung auf als Kematen Autobahn und eine etwas geringere als Völs.

Die am Stadtrand gelegene Messstelle Innsbruck Tiergartenstraße repräsentiert mit einem Mittel von 31 µg/m³ eine städtische Hintergrundbelastung.

Als repräsentativ für größere ländliche Siedlungen im Inntal ist G5 Kematen Ortszentrum (Mittelwert 24 µg/m³) einzustufen.

Mit zunehmender vertikaler Entfernung vom Talboden nimmt die NO₂-Konzentration rasch ab. Die noch direkt oberhalb des Inntals gelegenen Messstellen Grinzens und Oberperfuss weisen mittlere NO₂-Konzentrationen von 10 bzw. 17 µg/m³ auf, wobei die deutlich höhere Belastung in Oberperfuss damit zu erklären ist, dass dieser Standort wesentlich näher an der Autobahn und auf geringerer relativer Höhe über dem Talboden liegt.

Im Sellraintal ist auf Seehöhen von über 1100 m die NO₂-Belastung mit 4 bis 5 µg/m³ nochmals um die Hälfte niedriger als in Grinzens, auf der Gleirschalm (1666 m) liegt sie im Mittel bei 2 µg/m³ (kontinuierliche Messung 3 µg/m³).

Wie die kontinuierlichen NO_x-Messungen auf der Gleirschalm zeigen, ist hier NO_x-Transport von Norden, d. h. aus dem Inntal, die dominierende NO₂-Quelle. Die NO₂-Konzentration liegt bei Nordnordwestwind bei 5 µg/m³, bei Südwind um 2 µg/m³. Es ist anzunehmen, dass auch in St. Quirin (G8) und Gries i.S. (G9) NO₂-Transport aus dem Inntal die Belastung dominiert und lokale NO₂-Emissionen nur eine geringe Rolle spielen.

Ausgeprägte Jahresgänge mit niedrigen Konzentrationen im Sommer und hohen Belastungen im Winter weisen die Messstellen Innsbruck Zentrum, Innsbruck Tiergartenstraße, Kematen Ortszentrum, Grinzens und Oberperfuss auf. Relevant für diese Jahresgänge sind das Zusammenwirken ungünstigerer Ausbreitungsbedingungen am Talboden, die im Winter Schadstoffanreicherung in Bodennähe forcieren, sowie leicht erhöhter NO_x-Emissionen (durch Hausbrand) im Winter.

Dabei weist Innsbruck Zentrum, weniger ausgeprägt auch Innsbruck Tiergartenweg auch im Sommer relativ hohe NO₂-Konzentrationen auf, da in der Stadt Innsbruck die NO_x-Emissionen flächenhaft hoch sind und auch im Sommer Schadstoffverdünnung nur beschränkt zum Tragen kommt.

Mit zunehmender relativer Höhe verflachen die Jahresgänge. Den o. g. Faktoren wirkt an diesen Standorten ein im Sommer intensiverer Transport von NO_x aus dem Inntal in höhere Lagen – infolge verstärkter Talwindzirkulation – entgegen.

Die verkehrsnahen Messstellen außerhalb der Siedlungen – Kematen Autobahn und Völs – weisen nur schwache Jahresgänge und einen ziemlich unregelmäßigen Jahresverlauf auf; die NO₂-Konzentration geht im Sommer, verglichen mit dem Winter, nur mäßig zurück.

