

## ***BERICHT***

# **Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn**

Dr. Jürg Thudium  
Dr. Franziska Siegrist  
Dr. Peter Maly

V 2 / 9.9.2001 / 5201.00  
BE\_InntalVerkehr.doc

Oekoscience AG

Quellenstrasse 31  
8031 Zürich

Telefon: 01 271 68 05  
Telefax: 01 273 15 50

Wiesentalstrasse 37  
7000 Chur

Telefon: 081 354 90 10  
Telefax: 081 354 90 11

Nigglistrasse 4  
5200 Brugg

Telefon: 056 450 31 22  
Telefax: 056 450 31 24

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1.	Ausgangslage	1
1.2.	Vorgehen	1
1.3.	Ziele	2
<b>2</b>	<b>Untersuchungsgebiet und Datengrundlage</b>	<b>3</b>
2.1.	Beschreibung der Messstandorte	3
2.1.1.	Vomp	3
2.1.2.	Vomp an der Leiten	4
2.1.3.	Schlagturn	4
2.1.4.	Stans	5
2.1.5.	Unterfeld	6
2.1.6.	Pill	7
2.1.7.	Hall	7
2.1.8.	Zusammenfassung	8
2.2.	Temperaturprofil Schwaz	9
2.2.1.	Standorte der Profilmessungen	9
2.2.2.	Datenqualität	10
<b>3</b>	<b>Immissionsklimatische Untersuchung zum Talabschnitt Volders – Jenbach</b>	<b>12</b>
3.1.	Einleitung	12
3.2.	Klimatologischer Überblick	12
3.3.	Charakterisierung der Witterung im Raum Innsbruck im Jahre 2000	13
3.3.1.	Klima allgemein	13
3.3.2.	Wind in Vomp	14
3.3.3.	Fazit	18
3.4.	Meteorologische Auswertung des Temperaturprofils Schwaz	19
3.4.1.	Allgemeines	19
3.4.2.	Mittlerer Tagesgang der Temperaturen	20
3.4.3.	Inversionshöhen und –mächtigkeiten	22
3.4.4.	Häufigkeit und Intensität der Inversionen	28
3.5.	Zusammenwirken von Inversionen, Wind und Immissionen	31
3.5.1.	Mittlere Tagesgänge von Immissionen und Wind an inversionsarmen und inversionsreichen Tagen	31
3.5.2.	Inversionsarme und inversionsreiche Episoden	35

<b>4</b>	<b>Immissions/Emissionsverhältnisse im Tages- und Jahresgang für das Unterinntal</b>	<b>38</b>
4.1.	Emissionen an der Zählstelle Vomp	39
4.2.	Immissionen	41
4.3.	Die NO <sub>x</sub> -Hintergrundbelastung	45
4.4.	Methode zur Bestimmung der I/E-Verhältnisse	46
4.5.	Resultate	47
4.6.	Fazit	51
<b>5</b>	<b>Abschätzung der zukünftigen Stickoxidimmission an der Messstelle Vomp</b>	<b>52</b>
5.1.	Das Szenarium der zukünftigen Entwicklung der Stickoxidemissionen auf der Autobahn A12	52
5.1.1.	Entwicklung der Emissionsfaktoren	52
5.1.2.	Entwicklung der Fahrzeugzahlen	52
5.1.3.	Ergebnis der Emissionsberechnungen	53
5.2.	Berechnung der zukünftigen Stickoxid-Immissionen	54
5.2.1.	Methodik	54
5.2.2.	Modellierung der NO <sub>2</sub> -Immissionen	55
5.2.3.	Resultate	56
5.3.	Fazit	63
5.4.	Ausblick	64
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>65</b>
6.1.	Zusammenfassung der wichtigsten Resultate	65
6.2.	Ausblick	66

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Messstation "Vomp" der Landesforstdirektion (LFD), direkt an der Autobahn A12. Aufnahme Richtung E.	3
Abbildung 2.2:	Messstation "Vomp an der Leiten" der LFD	4
Abbildung 2.3:	Messstation "Schlagturn" der Niederösterreichischen Umweltanstalt (NUA)	5
Abbildung 2.4:	Messstation "Stans" der NUA. Die Station ist hinter dem Holzschuppen erkennbar.	6
Abbildung 2.5:	Messstation "Unterfeld" der NUA	7
Abbildung 2.6:	Messstation Hall der LFD Im Hintergrund die Bundesstrasse 171, rechts die Eisenbahnlinie. Aufnahme Richtung W.	8
Abbildung 2.7:	Übersichtskarte mit den in die Untersuchungen zum I/E-Verhältnis einbezogenen Messstellen.	9
Abbildung 2.8:	Temperaturprofil Schwaz: Standort des Sensors auf 767 m ü.M.: Stütze 9 der Kellerjochbahn	11
Abbildung 3.1:	Vergleich der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit 1999 und 2000 im Jahresverlauf für die Station Vomp.	15
Abbildung 3.2:	Windrichtung an der Station Vomp für alle Jahreszeiten: a) Sommer, b) Zwischensaison, c) Winter	16
Abbildung 3.3:	Station Vomp, 2000: Saisonale Häufigkeitsverteilung der Windrichtung im Tagesgang (links) und damit zusammenhängende NO <sub>x</sub> -Dosis (rechts) für den Sommer, die Zwischensaison und den Winter (von oben nach unten).	18
Abbildung 3.4:	Überblick über die unteren Sensoren des Temperaturprofils bei Schwaz bis Herbst 2000 als Zeitreihe. Die blauen Linien zeigen die verfügbaren Daten an. Der Sensor T2 auf 103 m über dem Talboden ist bereits Mitte Februar ausgefallen.	20

Abbildung 3.5:	Mittlerer Tagesgang aller gemessenen Temperatursensoren im Frühsommer (1.5. - 13.6.2000). Der 2. Sensor auf 103 m über Talgrund war während dieser Periode nicht in Betrieb.	21
Abbildung 3.6:	Mittlerer Tagesgang aller gemessenen Temperatursensoren im Winter (31.10.2000 – 18.3.2001). Beachte die unterschiedlichen Skalen zwischen Abbildung 3.5 und Abbildung 3.6.	22
Abbildung 3.7:	Temperaturprofil Schwaz: Inversionshöhen im Winter (November 2000 bis März 2001)	24
Abbildung 3.8:	Temperaturprofil Schwaz: Inversionsobergrenzen im Winter (November 2000 bis März 2001)	25
Abbildung 3.9:	Temperaturprofil Schwaz: Inversionsmächtigkeit im Winter (November 2000 bis März 2001)	25
Abbildung 3.10:	Inversionshöhen für Februar / März 2000. Gemessen mit allen verfügbaren Temperatursensoren auf den ursprünglichen Höhen im Temperaturprofil Schwaz	26
Abbildung 3.11:	Inversionsobergrenzen für Februar / März 2000. Gemessen mit allen verfügbaren Temperatursensoren auf den ursprünglichen Höhen im Temperaturprofil Schwaz	27
Abbildung 3.12:	Inversionshöhen für Mai / Juni 2000 aus dem Temperaturprofil Schwaz. Der zweitunterste Sensor war während dieser Periode nicht mehr in Betrieb.	27
Abbildung 3.13:	Inversionsobergrenzen für Mai / Juni 2000 aus dem Temperaturprofil Schwaz. Der zweitunterste Sensor war während dieser Periode nicht mehr in Betrieb.	28
Abbildung 3.14:	Temperaturprofil Schwaz: Häufigkeit von Inversionen je gemessener Schicht im Tagesgang für den Winter	29
Abbildung 3.15:	Dauer (=orange Fläche) und Intensität (= blaue Balken) von Inversionen auf den untersten 50 Metern je Tag im Winter für das Temperaturprofil Schwaz	30
Abbildung 3.16:	Mittlere Tagesgänge von NO <sub>x</sub> für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.	32

Abbildung 3.17: Mittlere Tagesgänge von NO <sub>2</sub> für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.	32
Abbildung 3.18: Mittlere Tagesgänge der Windgeschwindigkeit für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.	33
Abbildung 3.19: Windrichtungsverteilung im Tagesgang für die inversionsarmen Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.	34
Abbildung 3.20: Windrichtungsverteilung im Tagesgang für die inversionsreichen Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.	34
Abbildung 3.21: NO <sub>x</sub> -Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 7. – 10.11.2000.	35
Abbildung 3.22: NO <sub>x</sub> -Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 6. – 8.2.2001.	36
Abbildung 3.23: NO <sub>x</sub> -Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 31.1. – 2.2.2001.	36
Abbildung 4.1: Mittlerer jährlicher Tagesgang der einzelnen Fahrzeugkategorien an der Zählstelle Vomp. Fahrzeugkategorien: Pkw: Personenwagen; Pab: Pkw mit Anhänger und Busse; Lkw: Lastwagen; Slz: Sattel- und Lastenzüge.	39
Abbildung 4.2: Mittlerer saisonaler Tagesgang der Emissionen an der Zählstelle Vomp. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.	41
Abbildung 4.3: Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Vomp als Beispiel für einen Standort direkt an der Autobahn. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.	43
Abbildung 4.4: Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Hall als Beispiel für ein ca. 200 m von der Autobahn entferntes Wohnquartier. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.	44

Abbildung 4.5:	Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Schlagturn. Obwohl die Station nahe an der Autobahn liegt, ist sie weniger stark durch Immissionen belastet als andere Standorte, weil sie unterhalb der Fahrbahn liegt und durch die Lärmschutzwand auch vor Schadstoffeinträgen geschützt ist. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.	45
Abbildung 4.6:	Mittlerer saisonaler Tagesgang des I/E-Verhältnisses an allen Stationen für alle drei Jahreszeiten. Links, von Oben nach unten: Vomp, Stans, Hall, Unterfeld; rechts: Vomp an der Leiten, Schlagturn, Pill. Beachte die unterschiedliche Skalierung der einzelnen Grafiken. Für Pill existieren keine Winterdaten.	49
Abbildung 5.1:	Entwicklung der Emissionen für den Gesamtverkehr und die einzelnen Fahrzeugkategorien für die Jahre 2000, 2005 und 2010.	53
Abbildung 5.2:	Der Relative Anteil der Fahrzeugkategorien an den Emissionen für die Jahre 2000, 2005 und 2010.	54
Abbildung 5.3:	Die Funktion zur Bestimmung der NO <sub>2</sub> -Immissionskonzentration in Abhängigkeit von der NO <sub>x</sub> -Konzentration.	56
Abbildung 5.4:	Modellierte NO <sub>x</sub> -Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das <i>proportionale Szenarium</i> (2005 prop und 2010 prop), das <i>konstante Szenarium</i> (2005 c und 2010 c), das <i>Nachtfahrverbots-Szenarium</i> (2005 NFV und 2010 NFV) und das <i>Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h)</i> .	57
Abbildung 5.5:	90%-Quantile der Stundenmittel eines Jahres für NO <sub>x</sub> an der Messstelle Vomp für das <i>proportionale Szenarium</i> (2005 prop und 2010 prop), das <i>konstante Szenarium</i> (2005 c und 2010 c), das <i>Nachtfahrverbots-Szenarium</i> (2005 NFV und 2010 NFV) und das <i>Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h)</i> .	58

- Abbildung 5.6: Berechnete NO<sub>2</sub>-Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das proportionale Szenarium (2005 prop und 2010 prop), das konstante Szenarium (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h) sowie die in den Jahren 2005 und 2010 gültigen *Grenzwerte der EU* und des *österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft (IGL)* Die hier dargestellten NO<sub>2</sub>-Werte sind eine grobe Näherung, da die für die Berechnung verwendete NO<sub>2</sub>-Konversionsfunktion aus den NO<sub>x</sub>-Werten (Abbildung 5.3) eine starke Streuung aufweist. 59
- Abbildung 5.7: Tagesgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen der A12 für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h). 60
- Abbildung 5.8: Szenarienvergleich des mittleren Tagesgang der Emissionen für das *proportionale Szenarium* (E2005 prop) und das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (E2005 NFV) 61
- Abbildung 5.9: Tagesgang der NO<sub>x</sub>-Immissionen bei Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h). 62
- Abbildung 5.10: Tagesgang der NO<sub>2</sub>- Immissionen bei Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h). 63



# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Höhen der Messfühler im Temperaturprofil Schwaz. Angaben in Metern über Meer (m ü.M.) und Metern über Talgrund (m ü.G.).	10
Tabelle 3.1:	Charakteristische Klimaelemente im Jahr 2000. RR: Niederschlag, RR-Tage: Tage mit mind. 0.1 mm Niederschlag, Tage mit SD: Schneedecke	14
Tabelle 3.2:	Windsektoren zur Beschreibung der Hauptwindrichtungen an der Station Vomp.	16
Tabelle 4.1:	NO <sub>x</sub> -Hintergrundbelastung [ppb]. Berechnet für jede Station und jede Jahreszeit aufgrund der minimalen Immissionswerte.	46
Tabelle 4.2:	Beschreibung der Stationen: Abstand zur Autobahn A12 und Mittelungsintervall der I/E-Verhältnisse für die Vergleiche in Tabelle 4.3 und Tabelle 4.4.	48
Tabelle 4.3:	Die I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Tages- und Jahrgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.	50
Tabelle 4.4:	Vergleich des I/E-Verhältnisses zwischen den einzelnen Stationen am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Vomp im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.	51

# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1. Ausgangslage

Je nach meteorologischen Bedingungen trägt eine bestimmte Emission (z.B. eines Lastwagens) sehr unterschiedlich zur Immissionsbelastung bei. Typischerweise sind die Immissions / Emissions-Verhältnisse nachts und im Winter deutlich höher als im Jahresdurchschnitt. In einer Vorstudie<sup>1</sup> wurde untersucht, inwieweit sich eine Lenkung der Verkehrsströme des Brenner-Transitverkehrs auf der Inntalautobahn wissenschaftlich fundiert auf diesen Sachverhalt stützen lässt.

## 1.2. Vorgehen

Diese Vorstudie hat aufgezeigt, dass die meteorologisch bedingten Ausbreitungsverhältnisse tatsächlich zur Lenkung der Verkehrsströme herangezogen werden können. Dazu werden nun zur Abstützung notwendige spezifische Datenauswertungen für das mittlere Inntal vorgenommen. Insbesondere wird im vorliegenden Bericht das **Temperaturprofil in Schwaz** nach meteorologischen und immissionsklimatischen Gesichtspunkten analysiert. Aufgrund der vorliegenden Messdaten beschränken sich diese Untersuchungen auf eine winterliche Periode. Sie können allenfalls zu einem späteren Zeitpunkt auch noch für die anderen Jahreszeiten durchgeführt werden. Eine allgemeine klimatologische Charakterisierung und die Auswertung der Winddaten an der Station Vomp ergänzen diesen klimatischen Teil des Berichts.

Die **Immissions/Emissionsverhältnisse (I/E-Verhältnisse)** werden im Tages- und Jahresgang betrachtet. Dazu wird das I/E-Verhältnis an der autobahnnahen Messstelle Vomp bestimmt, wo die durch die Messung erfassten Schadstoffe eindeutig der Autobahn als Emissionsquelle zugeordnet werden können. Durch den Einbezug weiterer Stationen und die Errechnung eines Immissions-Hintergrundwertes, welcher allerdings auch zu einem Grossteil vom Verkehr

---

1

Oekoscience: Immissionsklimatisch abgestützte Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn. Vorstudie im Auftrag der Tiroler Landesregierung, Abteilung Landesbaudirektion – Gesamtverkehrsplanung. Mai 2000.

determiniert wird, können Aussagen für grosse Gebiete des Tales gemacht werden. Das I/E-Verhältnis in einem Abstand bis ca. 300 m von der Autobahn ist von besonderer Bedeutung, weil das Inntal in diesem Bereich als Lebensraum für viele Menschen dient.

Die potentiellen NO<sub>x</sub>-Emissionen gemäss der Abteilung Verkehrsplanung<sup>2</sup> und verschiedener möglicher Szenarien zur Verkehrsentwicklung werden mit den ermittelten I/E-Verhältnissen verrechnet, um eine Abschätzung von **Immissions-Szenarien** von 1995 bis 2010 zu erhalten. Das Ergebnis dieses Teils besteht in einer NO<sub>x</sub>-Immissionsprognose für die Station Vomp für die Jahre 2000 bis 2010 unter der hypothetischen Annahme der gleichen meteorologischen Bedingungen wie im Jahr 2000.

### 1.3. Ziele

Die zukünftigen NO<sub>x</sub>-Immissionen aufgrund der Szenarien werden im Hinblick auf die jahresabhängigen NO<sub>2</sub>-Grenzwerte<sup>3</sup> bewertet. Somit lassen sich unter Berücksichtigung der potentiellen Emissionsentwicklung Prognosen stellen zur Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit der humanhygienischen NO<sub>2</sub>-Grenzwerte in den Jahren 2000 bis 2010.

Aus den I/E-Verhältnissen im Tagesgang lassen sich die Grundlagen für die Auswirkungen einer Nachtfahreinschränkung oder eines Nachtfahrverbotes bestimmen. Auch die saisonalen Unterschiede der Ausbreitungsverhältnisse, d.h. die höhere Immissionsbelastung pro Fahrzeug im Winter verglichen mit dem Sommer, sollte vom Standpunkt der Lufthygiene ihren Niederschlag in Massnahmen zur Verkehrslenkung finden.

---

<sup>2</sup> 'Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen am Brennerkorridor', Arbeit der Abt. Verkehrsplanung, August 2000

<sup>3</sup> Österr. Immissionsschutzgesetzentwurf, EU-RL 1999/30/EG

## 2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

### 2.1. Beschreibung der Messstandorte

#### 2.1.1. Vomp

Abstand von der Fahrbahn: 3 m südlich  
Niveauunterschied zur Fahrbahn: 0 m  
Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Die Messstation befindet sich in einem überwiegend offenen, unbebauten Gelände direkt an der Autobahn. In der Umgebung finden sich lediglich eine wenig befahrene Autobahnüberführung im Abstand von ca. 50 m zur Station sowie die Raststätte Vomp etwas weiter westlich, deren Emissionen gegenüber denjenigen der A12 vernachlässigt werden können.



Abbildung 2.1: Messstation "Vomp" der Landesforstdirektion (LFD), direkt an der Autobahn A12. Aufnahme Richtung E.

## 2.1.2. Vomp an der Leiten

Abstand von der Fahrbahn: 40 m südlich  
Niveauunterschied zur Fahrbahn: -12 m  
Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Die Messstation liegt mitten in einem kleinen Einfamilienhaus-Quartier. Nebst der Autobahn gibt es nur geringen Strassenverkehr von lokalen Zubringern.



Abbildung 2.2: Messstation "Vomp an der Leiten" der LFD

## 2.1.3. Schlagturn

Abstand von der Fahrbahn: 12 m nördlich  
Niveauunterschied zur Fahrbahn: -3 m  
Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Die Messstation liegt hinter einer etwa 5 m hohen Lärmschutzwand am Rande eines Waldstreifens, der die Autobahn von der Messstation trennt. Im Umkreis von 50 m befindet sich ausser der A12 lediglich ein kleines Einfamilienhaus-Quartier mit nur lokalen Zubringern. Die BEG-Baustelle in 100-200 m Distanz verursachte bis zum Oktober 2000 noch wenig Emissionen.



**Abbildung 2.3:** Messstation "Schlagturn" der Niederösterreichischen Umweltschutzanstalt (NUA)

#### **2.1.4. Stans**

Abstand von der Fahrbahn: 50 m nördlich

Niveauunterschied zur Fahrbahn: -6 m

Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Die Autobahn führt hinter einer etwa 5 m hohen Lärmschutzwand an der Messstation vorbei, welche in ziemlich offenem Gelände steht. Im Umkreis von 50 m befindet sich ein Einfamilien- und Mehrfamilienhaus-Quartier, die Strassen dienen den lokalen Zubringern.



**Abbildung 2.4:** Messstation "Stans" der NUA. Die Station ist hinter dem Holzschuppen erkennbar.

## 2.1.5. Unterfeld

Abstand von der Fahrbahn: 350 m nördlich

Niveauunterschied zur Fahrbahn: 0 m

Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Die Messstation steht in offenem Gelände. Im Umkreis von 500 m befinden sich lediglich einige Häuser (ein Landwirtschaftsbetrieb) und die Eisenbahnlinie; in 30 m Abstand liegt ein kleines kaum mehr aktives Steinplattengewerbe. Die Messstation liegt direkt an der Verbindungsstrasse Baumkirchen – Bundesstrasse 171, welche relativ wenig Verkehr aufweist, da die Erschliessung eher über den Autobahnanschluss Wattens erfolgt.



Abbildung 2.5: Messstation "Unterfeld" der NUA

## 2.1.6. Pill

Abstand von der Fahrbahn: ca. 310 m südlich

Niveaunterschied zur Fahrbahn: ca. -10 m

Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Diese Messstelle der NUA wurde nur bis März 2000 betrieben. Sie lag in ziemlich offenem Gelände, nahe der Bahnunterführung, an der Verbindungsstrasse Pill – A12-Anschluss Vomp. Die Emissionen dieser Verbindungsstrasse dürften sich im Gleichlauf mit denjenigen der A12 bewegen und natürlich sehr viel geringer als letztere sein. Im Umkreis von 50 m befinden sich keine Häuser. Die Messstelle lag nahe des Vomperbaches, welcher das gleichnamige bedeutende Seitental entwässert.

## 2.1.7. Hall

Abstand von der Fahrbahn: ca. 210 m nördlich

Niveaunterschied zur Fahrbahn: -10 m bzgl. W-Spur, -15 m bzgl. E-Spur

Höhe Luftansaugung über Boden: 3 m

Zwischen der Messstation und der A12 befindet sich ein Einfamilienhaus-Quartier. Im Norden der Messstation führt unmittelbar die Eisenbahnlinie vorbei, da-



hinter folgt ein Stadtquartier von Hall, welches bis etwa 200 m Distanz zur Messstation nicht dicht bebaut ist (kaum emissionsträchtiges Gewerbe, Verkehr überwiegend als lokaler Zubringer, Hauptemissionen durch Feuerungen). Die Bundesstrasse 171 führt in etwa 400 m Abstand vorbei. Die A12 ist auch für diese Messstelle die dominante Quelle von Luftschadstoffen, doch treten hier von allen betrachteten Stationen am meisten von anderen Quellen herrührende Luftschadstoffe auf.



**Abbildung 2.6:** Messstation Hall der LFD  
Im Hintergrund die Bundesstrasse 171, rechts die Eisenbahnlinie. Aufnahme Richtung W.

## 2.1.8. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass an allen Messstellen ausser bei Hall die Emissionen der A12 absolut dominant sind und die I/E-Verhältnisse sicherlich nur mit den Emissionen der A12 zu bestimmen sind. Auch für Hall scheint dieses Vorgehen angezeigt, doch muss hier eher mit gewissen Störeffekten gerechnet werden.

