

**Lufthygienische Auswirkungen  
des Alpentransitverkehrs im  
Tessin 2001 - 2002**

**Effetti sull'igiene dell'aria nel  
tratto di transito alpino in Ticino  
2001- 2002**

Dr. Jürg Thudium  
Ewa Schumacher  
Adriana Auricchio-Peter

23.7.2003/ 5602.30

Oekoscience AG

Werkstrasse 2  
CH - 7000 Chur

Telefon: +4181 250 3310  
Telefax: +4181 250 3311  
oekos@oekoscience.ch

# Inhaltsverzeichnis

<b>Riassunto</b>	<b>1</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Lage der Verkehrszählstellen und Immissionsmessstellen</b>	<b>6</b>
<b>3. Verkehrsentwicklung 2001 - 2002 auf der Tessiner Gotthardachse</b>	<b>7</b>
3.1. Methodik der Emissionsschätzung	7
3.2. Emissionsfaktoren	9
3.3. Emissionsverlauf an den Zählstellen Grancia und Biasca 2001 - 2002	10
<b>4. Immissionsentwicklung 2001-2002 an den Tessiner Messstationen</b>	<b>13</b>
4.1. Verlauf der gleitenden Wochenmittelwerte 2001 - 2002	13
4.2. Mittlere Tagesgänge für Stickoxide 2002	16
4.3. Kennzahlen der Immissionsbelastung 2002	18
<b>5. I/E: Verhältnisse zwischen Immissionen und Emissionen</b>	<b>19</b>
5.1. I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> für die vier Phasen 2001 - 2002	19
5.2. Klimatische Einflüsse auf die I/E-Verhältnisse	23
5.3. I/E-Verhältnisse: Vergleich mit Härkingen	28
5.4. I/E-Verhältnisse für PM10	28
<b>6. Weitere immissionsklimatische Betrachtungen zu Bodio</b>	<b>30</b>
6.1. Zum Auftreten hoher NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Tagesmittelwerte	30
6.2. Auswirkung von Föhn	32
<b>7. Fazit</b>	<b>35</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Übersichtskarte für die in diesem Bericht verwendeten Verkehrszählstellen und Immissionsmessstellen.	6
Abbildung 3.1: NO <sub>x</sub> -Emissionsverlauf an der Gotthardachse im Tessin 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.	11
Abbildung 3.2: Mittlere Tagesgänge der NO <sub>x</sub> -Emissionen 2002 an der Gotthardachse im Tessin.	12
Abbildung 4.1: Stickoxidverlauf an vier Tessiner Messstationen 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.	14
Abbildung 4.2: PM10-Verlauf an den beiden Tessiner Messstationen Moleno und Chiasso 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.	15
Abbildung 4.3: Verhältnisse von NO <sub>2</sub> gegen NO <sub>x</sub> für die Stationen Bodio, Roveredo und Moleno, Tageswerte 2002.	15
Abbildung 4.4: Mittl. Tagesgänge von NO <sub>x</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.	17
Abbildung 4.5: Mittl. Tagesgänge von NO <sub>2</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.	17
Abbildung 4.6: Mittl. Tagesgänge des Anteils von NO <sub>2</sub> am NO <sub>x</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.	18
Abbildung 5.1: I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> 2001 - 2002 für Bodio.	20
Abbildung 5.2: : I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> 2001 - 2002 für Moleno.	20
Abbildung 5.3: I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> 2001 - 2002 für Bioggio.	21
Abbildung 5.4: I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> 2001 - 2002 für Chiasso.	21
Abbildung 5.5: I/E-Verhältnisse für NO <sub>x</sub> 2001 - 2002 für Härkingen.	22
Abbildung 5.6: I/E-Verhältnisse 2002 für Bodio, parametrisiert nach dem Temperaturgradienten 0-40m.	24

Abbildung 5.7: I/E-Verhältnisse 2002 für Bodio, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.	24
Abbildung 5.8: I/E-Verhältnisse 2002 für Moleno, parametrisiert nach dem Temperaturgradienten.	25
Abbildung 5.9: I/E-Verhältnisse 2002 für Moleno, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.	25
Abbildung 5.10: I/E-Verhältnisse 2002 für Chiasso, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.	26
Abbildung 5.11: I/E-Verhältnisse 2002 für Bioggio, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.	26
Abbildung 5.12: Zusammenhang zwischen Tagesmittelwert (5-20h) der Windgeschwindigkeit und des Temperaturgradienten für die Riviera, 2002.	27
Abbildung 5.13: I/E-Verhältnisse 2002 für PM10 für Moleno.	29
Abbildung 5.14: I/E-Verhältnisse 2002 für PM10 für Chiasso.	29
Abbildung 6.1: Tagesmittelwerte von NO <sub>x</sub> in Bodio gegen Temperaturgradienten in Moleno (0-40m), 2002.	31
Abbildung 6.2: Tagesmittelwerte von NO <sub>x</sub> in Bodio gegen Windgeschwindigkeit (m/s) in Lodrino, 2002.	31
Abbildung 6.3 : Tagesmittelwerte von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> gegen Inversionshäufigkeit (%) für 2002, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit (Schwachwind: <0.8 m/s).	32
Abbildung 6.4: Tagesmittelwerte von NO <sub>x</sub> in Bodio Jan - Apr 2002 und täglicher Föhnanteil.	33
Abbildung 6.5: Tagesmittelwerte von NO <sub>x</sub> in Bodio Sep - Dez 2002 und täglicher Föhnanteil.	33
Abbildung 6.6: Tagesmittelwerte von PM10 in Moleno Sep - Dez 2002 und täglicher Föhnanteil.	34

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Kennzahlen des Fahrzeugaufkommens und der Emissionen 2002 in Grancia und Biasca.	12
Tabelle 4.1: Kennzahlen der Immissionsbelastung 2002	18
Tabelle 5.1: Vergleich der Steigung der Begrenzungsgeraden im I/E-Diagramm zwischen Härkingen und den Tessiner Stationen	28

# Riassunto

Negli anni 2001 e 2002 il traffico pesante sul tratto San Bernardino e San Gottardo ha subito grandi cambiamenti. Oltre alle emissioni, anche gli aspetti meteorologici hanno avuto una grande influenza sulle immissioni che si sono verificate. In questo progetto è stato studiato il rapporto tra immissioni ed emissioni nell'ambito dell'asse del Gottardo ticinese.

In questo studio sono stati presi in considerazione i risultati delle misurazioni riguardanti gli anni 2001-2002 nelle quattro stazioni ticinesi di misurazione della qualità dell'aria che si trovano nell'immediata zona d'influenza dell'autostrada A2. Si tratta in particolare di Bodio, Moleno, Bioggio e Chiasso. Sono stati presi in considerazione gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ ) e le particelle del diametro aerodinamico inferiore a  $10 \mu\text{m}$  (PM10).

In questo periodo di studio nel transito alpino svizzero ci sono stati principalmente quattro differenti regimi di traffico:

- traffico non regolamentato gennaio - 23 ottobre 2001
- chiusura del tunnel del Gottardo 24 ottobre - 21 dicembre 2001
- fase di dosaggio con diverse varianti gennaio - settembre 2002
- dosaggio "a contagocce" ottobre - dicembre 2002.

Da una parte i risultati delle misurazioni sono stati ricollegati sia alle emissioni della A2, che sono state valutate in base ai conteggi del traffico nei punti di conteggio del tunnel del Gottardo, Biasca e Grancia, sia ai fattori di emissione di  $\text{NO}_x$  e PM10 per le diverse categorie di veicoli. Dall'altra, le misurazioni delle immissioni sono state messe in relazione alle condizioni meteorologiche rilevanti per la qualità dell'aria, che sono state rappresentate dal vento presso le stazioni di misurazione di Lodrino e Stabio e dalla stratificazione atmosferica a Moleno.

I rapporti tra immissioni ed emissioni appurati in precedenza presso le stazioni ticinesi sono stati confrontati con i risultati delle misure alla stazione di misurazione di Härkingen nell'Altopiano svizzero, in vicinanza dell'autostrada A2.

Dai presenti studi sugli effetti sull'igiene dell'aria del tratto di traffico alpino nel Ticino si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Il traffico delle merci comprende complessivamente i tre quarti di tutte le emissioni nel tratto alpino su strada.

- Durante il periodo di chiusura del Gottardo, le immissioni in Riviera e Leventina si sono sensibilmente ridotte, mentre il Sottoceneri non ne è stato praticamente influenzato.
- L'autostrada A2 rappresenta un fonte dominante d'inquinamento dell'aria per le quattro stazioni studiate di Bodio, Moleno, Bioggio e Chiasso.
- Tra le quattro stazioni, Bodio mostra il più basso carico medio di  $\text{NO}_x$ , ma i valori relativi più alti riferiti alla metà dell'anno e un alto tasso di  $\text{NO}_2$  su  $\text{NO}_x$ . Non si può escludere che le immissioni siano superiori in località situate in questa sezione della valle, meno distanti e soprattutto meno elevate rispetto all'autostrada.
- Nei primi tre quadrimestri del 2002 si può osservare l'effetto del sistema di dosaggio per il traffico pesante nelle curve di emissione (leggeri picchi ogni due ore). Al contrario, per quanto riguarda le emissioni ciò non appare in nessuna stazione.
- L'immissione provocata da una fonte di emissione (o da un particolare automezzo pesante) dipende in larga misura dalle condizioni climatiche, in particolare dalla corrente d'aria (velocità del vento) e dalla stratificazione verticale dell'atmosfera. Forti immissioni si presentano in caso di venti deboli e di fenomeni di inversione (uno strato d'aria fredda a terra si trova al di sotto di aria più calda).
- Il rilevamento di questi due parametri d'influsso (vento e profilo della temperatura) è auspicabile per un'adeguata interpretazione dei rilevamenti e sarebbe utile anche nel Sottoceneri.
- In una valle alpina, l'immissione provocata da una fonte di emissione (o da un particolare automezzo pesante) è decisamente più alta che in una zona più pianeggiante (per esempio a Härkingen nell'Altopiano svizzero).
- L'immissione di  $\text{PM}_{10}$  è influenzata chiaramente da altre fonti anche in vicinanza dell'autostrada; tuttavia dipende considerevolmente anche dal traffico autostradale.
- In caso di favonio, compaiono generalmente emissioni più basse di ossidi di azoto e  $\text{PM}_{10}$ .

# Zusammenfassung

Der Schwerverkehr auf der San Bernardino- und der Gotthard-Route ist in den Jahren 2001 und 2002 grossen Veränderungen unterworfen gewesen. Ausser den Emissionen hatten auch die meteorologischen Verhältnisse einen grossen Einfluss auf die sich ergebenden Immissionen. Das Verhältnis zwischen Emissionen und Immissionen im Bereich der Tessiner Gotthardachse wurde in diesem Projekt untersucht.

Im vorliegenden Bericht wurden die Messergebnisse der Jahre 2001 - 2002 der vier lufthygienischen Tessiner Messstationen untersucht, welche im unmittelbaren Einflussbereich der Autobahn A2 liegen. Es handelt sich dabei um Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso. Untersucht wurden die Stickoxide (NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>) und die Partikel mit einem Durchmesser bis 10 µm (PM<sub>10</sub>).

Im Untersuchungszeitraum gab es im schweizerischen Alpen transit vier grundsätzlich unterschiedliche Verkehrsregimes:

- Ungesteuerter Verkehr Januar - 23. Oktober 2001
- Sperrung des Gotthardtunnels 24. Oktober - 21. Dezember 2001
- Dossierphase mit verschiedenen Ansätzen Januar - September 2002
- 'Tröpfchensystem' Oktober - Dezember 2002.

Die Messergebnisse wurden einerseits mit den Emissionen der A2 verknüpft, welche anhand der Verkehrszählungen an den Zählstellen Gotthardtunnel, Biasca und Grancia sowie den Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie für NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub> geschätzt wurden. Andererseits wurden die Immissionsmessungen mit den lufthygienisch relevanten meteorologischen Bedingungen in Verbindung gebracht, welche durch den Wind an den Messstellen Lodrino und Stabio sowie die Temperaturschichtung der Atmosphäre bei Moleno repräsentiert wurden.

Die an den Tessiner Stationen vorgefundenen Verhältnisse zwischen Emissionen und Immissionen wurden mit der nahe der Autobahn A2 im Schweizerischen Mittelland gelegenen Messstation Härkingen verglichen.

Aus den vorliegenden Untersuchungen zur lufthygienischen Auswirkung des Alpen transitverkehrs im Tessin kann folgendes Fazit gezogen werden:

- Der Güterverkehr macht rund drei Viertel aller Emissionen im Alpen transit auf der Strasse aus.

- Während der Zeit der Gotthardsperrung haben sich die Immissionen und Emissionen in Riviera und Leventina deutlich reduziert, wohingegen sie im Sottoceneri kaum davon beeinflusst wurden.
- Für alle vier untersuchten Stationen Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso stellt die Autobahn A2 die dominante Luftschadstoffquelle dar.
- Bodio weist von den vier Stationen die niedrigste mittlere  $\text{NO}_x$ -Belastung auf, allerdings die höchsten Spitzenwerte relativ zum Jahresmittel und einen hohen  $\text{NO}_2$ -Anteil am  $\text{NO}_x$ . Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass an Orten in diesem Talabschnitt, welche weniger weit entfernt und vor allem weniger erhöht von der Autobahn liegen, die Immissionen höher sind.
- In den ersten drei Quartalen des Jahres 2002 kann man die Auswirkung des Dosiersystems für den Schwerverkehr in den Emissionskurven sehen (leichte Zacken alle 2 Stunden). Bei den Immissionen kommt dies hingegen bei keiner Station zum Ausdruck.
- Die von einer Emissionseinheit (bzw. einem bestimmten Lastwagen) verursachte Immission hängt stark von den klimatischen Bedingungen ab, insbesondere der Durchlüftung (Windgeschwindigkeit) und der vertikalen Schichtung der Atmosphäre. Hohe Immissionen treten bei schwachem Wind und Inversionen auf (kalte Luftschicht am Boden liegt unter wärmerer Luft).
- Die Erfassung dieser beiden klimatischen Einflussgrößen (Wind und Temperaturprofil) ist für eine adäquate Interpretation der Messungen erforderlich und wäre auch im Sottoceneri nützlich.
- Die von einer Emissionseinheit (bzw. einem bestimmten Lastwagen) verursachte Immission ist in einem Alpental deutlich höher als im flacheren Land (Beispiel Härkingen im Schweizerischen Mittelland).
- Die  $\text{PM}_{10}$ -Immission ist auch in Autobahnnähe von anderen Quellen deutlich mit beeinflusst; allerdings hängt sie auch erheblich vom Autobahnverkehr ab.
- Bei Föhn treten im allgemeinen niedrige Immissionen an Stickoxiden und  $\text{PM}_{10}$  auf.

# 1. Einleitung

Der Schwerverkehr auf der San Bernardino- und der Gotthard-Route ist in den Jahren 2001 und 2002 grossen Veränderungen unterworfen gewesen. Ausser den Emissionen hatten auch die meteorologischen Verhältnisse einen grossen Einfluss auf die sich ergebenden Immissionen. Das Verhältnis zwischen Emissionen und Immissionen im Bereich der Tessiner Gotthardachse wurde in diesem Projekt untersucht. Die immissionsklimatische Analyse der Messungen der drei MfM-U-Stationen Rothenbrunnen, Moleno und Erstfeld im Zusammenhang mit den meteorologischen Situationen der drei Talschaften wird in einem anderen vom BUWAL finanzierten Projekt untersucht.

Der Untersuchungszeitraum geht von Januar 2001 - Dezember 2002. In dieser Phase gab es im schweizerischen Alpen transit vier grundsätzlich unterschiedliche Verkehrsregimes:

- Ungesteuerter Verkehr Januar - 23. Oktober 2001
- Sperrung des Gotthardtunnels 24. Oktober - 21. Dezember 2001
- Dossierphase mit verschiedenen Ansätzen Januar - September 2002
- 'Tröpfchensystem' Oktober - Dezember 2002.

In den Auswertungen wurde teilweise nach diesen vier Phasen unterschieden.

Die Verhältnisse zwischen Emissionen und Immissionen wurden für die Tessiner Stationen (Bodio, Bioggio, Chiasso, Moleno), welche von der Transitachse A2 direkt beeinflusst werden, einander gegenüber gestellt und mit den Verhältnissen ausserhalb der Alpen (Mittelland) verglichen. Dabei ging es auch um den 'Alpenfaktor': der Frage, ob 1000 durchschnittliche Lastwagen in den Alpentälern einen grösseren Immissionsbeitrag liefern als ausserhalb.

Für die Leventina (Station Bodio) wurde der Zusammenhang zwischen dem Klima und dem Verhältnis Emissionen/ Immissionen anhand der Temperaturschichtung der Atmosphäre (bei Moleno) und des Windes (SMA-Station Lodrino) untersucht.

