



Auswirkung der  
Verkehrsverlagerung  
auf die Luft- und  
Lärmbelastung  
in den Kantonen  
Graubünden, Tessin  
und Uri



Herausgeber: Kantonale Umweltschützer GR,  
TI und UR sowie BUWAL

**Herausgeber:**

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)  
Amt für Umwelt Graubünden  
Amt für Umwelt Uri  
Dipartimento dell'ambiente Ticino

**Projektleitung:**

R. Fehr, AfU Graubünden  
Hp. Lötscher, AfU Graubünden  
F. Akermann, AfU Uri  
A. Bernasconi, AfU Tessin  
H. Amaker, BUWAL

**Auswertungen, Messungen, Berichterstellung:**

J. Thudium und F. Siegrist, ökoscience AG  
A. Prévôt, PSI  
D. Bozzolo, IFEC  
M. Semmler, IAC / ETH

**Gestaltung:**

K. Brandstetter, AfU GR

**Papier:**

4 Zanders Mega weiss, halbmatt (50 % Recyclingfasern)

**Druck:**

Casutt AG, Chur

**Bezugsadressen:**

Amt für Umwelt Graubünden  
Gürtelstrasse 89  
7001 Chur

Tel.: 081 257 29 46  
Fax: 081 257 21 54  
E-Mail: [info@afu.gr.ch](mailto:info@afu.gr.ch)

Amt für Umwelt Uri  
Klausenstr. 4  
6460 Altdorf

Tel.: 041 875 24 30  
Fax: 041 875 20 88  
E-Mail: [afu@ur.ch](mailto:afu@ur.ch)

Divisione dell'ambiente  
Viale Stefano Franscini 17  
6501 Bellinzona

Tel.: 091 814 37 61  
Fax: 091 814 44 29  
E-Mail: [dt-da@ti.ch](mailto:dt-da@ti.ch)

BUWAL  
Abteilung Luftreinhaltung  
3003 Bern

Tel.: 031 322 93 12  
Fax: 031 324 01 37  
E-Mail: [luftreinhaltung@buwal.admin.ch](mailto:luftreinhaltung@buwal.admin.ch)



1	Zusammenfassung	4
	Riassunto	6
	Résumé	8
	Summary	10
2	Einleitung	12
3	Überblick über die Messstationen und die Verkehrszählstellen	13
4	Verkehrszahlen und Emissionen an den beiden Transitachsen Gotthard und San Bernardino	15
5	Vergleich der Luftbelastung vor, während und nach der Sperrung des Gotthards	20
	5.1. Vergleich der Luftbelastung vor und während der Sperrung des Gotthards	
	5.1.1. Klimatische Bedingungen während den beiden Vergleichsperioden	
	5.1.2. Lufthygienische Bedingungen während den beiden Vergleichsperioden	23
	5.1.3. Gegenüberstellung der Emissionen und der Immissionen	27
	5.2. Räumliche Ausdehnung von Partikeln und Stickoxiden entlang den Alpentransitachsen	30
	5.3. Modellierung der verkehrsbedingten NO <sub>x</sub> -Mehrbelastung im Bündner Rheintal	34
	5.4. Luftbelastung im Reusstal	36
6	Lärmbelastung vor, während und nach der Sperrung	39
	Impressionen	47
7	Luftbelastung in der Riviera	50
8	Fazit	53
	Projektübersicht	54
	Adressen	

Ein Unfall im Gotthard Strassentunnel führte am 24. Okt. 2001 (10 Uhr) zu einer Sperrung der A2 für den gesamten Verkehr. Der Schwerverkehr wurde in der Folge während den Reparaturarbeiten bis am 21. Dez. 2001 (17 Uhr) auf den San Bernardino (A13) umgeleitet. Für den Privatverkehr stand hingegen der Gotthardpass meist zur Verfügung. Mit dieser Verkehrsverlagerung hat auch eine markante Verschiebung der verkehrsbedingten Luftschadstoff- und Lärm-Belastungen längs der beiden schweizerischen Alpenachsen stattgefunden. Während die Luft- und Lärmbelastung entlang der A2 im Kanton Uri und Tessin abgenommen hat, hat die Belastung entlang der A13 im Kanton Graubünden deutlich zugenommen. Dies zeigt, dass der alpenquerende Schwerverkehr einen bedeutenden Einfluss auf die Luft- und Lärmbelastung in den Alpentälern hat.

Unter Leitung der Umweltfachstellen der Kantone Uri, Graubünden und Tessin sowie dem BUWAL wurden während der Sperrung verschiedene Untersuchungen über die Veränderungen der Luft- und Lärmbelastung im Reusstal, im Rheintal, im Misox und in der Riviera / Leventina durchgeführt. Die vorliegende Studie beschreibt diese Veränderungen sowie das Verkehrsaufkommen in den betroffenen Talschaften vor (24. Okt.-21. Dez. 2000), während (24. Okt.-21. Dez. 2001) und nach (7. Jan.-15. Feb. 2002) der Sperrung. Zudem wird auf verschiedene Aspekte der räumlichen Verteilung der Luftschadstoffe in den Alpentälern und auf die Zusammenhänge zwischen Immissionen, Emissionen und Meteorologie (Kaltluftsee Problematik) eingegangen. Dieser Gesamtbericht musste aus Aktualitätsgründen rasch nach der Wiedereröffnung des Gotthards erstellt werden und gibt eine Übersicht über die Projekte und erste Ergebnisse.

**Verkehrsaufkommen:** Den Gotthard-Strassentunnel durchquerten im Jahre 2000 6.83 Mio. Fahrzeuge, davon mehr als 1.4 Mio. schwere Nutzfahrzeuge (LKW > 6m; rund 20%). Die Frequenzen am San Bernardino waren tiefer: 2.35 Mio., davon rund 250'000 schwere Nutzfahrzeuge (rund 10%)<sup>1</sup>. Während der Sperrung der A2 stieg der Lastwagenverkehr werktags auf der A13 auf mehr als das Fünffache an. An Werktagen befuhren durchschnittlich 3607 und damit 2898 LKW mehr als im Durchschnitt im Jahre 2001 vor der Sperrung (Jan. - Sept.) die A13. Dieser enorme Mehrverkehr führte denn auch wegen des ungünstigen Höhenprofils und der engen Kurven am San Bernardino regelmässig zu Verkehrsüberlastungen und Unfällen. Das gesamte Schwerverkehrsaufkommen auf der A2 und A13 war während der Sperrung um etwa ein Drittel, aber auch nach Wiedereröffnung der A2 im Januar 2002 etwa um ein Viertel geringer als in der entsprechenden Vorjahresperiode. Im Jan. und Feb. 2002 zeichnet sich, trotz der Abnahme des gesamten Schwerverkehrs, aber eine Zunahme auf der San Bernardino Route ab. Die Verkehrs-Emissionen zeigen weitgehend das gleiche Bild wie die Verkehrszahlen der schweren Nutzfahrzeuge.

**Meteorologie:** Um die Immissionssituation vor und während der Gotthardsperrung sowie an verschiedenen Standorten zu vergleichen, müssen die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen berücksichtigt werden. Auf der Alpennordseite gab es von Oktober bis Dezember 2000 etwas mehr Inversionslagen als 2001, was vor allem auf den trockenen Dezember zurückzuführen ist. Generell treten im Kanton Uri (Reusstal) mehr Inversionen als im Bündner Rheintal auf. Bezüglich des Windes sind die beiden Täler vergleichbar, wobei im Jahr 2000 etwas höhere Windgeschwindigkeiten auftraten als im Jahr 2001. Auf der Alpensüdseite waren die beiden Monate in den Vergleichsjahren bezüglich des Niederschlags sehr extrem: Das Jahr 2000 brachte Jahrhunderthochwasser, während im Jahr 2001 grosse Trockenheit herrschte. In letzterem traten wegen stabiler Hochdrucklagen deutlich mehr Inversionen auf. In die Abschätzung der Immissionsveränderungen wurden die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen (Inversionen) während der Sperrung der A2 bzw. während der Referenzperiode ein Jahr zuvor einbezogen.

**Immissionen Luft:** Die Verkehrsverlagerung während der Sperrung führte zu einer markanten Zunahme der Luftbelastung entlang der A13 und zu einer deutlichen Entlastung entlang der A2. Im Vergleich zum gleichen Zeitraum im Jahre 2000 haben die Gesamtstickoxide bei den Luftmessstationen in Roveredo um +142% und an der Umfahrung Chur um +112% zugenommen. Die Luftschadstoffe, die in der LRV verankert sind, nämlich das NO<sub>2</sub> und das PM10 haben etwa um +38% bzw. +32% zugenommen. Entsprechende Abnahmen wurden im Reusstal und in der Leventina festgestellt (Erstfeld: NO<sub>x</sub> -68%; NO<sub>2</sub> -29% und PM10 -9%; Bodio: NO<sub>x</sub> -58%; NO<sub>2</sub> -38% und PM10 +2%). Untersuchungen über die räumliche Ausdehnung der Luftschad-



stoffbelastung quer zu den beiden Alpentransitachsen (mobile Messungen, zusätzliche Immissionsmessungen in Erstfeld 300m von der A2 entfernt) haben gezeigt, dass die gesamten Talschaften bis in eine Distanz von mehr als 1km von der Autobahn von den lufthygienischen Veränderungen betroffen waren. Nach der Wiedereröffnung des Gotthardtunnels stieg an Werktagen die Stickoxid-Belastung im gesamten Querschnitt bei Erstfeld auf das Vierfache; im Bündner Rheintal war die Belastung im gesamten Talquerschnitt bei Maienfeld während der Sperrung werktags ebenfalls etwa viermal so hoch wie sonntags, wenn auch auf tieferem Niveau. Ähnlich wie die Stickoxide waren auch die ultrafeinen Partikeln (<300nm) verteilt. Während der Sperrung war die Partikelbelastung im Misox drei Mal höher als in der Riviera / Leventina. Die Verteilungen weisen dabei grosse Gradienten mit zunehmendem Abstand von der Autobahn und in der Höhe auf. Generell sind die Konzentrationen in den verkehrsbelasteten Alpentälern sehr hoch und sind um ein Mehrfaches höher als beispielsweise in der Stadt Zürich während Verkehrsspitzenzeiten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Abnahme von 1'000 LKW pro Tag entlang der A2 eine mittlere  $\text{NO}_x$ -Abnahme von 18ppb entlang der A2 und eine Zunahme pro 1'000 LKW pro Tag im Mittel zwischen 25 und 33 ppb entlang der A13 zur Folge hat. Bei der  $\text{NO}_2$ -Belastung ist eine Abnahme bzw. Zunahme von jeweils  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$  und beim  $\text{PM}_{10}$   $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro 1'000 LKW zu erwarten. Die Zu- oder Abnahmen sind standortabhängig und werden zudem von der Jahreszeit abhängen. Die gemessenen Zunahmen im Rheintal stimmen mit den Ergebnissen einer Modellierung der  $\text{NO}_x$ -Zusatzbelastung im Rheintal überein. Diese Veränderungen der Luftbelastung, aber auch die räumliche Verteilung der Luftschadstoffe verdeutlichen den grossen Einfluss der Schadstoffemissionen des Schwerverkehrs auf die empfindlichen Ökosysteme der engen Alpentäler und die darin lebende Bevölkerung.

**Immissionen Lärm:** Ähnlich wie bei der Luft haben während der Sperrung beim Lärm deutliche Veränderungen in der Belastung stattgefunden. In der Leventina / Riviera und im Reusstal nahm die Lärmbelastung bezogen auf dem Gesamtpegel während der Sperrung um etwa 2 dB(A) ab, in Graubünden hingegen zu. Während die Lärmbelastung im Rheintal bei Chur um 1 dB anstieg, wurden im Bündner Rheinwald (Ander-Hinterrhein) Zunahmen bis um 4 dB gemessen. Die Lärmdaten wurden unter Anwendung der spektralen Verteilung und der Pegelstatistik vertieft analysiert. Dabei zeigten sich in Abhängigkeit vom Schwerverkehrsaufkommen deutliche Pegeländerungen im Bereich tiefer Frequenzen (63-80 Hz). Für die Messstelle bei Chur ergaben sich Veränderungen von bis zu 6 dB. Dies entspricht einer deutlich wahrnehmbaren Veränderung des Lärmcharakters. Nach der Wiedereröffnung des Gotthardtunnels stiegen tagsüber in der Leventina / Riviera und im Reusstal die Pegel für die tiefen Frequenzen sogar bis 10 dB, blieben jedoch während der Nacht unverändert. Die obengenannten Lärm-Immissions-Effekte sind auf den Schwerverkehr zurückzuführen, welcher sich wegen des hohen Anteils an tiefen Frequenzen deutlich vom Personenverkehr unterscheidet.

**Schlussfolgerungen:** Mit den Kenntnissen der lokalen Inversions- und Windverhältnisse sowie dem Verkehrsaufkommen konnten für die temporär veränderten Emissionsverhältnisse die gemessenen Immissionen erklärt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden für die Abschätzung der lufthygienischen Auswirkungen künftiger Verkehrsentwicklungen wichtig sein. Gleichzeitig hat sich der Nutzen eines permanenten und koordinierten Monitorings von Luft- und Lärmbelastungen sowie der Meteorologie längs der beiden gekoppelten Transitachsen A2 und A13 in der Schweiz gezeigt. Ein solches Monitoring wird ab dem Jahr 2002 im Rahmen des MfM-U (Monitoring flankierende Massnahmen - Bereich Umwelt) von Bund und Kantonen aufgebaut und ergänzt die von den Kantonen betriebenen Messstellen. Ausserdem wird in der italienischen Schweiz ein Umweltbeobachtungsmessnetz (OASI, Osservatorio ambientale della svizzera italiana) zur Förderung des Daten- und Erfahrungsaustausches aufgebaut.

Die Untersuchungen und die Beobachtungen rund um die Gotthardsperrung 2001 haben gezeigt, wie sensibel die Immissionen in den Alpentälern auf Verkehrsveränderungen reagieren und wie sehr sie von den meteorologischen Verhältnissen abhängen. Die weitere Verkehrsentwicklung - und damit auch die Luft- und Lärmentwicklung - ist zur Zeit noch nicht absehbar und wird stark von der künftigen schweizerischen und auch von der europäischen Verkehrspolitik abhängen.

<sup>1</sup>Quelle: Verkehrszahlen ASTRA 2000

In seguito all'incidente verificatosi all'interno della galleria autostradale del S. Gottardo il 24 ottobre 2001 (ore 10), il collegamento autostradale Nord-Sud (A2) è stato bloccato all'intero traffico. Mentre le automobili hanno potuto utilizzare il passo del S. Gottardo, durante i lavori di riparazione della galleria, il traffico pesante ha dovuto essere deviato sul S. Bernardino (A13). Con questo trasferimento del traffico si è verificato anche uno spostamento del carico inquinante sia atmosferico che fonico.

Sotto la direzione degli uffici di protezione dell'ambiente dei Cantoni Grigioni, Ticino e Uri e della Confederazione (BUWAL), durante il periodo della chiusura sono state eseguite diverse analisi volte a documentare il carico ambientale - per aria e rumori - nella Valle della Reuss e del Reno a Nord delle Alpi e nella Leventina, Riviera e Mesolcina a Sud.