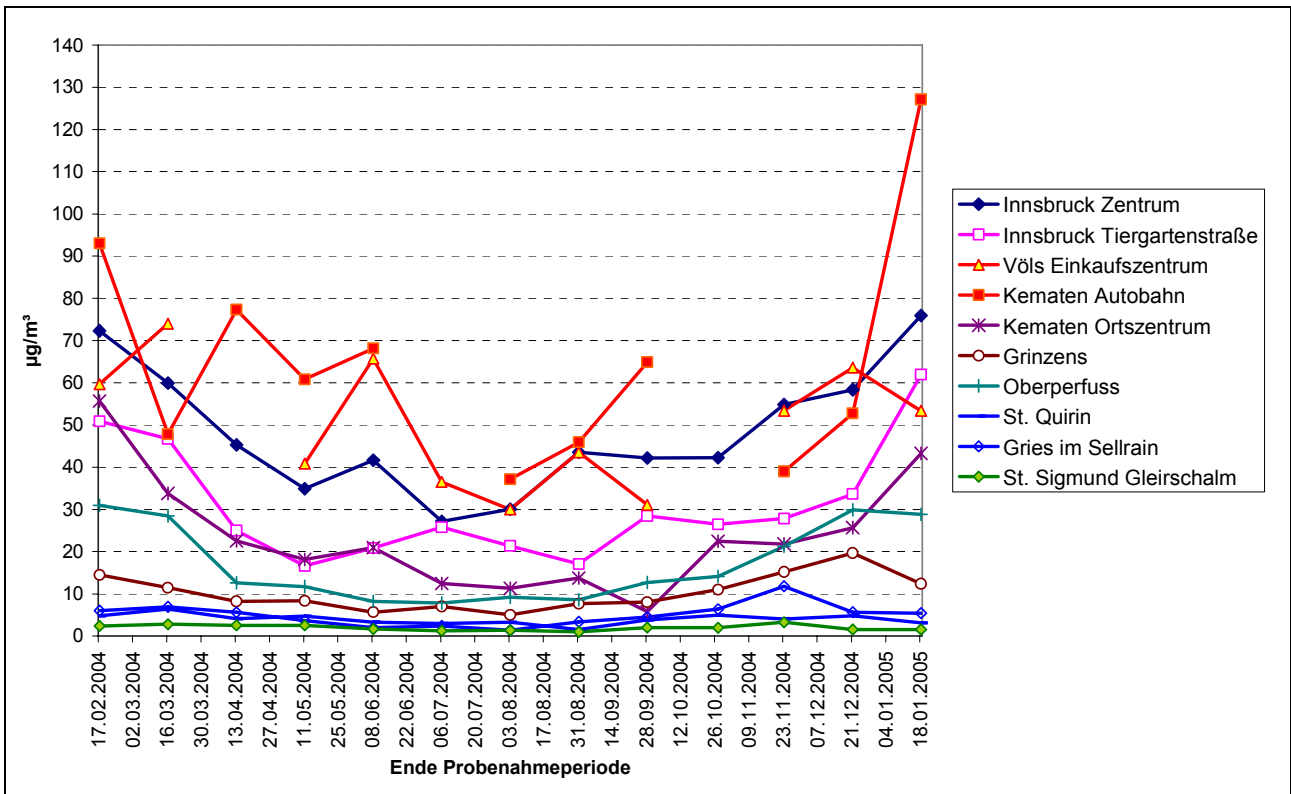


Abbildung 25: Periodenmittelwerte der NO₂-Konzentration, Profil Innsbruck – Gleirschalm.

5 VERGLEICH DER DIFFUSIONSSAMMLER MIT DEN KONTINUIERLICHEN MESSGERÄTEN

5.1 Tirol

Im folgenden Kapitel werden die Periodenmittelwerte der Diffusionssammler mit jenen kontinuierlicher Messstellen verglichen. Dafür stehen die in Tabelle 7 genannten Messstellen zur Verfügung. Die Periodenmittelwerte werden in Tabelle 8 (Profil Wattens) und Tabelle 10 (Profil Innsbruck – Gleirschalm) gegenübergestellt.

Passivsammler	Kontinuierliche Messung
W4 Wattens Autobahn	Vomp A12 Raststätte
W3 Wattens Zufahrt Kristallwelten	Vomp an der Leiten
W5 Fritzens Bahndamm	Hall i.T.
W2 Wattens Salzburgerstraße	Kramsach Angerberg
G1 Innsbruck Zentrum Fallmerayerstr.	Innsbruck Zentrum
G10 St. Sigmund Gleirschalm	St. Sigmund Gleirschalm

Tabelle 7:
Passivsammler-Standorte und vergleichbare kontinuierliche NO_x-Messstellen.