Auf der folgenden Karte sind alle einbezogenen Messstationen im Überblick eingezeichnet:

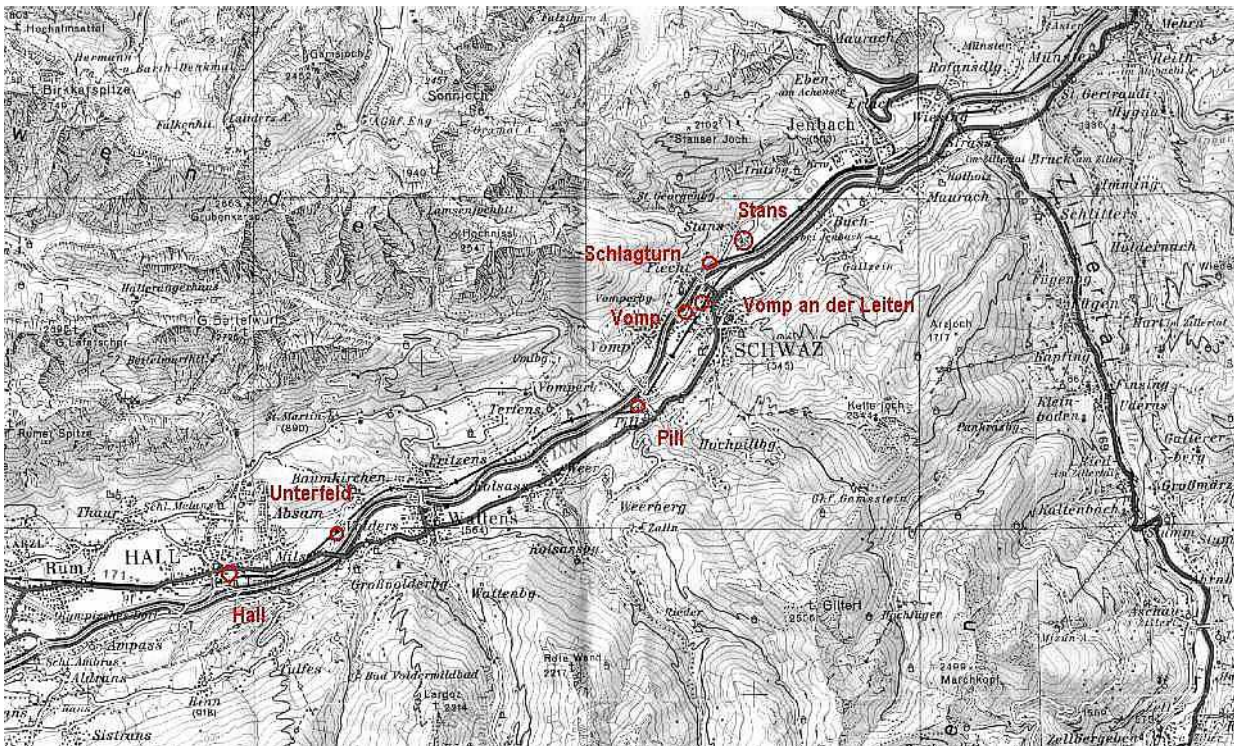


Abbildung 2.7: Übersichtskarte mit den in die Untersuchungen zum I/E-Verhältnis einbezogenen Messstellen.

## 2.2. Temperaturprofil Schwaz

### 2.2.1. Standorte der Profilmessungen

Im Rahmen des Beweissicherungsverfahrens für die Neubaustrecke der BEG im Unterinntal werden seit Dezember 1999 bei Schwaz entlang der Kellerjochbahn Temperaturprofilmessungen zur Detektion von Inversionen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 8 Temperatursensoren auf einem Höhenintervall von rund 800 m dem Hang entlang montiert.

Inversionen sind ein wesentlicher Faktor für das Immissionsverhalten und damit auch für das Verhältnis zwischen Emissionen und Immissionen. Die Ausbreitung der bodennahen Emissionen werden insbesondere durch die vertikale Temperaturschichtung direkt über dem Talboden beeinflusst. Deshalb ist es sinnvoll, die Höhendifferenz der Temperaturmessungen auf den untersten 100 m über dem Tal möglichst klein zu wählen. Aufgrund dieser Erkenntnis wurden Ende Oktober 2000 die Temperatursensoren auf neuen Höhen montiert (vgl. Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1: Höhen der Messfühler im Temperaturprofil Schwaz.**

Angaben in Metern über Meer (m ü.M.) und Metern über Talgrund (m ü.G.).

Sensor-Nr.	Bis Oktober 2000		ab 31. Oktober 2000	
	Höhe (m ü.M.)	Höhe (m ü.G.)	Höhe (m ü.M.)	Höhe (m ü.G.)
1	544	0	540	0
2	647	103	556	16
3	763	219	584	44
4	845	301	652	112
5	959	415	710	170
6	1193	649	767	227
7	1341	797	849	309
8	1426	882	1341	801

## 2.2.2. Datenqualität

In der ersten Messphase von Januar bis Oktober 2000 sind einige Temperatursensoren über längere Perioden ausgefallen, was eine Inversionsauswertung verunmöglicht. Bei den grossen Höhenabständen dieser Temperaturmessungen müssten die vier untersten Sensoren lückenlos vorhanden sein, um eine Aussage zur Temperaturschichtung über dem Inntal zu machen. Dies war leider nur während weniger Wochen im Februar / März 2000 der Fall. Um trotzdem noch eine Sommersituation zu betrachten, wird eine Periode im Mai / Juni 2000 ausgewertet, bei welcher allerdings der zweitunterste Sensor nicht mehr funktionierte.

Nach der Neuinstallation des Profils liefen alle Sensoren sehr regelmässig. Mit diesen Daten kann eine gute Aussage zur Situation im Winter (von November 2000 bis Mitte März 2001) gemacht werden. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt somit auf dieser Periode.

Der Sensor auf 767 m ü.M. (Stütze Nr. 9, vgl. Foto in Abbildung 2.8) wird stark von seiner lokalen Umgebung beeinflusst. Durch die Hangexposition und die starke Sonneneinstrahlung auf der unbewaldeten Terrasse erwärmt sich das Gebiet tagsüber stärker als die Standorte der anderen Sensoren. Dieser Effekt wird bei der Datenauswertung im Kapitel 3.4 beschrieben. Er hat jedoch nichts mit der Talinversion zu tun, weshalb dieser Standort für die Immissionsbetrachtungen ungünstig ist.



**Abbildung 2.8:** Temperaturprofil Schwaz: Standort des Sensors auf 767 m ü.M.: Stütze 9 der Kellerjochbahn

## 3 Immissionsklimatische Untersuchung zum Talabschnitt Volders – Jenbach

### 3.1. Einleitung

Im Abschnitt Volders – Jenbach des Unterinntales liegen die 6 Messstellen, welche für die empirische Untersuchung der Ausbreitungsbedingungen nachfolgend verwendet werden. Insbesondere ist dies auch die Station Vomp, der in verschiedener Hinsicht eine zentrale Rolle zukommt. Im weiteren liegt das Temperaturprofil Schwaz ebenfalls in dem Gebiet; es wird zur Detektion der atmosphärischen Schichtung verwendet.

Im folgenden wird denn auch dem Temperaturprofil Schwaz und dem Zusammenhang zwischen der Temperaturschichtung der Atmosphäre und den Stickoxidimmissionen und Windgeschwindigkeiten in Vomp grosse Bedeutung beigegeben. Zunächst folgt jedoch ein Überblick über die allgemeine klimatologische Situation dieses Talabschnittes.

Für jahreszeitliche Betrachtungen ist besonders der Unterschied zwischen Sommer und Winter interessant. Deshalb werden im Folgenden nur drei Jahreszeiten unterschieden: Als **Sommermonate** gelten die durch hohen Sonnenstand gekennzeichneten Monate Mai bis August. Zum **Winter** zählen die Monate November bis Februar, die durch einen tiefen Sonnenstand und daher höchstens durch schwache konvektive Prozesse geprägt sind. Ausserdem ist in dieser Jahreszeit am ehesten mit einer geschlossenen Schneedecke zu rechnen. Die Monate März, April, September und Oktober zählen zur **Zwischensaison**, welche klimatologisch weniger klar definiert ist als die beiden anderen Jahreszeiten. Es sind Übergangszeiten, in denen in Mitteleuropa verstärkte Zyklonenaktivität verbunden mit Niederschlägen und starken Winden auftreten.

### 3.2. Klimatologischer Überblick

Der Abschnitt Volders – Jenbach des Unterinntales verläuft von Südwest nach Nordost fast flach (560 – 530 m ü.M. am Talboden). Der Talboden hat eine durchschnittliche Breite von etwa 1.5 km. Der Talboden ist somit prädestiniert für

die Ausbildung lokaler meteorologischer Effekte wie Inversionen. Das Tal weist vor allem an der nördlichen Flanke ausgeprägte Mittelgebirgsterrassen auf, die es aus der Distanz wesentlich breiter erscheinen lassen.

In diesem Talabschnitt gibt es einige bedeutsame Seitentäler, sowohl von Norden als auch von Süden. Die Erfahrung zeigt, dass solche Seitentäler immissionsklimatisch eine grosse Bedeutung haben, gerade in Inversionssituationen, indem sie unter Umständen auch dann noch zu einer gewissen Durchlüftung beitragen können. Der effektive Einfluss eines bestimmten Seitentales hängt in komplexer Weise von verschiedenen Faktoren ab und kann meist nur durch Messungen abgeschätzt werden.

Ausser von lokalen Gegebenheiten wird das Unterinntal natürlich erheblich von der grossräumigen Topografie und den grossräumigen Wetterlagen beeinflusst. Die Nähe zum Alpenhauptkamm mit dem Brenner als weitherum tiefste Einsattelung beeinflusst die Witterung stark. Bekannt sind die ausgeprägten Föhnlagen, aber auch sonst vermag eine Südlage öfters über den Brenner hinaus nach Norden überzugreifen und das Gebiet bis Innsbruck und darüber hinaus zu beeinflussen.

### **3.3. Charakterisierung der Witterung im Raum Innsbruck im Jahre 2000**

#### **3.3.1. Klima allgemein**

Das Jahr 2000 dient als Basis für verschiedene Auswertungen sowie die Zukunftsszenarien-Betrachtungen in diesem Bericht. Es wird darum für den Raum Innsbruck in einigen Hauptklimaelementen charakterisiert. Die folgenden Angaben beziehen sich auf Innsbruck Flughafen (579 m ü.M.). Sie wurden den Informationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) entnommen.

**Tabelle 3.1:** Charakteristische Klimaelemente im Jahr 2000. RR: Niederschlag, RR-Tage: Tage mit mind. 0.1 mm Niederschlag, Tage mit SD: Schneedecke

	Temp [°C]	Temp.abw. von Norm [°C]	RR [mm]	RR abw. (% der Norm)	RR-Tage (Anzahl)	Tage mit SD (Anzahl)
Jan 2000	-2.9	-0.4	33	65	8	31
Feb 2000	2.6	2.6	45	104	14	11
Mrz 2000	5.9	1.7	168	343	18	4
Apr 2000	11.0	2.6	40	68	10	0
Mai 2000	16.2	3.3	87	91	16	0
Jun 2000	18.7	2.7	93	85	15	0
Jul 2000	17.0	-0.7	155	112	22	0
Aug 2000	19.3	2.3	173	142	15	0
Sep 2000	15.2	1.1	104	129	11	0
Okt 2000	11.6	2.6	107	194	14	0
Nov 2000	5.5	2.6	110	184	15	0
Dez 2000	3.0	5.0	23	42	7	1
Jan 2001	0.7	3.2	52	103	13	9
Feb 2001	2.4	2.4	81	188	14	14
Mrz 2001	7.9	3.7	52	105	19	3

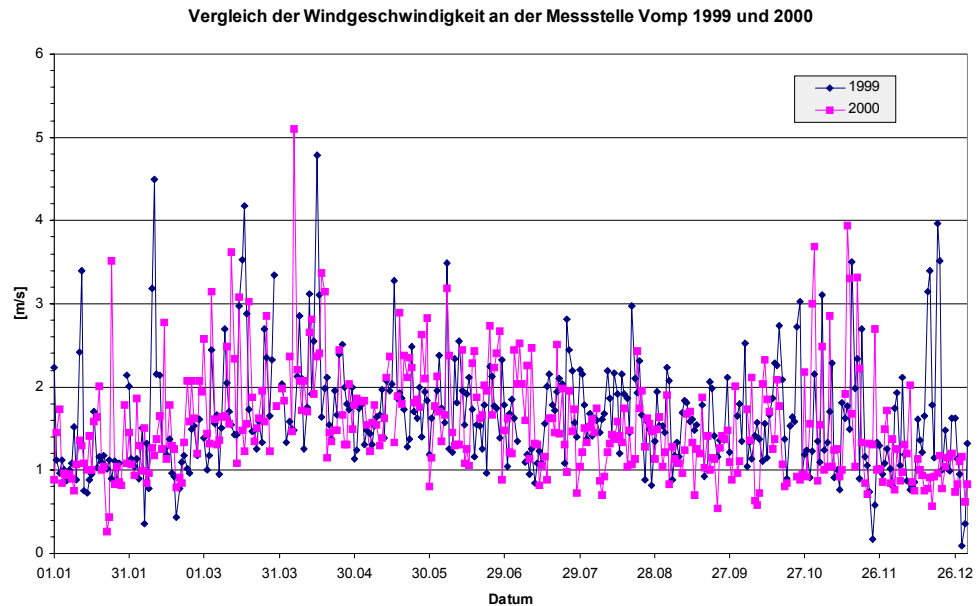
Auffällig ist, dass das Jahr 2000 verglichen mit der langjährigen Norm in fast allen Monaten zu warm war. Der März und die Monate Juli bis November waren deutlich zu nass. Die Hälfte aller Tage des Jahres waren Niederschlagstage, welche generell eher gute Ausbreitungsbedingungen aufweisen. Anfang Jahr lag während einigen Wochen eine Schneedecke, Ende Jahr gab es dagegen kaum Schnee.

### 3.3.2. Wind in Vomp

Die Messstelle Vomp ist für Windmessungen gut geeignet; sie ist repräsentativ für den (leicht erhöhten) Talboden in diesem Abschnitt des Unterinntales.

Abbildung 3.1 zeigt die Windgeschwindigkeiten für 1999 und 2000 im Jahresgang. Dieser weist in beiden Jahren jeweils ein Maximum im Frühjahr und im Herbst auf, während sich der Sommer und der Winter eher auf tieferem Niveau bewegen. Einzeltage mit Extremereignissen treten im ganzen Winterhalbjahr von November bis April auf. Im Vergleich der beiden Jahre fällt auf, dass der August

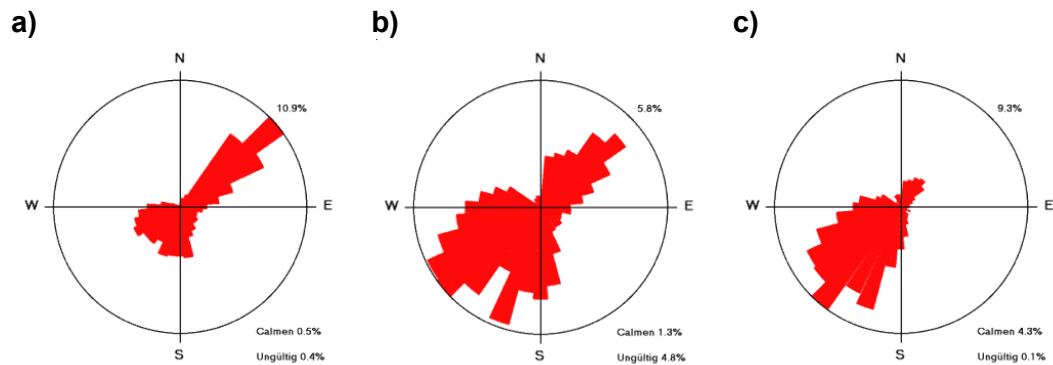
1999 deutlich höhere mittlere Windgeschwindigkeiten aufweist als 2000. Ausserdem sind die Stürme im Dezember 1999 deutlich erkennbar.



**Abbildung 3.1: Vergleich der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit 1999 und 2000 im Jahresverlauf für die Station Vomp.**

Die Windrichtung ist für jede Jahreszeit auf der Basis von Halbstundenwerten in den Windrosen in Abbildung 3.2 dargestellt. Im Sommer dominiert der Talaufwind aus nordöstlicher Richtung, während im Winter der Talabwind aus Südwesten vorherrscht. In der Zwischensaison findet der Übergang zwischen diesen beiden Hauptwindrichtungen statt. Die sommerlichen Aufwinde entstehen vor allem durch erwärmungsbedingte Konvektion in lokalem bis regionalem Massstab, grossräumige synoptische Prozesse spielen eine untergeordnete Rolle. Für die winterlichen Abwinde sind sowohl lokale Kaltluftabflüsse (insbesondere bei schneebedeckten Hängen) verantwortlich als auch die grossräumige Wetterlage, die in Mitteleuropa typischerweise von Westwinden dominiert wird und deren Winde in Richtung des Inntals kanalisiert werden. Zu allen Jahreszeiten erkennt man auch mehr oder weniger stark ausgeprägte Südlagen. Dabei handelt es sich teilweise um Föhnsituationen, teilweise aber auch um eine Ablenkung des Talabwindes, weil das Inntal bei Vomp von Süden Richtung Norden verläuft. Winde aus Nord bis Nordwest treten hingegen in Vomp kaum auf.





**Abbildung 3.2: Windrichtung an der Station Vomp für alle Jahreszeiten: a) Sommer, b) Zwischensaison, c) Winter**

Um die topografisch bedingten Hauptwindrichtungen optimal darzustellen, wurden für die weiteren Auswertungen die in Tabelle 3.2 aufgelisteten Windrichtungs-Sektoren gewählt. Der Kanalisationseffekt des Inntales ist sehr stark ausgeprägt. Somit werden der Auf- und der Abwind durch eine relativ schmale Sektorbreite von je 60° gut erfasst. Obwohl die Querwinde relativ breite Sektoren abdecken, spielt der Wind aus diesen Richtungen eine untergeordnete Rolle. Diese Sektorenwahl erlaubt eine Trennung zwischen dem Talabwind aus südwestlicher Richtung und dem südlichen Querwind.

**Tabelle 3.2: Windsektoren zur Beschreibung der Hauptwindrichtungen an der Station Vomp.**

Aufwind (ENE)	40° - 100°
Abwind (WSW)	220° - 280°
Querwind Süd	100° - 220°
Querwind Nord	280° - 40°

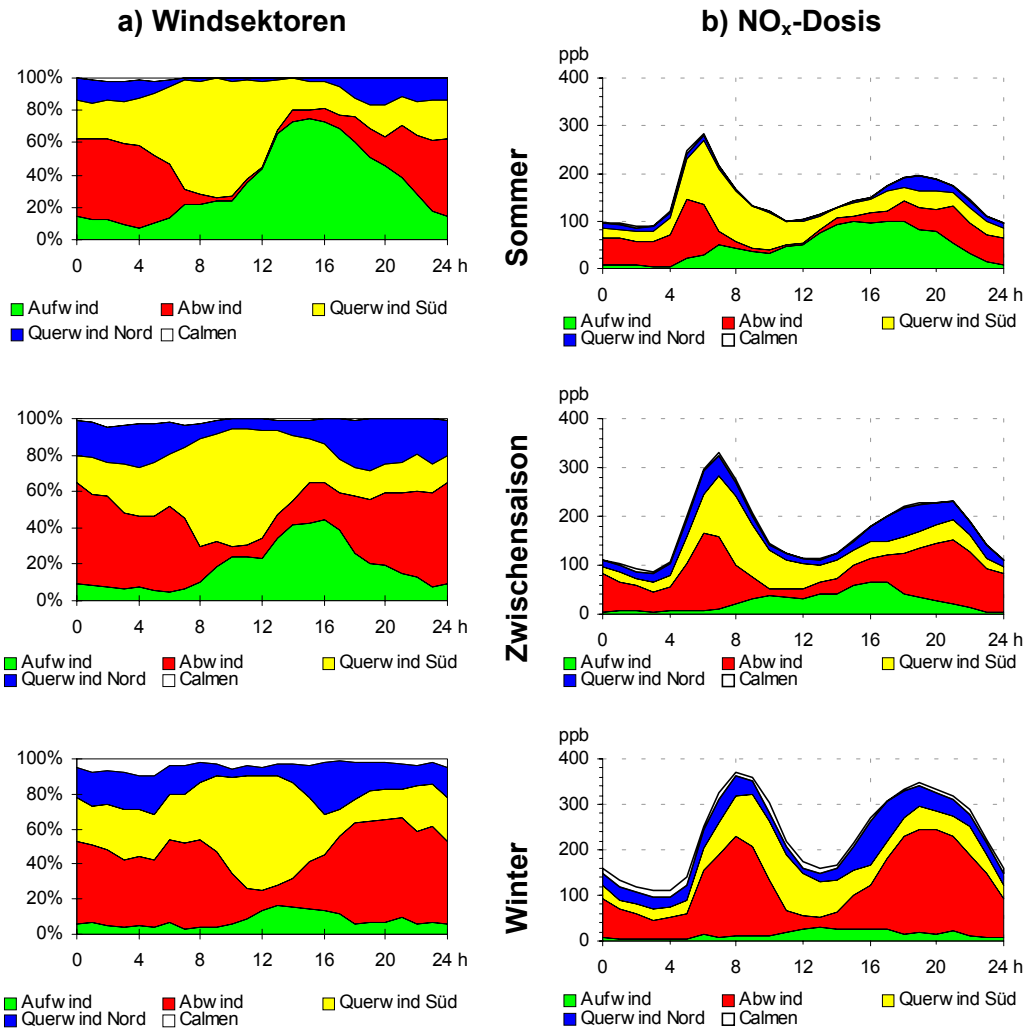
Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Windsektoren ist für jede Saison in Abbildung 3.3a) als Tagesgang dargestellt. Im Sommer wie auch in der Zwischensaison dominiert der Aufwind während den Nachmittagsstunden, wobei sein Anteil im Verhältnis zu den anderen Windrichtungen bereits seit dem Morgen zunimmt. Im Winter reicht die tägliche Erwärmung kaum aus, um einen nennenswerten Aufwind zu generieren. Nachts ist in jeder Jahreszeit der Talabwind mit einem Anteil von 40-60% am ausgeprägtesten. Der südliche Querwind hat in allen Jahreszeiten seinen bedeutendsten Anteil am Vormittag. Dazu tragen wahrscheinlich zwei Phänomene bei: einerseits die grossräumige Südströmung, die um diese Tageszeit, wenn die lokalen Windsysteme am schwächsten ausgeprägt sind, am ehesten an einer Bodenstation messbar ist. Es müsste weiter untersucht werden, ob sie sich nachts in einer Höhe von einigen hundert Metern über dem

Kaltluftsee als sogenannter Jet feststellen lässt. Am Nachmittag vermag der regionale Aufwind der Südströmung offenbar entgegen zu wirken. Andererseits spielt bei der Ausbildung des Südwindes wahrscheinlich auch eine lokale Tageszeitenzirkulation quer zum Tal eine Rolle, weil an den südexponierten Hängen und im gegen Südosten offenen Vomperbachtal am Vormittag mit Beginn der Sonneneinstrahlung bereits eine Konvektion einsetzt, während an den schattigen nordexponierten Hängen weiterhin Kaltluft abfließt. Der nördliche Querwind spielt eine untergeordnete Rolle, er tritt am stärksten Nachts und im Winter auf. Dies deutet auf einen Kaltluftabfluss aus dem Vomperbachtal hin. Calmen, welche eine mechanische Durchmischung der Luftschichten und somit einen effizienten Austausch der emittierten Schadstoffe unterbinden, sind selten. Sie treten am ehesten im Winter auf, wahrscheinlich bei stabilen Hochdrucklagen.

Abbildung 3.3b) zeigt den Anteil der entsprechenden Windsektoren an der Stickoxidbelastung, die sogenannte  $\text{NO}_x$ -Dosis, im mittleren saisonalen Tagesgang. In allen drei Jahreszeiten ist jeweils eine Schadstoff-Konzentrationsspitze am Morgen und am Abend erkennbar. Dies sind einerseits Tageszeiten mit hoher Emission, und andererseits ist um diese Zeit der Luftaustausch deutlich geringer als am Mittag. Im Winter sind diese Spitzen am stärksten ausgeprägt, weil sowohl die Winde als auch der thermische Austausch schwach sind. Im Sommer werden dank des besseren Luftaustauschs deutlich geringere Konzentrationen erreicht als in den übrigen Jahreszeiten.