Il presente studio descrive i cambiamenti verificatisi sia a livello di carichi ambientale sia di volumi di traffico nelle vallate interessate, facendo riferimento a tre periodi distinti: prima, durante (24 ottobre - 21 dicembre 2001) e dopo la chiusura. Inoltre sono analizzati diversi aspetti legati alla distribuzione spaziale degli inquinanti nelle vallate alpine e alle relazioni che intercorrono tra immissioni, emissioni e meteorologia (problematica delle inversioni termiche). Il rapporto, per ragioni di attualità, ha dovuto essere allestito immediatamente dopo la riapertura del Gottardo e si limita quindi a dare una panoramica dei diversi studi condotti in questo periodo, riferendo sui primi risultati.

**Volumi di traffico<sup>1</sup>:** Durante l'anno 2000 la galleria del Gottardo è stata attraversata da 6.83 milioni di veicoli, dei quali più di 1.4 milioni (ca. 20%) sono stati veicoli pesanti (di lunghezza superiore ai 6 m). I passaggi al S. Bernardino (A13) erano chiaramente inferiori: complessivamente 2.35 milioni di veicoli dei quali ca. 250'000 (ca. 10%) pesanti. Durante la chiusura del Gottardo, i veicoli pesanti sulla A13 nei giorni feriali sono aumentati di più di 5 volte. Durante la chiusura del Gottardo in media in un giorno feriale 3607 veicoli pesanti hanno percorso la A13, vale a dire 2898 veicoli in più rispetto a quanto registrato nello stesso anno prima dell'incidente (gennaio - settembre). A causa del profilo altimetrico svantaggioso e delle curve strette, il massiccio aumento del traffico pesante sul S. Bernardino ha provocato regolarmente dei disagi alla circolazione e degli incidenti. Durante il periodo di chiusura del S. Gottardo il traffico pesante complessivo sulla A2 e sulla A13 è stato un terzo di quello transitato durante lo stesso periodo un anno prima (novembre - dicembre 2000). Anche nel gennaio 2002, dopo la riapertura della A2, il traffico pesante è stato più contenuto (di ca. il 25%) rispetto all'anno precedente. Nel gennaio 2002, nonostante la riduzione complessiva del traffico pesante, sono aumentati i camion in transito sul S. Bernardino. Il quadro delle emissioni inquinanti prodotte dal traffico rispecchia quello dei flussi di camion.

**Meteorologia:** Per poter confrontare la situazione delle immissioni inquinanti prima, durante e dopo la chiusura del Gottardo e paragonare la situazione venutasi a creare nei diversi luoghi, è indispensabile considerare le diverse condizioni meteorologiche. A Nord delle Alpi da ottobre a dicembre 2001, rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, a causa della siccità, che ha caratterizzato buona parte del mese di dicembre, sono stati più frequenti i giorni con inversione termica. In generale si constata un maggior numero di inversioni nella Valle urana della Reuss rispetto a quella grigionese del Reno. Le due vallate si assomigliano invece maggiormente a livello di venti, che nel 2001 sono stati meno intensi del 2000. Anche a Sud delle Alpi gli ultimi mesi del 2001 sono stati estremi a livello di precipitazioni. Mentre la fine del 2000 è stata dominata da forti alluvioni, quella del 2001 è stata caratterizzata da un periodo di siccità, nel quale a causa del perdurare della situazione di alta pressione sono numerose le giornate caratterizzate da inversione termica. Nell'analisi delle mutazioni delle immissioni si è tenuto conto delle diverse condizioni meteorologiche verificatesi durante la chiusura del Gottardo e nel periodo di riferimento.

**Inquinamento atmosferico:** Il trasferimento del traffico, conseguente alla chiusura del Gottardo, ha provocato un aumento del carico inquinante lungo la A13 mentre ha scaricato le zone toccate dalla A2. In confronto con lo stesso periodo dell'anno precedente (2000) le concentrazioni ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) sono aumentate del 142% a Roveredo e del 112% nei pressi della circonvallazione di Coira. Anche le concentrazioni di sostanze inquinanti regolamentate a livello di immissioni dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) sono peggiorate. Si tratta in particolare del diossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e delle polveri fini (PM10), che sono aumentati del 38% rispettivamente del 32%. Parallelamente la situazione è migliorata nella Valle della Reuss e nella Leventina. Più precisamente a Erstfeld sono diminuiti del 68% gli ossidi di azoto, del 29% il diossido di azoto e del 9% le polveri



fini mentre a Bodio a fronte di una massiccia riduzione dei composti dell'azoto ( $\text{NO}_x$  -58% e  $\text{NO}_2$  -38%) si è registrato un lieve peggioramento delle polveri fini (+2%), che deve essere comunque valutato positivamente in considerazione delle sfavorevoli condizioni meteorologiche. Dalle indagini della distribuzione spaziale del carico inquinante perpendicolarmente agli assi di transito, effettuate con l'ausilio di sistemi di analisi mobili, si è potuto evidenziare che nelle vallate l'influsso del trasferimento di traffico si è fatto sentire in una fascia di oltre 1 km attorno all'autostrada. Dopo la riapertura del Gottardo a Erstfeld, su tutta la sezione della valle, si è registrato nei giorni feriali un carico inquinante di ossidi di azoto quattro volte superiore a quello misurato durante la chiusura. Invece nel Canton Grigioni nei pressi di Maienfeld - nel periodo di chiusura del Gottardo - nei giorni feriali si sono registrati su tutta la sezione della valle delle concentrazioni di  $\text{NO}_x$  quattro volte superiori a quelle dei giorni festivi (anche se più bassi rispetto a Uri). Risultati simili agli ossidi di azoto sono stati ottenuti per le polveri ultrafini (< 300 nm). Durante il periodo della chiusura nella Mesolcina il carico di particelle ultrafini è stato tre volte superiore a quello registrato contemporaneamente in Riviera o in Leventina. Le concentrazioni di polveri ultrafini diminuiscono sensibilmente allontanandosi dagli assi di traffico e nei luoghi rialzati rispetto al fondovalle. In generale nelle vallate alpine attraversate da assi di transito le concentrazioni di queste polveri sono molto elevate e superano abbondantemente i valori registrati nelle ore di punta in Città come quella di Zurigo.

In sintesi si può affermare, che un trasferimento di 1'000 veicoli pesanti al giorno dall'asse del S. Gottardo a quello del S. Bernardino ha a livello di  $\text{NO}_x$  come conseguenza una riduzione delle immissioni medie giornaliere di 18 ppb lungo la A2 e un aumento delle stesse di 33 ppb lungo la A13. Per le concentrazioni medie giornaliere di diossido di azoto e di polveri fini PM10 ci si deve invece attendere delle variazioni di  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  rispettivamente  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al trasferimento di 1'000 camion al giorno. L'esatta entità di queste variazioni dipende evidentemente dal luogo come pure dalla stagione. Questi risultati, che coincidono con le elaborazioni eseguite con l'ausilio di modelli matematici per la valle del Reno, e la distribuzione spaziale degli inquinanti evidenziano una volta di più l'importanza delle emissioni del traffico pesante per gli ecosistemi sensibili delle strette vallate alpine e per la popolazione che vi risiede.

**Inquinamento fonico:** Analogamente all'inquinamento dell'aria, durante la chiusura della galleria del S. Gottardo si sono potute constatare delle importanti variazioni del rumore. Più precisamente l'inquinamento fonico è diminuito lungo la A2 (nella Riviera, nella Leventina e nella valle della Reuss) di 2 dB, mentre è aumentato di 1 dB nei pressi di Coira. Nel Rheinwald (la regione tra Andeer e Hinterrhein) l'aumento dell'inquinamento fonico ha toccato addirittura i 4 dB. I dati relativi al rumore sono stati analizzati in maniera approfondita dal profilo della distribuzione spettrale e della statistica del livello sonoro. In tal modo si è potuto constatare che il volume di traffico pesante influenza in maniera determinante il livello sonoro a basse frequenze (63-80 Hz). Misure effettuate nei pressi di Coira ha fatto registrare delle variazioni fino a 6 dB. Ciò corrisponde ad un cambiamento percettibile del rumore. Dopo la riapertura del S. Gottardo, sia in Ticino (Riviera e Leventina) che nei Cantoni Uri il livello sonoro a basse frequenze è aumentato di quasi 10 dB durante il giorno, mentre è rimasto invariato durante la notte, quando comunque non circolano veicoli pesanti. Gli effetti osservati sono da ricondurre al traffico pesante, che a causa delle elevate emissioni a basse frequenze si distingue chiaramente dal traffico leggero.

**Conclusioni:** Tenendo conto delle condizioni meteorologiche locali (inversioni e venti) è stato possibile spiegare le variazioni delle immissioni sulla base di quelle dei volumi di traffico. Le conoscenze ricavate in tal modo potranno essere utilizzate in futuro per fare delle prognosi su scenari futuri di evoluzione del traffico. Parallelamente è stata mostrata la grande utilità di un monitoraggio permanente e coordinato dei carichi inquinanti (aria e rumori) lungo i due assi di transito (A2 e A13). In tale contesto si inserisce il progetto MfM-U della Confederazione per monitorare l'efficacia ambientale delle misure fiancheggiatrici per il trasferimento del traffico delle merci dalla strada alla rotaia. Per la Svizzera italiana è importante ribadire in questo ambito l'importanza dell'Osservatorio ambientale (OASI), vero e proprio piattaforma di scambio e di analisi di dati sul traffico.

Le analisi eseguite in concomitanza con la chiusura del tunnel del S. Gottardo alla fine del 2001 hanno mostrato la stretta relazione tra volumi di traffico ed immissioni, che nelle vallate, a causa della topografia e della meteorologia generalmente, sfavorevoli può essere notevolmente amplificata. Al momento l'evoluzione del traffico e quindi anche quella delle immissioni atmosferiche e foniche sono di difficile previsione. Una cosa è comunque certa: esse dipenderanno dalle scelte che verranno fatte in futuro a livello di politica svizzera ed europea dei trasporti.

<sup>1</sup> Fonte: Verkehrszahlen ASTRA 2000



Un accident survenu dans le tunnel routier du Gotthard a entraîné la fermeture de l'A2 à l'ensemble du trafic à partir du 24 octobre 2001 (10 heures). Pendant les travaux de réparation du tunnel, les poids lourds ont été détournés par le San Bernardino (A13) jusqu'au 21 décembre 2001 (17 heures). Cette déviation de circulation a provoqué des modifications marquées des niveaux de pollution et de bruit dus au trafic le long de ces deux axes alpins suisses de transit.

Durant la fermeture du tunnel routier Gotthard, plusieurs analyses ont été menées concernant les modifications des niveaux de pollution et de bruit dans la vallée de la Reuss, la vallée du Rhin, le Val Mesolcina et la Riviera/Léventine, ceci sous la direction des services de l'environnement des cantons d'Uri, des Grisons et du Tessin, ainsi que de l'OFEP. La présente étude décrit ces modifications, de même que celles du volume de trafic dans les vallées concernées avant (24 octobre-21 décembre 2000), pendant et après (7 janvier-15 février 2002) la fermeture de l'A2. Sont en outre abordés différents aspects de la distribution géographique des polluants de l'air dans les vallées alpines et des relations entre émissions, immissions et météorologie (problématique des lames d'air froid). De plus, il est fait référence à diverses autres études réalisées dans le cadre de cette fermeture.

**Volume de trafic:** En 2000, 6,83 millions de véhicules, dont plus de 1,4 million de véhicules lourds utilitaires (camions > 6 m; env. 20%), ont traversé le tunnel routier du Gotthard. Au San Bernardino, les fréquences ont été moins élevées: 2,35 millions de véhicules, dont quelque 250'000 véhicules lourds utilitaires (env. 10%)<sup>1</sup>. Pendant la fermeture de l'A2, le trafic des camions sur l'A13 les jours ouvrables a plus que quintuplé. En moyenne par jour ouvrable, 3'607 camions, soit 2'898 de plus qu'en 2001 avant la fermeture (janvier-septembre), ont emprunté l'A13. En raison notamment des fortes déclivités et des virages serrés que présente l'itinéraire du San Bernardino, cet énorme surcroît de trafic a provoqué régulièrement des surcharges et des accidents. Par rapport à la période correspondante de l'année antérieure, le volume total du trafic automobile lourd sur l'A2 et l'A13 était d'un tiers environ moins élevé pendant la fermeture, et même après la réouverture de l'A2 en janvier 2002, il était d'un quart environ moins élevé. En janvier 2002, un accroissement s'est toutefois amorcé sur l'itinéraire du San Bernardino, en dépit de la diminution du trafic automobile lourd dans son ensemble. L'évolution des émissions dues au trafic recoupe en grande partie l'évolution du nombre de véhicules lourds utilitaires empruntant ces axes.

**Météorologie:** Pour pouvoir comparer les immissions avant et pendant la fermeture du Gotthard, ainsi qu'en différents endroits, il faut tenir compte des diverses conditions météorologiques. Sur le versant nord des Alpes, les situations d'inversion thermique ont été un peu plus fréquentes entre octobre et décembre 2000 qu'en 2001, ce qui s'explique principalement par la sécheresse du mois de décembre. En général, les inversions sont plus fréquentes dans le canton d'Uri (vallée de la Reuss) que dans la vallée du Rhin sur le territoire des Grisons. Concernant les vents, ces deux vallées sont comparables, si ce n'est que la vitesse des vents a été un peu plus grande en 2000 qu'en 2001. Sur le versant sud des Alpes, s'agissant des précipitations, les deux mois concernés ont présenté une situation extrême, diamétralement opposée à celle qui a prévalu au cours de la même période de l'année antérieure: en effet, l'année 2000 a connu les crues du siècle, tandis que 2001 a été marquée par une forte sécheresse. En raison de hautes pressions stables, les inversions thermiques ont été beaucoup plus fréquentes en 2001. Pour évaluer les modifications des immissions, il a été tenu compte des variations des conditions météorologiques (inversions) pendant la fermeture de l'A2 et pendant la période correspondante de l'année antérieure.