Tabelle 8: Vergleich der NO₂-Konzentrationen der Passivsammler W3, W4, W5 und W2 mit Vomp A12, Vomp a.d.L., Hall i.T. und Kramsach Angerberg, µg/m³ (ohne Probenahmeperiode 6 mit offenkundig zu niedrigen Werten der Passivsammler); die Mittelwerte der kontinuierlichen Messstellen umfassen nur jene Probenahmeperioden, an denen auch an den Passivsammlern Messwerte vorhanden sind.
„Entfernung“ gibt die Entfernung vom Fahrbahnrand der A12 in Metern an.

Entfernung	Wattens A12 (W4)	Vomp A12	Wattens Kristallwelten (W3)	Fritzens Bahndamm (W5)	Vomp a.d.L.	Hall i.T.	Wattens Salzburgerstr. (W2)	Kramsach
	<10	<10	340	370	100	200	860	790
1.PN	83	90	52	52	77	70	52	47
2.PN	80	73	34	34	60	49	25	35
3.PN	52	63	30	44	49	42	12	23
4.PN	43	58	27	20	41	25	12	16
5.PN	55	60	9	19	42	36	12	15
6.PN		55			39	33		14
7.PN	(160)	61	29	19	42	35	15	15
8.PN	37	61	12	10	41	34	6	15
9.PN	46	58	29	14	41	37	5	19
10.PN	75	52	34	15	36	34	7	23
11.PN	78	66	30	5	46	41	5	26
12.PN	62	90	39	13	63	69		42
13.PN	52	100	39	18	76	78	51	50
Mittelwert	69 (60)*	68 (70)	30	22	51	46	18	27

* ohne Wert der 7. Periode

Die Passivsammlerstandorte G1 und G10 befanden sich unmittelbar an den gleichnamigen Messstellen mit kontinuierlicher NO_x-Messung.

Die Messstellen in Vomp, Kramsach und Hall liegen jeweils einige 10 km unterhalb bzw. oberhalb von Wattens. Vomp A12 Raststätte steht unmittelbar an der A12, Vomp an der Leiten und Hall i.T. ca. 100 m von dieser entfernt. Kramsach Angerberg liegt auf 600 m Seehöhe und ist damit am höhenmäßig ehesten mit Wattens Salzburgerstraße vergleichbar. In Kapitel 5.2 wird ein analoger Vergleich für Passivsammlermessungen in Gärberbach A13 (März 2004 – März 2005) dargestellt, in Kapitel 5.3 für Messungen in Oberösterreich (März 2004 – März 2005).

Erhebliche Unterschiede – zwar nicht im Mittel der Differenzen ($-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aber im Mittelwert der Absolutbeträge der Differenzen ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – weist die unmittelbar an der A12 gelegene Messstelle Wattens A12 (W4) verglichen mit Vomp A12 Raststätte auf (Tabelle 9). Hier treten in einigen Perioden am Passivsammler mehr als doppelt so hohe Werte auf wie an der kontinuierlichen Messstelle Vomp A12 (Periode 7: 160 gegenüber $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$), in anderen Perioden halb so hohe (Periode 8 und 13). Unter Ausschluss des sehr unplausibel erscheinenden Wertes der 7. Periode ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ergibt sich zwischen W4 und Vomp A12 eine mittlere Differenz der Periodenmittelwerte von $-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der Mittelwert der Absolutbeträge der Differenzen reduziert sich auf $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Mittelwerte der Differenzen zwischen den NO₂-Periodenmittelwerten der Passivsammler und der kontinuierlichen Messung (siehe Tabelle 9) zeigen auch große Unterschiede zwischen den Messstellen Wattens Kristallwelten (W3) und Fritzens Bahndamm (W5) gegenüber den Messstellen Vomp a.d.L. und Hall, die durch die unterschiedliche Entfernung zur Autobahn A12 bedingt sein können. Auffallend sind allerdings die sehr niedrigen Werte von Fritzens Bahndamm (W5) im Winter 2004/05. Bei den Messstellen W3 und W5 fallen in der 5., 7. und 8. Periode deutlich geringere NO₂-Konzentrationen auf als in Vomp a.d.L. und Hall, in W5 zudem besonders deutlich in den Perioden 9 bis 13. Infolgedessen liegt die Konzentration am Messpunkt W3 im Mittel um 21 bzw. $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unter jener von Vomp a.d.L. und Hall, am Punkt W5 um 29 bzw. $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darunter.