Der Abwind bewirkt einen hohen Anteil an der Schadstoffbelastung, weil er nachts vorherrscht, wenn die Ausbreitungsbedingungen schlecht sind, und weil er direkt entlang der A12 bläst. Der Aufwind, der ebenfalls entlang der Autobahn bläst, fällt im Sommer, wo er einen hohen Anteil am Gesamtwind aufweist, für die  $\text{NO}_x$ -Dosis am stärksten ins Gewicht. Im Winter, wo Winde aus dieser Richtung selten und nur bei gutem thermischem Austausch möglich sind, ist der Beitrag des Aufwindes zur Schadstoffbelastung gering. Da die Messstelle Vomp wenige Meter südlich der Autobahn liegt, werden dort bei Nordwind höhere Schadstoffkonzentrationen gemessen als bei Südwind (vgl. Daten in der Vorstudie zu diesem Bericht, Fussnote in Kapitel 1). Deshalb trägt der nördliche Querwind v.a. im Winter im Verhältnis zu seiner Häufigkeit überproportional zur  $\text{NO}_x$ -Dosis an der Station Vomp bei. Trotzdem weist auch der Südwind eine erhebliche  $\text{NO}_x$ -Dosis auf. Es ist anzunehmen, dass ein Teil der Winde mit einer südlichen Komponente eigentlich Abwinde sind, die zuvor der Autobahn entlang geweht haben und bei Vomp dem lokalen S-N-Talverlauf folgen. Die Schadstoffdosis der Querwinde scheint somit sowohl bei Nord- als auch bei Südwind besonders den spezifischen Messstandort zu charakterisieren, nicht jedoch die Verhältnisse im ganzen Tal, denn Querwinde sorgen grundsätzlich für eine Frischluftzufuhr zum Inntal, da die

Luftzufuhr aus den Seitentälern nicht direkt von den Emissionen der Autobahn beeinflusst wird. Während der Beitrag der Calmen an der NO<sub>x</sub>-Dosis im Sommer und in der Zwischensaison vernachlässigbar ist, ist er im Winter zwar immer noch gering, weil wenig Calmen auftreten, aber deutlich erkennbar; denn Calmen bedeuten extrem austauscharme Situationen.



**Abbildung 3.3:** Station Vomp, 2000: Saisonale Häufigkeitsverteilung der Windrichtung im Tagesgang (links) und damit zusammenhängende NO<sub>x</sub>-Dosis (rechts) für den Sommer, die Zwischensaison und den Winter (von oben nach unten).

### 3.3.3. Fazit

Das Jahr 2000 wies im Unterinntal verglichen mit dem langjährigen Mittel eher günstige Ausbreitungsbedingungen auf. Im Jahresmittel führte denn auch eine

NO<sub>x</sub>-Emissionseinheit bei Vomp im Jahr 2000 zu einer um etwa 3% verminderten NO<sub>x</sub>-Immission gegenüber dem Jahr 1999. Schwankungen in diesen Immissions- zu Emissionsverhältnissen von 10% im Jahresmittel sind durchaus normal. In Zukunftsszenarien möglicher Emissionsentwicklungen – ausgehend vom Jahr 2000 - darf also das mögliche Potential an Luftbelastung nicht bis zum Rand ausgeschöpft werden, da in Jahren mit schlechteren Durchmischungsbedingungen eine gleiche Emissionsmenge zu entsprechend höherer Immission führen kann.

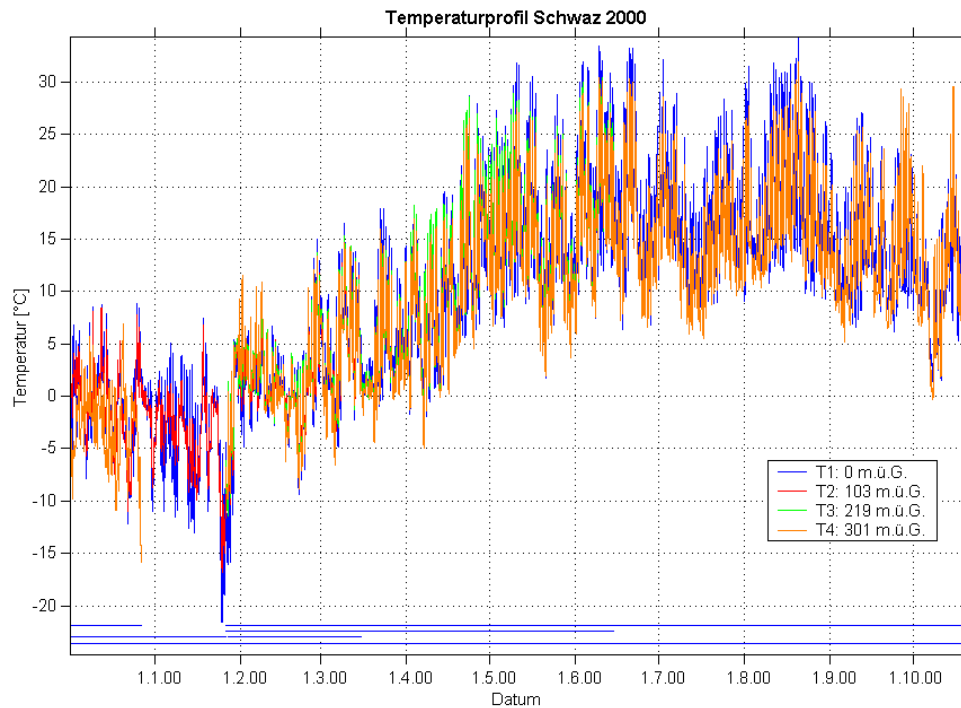
## 3.4. Meteorologische Auswertung des Temperaturprofils Schwaz

### 3.4.1. Allgemeines

Das Temperaturprofil gibt Auskunft über die Schichtung der Atmosphäre, welche äusserst relevant ist für die Ausbreitungsbedingungen und somit auch für die aus den emittierten Schadstoffen resultierenden Immissionen. Eine inversive Schichtung unterbindet den vertikalen Austausch der Luftmassen. Wie im Kapitel 2.2.2 dargelegt, erlauben die Temperaturprofilmessungen in Schwaz für den Winter 2000/2001 eine detaillierte Auswertung im Hinblick auf Inversionen und deren lufthygienische Konsequenzen, weil in den relevanten bodennahen Schichten Messungen in dichten Höhenintervallen vorliegen und weil die Daten sehr zuverlässig erhoben wurden. Da der Winter auch die Jahreszeit ist, die am stärksten von Inversionen geprägt ist, wird das Schwergewicht der Temperaturprofil-auswertung auf die Periode von November 2000 bis Mitte März 2001 gelegt.

Um die winterlichen Inversionen im Jahresverlauf einzuordnen wäre ein Vergleich mit der Sommersituation und mit der Zwischensaison wünschenswert. Ausserdem sollte die nächtliche Inversionsbildung zu allen Jahreszeiten untersucht werden, um eine Prognose über die zu erwartenden Immissionen bei erhöhtem nächtlichem Verkehrsaufkommen zu machen. Leider liegen für diese Jahreszeiten keine verwertbaren Temperaturprofilmessungen vor. Abbildung 3.4 gibt einen Überblick über die gemessenen Temperaturen vom Dezember 1999 bis zum Oktober 2000. Diese Zeitreihen zeigen den allgemeinen Jahresgang mit einer sehr kalten Phase Ende Januar und kühleren Phasen im Laufe des Sommers: Mitte bis Ende Mai, Ende Juni und Mitte Juli. Die Grafik zeigt ausserdem die Verfügbarkeit der Messdaten der untersten vier Sensoren. Daraus geht hervor, dass diese Sensoren einzig im Februar / März während einiger Wochen kontinuierlich gemessen haben. Diese Phase wird weiter unten beschrieben, auch

wenn es sich nicht um eine Frühjahrs- oder Sommerperiode handelt. Ein grober Überblick über die Situation im Mai / Juni wird ebenfalls gezeigt, obwohl die bodennahen Inversionen ohne den zweituntersten Sensor nicht erfasst werden können.

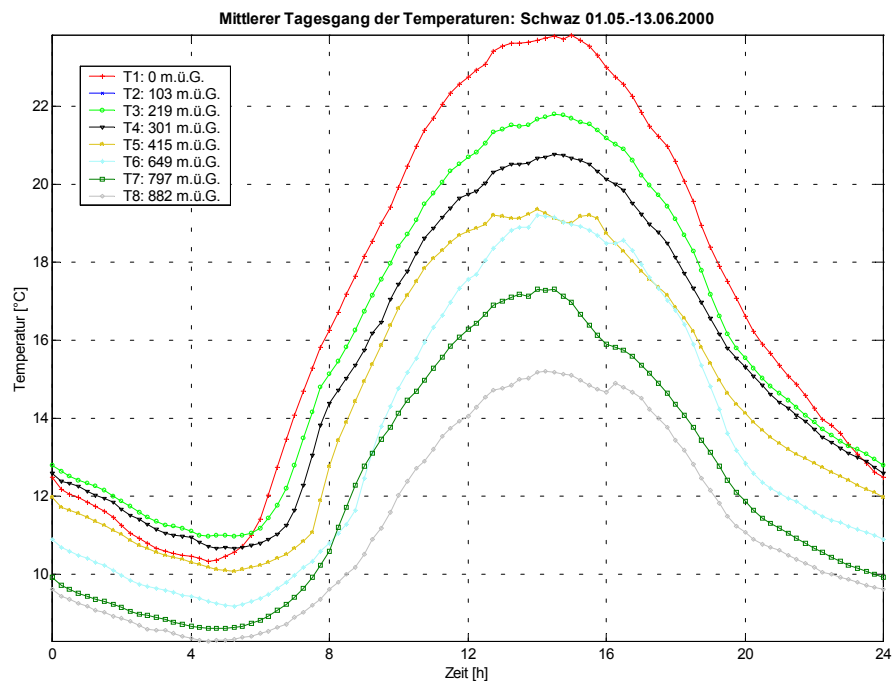


**Abbildung 3.4:** Überblick über die unteren Sensoren des Temperaturprofils bei Schwaz bis Herbst 2000 als Zeitreihe. Die blauen Linien zeigen die verfügbaren Daten an. Der Sensor T2 auf 103 m über dem Talboden ist bereits Mitte Februar ausgefallen.

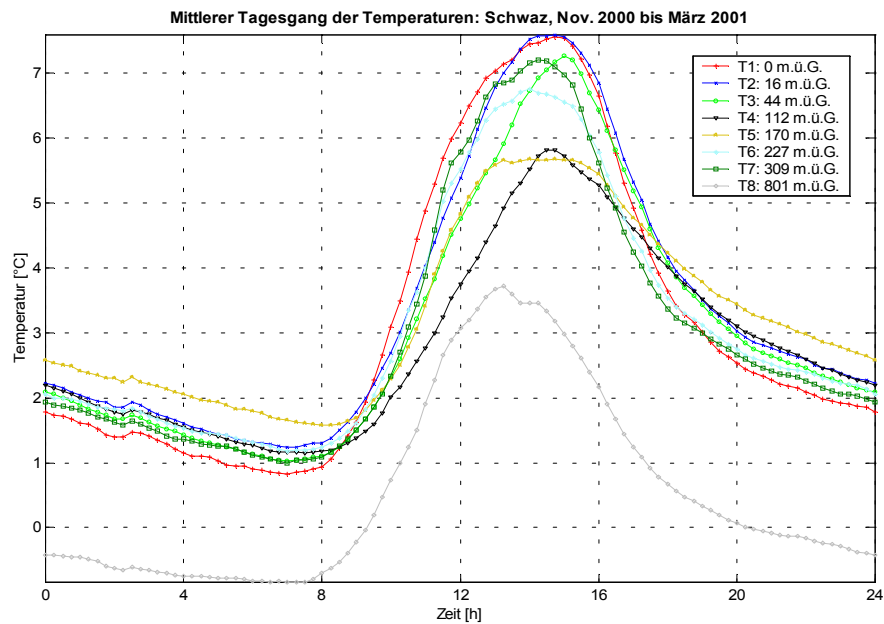
### 3.4.2. Mittlerer Tagesgang der Temperaturen

Der mittlere Tagesgang aller Sensoren zeigt den allgemeinen Verlauf der Temperaturen für die unterschiedlichen Höhen, wobei kurzfristige Witterungseinflüsse eliminiert werden. In Abbildung 3.5 ist die Situation im Frühsommer zu sehen. Tagsüber erkennt man die erwartete Temperaturschichtung, bei der die Temperatur mit zunehmender Höhe abnimmt. Nachts, bei stabil geschichteter Atmosphäre liegen die Temperaturen generell näher beieinander. Die mittlere Temperatur am Talboden sinkt sogar unter die Werte der darüber liegenden Luftschichten bis zu einer Höhe von 300 m. Dies ist ein typisches Anzeichen von regelmäßiger nächtlicher Inversion. Abbildung 3.6 zeigt die Situation im Winter. Die Temperatur auf 800 m Höhe ist zu allen Tageszeiten deutlich kälter als weiter unten, ein Hinweis darauf, dass auf dieser Höhe während eines Grossteils der

Periode eine Schneedecke lag. Selbstverständlich sind die Temperaturen deutlich tiefer als im Sommer. Ausserdem sind die Unterschiede zwischen den Höhenstufen im Winter weniger stark ausgeprägt, weil sich die Atmosphäre auch tagsüber selten genug erwärmen kann, um die stabile Temperaturschichtung aufzubrechen. Nachts werden am Talboden die kältesten Temperaturen der untersten 300 m gemessen. Während sich tagsüber die bodennahen Inversionen auflösen und die unteren Luftschichten eine Temperaturabnahme mit der Höhe zeigen, bleibt zwischen ca. 100 und 300 m eine inversive Schichtung erhalten.



**Abbildung 3.5:** Mittlerer Tagesgang aller gemessenen Temperatursensoren im Frühsommer (1.5. - 13.6.2000). Der 2. Sensor auf 103 m über Talgrund war während dieser Periode nicht in Betrieb.



**Abbildung 3.6:** Mittlerer Tagesgang aller gemessenen Temperatursensoren im Winter (31.10.2000 – 18.3.2001). Beachte die unterschiedlichen Skalen zwischen **Abbildung 3.5** und **Abbildung 3.6**.

### 3.4.3. Inversionshöhen und –mächtigkeiten

Die emittierten Schadstoffe bleiben bei Inversionen in Bodennähe gefangen und werden akkumuliert. Die Höhe der Inversionsuntergrenze (d.h. die Inversionshöhe) sowie die Dauer der Inversion sind daher relevant für die Ausbreitungsbedingungen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Inversionsunter- und –obergrenzen sowie die Mächtigkeit der Inversion, die sich aus der Differenz zwischen Unter- und –obergrenze ergibt. Wenn mehrere Inversionsschichten auf unterschiedlichen Höhen gleichzeitig vorhanden waren, wird nur die unterste angezeigt.

Die sogenannte Piktogrammdarstellung der folgenden Abbildungen ermöglicht die Visualisierung der beiden dominierenden Zyklen, d.h. des Tages- und des Jahrganges. Dazu werden die 96 Viertelstundenwerte jedes Tages übereinander angeordnet und die aufeinanderfolgenden Tage horizontal aneinander gereiht. Die Farbcodierung gibt die Inversionshöhen an; grau bedeutet, dass zu diesem Zeitpunkt innerhalb des gemessenen Profils keine Inversion erkennbar war.

Die Inversionshöhe gibt die Höhe des untersten inversiven Sensors an. Somit bedeutet die Höhenangabe, dass die Inversion irgendwo zwischen der genannten Höhe und dem darunter liegenden Sensor beginnt. Die Obergrenze bezeichnet die Höhe des wärmsten Sensors seit Beginn der Inversion. Das heisst, die Inversion endet irgendwo in der Schicht zwischen dem genannten und dem darüber liegenden Sensor. Die berechnete Mächtigkeit kann also auch 0 m betragen, was bedeutet, dass die Inversion geringmächtig war und nur ein Sensor eine erhöhte Temperatur anzeigt.

In Abbildung 3.7 bis Abbildung 3.9 sind die Inversionen für die Wintermonate dargestellt. Durch die nächtliche Ausstrahlung bilden sich bodennahe Inversionen, die über dem Inntal typischerweise bis auf eine Höhe von 170 m reichen, aber auch durchaus das ganze gemessene Profil bis auf eine Höhe von 800 m umfassen können. Wenn keine oder nur sehr hohe nächtliche Inversionen auftreten, handelt es sich normalerweise um Situationen mit dichter Bewölkung und allenfalls auch Niederschlag. Der Dezember 2000, ein Monat mit sehr geringen Niederschlägen, zeigt z.B. eher mächtige Inversionsschichten.

Während sich die nächtlichen bodennahen Inversionen im Laufe des Tages auflösen, bleiben die höher liegenden Schichten inversiv, weil die Einstrahlung im Winter zu schwach ist und zu wenig lange dauert, um die Inversion vollständig aufzulösen. Die Inversionsuntergrenze steigt tagsüber an, die Mächtigkeit nimmt ab. Dadurch kann bei schönem Wetter durchaus eine gewisse konvektive Zirkulation in Gang gesetzt werden. Sie ist aber im Winter nie stark ausgeprägt, da die Atmosphäre auf einer Höhe von weniger als 1000 m auch tagsüber stabil geschichtet ist. Dass in Abbildung 3.9 der Eindruck entsteht, die mächtigsten Inversionen treten um die Mittagszeit auf, hängt damit zusammen, dass in diesen Piktogrammen jeweils nur die unterste Inversionsschicht erfasst wird. Auch nachts liegt eine obere Inversionsgrenze auf ca. 800 m Höhe, sie wird aber hier nicht dargestellt, sondern nur die geringmächtige bodennahe Inversionsschicht. Inversionen lösen sich tagsüber von unten her auf, die Obergrenze zeigt einen deutlich geringeren Tagesgang.

Eine interessante Situation zeigt sich tagsüber im März 2001. In dieser Jahreszeit ist die Einstrahlung schon relativ stark und der aufgetaute und schneefreie Boden erwärmt sich stärker und ermöglicht eine vertikale Durchmischung der Luftmassen mit Auflösung der Inversion. So zeigt sich tagsüber nur noch eine geringmächtige inversive Schicht auf 227 m über Grund. Dies ist die Höhe des in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Sensors, der sich aufgrund seiner Umgebung stärker erwärmt. Somit erkennt man in den nachmittäglichen März-Daten ein lokales Phänomen. Während sich die Inversion über dem Inntal wahrscheinlich ganz auflöst



oder zumindest nur höher gelegene Schichten umfasst, entsteht beim Sensor auf 227 m Höhe eine Wärmeinsel.

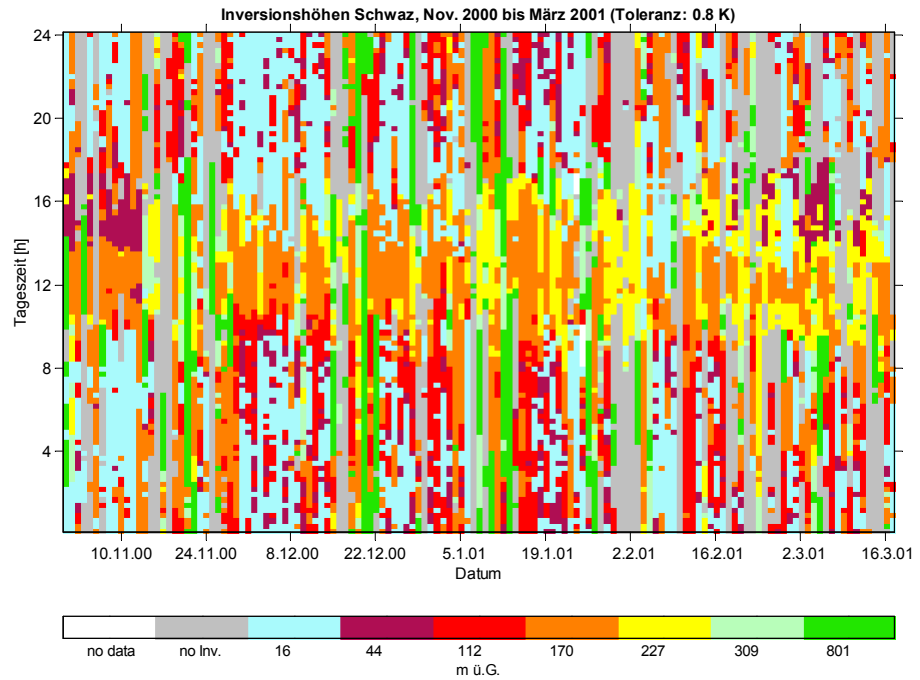


Abbildung 3.7: Temperaturprofil Schwaz: Inversionshöhen im Winter (November 2000 bis März 2001)

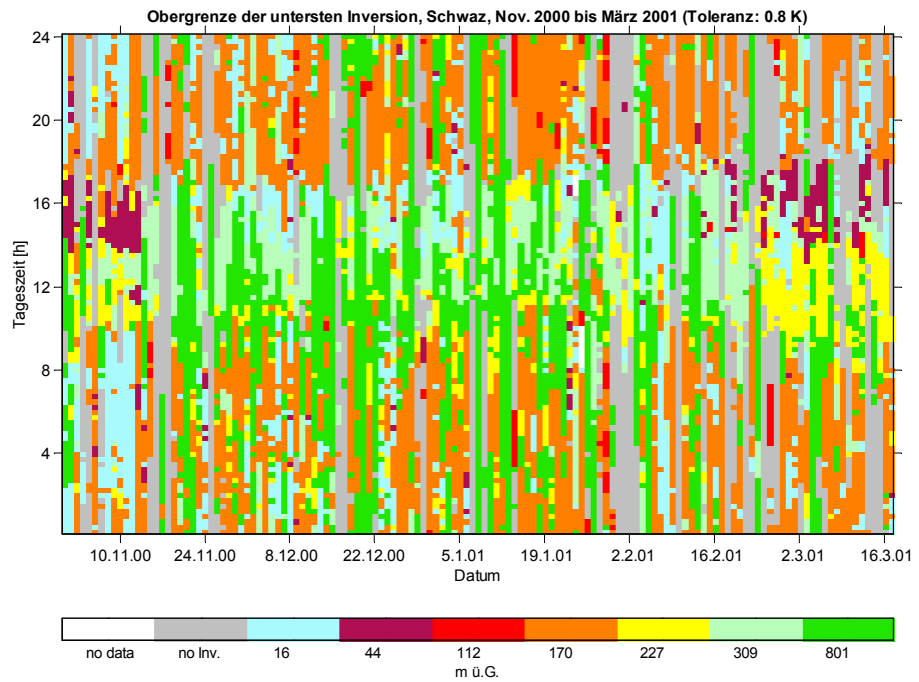


Abbildung 3.8: Temperaturprofil Schwaz: Inversionsobergrenzen im Winter (November 2000 bis März 2001)

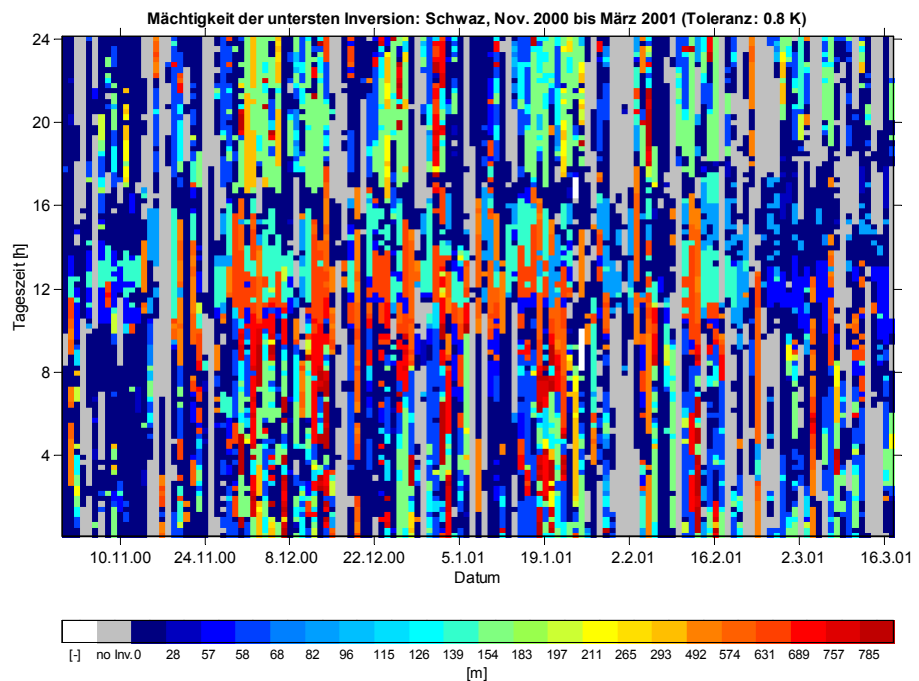
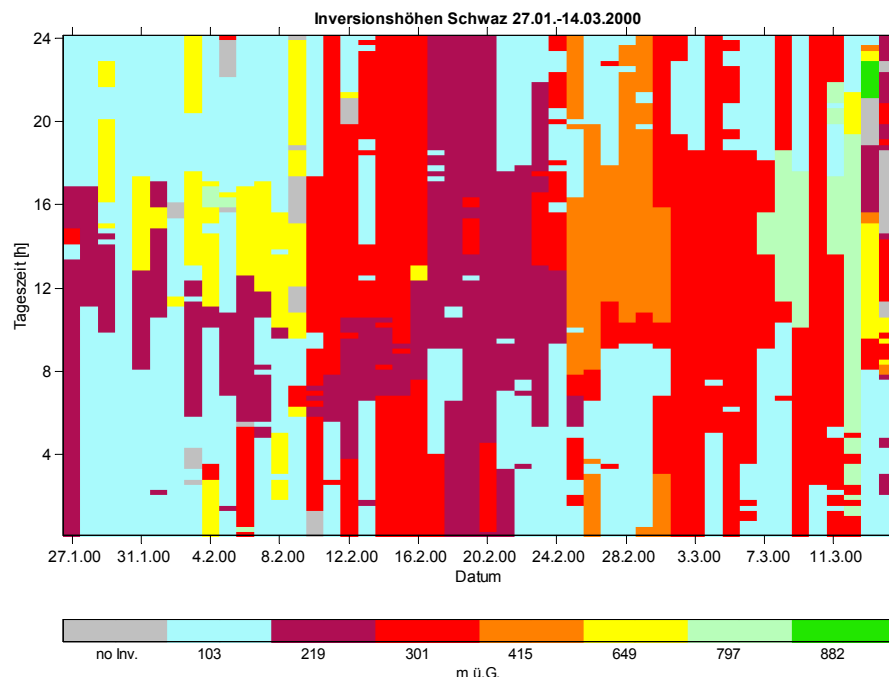