**Immissions de polluants dans l'air:** Le report de trafic intervenu pendant la fermeture de l'A2 a entraîné une hausse marquée des concentrations polluantes le long de l'A13 et une nette baisse de celles-ci le long de l'A2. Par rapport à la même période de l'année 2000, les concentrations totales d'oxydes d'azote enregistrées par les stations de mesure ont augmenté de 142% à Roveredo et de 112% sur le contournement de Coire. Les concentrations de polluants inscrits dans l'OPair, à savoir le NO<sub>2</sub> et les PM10, se sont accrues respectivement de 38% et 32%. Des baisses correspondantes ont été enregistrées dans la vallée de la Reuss et dans la Léventine (Erstfeld: NO<sub>x</sub> -68%; NO<sub>2</sub> -29% et PM10 -9%; Bodio: NO<sub>x</sub> -58%; NO<sub>2</sub> -38% et PM10 +2%). Des analyses portant sur la diffusion spatiale des concentrations de polluants perpendiculairement aux deux axes alpins de transit considérés (mesures mobiles, mesures supplémentaires des immissions à Erstfeld à 300 m de l'A2) ont montré que ces modifications de la qualité de l'air touchaient les vallées en question dans leur totalité jusqu'à une distance de plus de 1 km de l'auto-route. Dans la vallée de la Reuss sur territoire uranais, les concentrations d'oxydes d'azote étaient, sur toute la largeur de la vallée à la hauteur d'Erstfeld, environ quatre fois plus élevées après la fermeture que pendant celle-ci;

on trouve le même rapport, mais inversé et avec des valeurs globalement plus basses, dans la vallée du Rhin sur territoire grison, où les concentrations d'oxydes d'azote étaient, sur toute la largeur de la vallée à la hauteur de Maienfeld, à peu près quatre fois plus élevées les jours ouvrables que le dimanche, ceci toujours durant la période de fermeture. Les particules ultrafines (< 300 nm) présentaient une distribution semblable à celle des oxydes d'azote. Pendant la fermeture, les concentrations de particules étaient trois fois plus élevées dans le Val Mesolcina que dans la Riviera/Léventine. Le gradient de diffusion augmente fortement avec l'éloignement par rapport à l'autoroute et avec l'altitude. Globalement, les concentrations sont très élevées dans les vallées alpines à fort trafic; elles sont plusieurs fois supérieures à celles que l'on peut mesurer en ville de Zurich aux heures de pointe, par exemple. En résumé, on peut dire qu'une modification du trafic de 1'000 poids lourds par jour entraîne une hausse de 36 ppb le long de l'A13 et une baisse des NO<sub>x</sub> de seulement 16 ppb le long de l'A2. La baisse ou la hausse prévisible avec 1'000 poids lourds supplémentaires est de 7 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub> et de 2 µg/m<sup>3</sup> pour les PM10. Les hausses ou les baisses effectives dépendent de l'emplacement, mais aussi de l'époque de l'année. Les hausses mesurées dans la vallée du Rhin concordent avec les résultats d'une modélisation de l'accroissement des concentrations de NO<sub>x</sub> dans cette même vallée. Ces modifications des concentrations de polluants dans l'air, mais aussi de la diffusion spatiale des polluants, expliquent le fort impact des émissions du trafic automobile lourd sur les écosystèmes sensibles des étroites vallées alpines et sur leurs habitants.

**Immissions phoniques:** Comme pour l'air, des modifications notables de l'intensité sonore sont intervenues durant la fermeture de l'A2. Dans la Léventine/Riviera et dans la vallée de la Reuss, le niveau global des émissions phoniques a diminué d'environ 2 dB(A) pendant la fermeture, alors qu'il a augmenté dans les Grisons. Si l'intensité sonore a augmenté de 1 dB dans la vallée du Rhin, des hausses dont l'ampleur pouvait atteindre 4 dB ont été mesurées dans les Grisons (Rheinwald). Des analyses approfondies de la répartition spectrale du bruit et de la distribution statique du niveau de bruit (globalement et pour les fréquences déterminantes) dans la vallée du Rhin, près de Coire, ont révélé de fortes modifications lorsque le volume de trafic poids lourds est important. Ces modifications peuvent être résumées comme suit: dans les basses fréquences, on constate des hausses marquées du niveau de bruit, dans une mesure pouvant aller jusqu'à 6 dB (bandes de fréquences de 63 à 80 Hz). Des hausses de cette ampleur entraînent déjà une modification perceptible de la «qualité» du bruit. Par rapport aux jours ouvrables, les pics sonores sont plus élevés le week-end et plus faibles la nuit. Les jours ouvrables, la charge sonore est toutefois répartie sur un laps de temps plus long. Dans la Léventine/Riviera et dans la vallée de la Reuss, la dispersion des niveaux de bruit statique dans les basses fréquences s'est même déplacée de plus de 10 dB vers le haut durant la journée après la réouverture du tunnel du Gotthard, mais elle ne s'est pas modifiée durant la nuit. Ces modifications des immissions phoniques sont imputables au trafic poids lourds, lequel, avec sa proportion élevée de basses fréquences, se distingue nettement du trafic automobile léger.

**Conclusions:** Les immissions mesurées dans le cadre de ces modifications temporaires des émissions sont expliquables par les conditions atmosphériques locales (inversions thermiques et vents) telles qu'on les connaît, ainsi que par le volume de trafic. Les résultats obtenus auront leur importance pour l'évaluation de l'impact de l'évolution future du trafic sur la qualité de l'air. En même temps, on perçoit en Suisse l'intérêt d'une surveillance permanente et coordonnée des concentrations de polluants et des charges phoniques, de même que de la météorologie, le long des deux axes de transit interdépendants que sont l'A2 et l'A13. Une telle surveillance sera mise en place dès cette année par la Confédération et les cantons dans le cadre du programme de monitoring des mesures d'accompagnement dans le domaine environnemental (MfM-U); elle viendra compléter les points de mesure exploités par les cantons.

Les analyses et observations faites dans le contexte de la fermeture du Gotthard en 2001 ont mis en évidence la forte réactivité des immissions aux variations du trafic dans les vallées alpines, ainsi que l'influence des conditions météorologiques sur ces immissions. L'évolution à venir du trafic et, partant, de la qualité de l'air et du niveau de bruit n'est pas encore prévisible et dépendra fortement de la future politique suisse et de l'Europe des transports.

<sup>1</sup> Source: Données chiffrées sur le trafic, OFROU 2000



On 24 October 2001 (10.00 hours), an accident in the St. Gotthard road tunnel led to the closure of the A2 to all traffic. During the repair work, which lasted until 21 December 2001, heavy traffic was redirected over the San Bernardino (A13) route. The resulting redistribution of traffic caused marked alterations in the air pollution and noise exposure attributable to road traffic along these two Swiss Alpine transit axes.

During the closure, several air and noise pollution investigations in the Reusstal, Rheintal, Misox and Riviera/Leventina were carried out under the direction of the environmental agencies in the Cantons of Uri, Grisons and Ticino in cooperation with the SAEFL. The present study quantifies the traffic frequencies and air pollution in the valleys concerned before (24 October - 21 December, 2000), during and after (7 January - 15 February, 2002) the closure. The distribution of air pollutants in the Alpine valleys and the relationship between emission, exposure and meteorology (including the fog-hollow phenomenon) are treated. Mention is also made of other studies carried out in connection with the closure.

**Traffic frequency:** in 2000, 6.83 million vehicles passed through the St. Gotthard road tunnel. Of these, over 1.4 million were heavy vehicles (of which about 20% were lorries > 6m in length). On the San Bernardino route, traffic frequency was lower, namely 2.35 million vehicles, of which some 250 000 were heavy vehicles (about 10%)<sup>1</sup>. During closure of the A2, heavy vehicle traffic on the A13 increased more than five-fold during the week. On weekdays, an average of 3607 lorries traversed the A13 - 2898 more than the average for 2001 before the closure (January - September). This massive increase in traffic over the San Bernardino, coupled with the unfavourable topography and the sharp bends, led to frequent congestion and to accidents. Taken together, total heavy traffic frequency for the A2 and A13 decreased during the closure by about a third compared to the corresponding period the previous year. Following reopening of the A2 in January 2002, it remained about a quarter below the period mentioned. Despite the reduction in total heavy traffic, the measurements for January 2002 indicate an increase on the San Bernardino route. Traffic-related pollutant emission shows substantially the same tendency as for heavy vehicle frequency.

**Meteorology:** to compare exposure before and during closure of the St. Gotthard, and also that between sites, the prevailing meteorological conditions must be considered. To the north of the Alps, more inversions were recorded in 2000 in the period between October and December than in 2001 over the same period, and this was mainly due to the very dry December in 2000. In the Canton of Uri (Reusstal), more inversions are generally recorded than in the Rheintal in Grisons. With regard to windspeed, the two valleys are comparable, whereby generally higher windspeeds were recorded in 2000 than in 2001. To the south of the Alps, precipitation was very extreme in the two-month periods in the years concerned. While record floods occurred in 2000, 2001 was characterised by extreme drought. In the latter year, significantly more inversions occurred owing to the stable high pressure conditions. In estimating exposure changes, the meteorological conditions prevailing during closure of the A2, and during the same period the previous year, were taken into account.

**Air pollution:** the redistribution of traffic that occurred as a result of the closure led to a marked increase in air pollution along the A13 and to a significant reduction along the A2. Compared to the same period in 2000, total emission of nitrogen oxides increased by +142% at the air pollution monitoring station at Roveredo, and by +112% at the Chur bypass. For the air pollutants covered by the OAPC, namely NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>, the increases were +38% and +32% respectively. Corresponding reductions were recorded in the Reusstal and the Leventina (Erstfeld: NO<sub>x</sub> -68%; NO<sub>2</sub> -29% and PM<sub>10</sub> -9%; Bodio: NO<sub>x</sub> -58%; NO<sub>2</sub> -38% and PM<sub>10</sub> +2%). Investigations of air pollution exposure at a distance from the transit axes (mobile measurements and additional exposure measurements in Erstfeld at 300m from the A2) have shown that both valleys were subject to changes in air pollution up to distances of more than 1 km from the highway. Over the entire area of the Urner Reusstal near Erstfeld, exposure to nitrogen oxides was about four times higher after the closure than during it. Over the whole Rheintal valley near Maienfeld, nitrogen oxide exposure during the closure was about four times higher on weekdays than on Sundays. In absolute terms, however, it proved lower than before the closure. The ultrafine particles (<300nm) showed a similar distribution pattern to that of nitrogen oxides. In Misox, particle exposure during the closure was three times higher than in the Riviera/Leventina.

The exposure displays steep gradients with respect both to distance from the highway and to altitude. In general, pollutant concentrations in the Alpine valleys that are subject to heavy traffic are very high - much higher, for example, than in the City of Zurich during peak periods.

In conclusion, it can be stated that a change of 1000 lorries per day leads to an increase of 36 ppb along the A13 and a reduction of 16 ppb in  $\text{NO}_x$  along the A2. For  $\text{NO}_2$ , the corresponding reduction or increase was  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$  per 1000 lorries, and for  $\text{PM}_{10}$ ,  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The absolute values depend on location and the time of year. In the Rheintal, the measured increase in  $\text{NO}_x$  corresponds well with results from the analytical model. The changes recorded in air pollution and the spatial distribution of pollutants clearly illustrate the enormous influence that pollutant emission from heavy traffic has on the sensitive ecosystems in the narrow Alpine valleys and on the people living there.

**Noise exposure:** as with air pollution, noise exposure changed significantly during the closure. While total noise exposure in the Leventina/Riviera and in Reusstal declined by about 2 dB(A) during the closure, there was an increase in Grisons. In the Rheintal, noise exposure increased by 1 dB, while in the Rheinwald in Grisons, an increase of 4 dB was measured. Detailed investigations in the Rheintal near Chur have shown that at high heavy vehicle frequencies, substantial changes in the spectral distribution of noise and in static noise distribution (both globally and at given frequencies) occur. The results may be summarised as follows: at low frequencies, a significant increase in the noise level of up to about 6 dB occurs (frequency band 63 - 80Hz). This corresponds to a noticeable change in noise level. Noise peaks over the weekend are higher - and the nights are louder - than on weekdays. On weekdays, however, the noise exposure is spread over a longer period. Following reopening of the St. Gotthard, the static low-frequency noise distribution curves for the Leventina/Riviera and Reusstal during daytime were displaced upwards by more than 10 dB. During the night, they remained unchanged. The changes in noise exposure described are attributable to the heavy vehicle traffic, which differs significantly from passenger traffic in having a higher percentage of low frequencies.

**Conclusions:** exposure resulting from temporary changes in emission was predicted based on a knowledge of the local inversion conditions, windspeed and traffic frequency. The results obtained will enable the pattern of air pollution resulting from future changes in traffic distribution to be estimated. Furthermore, the value of continuous and co-ordinated monitoring of air pollution and noise exposure, together with meteorological measurements, along the two interdependent transit axes A2 and A13 in Switzerland was shown. A monitoring system is to be set up by the Confederation and the cantons in 2002 under the MfM-U program (monitoring of flanking measures - environment sector), which will supplement the measurements already being undertaken by the cantons.

The observations and studies carried out in 2001 in connection with the closure of the St. Gotthard tunnel have clearly shown that exposure in the Alpine valleys is very sensitive to changes in traffic patterns, and depends intimately on the meteorological conditions. Future traffic patterns and the resulting changes in pollutant and noise exposure are not yet predictable. These will depend heavily on national and European traffic policies in the future.

<sup>1</sup>Source: ASTRA 2000 Traffic Data



Der gesamte alpenquerende Verkehr hat in den letzten 10-20 Jahren massiv zugenommen. Die Luftqualität im Alpenraum wird durch diese Emissionen stark beeinträchtigt. Das Unglück im Gotthardtunnel vom 24. Oktober 2001 führte zu einer Umlagerung des Verkehrs auf die San Bernardino Route. Diese wesentliche Veränderung der Emissionen entlang der beiden Alpentransitachsen wurde dazu genutzt, um den Beitrag des Transitverkehrs an der Luftqualitätsverminderung und an der Lärmeinwirkung in diesen Tälern besser zu quantifizieren.

Bisherige Untersuchungen der Luftbelastung in Alpentransittälern haben diese Regionen als lufthygienisch sensible Räume ausgewiesen: Die dort von einer bestimmten Emissionsmenge verursachte Immission ist wesentlich höher als im flacheren Land, und die Abnahme der Immissionen mit zunehmendem Abstand von der Verkehrsachse verläuft oft flacher als ausserhalb des Gebirges. Sachverhalte und lufthygienische Zusammenhänge die ausserhalb der Gebirgsregion vorgefunden wurden, können also nicht auf Alpentäler übertragen werden.

Für den vorliegenden Bericht wurden umfassende Daten zusammengestellt und ausgewertet: An mehreren Zählstellen wurde der Verkehr entlang der Transitachsen Gotthard und San Bernardino erfasst. An einer Reihe von Messstellen wurden die lufthygienischen Immissionen und der Lärm gemessen. Die meteorologischen Bedingungen, die einen grossen Einfluss auf die Ausbreitung der Immissionen und des Lärms haben, wurden für alle untersuchten Talschaften ermittelt und in die Vergleiche einbezogen.

Untersuchungen wurden zu folgenden Themen durchgeführt: Quantifizierung des Beitrags der schweren Nutzfahrzeuge zu den Luftschadstoffen und zum Lärm in den Alpentransittälern; räumliche Verteilung der Immissionen rund um die Transitautobahnen; Modellierung der Stickoxid-Zusatzbelastung im Bündner Rheintal und Charakterisierung der Feinstaubbelastung in Autobahnnähe.

Die wirksame Beobachtung der Verkehrsentwicklung und die Erfolgskontrolle verkehrspolitischer Massnahmen setzen laufend aktuelle Grundlagedaten und deren Interpretation voraus. Die kantonalen Fachstellen und das BUWAL hoffen, mit den anlässlich der Gotthardsperrung initiierten Untersuchungen einen wichtigen Schritt in dieser Richtung getan zu haben. Die kantonalen Fachstellen und das BUWAL möchten alle Beteiligten für die raschen Datenlieferungen und die Auswertungen danken. Eine Gesamtübersicht über die durchgeführten Projekte, die beteiligten Institutionen und die daraus resultierenden Veröffentlichungen sind am Schluss dieses Berichtes zu finden.