Demgegenüber weist Wattens Salzburgerstr. (W2, 560 m) relativ gute Übereinstimmung mit Kramsach Angerberg (600 m) auf, obwohl die Relativhöhe von Kramsach zum Talboden mit 80 m höher ist als von W2 (40 m); in jenen Probenahmeperioden, in denen die Messstellen am Talboden sehr hohe positive wie negative Diskrepanzen gegenüber den kontinuierlichen Messstellen zeigen, wurde an W2 eine nahezu idente NO₂-Konzentration wie in Kramsach gemessen.

Wie die Auswertung der Differenzen zwischen kontinuierlicher Messung und Passivsammlern in Tabelle 9 zeigt, liegen die relativen Differenzen (d.h. der Mittelwert der Differenz Passivsammler – kontinuierliche Messung geteilt durch den Wert der kontinuierlichen Messung) für alle untersuchten Messstellen des Wattener Profils (außer W4) zwischen -27% und -46% . Die Passivsammler liegen deutlich unter den Werten der kontinuierlichen Messung und weichen – mit Standardabweichungen zwischen 10 und $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – auch im Verlauf der Einzelwerte recht deutlich von diesen ab. An der Messstelle Wattens A12 reduziert sich die mittlere relative Differenz (52%) durch Verwerfen des Wertes der 7. Periode auf -10% , die Standardabweichung der Differenzen auf $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d. h. vergleichbar den anderen untersuchten Messstellen.

Tabelle 9: Mittlere Differenzen der NO₂-Periodenmittelwerte, Mittelwert der Absolutwerte der Differenzen, Mittelwert der Differenz relativ zum Messwert der kontinuierlichen Messung sowie Standardabweichung der Differenzen zwischen Passivsammlern und kontinuierlicher Messung.

	Mittlere Differenz (µg/m ³)	Mittelwert der Absolutwerte der Differenzen (µg/m ³)	Mittlere Differenz relativ zum Mittelwert (%)	Mittelwert der Absolutwerte der Differenzen (%)	Standardabweichung (µg/m ³)
W4 – Vomp A12	-1 (-10)*	24 (16)	52 % (-10 %)	33 % (21 %)	35 (19)
W3 – Vomp a.d.L.	-21	21	-27 %	27 %	10
W3 – Hall i.T.	-16	16	-29 %	20 %	12
W5 – Vomp a.d.L.	-29	29	-38 %	38 %	14
W5 – Hall i.T.	-24	24	-46 %	31 %	18
W2 – Kramsach	-7	8	-30 %	12 %	8
G1 – Innsbruck Zentrum	0	5	1 %	11 %	6
G10 – St. Sigmund Gleirschalm	0	1	-4 %	55 %	1

* ohne Wert der 7. PN

Da die Doppelproben (siehe Tabelle 10) innerhalb einer Serie analysiert wurden und die Standardabweichung für diese Doppelbestimmungen nur wenige Prozent beträgt, scheinen die Differenzen bzw. relativen Differenzen ev. auf Witterungseinflüsse, Temperaturschwankungen, etc. bei der Probenahme zurückzuführen sein.

	G 1	Innsbruck Zentrum	G 10	Gleirschalm
1.PN	72	68	2	2
2.PN	60	58	3	5
3.PN	45	43	3	3
4.PN	35	34	3	3
5.PN	42	37	2	3
6.PN	27	36	1	3
7.PN	30	35	1	3
8.PN	44	35	1	2
9.PN	42	42	2	1
10.PN	42	40	2	2
11.PN	55	48	3	3
12.PN	58	72	2	1
13.PN	76	78	2	2
Mittelwert	48	48	2	3

Tabelle 10: Vergleich der NO₂-Konzentrationen der Passivsammler G1 und G10 (weiß) mit Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm (kontinuierliche Messung, grau unterlegt), µg/m³.