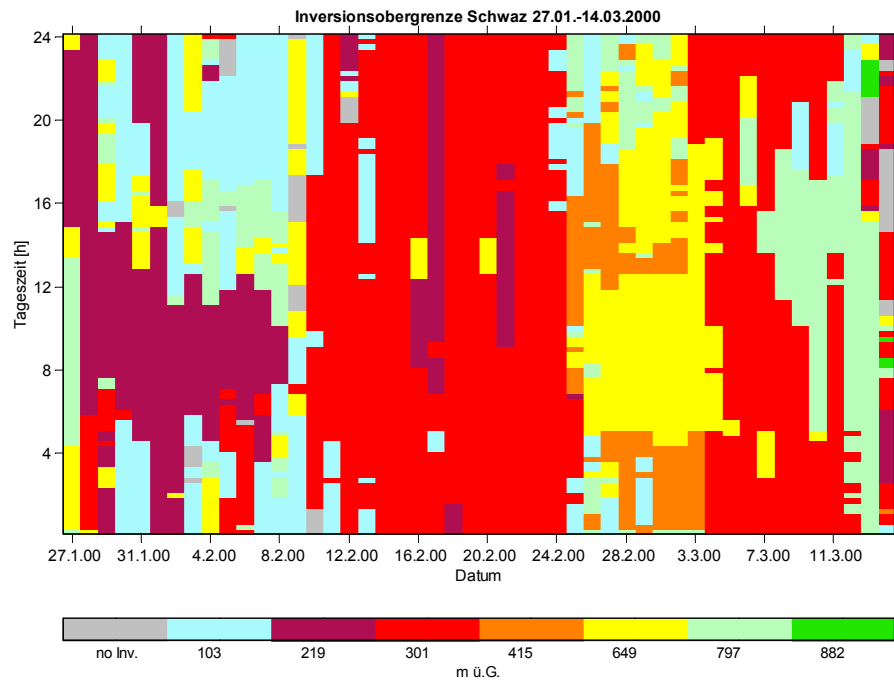
Abbildung 3.9: Temperaturprofil Schwaz: Inversionsmächtigkeit im Winter (November 2000 bis März 2001)

In Abbildung 3.10 bis Abbildung 3.13 wird der Versuch unternommen, die Inversionshöhen mit den Daten des ursprünglichen, weniger dichten Profils zu bestimmen. Bereits die grobflächige Farbmusterung zeigt, dass eine feine Höhenauflösung der Messungen in Bodennähe unabdingbar ist. Die winterlichen Bodeninversionen können allenfalls mit dem Sensor auf 103 m über Grund erfasst werden. Unter- und Obergrenze der Inversion fallen oft zusammen auf die Höhe eines einzigen Sensors. Eine tageszeitliche Differenzierung ist kaum mehr möglich.

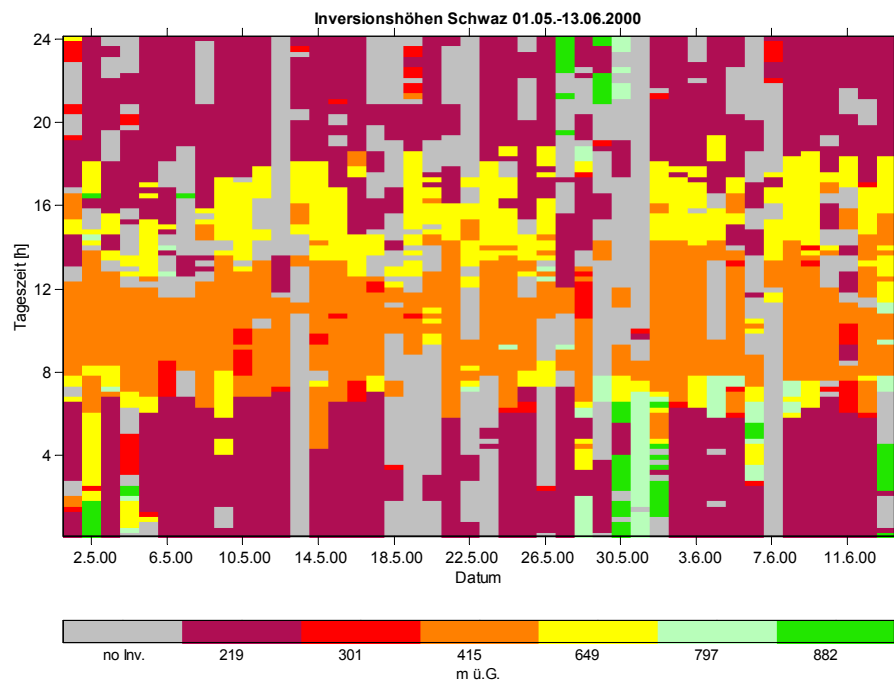
Die frühlommerliche Episode zeigt zwar eher eine tageszeitliche Struktur, dafür kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Tagen. Eine Interpretation der gefundenen Muster ist kaum möglich, insbesondere weil der zweitunterste Sensor, der noch am ehesten über die Verhältnisse in Bodennähe Auskunft geben würde, während dieser Phase nicht in Betrieb war. Ferner müssten die Standorte der Fühler auf 415 und 649 m über Grund, die mittags bis nachmittags erhöhte Temperaturen zeigen, näher untersucht werden. Eventuell zeigen sie ähnliche vegetations- und expositionsbedingte lokale Phänomene an, wie der weiter oben beschriebene Sensor auf 227 m über Grund. Aus den genannten Gründen wird für die weitere Auswertung auf den Einbezug der Temperaturprofilaten bis Oktober 2000 verzichtet.



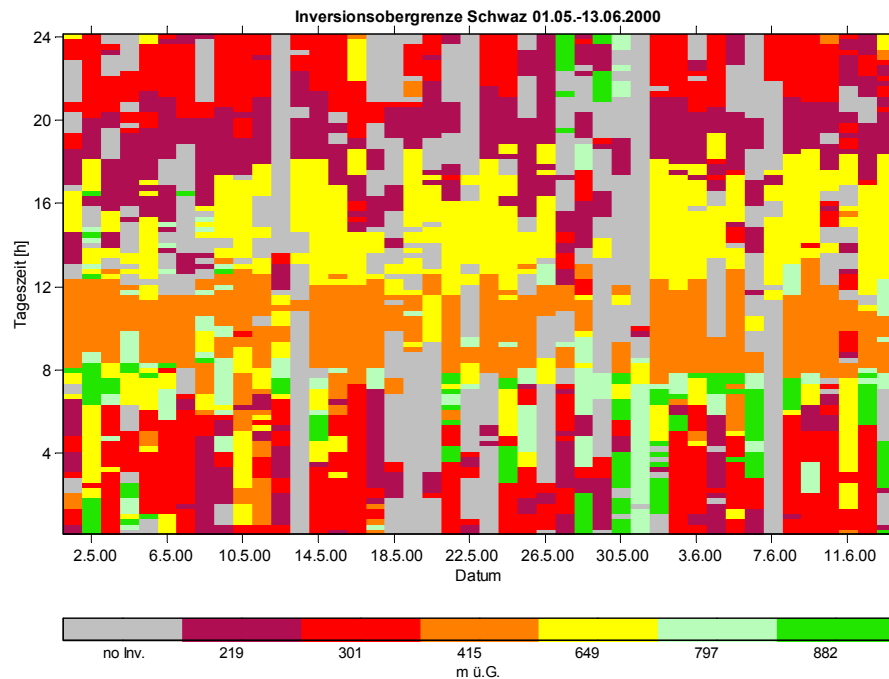
**Abbildung 3.10:** Inversionshöhen für Februar / März 2000. Gemessen mit allen verfügbaren Temperatursensoren auf den ursprünglichen Höhen im Temperaturprofil Schwaz



**Abbildung 3.11: Inversionsobergrenzen für Februar / März 2000.** Gemessen mit allen verfügbaren Temperatursensoren auf den ursprünglichen Höhen im Temperaturprofil Schwaz



**Abbildung 3.12: Inversionshöhen für Mai / Juni 2000 aus dem Temperaturprofil Schwaz.** Der zweitunterste Sensor war während dieser Periode nicht mehr in Betrieb.



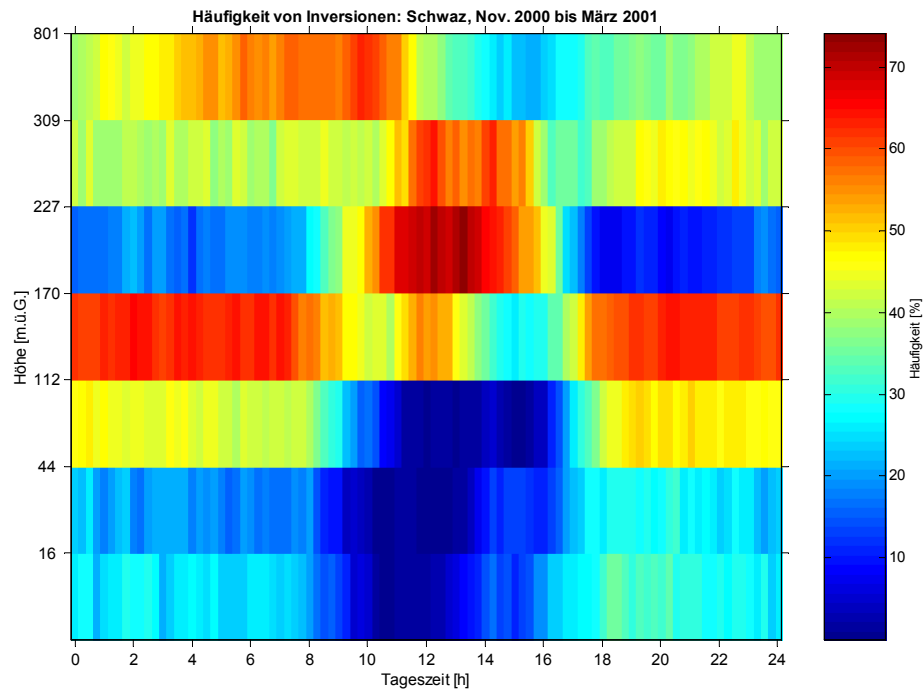
**Abbildung 3.13:** Inversionsobergrenzen für Mai / Juni 2000 aus dem Temperaturprofil Schwaz. Der zweitunterste Sensor war während dieser Periode nicht mehr in Betrieb.

### 3.4.4. Häufigkeit und Intensität der Inversionen

Die folgende Abbildung 3.14 zeigt die farbcodierte Darstellung der Häufigkeit des Auftretens von Inversionen im Tagesgang für jede Höhengschicht. Dabei werden alle Inversionen erfasst, nicht nur die unterste Schicht wie im vorangehenden Teilkapitel. Dargestellt ist die winterliche Situation. Auf den untersten 170 m treten erwartungsgemäss nachts häufiger Inversionen auf als tagsüber. Wie schon aus dem Piktogramm der Inversionsobergrenzen (Abbildung 3.8) hervorgeht, muss auf ca. 170 m Höhe eine markante Geländestufe sein, so dass sich die Kaltluft im Talkessel darunter akkumuliert, während direkt darüber offenbar ein besserer Austausch stattfindet und Inversionen eher selten auftreten. Die sehr mächtige Schicht zwischen 300 und 800 m ist nachts bis in den späteren Morgen hinein oft inversiv, ist jedoch für die lufthygienischen Bedingungen in Bodennähe weniger relevant.

Die häufigen mittäglichen "Inversionen" in den Schichten zwischen 170 und 309 m sind zwar ein reales Phänomen, die Umgebung der Messstandorte ist tatsächlich wärmer als jene der anderen Sensoren. Dieses ist aber durch die lokalen

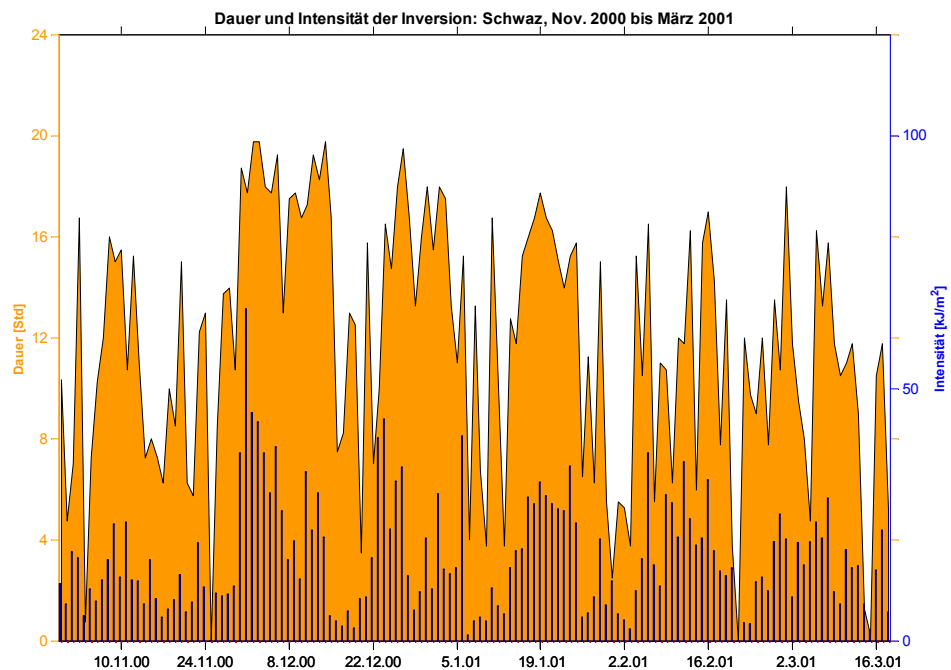
Gegebenheiten geprägt und hat nichts mit der Talinversion über dem Inntal zu tun. Diese Temperatursensoren repräsentieren spezielle Gunststandorte, die sich z.B. die Landwirtschaft zu Nutze macht, mit guter nächtlicher Durchmischung und erhöhten Tagestemperaturwerten. Solche Standorte sind auch vom lufthygienischen Aspekt bevorteilt gegenüber den von starken nächtlichen Inversionen beeinflussten Lagen in der Nähe des Talbodens, wo die Autobahn verläuft und die Schadstoffe akkumuliert werden.



**Abbildung 3.14: Temperaturprofil Schwaz: Häufigkeit von Inversionen je gemessener Schicht im Tagesgang für den Winter**

Ein Mass für die Stärke einer Inversion ist die Energie, die aufgewendet werden muss, um die stabile Schichtung der Luftsäule in die adiabatische, indifferente Schichtung der Atmosphäre zu überführen, d.h. die Inversion aufzulösen. Diese **Rückhalteenergie** wird aus den Temperaturprofildaten berechnet und kann positive und negative Werte annehmen. Positive Rückhalteenergien bezeichnen Inversionen, negative Rückhalteenergien charakterisieren konvektive Verhältnisse. Eine Detektion von Inversionen ist daher auch auf der Basis der Rückhalteenergien möglich. Verglichen mit der diskreten ja/nein – Aussage über das Vorhandensein von Inversionen hat die Rückhalteenergie den Vorteil, dass sie eine kontinuierliche Grösse ist.

In Abbildung 3.15 wird die gesamte Inversionsdauer pro Tag, die aufgrund der Rückhalteenergie für alle Tage der Wintersaison berechnet wurde, wiedergegeben. Daneben ist auch die Intensität der Inversionen als Mittelwert der positiven Rückhalteenergien auf 50 m über Grund dargestellt. Die Interpolation auf diese Einheitshöhe ermöglicht den direkten Vergleich verschiedener Temperaturprofilmessungen untereinander. Die Intensität einer Inversion wird bestimmt von deren Mächtigkeit und vom Temperaturgradienten innerhalb der Inversionsschicht. Die Dauer und die Intensität der Inversionen verlaufen mehr oder weniger parallel, denn die Auflösung einer Inversionsschicht mit hoher Intensität dauert entsprechend lange. Meistens steht während Tages- und Jahreszeiten mit starken Inversionen weniger Strahlungsenergie für deren Auflösung zur Verfügung. Phasen mit langanhaltenden, intensiven Inversionen werden immer wieder unterbrochen durch schwach inverse Perioden. Letztere sind die Niederschlagsphasen, die verbunden sind mit einer weniger stabil geschichteten Atmosphäre und zur Verbesserung der Luftqualität beitragen.



**Abbildung 3.15: Dauer (=orange Fläche) und Intensität (= blaue Balken) von Inversionen auf den untersten 50 Metern je Tag im Winter für das Temperaturprofil Schwaz**

Inversionen kommen im Inntal häufig vor. Die Temperaturprofilmessungen bei Schwaz zeigen die Dynamik der vertikalen atmosphärischen Schichtung in diesem Abschnitt des Inntals. Inversionen treten in allen Schichten auf, aber es gibt typische Höhen für Inversionen: Die immissionsklimatisch bedeutsame Sperr-

schicht liegt meist zwischen etwa 110 und 170 m über Grund und löst sich tagsüber oft, aber nicht immer auf. Unter dieser Sperrschicht freigesetzte Emissionen haben für die Ausbreitung und Verdünnung nur ein begrenztes Luftvolumen zur Verfügung, was zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen führt. Eine weitere häufige Inversion liegt mehrere hundert Meter über Talgrund; sie wird durch die Kaltluftströme aus den Seitentälern gebildet und ist deshalb am Ende der Nacht und am Morgen am häufigsten. Nach Mittag senkt sie sich im allgemeinen ab, da die Kaltluft talauswärts ausfließt.

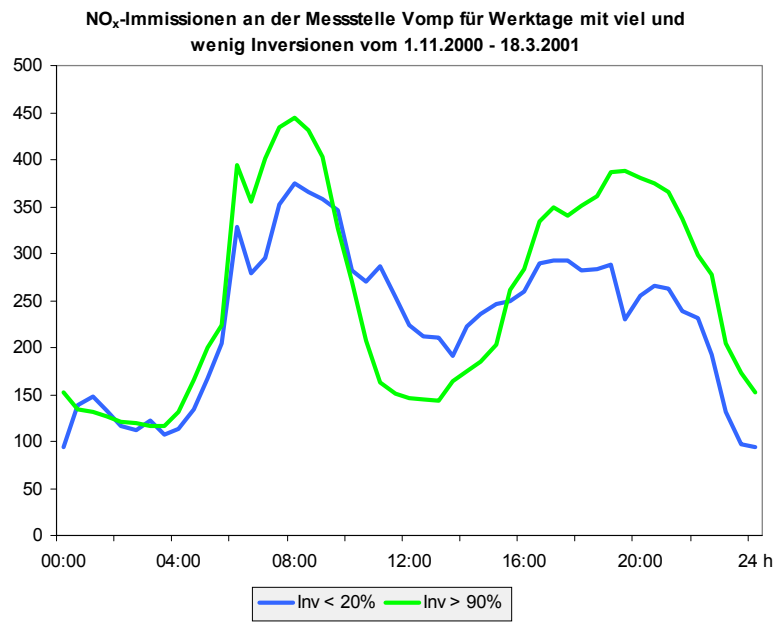
### **3.5. Zusammenwirken von Inversionen, Wind und Immissionen**

In diesem Kapitel wird das Zusammenwirken zwischen Immissionen an der Messstelle Vomp, dem dortigen Windfeld und der vertikalen atmosphärischen Schichtung, detektiert anhand des Temperaturprofils Schwaz, aufgezeigt. Um von ähnlichen Emissionssituationen ausgehen zu können, werden ausschliesslich Werktage von Montag bis Freitag in die Auswertung einbezogen.

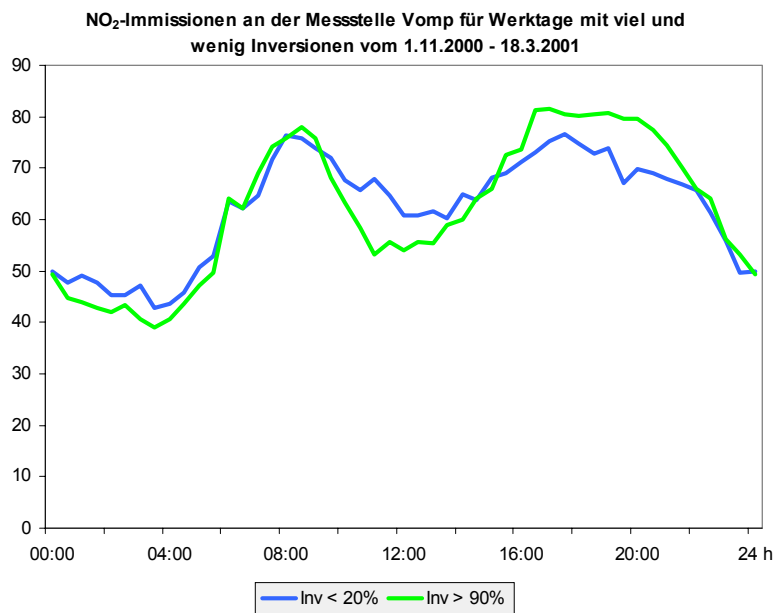
#### **3.5.1. Mittlere Tagesgänge von Immissionen und Wind an inversionsarmen und inversionsreichen Tagen**

In dieser ersten Betrachtung werden die mittleren Tagesgänge von Immissionen und Wind an inversionsarmen und inversionsreichen Werktagen einander gegenübergestellt. An einem inversionsarmen Tages wurden im Temperaturprofil Schwaz während maximal 20% der Zeit Inversionen bis 170 m ü.G. festgestellt, an einem inversionsreichen Tages während mindestens 90% der Zeit. Die Begrenzung auf 170 m ü.G. wurde gewählt, weil höher liegende Inversionen einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Immissionen aus bodennah freigesetzten Emissionen haben. Von den 139 Tagen zwischen 31.10.2000 und 18.3.2001 waren in diesem Sinne 18 Tage inversionsarm und 31 Tage inversionsreich. Grundsätzlich kommen im Unterinntal also häufig Inversionen vor. In den folgenden drei Abbildungen sind die mittleren Tagesgänge von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und Windgeschwindigkeit für inversionsarme und inversionsreiche Tage dargestellt.