Für die Auswertungen wurden die Messdaten von verschiedenen kantonalen und nationalen Luftmessstationen und Verkehrszählstellen verwendet. Die folgenden Tabellen und Grafiken geben eine Übersicht über Messgrößen und die geografische Lage dieser Datenerhebungsstellen.

Talschaft	Zählstelle Gesamtverkehr	Zählstelle Anteil Schwerverkehr	Windmessung	Atmosphärische Temperaturschichtung	Immissionsmessstationen
Bündner Rheintal	Maienfeld	%-Anteil von Kerenzberg	Chur Industrie	TP Haldenstein	Chur RhB, Malans
Umfahrung Chur	Obere Au	%-Anteil von Kerenzberg	Chur Industrie	TP Haldenstein	Chur - Industrie
Misox	Roveredo	abs. Anzahl von Bernardino-Tunnel	Roveredo	TP San Vittore / Temp. Diff. Roveredo - Castaneda	Roveredo
Leventina/Riviera	Biasca Süd	%-Anteil von Gotthardtunnel	Roveredo, Moleno	TP Moleno / Temp. Diff. Magadino - Locarno-Monti	Bodio, Moleno
Urner Reusstal	Erstfeld	abs. Anzahl von Gotthardtunnel	Erstfeld	TP Erstfeld	Altdorf-Gartenmatt, Erstfeld

**Tabelle 3.1.:** Übersicht über die Verkehrszählstellen, die Immissionsmessstationen und die Standorte der Temperatur- und Windmessstandorte. Zudem sind die für die Abschätzung des Schwerverkehrsaufkommens nötigen Informationen aufgelistet. Während der Gotthardsperrung wurde folgendes Schwerverkehrsaufkommen angenommen: Riviera/Leventina (Gesamtzahl von Biasca Süd mit 5% Schwerverkehr), Urner Reusstal: Gesamtzahl von Erstfeld mit 5% Schwerverkehr.

#### Immissionskomponenten je Luftmessstation:

**Tabelle 3.2.:** Übersicht über die Luftschadstoffe die in den verschiedenen Immissionsmessstationen erhoben wurden.

Station	NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub>	PM10 (Digital)	Russ-Konz.
Chur RhB	X		
Malans	X	X	
Chur Industrie	X	Eberline	X
Roveredo	X	Eberline	X
Bodio, Moleno	X	X	
Altdorf-Gartenmatt	X	X	
Erstfeld	X	X	



Die räumliche Verteilung der Luftschadstoffe (Gase und Aerosole) wurde an insgesamt 20 Tagen im Misox, in der Riviera / Leventina, im Bündner Rheintal und im Urner Reusstal mit zwei mobilen Messfahrzeugen erhoben. Neben den Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) und dem Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), wurden die PAH (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), die Aerosol Grössenverteilungen, das  $\text{PM}_{2.5}$ , der Russ und die wichtigsten meteorologischen Grössen (Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchtigkeit) gemessen.

### Geografische Übersicht über die Luftmessstationen in den Kantonen Graubünden, Uri und Tessin.

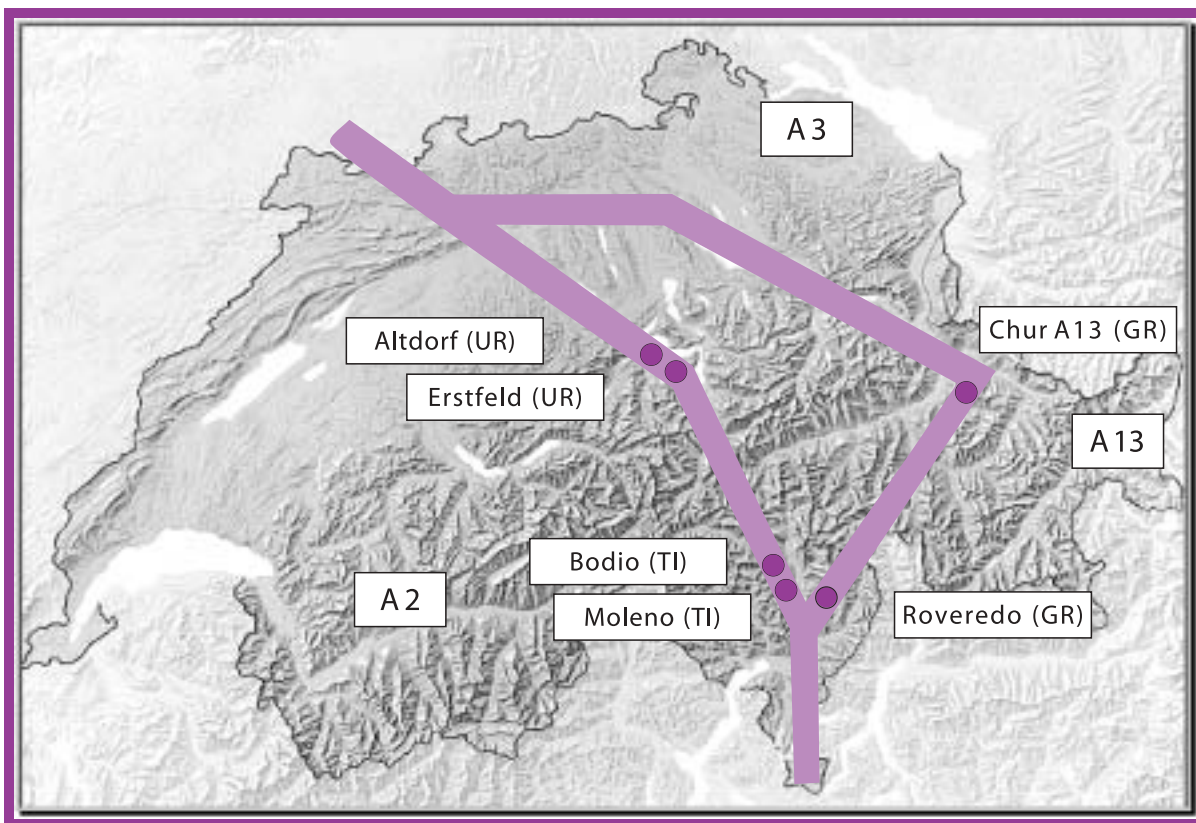


Abbildung 3.1.: Übersicht über die geografische Lage der verschiedenen Immissionsmessstationen in den Kantonen Graubünden, Uri und Tessin.

## Verkehrszahlen und Emissionen am Gotthard und San Bernardino<sup>1</sup>

Das Verkehrsaufkommen während der Sperrung führte entlang der A13 zur einer deutlichen Zunahme der Emissionen und entlang der A2 zu einer deutlichen Reduktion der Emissionen. Im folgenden werden das Verkehrsaufkommen und die Emissionen für jede Talschaft von Okt. - Dez. 2000 und 2001 miteinander verglichen. Die Emissionen wurden dazu mit Hilfe der Verkehrszählungen (Quellen: Bundesamt für Strassenbau, kantonale Tiefbauämter) und der Emissionsfaktoren (gem. BUWAL 255) abgeschätzt. Für die A2 und die A13 sind zudem das Verkehrsaufkommen und die Emissionen auch nach der Wiedereröffnung bis Ende Feb. 2002 aktualisiert worden.

### Der Vergleich des Verkehrsaufkommens (LKW, Busse > 6m Länge) für die Zeiträume Oktober - Dezember 2000 und 2001; Entwicklung 2002

**A2 (Gotthard) Vergleich 2000 und 2001:** Während der Gotthardsperrung wurde die A2 praktisch nur noch vom Regionalverkehr befahren, wobei der Anteil in Biasca beträchtlich grösser war als in Erstfeld. Der Anteil an LKW und Bussen betrug noch ein Zwanzigstel bis ein Zwölftel des Vorjahres. Nach Weihnachten bis zum Jahresende blieb der Verkehr trotz der Wiedereröffnung deutlich unter den Vorjahreswerten.

**A13 (San Bernardino) Vergleich 2000 und 2001:** In Roveredo hat sich die Anzahl LKW und Busse verglichen mit dem Vorjahr während der Gotthardsperrung etwa werktags vervielfacht, im Bündner Rheintal knapp verdoppelt; letzteres, weil im Rheintal ein grosser Anteil von Lastwagen und Bussen im Regionalverkehr besteht.

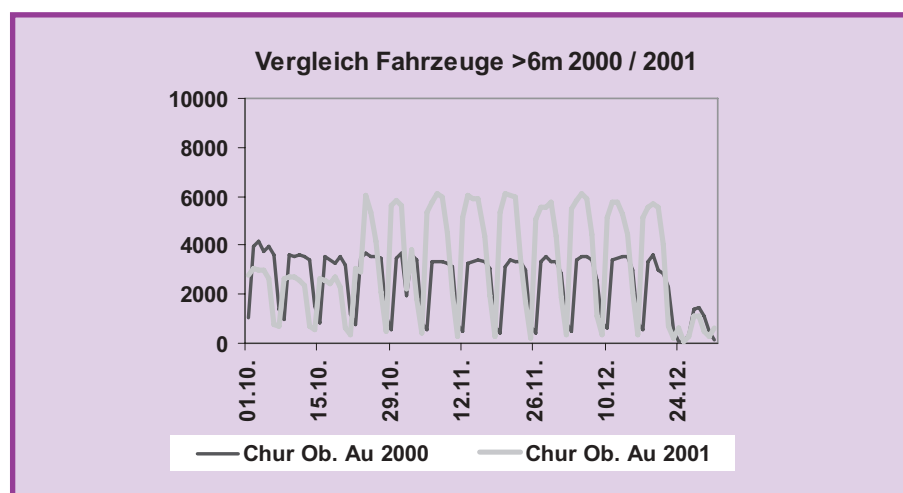
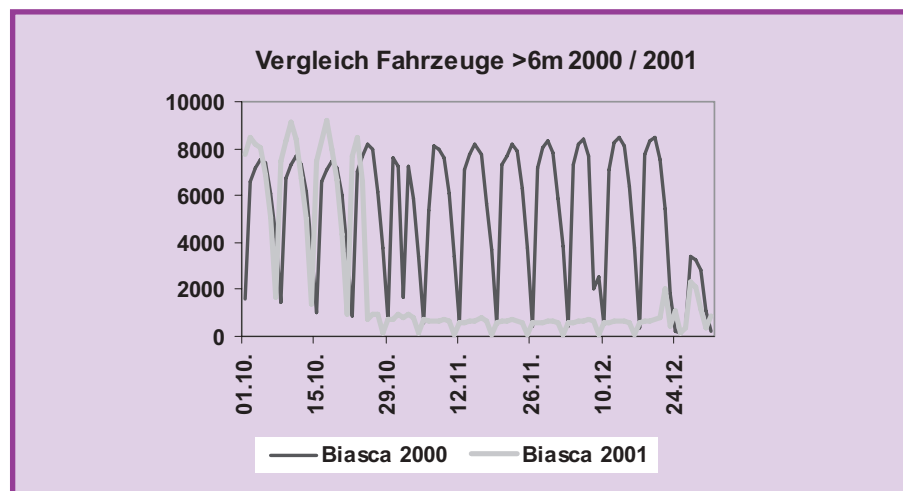
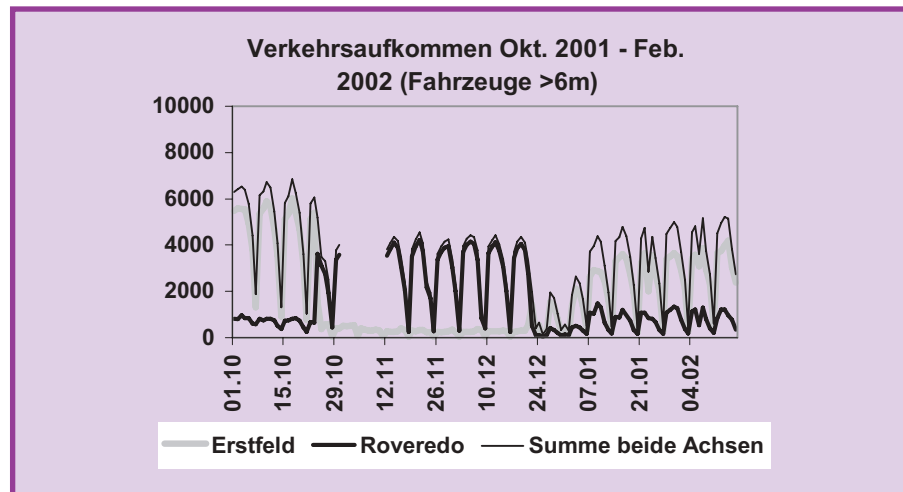
**Summe beider Transitachsen, Entwicklung 2002:** Die Zählstellen Erstfeld (A2) und Roveredo (A13) weisen sehr kleine Anteile am Regionalverkehr bei den LKW und den Bussen auf. Ihre Summe kann deshalb als Summe des Transitverkehrs über beide Achsen genommen werden. Der gesamte Transitverkehr über Gotthard und San Bernardino sank während der Gotthardsperrung um etwa ein Drittel. Nach Neujahr 2002 nahm das Verkehrsaufkommen über den San Bernardino deutlich ab, blieb aber immer noch etwa anderthalbmal so hoch wie im Oktober vor der Sperrung. Am Gotthard blieben die Transitzahlen des Güterverkehrs und der Busse deutlich unter den Werten vom Oktober vor der Sperrung, wuchsen aber seit anfangs Januar 2002 wieder kontinuierlich an. Ende Februar erreichten die gesamten Transitzahlen an beiden Achsen wieder etwa 80% der Werte vom Oktober vor der Sperrung. Die Einführung des Einbahnverkehrs führten zusammen mit dem Staumanagement seit Jan. 2002 zu einer Zunahme des Schwerverkehrs auf der A13 im Vergleich zum Jahre 2000 von 15%.

	Gotthard		San Bernardino	
	LKW (>6m)	Gesamtverkehr	LKW (>6m)	Gesamtverkehr
2000 (Jahresmittel DTV)	3835	18700	678	6416
2001 (DTV Jan.-Sept.)	4248	19790	709	
2001 (DTV 24.10.-21.12.)	0	0	2923	6254
2002 (Jan., Feb.)	2659	10724	779	3995

**Tabelle 3.2.:** Übersicht über die Verkehrsaufkommen vor, während und nach der Sperrung im Gotthard und San Bernardino Tunnel, alle Tage. DTV: Durchschnittlicher täglicher Verkehr. Quelle: Bundesamt für Strassenbau, AfU TI, TBA GR.