## 2. Lage der Verkehrszählstellen und Immissionsmessstellen

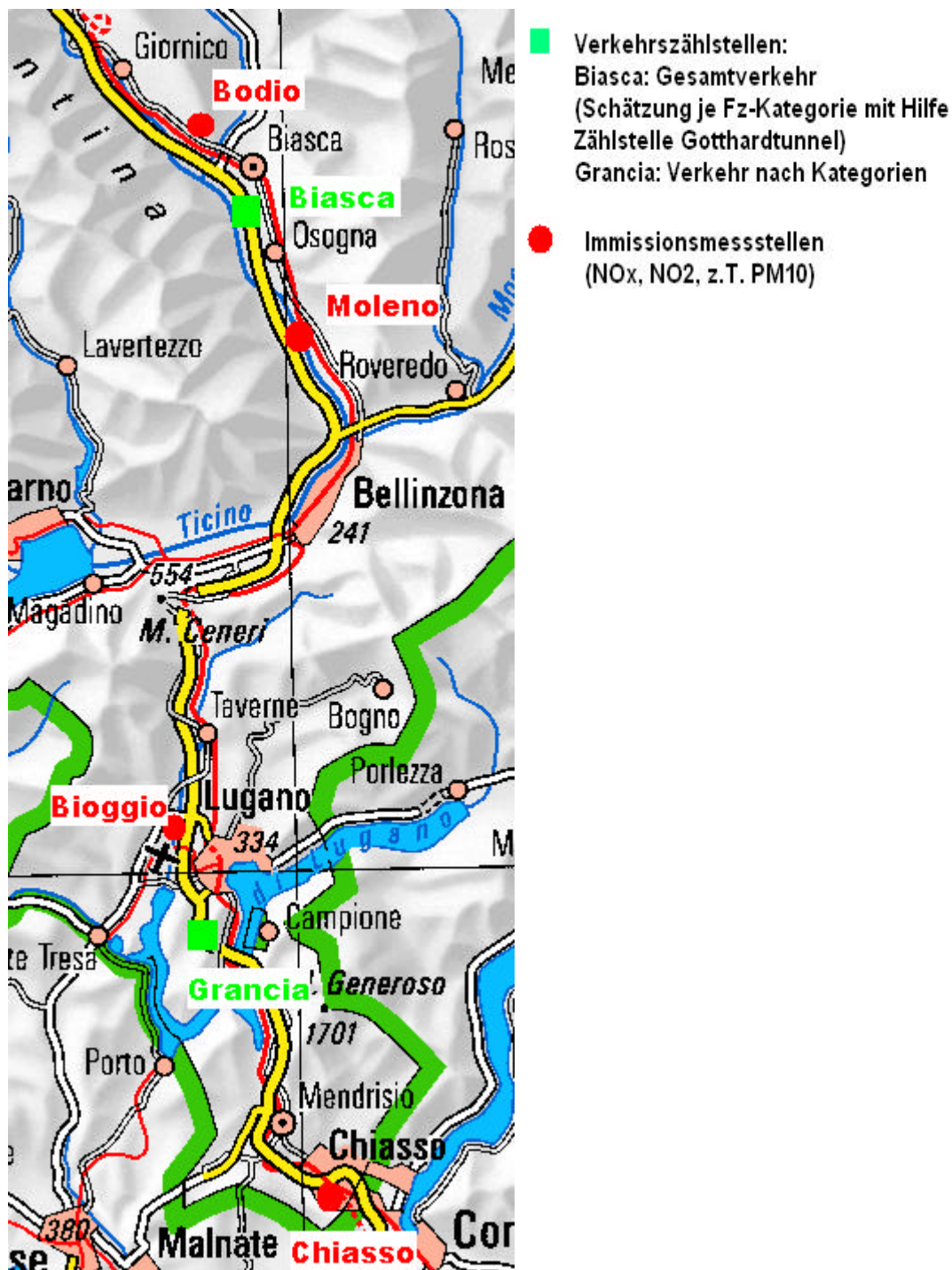


Abbildung 2.1: Übersichtskarte für die in diesem Bericht verwendeten Verkehrszählstellen und Immissionsmessstellen.

## 3. Verkehrsentwicklung 2001 - 2002 auf der Tessiner Gotthardachse

### 3.1. Methodik der Emissionsschätzung

Die Verkehrszahlen liegen in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vor. Um von den Verkehrszahlen zu den Emissionen zu kommen, müssen mittlere Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie unter bestimmten Annahmen geschätzt werden.

Die Emissionen berechnen sich wie folgt:

$$\text{Emissionen in [g/(km*h)]} = \sum (E_i \text{ [g/(km*FZ)]} * F_i \text{ [FZ/h]})$$

wobei:

**Emissionen:** Die Menge eines Stoffes (in g, kg oder Mg) die auf der Länge eines Kilometers Strasse pro Zeiteinheit (h, Tag oder Jahr) abgegeben wird. Es müssen die Emissionen aller Fahrzeuge aufsummiert werden.

**E<sub>i</sub> = Emissionsfaktor:** Die Emission die von einem typischen Fahrzeugpool pro Fahrzeug und Zeiteinheit verursacht wird.

**F<sub>i</sub> = Frequenz:** Anzahl Fahrzeuge (dem Typ des Emissionsfaktors i entsprechen) die pro Zeiteinheit (h) vorbeifahren.

Die Emissionsfaktoren können mit einer zeitlichen Auflösung von einem Jahr und aufgrund der technischen Entwicklung des Fahrzeugpools (z.B. Anteil Kat-Fahrzeuge) geschätzt werden.

Für die Frequenz stehen Verkehrszählungen mit einer zeitlichen Auflösung einer Stunde zur Verfügung. Für jedes Jahr werden demnach die Anzahl Fahrzeuge eines Typs mit dem für das entsprechende Jahr gültigen Emissionsfaktor multipliziert, was summiert über alle Typen die Gesamtemission von NO<sub>x</sub> oder HC in der entsprechenden Stunde ergibt.

Es ist anzumerken, dass die Typologie der Verkehrszählungsdaten und die der Emissionsfaktoren nicht identisch ist. Bei den Emissionsfaktoren wird unterschieden zwischen

- Personenwagen PW
- Lastwagen LW
- Lastenzug LZ
- Sattelzug SZ
- Reisebus RBus
- Schweres Nutzfahrzeug SNF = LW + LZ + SZ: Summenbildung

Die Verkehrszählung hingegen registriert ausschliesslich die Länge des Fahrzeugs in drei Kategorien

- <6m
- 6m bis 12,5m
- >12,5 m

Um die Verkehrsfrequenz mit den Emissionsfaktoren zu verknüpfen, müssen gewisse Annahmen getroffen werden.

Es wurde dabei angenommen:

- Fahrzeuge <6m entsprechen PW (Mix mit 30% ausländischen Fahrzeugen)
- Fahrzeuge zwischen 6 und 12.5m entsprechen LW. Rbusse wurden vernachlässigt.
- Alle Fahrzeuge über 12.5m wurden auf einen mittleren Emissionsfaktor der Kategorien LZ und SZ bezogen.

Es gilt dabei zu bemerken, dass der genaue Anteil der Busse, Lastwagen und Lastenzüge an den über 6m langen Fahrzeugen nicht bekannt ist. Der Fehler, der bei einer Gewichtung zu je einem Drittel gemacht wird, ist jedoch sehr klein, da die Emissionsfaktoren dieser Kategorien im Vergleich zu den PWs sehr ähnlich sind.

Beispiel: Emissionsfaktoren des Jahrs 1999 ( $\pm 2\%$ , AB120)

Kategorie	NO <sub>x</sub>	HC
LW	6.632	0.777
LZ	7.439	0.715
SNF	7.536	0.758
RBus	8.449	0.676
PW	0.67	0.17

Im Folgenden wird demnach FZ <6m gleichgesetzt mit PW und FZ >6m als LW & Bus bezeichnet.

## 3.2. Emissionsfaktoren

Die in diesem Bericht verwendeten Emissionsfaktoren wurden dem Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Vers. 1.2 Januar 1999 (UBA Berlin & BUWAL Bern) entnommen. Diese sind auf einer CD in Form von Accessroutinen verfügbar.

Zur Berechnung der Emissionsfaktoren wurden folgende Optionen gewählt:

- Emissionen mit warmen Motoren
- PW (Basis mit 30% ausländischen Fahrzeugen)
- Jahr 2002
- Autobahn: PW 120 km/h; LW 78.5 km/h; LZ und SZ 76.5 km/h
- Steigung  $\pm 2\%$ .

Konkret wurden folgende Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> angesetzt:

Kategorie	EFA (NO <sub>x</sub> ) [g/km]
< 6m	0.51
6 - 12.5m	5.15
> 12.5m	9.05

### 3.3. Emissionsverlauf an den Zählstellen Grancia und Biasca 2001 - 2002

Auf der nächsten Seite wird der Emissionsverlauf an den Zählstellen Grancia und Biasca für 2001 und 2002 gezeigt, einmal als Tagesmittel und einmal als gleitende Wochenmittel. Bei den gleitenden Wochenmitteln fällt der starke Wochengang mit dem Minimum am Sonntag raus und man erhält den effektiven Jahrgang. Leider war die Zählstelle Grancia nur sporadisch in Betrieb. In Biasca sieht man deutlich die Sperrung des Gotthardtunnels vom 25.10. - 21.12.2001. Danach wurden die Frequenzen des Jahres 2001 nicht mehr erreicht: In jedem Monat lagen die Frequenzen deutlich niedriger als im gleichen Monat des Vorjahres.

Auf der übernächsten Seite wird der mittlere Tagesgang des NO<sub>x</sub>-Emissionsverlaufs für die vier Quartale 2002 für Grancia und Biasca gezeigt (Grancia soweit im betreffenden Quartal Daten vorhanden). Die zackige Kurve für Biasca in den ersten drei Quartalen ist auf das Dosiersystem zurückzuführen: Die Lastwagen wurden oberhalb Biasca (Monte Forno) zurückgehalten und konnten nur paketweise alle 2 Stunden Richtung Norden losfahren. Die relativen Anteile der Lastwagen und Lastenzüge, die der Emissionsberechnung zugrunde lagen, mussten den Zählungen im Gotthardtunnel entnommen werden, da in Biasca nur der Gesamtverkehr gezählt wurde. Im Bereich der Dosierstelle selbst dürften deshalb die Schwankungen in den Emissionen grösser gewesen sein. Im 4. Quartal mit dem 'Tröpfchensystem' hat sich wieder ein geglätteter Tagesgang ergeben.

Typisch für eine Transitachse ist, dass sich in den Emissionen keine Spitzen durch die 'Rush-Hours' der Pendler ergeben: Der Transitverkehr verläuft relativ gleichmässig über den Tag.

Obwohl bei der Zählstelle Biasca die Fahrzeuge des Güterverkehrs nur 15% aller Fahrzeuge ausmachen, verursachen sie 72% aller NO<sub>x</sub>-Emissionen. Beim PM10 (und überhaupt bei den Partikelemissionen) ist ihr Anteil noch höher.

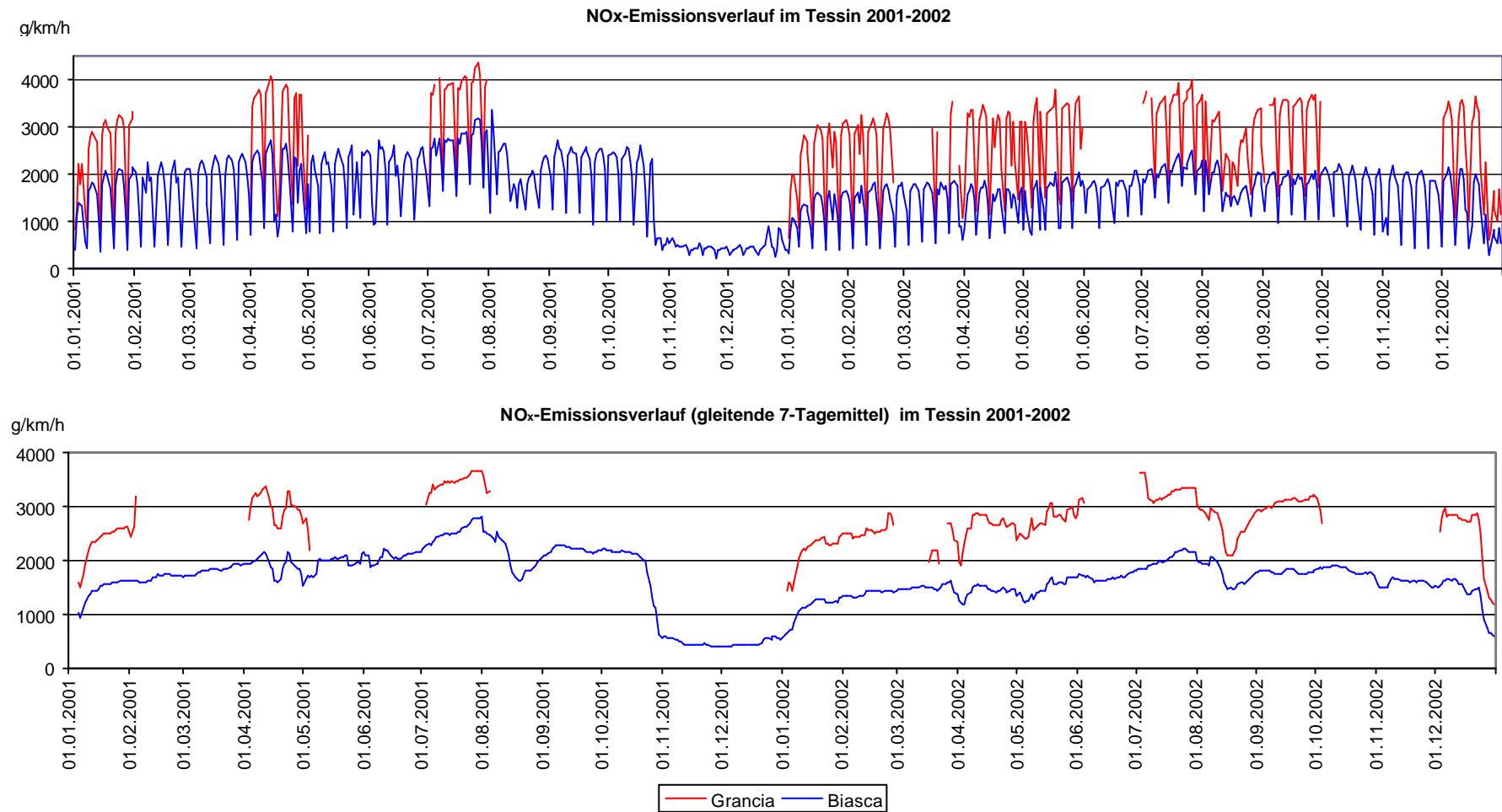


Abbildung 3.1: NO<sub>x</sub>-Emissionsverlauf an der Gotthardachse im Tessin 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.

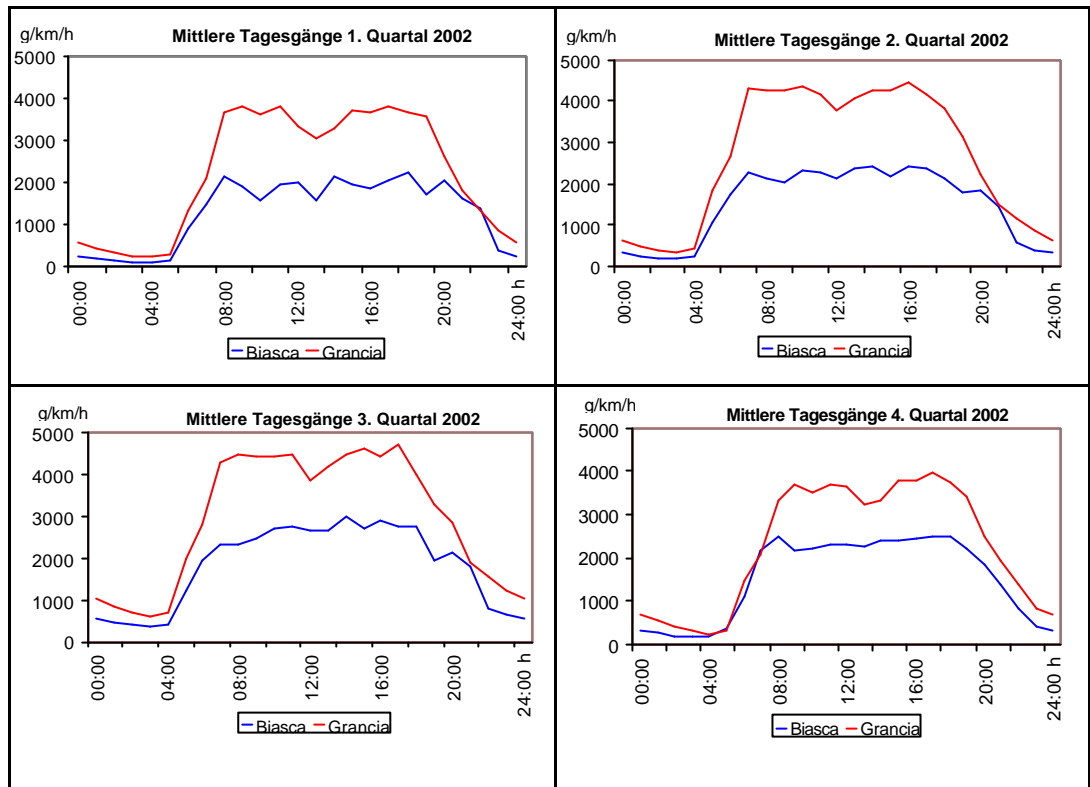


Abbildung 3.2: Mittlere Tagesgänge der NO<sub>x</sub>-Emissionen 2002 an der Gotthardachse im Tessin.