Der Vergleich der NO₂-Konzentration an den Messstellen G1 und G10 ist insofern aussagekräftiger als an den Messstellen des Wattener Profils, als sie sich unmittelbar an derselben Stelle wie die kontinuierlichen NO₂-Messstellen Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm befanden. Im Mittel wurde an beiden Messstellen mit beiden Verfahren die idente NO₂-Konzentration erfasst, der Absolutbetrag der Differenzen (Passiv – kontinuierlich) liegt in Innsbruck Zentrum bei +5 µg/m³. Auch die Standardabweichungen der Differenzen (siehe Tabelle 9) sind für Innsbruck

Zentrum wie für Gleirschalm mit 6 bzw. 1 µg/m³ deutlich niedriger als an den untersuchten Messstellen des Wattener Profils.

Diese wesentlich bessere Übereinstimmung hat folgende Gründe:

1. die räumliche Nähe der verglichenen Messstellen
2. an beiden Messstellen wurden über 12 bzw. 9 Probenahmeperioden Doppelbestimmungen der Passivsammler durchgeführt, wodurch deren Messwerte an Genauigkeit gewinnen (siehe folgendes Kapitel 5.4).

Im Einzelvergleich fällt die 12. Periode auf, in der der Passivsammler in Innsbruck Zentrum eine um 14 µg/m³ niedrigere NO₂-Konzentration als das kontinuierliche Messgerät erfasste. Auch die Wattener Messstellen Wattens Kristallwelten (W3), Wattens A12 (W4) und Fritzens Bahndamm (W5) erfassten in dieser Periode niedrigere NO₂-Konzentrationen als die kontinuierlichen Messstellen in Vomp und Hall, allerdings waren die Unterschiede dort nicht so hoch wie in der 13. Periode; in dieser erfasste demgegenüber G1 eine nahezu idente NO₂-Konzentration wie die kontinuierliche Messstelle.

In St. Sigmund Gleirschalm – bei einem sehr niedrigen Konzentrationsniveau von im Mittel 3 µg/m³ – unterschätzten die Passivsammler die NO₂-Konzentration in mehreren Probenahmeperioden, sowohl im Winter wie im Sommer, um bis 2 µg/m³.

5.2 Gärberbach

Zwischen 16.März 2004 und 15. März 2005 wurden in Gärberbach A13 (direkt an der Brennerautobahn südlich von Innsbruck) NO₂-Messungen mittels Passivsammler (Hersteller Passam) durchgeführt [NUA, 2005]. Die Exposition der Passivsammler erfolgte über 13 jeweils ca. vierwöchige Perioden.

Die Auswertung der Messergebnisse der Passivsammler, der kontinuierlichen NO₂-Messung an der Messstelle Gärberbach A13 des Amtes der Tiroler Landesregierung sowie des Vergleichs der beiden Messverfahren ist in Tabelle 11 angeführt.

*Tabelle 11:
NO₂-Messergebnisse
in Gärberbach,
März 2004 – März 2005.*

	NO ₂ (µg/m ³)	Prozent
NO ₂ -Mittelwert Passivsammler	56,6	
NO ₂ -Mittelwert kontinuierliche Messung	50,7	
Mittlere Differenz der Periodenwerte (Passivsammler – kontinuierlich)	5,9	15 %
Mittelwert der Absolutwerte der Differenzen der Periodenwerte	10,8	23 %
Standardabweichung der Differenzen der Periodenwerte	10,2	20 %

5.3 Oberösterreich

Zwischen 15. März 2004 und 22. März 2005 wurden im Bereich der Westautobahn A1 zwischen Haid und Enns sowie im Mühlviertel NO₂-Messungen mittels Passivsammlern⁵ durchgeführt [DANNINGER, 2005]. Diese Messkampagnen erlauben den Vergleich der Passivsammler-Messergebnisse mit den an den Luftgütemessstellen Haid–Ansfelden, Enns–Kristein und Grünbach bei Freistadt mittels kontinuierlichen Messgeräten erfassten NO₂-Konzentrationen.

Die in Tabelle 12 zusammen gestellten Vergleichszahlen zeigen, dass die Passivsammler in Haid und Enns die NO₂-Konzentration gegenüber den kontinuierlichen Messgeräten deutlich überschätzen, in Haid um 25 %, in Enns um 18 %.

Betrachtet man die Absolutwerte der Differenzen, so liegen diese im Mittel in Haid noch wesentlich höher (über 30 %), in Enns und Grünbach um 20 %.