<sup>1</sup>Auswertungen und Berichterstattung: ökoscience





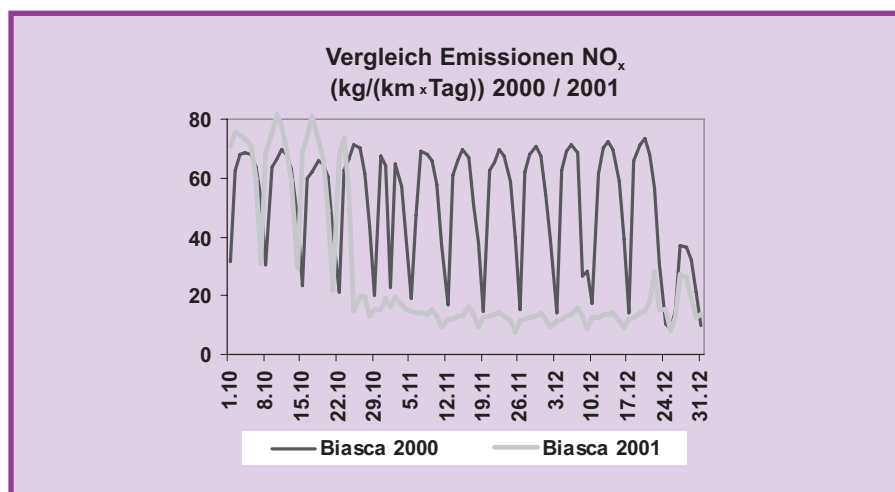
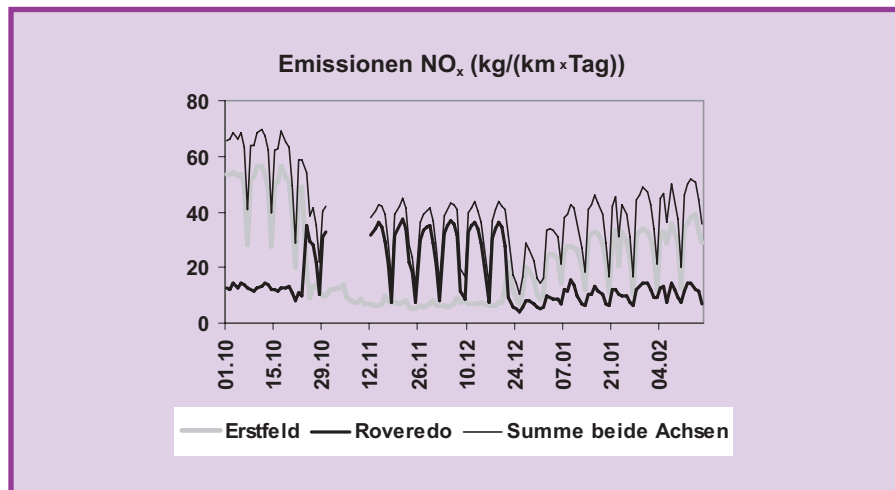
**Abbildung 4.1:** Übersicht über die Verkehrsentwicklung der LKW (Lastwagen mit Längen grösser als 6m) entlang der A2 und A13 in den Zeiträumen Okt. 2001 bis - Jan. 2002 (Erstfeld, Roveredo), sowie der Vergleich mit dem Vorjahr (Biasca, Chur). Deutlich zu sehen sind die Verkehrszunahmen entlang der A13 und die Abnahmen entlang der A2 während der Gotthardspernung.

## Vergleich der NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen für die Zeiträume Oktober - Dezember 2000 und 2001

Wegen der Dominanz der Fahrzeuge >6m im Emissionsbereich und des Umstandes, dass auch die Personenwagen die Umlagerungen tendenziell mitgemacht haben, zeigen die Verläufe der Emissionen in den verschiedenen Talschaften in etwa das gleiche Bild wie die Verkehrszahlen.

Für die Abschätzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen wurden je Fahrzeugkategorie die folgenden mittleren Emissionsfaktoren gem. BUWAL 255 (Euro 2) verwendet:

Fahrzeuge <6m (Personenwagen, Motorräder)	0.72 g/km
Fahrzeuge 6-12.5m (Busse, Lastwagen, PW mit Anhänger)	5.77 g/km
Fahrzeuge >12.5m (Lastenzüge)	8.02 g/km

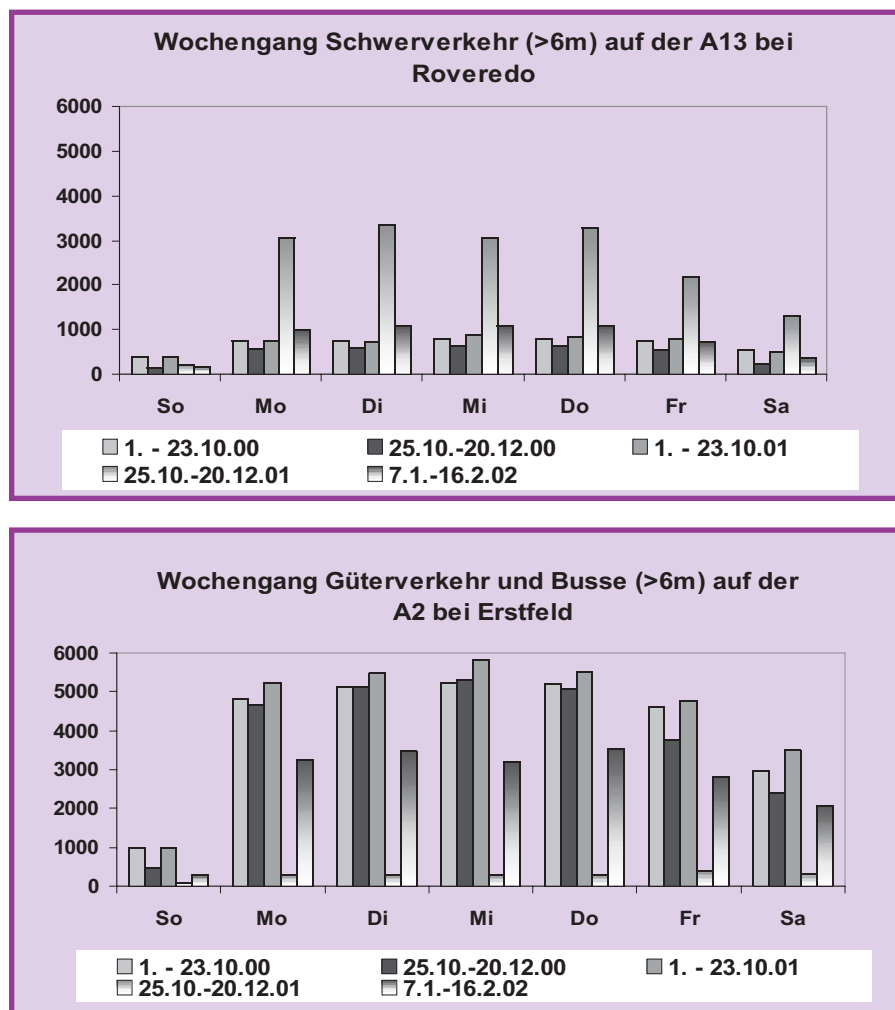


**Abbildung 4.2.:** Übersicht über die Entwicklung der Emissionen des Gesamtverkehrs entlang der A2 und A13 in den Zeiträumen Okt. 2001 bis - Jan. 2002 (Erstfeld, Roveredo), sowie der Vergleich mit dem Vorjahr (Biasca). Deutlich zu sehen sind die Emissionszunahmen entlang der A13 und die Abnahmen entlang der A2 während der Gotthardsperrung.



## Wochengang des Verkehrsaufkommens

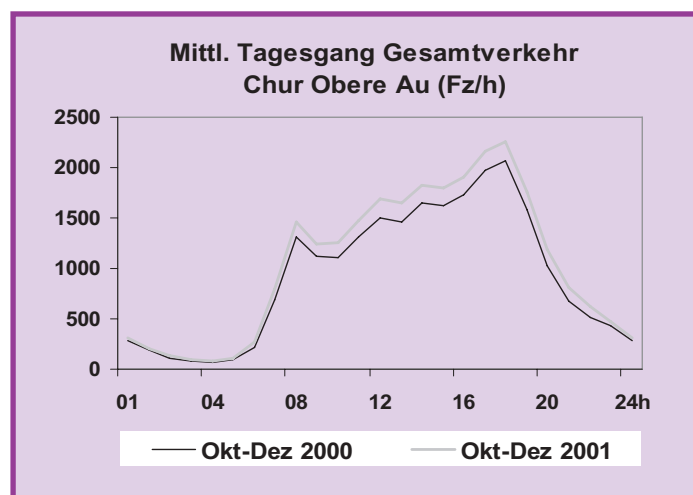
Der Lastwagen- und Busverkehr auf den beiden Transitachsen weist einen typischen Wochengang auf, welche sich auch während und nach der Sperrung nicht änderten. Die LKW und Busse (Fahrzeuge >6m) weisen ihr grösstes Aufkommen von Montag bis Donnerstag auf. Freitag und Samstag ist das Verkehrsaufkommen geringer. Am wenigsten Schwerverkehr herrscht am Sonntag. Die relative Verteilung unter den Wochentagen ist durch die Gotthardsperrung kaum beeinflusst worden. Die folgenden Grafiken zeigen die Wochengänge von fünf verschiedenen Zeitperioden vor, während und nach der Sperrung auf der A2 (Erstfeld) und A13 (Roveredo). Der Vergleich zwischen den beiden Phasen 1. - 23. Oktober der Jahre 2000 und 2001 weist auf die generelle Zunahme des Transitverkehrs vor der Gotthardsperrung hin und macht sich besonders deutlich auf der A2 bemerkbar. Auf der A13 zeichnet sich im Jahre 2002 (Werktage Mo - Do) eine Zunahme des Schwerververkehrs von ca. 20% ab.



**Abbildung 4.3.:** Übersicht über das Verkehrsaufkommen der LKW und Busse (Fahrzeuge mit Längen grösser als 6m) in Roveredo und in Erstfeld in den Zeiträumen Okt. 2001 bis - Jan. 2002, sowie vom Okt. - Dez. 2000 auf der Basis von Wochengängen. Deutlich zu sehen sind die Verkehrszunahmen entlang der A13 und die Abnahmen entlang der A2 während der Gotthardsperrung.

## Tagesgang des Gesamtverkehrs bei der Oberen Au in Chur (A13)

Der Mehrverkehr auf der A13 hat sich während der Sperrung prozentual gleichmässig über den Tag verteilt. Der Tagesgang des Verkehrs war von Oktober - Dezember 2001 sehr ähnlich wie im Vorjahr: Nach einem raschen Anstieg der Verkehrszahlen von 5 - 8 Uhr folgt ein flacherer, aber stetiger Anstieg mit einem Maximum um 18 Uhr. Am späten Abend nahm das Verkehrsaufkommen in der Folge rasch ab. Der Zusatzverkehr äusserte sich bei der Umfahrung Chur mit einer Zunahme am DTV (2000: 25961) um rund 10%.



**Abbildung 4.4.:** Wochengang des Verkehrsaufkommens des Gesamtverkehrs auf der A13 in Chur in den Zeiträumen Okt. - Dez. 2000 und 2001. Deutlich zu sehen ist die Verkehrszunahme während der Gotthardsperrung.



## 5.1. Vergleich der Luftbelastung vor und während der Sperrung des Gotthard<sup>1</sup>

### 5.1.1. Klimatische Bedingungen während den beiden Vergleichsperioden

Die Immissionen in einem bestimmten Gebiet sind einerseits abhängig von den Emissionen in der Umgebung, andererseits aber auch von den meteorologischen Bedingungen. Besonders in den engen Alpentälern werden die Schadstoffe bei schlechten Austauschbedingungen (u.a. bei Inversionen) nicht abtransportiert sondern sammeln sich in einem begrenzten Talvolumen an. Die Temperaturschichtung und der Wind sind die wichtigsten Einflussfaktoren für den Austausch der Luftmassen. Die folgenden Vergleiche beschreiben die meteorologischen Bedingungen von Ende Oktober bis Dezember 2000 (Normalverkehr) im Vergleich mit der gleichen Zeitperiode 2001 (Gotthardsperrung). Die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen werden in der Folge bei der Bestimmung der Immissionsveränderungen berücksichtigt. Ein erster Überblick über die beiden Vergleichsperioden ergibt sich anhand der Monats- und Jahresbulletins der Meteo Schweiz. Diese ermöglichen eine qualitative Einordnung und eine Aussage über die grossräumige Atmosphärensichtung. Auf der Alpensüdseite war der Herbst 2001 extrem trocken, was auf eine stabile Hochdrucklage zurückzuführen ist. Diese sorgte für nahezu permanente Inversionslagen. Im Gegensatz dazu traten im Jahr 2000 extreme Niederschlagsereignisse auf. Diese sorgen grundsätzlich für eine Verbesserung der Luftqualität. Da sie aber innert weniger Tage fielen, traten stabile Inversionslagen trotzdem sehr häufig auf. Das Wetter auf der Alpennordseite war in beiden Jahren stärker variabel und – wie für diese Jahreszeit typisch – von häufigen Frontendurchgängen geprägt. Im Mittel waren sich die beiden Jahre aber sehr ähnlich. Niederschlagsfreie Zeiten waren im Urner Reusstal und im Bündner Rheintal oft dominiert vom Föhn, welcher ebenfalls zur Verbesserung der Luftdurchmischung beiträgt. Bezüglich der Temperatur fiel vor allem der Dezember 2000 auf, der auf der Alpennordseite um mehrere Grad wärmer war als der langjährige Durchschnitt. Diese Temperaturen waren zum Teil durch Föhn verursacht, zum Teil auch durch nächtliche Bewölkung, die die Ausstrahlung verringerte. Deshalb wurden die typischen winterlichen Schönwetterlagen mit starken Inversionen trotz dieser hohen Temperaturen nicht häufiger beobachtet als in anderen Jahren.

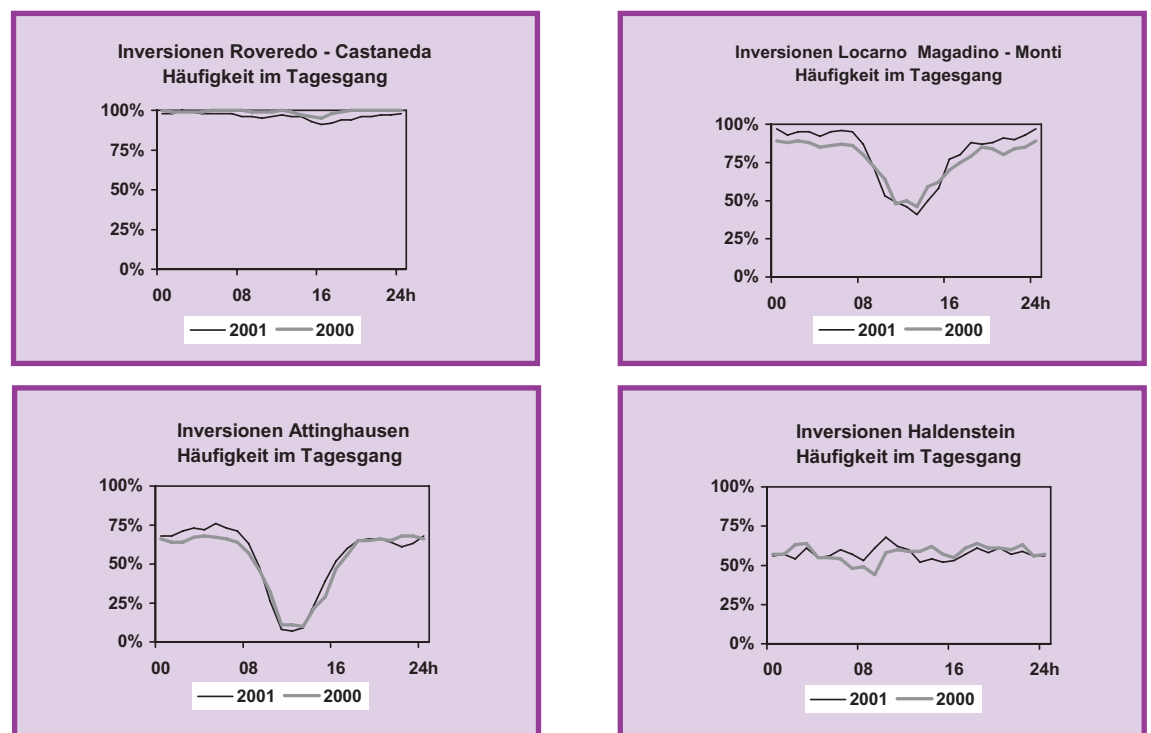
Die lufthygienisch relevanten Aussagen über die Austauschbedingungen werden durch die Untersuchung der Inversionssituation ermöglicht. Inversionen sind stabil geschichtete Luftmassen, das heisst, die Temperatur ist in höheren Lagen grösser als im Tal. Dadurch wird der vertikale Luftaustausch unterbunden. Im Gegensatz dazu erwärmt sich die Erdoberfläche bei normaler Schichtung und führt zu einem Aufsteigen der Luftmassen, wodurch Schadstoffe vom Tal weg in grössere Höhen transportiert und in einem grösseren Luftvolumen verteilt werden.