Die Kennzahlen der Fahrzeugfrequenzen und der Emissionen für 2002 sehen wie folgt aus:

Tabelle 3.1: Kennzahlen des Fahrzeugaufkommens und der Emissionen 2002 in Grancia und Biasca.

Stundenwerte	Emissionen (g/km/h)		Fahrzeuge <6m		Fahrzeuge 6-12.5m		Fahrzeuge >12.5m	
	Biasca	Grancia	Biasca	Grancia	Biasca	Grancia	Biasca	Grancia
Jahresmittel (JM)	1578	2663	859	2131	70	104	86	115
Max. Tageswert	2507	4014	1820	3030	174	207	170	204
Verh. zu JM	1.6	1.5	2.1	1.4	2.5	2.0	2.0	1.8
95%-Wert	3208	5675	1968	4302	166	269	230	294
Verh. zu JM	2.0	2.1	2.3	2.0	2.4	2.6	2.7	2.6
Max. Stundenwert	4406	6866	3069	5334	388	394	327	428
Verh. zu JM	2.8	2.6	3.6	2.5	5.5	3.8	3.8	3.7

Bei Grancia sind Verkehr und Emissionen deutlich höher als bei Biasca. Biasca weist relativ zu seinem Jahresmittel höhere Spitzen auf.

## 4. Immissionsentwicklung 2001-2002 an den Tessiner Messstationen

Im folgenden werden die vier Tessiner Messstationen betrachtet, welche einem direkten Einfluss der Gotthardachse unterliegen: Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso.

### 4.1. Verlauf der gleitenden Wochenmittelwerte 2001 - 2002

Auf den folgenden beiden Seiten werden die Immissionsverläufe für  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  für die vier Stationen für den Zeitraum 2001-2002 aufgezeigt.

Beim  $\text{NO}_x$  weist Moleno von allen Stationen die höchste Belastung auf, Bodio die niedrigste. Bodio hat auch den grössten Abstand von der A2 und liegt ein gutes Stück höher. Deutlich ist die Phase der Gotthardsperrung zwischen 25.10. und 21.12.2001 mit niedrigeren Immissionen in Moleno und Bodio zu erkennen, wohingegen in Bioggio und Chiasso ein diesbzgl. Einfluss nicht zu ersehen ist; der Verkehr wurde ja auch über den San Bernardino umgeleitet und war im Bereich von Bioggio und Chiasso wieder bzw. noch auf der A2.

Beim  $\text{NO}_2$  sind die Verhältnisse grundsätzlich ähnlich. Chiasso weist aber deutlich höhere Anteile des  $\text{NO}_2$  am gesamten  $\text{NO}_x$  aus, wahrscheinlich wegen der stärkeren Durchlüftung. Im ersten Quartal 2002 ist dies überraschenderweise auch in Bodio der Fall, was nicht weiter erklärt werden kann. Die Abbildung 4.3 zeigt einen Vergleich von  $\text{NO}_2$  gegen  $\text{NO}_x$  für die drei Stationen Bodio, Bioggio und Roveredo GR. Die Werte für das 1. Quartal 2002 in Bodio liegen deutlich ausserhalb der 'üblichen Punktwolke'. Im 2. und 3. Quartal liegen sie im unteren Bereich und im 4. Quartal sind sie wieder erhöht, liegen nun aber im Bereich der Verhältnisse an den beiden anderen Stationen.

Beim  $\text{PM}_{10}$  liegen nur Messungen bei Chiasso und Moleno vor. Im Unterschied zum  $\text{NO}_x$  ist hier Chiasso deutlich mehr belastet als Moleno. Es muss dort noch bedeutende andere Quellen ausser der A2 geben.

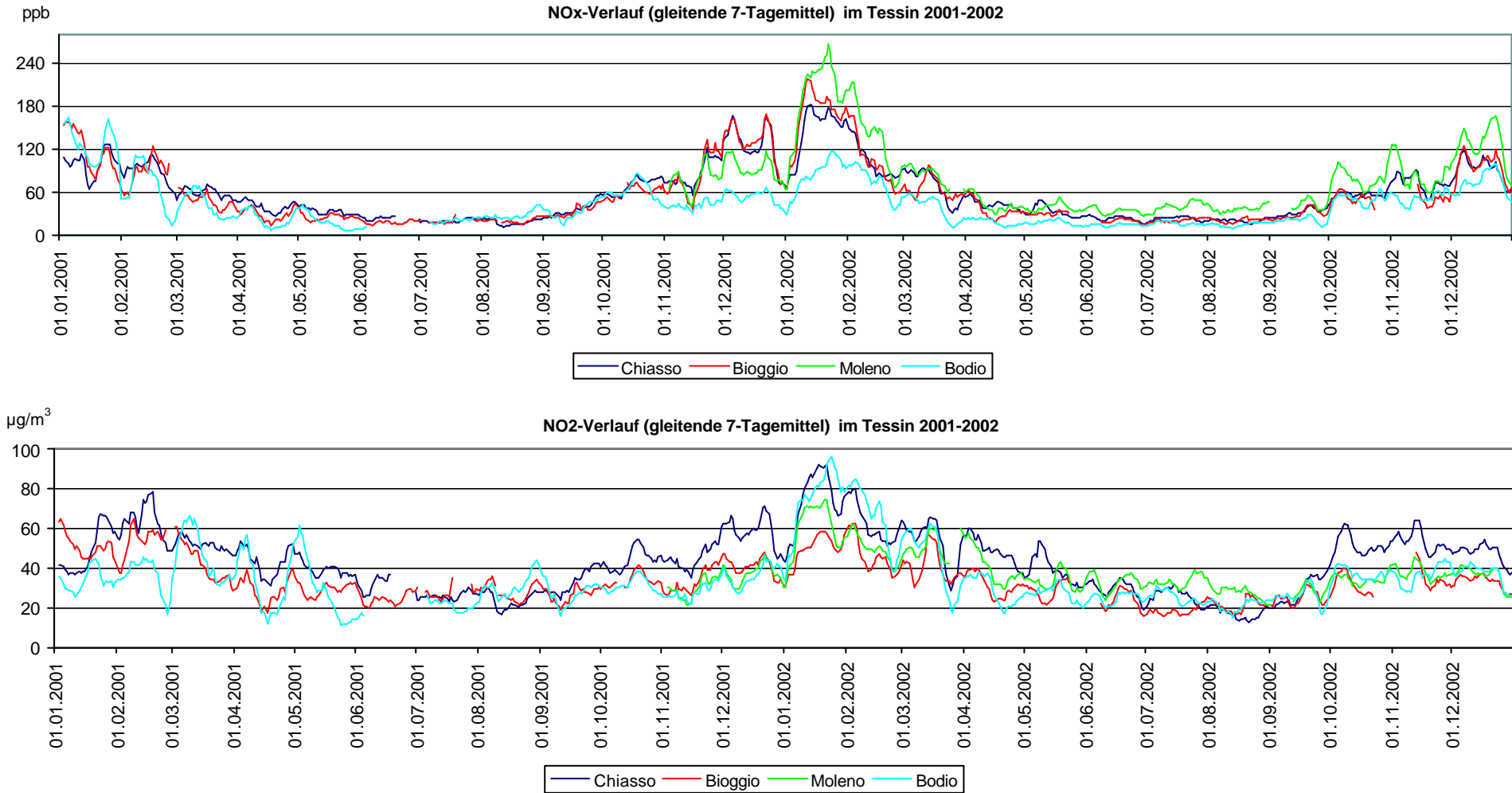


Abbildung 4.1: Stickoxidverlauf an vier Tessiner Messstationen 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.

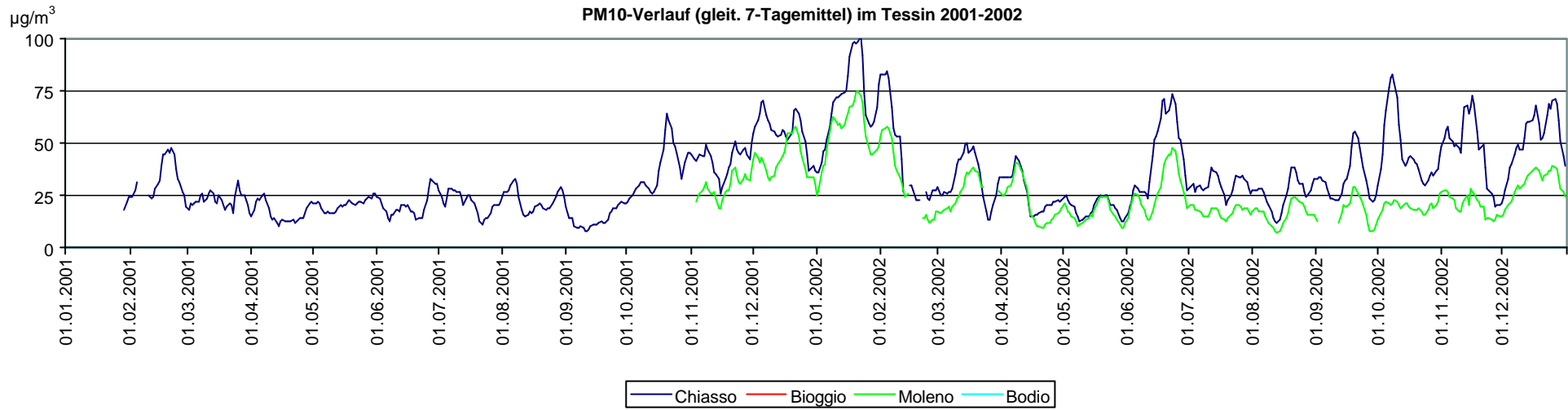


Abbildung 4.2: PM10-Verlauf an den beiden Tessiner Messstationen Moleno und Chiasso 2001 - 2002. Sperrung des Gotthardtunnels: 24.10. - 21.12.2001.

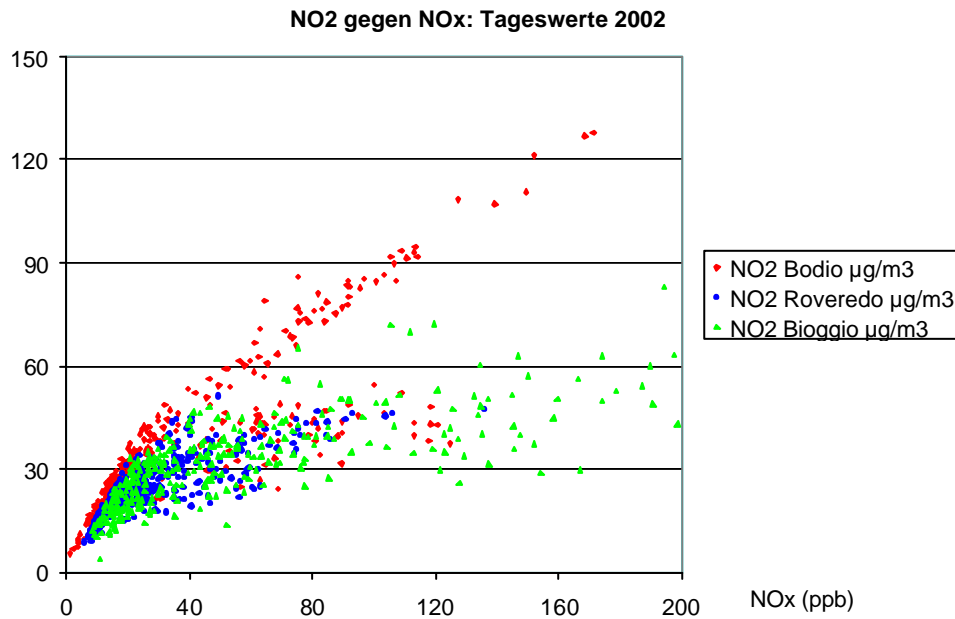


Abbildung 4.3: Verhältnisse von NO2 gegen NOx für die Stationen Bodio, Roveredo und Moleno, Tageswerte 2002.

## 4.2. Mittlere Tagesgänge für Stickoxide 2002

Die folgenden drei Abbildungen zeigen die mittleren Tagesgänge von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und des Anteils von  $\text{NO}_2$  am  $\text{NO}_x$  für die vier Stationen Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso für das Jahr 2002.

Die Relationen zwischen den Messtandorten entsprechen weitgehend denjenigen vom Jahresverlauf. Moleno weist die höchste  $\text{NO}_x$ -Belastung auf. Die starke Abnahme um die Mittagszeit ist im Falle von Chiasso und Bioggio weitgehend, im Falle von Bodio und Moleno ausschliesslich auf die Meteorologie zurück zu führen. Währenddem die Emissionen weitgehend konstant bleiben, sind die Ausbreitungsverhältnisse für die Luftschadstoffe über Mittag wesentlich besser, was zu tieferen Immissionen führt.

Moleno weist das geringste  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis auf; weil dort am meisten eine stagnierende Luftschicht vorkommt, in welche nur wenig neues Ozon eindringen kann, verläuft dort die Konversion von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  am langsamsten. Überraschend ist der Kurvenverlauf von Bodio: Währenddem um die Mittagszeit alle Stationen ähnliche Verhältnisse aufweisen, hat Bodio während der Nacht, insbesondere am frühen Morgen, den höchsten  $\text{NO}_2$ -Anteil am gesamten vorhandenen  $\text{NO}_x$ . Dazu trägt sicherlich auch die erhöhte Lage in dem engen Tal bei, wo oft noch ein Eintrag von Ozon aus höheren Luftschichten stattfinden kann, wenn das an den tiefer gelegenen Stationen kaum möglich ist.

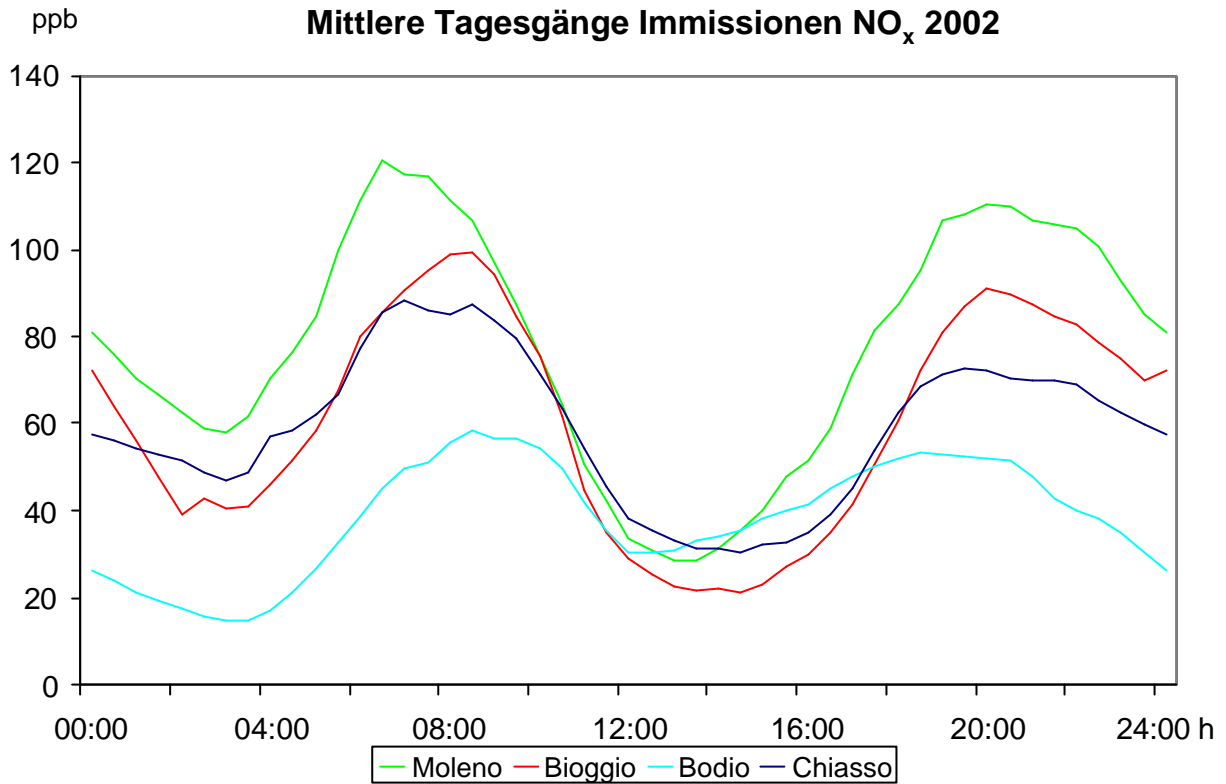


Abbildung 4.4: Mittl. Tagesgänge von NO<sub>x</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.