	Haid	Enns	Grünbach
NO ₂ -Mittelwert Passivsammler	35 µg/m ³	62 µg/m ³	5 µg/m ³
NO ₂ -Mittelwert kontinuierliche Messung	29 µg/m ³	53 µg/m ³	6 µg/m ³ *
Mittlere Differenz der Periodenwerte (Passivsammler - kontinuierlich)	6 µg/m ³ (25 %)	9 µg/m ³ (18 %)	-2 µg/m ³ (-22 %)
Mittelwert der Absolutwerte der Differenzen der Periodenwerte	9 µg/m ³ (32 %)	12 µg/m ³ (23 %)	1 µg/m ³ (19 %)
Standardabweichung der Differenzen der Periodenwerte	8 µg/m ³ (29 %)	10 µg/m ³ (18 %)	2 µg/m ³ (26 %)

Tabelle 12:
NO₂-Messergebnisse
in Haid, Enns und
Grünbach,
März 2004 – März 2005.

* Ausfall von 18.8. bis 14.10.2004

5.4 Doppelexpositionen

An den Standorten Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm wurden während jeweils 12 bzw. 9 Probenahmeperioden Doppelexpositionen von Passivsammlern durchgeführt, um die Ergebnisse der Passivsammler untereinander und mit der jeweiligen kontinuierlichen NO₂-Messung zu vergleichen.

Im Mittel über alle Probenahmeperioden zeigen die parallelen Messreihen zwar gute Übereinstimmung, die Einzelwerte differieren aber deutlich, wie Tabelle 13 zeigt.

Die Differenz der beiden Passivsammler-Werte in Relation zum Mittelwert variiert in Innsbruck Zentrum ebenso wie auf der Gleirschalm zwischen -42 % und +42 %, die Standardabweichung der relativen Differenzen liegt an beiden Messstellen bei 28 %.

⁵ Zum Einsatz kamen vom Institut für Chemische Technologie und Analytik der TU Wien entwickelte Passivsammler.



Tabelle 13: Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der parallel exponierten Passivsammler, Innsbruck Zentrum und St. Sigmund Gleirschalm.

	Innsbruck Zentrum		Gleirschalm	
	Differenz (ppb)	Relative Differenz (%)	Differenz (ppb)	Relative Differenz (%)
Minimum	-10,3	-42 %	-0,4	-42 %
Maximum	11,8	41 %	0,2	42 %
Mittelwert	0,5	1 %	-0,1	-8 %
Standardabweichung	6,7	28 %	0,2	29 %

6 EMPFEHLUNGEN

6.1 Einsatz von Passivsammlern für die NO₂-Messung

Die Auswertung der Passivsammler-Messdaten zeigt teilweise große Diskrepanzen zwischen Passivsammlern und kontinuierlicher NO₂-Messung, aber auch zwischen zwei am selben Standort exponierten Passivsammlern auf.

Die Mittelwerte von Doppelsexpositionen der Passivsammler zeigen jedoch wesentlich bessere Übereinstimmung mit den kontinuierlichen Messungen als die Ergebnisse von Einselexpositionen. Daraus ist jedenfalls die Empfehlung abzuleiten, Passivsammlermessungen der NO₂-Konzentration nur mit Doppelsexpositionen durchzuführen.

Gerade an den besonders verkehrsexponierten Standorten an der A12 traten in einzelnen Perioden sehr hohe Diskrepanzen zu kontinuierlichen NO₂-Messstellen auf, wobei die Passivsammler teilweise etwas unplausible Jahresverläufe zeigten, für die keine Interpretation (z. B. Probleme bei Exposition) gegeben werden kann.

Eine mögliche Ursache der Probleme bei sehr verkehrsnahen Passivsammler-Standorten könnte die „Verstopfung“ der Diffusionskörper durch Staub sein, wodurch die Sammelcharakteristik beeinträchtigt wird. Passivsammler des Radiellotyps weisen eine mittlere Porengröße von 25 µm auf. Bei Vergleichsmessungen in Nordrhein-Westfalen [PFEFFER ET AL, 2006] wurden modifizierte Passivsammler vom Typ Palmes mit Glasfritten (Porengröße 160 µm – 250 µm) verwendet, die auch an verkehrsnahen Standorten eine gute Übereinstimmung mit den kontinuierlichen Messsystemen ergaben.