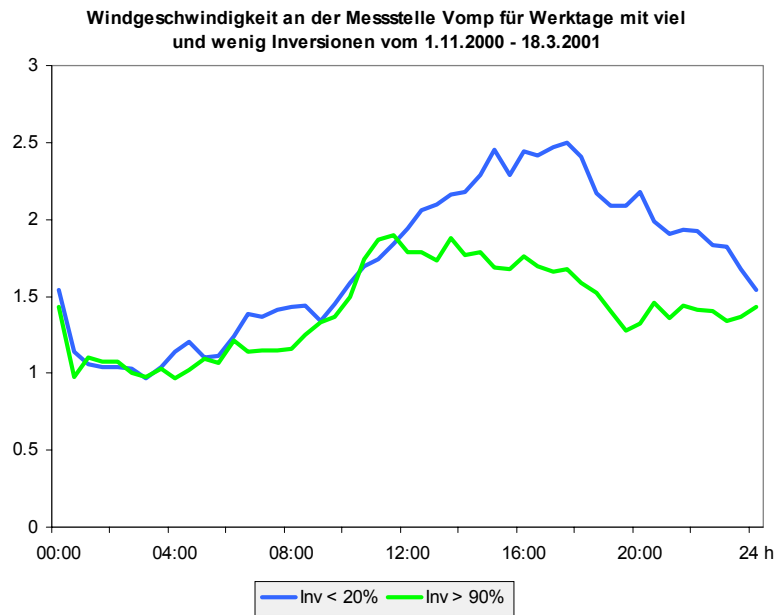




**Abbildung 3.16: Mittlere Tagesgänge von NO<sub>x</sub> für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.**



**Abbildung 3.17: Mittlere Tagesgänge von NO<sub>2</sub> für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.**



**Abbildung 3.18: Mittlere Tagesgänge der Windgeschwindigkeit für inversionsarme und inversionsreiche Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.**

Inversionsreiche Tage weisen an der Messstelle Vomp deutlich höhere  $\text{NO}_x$ -Spitzen am Morgen und vor allem am Abend auf. Von 10-15 Uhr ist die  $\text{NO}_x$ -Belastung allerdings geringer. Die  $\text{NO}_2$ -Belastungen zeigen ein ähnliches Muster, aber viel weniger ausgeprägt. Das Gesamtmittel bleibt sich etwa gleich. Die Windgeschwindigkeit zeigt in der ersten Tageshälfte für beide Fälle einen sehr ähnlichen Verlauf, in der zweiten Tageshälfte ist sie an den inversionsarmen Tagen deutlich höher.

Generell muss man sich bewusst sein, dass auch sogenannte inversionsarme Tage bis zu 5 Stunden mit Inversionen aufweisen, am ehesten am frühen Morgen, wenn auch eine Emissionsspitze vorhanden ist; zudem sind die Ausbreitungsverhältnisse im Winter oft generell stabiler als zu sommerlichen Zeiten. Dennoch sind die Unterschiede in der  $\text{NO}_x$ -Belastung markant. Die geringere  $\text{NO}_x$ -Belastung an inversionsreichen Tagen über Mittag ist zunächst überraschend. Ein Blick auf die Windauswertung, jeweils nur für die inversionsarmen bzw. inversionsreichen Tage bringt die Erklärung, wie die beiden folgenden Abbildungen zeigen:

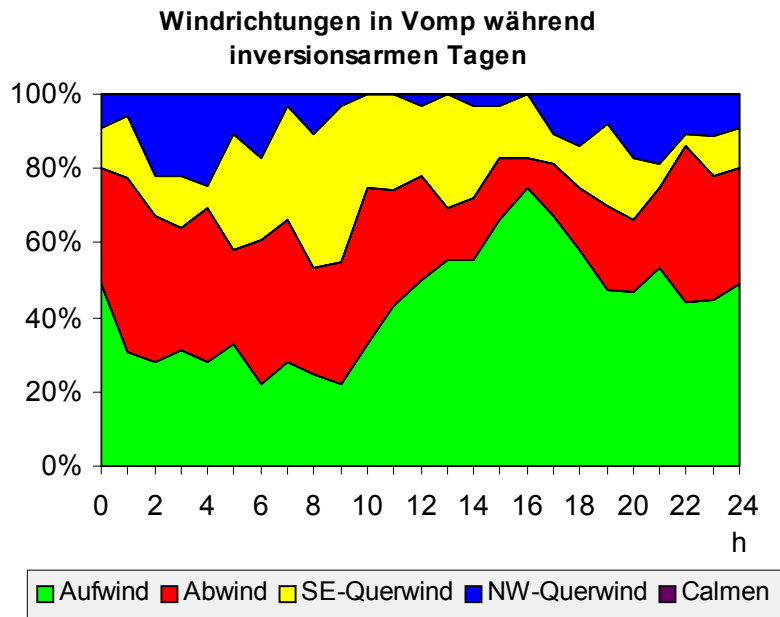


Abbildung 3.19: Windrichtungsverteilung im Tagesgang für die inversionsarmen Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.

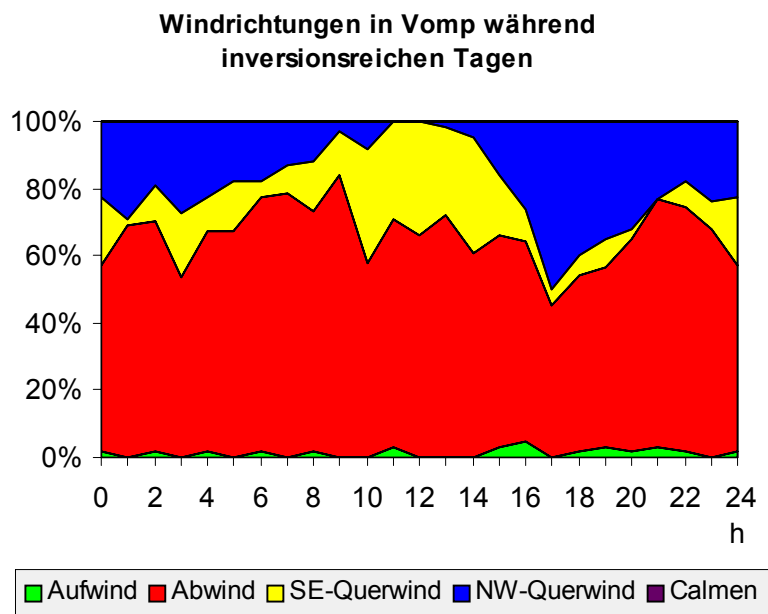


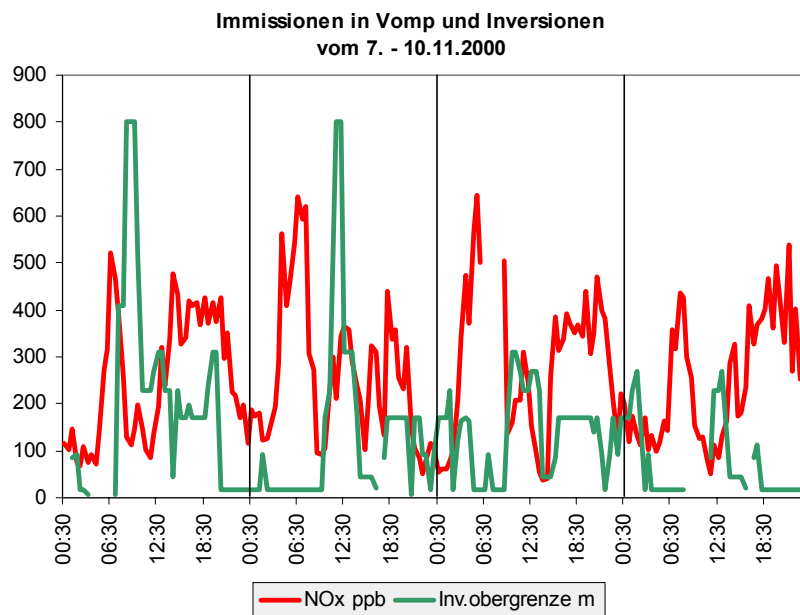
Abbildung 3.20: Windrichtungsverteilung im Tagesgang für die inversionsreichen Tage im Winter 2000/01 an der Messstelle Vomp.

Das Windfeld an inversionsarmen und inversionsreichen Tagen ist vollkommen anders. An inversionsarmen Tagen tritt der Talaufwind ab ca. 10 Uhr markant

häufiger auf. Diese Windrichtung zeigt an der Messstelle Vomp eine Leekomponente in Bezug auf die Autobahn. Deswegen sind die Immissionen für diesen Standort erhöht. Inversionsreiche Tage werden ganztags von Talabwinden dominiert. Zwischen 10 und 12 Uhr lösen sich auch an diesen Tagen die Inversionen am ehesten auf oder lichten sich zumindest (s. Abbildung 3.14), was zu einer etwas verbesserten Durchmischung führt. Der Talabwind weist dann für die Messstelle Vomp eine Luvkomponente in Bezug auf die Autobahn auf, was für diese Messstation immissionsvermindernd wirkt. Zu den übrigen Tageszeiten sind die inversionsreichen Tage immissionsbelasteter.

### 3.5.2. Inversionsarme und inversionsreiche Episoden

In der zweiten Betrachtung dieses Kapitels werden drei Episoden von einigen Werktagen mit praktisch anhaltenden bzw. nur seltenen Inversionen einander gegenübergestellt. Es wird dabei der zeitliche Verlauf von  $\text{NO}_x$  an der Messstelle Vomp sowie die Obergrenze der untersten, immissionsrelevanten Inversionsschicht gezeigt. Die Grenzen der Inversionsschichten können nur in Schritten detektiert werden, welche den Höhenlagen der Sensoren im Temperaturprofil Schwaz entsprechen.



**Abbildung 3.21:**  $\text{NO}_x$ -Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 7. – 10.11.2000.

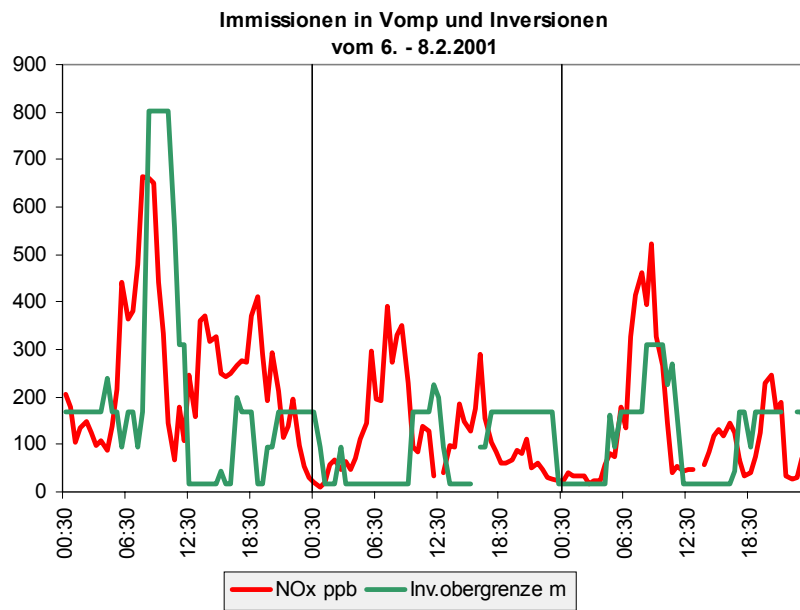


Abbildung 3.22: NO<sub>x</sub>-Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 6. – 8.2.2001.

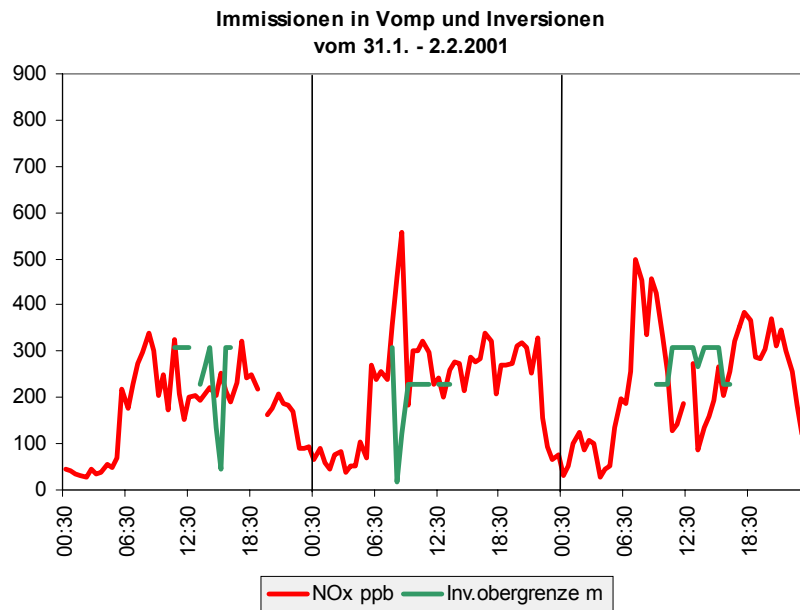


Abbildung 3.23: NO<sub>x</sub>-Immissionen an der Messstelle Vomp und Obergrenze der untersten Inversionsschicht vom 31.1. – 2.2.2001.

Die Messstelle Vomp befindet sich von der Höhenlage her knapp oberhalb des zweiten Sensors im Temperaturprofil Schwaz. Eine Inversion mit detektierter Obergrenze beim dritten Sensor oder höher liegt mit Sicherheit auch über der

Messstelle Vomp. Die seltenen Fälle mit einer Obergrenze beim zweiten Sensor bedeuten sehr flache Inversionsschichten; die Messstelle Vomp kann da bereits drüber liegen oder noch knapp davon erfasst sein.

In der inversionsreichen Episode vom 7.-10.11.2000 kann man deutlich sehen, wie mit der Hebung oder Auflösung der morgendlichen Inversion die Immissionen zurückgehen. Eine längere Dauer der Inversion (vgl. 9.11. mit 10.11.) bedeutet auch eine länger andauernde Immissionsspitze trotz ähnlichem Verkehrsaufkommen.

Bei der ebenfalls inversionsreichen Episode vom 6.-8.2.2001 zeigt sich in den frühen Morgenstunden des 7. und 8., wie die Station Vomp wohl oberhalb der sehr dünnen Inversionsschicht. Deshalb werden dort die Luftmassen gut durchmischt und die Immissionen sind gering.

Die inversionsarme Episode vom 31.1. – 2.2.2001 zeigt einen generell ruhigeren Verlauf des  $\text{NO}_x$ . Die Werte sind dennoch nicht niedrig, wegen der starken Stickoxidquelle der Autobahn in unmittelbarer Nähe und weil durchaus relativ stabile Ausbreitungsverhältnisse herrschen können, die innerhalb der vorgegebenen Toleranz noch nicht als Inversion detektiert werden.

Generell zeigt dieses Kapitel, dass bei der Auswertung von lufthygienischen Messungen die Meteorologie, und hier insbesondere das Windfeld und die damit zusammenhängende atmosphärische Schichtung, nicht ausser Acht gelassen werden darf. Nur mit dem Einbezug der klimatischen Verhältnisse kann die Auswirkung von Änderungen in den Emissionen korrekt ermittelt werden. Während sowohl die Messungen des Windfeldes als auch die Erfassung der Inversionssituationen über die Messstelle hinaus für diesen Abschnitt des Unterinntales repräsentativ sind, sind die Immissionsfolgen dieses Zusammenspiels sehr von der Lage der Messstelle zur Haupt-Emissionsquelle und von der Lage der Autobahn im Windfeld im Nahbereich um die Messstelle abhängig.

## 4 Immissions/Emissionsverhältnisse im Tages- und Jahresgang für das Unterinntal

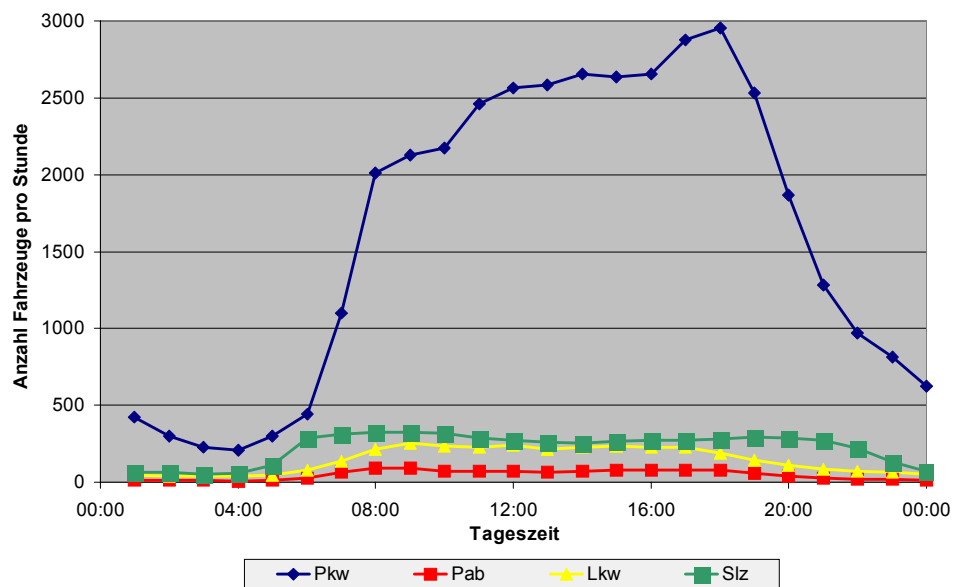
Die  $\text{NO}_x$ -Immission ist nicht proportional zur Emission. Letztere ist lediglich einer von vielen Parametern zur Steuerung der Schadstoffkonzentration an einem bestimmten Standort. Weiter spielen die Lage relativ zur Autobahn eine Rolle, die topografischen Verhältnisse sowie die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, welche vor allem durch den Wind und die Temperaturschichtung der unteren Atmosphäre bestimmt werden. Das Verhältnis der Immission zur Emission (I/E-Verhältnis) ist ein Mass zur Beschreibung all dieser Rahmenbedingungen, die bei einer bestimmten Menge emittiertes  $\text{NO}_x$  zu ganz unterschiedlichen Einträgen führen können.

Die Autobahn A12 ist die dominierende Emissionsquelle in dem für diesen Bericht relevanten Abschnitt des Inntals. Daher werden in diesem Kapitel die Immissionen an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichem Abstand zur Autobahn untersucht und in Beziehung gesetzt zu den Emissionen des Autobahnverkehrs bei Vomp. Wie im Kapitel 2.1 dargelegt, ist einzig bei Hall mit anderen Emissionsquellen in nennenswertem Ausmass zu rechnen, aber auch dort kann das I/E-Verhältnis mit den Emissionen der A12 gebildet werden, weil diese um Grössenordnungen höher sind als alle anderen Quellen. Mit zunehmendem Abstand von der Quelle sinkt zwar die Immissionsbelastung, aber gleichzeitig nimmt der Einfluss der Ausbreitungsbedingungen zu. Das heisst, bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen, wie sie v.a. nachts und im Winter auftreten, werden auch Standorte in einer grösseren Entfernung zur Autobahn erheblich durch Schadstoffeinträge belastet.

Die folgenden Untersuchungen beruhen auf saisonal gemittelten Tagesgängen. Die Methode der I/E-Verhältnisse erlaubt statistische Vergleiche von verschiedenen Standorten untereinander sowie die Betrachtung von mittleren Tages- und Jahresgängen. Sie ist jedoch nicht geeignet zur Beschreibung einzelner Tage oder Wetterlagen oder gar zur Charakterisierung der einzelnen Stunden.

## 4.1. Emissionen an der Zählstelle Vomp

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Kilometer je Fahrzeugkategorie wurden aufgrund der Verkehrszahlen mittels der Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes in Wien bestimmt. Diese Faktoren differieren von den Schweizer Umrechnungswerten. Deshalb können aus Verkehrszahlen berechnete Emissionsdaten aus der Schweiz (z.B. aus dem Kanton Uri) nicht direkt mit jenen im Inntal verglichen werden. Als Datengrundlage dienen die Verkehrszählungen der Zählstelle Vomp an der Autobahn A12. Abbildung 4.1 zeigt den mittleren jährlichen Tagesgang der Anzahl der einzelnen Fahrzeugkategorien. Zwar fahren deutlich mehr PKWs als Busse und Lastwagen. Wird jedoch berücksichtigt, dass letztere bis zu 9 mal mehr Schadstoffe ausstossen, erkennt man, dass die Luftverschmutzung zu einem grossen Teil durch Lastwagen verursacht wird. Deshalb liegt dort auch ein grosses lufthygienisches Potential, indem die Hauptverkehrsströme auf Tageszeiten mit guten Ausbreitungsbedingungen beschränkt werden sollten.



**Abbildung 4.1:** Mittlerer jährlicher Tagesgang der einzelnen Fahrzeugkategorien an der Zählstelle Vomp. Fahrzeugkategorien: Pkw: Personenwagen; Pab: Pkw mit Anhänger und Busse; Lkw: Lastwagen; Slz: Sattel- und Lastenzüge.

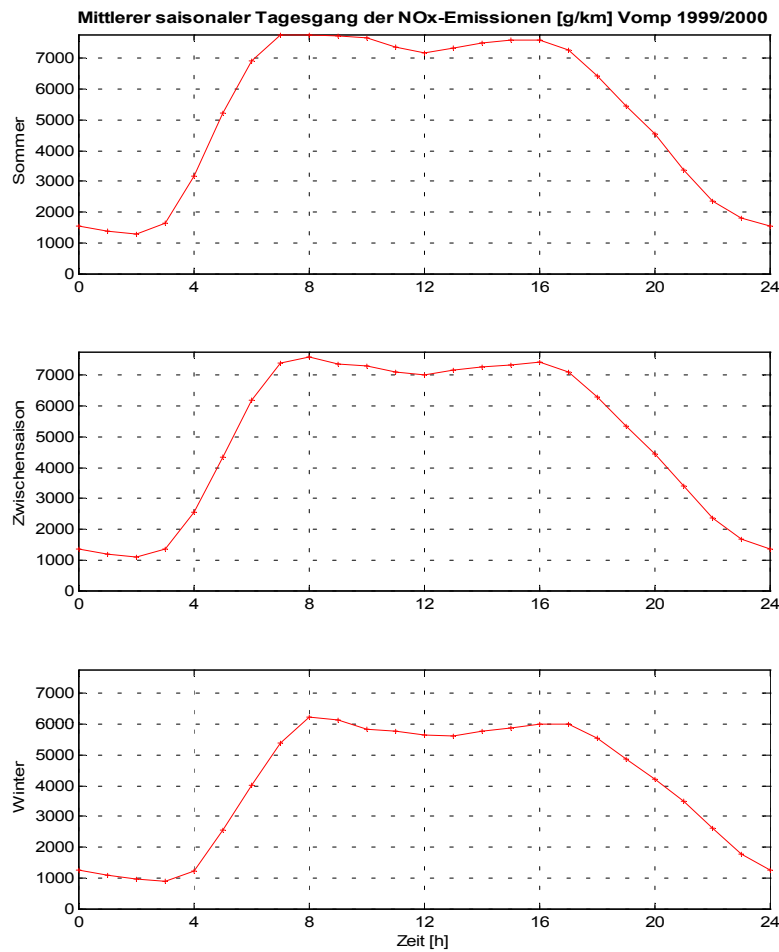
Damit die Immissionen jeweils als Funktion der Ausbreitungsbedingungen und der Distanz zur Autobahn diskutiert werden können, ist es sinnvoll, das I/E-Verhältnis für alle Immissionsstationen mit den gleichen Emissionsdaten zu berechnen. Neben dem aktuellen Emissionswert wurde jener eine Stunde früher in Abhängigkeit der Distanz zur Autobahn gewichtet einbezogen: Bei Stationen direkt an der Autobahn geht nur der aktuelle Wert ein, weil angenommen wird, dass die



Deposition der emittierten Schadstoffe weniger als eine Stunde braucht. Ab einer Distanz von 300 m wird der letzte Stundenmittelwert gleich stark berücksichtigt wie der aktuelle Wert, weil der Transport von der Quelle bis zur Deposition eine gewisse Zeit dauert. Dazwischen wird die Gewichtung linear interpoliert.