<sup>1</sup>Auswertungen und Berichterstattung:  
ökoscience



*Inversionslage über dem Misox und der Magadino Ebene*

Die Bestimmung der Inversionen erfolgte mittels Temperaturprofilen. An einem Hang werden dabei an 5 bis 7 Standorten in einem Abstand von ca. 20 - 40 Höhenmetern kontinuierlich die Temperaturen aufgezeichnet. Daraus lässt sich die Schichtung der Atmosphäre zu jedem Zeitpunkt bestimmen. Besonders interessant ist die Untergrenze von Inversionsschichten. Je tiefer sie liegt, desto kleiner ist das Luftvolumen, in welchem sich die Schadstoffe einer Quelle wie z.B. der Autobahn ansammeln. Auf der Alpennordseite liegen solche Inversionsdaten für Attinghausen (Urner Reusstal) und für Haldenstein (Churer Rheintal) für die beiden Untersuchungsperioden vor. Für diese Untersuchung werden Inversionen auf den untersten 120 m (resp. auf den untersten 140 m, je nach Profilstandorten) über dem Talgrund berücksichtigt. Auf der Alpensüdseite stehen in San Vittore (Misox) und in Moleno (Leventina) Messungen ab November 2001 zur Verfügung. Da dort die Atmosphäre sehr häufig über grosse Höhendifferenzen inversiv geschichtet ist, wurden die Inversionen aufgrund der Temperaturdifferenzen zwischen den Stationen der Meteo Schweiz in Locarno Magadino und Locarno Monti (für das Tessin) sowie zwischen zwei Messstationen in Roveredo und Castaneda (für das Misox) abgeschätzt. Die vorhandenen Temperaturprofilmessungen Ende 2001 dienen zur Verifizierung dieser Abschätzung.



**Abbildung 5.1.:** Schematische Darstellung der Häufigkeit des Auftretens von Inversionen im Tagesgang im Rheintal (Haldenstein), im Reusstal (Attinghausen), in der Magadinoebene (Locarno) und im Misox (Roveredo). Auffallend ist das lokal stark unterschiedliche Auftreten der Inversionen, das sich vor allem von den Talschaften und nicht von den Jahren unterscheidet.

Obige Abbildungen zeigen für die 4 Alpentäler, wie häufig während den beiden Untersuchungszeiträumen zu jeder Tageszeit Inversionen auftraten. Es wird dabei deutlich, dass sich die Inversionen in den verschiedenen Tälern unterschiedlich verhalten, während die Unterschiede zwischen den beiden Jahren über die gesamten Perioden be-

trachtet eher gering ausfallen. Die Alpensüdseite wird sehr stark von Inversionen beeinflusst. Besonders im Misox gibt es im Herbst und Winter nur sehr wenige inversionsfreie Situationen. Während der Nacht ist die Temperatur praktisch immer inversiv geschichtet. Locarno zeigt einen deutlicheren Tagesgang. Während nachts ebenfalls 90 bis 100% aller Tage eine Inversion aufweisen, löst sich diese tagsüber in der Hälfte aller Fälle auf. Im Reuss- und Rheintal zeigen sich nachts in 60 bis 70% aller Fälle Inversionen. Im Reusstal bei Attinghausen zeigt sich zudem ein deutlicher Tagesgang. Nur ca. 10% aller Inversionen bleiben den ganzen Tag über erhalten. Dagegen ist im Rheintal kaum ein Tagesgang auszumachen, so dass an rund 60% aller Tage eine Inversion bestehen bleibt.

Aufgrund der Inversionssituation ist zu erwarten, dass die gleiche Verkehrsmenge in der untersuchten Jahreszeit auf der San Bernardino-Route, vor allem im Misox, lufthygienisch stärker ins Gewicht fällt.

Für den Immissionsvergleich werden Klassen mit Inversionshäufigkeiten pro Tag gebildet und jeweils nur Tage mit ähnlichen Austauschbedingungen direkt miteinander verglichen: Schwach inverse Tage weisen während weniger als 25% der Zeit Inversionen auf, mittlere haben eine Inversionsdauer von 25 bis 75%, und die stark inversiven Tage schliesslich sind während mehr als 75% der Zeit von Inversionen beeinflusst.

	Inversionen <25%	Inversionen 25-75%	Inversionen >75%	Gesamte Anzahl Tage
Erstfeld 2000	6	33	20	59
Erstfeld 2001	16	29	14	59
Haldenstein 2000	11	17	17	45
Haldenstein 2001	15	27	16	58
Locarno 2000	0	19	40	59
Locarno 2001	2	17	40	59
Roveredo 2000	0	1	56	57
Roveredo 2001	1	4	49	54

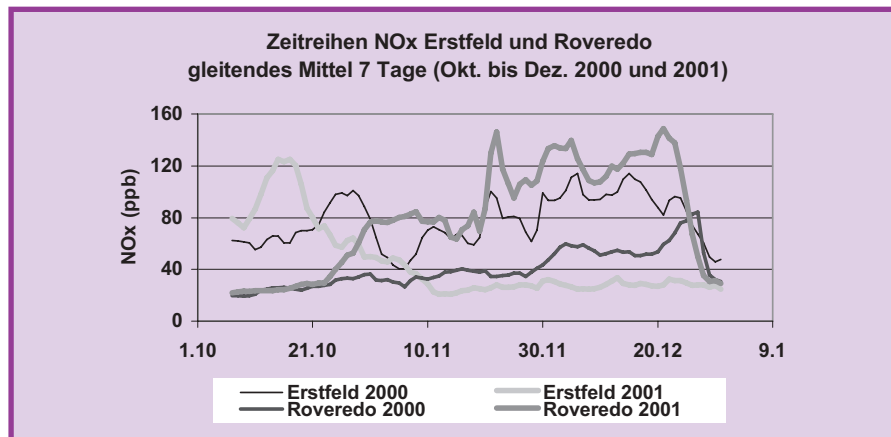
**Table 5.1.:** Tabellarische Darstellung der Anzahl Tage mit Inversionsdauer von weniger als 25%, 25 - 75% und mit mehr als 75% der Zeit. Am häufigsten treten Inversionen im Tessin und Misox auf.

Der Wind spielt bei der Ausbreitung der Luftschadstoffe ebenfalls eine grosse Rolle. Die mittlere Geschwindigkeit ist in den beiden nordalpinen Tälern vergleichbar, im Süden hingegen deutlich schwächer. Auf der Alpennordseite wiesen die Monate November und Dezember im Jahr 2000 eine höhere mittlere Windgeschwindigkeit auf als im 2001. Die Windgeschwindigkeit wird nicht speziell quantifiziert. Da sich bei Starkwind-situationen kaum Inversionen ausbilden, ist der Wind schon indirekt in der Klassierung der Inversionslagen berücksichtigt worden.



### 5.1.2. Lufthygienische Bedingungen während den beiden Vergleichsperioden

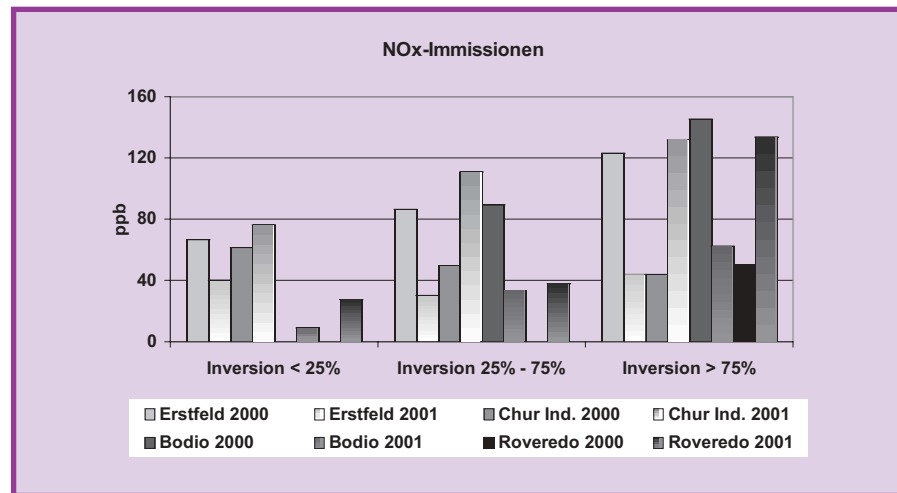
Die Luftbelastung war während der Umleitung entlang der A2 deutlich geringer als im Vorjahr bei Normalverkehr und entlang der A13 im Vergleich deutlich höher. In diesem Kapitel werden vor allem die Immissionen bei den Stationen Roveredo (als Beispiel für die San Bernardino-Route) und Erstfeld (als Beispiel für die Gotthardachse) verglichen. Diese beiden Stationen liegen beide in einer Distanz von ca. 10 m zur Autobahn. Im Gegensatz zum Standort Chur Industrie, der ebenfalls in vergleichbarer Distanz zur Autobahn liegt, sind diese beiden Standorte praktisch ausschliesslich vom Alpenstrassverkehr als Quelle beeinflusst, während in Chur der lokale Verkehr im Rheintal und der Transitverkehr ins Bündner Oberland und Engadin den grössten Anteil bilden. Die Luftbelastung in Bodio zeigt im wesentlichen dasselbe Verhalten wie in Erstfeld. Untersucht werden jeweils die Immissionen vom 24. Oktober bis 21. Dezember 2000 (bei normalem Gotthardverkehr) und 2001 (während der Gotthardsperrung).



**Abbildung 5.2.:** Zeitlicher Verlauf der  $\text{NO}_x$ -Belastung entlang der A2 (Messstation Erstfeld) und A13 (Messstation Roveredo) vom Okt. bis Dez. 2000 bzw. 2001. Deutlich zu sehen sind die Zu- bzw. Abnahmen der  $\text{NO}_x$ -Belastung aufgrund der Sperrung des Gotthards.

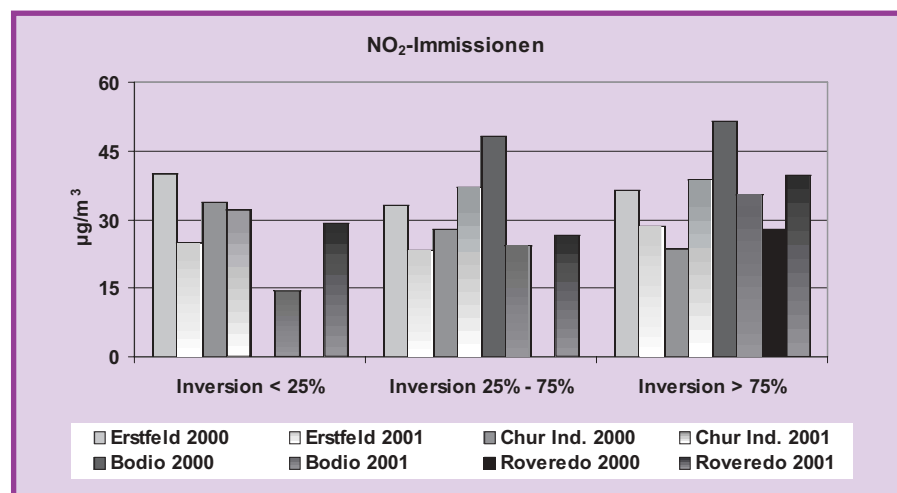
Um die Immissionsdifferenzen aufgrund der unterschiedlichen Schwerverkehrsströme zwischen Wochenende und Werktagen zu eliminieren, sind in der Abbildung die Zeitreihen der  $\text{NO}_x$ -Immissionen als gleitende Mittelwerte über 7 Tage dargestellt. In Roveredo verlaufen die  $\text{NO}_x$ -Belastungen Mitte Oktober und Ende Dezember ähnlich. Die Tage während der Gotthardsperrung im Jahr 2001 zeigt eine massiv höhere  $\text{NO}_x$ -Belastung im Misox im Vergleich mit der Periode im Jahr 2000. In Erstfeld verlaufen die Belastungen weniger einheitlich. Es zeigt sich jedoch deutlich wie im Jahr 2001 als Folge der Gotthardsperrung die  $\text{NO}_x$ -Belastung massiv abnimmt und auf tiefem Niveau verharrt.

Die folgenden Vergleiche zeigen die mittlere  $\text{NO}_x$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{PM}_{10}$ -Belastung in Zusammenhang mit dem Auftreten von Inversionen. Es zeigt sich dabei der grundsätzlich zu erwartende Trend, dass intensivere Inversionen mit höheren Immissionen einhergehen. Die Klassen der Inversionshäufigkeiten zeigen für sich betrachtet, dass die Immissionen an der Gotthardachse (Erstfeld und Bodio) von 2000 zu 2001 massiv abnehmen. Dagegen nehmen sie am San Bernardino (Chur und Roveredo) um die gleiche Grössenordnung zu. Insbesondere bei starken Inversionslagen und somit hoher Immissionsbelastung erreichen die Werte in den gegensätzlichen Jahren jeweils in Chur und Erstfeld sowie in Roveredo und Bodio die gleiche Grössenordnung.



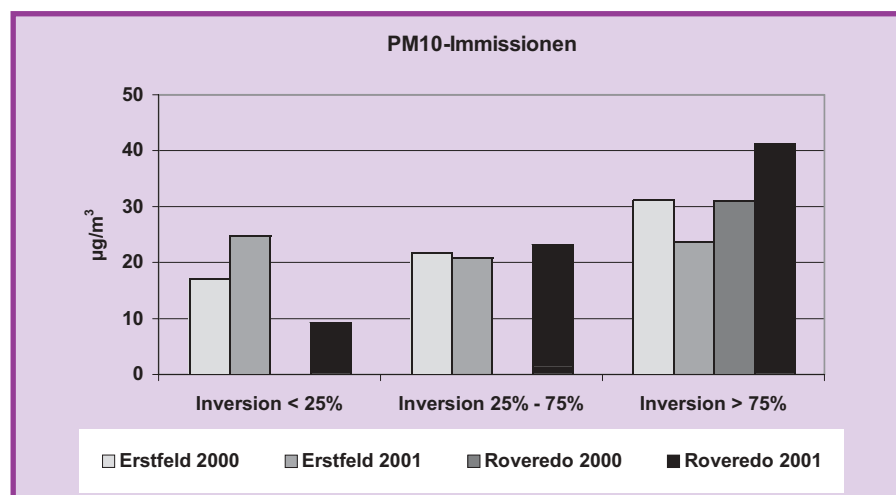
**Abbildung 5.3.:** Mittlere NO<sub>x</sub>-Belastung an Werktagen vom 24.Okt. bis 21.Dez. 2000 bzw. 2001 unterteilt in Tagesklassen mit geringer Inversionsdauer (<25% der Stunden eines Tages), mässiger Inversionsdauer (25 - 75%) und grosser Inversionsdauer (>75%) der Stationen Erstfeld, Chur Industrie, Bodio und Roveredo. Deutlich zu sehen ist pro Standort und Jahr die Zunahme der NO<sub>x</sub>-Belastung mit zunehmender Häufigkeit an Inversionen.