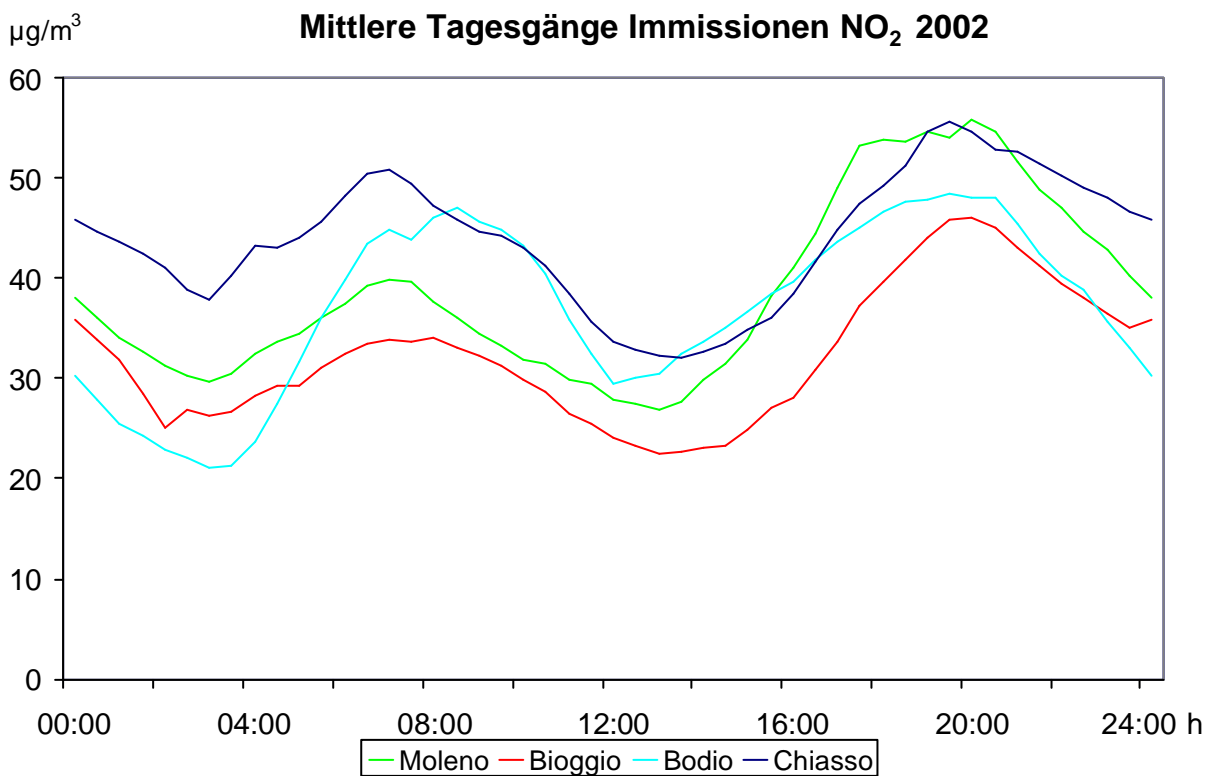


Abbildung 4.5: Mittl. Tagesgänge von NO<sub>2</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.

### Mittlere Tagesgänge Anteil NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> 2002

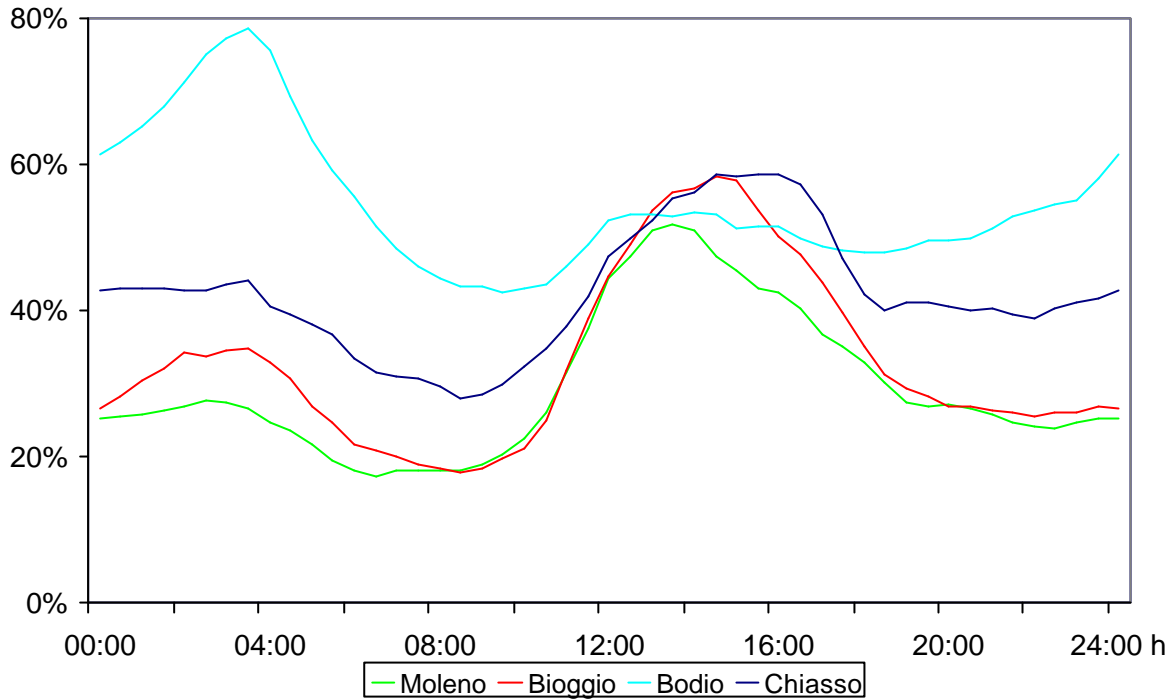


Abbildung 4.6: Mittl. Tagesgänge des Anteils von NO<sub>2</sub> am NO<sub>x</sub> für Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso für 2002.

## 4.3. Kennzahlen der Immissionsbelastung 2002

Die Kennzahlen der Immissionsbelastung 2002 für die vier Stationen Moleno, Bioggio, Bodio und Chiasso sehen wie folgt aus:

Tabelle 4.1: Kennzahlen der Immissionsbelastung 2002

Halbstundenwerte	NO <sub>x</sub> (ppb)				NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				PM10 (µg/m <sup>3</sup> )			
	Chiasso	Bioggio	Moleno	Bodio	Chiasso	Bioggio	Moleno	Bodio	Chiasso	Bioggio	Moleno	Bodio
Jahresmittel (JM)	59	60	78	39	44	32	39	37	40		25	
Max. Tageswert	230	249	306	171	112	83	86	128	144		82	
Verh. zu JM	3.9	4.2	3.9	4.4	2.5	2.6	2.2	3.5	3.6		3.3	
95%-Wert	182	202.5	248	138	89	65	78	99				
Verh. zu JM	3.1	3.4	3.2	3.5	2.0	2.0	2.0	2.7				
Max. 1/2-h	488	525	648	415	169	160	149	285				
Verh. zu JM	8.3	8.8	8.3	10.6	3.8	5.0	3.8	7.7				

Bodio weist im Verhältnis zu den Jahresmitteln sehr hohe Spitzen auf; diese könnten dann auftreten, wenn eine mit Schadstoffen angereicherte Inversionsschicht bisweilen bis über die Höhe der Messstation hinauf schwappt.

## 5. I/E: Verhältnisse zwischen Immissionen und Emissionen

Die I/E-Verhältnisse zwischen Immissionen und Emissionen geben an, welche Immission pro Emissionseinheit an einem bestimmten Ort entsteht. Dies ist ein direktes empirisches Mass für die Wirksamkeit der Ausbreitung des Luftschadstoffes oder besser gesagt seiner Verdünnung. Dieses Verhältnis wird im wesentlichen durch die Topografie der Umgebung und damit zusammenhängend durch die meteorologischen Bedingungen bestimmt. Bei den meteorologischen Bedingungen sind die Windverhältnisse und die vertikale atmosphärische Temperaturschichtung die relevanten Einflussgrössen. Eine szenarienfähige Modellierung dieses Ansatzes unter Berücksichtigung eines variablen Hintergrundes wird im BUWAL-Projekt zur Auswertung des Messjahres 2002 der MfM-U-Stationen Moleno, Erstfeld und Rothenbrunnen gegeben. In diesem Bericht werden die Verhältnisse an den vier untersuchten Tessiner Stationen und bei der Mittellandstation Härkingen auf der Basis von Tageswerten ohne Berücksichtigung eines Hintergrundes aufgezeigt.

### 5.1. I/E-Verhältnisse für $\text{NO}_x$ für die vier Phasen 2001 - 2002

Im folgenden werden zunächst für die Messstellen Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso sowie Härkingen die I/E-Verhältnisse für die Phase 2001 - 2002 gezeigt, parametrisiert nach den vier Zeitphasen (s. Einleitung).

In Moleno wurden die Immissionsmessungen erst im November 2001 aufgenommen. Für Bioggio und Chiasso liegen nur die Emissionsdaten von Grancia für einige Monate vor (s. Kap. 3), insbesondere nicht für die Phase der Gotthardsperrung.

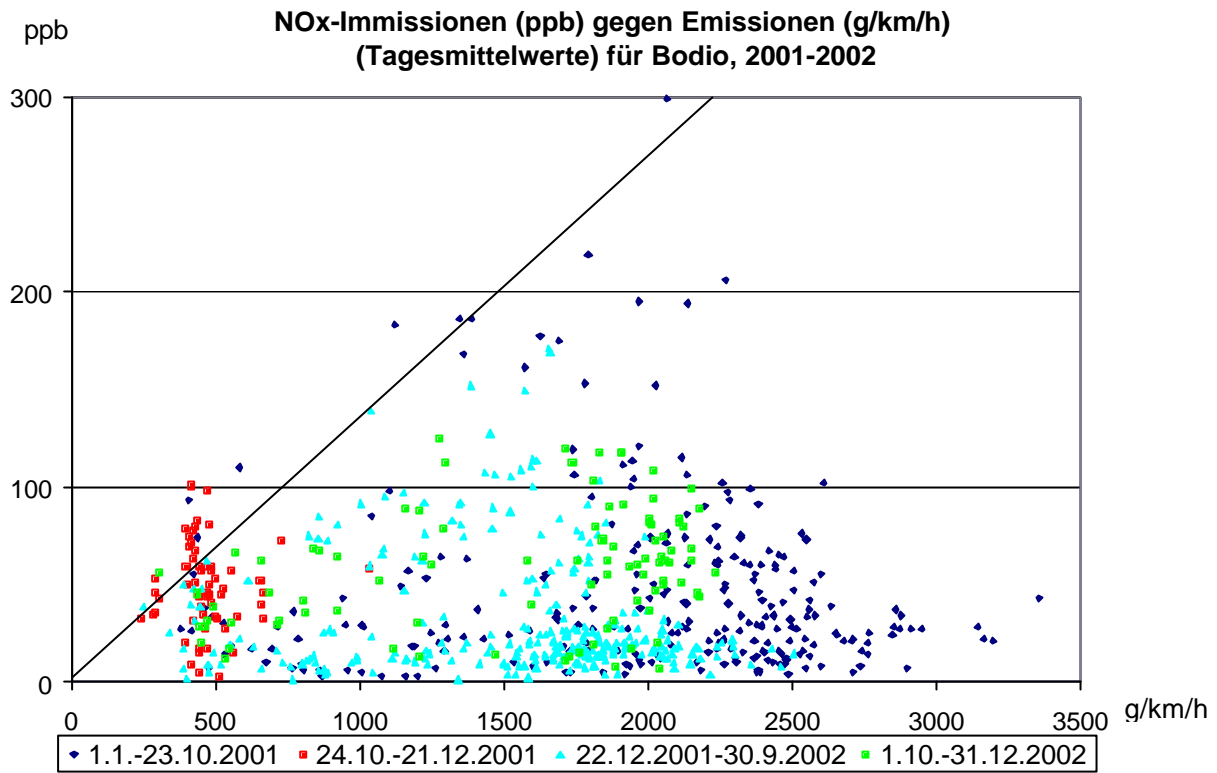


Abbildung 5.1: I/E-Verhältnisse für NOx 2001 - 2002 für Bodio.

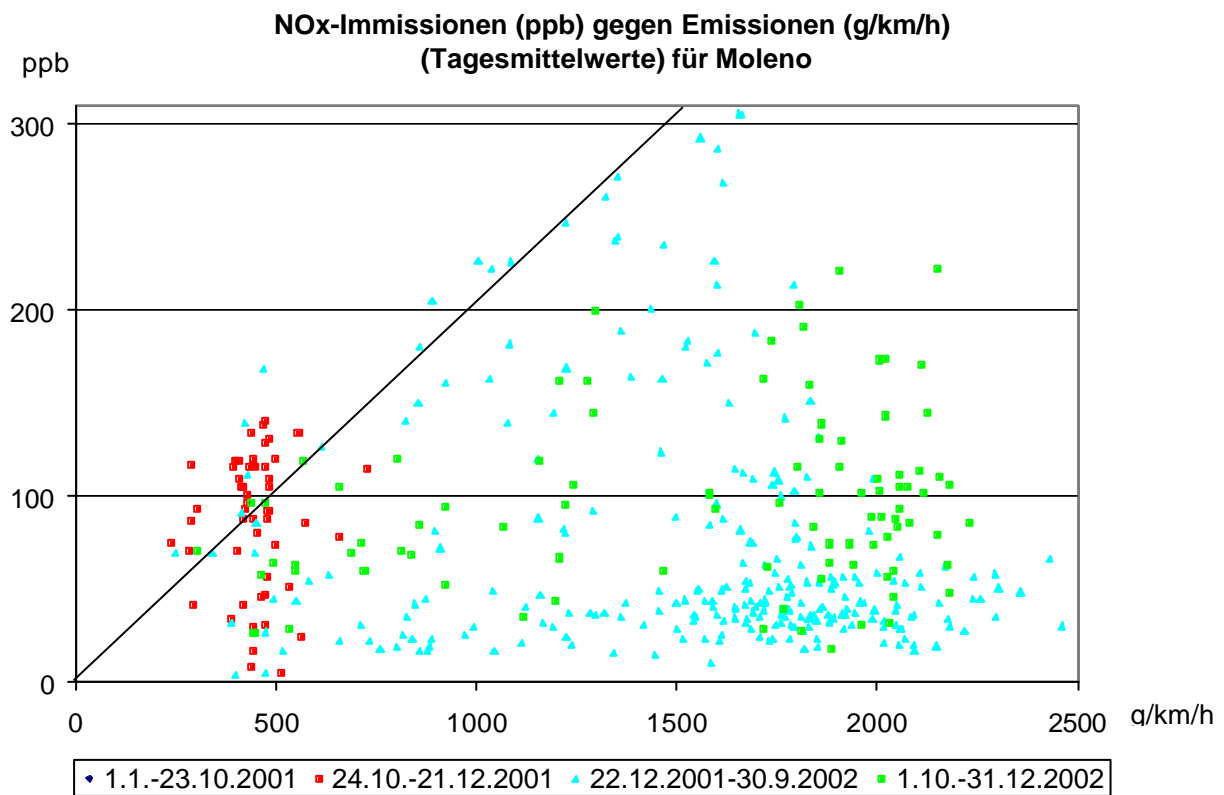


Abbildung 5.2: : I/E-Verhältnisse für NOx 2001 - 2002 für Moleno.