Emissionswerte kleiner als 50 g pro km werden aus den Untersuchungen ausgeschlossen, weil diese Werte zu grossen Ungenauigkeiten führen. Sie ergeben unrealistisch hohe I/E-Verhältnisse. Solche Emissionswerte entstehen z.B. fälschlicherweise bei Stau, wenn die Zählstellen sehr wenige vorbei fahrende Fahrzeuge registrieren. Die Emissionszahlen sind im Inntal jedoch so hoch, dass diese niedrigen Werte praktisch nie auftreten.

Abbildung 4.2 zeigt den mittleren Tagesgang der Emissionen für jede Saison, berechnet aus den Daten der beiden Jahre 1999 und 2000. Zu jeder Jahreszeit ist der sehr hohe Schadstoffausstoss tagsüber sehr auffällig. Wegen der erhöhten Maut auf der Brennerautobahn ist der Verkehr nachts deutlich reduziert, wobei der Schadstoffausstoss - verglichen mit anderen Regionen - noch immer hoch ist. Über Mittag lässt der berufsbedingte Verkehr leicht nach. Im Winter ist der Gesamtverkehr deutlich geringer als im Sommer. Wie im Kapitel 4.2 zu sehen sein wird, führt der geringere Verkehr jedoch nicht zu geringeren Immissionen. Diese sind im Winter sogar deutlich höher als im Sommer. Dies zeigt, dass kein linearer Zusammenhang besteht zwischen Emissionen und Immissionen, weil diverse andere Faktoren die Immission beeinflussen.



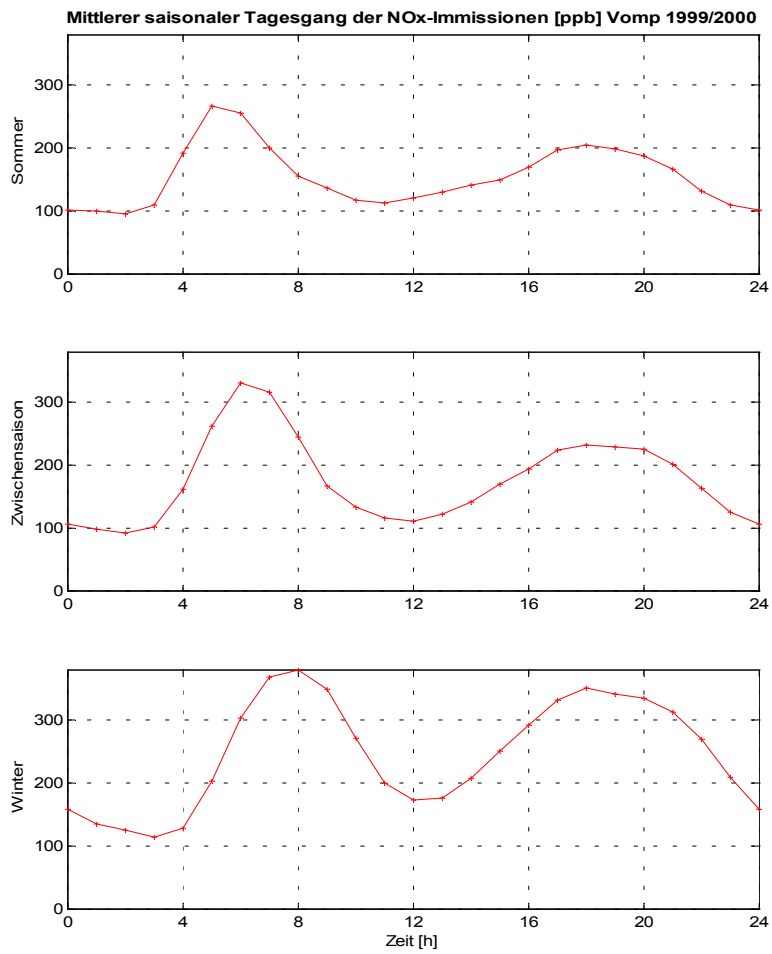
**Abbildung 4.2:** Mittlerer saisonaler Tagesgang der Emissionen an der Zählstelle Vomp. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.

## 4.2. Immissionen

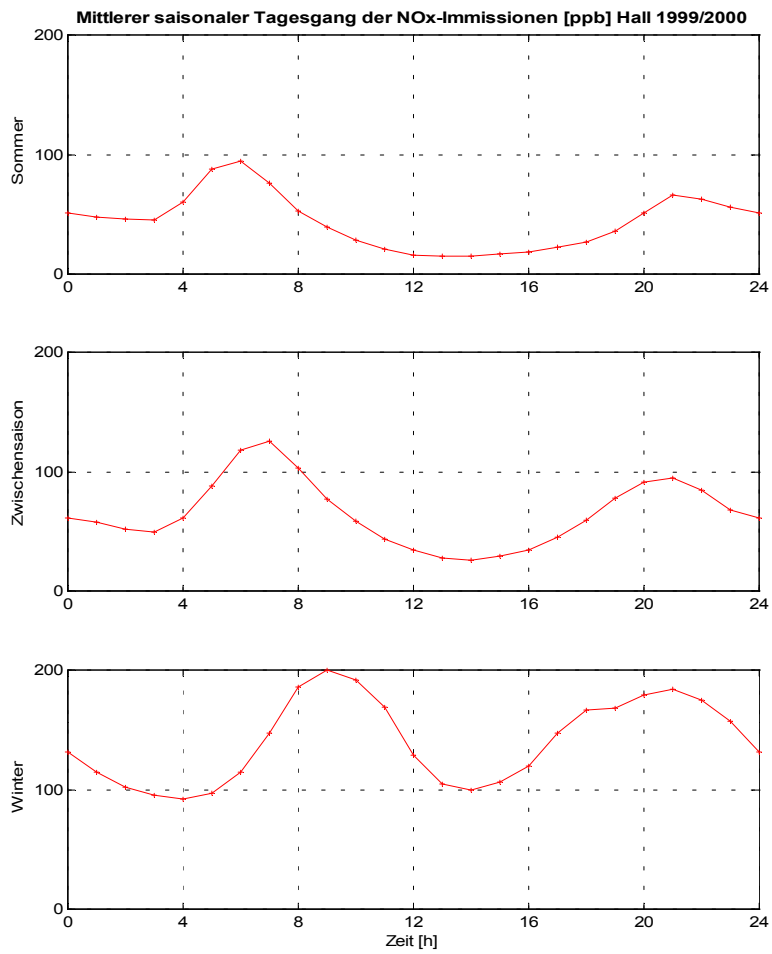
In diesem Kapitel werden die NO<sub>x</sub>-Immissionen der einzelnen Standorte miteinander verglichen. Exemplarisch sind drei Stationen mit den mittleren saisonalen Tagesgängen abgebildet (Abbildung 4.3 bis Abbildung 4.5). Alle Kurven zeigen zwei Tagesspitzen am Morgen und am Abend. Das sind einerseits Zeiten mit hohem Verkehrsaufkommen, andererseits sind die Ausbreitungsbedingungen weniger günstig als um die Mittagszeit. Während letzterer sind die Immissionswerte vergleichbar mit jenen in der Nacht oder sogar noch tiefer, obwohl die Emissionen nachts etwa einen Sechstel des Tageswertes betragen. Im Winter

werden überall die höchsten  $\text{NO}_x$ -Einträge gemessen, obschon die Verkehrszahlen dort geringer sind als in den anderen Jahreszeiten.

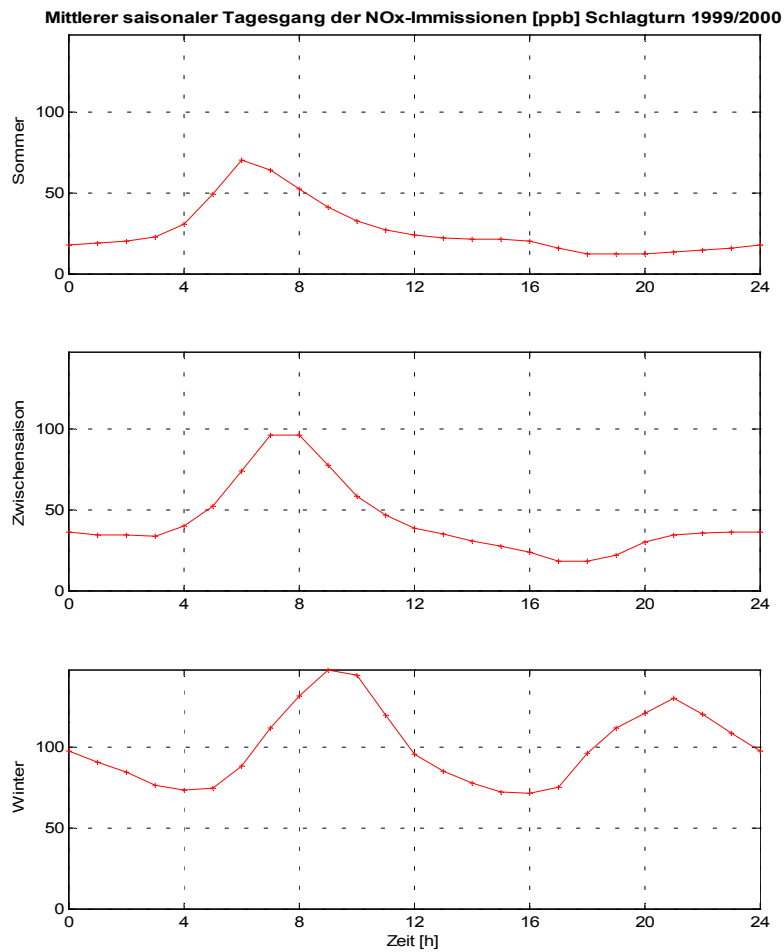
Die mit Abstand höchsten  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen werden an der Station Vomp direkt neben der Autobahn gemessen, wo im Winter und in der Zwischensaison Werte von über 300 ppb erreicht werden, und zwar im mittleren Tagesgang! Einzelne Extremwerte müssen also bedeutend höher sein. Die ebenfalls nahe der Autobahn gelegene Station Schlagturn ist bezüglich der Schadstoffe in einer begünstigten Lage. Weil sie etwas tiefer als die Fahrbahn liegt und durch die Lärmschutzwand zusätzlich abgeschirmt wird, werden die emittierten Schadstoffe über die Station hinweg transportiert, und die gemessenen Konzentrationen sind gering. Die 200 m entfernt liegende Station Hall weist eine deutlich höhere Belastung auf. Besonders die vormittäglichen Spitzen im Winter sind mit 200 ppb  $\text{NO}_x$  sehr hoch für ein Wohngebiet. Möglicherweise zeigt sich hier neben der Autobahn zusätzlich noch der Einfluss der Bundesstrasse 171. Die weiter von der Autobahn entfernten Standorte Pill und Unterfeld (die hier nicht abgebildet sind), zeigen geringere Konzentrationen erreichen aber im Winter auch Spitzen von deutlich über 100 ppb. Diese Standorte profitieren vom günstigen Luftaustausch tagsüber und im Sommer und reagieren mit tiefen Immissionswerten. Dagegen ist der Einfluss der A12 bei austauschschwachen Lagen auch auf eine Distanz von 300 m noch deutlich spürbar. Auch Stationen mit geringerer Distanz zur Autobahn wie Stans und Vomp an der Leiten verhalten sich ähnlich. Bei gutem Austausch sind die dort gemessenen Konzentrationen kaum höher als bei den weiter entfernten Stationen. Während winterlichen Belastungsspitzen werden jedoch Werte von über 150 ppb erreicht.



**Abbildung 4.3: Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Vomp als Beispiel für einen Standort direkt an der Autobahn. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.**



**Abbildung 4.4:** Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Hall als Beispiel für ein ca. 200 m von der Autobahn entferntes Wohnquartier. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.



**Abbildung 4.5:** Mittlerer saisonaler Tagesgang der Immissionen an der Station Schlagturn. Obwohl die Station nahe an der Autobahn liegt, ist sie weniger stark durch Immissionen belastet als andere Standorte, weil sie unterhalb der Fahrbahn liegt und durch die Lärmschutzwand auch vor Schadstoffeinträgen geschützt ist. Von oben nach unten: Sommer, Zwischensaison, Winter.

### 4.3. Die NO<sub>x</sub>-Hintergrundbelastung

Jeder Standort ist einer gewissen Grundbelastung von Schadstoffen ausgesetzt, die sich in der Luft akkumuliert haben und in keinem direkten Zusammenhang zu den aktuell emittierten Werten stehen. Der Einbezug dieser sogenannten Hintergrundbelastung für die Bildung des I/E-Verhältnisses berücksichtigt den Einfluss anderer NO<sub>x</sub>-Quellen als der Autobahn, sofern deren Ausstoss eine gewisse Regelmässigkeit aufweist (z.B. Hausfeuerungen, Gewerbebetriebe, Quartierstras-

sen) sowie den Herantransport von Schadstoffen aus entfernten Gebieten durch den Wind. Allerdings trägt auch die Autobahn selbst zur Hintergrundbelastung bei. Besonders an autobahnnahen Standorten würde es selbst bei einer völligen Stilllegung des Verkehrs einige Stunden dauern, um all die angesammelten Schadstoffmoleküle wegzutransportieren. Die Hintergrundbelastung weist nur einen vernachlässigbaren Tagesgang auf, ändert sich aber im Verlauf des Jahres. Deshalb wurde für jede Station und jede Saison ein eigener Hintergrundwert bestimmt (vgl. Tabelle 4.1). Dieser wurde empirisch festgelegt als die Hälfte des Minimalwertes aus dem mittleren Tagesgang. Zur Bildung des I/E-Verhältnisses wird der Hintergrund von der Gesamtimmission abgezogen.

**Tabelle 4.1:** **NO<sub>x</sub>-Hintergrundbelastung [ppb].** Berechnet für jede Station und jede Jahreszeit aufgrund der minimalen Immissionswerte.

Station:	Sommer	Zwischensaison	Winter
Vomp	47.47	46.27	57.44
Vomp an der Leiten	11.30	16.10	30.13
Hall	7.38	12.94	46.22
Pill	5.72	10.01	24.64
Schlagturn	6.08	9.12	35.69
Stans	9.33	14.70	39.44
Unterfeld	7.20	9.76	---

#### 4.4. Methode zur Bestimmung der I/E-Verhältnisse

Aus den Erläuterungen in den vorangehenden Kapiteln lässt sich zusammenfassend das Vorgehen zur Bildung der I/E-Verhältnisse beschreiben:

- ◆ Für jede Station und jede Saison wird ein eigenes I/E-Verhältnis gebildet.
- ◆ Die Berechnungen beruhen auf den mittleren saisonalen Tagesgängen der Emissionen an der Zählstelle Vomp und der Immissionen an der jeweiligen Messstation.
- ◆ Vom mittleren Tagesgang der Immission wird der Hintergrundwert abgezogen.
- ◆ Die Emission wird in Abhängigkeit der Distanz zur Autobahn gewichtet gemittelt zwischen dem Wert zur gleichen Tageszeit wie der entsprechende Immissionswert und jenem eine Stunde früher.
- ◆ Der korrigierte Immissionswert wird durch den entsprechenden Emissionswert des mittleren Tagesgangs dividiert.

- ◆ Daraus resultiert für jede Station und jede Saison ein mittlerer Tagesgang des I/E-Verhältnisses.

Die Resultate der I/E-Verhältnisse werden im folgenden Kapitel diskutiert. Je höher das I/E-Verhältnis ist, desto austauschärmer ist die Luftmasse, d.h. desto grösser die Immission, die aus einer bestimmten Emissionsmenge resultiert.

## 4.5. Resultate

Die mittleren Tagesgänge der I/E-Verhältnisse für alle Stationen sind in Abbildung 4.6 dargestellt. Alle Kurven zeigen einen ausgeprägten Tagesgang mit hohen I/E-Verhältnissen in der Nacht und niedrigen um die Mittagszeit. Ausserdem ist die Saisonalität deutlich erkennbar. Die Winterkurven verlaufen durchwegs höher als jene im Sommer.

Da für die Station Vomp auch eine Windauswertung vorliegt, wird der Verlauf des I/E-Verhältnisses an dieser Station beispielhaft etwas detaillierter betrachtet. Auf den ersten Blick mag es erstaunen, dass das I/E-Verhältnis bereits um die Mittagszeit wieder ansteigt, im Sommer wird das Tagesminimum sogar schon am Vormittag erreicht. Die Resultate der Temperaturprofilauswertung bei Schwaz zeigen für diese Tageszeiten selten Inversionen, der thermische Austausch muss also optimal sein. Beim Betrachten der Abbildung 3.3 wird jedoch klar, dass mit dem Abflauen des vormittäglichen südlichen Querwindes die Immissionen zunehmen, weil der Aufwind die Schadstoffe entlang der Autobahn zur Station Vomp transportiert. Bei nur schwach zunehmender Emission führt dies zu einer Erhöhung des I/E-Verhältnisses. An den anderen Stationen bleibt das I/E-Verhältnis insbesondere im Sommer und in der Zwischensaison während der thermischen Durchmischung am Nachmittag tief. Mit der Inversionsbildung gegen Abend, wenn die Region bereits im Schatten liegt, beginnt auch das I/E-Verhältnis wieder anzusteigen.

Schön erkennbar ist eine Zunahme des I/E-Verhältnisses in Vomp am frühen Morgen, wenn die Inversionen am ausgeprägtesten sind. Das gleiche Phänomen erkennt man auch in den Sommer- und Zwischensaison-Daten von Unterfeld. Das I/E-Verhältnis bewegt sich in Vomp durchwegs auf sehr hohem Niveau, weil ein Grossteil der emittierten Schadstoffe sich in unmittelbarer Nähe wieder ablagert. Somit bleiben die Werte selbst an Sommernachmittagen höher als an allen anderen Stationen.

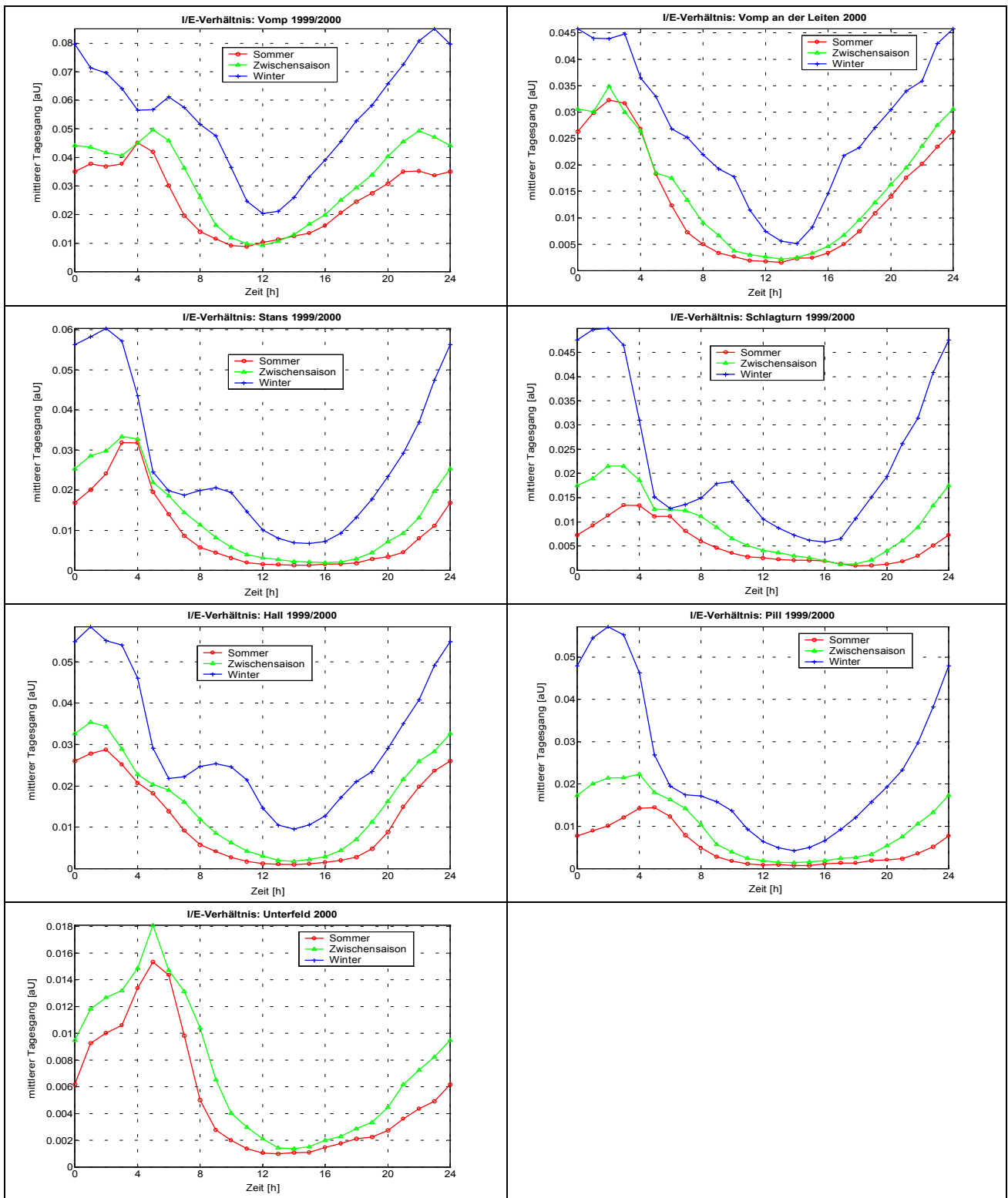


Der starke Abfall der winterlichen I/E-Verhältnisse um Mitternacht bis gegen Morgen an den meisten Stationen könnte mit Abwinden aus Seitentälern und von den Hängen zusammenhängen, welche insbesondere bei schneebedeckten Hängen beachtliche Windgeschwindigkeiten erreichen kann. Dazu wäre es wichtig, die Wind- und Immissionsverhältnisse auch in diesen Seitentälern zu messen. Der winterliche Abfall ist auch grösser als im Sommer, weil der Luftaustausch auch tagsüber gering ist und sich Schadstoffe akkumulieren können, so dass eine Frischluftzufuhr das I/E-Verhältnis massiv verkleinert.

Um die I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen direkt miteinander vergleichen zu können, werden diese jeweils über einige Stunden am Mittag, wenn sie sehr tief sind, sowie in der zweiten Nachthälfte, wenn sie die höchsten Werte erreichen, gemittelt. Tabelle 4.2 gibt Auskunft über das jeweilige Mittelungsintervall. Dieses wurde für jede Station individuell bestimmt, weil nicht eine bestimmte Tageszeit an allen Stationen verglichen werden soll, sondern die Perioden mit optimalen beziehungsweise sehr nachteiligen Austauschbedingungen.

**Tabelle 4.2: Beschreibung der Stationen: Abstand zur Autobahn A12 und Mittelungsintervall der I/E-Verhältnisse für die Vergleiche in Tabelle 4.3 und Tabelle 4.4.**

<b>Station:</b>	<b>Abstand zur A12</b>	<b>Mittelungsintervall Nachmittag</b>	<b>Mittelungsintervall Nacht</b>
<b>Vomp</b>	3 m	11 – 14 h	0 – 6 h
<b>Vomp an der Leiten</b>	40 m	11 – 14 h	0 – 6 h
<b>Hall</b>	210 m	12 – 15 h	0 – 4 h
<b>Pill</b>	310 m	12 – 15 h	0 – 5 h
<b>Schlagturn</b>	12 m	13 – 17 h	0 – 4 h
<b>Stans</b>	50 m	12 – 16 h	0 – 4 h
<b>Unterfeld</b>	350 m	12 – 16 h	2 – 7 h



**Abbildung 4.6: Mittlerer saisonaler Tagesgang des I/E-Verhältnisses an allen Stationen für alle drei Jahreszeiten.** Links, von Oben nach unten: Vomp, Stans, Hall, Unterfeld; rechts: Vomp an der Leiten, Schlagturm, Pöll. Beachte die unterschiedliche Skalierung der einzelnen Grafiken. Für Unterfeld existieren keine Winterdaten.