Bei den NO<sub>2</sub>-Immissionen (folgende Abbildung) ist die Abhängigkeit von den Ausbreitungsbedingungen weniger eindeutig, weil für die Bildung von NO<sub>2</sub> aus NO Ozon verfügbar sein muss, was bei guten Austauschbedingungen eher der Fall ist. Auch hier nehmen die Immissionen an der Gotthardachse durch die Sperrung ab, während sie am San Bernardino eher zunehmen.



**Abbildung 5.4.:** Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung an Werktagen vom 24.Okt. bis 21.Dez. 2000 bzw. 2001 unterteilt in Tagesklassen mit geringer Inversionsdauer (<25% der Stunden eines Tages), mässiger Inversionsdauer (25 - 75%) und grosser Inversionsdauer (>75%) der Stationen Erstfeld, Chur Industrie, Bodio und Roveredo. Deutlich zu sehen ist pro Standort und Jahr die Zunahme der NO<sub>2</sub>-Belastung mit zunehmender Häufigkeit an Inversionen.

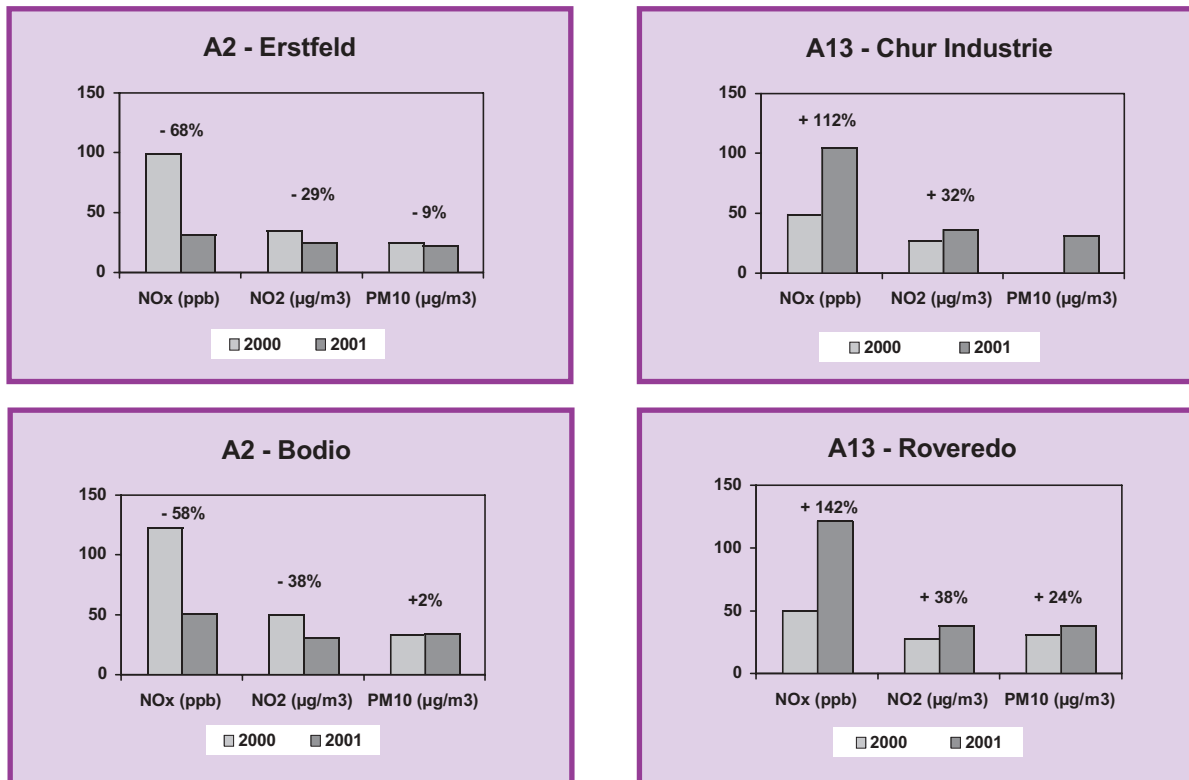
Schliesslich werden noch die Feinstaub-Immissionen (PM10) in Roveredo und Erstfeld betrachtet. Auch diese sind abhängig von der Inversionslage. Die Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen zeigt sich besonders bei starker Inversion. In den Wintermonaten treten bei hohem und tieferem Verkehrsaufkommen sehr häufig Tagesmittel über 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf. Der Grenzwert von 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für den Tagesmittelwert, der pro Jahr höchstens einmal überschritten werden darf, wird in Roveredo im Herbst 2000 einmal deutlich überschritten, im Untersuchungszeitraum im Jahr 2001 neun mal! Im Misox und Tessin sind neben dem Verkehr auch stationäre Anlagen, Schwerindustrie, Grossbaustellen (Alptransit), sowie die Holzfeuerungen und die häufigen Laub- und Gartenabfallverbrennung bedeutende PM10-Quellen.



**Abbildung 5.5.:** Mittlere PM10-Belastung an Werktagen vom 24. Okt. bis 21. Dez. 2000 bzw. 2001 unterteilt in Tagesklassen mit geringer Inversionsdauer (<25% der Stunden eines Tages), mässiger Inversionsdauer (25 - 75%) und grosser Inversionsdauer (>75%) der Stationen Erstfeld und Roveredo. Deutlich zu sehen ist pro Standort und Jahr die Zunahme der PM10-Belastung mit zunehmender Häufigkeit an Inversionen.

Für eine Gesamtbetrachtung unabhängig von der Inversionssituation sind in der folgenden Abbildung die Mittelwerte von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und PM10 über die gesamten Perioden zusammengefasst. Der Effekt der Gotthardsperrung ist bei allen untersuchten Schadstoffen deutlich erkennbar. Die höchsten Zunahmen wurden beim  $\text{NO}_x$  in Roveredo verzeichnet.





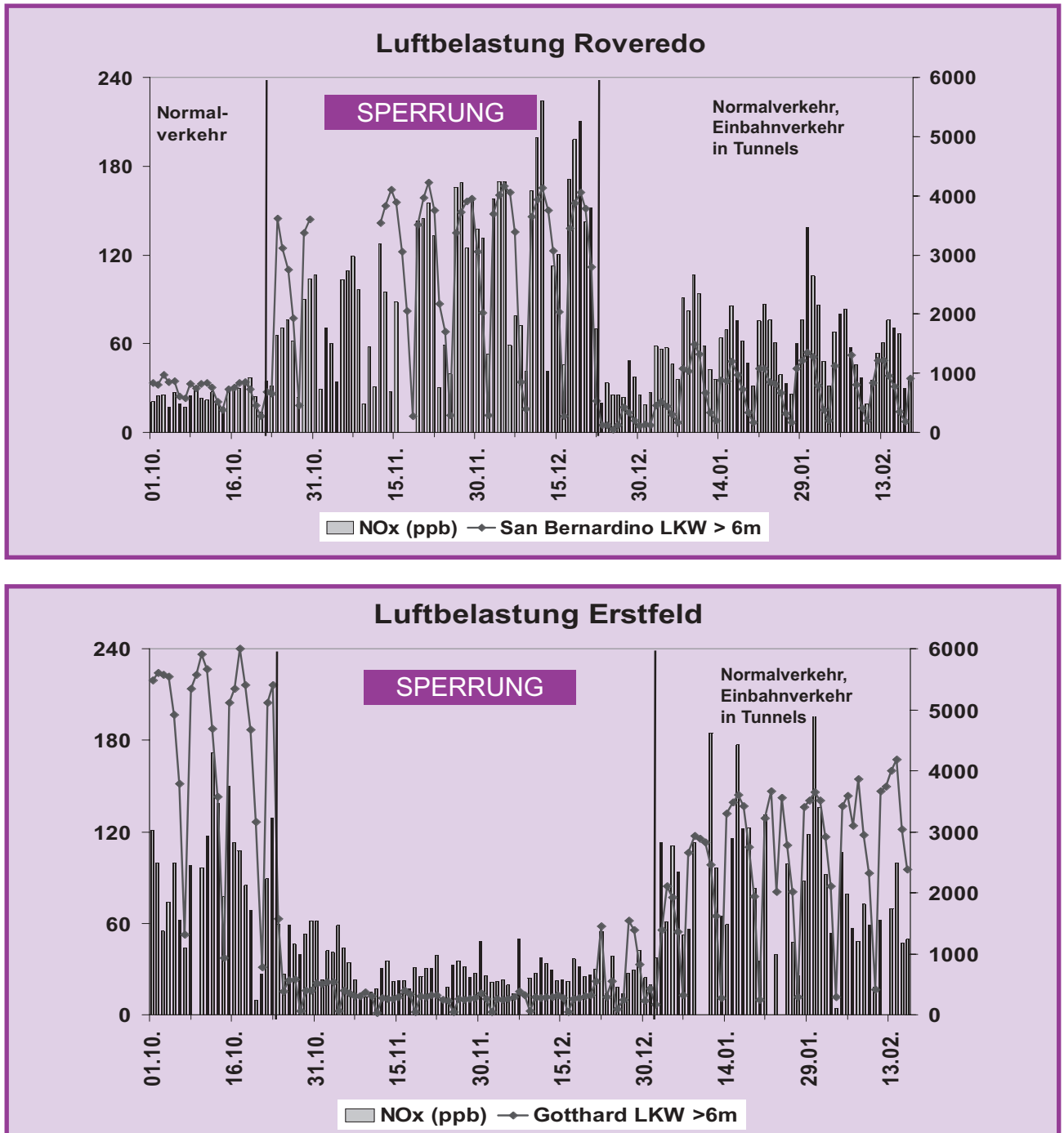
**Abbildung 5.6.:** Mittlere  $\text{NO}_x$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{PM}_{10}$ -Belastungen an Werktagen vom 24. Okt. bis 21. Dez. 2000 im Vergleich zur gleichen Zeitperiode 2001. Entlang der A13 haben die Belastungen deutlich zugenommen, entlang der A2 abgenommen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Immissionen aller untersuchten Stoffe deutlich auf die sperrungsbedingte Verkehrszunahme respektive Abnahme reagieren. Die sehr hohen Immissionen aller Schadstoffe bei starker Inversion wirken sich auf der Alpensüdseite besonders gravierend aus, weil dort die meisten Tage in diese Inversionsklasse fallen.

Um einen gesamtschweizerisch allgemein veränderten Trend bei den Immissionen auszuschliessen, werden hier die mittleren  $\text{NO}_x$ -Werte für die beiden Untersuchungsperioden an verschiedenen NABEL-Stationen miteinander verglichen. Die Untersuchungsperiode 2001 ist immissionsklimatisch etwas günstiger als 2000, denn die Belastungen im Jahre 2001 waren tiefer als 2000 ( $\text{NO}_x$ -Mittelwerte, Werktage: Basel +2.7%, Lugano -16.3%, Tänikon -33.9% und Sion -12.2%). Bei Lugano deutet die tiefere  $\text{NO}_x$ -Belastung 2001 auch auf die generelle Abnahme des Transitverkehrs durch die Schweiz infolge der Gotthardsperrung. Bei den  $\text{NO}_x$ -Immissionen in Basel ist davon allerdings nichts zu spüren. Die Variationen zwischen den beiden Jahren waren damit deutlich geringer als die Umleitungseffekte. Im Gegensatz dazu hat die  $\text{PM}_{10}$ -Belastung 2001 um +33% (+7 µg/m³) zugenommen. (Durchschnitt Untersuchungsperiode 2000 und 2001, gesamtes NABEL-Messnetz).

### 5.1.3. Gegenüberstellung der Emissionen und der Immissionen

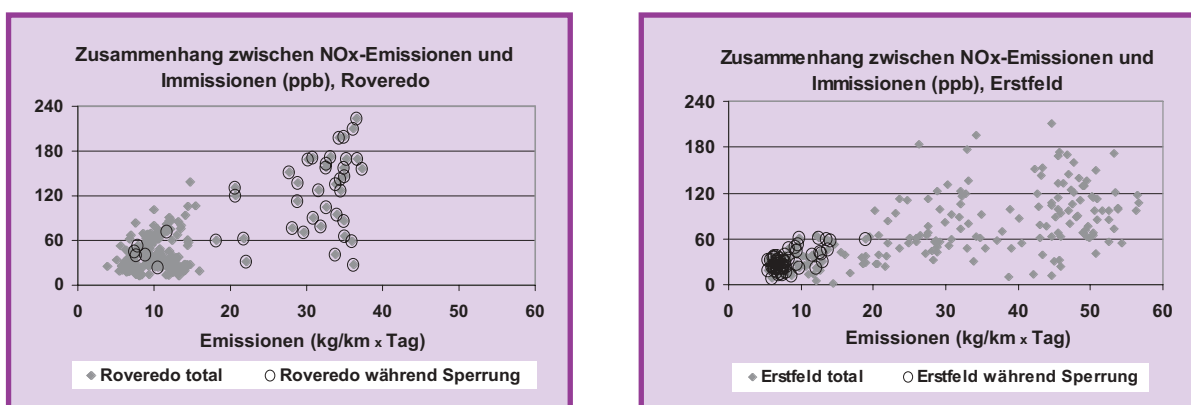
Die Immissionsbelastung entlang der A2 und A13 wird stark von den Emissionen des Schwerverkehrs beeinflusst. Diese Zusammenhänge werden bei dem Vergleich der stark veränderten Verkehrsaufkommen aufgrund der Sperrung besonders deutlich. Die beiden folgenden Grafiken zeigen den zeitlichen Verlauf der  $\text{NO}_x$ -Tagesmittel und des Schwerverkehrsaufkommens (LKW > 6m) während der Zeit vor, während und nach der Sperrung des Gotthards bei den Messstationen Roveredo und Erstfeld.



**Abbildung 5.7.:** Tagesmittel der  $\text{NO}_x$ -Belastung und des LKW-Aufkommens bei den Stationen Roveredo und Erstfeld vom 1. Okt. 2001 bis am 16. Feb. 2002. Deutlich zu sehen sind die  $\text{NO}_x$ -Zunahmen in Roveredo und die  $\text{NO}_x$ -Abnahmen in Erstfeld während der Gotthardsperrung. Nach Wiedereröffnung des Gotthard erreichte das Schwerverkehrsaufkommen Mitte Februar 2002 über die A2 und A13 etwa 80% des Aufkommens vor der Sperrung.