Für teilweise unplausibel erscheinende Passivsammler-Messergebnisse im Profil Wattens an höher gelegenen Standorten in der zweiten Hälfte der Messkampagne konnte keine Erklärung gefunden werden. Bei der Analytik traten keine Probleme auf und auch bei der Exposition wurden keine Auffälligkeiten dokumentiert.

Aufgrund des Preis/Leistungsverhältnisses, der einfachen Bedienung und der geringen benötigten Infrastruktur ist der Einsatz dieser Passivsammler auf alle Fälle auch in Zukunft zu überlegen. Allerdings sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Probenahme durch Doppelsexpositionen
- verstärkte Qualitätssicherung bei allen Arbeitsschritten der Probenahme durch mehr Feldblindwerte
- Verkürzung der Sammelintervalle von vier auf zwei Wochen
- an die lokale Feinstaubbelastung angepasste Wechselintervalle der Diffusionskörper (mögliche Verstopfung der Poren) – kürzere Expositionszeiten bei hoher Staubbelastung⁶
- wenn möglich kontinuierliche Aufzeichnung der für die Passivsammlerstandorte repräsentativen Temperatur, da die Temperatur, wie aus der Gleichung in Kapitel 3.2.6 ersichtlich, einen erheblichen Einfluss auf die Sammelrate ausübt.
- eine verstärkte Dokumentation möglicher lokaler Beeinflussungen und Beeinträchtigungen der Probenahme.

⁶ bei der Verwendung von Passivsammlern des Radiellotyps (Porengröße im Mittel 25 µm)



6.2 Empfehlungen für weitere NO₂-Messungen im Inntal

In Hinblick auf das räumliche NO₂-Belastungsbild im Inntal, welches die Passivsammlermessungen ergeben, werden Messkampagnen mittels kontinuierlicher NO₂-Messgeräte zu einer präziseren Erfassung des NO₂-Belastungsniveaus an stark verkehrsbeeinflussten Messstellen empfohlen.

Untersucht werden sollten

- a. die Inntalautobahn A12 im Inntal westlich von Innsbruck
- b. verkehrsnahen Standorte im Inntal abseits der A12.

Die Passivsammler-Messergebnisse von Kematen A12 (Mittel 64 µg/m³) deuten jedenfalls auf eine deutliche Überschreitung der aktuell geltenden Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge in diesem Bereich der Inntalautobahn A12 hin. Kontinuierliche Messungen sollten dieses Belastungsniveau verifizieren und dazu beitragen, den Bereich, in dem Überschreitungen auftreten, einzugrenzen.



7 LITERATUR

- DANNINGER, E. (2005): Stuserhebung gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft für NO₂ im Jahr 2003. Grenzwertüberschreitung des Luftschadstoffs Stickstoffdioxid an der Autobahn A1 in Enns-Kristein im Jahr 2003. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung.
- NUA (2005): Immissionsmessungen im Umfeld der Deponie Ahrental, Gemeinde Innsbruck (Stickstoffdioxid und Staubdeposition) im Zeitraum 16.3.2004 – 15.3.2005. Niederösterreichische Umweltanalytik GmbH, Maria Enzersdorf 2005
- PFEFFER, U. ; BEIER R.; ZANG T. (2006): Measurements of nitrogen dioxide with diffusive samplers at traffic-related sites in North Rhine-Westphalia (Germany), Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen. Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 66 (2006) Nr. 1/2 – Januar/Februar s38-44
- SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. (1998): Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, New York.
- THUDIUM, J. (2001): Bericht. Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn, ökoscience, Zürich
- UMWELTBUNDESAMT (2004a): Fachgrundlagen für eine Stuserhebung betreffend die Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für NO₂ an der Messstelle Wien Hietzinger Kai im Jahr 2002, Wien, 2004.
- UMWELTBUNDESAMT (2004b): Umweltsituation in Österreich - Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat .Umweltbundesamt, Wien 2004.
- VERGEINER, I. (1983): Dynamik alpiner Windsysteme. Universität Innsbruck.