In Tabelle 4.3 wird der sommerliche Nachmittagswert jeder einzelnen Station auf 1 normiert, so dass man die Werte zu anderen Tages- und Jahreszeiten direkt den Optimalbedingungen gegenüberstellen kann. Der Unterschied des I/E-Verhältnisses zwischen Tag und Nacht ist dabei an allen Stationen deutlich stärker ausgeprägt, als jener zwischen den Jahreszeiten. Die extremsten Werte treten in Winternächten auf, wie schon aus den Grafiken hervorgeht. Wenn auch tagsüber die Sonneneinstrahlung nicht ausreicht, um die Luftmassen gründlich zu durchmischen, können sich Schadstoffe über mehrere Tage akkumulieren. Der Extremwert von Pill ist mit Vorsicht zu geniessen, weil die Daten nicht über ein ganzes Jahr vorliegen und die I/E-Verhältnisse im Winter nur auf Daten von Januar und Februar beruhen. I/E-Verhältnisse von 20 bis 30 mal dem sommerlichen Tageswert scheinen jedoch realistisch. In Vomp, welches ständig sehr hohen Belastungen ausgesetzt ist, ist der Unterschied zwischen guter und schlechter Durchmischung deutlich schwächer ausgeprägt als an entfernteren Standorten, die bei guten Bedingungen wenig Schadstoffe abbekommen und bei schlechteren deutlich mehr.

**Tabelle 4.3:** Die I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Tages- und Jahresgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.

Station:	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Vomp	1.0	1.0	2.2	3.5	4.2	6.1
Vomp an der Leiten	1.0	1.4	3.9	13.5	14.3	20.9
Hall	1.0	2.0	10.3	23.3	27.9	48.6
Pill	1.0	1.9	6.3	13.7	24.4	58.3
Schlagturn	1.0	1.3	3.6	5.7	10.3	23.5
Stans	1.0	1.7	5.6	17.9	21.4	39.5
Unterfeld	1.0	1.5	---	10.8	12.7	---

Tabelle 4.4 schliesslich zeigt den direkten Vergleich aller Stationen mit der stark belasteten Station Vomp. Bei guten Austauschbedingungen erreichen die anderen Stationen höchstens einen Fünftel der Belastung von Vomp bezogen auf eine Emissionseinheit. Zu jeder Tages- und Jahreszeit ist die NO<sub>x</sub>-Immission im Verhältnis zur Emission in Vomp am stärksten. Allerdings haben nächtliche Emissionen im Sommer z.B. in den Wohngebieten Vomp an der Leiten oder Hall eine zweieinhalb mal so grosse Wirkung wie tagsüber direkt neben der Autobahn, und im Winter sogar eine bis fünf mal so grosse. Dies bedeutet, dass sich eine Erhö-

hung der Nachtfahrten sehr negativ auf die lufthygienische Situation in den Wohngebieten auswirken würde.

**Tabelle 4.4:** Vergleich des I/E-Verhältnisses zwischen den einzelnen Stationen am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Vomp im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.

Station:	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Vomp	1.0	1.0	2.2	3.5	4.2	6.1
Vomp an der Leiten	0.2	0.2	0.7	2.4	2.5	3.7
Hall	0.1	0.2	1.1	2.4	2.9	5.0
Pill	0.1	0.1	0.5	1.1	1.9	4.5
Schlagturn	0.2	0.2	0.6	1.0	1.8	4.2
Stans	0.1	0.2	0.7	2.3	2.8	5.2
Unterfeld	0.1	0.2	---	1.1	1.4	---

## 4.6. Fazit

- ◆ Das I/E-Verhältnis ist eine neu entwickelte Methode, die sich gut eignet, um die Auswirkungen eines bestimmten Verkehrsaufkommens im Tagesgang und im saisonalen Mittel anzuschauen.
- ◆ Direkt neben der Autobahn ist die Belastung konstant sehr hoch
- ◆ Bei guten Austauschsituationen sind Gebiete in 200 bis 300 m Entfernung zur Autobahn zwar noch immer vom Verkehr als Quelle dominiert, aber die Belastung nimmt mit zunehmender Entfernung zur Autobahn ab.
- ◆ Bei austauschwachen Bedingungen nehmen die Immissionen pro Emisionseinheit auch in entfernteren Lagen der Strasse stark zu, also auch in den vielfach als Wohngebieten genutzten Regionen.
- ◆ Der Unterschied Tag-Nacht fällt deutlicher ins Gewicht, als jener zwischen den Jahreszeiten. Deshalb hätte eine Erhöhung der Zahl der Nachtfahrten gravierende Auswirkungen auf die Luftqualität im Inntal.
- ◆ Dies hätte im Winter die grössten Konsequenzen, weil die Austauschprozesse tagsüber zu schwach sind, um vermehrte nächtliche Akkumulation zu kompensieren.

## 5 Abschätzung der zukünftigen Stickoxidimmission an der Messstelle Vomp

### 5.1. Das Szenarium der zukünftigen Entwicklung der Stickoxidemissionen auf der Autobahn A12

Die Berechnungen der Stickoxidemissionen auf der Autobahn A12 in der Umgebung von Vomp wurden aufgrund der folgenden Grundlagen erstellt:

#### 5.1.1. Entwicklung der Emissionsfaktoren

- "Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen am Brennerkorridor", Landesbaudirektion, Gesamtverkehrsplanung, August 2000.
- "Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs in Österreich", Umweltbundesamt/ Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, 1998
- Strassenneigung: keine
- Verkehrsfrequenzen des Unterinntals, automatische Zählstelle
- Vergleichsbasis Jahr 2000 = 100%
- Emissionsfaktoren für das Jahr 2005: je nach Fahrzeugkategorie 70-75% der Emissionsfaktoren von 2000
- Emissionsfaktoren für das Jahr 2010: je nach Fahrzeugkategorie 41-46% der Emissionsfaktoren von 2000

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen den erwarteten Emissionsminderungen für die Jahre 2005 bzw. 2010, d.h. es handelt sich dabei um die durchschnittlichen Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie. Die angenommenen Reduktionen müssen als eher zu optimistisch bezeichnet werden.

#### 5.1.2. Entwicklung der Fahrzeugzahlen

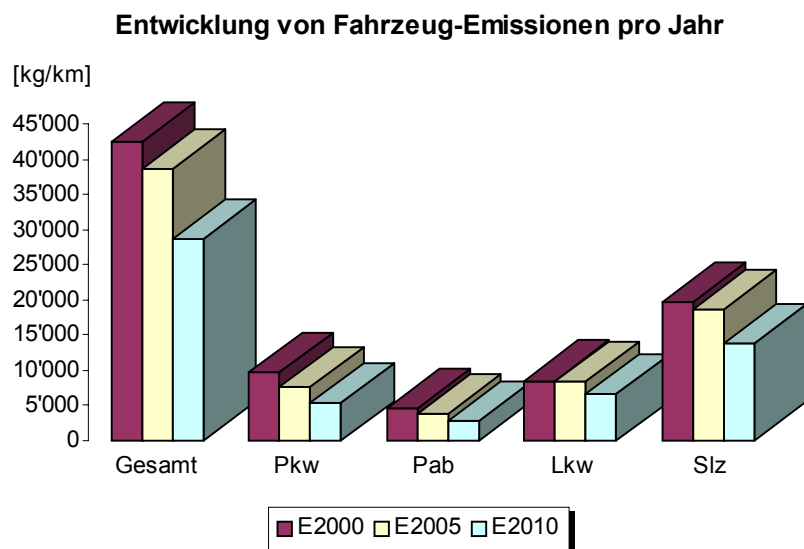
- Kontinuierliche Verkehrszählung bei Vomp (Gesamtanzahl Fahrzeuge)

- Schätzung der Frequenzen je Fahrzeugkategorie aufgrund ECE-Zählungen, letztmals 1995
- Schätzung der zukünftigen Entwicklung: Lineare Weiterführung des Trends 1993 – 2000 (bisherige Laufzeit des Ökopunkte-Systems)
- Jährliche Zuwachsraten bei Vomp (jeweils bezogen auf das Jahr 2000): Lastkraftwagen (LKW), Sattel- und Lastenzüge (SLZ): 5.5%, sonstige Fahrzeuge (Personenkraftwagen PKW; Personenwagen mit Anhänger PAB): 2.5%.

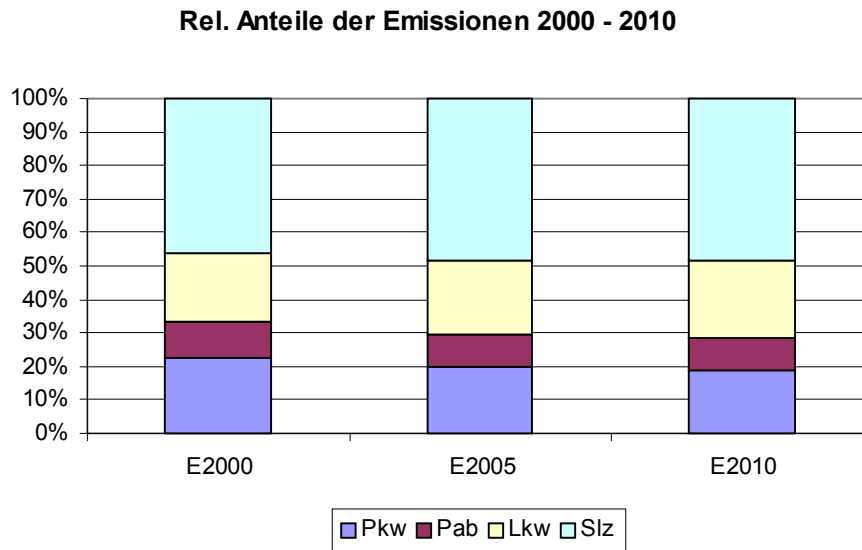
### 5.1.3. Ergebnis der Emissionsberechnungen

Die Berechnungen aus den Fahrzeugfrequenzen und den Emissionsfaktoren ergaben die Gesamtemissionen für die Jahre 2000, 2005 und 2010 (Abbildung 5.1). Die PKW sind mit 80% Verkehrsanteil (Jahr 2000) die häufigste Verkehrsart, erzeugen aber nur ca. 20% der Gesamtemissionen. Dank der geplanten Massnahmen, bzw. Vorschriften zur Emissionsminderung werden auch die Gesamtemissionen zurückgehen, insbesondere wegen dem Emissionsminderungspotential bei der Kategorie SLZ (Sattel- und Lastenzüge) zwischen 2005 und 2010.

Der Emissionsanteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen von  $\text{NO}_x$  steigt zwischen 2000 und 2010 von 66.5% auf 71.5%, also um 5% (Abbildung 5.2).



**Abbildung 5.1:** Entwicklung der Emissionen für den Gesamtverkehr und die einzelnen Fahrzeugkategorien für die Jahre 2000, 2005 und 2010.



**Abbildung 5.2:** Der Relative Anteil der Fahrzeugkategorien an den Emissionen für die Jahre 2000, 2005 und 2010.

## 5.2. Berechnung der zukünftigen Stickoxid-Immissionen

### 5.2.1. Methodik

Die Emissionswerte für das Jahr 2000 bei Vomp wurden aus den Verkehrszählungen für jede Stunde bestimmt. Die Immissionswerte für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  des Jahres 2000 lagen für die Berechnungen vor. Das I/E-Verhältnis hängt von den meteorologisch bedingten Ausbreitungsverhältnissen ab und wurde für das Jahr 2000 berechnet (s. Kapitel 4).

Die Zeitreihe der I/E-Verhältnisse bildet das meteorologische Jahr 2000 für die Auswirkungen der im Unterinntal dominierenden A12 ab. Man errechnet für jede Stunde des Jahres eines zukünftigen Szenariums die  $\text{NO}_x$ -Emission und gelangt mit der Funktion des I/E-Verhältnisses zu den  $\text{NO}_x$ -Immissionen. Die Immissionen werden ausser durch die Emissionen eben durch die Ausbreitungsbedingungen zur entsprechenden Tageszeit bestimmt. Der Hintergrund wird wesentlich ebenfalls durch die (gealterten) Emissionen der A12 bestimmt, die sich langfristig je Szenarium geändert haben. Man kann bei diesen Szenarienrechnungen deshalb den Hintergrund der Stickoxidimmissionen in den Verhältnis-Berechnungen belassen, er muss nicht gesondert ausgewiesen werden.

Die folgenden Modelle für die  $\text{NO}_x$ -Immissionen wurden formuliert:

- **Proportionales Szenarium:** Die Zunahme des Verkehrs wurde für alle Fahrzeugkategorien prozentual auf alle Stunden des Jahres verteilt. Dieser Ansatz berücksichtigt keine Verkehrsverlagerungen durch höheres Verkehrsaufkommen oder Änderungen in den Frequenzen der einzelnen Kategorien am Tag und in der Nacht (Einschränkungen der Nachtfahrten).
- **Konstantes Szenarium:** Der Mehrverkehr der Kategorien PKW, PKW mit Anhänger und Busse wurden wie im proportionalen Szenarium prozentual auf alle Stunden des Jahres verteilt. Die Zunahme des Schwerverkehrs (LKW und SLZ) wurde mit konstanter Anzahl zu den stündlichen Frequenzen hinzugefügt. Dieser Ansatz berücksichtigt, dass der Schwerverkehr z.T. auf verkehrsarme Zeiten ausweichen wird.
- **Szenarium Tag – Nacht:** Das Modell vertauscht die Frequenzen für den Schwerverkehr vom Tag mit jenen von der Nacht. Dieses Modell zeigt die Änderungen in den Immissionen auf, wenn der Schwerverkehr vorwiegend in der Nacht abgewickelt würde. Die ungünstigeren Ausbreitungsbedingungen erzeugen die höhere Immissionsbelastung. Dies ist natürlich ein hypothetisches Szenarium, das die grosse Bedeutung der tageszeitlichen Verteilung des Verkehrs aufzeigt.
- **Szenarium Nachtfahrverbot:** Während der Mehrverkehr der Kategorien PKW, PKW mit Anhänger und Busse wie im proportionalen Szenarium prozentual auf alle Stunden des Jahres verteilt wurde, wurde beim Schwerverkehr gegenüber den proportionalen Szenarien für 2005 und 2010 jeweils eine durch ein Nachtfahrverbot bedingte 75-prozentige Abnahme der Fahrten zwischen 22 und 5 Uhr nachts angenommen. Das entsprechende Verkehrsaufkommen wurde umgelagert auf die Zeiten von 19 bis 22 Uhr sowie von 5 bis 9 Uhr.

## 5.2.2. Modellierung der $\text{NO}_2$ -Immissionen

Die Umwandlung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen in  $\text{NO}_2$ -Immissionen ist weder konstant noch linear, weil viele verschiedene Variablen diese Umwandlung beeinflussen. Für das hier verwendete Modell wurde aus allen Stundenwerten der  $\text{NO}_x$ - und der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen an der Messstation Vomp für das Jahr 2000 eine Umwandlungsfunktion berechnet (Abbildung 5.3). Diese Umwandlungsfunktion erlaubt die Schätzung von Kennzahlen über ein Jahr. Wegen der grossen Streuung



der Einzelwerte sind aber keine Schätzungen von Tageswerten möglich. Ausserdem ist die Bestimmung eines  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwertes aus einem  $\text{NO}_x$ -Jahresmittel mit Hilfe dieser Umwandlungsfunktion als grobe Abschätzung zu verstehen.

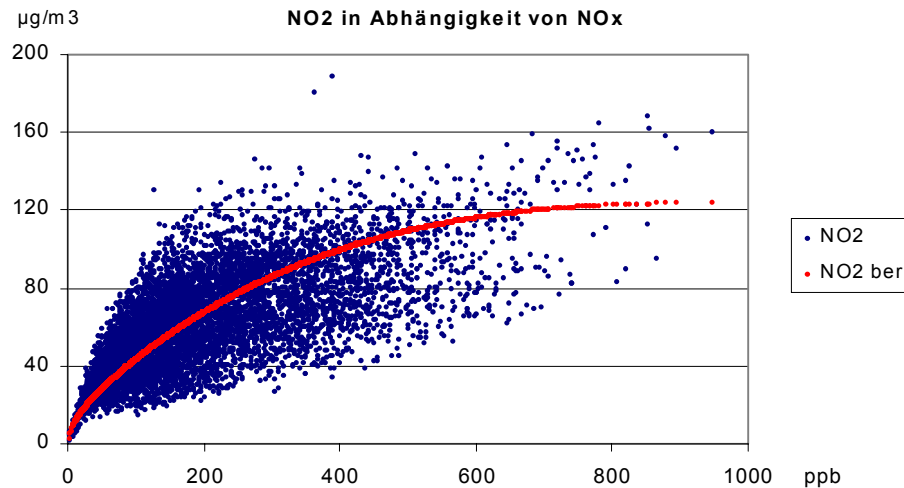


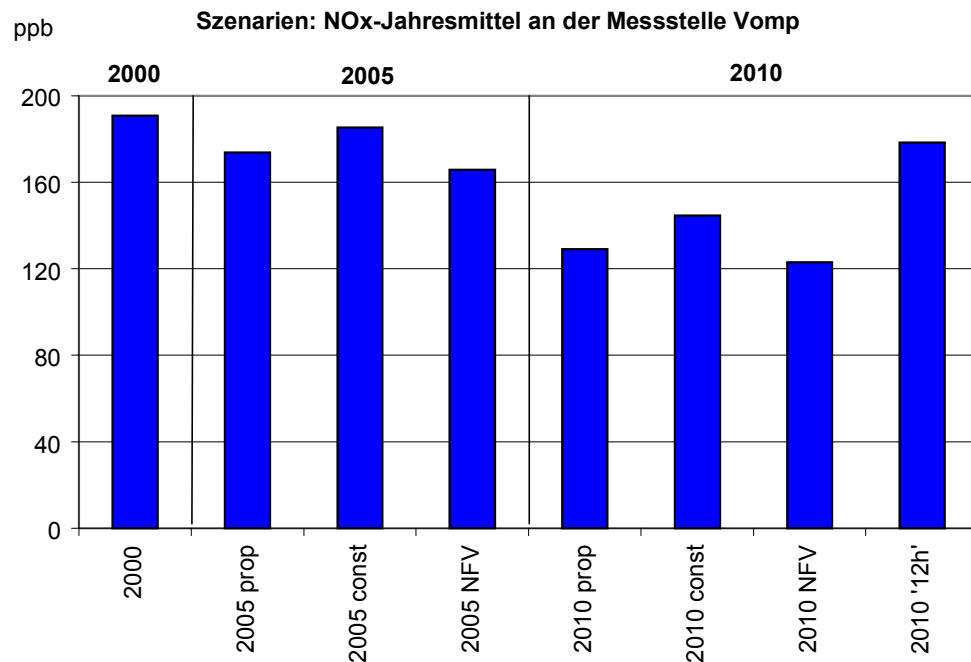
Abbildung 5.3: Die Funktion zur Bestimmung der  $\text{NO}_2$ -Immissions-Konzentration in Abhängigkeit von der  $\text{NO}_x$ -Konzentration.

### 5.2.3. Resultate

#### Die $\text{NO}_x$ -Immissionsbelastung im Jahresmittel

Die  $\text{NO}_x$ -Immissionsbelastung im Jahresmittel wurde aus dem I/E-Verhältnis für jede Stunde im Jahr 2000 und den prognostizierten Emissionen von der Autobahn A12 für die Jahre 2005 und 2010 berechnet. Die Anzahl Fahrzeuge je Kategorie und somit auch die Gesamtemissionen sind für alle Modelle im entsprechenden Jahr gleich. Die Auswirkungen der Emissionen sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen im Tagesverlauf verschieden. Die technologischen Massnahmen zur Emissionsminderung bewirken trotz den angenommenen Verkehrssteigerungen eine Verringerung der  $\text{NO}_x$ -Immissionen. Der Effekt fällt je nach Modell im Jahresmittel sehr unterschiedlich aus. Wegen der dominanten Quelle der A12 folgen im *proportionalen Szenarium* die  $\text{NO}_x$ -Immissionen den Emissionen (Abbildung 5.4, „prop“). Die Immissionsbelastung im *konstanten Szenarium* ist im Jahresmittel höher, da in diesem Modell der Mehrverkehr in den Stunden mit geringem Verkehr proportional grösser ist (Abbildung 5.4, „c“). Diese Verkehrszeiten fallen vorwiegend in die Nacht, wo die Ausbreitungsbedingungen schlechter sind und die Emissionen eine überproportionale Luftbelastung bewirken. Das *Szenarium Tag – Nacht* (Abbildung 5.4, „12

h“) ist ein Modell, in dem das höhere Verkehrsaufkommen des Güterverkehrs des Tages in die Nacht gelegt wurde und das geringere Verkehrsaufkommen der Nacht in den Tag. Mit diesem Modell sollen die Auswirkungen abgeschätzt werden, die bei vorwiegend nächtlichem Güterverkehr auf der Strasse zu erwarten wären. Dieses Modell ergab für das Jahr 2010 eine NO<sub>x</sub>-Immissionsbelastung, die 94% der Belastung im Jahr 2000 beträgt. Im Vergleich zum proportionalen Szenarium wurde für 2010 eine Mehrbelastung von 38% im Jahresmittel bestimmt. Der Effekt eines Nachtfahrverbotes (Abbildung 5.4, „NFV“) ist klar ersichtlich mit den geringsten Immissionswerten. Allerdings ist er gegenüber dem *proportionalen Szenarium* nur schwach ausgeprägt, weil schon heute nachts eine starke Verringerung des Schwerverkehrs auf der Inntalautobahn stattfindet, einerseits durch den natürlichen Tagesrhythmus, andererseits aber auch durch die erhöhte nächtliche MAUT.

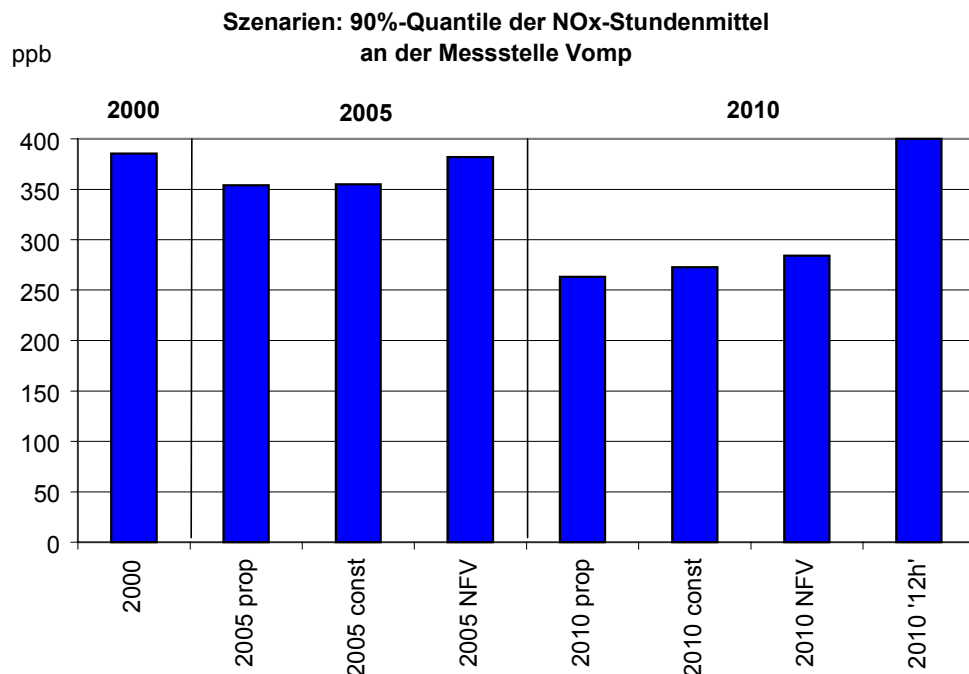


**Abbildung 5.4:** Modellierte NO<sub>x</sub>-Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h).

#### Das 90%-Quantil der NO<sub>x</sub>- Immissionsbelastung

Das 90%-Quantil der Stundenmittel eines Jahres für NO<sub>x</sub>-Immissionen ist ein Mass zur Beschreibung von Spitzenbelastungen. In Abbildung 5.5 sind die Ergebnisse der Modellierungen mit den gleichen Voraussetzungen wie für die Berech-

nung der Jahresmittel zusammengefasst. Das *proportionale Szenarium* unterscheidet sich bei der Spitzenbelastung kaum vom *konstanten Szenarium*, hingegen ist beim *Szenarium Tag – Nacht* im Jahr 2010 sogar mit höheren Spitzenwerten als im Jahr 2000 zu rechnen, da die meisten Emissionen in der austauscharmen Nachtzeit anfallen. Der gesamte Verkehr würde bei diesem Modell mehr über den ganzen Tag verteilt. Interessanterweise würde auch das *Szenarium Nachtfahrverbot* im Vergleich zum *proportionalen* und zum *konstanten Szenarium* eine leicht erhöhte Spitzenbelastung bringen, weil die ohnehin sehr stark frequentierten Abend- und Morgenstunden, in denen die Austauschbedingungen deutlich schlechter sind als tagsüber, ein zusätzliches Verkehrsaufkommen zu verkraften hätten.