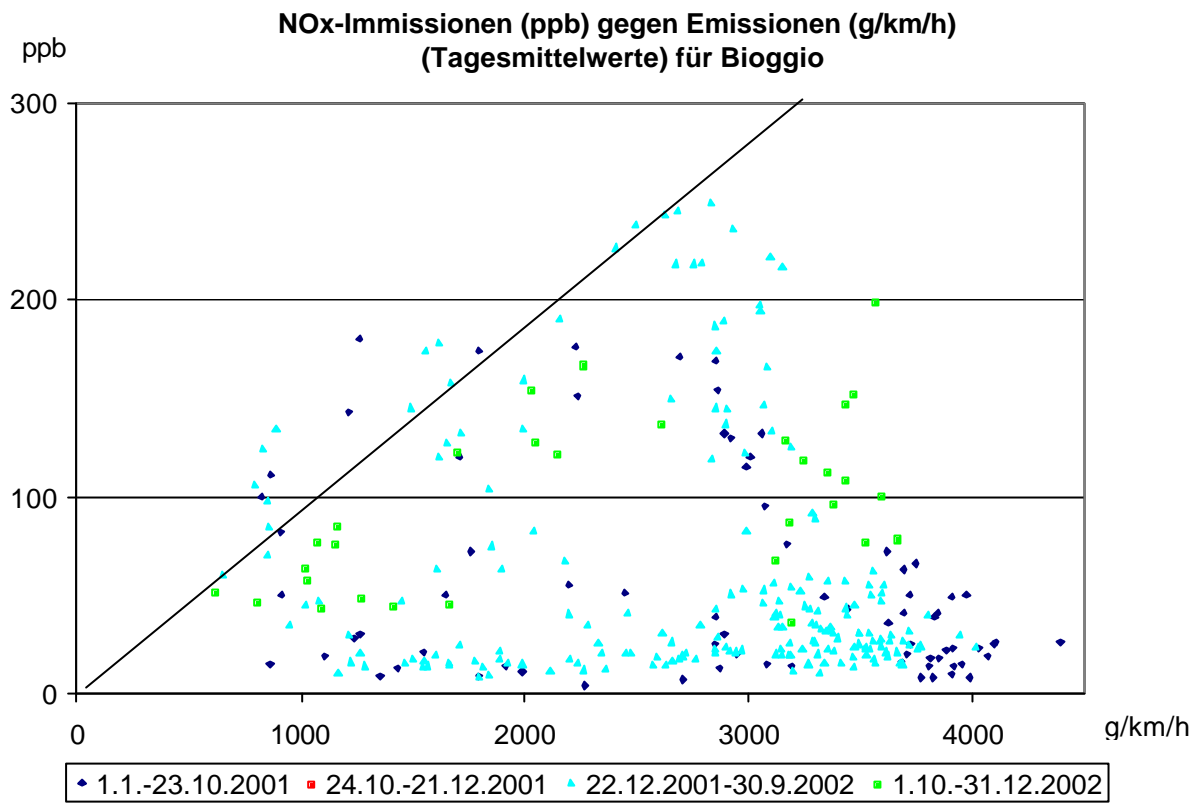


Abbildung 5.3: I/E-Verhältnisse für NOx 2001 - 2002 für Bioggio.

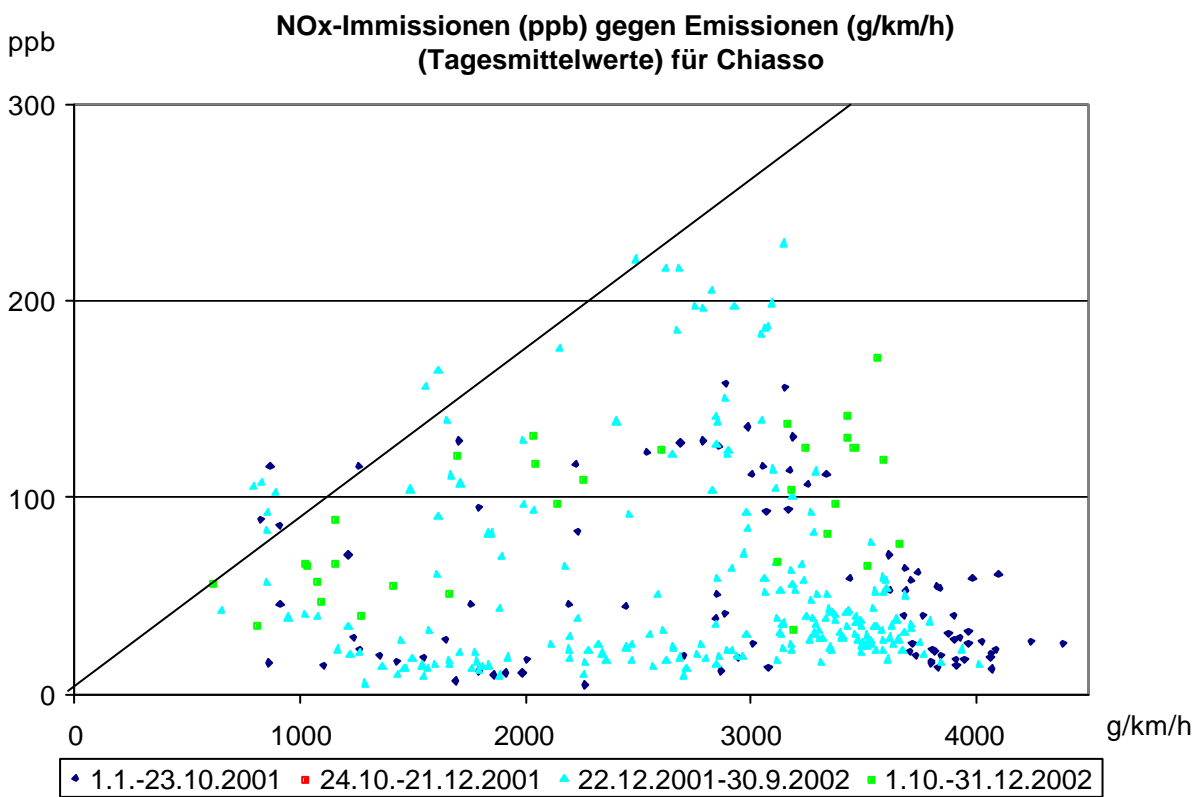


Abbildung 5.4: I/E-Verhältnisse für NOx 2001 - 2002 für Chiasso.

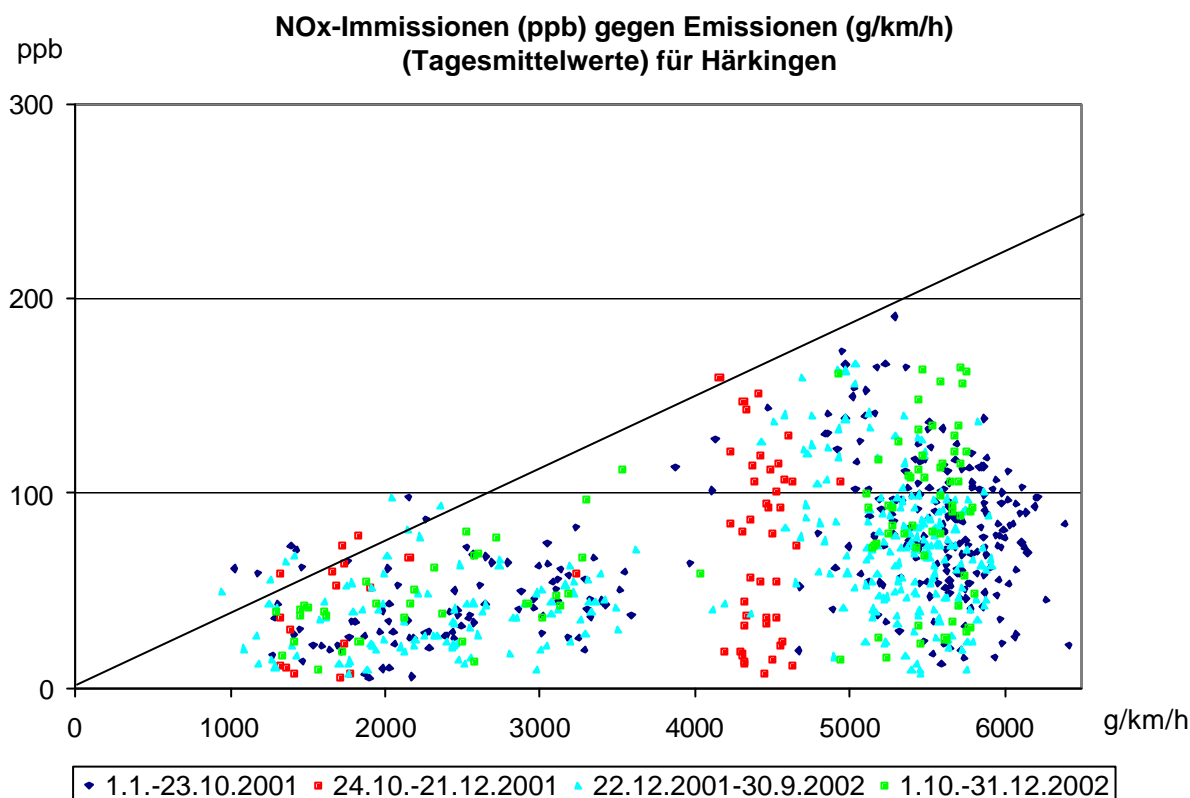


Abbildung 5.5: I/E-Verhältnisse für NO<sub>x</sub> 2001 - 2002 für Härkingen.

Die Punktwolken zeigen in allen fünf Fällen eine ähnliche Struktur: Sie liegen jeweils praktisch alle unterhalb einer einhüllenden Geraden, welche durch den Nullpunkt geht. Dies bedeutet, dass der I-Wert jeden Betrag zwischen praktisch 0 und einem Maximum annehmen kann, wobei dieses Maximum vom jeweils bestehenden E-Wert abhängt. Es können also bei entsprechenden Wetterbedingungen auch bei hohen Emissionen tiefe Immissionen resultieren, die maximalen Immissionen hängen vom Ausmass der Emissionen des betreffenden Tages ab.

Die Werte für Bodio und Moleno während der Gotthardsperrung (rote Punkte) müssen mit Zurückhaltung betrachtet werden: Da dann der Gotthardtunnel gesperrt war und in Biasca nur der Gesamtverkehr gezählt wurde, mussten die Fahrzeugzahlen je Kategorie sehr grob geschätzt werden, wodurch in dieser Phase die Emissionsschätzung wesentlich schlechter als für die übrigen drei Phasen ist.

Im nächsten Abschnitt wird untersucht, inwieweit klimatische Einflüsse die Lage eines Punktes in diesen Punktwolken bestimmen.

## 5.2. Klimatische Einflüsse auf die I/E-Verhältnisse

Die relevanten klimatischen Einflüsse auf die Ausbreitung der Luftschadstoffe und damit auf die Immissionen werden vom Wind und von der vertikalen Temperaturschichtung der Atmosphäre ausgeübt. Die 'I/E-Punktwolken' werden deshalb nach diesen beiden Grössen parametrisiert. Bei Moleno wird ein Temperaturprofil bis in 160 m Höhe über Grund gemessen. Daraus wurde der mittlere tägliche Temperaturgradient zwischen 0 und 40 m über Boden für jeweils 5-20h bestimmt. Bei Lodrino und Stabio wird der Wind durch die Schweiz. Meteorologische Anstalt ('Meteo-Schweiz'; SMA) erfasst; auch davon wurden Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeit für jeweils 5-20h gebildet. Das Zeitintervall von 5 - 20h wurde verwendet, weil die Emissionen im wesentlichen in dieser Phase anfallen und sonst die Verhältnisse während der Nacht einen zu grossen Einfluss auf den Tagesmittelwert der meteorologischen Grössen erhalten würden.

Die Temperaturgradientmessung bei Moleno ist repräsentativ für die Riviera (Station Moleno) und mit Einschränkung auch für die Leventina (Station Bodio); für die Stationen Bioggio und Chiasso kann sie nicht verwendet werden. Die Windmessung bei Lodrino ist repräsentativ für Moleno und mit Einschränkung für Bodio, jene von Stabio mit Einschränkung für Chiasso und mit grosser Einschränkung für Bioggio.

Im folgenden werden die Punktwolken des I/E-Verhältnisses auf der Basis von Tageswerten nochmals präsentiert, diesmal parametrisiert nach klimatischen Elementen.

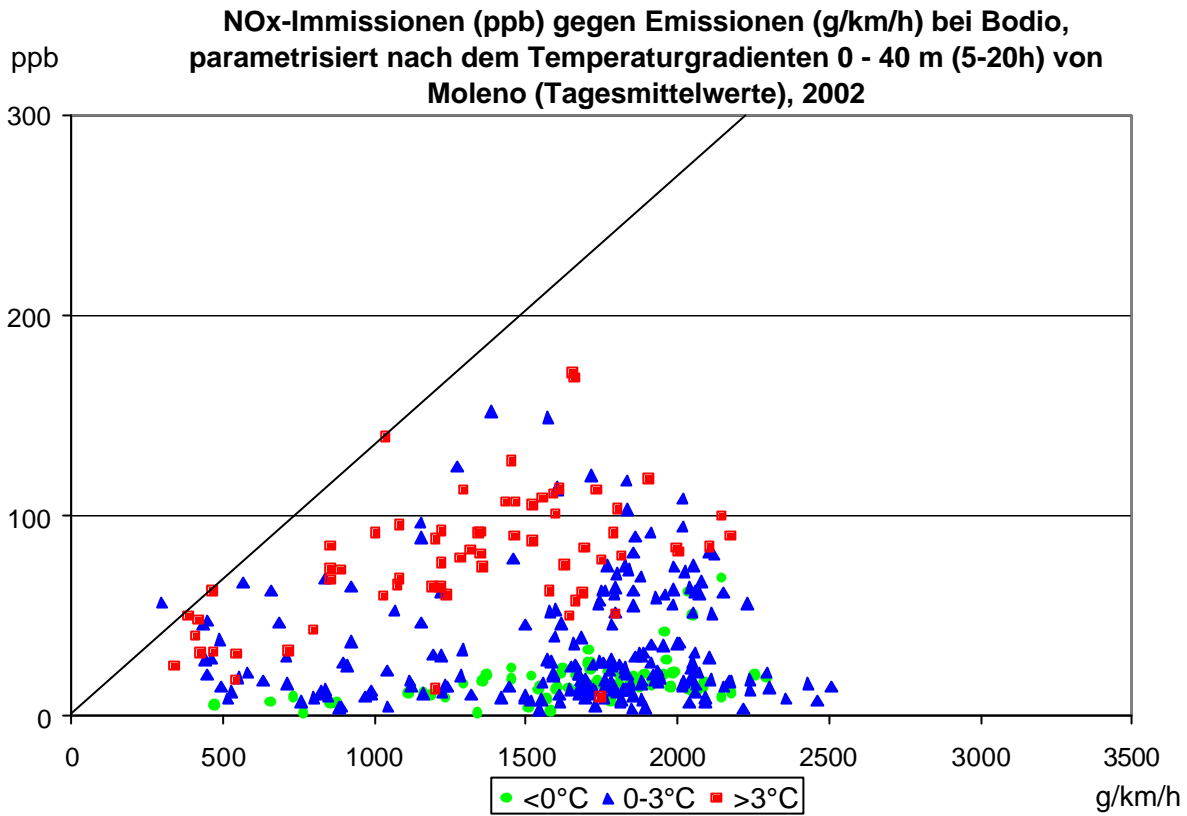


Abbildung 5.6: I/E-Verhältnisse 2002 für Bodio, parametrisiert nach dem Temperaturgradienten 0-40m.

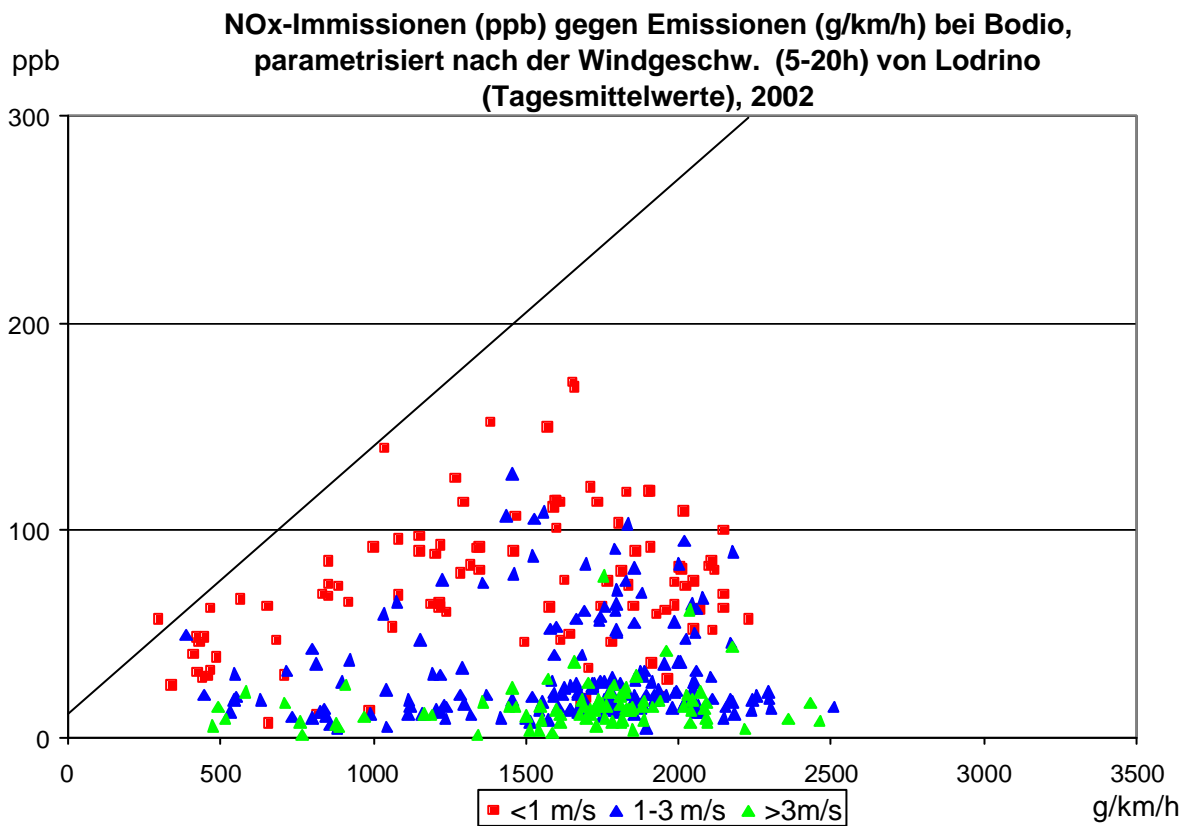


Abbildung 5.7: I/E-Verhältnisse 2002 für Bodio, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.

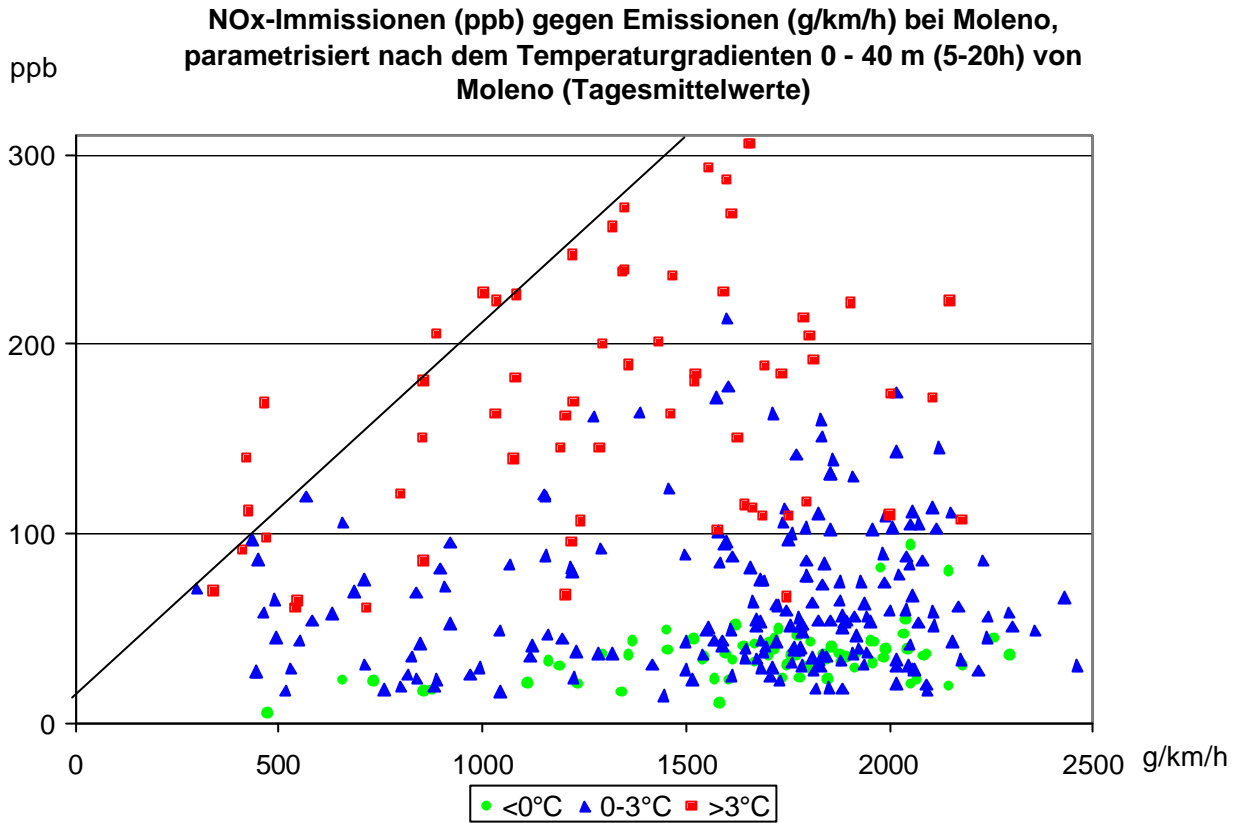


Abbildung 5.8: I/E-Verhältnisse 2002 für Moleno, parametrisiert nach dem Temperaturgradienten.

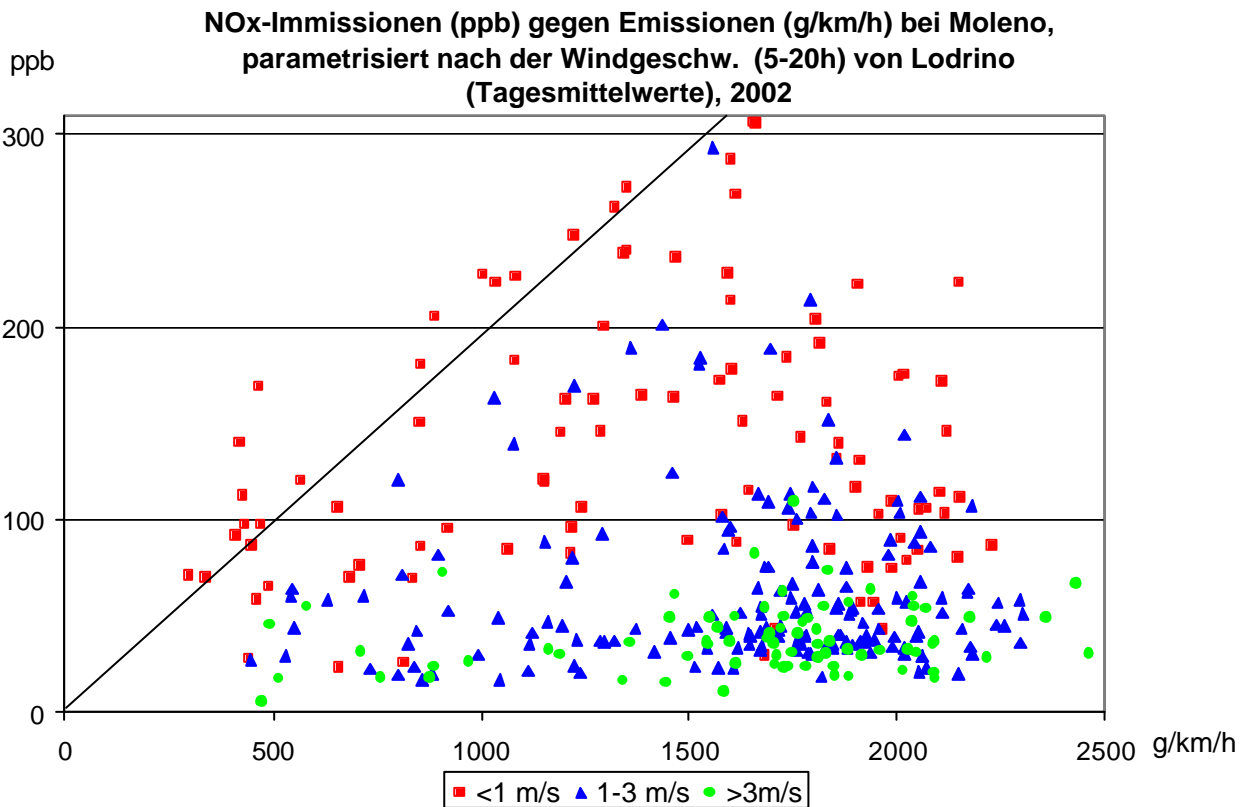


Abbildung 5.9: I/E-Verhältnisse 2002 für Moleno, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.

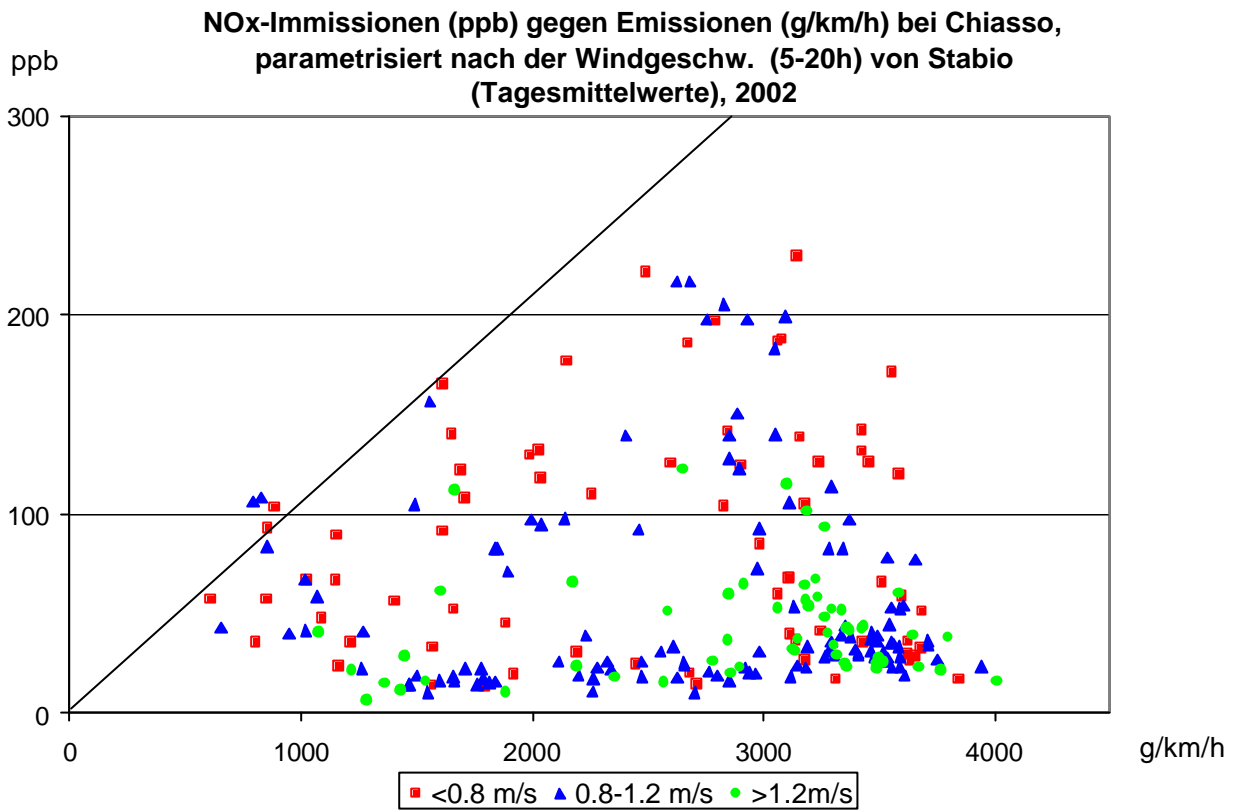


Abbildung 5.10: I/E-Verhältnisse 2002 für Chiasso, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.

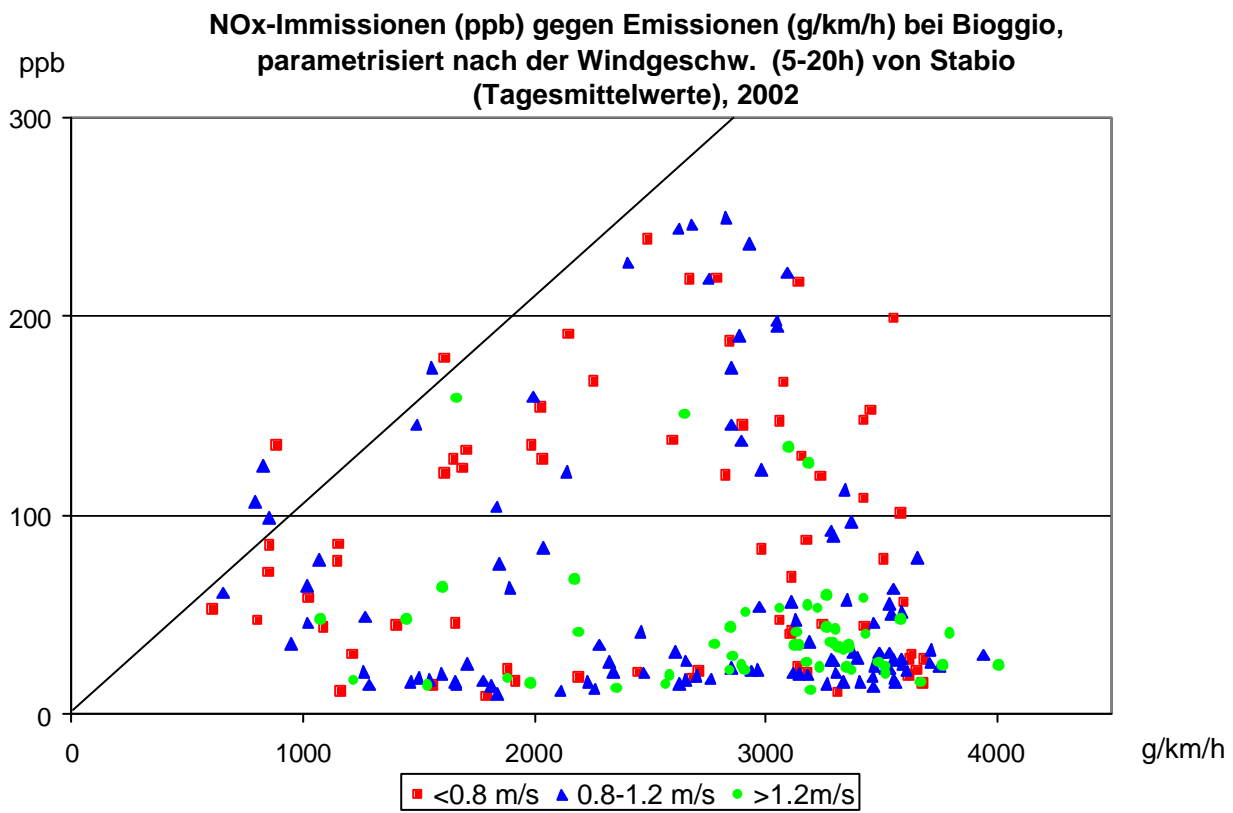


Abbildung 5.11: I/E-Verhältnisse 2002 für Bioggio, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit.

Für die in der Riviera bzw. Leventina gelegenen Stationen Moleno und Bodio ist das Ergebnis eindeutig: Hohe I/E-Verhältnisse, also schlechte Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe, kommen bei grossen positiven Temperaturgradienten (Inversionen) bzw. niedrigen Windgeschwindigkeiten vor. Labile Schichtungen (negative Temperaturgradienten) bzw. hohe Windgeschwindigkeiten führen zu tiefen Immissionen, auch dann, wenn die Emissionen gross sind. Das Ergebnis ist überraschend eindeutig, weil es sich in den Darstellungen um Mittelwerte über 15 Stunden handelt, in welchen sich die Verhältnisse doch deutlich ändern können.

Im Falle von Chiasso und Bioggio sind die Verhältnisse nicht so eindeutig: Vor allem niedrige Windgeschwindigkeiten kommen auch bei kleinen I/E-Verhältnissen vor. Ob dies an der ausseralpinen Lage oder - vermutlich - an der für diese Standorte nicht mehr repräsentativen Windstation Stabio liegt, kann bei der vorhandenen Datenlage nicht geklärt werden.