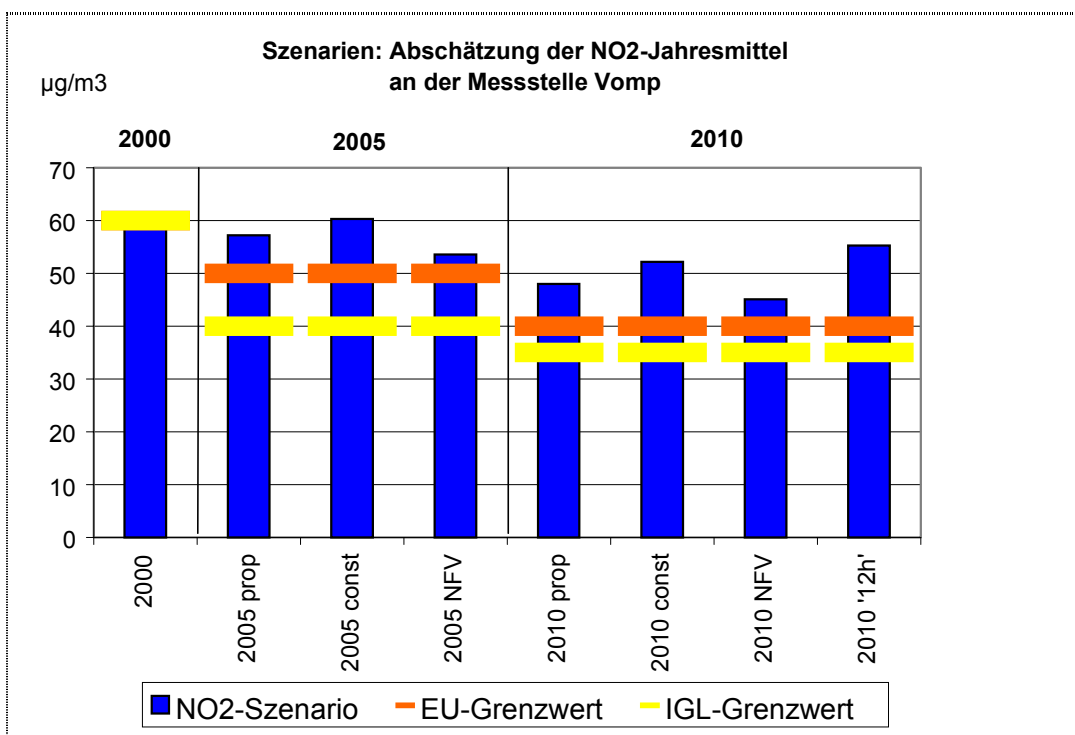


**Abbildung 5.5:** 90%-Quantile der Stundenmittel eines Jahres für NO<sub>x</sub> an der Messstelle Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h).

### Die NO<sub>2</sub>- Immissionsbelastung im Jahresmittel

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung folgt den Emissionsänderungen im geringeren Mass wegen des nicht linearen Charakters der NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Konversionsfunktion (vgl. Abbildung 5.3). Kurz, bei geringer NO<sub>x</sub>-Immissionsbelastung wird ein grosser Anteil in NO<sub>2</sub> umgewandelt und bei hohen NO<sub>x</sub>-Werten kann nur ein geringerer Teil zu NO<sub>2</sub> konvertieren. Aus diesem Grund bewirkt mehr Verkehr zu verkehrs-

armen Zeiten eine grössere Veränderung der NO<sub>2</sub>-Belastung, als bei einer generell hohen Immissionsbelastung. Dieser Zusammenhang lässt bei der relativ hohen NO<sub>x</sub>-Belastung bei Vomp trotz der generellen NO<sub>x</sub>-Abnahme nur eine gedämpfte Verringerung der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung erwarten (Abbildung 5.6). Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in dieser Abbildung wurden aus der in Abbildung 5.3 beschriebenen Konversionsfunktion berechnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine relativ grobe Abschätzung handelt wegen der starken Streuung der Konversionsfunktion. Die stärkste Reduktion der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte wird im *Nachtfahrverbots-Szenarium* erreicht, wo im Modell für 2010 der Jahresmittelwert an der Messstelle Vomp 50 µg/m<sup>3</sup> deutlich unterschreitet. Allerdings können in keinem Szenarium in den Modelljahren 2005 oder 2010 die dann gültigen *Grenzwerte der EU* und des *österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft* eingehalten werden. Eine zeitliche Verschiebung des Schwerververkehrs im Tagesverlauf bewirkt eine Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Belastung, die sich besonders im *Szenarium Tag – Nacht* manifestiert.

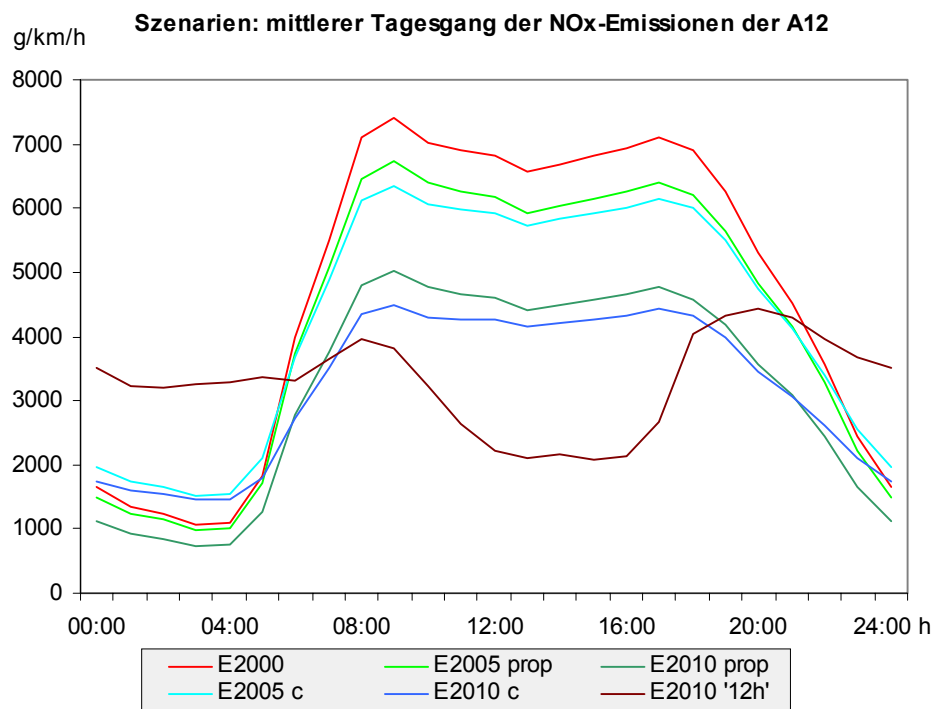


**Abbildung 5.6:** Berechnete NO<sub>2</sub>-Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das proportionale Szenarium (2005 prop und 2010 prop), das konstante Szenarium (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h) sowie die in den Jahren 2005 und 2010 gültigen *Grenzwerte der EU* und des *österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft (IGL)* Die hier dargestellten NO<sub>2</sub>-Werte sind eine grobe Näherung, da die für die Berechnung verwendete NO<sub>2</sub>-Konversionsfunktion aus den NO<sub>x</sub>-Werten (Abbildung 5.3) eine starke Streuung aufweist.

Der von der EU vorgesehene Grenzwert für das Jahresmittel von  $\text{NO}_2$  beträgt  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ab dem Jahre 2010. Bis dahin soll die Toleranz von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für das Jahr 2000 linear auf 0 verringert werden, was zu folgenden Grenzwerten führt: 2000  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2005  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2010  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Grenzwerte des österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft folgen strengeren Richtlinien: 2000  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2005  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 2010  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### Der mittlere Tagesgang der $\text{NO}_x$ -Emissionen von der A12

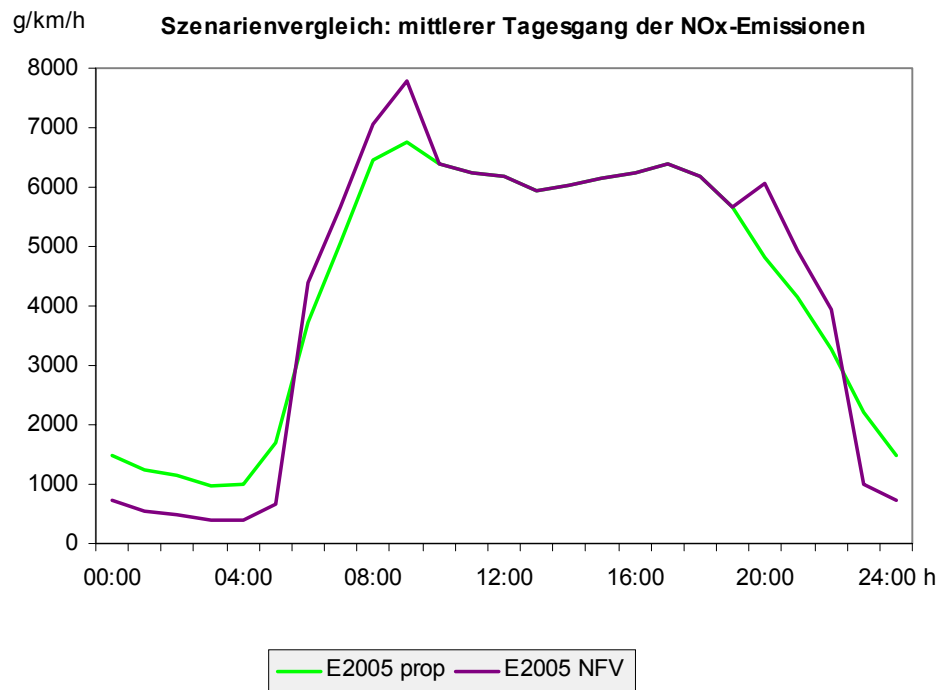
Die prognostizierten Gesamtemissionen sind für alle Szenarien in einem bestimmten Jahr gleich. Sie werden aber unterschiedlich über den Tag verteilt, was aus den Abbildungen des mittleren Emissions-Tagesgangs (Abbildung 5.7 und Abbildung 5.8) deutlich ersichtlich ist. Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen zeigen für das *proportionale Szenarium* und das *konstante Szenarium* tagsüber einen parallelen Verlauf, wobei die höheren Emissionen in der Nacht beim *konstanten Szenarium* auffallen. Völlig anders ist natürlich das *Szenarium Tag – Nacht*, wo das grössere Verkehrsaufkommen in der Nacht zu hohen Emissionen führt.



**Abbildung 5.7:** Tagesgang der  $\text{NO}_x$ -Emissionen der A12 für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h).

Der Vergleich zwischen den Emissionen des *proportionalen Szenariums* und des *Nachtfahrverbots* zeigt bei letzterem die geringe nächtliche Emission, dafür ex-

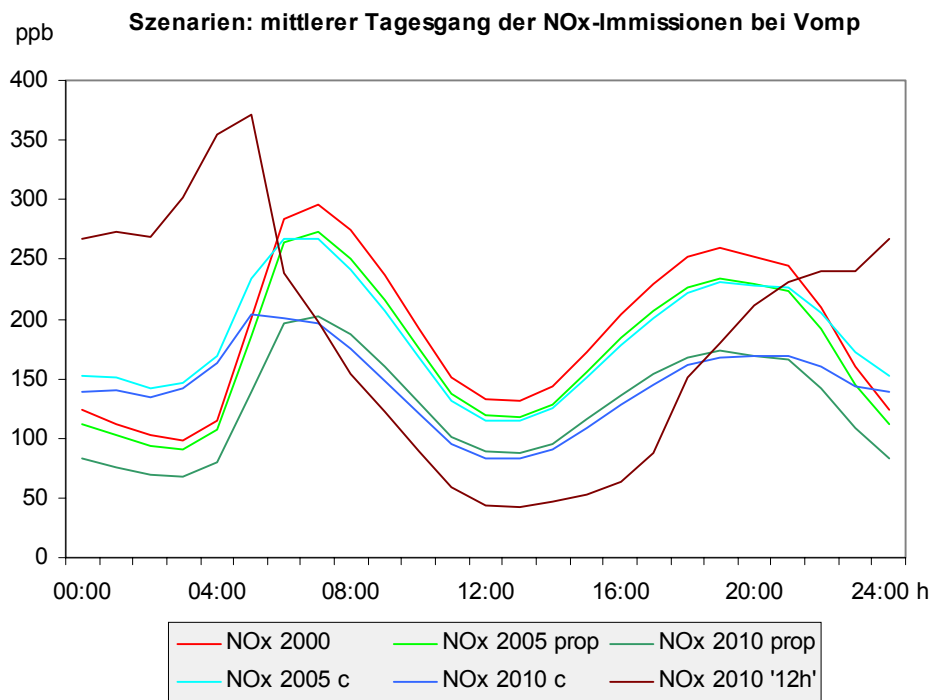
treme Spitzen am Abend und in den frühen Morgenstunden, weil ja bei dieser Szenariumsannahme der Schwerverkehr von der Nacht auf diese Zeiten verlagert wird. Der Verkehr tagsüber ist für beide Szenarien gleich.



**Abbildung 5.8:** Szenarienvergleich des mittleren Tagesgang der Emissionen für das *proportionale Szenarium* (E2005 prop) und das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (E2005 NFV)

### Der mittlere Tagesgang für die NO<sub>x</sub>-Immissionen bei Vomp

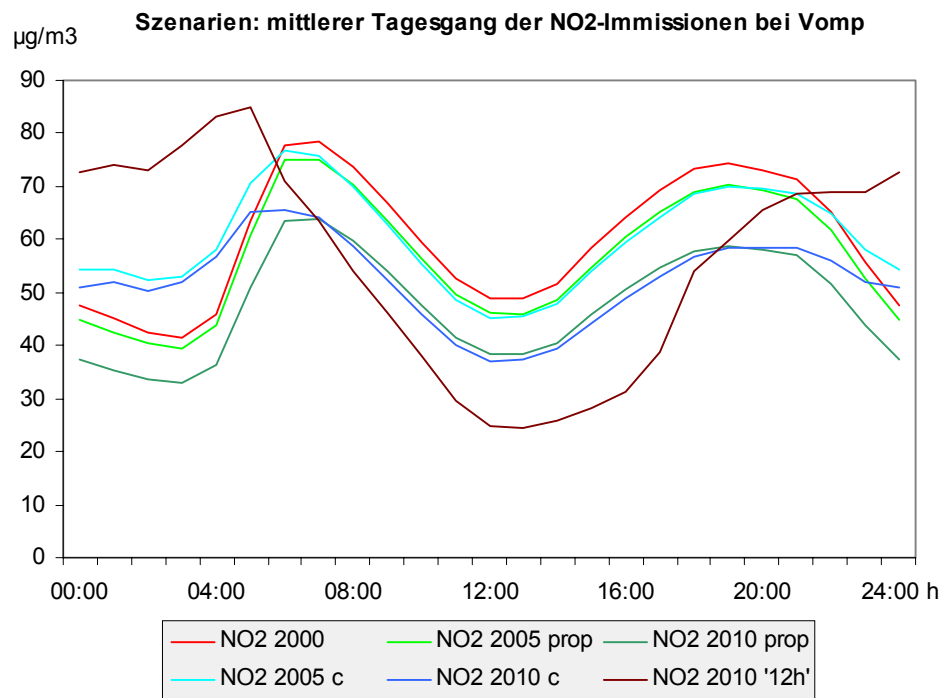
Der mittlere Tagesgang der Immissionen wird einerseits durch die NO<sub>x</sub>-Emission und andererseits vor allem auch durch die Ausbreitungsbedingungen bestimmt. Ein Mehrverkehr in der Nacht bewirkt deutlich höhere Immissionen. Dies fällt besonders beim *Szenarium Tag – Nacht* auf, wo das grössere Verkehrsaufkommen in der Nacht und insbesondere am frühen Morgen zu hohen NO<sub>x</sub>-Immissionen führt. Kurz, zeitliche Veränderungen des Aufkommens vom Schwerverkehr bewirken grosse Änderungen in den Immissionen.



**Abbildung 5.9:** Tagesgang der NO<sub>x</sub>-Immissionen bei Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h).

**Der mittlere Tagesgang für die NO<sub>2</sub>-Immissionen bei Vomp**

Der Tagesgang für NO<sub>2</sub> folgt dem Tagesgang der NO<sub>x</sub>-Immissionen, aber entsprechend der Konvertierungsfunktion mit weniger grossen Extremwerten.



**Abbildung 5.10:** Tagesgang der NO<sub>2</sub>- Immissionen bei Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h).

### 5.3. Fazit

In allen Szenarien werden die Immissionsgrenzwerte der Jahre 2005 bzw. 2010 für das Jahresmittel von NO<sub>2</sub> überschritten. Nur im *proportionalen Szenarium* und im *Nachtfahrverbots-Szenarium* können die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstelle Vomp im Jahr 2010 unter 50 µg/m<sup>3</sup> sinken. Wird der Schwerverkehr in die verkehrsarmen Zeiten, insbesondere in die Nacht verlegt, so ist bei gleichem Verkehrsaufkommen mit einer deutlich höheren NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung zu rechnen.

Diese Szenarien sind wohlgernekt unter sehr optimistischen Voraussetzungen gerechnet worden, was die Entwicklung der mittleren Emissionsfaktoren der Fahrzeuge betrifft. Weiter wurde angenommen, dass die Entwicklung der Fahrzeugzahlen je Kategorie linear gleich weiterwächst wie im Mittel der Jahre 1993-2000.



## 5.4. Ausblick

Die Modellierung erfolgte für die verkehrsnaher Station Vomp an der A12. Die Auswirkungen von Verkehrsänderungen (Anzahl Fahrzeuge und die Verteilung im Tagesverlauf) sind flächendeckend für das untere Inntal zu beurteilen, um das Gebiet der Grenzwertüberschreitungen abzugrenzen. Deshalb sollten die gleichen Szenarien für weitere Messstellen durchgeführt werden.

Dabei sollten alle für Szenarien verwendeten Messstationen auch einer immisionsklimatischen Begutachtung unterzogen werden. Die lokale Umgebung um die Messstationen kann entscheidend für die Messergebnisse der  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Belastung sein.

Im weiteren ist es zur Zeit noch schwierig, die Erstreckung des Gebietes um die Autobahn mit Grenzwertüberschreitungen abzuschätzen, da das Abklingen der Stickoxidbelastung mit zunehmender Distanz zur Autobahn von der Topografie und den klimatischen Gegebenheiten abhängt. Bei Inversionslage ist dieses Abklingen viel flacher als bei einer guten Durchlüftung. Mobile Messungen mit fahrenden Messfahrzeugen bei ausgewählten Wetterlagen könnten zusammen mit den entsprechenden Auswertungen die Grundlagen schaffen, um die Erstreckung der Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen für verschiedene Szenarien abzuschätzen. Auch weitere stationäre Messungen in gut gewähltem Abstand zur Autobahn könnten wertvolle Beiträge zu solchen Abschätzungen liefern.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Bericht werden die Zusammenhänge zwischen der meteorologischen Situation im Inntal und der von der Autobahn A12 verursachten  $\text{NO}_x$ -Belastung untersucht sowie Immissionsszenarien berechnet aufgrund der zu erwartenden Verkehrsentwicklung und der zukünftigen Grenzwerte für  $\text{NO}_2$ .

Dabei wurden Immissionsdaten von sieben Stationen im Inntal mit einem Abstand von 0-350 m von der Autobahn untereinander verglichen. Für die meteorologischen Aussagen wurden das Temperaturprofil bei Schwaz und Messdaten der Station Vomp berücksichtigt.

### 6.1. Zusammenfassung der wichtigsten Resultate

- ◆ Inversionen konnten aufgrund der Datenlage nur für den Winter untersucht werden. Bodennahe Inversionen mit einer typischen Obergrenze von 170 m treten v.a. nachts auf und lösen sich tagsüber während wenigen Stunden auf. Oft bleibt in höheren Schichten (ca. 170–800 m) eine Inversion auch um die Mittagszeit erhalten. In ca. 40-70% aller Nächte findet sich eine Inversion zwischen 40 und 170 m über dem Talboden, welche den Abtransport der emittierten Schadstoffe behindert (Abbildung 3.14).
- ◆ Während inversiven Situationen ist die Windgeschwindigkeit geringer als bei inversionsarmen, was den Luftaustausch zusätzlich unterbindet. Während Inversionssituationen werden an der Station Vomp grundsätzlich höhere  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen gemessen als ohne Inversion.
- ◆ Durch die Verhältnisbildung zwischen dem an der Zählstelle Vomp emittierten  $\text{NO}_x$  und der Immission zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten (I/E-Verhältnis) wird die Belastung unterschiedlicher Standorte im Hinblick auf die Ausbreitungsbedingungen untersucht. Daraus geht hervor, dass die Belastung direkt neben der Autobahn konstant sehr hoch ist. Gebiete in einer Entfernung von 200-300 m zur Autobahn, welche oft als Wohngebiete genutzt werden, profitieren von guten Durchmischungsbedingungen tagsüber. Bei austauschschwachen Lagen nimmt jedoch die Belastung dieser Gebiete stark zu. Das heisst, dass bei einer bestimmten emittierten Schadstoffmenge nachts und im Winter die Belastung für die Wohngebiete deutlich höher ist als tagsüber im Sommer. Der Unterschied zwischen Tag und Nacht fällt dabei in jeder Jahreszeit deutlicher ins Gewicht, als jener zwi-

schen den Jahreszeiten. Deshalb ist aus lufthygienischer Sicht eine Begrenzung der Nachtfahrten ein äusserst effektives Mittel zur Verbesserung der Luftqualität in den Wohngebieten.

- ◆ Aus den berechneten I/E-Verhältnissen wurden Szenarien gerechnet für zukünftig zu erwartende Immissionen aufgrund der geschätzten Emissionsentwicklung. Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass diese Szenarien einerseits auf einer sehr optimistischen Einschätzung der Emissionsentwicklung beruhen und dass sie sich andererseits auf die autobahnahe Station Vomp beziehen, bei der sich die meteorologischen Bedingungen weniger stark auswirken als an entfernteren Standorten. In allen Szenarien werden die für die Jahre 2005 bzw. 2010 gültigen Immissionsgrenzwerte für das Jahresmittel von  $\text{NO}_2$  überschritten. Wird der Schwerverkehr in die verkehrsarmen Zeiten, insbesondere in die Nacht verlegt, so ist bei gleichem Verkehrsaufkommen mit einer deutlich höheren  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Immissionsbelastung zu rechnen.

## 6.2. Ausblick

Die immissionsklimatischen Untersuchungen zeigen, dass die Luftbelastung einerseits von den Emissionen abhängt, andererseits aber auch von der topografischen Lage eines spezifischen Standortes, insbesondere in Bezug auf die Autobahn, sowie von der Tages- und Jahreszeit und den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen. Die Resultate lassen sich zur Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn beziehen. Dabei wird aus lufthygienischer Sicht empfohlen, den nächtlichen Verkehr einzuschränken.

Detailliertere Aussagen zu den Auswirkungen bestimmter Massnahmen auf einzelne Standorte im Inntal lassen sich gewinnen durch Erweiterung der Temperaturprofilauswertungen auf Sommer und Zwischensaison sowie durch mobile Messungen, insbesondere auch zur Untersuchung der Immissions- und Windverhältnisse an der Talkflanke und in den Seitentälern.