Die Darstellungen suggerieren einen Zusammenhang zwischen Inversion und niedrigerer Windgeschwindigkeit in der Riviera, was folgende Abbildung bestätigt:

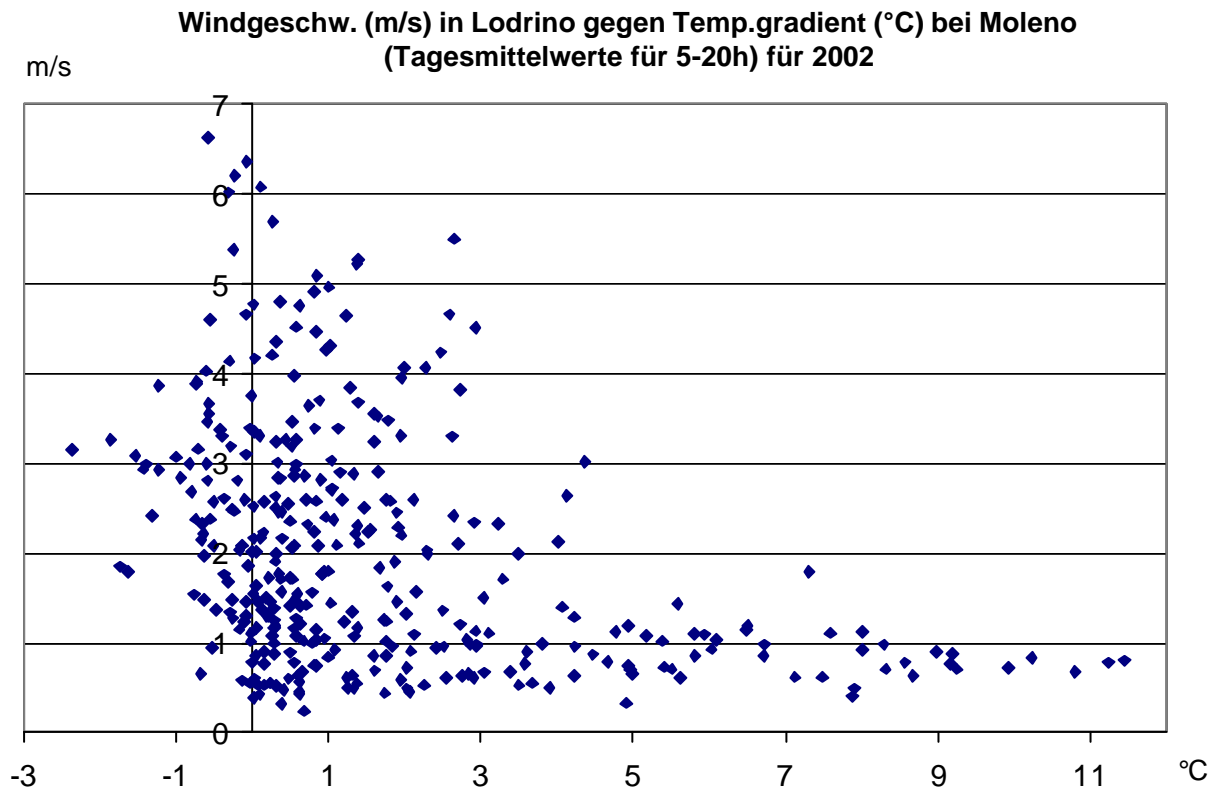


Abbildung 5.12: Zusammenhang zwischen Tagesmittelwert (5-20h) der Windgeschwindigkeit und des Temperaturgradienten für die Riviera, 2002.

### 5.3. I/E-Verhältnisse: Vergleich mit Härkingen

Die Messstelle bei Härkingen im Schweizerischen Mittelland befindet sich wie Moleno in unmittelbarer Nähe der Autobahn von und nach Richtung Zürich. Die dort gemessenen Immissionen werden vor allem durch die (dem I/E-Verhältnis zugrunde gelegten) Emissionen dieser Autobahn bestimmt, werden aber auch etwas von den Emissionen der nicht weit entfernten Autobahn Basel-Bern beeinflusst. Ein gewisser Einfluss anderer Quellen ist also auch hier vorhanden.

Vergleicht man die I/E-Verhältnisse 2002 von Härkingen mit den vier betrachteten Tessiner Stationen, so fällt auf, dass die Begrenzungsgerade für schlechte lufthygienische Bedingungen für Härkingen viel flacher verläuft als bei den anderen Stationen. Konkret sehen die Unterschiede in den Steigungen dieser Geraden wie folgt aus:

Tabelle 5.1: Vergleich der Steigung der Begrenzungsgeraden im I/E-Diagramm zwischen Härkingen und den Tessiner Stationen

Station	Bodio	Moleno	Chiasso	Bioggio	Härkingen
Grenzwert I/E (ppp/(g/km/h))	0.140	0.207	0.091	0.095	0.038
Verhältnis zu Härkingen	3.68	5.45	2.39	2.50	1.00

Ein bestimmter Lastwagen verursacht also bei schlechten Ausbreitungsbedingungen bei Moleno mehr als die 5-fache Immission verglichen mit Härkingen. Verschiedene andere Untersuchungen haben gezeigt, dass in den Alpentälern im Mittel über alle Wetterlagen eine bestimmte Emission etwa zu einer dreifach höheren Immission führt als im flachen Land.

### 5.4. I/E-Verhältnisse für PM10

Für Moleno und Chiasso liegen PM10-Immissionsmessungen vor. Die Emissionen von PM10 wurden auf gleiche Art wie für NO<sub>x</sub> bestimmt (s. Kap. 3). Somit können die I/E-Verhältnisse für diese beiden Stationen auch für PM10 dargestellt werden:

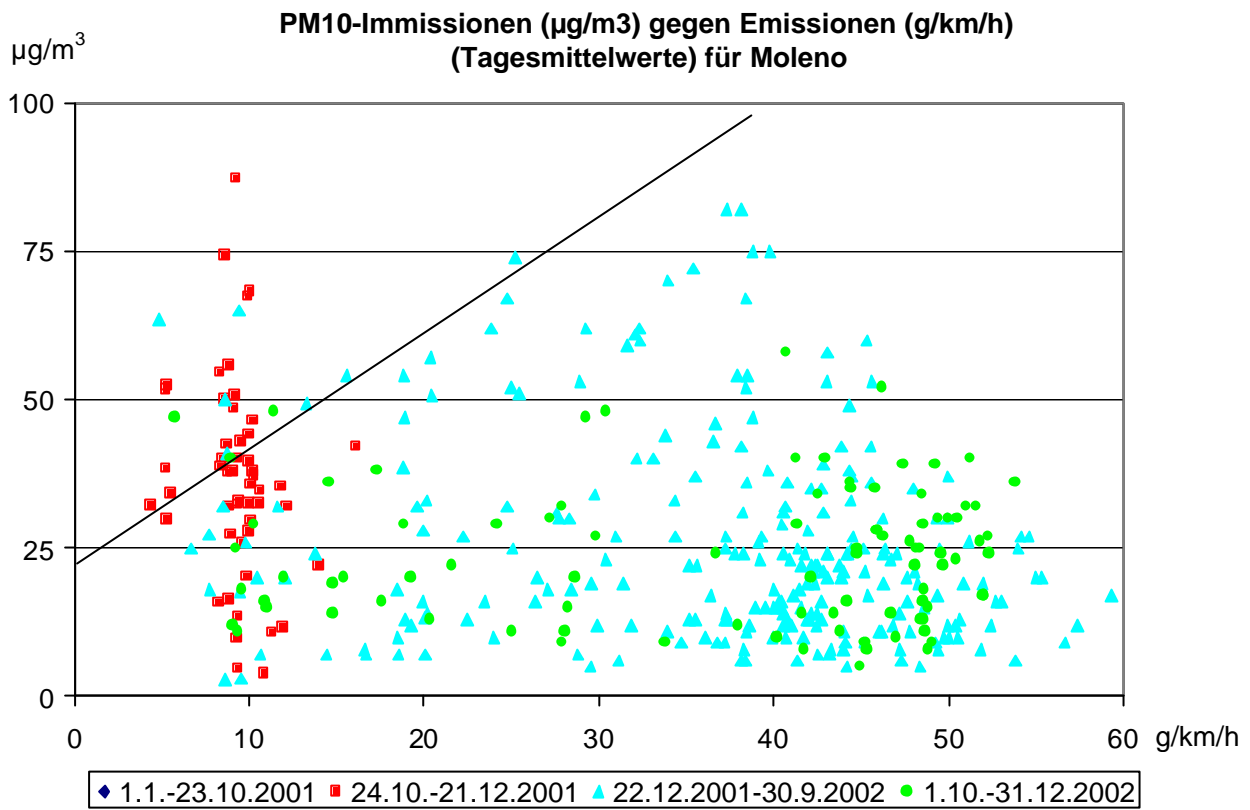


Abbildung 5.13: I/E-Verhältnisse 2002 für PM10 für Moleno.

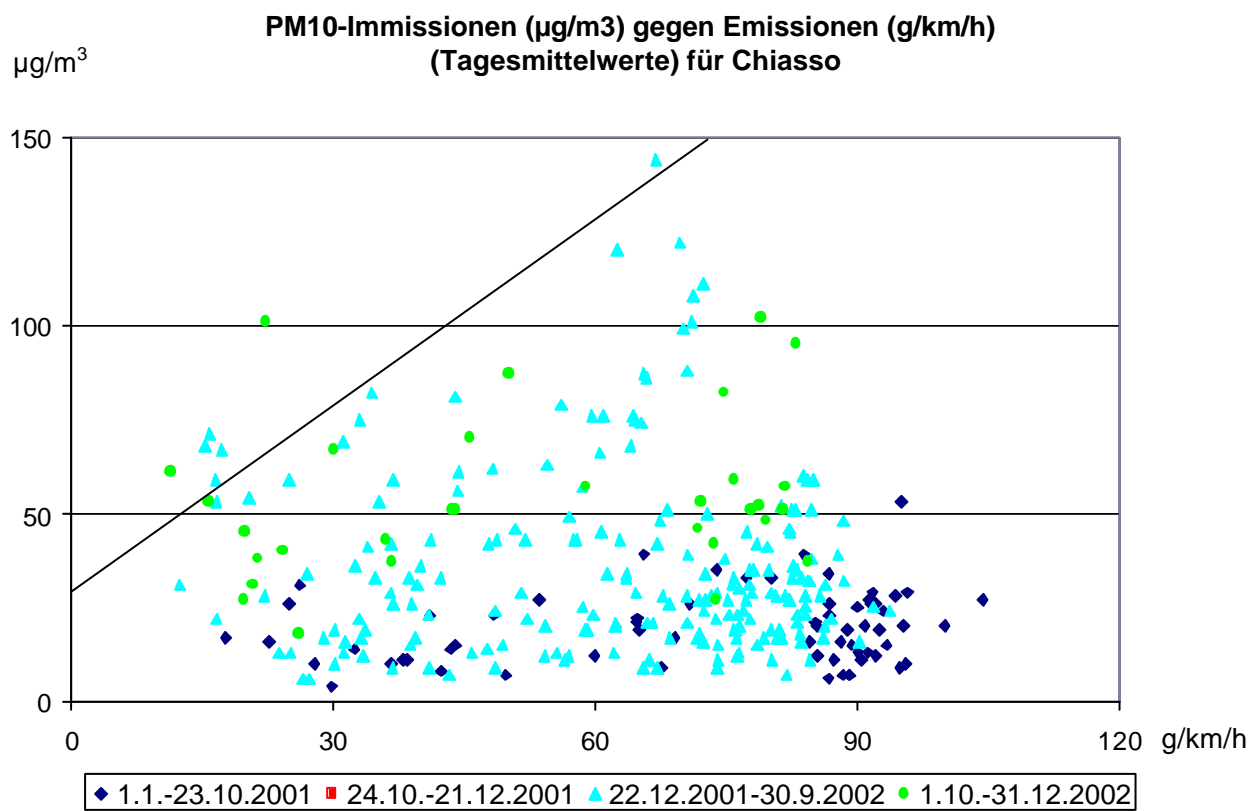


Abbildung 5.14: I/E-Verhältnisse 2002 für PM10 für Chiasso.

Die Darstellungen legen nahe, dass die Begrenzungsgeraden im Falle von PM10 einen deutlich von null verschiedenen Achsenabschnitt aufweisen, d.h. ein nicht zu vernachlässigender Teil der PM10-Konzentration rührt nicht von den Emissionen der Autobahn am gleichen Tag her. Auf der anderen Seite ist klar, dass die Autobahn-Emissionen einen erheblichen Beitrag zur PM10-Immission an den Messstellen Moleno und auch Chiasso liefern: Wie beim NO<sub>x</sub> kommen höhere Immissionen an Tagen mit auch höheren Emissionen vor.

## 6. Weitere immissionsklimatische Betrachtungen zu Bodio

In Ergänzung zu den Untersuchungen zu den klimatischen Einflüssen auf die I/E-Verhältnisse (s. Kap. 5) werden hier noch einige immissionsklimatische Betrachtungen zu Bodio gezeigt.

### 6.1. Zum Auftreten hoher NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte

Im Kap. 5 wurde gezeigt, dass das Auftreten erhöhter Immissionen an NO<sub>x</sub> mit erhöhten Emissionen einher gehen muss, und dass dies aber nicht umgekehrt gilt. In diesem Abschnitt werden nun die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte nur in Abhängigkeit von klimatischen Parametern gezeigt; es interessiert hier die Frage, ob auch ohne Betrachtung der sehr unterschiedlichen Emissionen bereits ein tendenzieller Zusammenhang zwischen klimatischen Einflussgrößen und Immission zu ersehen ist.

ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  **Bodio: Tagesmittelwerte von NOx gegen Temp.gradienten 0-40m, 2002**

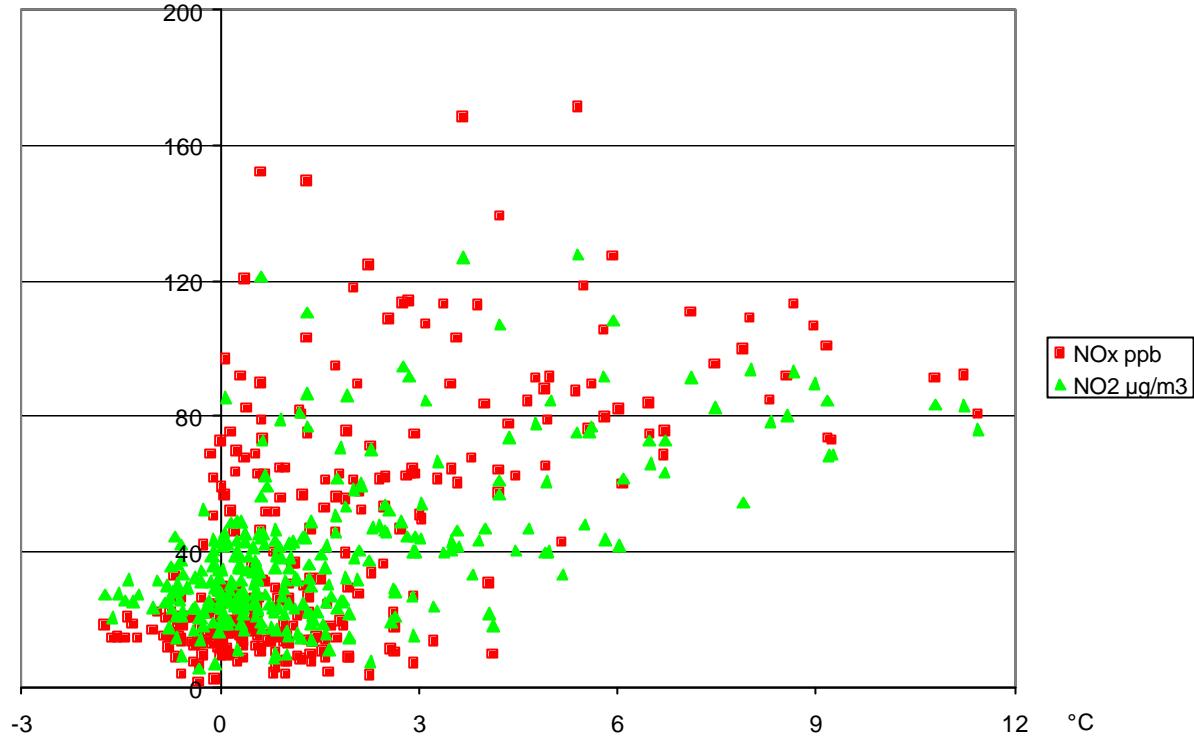


Abbildung 6.1: Tagesmittelwerte von NOx in Bodio gegen Temperaturgradienten in Moleno (0-40m), 2002.

ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  **Bodio: Tagesmittelwerte von NOx gegen Windgeschw. (m/s), 2002**

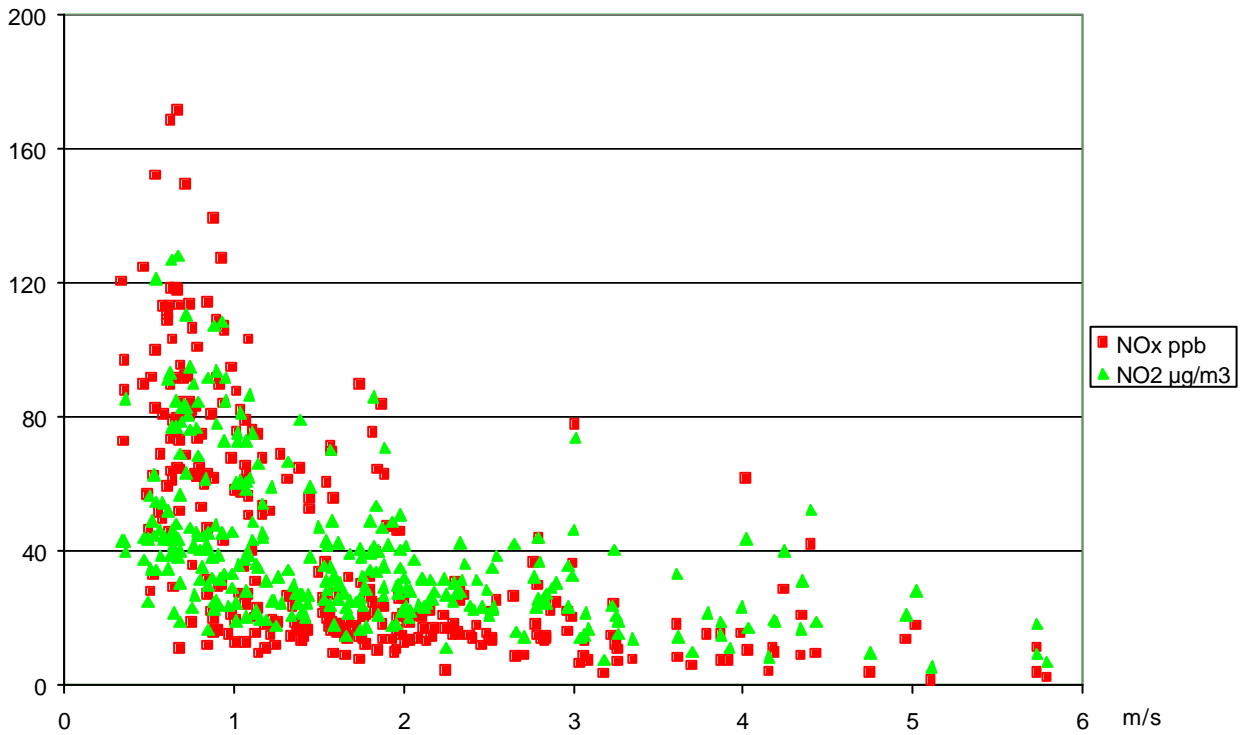


Abbildung 6.2: Tagesmittelwerte von NOx in Bodio gegen Windgeschwindigkeit (m/s) in Lodrino, 2002.

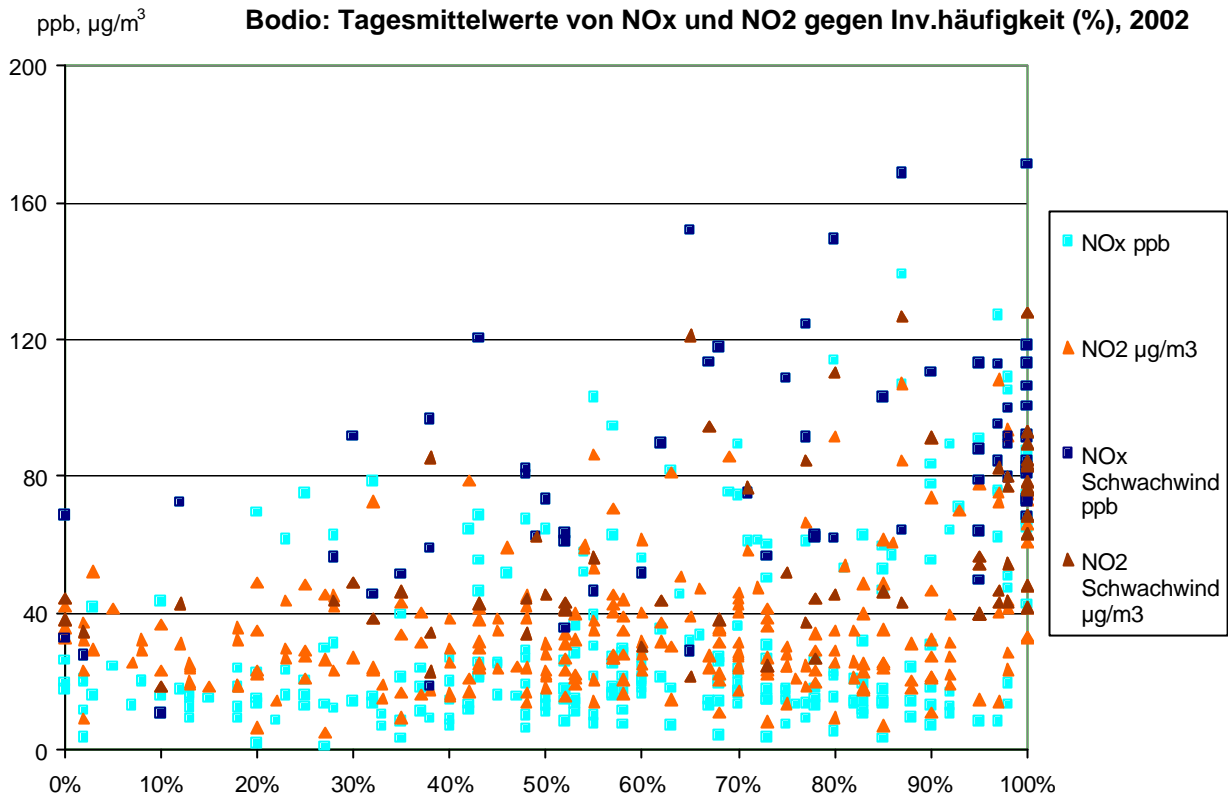


Abbildung 6.3 : Tagesmittelwerte von NOx und NO2 gegen Inversionshäufigkeit (%) für 2002, parametrisiert nach der Windgeschwindigkeit (Schwachwind: <0.8 m/s).

Hohe NOx-Immissionen gehen tendenziell mit hohem Temperaturgradienten in der untersten Luftschicht, niedriger Windgeschwindigkeit und hoher Inversionshäufigkeit einher. Da es aber auch noch wesentlich auf die Emissionen ankommt, besteht kein monotoner Zusammenhang.

## 6.2. Auswirkung von Föhn

Der Nordföhn bläst vor allem im Frühjahr und Herbst, manchmal auch im Winter. Sein Einfluss auf die Immissionen in Bodio wurde untersucht. Eine Föhnsituation wurde wie folgt definiert: Während mindestens drei Stunden beträgt die Temperaturdifferenz zwischen Moleno und Erstfeld mehr als 4°C (Jahresmittel 1.6°C) und die Windrichtung liegt im Nordsektor (zwischen 320 und 20 grad). Als Temperaturmessstellen wurden jeweils die Sensoren in 40 m über Boden verwendet; dies ist sehr wichtig, weil sonst Situationen mit bodennahen Inversionen in Erstfeld mitgezählt würden, was das Ergebnis massiv verfälschen würde.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Tagesmittelwerte von NOx in Bodio bzw. PM10 in Moleno zusammen mit der zeitlichen Häufigkeit des Auftretens von Föhn in der Leventina/Riviera am betreffenden Tag.

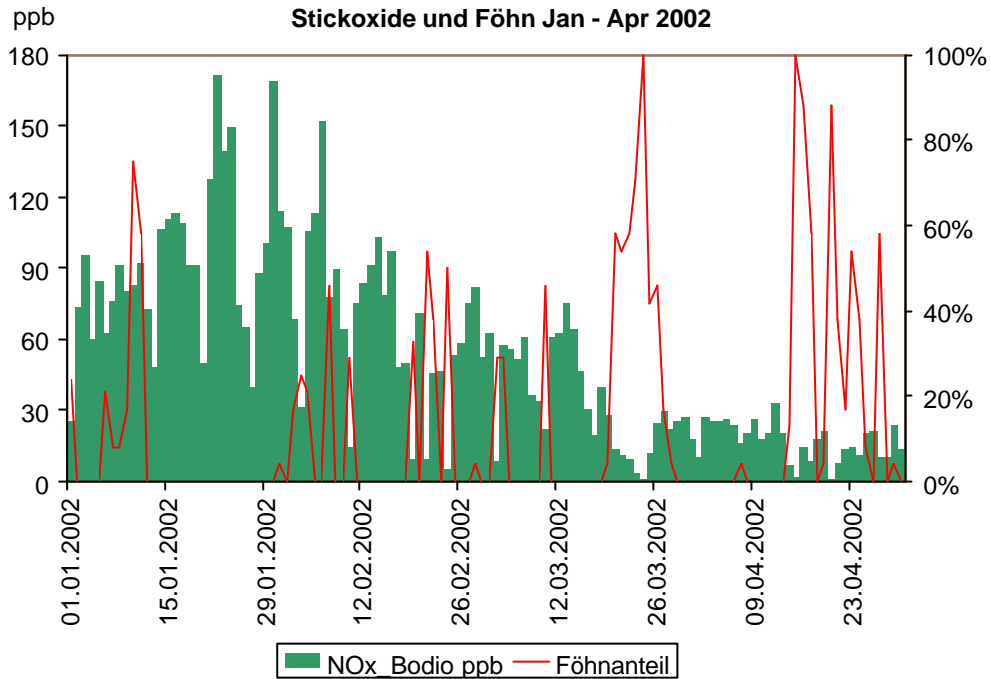


Abbildung 6.4: Tagesmittelwerte von NOx in Bodio Jan - Apr 2002 und täglicher Föhnanteil.

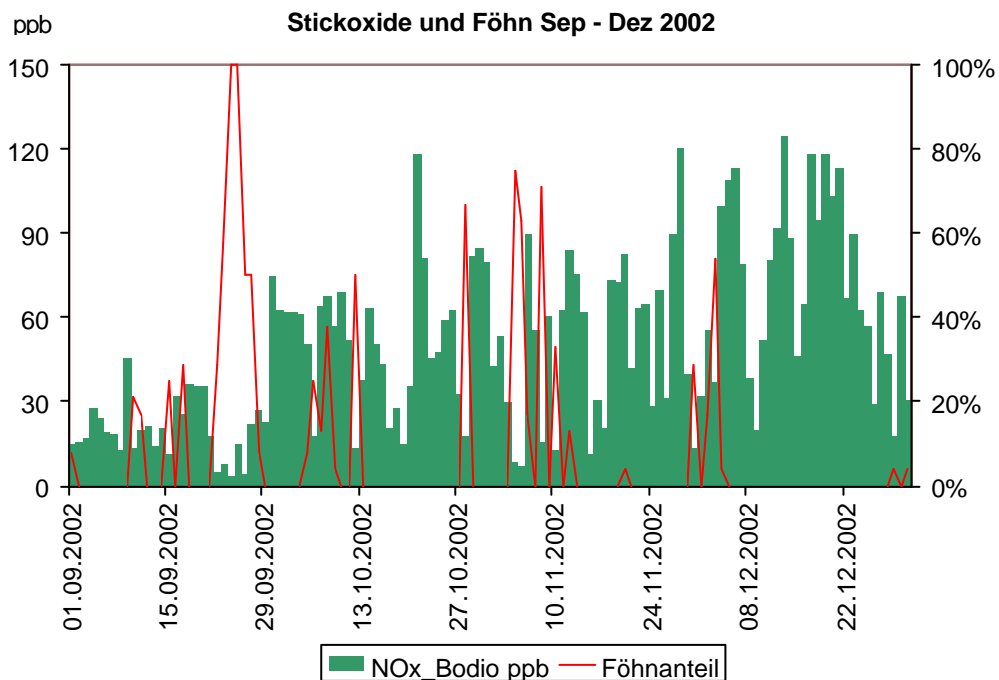


Abbildung 6.5: Tagesmittelwerte von NOx in Bodio Sep - Dez 2002 und täglicher Föhnanteil.

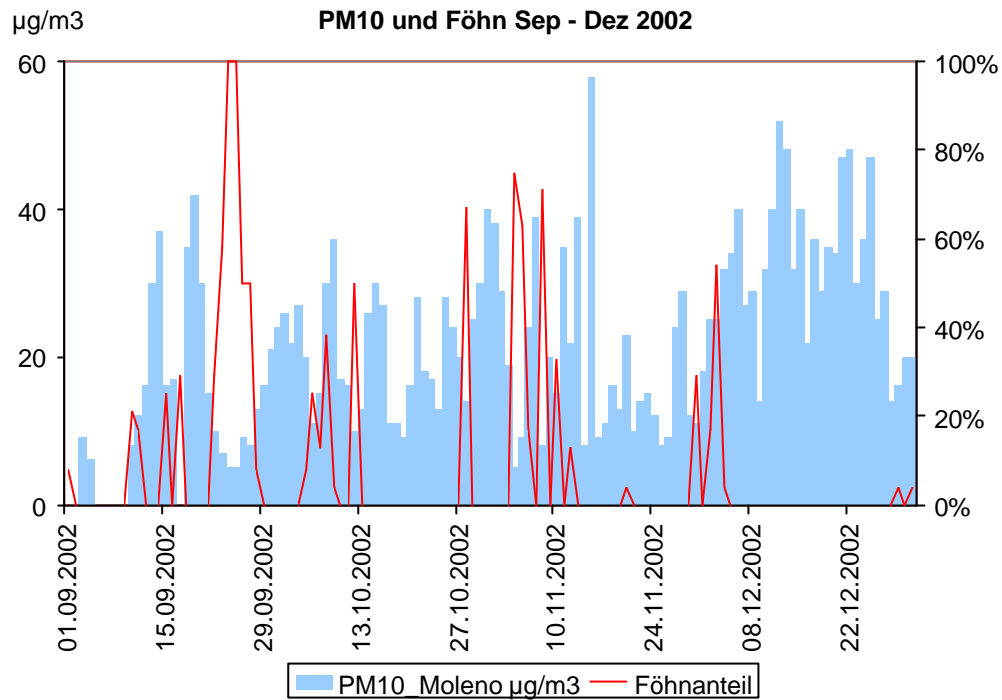


Abbildung 6.6: Tagesmittelwerte von PM10 in Moleno Sep - Dez 2002 und täglicher Föhnanteil.

Föhn führt sehr oft zu deutlich erniedrigten NO<sub>x</sub>- bzw. PM10-Immissionen. Beim PM10 ist der Effekt weniger deutlich als beim NO<sub>x</sub>. Natürlich spielt der tageszeitliche Verlauf des Föhns eine Rolle, welcher in einigen Fällen dazu führt, dass der Effekt auf die Immissionen nicht so gross ist. Im allgemeinen aber kann man sagen: Bei Föhn niedrige Immissionen an Stickoxiden und PM10.

## 7. Fazit

Aus den vorliegenden Untersuchungen zur lufthygienischen Auswirkung des Alpen transitverkehrs im Tessin kann folgendes Fazit gezogen werden:

- Der Güterverkehr macht rund drei Viertel aller Emissionen im Alpen transit auf der Strasse aus.
- Während der Zeit der Gotthardsperrung haben sich die Immissionen und Emissionen in Riviera und Leventina deutlich reduziert, wohingegen sie im Sottoceneri kaum davon beeinflusst wurden.
- Für alle vier untersuchten Stationen Bodio, Moleno, Bioggio und Chiasso stellt die Autobahn A2 die dominante Luftschadstoffquelle dar.
- Bodio weist von den vier Stationen die niedrigste mittlere  $\text{NO}_x$ -Belastung auf, allerdings die höchsten Spitzenwerte relativ zum Jahresmittel und einen hohen  $\text{NO}_2$ -Anteil am  $\text{NO}_x$ . Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass an Orten in diesem Talabschnitt, welche weniger weit entfernt und vor allem weniger erhöht von der Autobahn liegen, die Immissionen höher sind.
- In den ersten drei Quartalen des Jahres 2002 kann man die Auswirkung des Dosiersystems für den Schwerverkehr in den Emissionskurven sehen (leichte Zacken alle 2 Stunden). Bei den Immissionen kommt dies hingegen bei keiner Station zum Ausdruck.
- Die von einer Emissionseinheit (bzw. einem bestimmten Lastwagen) verursachte Immission hängt stark von den klimatischen Bedingungen ab, insbesondere der Durchlüftung (Windgeschwindigkeit) und der vertikalen Schichtung der Atmosphäre. Hohe Immissionen treten bei schwachem Wind und Inversionen auf (kalte Luftschicht am Boden liegt unter wärmerer Luft).
- Die Erfassung dieser beiden klimatischen Einflussgrößen (Wind und Temperaturprofil) ist für eine adäquate Interpretation der Messungen erforderlich und wäre auch im Sottoceneri nützlich.
- Die von einer Emissionseinheit (bzw. einem bestimmten Lastwagen) verursachte Immission ist in einem Alpental deutlich höher als im flacheren Land (Beispiel Härkingen im Schweizerischen Mittelland).
- Die  $\text{PM}_{10}$ -Immission ist auch in Autobahnnähe von anderen Quellen deutlich mit beeinflusst; allerdings hängt sie auch erheblich vom Autobahnverkehr ab.
- Bei Föhn treten im allgemeinen niedrige Immissionen an Stickoxiden und  $\text{PM}_{10}$  auf.