Bei der Gotthardsperrung am 24.10.2001 nimmt die Lastwagenzahl auf der A2 ab und bleibt bis auf den lokalen Verkehr bis zur Wiedereröffnung minim. Gleichzeitig nehmen auch die  $\text{NO}_x$ -Immissionen deutlich ab. Mit der Schliessung des Gotthards nimmt die Lastwagenzahl in Roveredo gleichzeitig zu. Ihre Anzahl bleibt an den Werktagen bis zur Wiedereröffnung etwa konstant. Im Gegensatz dazu steigen die  $\text{NO}_x$ -Immissionen kontinuierlich an. Dies ist eine Folge der schlechten meteorologischen Ausbreitungsbedingungen (zunehmende Inversionshäufigkeit). Die Wiedereröffnung des Gotthards zeigt deutliche die Entlastung der Luft im Miso, obwohl sowohl die Lastwagenzahl als auch die Immissionen höher bleiben als vor der Gotthardsperrung. Am Gotthard nimmt die Zahl der Lastwagen bei der Wiedereröffnung zu, erreicht aber nicht das Niveau von vor dem Unfall.

In den folgenden Streuplots werden anstatt der Lastwagenzahl die  $\text{NO}_x$ -Emissionen des Verkehrs mit den  $\text{NO}_x$ -Immissionen in Erstfeld und Roveredo verglichen. Da die Immissionen nicht nur von der Emission, sondern noch von weiteren Faktoren wie den meteorologischen Rahmenbedingungen abhängen, ist der Zusammenhang nicht linear. Trotzdem bedeuten höhere Emissionen grundsätzlich auch höhere Immissionen. In Erstfeld werden die tiefsten Emissionswerte während der Gotthardsperrung erreicht. Die normalen Emissionswerte in Roveredo werden während der Gotthardsperrung massiv überschritten. Im Normalbetrieb werden am Gotthard höhere Emissionen erreicht als während der Sperrung in Roveredo. Trotzdem sind die maximalen Immissionen an beiden Standorten vergleichbar. In beiden Streuplots liegen die Punkte während der Gotthardsperrung zwar ausserhalb der normalen Verhältnisse. Trotzdem fügen sie sich in die allgemeine Struktur der Punktwolke ein. Dies ist ein Zeichen dafür, dass der Hauptanteil der  $\text{NO}_x$ -Immissionen aus dem Verkehr stammt und eine Änderung der verkehrsbedingten Emissionen die Immissionen immer in ähnlicher Weise beeinflusst.



**Abbildung 5.8.:** Vergleich zwischen den  $\text{NO}_x$ -Emissionen auf der A13 bei Roveredo und auf der A2 bei Erstfeld und den entsprechenden Immissionen auf der Basis von Tagesmitteln. Erwartungsgemäss nehmen die  $\text{NO}_x$ -Immissionen mit zunehmendem Verkehr (Emissionen) zu.

Um die von einer bestimmten Anzahl LKW verursachte Veränderung der Schadstoff-Immissionen zu quantifizieren, wird der Einfluss der unterschiedlichen Meteorologie auf die  $\text{NO}_x$ -Immissionen reduziert. Die  $\text{NO}_x$ -Mittel jeder Inversionsklasse der Untersuchungsperiode 2001 werden dazu mit der Häufigkeit der entsprechenden Klasse aus dem Untersuchungszeitraum 2000 gewichtet. So erhält man einen bezüglich dem



auftreten von Inversionen korrigierten Immissionswert (vgl. Tabelle). Es zeigt sich erwartungsgemäss, dass die korrigierten  $\text{NO}_x$ -Werte nur geringfügig von den gemessenen abweichen, weil sich die Inversionssituationen gemittelt über die beiden Jahre auch nur geringfügig voneinander unterscheiden.

Messstation:	$\text{NO}_x$ 2000 gemessen	$\text{NO}_x$ 2001 gemessen	$\text{NO}_x$ 2001 korrigiert	$\text{NO}_x$ Diff. 2001 - 2000
Erstfeld	99	32	35	-64
Chur Industrie	49	105	110	61
Chur RhB	22	37		15
Bodio	123	51	53	-70
Roveredo	50	121	132	82

**Tabelle 5.2.:** Gemessene und korrigierte  $\text{NO}_x$ -Periodenmittelwerte 24.10. - 21.12.2000., bzw. 2001 der Messstationen Erstfeld, Chur Industrie, Chur RhB, Bodio und Roveredo.

Messstation:	Änderung $\text{NO}_x$ (ppb)	$\text{NO}_x$ /1000LKW	Änderung $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{NO}_2$ /1000LKW	Änderung $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{10}$ /1000LKW
Erstfeld	-64	-18.2	-18.0	-5.1	-2.5	-0.7
Chur Industrie	61	24.7	21.9	8.9		
Chur RhB	15	6.1	6.6	2.7		
Bodio	-70	-17.7	-33.4	-8.5	+1.9	
Roveredo	82	33.2	22.1	9.0	9.8	4.0

**Tabelle 5.3.:** Änderung der  $\text{NO}_x$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{PM}_{10}$ -Immissionen (Mittelwert 24.10. - 21.12.) pro 1000 LKW bei den Messstationen Erstfeld, Chur Industrie, Chur RhB, Bodio und Roveredo. Verkehrszählstellen: Erstfeld, Chur Obere Au, Biasca und Roveredo. Die Änderungen der Immissionen hängen von den Schätzungen des Schwerverkehrsaufkommens bei den Messstationen ab.

Die Änderungen der Immissionen aufgrund des veränderten Verkehrsaufkommens sind in den verschiedenen Talschaften unterschiedlich hoch ausgefallen. Sie sind standortabhängig und sind wegen den Zusammenhängen mit den Inversionen zudem von der Jahreszeit abhängig. Während beim  $\text{NO}_2$  die Zu- bzw. Abnahmen der Belastung pro 1000 LKW in allen Talschaften ähnlich hoch war – mittlere Änderung  $\text{NO}_2$  / 1000 LKW:  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$  – fiel diese beim  $\text{NO}_x$  unterschiedlich hoch aus. Einerseits wurden im Reusstal und in der Riviera/Leventina Abnahmen von 18ppb festgestellt. Andererseits betragen die Zunahmen im Rheintal und im Misox 25 - 33ppb. Neben den unterschiedlichen Inversionsverhalten in den untersuchten Talschaften (siehe Kap. 5.1.1.) erschweren verschiedene Standortcharakteristiken einen direkten Vergleich. Einerseits zeichnen sich die Inversionen in der Riviera/Leventina und im Reusstal durch eine häufige Auflösung tagsüber aus, während im Misox und im Rheintal häufig ganztägige Inversionen herrschen. Andererseits ist die Station Bodio rund 300m von der A2 entfernt, im Vergleich zu den anderen drei direkt neben der A2, bzw. A13 positionierten Messstationen. Im Misox und Tessin sind neben dem Verkehr auch stationäre Anlagen, Schwerindustrie, Grossbaustellen (Alptransit), sowie die Holzfeuerungen und die häufigen Laub- und Gartenabfallverbrennung bedeutende  $\text{PM}_{10}$ -Quellen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei einer Zunahme des Schwerverkehrs um 1000 LKW mit einer Ab- bzw. Zunahme der  $\text{NO}_x$ -Belastung in einer Grössenordnung von 18 - 33ppb, der  $\text{NO}_2$ -Belastung zwischen 5 und  $8\mu\text{g}/\text{m}^3$  und der  $\text{PM}_{10}$ -Belastung um  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Alpentälern gerechnet werden muss. Diese Zunahmen in dieser Grössenordnung stimmen mit den durchgeführten Modellrechnungen überein (siehe Kap. 5.5.).

## 5.2. Räumliche Ausdehnung von Stickoxiden und Aerosolen<sup>1</sup>

Über die räumliche Ausdehnung von Luftschadstoffen in Tälern, insbesondere der Aerosole ist bisher wenig bekannt gewesen. Die Frage der räumlichen Ausdehnung ist jedoch für die Abschätzung der Belastung der Bevölkerung aufgrund des Einflusses der Transitachsen sehr wichtig, da deren Emissionen auch weiter entfernt liegende Regionen in den Alpentälern beeinflussen.

Die wesentliche Veränderung der Emissionen durch die Sperrung der A2 wurde genutzt, um den Beitrag des Transitverkehrs an der Luftqualitätsverminderung in den betroffenen Tälern näher zu untersuchen. Während und nach der Gotthardsperrung wurden an 20 Tagen mit zwei mobilen Messfahrzeugen die räumliche Verteilung von Luftschadstoffen (Stickoxiden, Ozon, Kohlenmonoxid, Formaldehyd, Kohlendioxid, Russ, PAH, Partikelmasse, PM<sub>2.5</sub>, Partikeloberfläche, Partikelanzahl und Partikelgrößenverteilungen), sowie der wichtigsten meteorologischen Parameter erhoben. Ziel der Messungen war die Quantifizierung der Reichweite der Emissionen der Autobahn, die Bestimmung der räumlichen Verteilung der Luftschadstoffe (Partikel und Stickoxide), sowie deren Dynamik im Tagesgang. Die empirisch bestimmten Verhältnisse liefern einerseits konkrete Angaben zu den Verteilungen der Luftschadstoffe, lassen Prüfungen der durch Modelle ermittelten Gegebenheiten zu und sind geeignet, der betroffenen Bevölkerung und interessierten Kreisen die Auswirkungen anschaulich darzustellen.



*Abbildung 5.9.: Beispiel eines der beiden mobilen Messfahrzeuge (Paul Scherrer Institut) zur Erhebung der räumlichen Verteilung von Aerosolen und Gasen.*

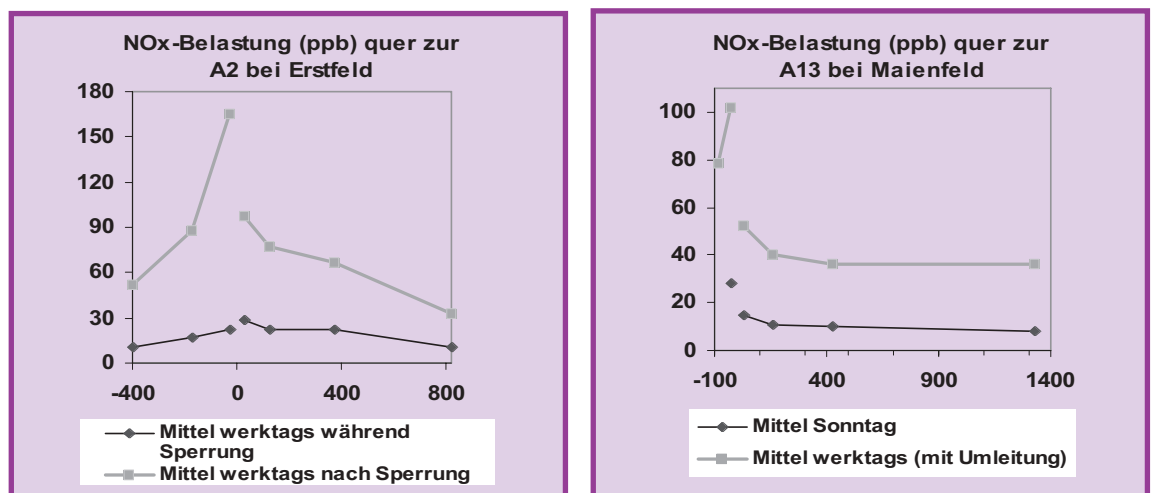
### Stickoxidmessungen:

In der Vergangenheit wurden bereits verschiedene Informationen über die räumliche Verteilung der Stickoxide gesammelt<sup>2</sup>. In diesem Bericht sind die Stickoxid-Verteilungen während und nach der Sperrung im Norden der beiden Transitachsen (Urner Reusstal und Bündner Rheintal) dargestellt. Die Stickoxid-Verteilungen wurden von ökoscience im Tagesverlauf quer zur Autobahn bis in eine Distanz von etwa 1 km erhoben. Die Messungen wurden dabei während mehrheitlich hochdruckbestimmten Wetterlagen (trocken, zeitweise Inversionen) durchgeführt, um vergleichbare meteorologische Bedingungen zu haben (Messtage: 9.-11.12.2001; 17.,18.,21. und 29.1.2002-12./13.3.2002). Die Unterschiede rühren also im Wesentlichen von den veränderten Emissionen auf den Transitautobahnen her. Die Beispiele zeigen die Unterschiede in der räumlichen Verteilung im Reusstal bei Erstfeld an Werktagen während und nach

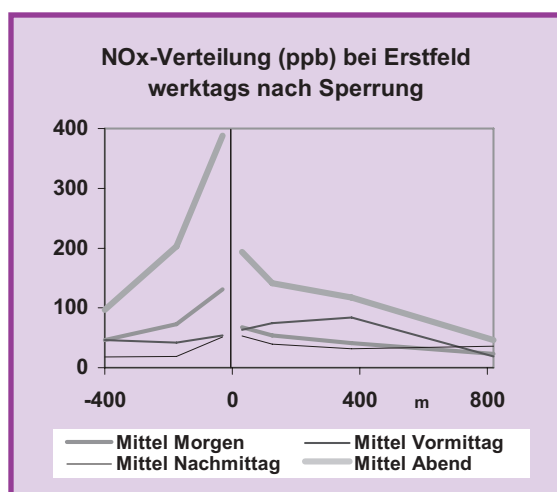
<sup>1</sup>Messungen, Auswertungen PSI und ökoscience

der Sperrung, sowie die Verteilung im Rheintal bei Maienfeld zwischen den Werktagen und einem Sonntag (9.12.2001). Dieser Sonntag wies die dritthöchste Sesonwagenzahl für den gesamten Zeitraum November / Dezember 2001 auf: Es war der erste Skisonntag der Saison. Wegen des fehlenden Schwerverkehrs (allerdings auch im Lokal- und Regionalverkehr) betrug die Emissionen an jenem Tag dennoch weniger als die Hälfte eines durchschnittlichen Werktags während der Gotthardsperrung. Nach der Wiedereröffnung des Gotthards war die Luftbelastung im Reusstal erwartungsgemäss wieder sehr hoch und die höchsten Belastungen traten jeweils am Abend auf.  $\text{NO}_x$ -Messungen wurden auch in der Riviera und im Misox durchgeführt. Es zeigt sich bei der räumlichen  $\text{NO}_x$ -Verteilung der grosse Einfluss der A2 und A13 auf die Immissionen im Tagesgang in den verschiedenen Tälern.

<sup>2</sup>Projekte LUBETRAX (ökoscience, AfU Uri); div. Projekte AfU Graubünden



**Abbildung 5.10.:** Räumliche Verteilung der Sickoxide quer zur A2 und zur A13 in Erstfeld (Reusstal) und bei Maienfeld (Rheintal). Die Konzentration quer zur A2 war im Reusstal an Werktagen nach der Sperrung wieder deutlich höher als während der Sperrung. Im Rheintal war die mittlere werktägliche Belastung während der Umleitung deutlich höher als an stark befahrenen Sonntagen.



**Abbildung 5.11.:** Räumliche Verteilung der Sickoxide quer zur A13 in Erstfeld (Reusstal) im Tagesgang nach Wiedereröffnung des Gotthards (Mittelwerte: 17./18./21.1.2002). Am höchsten belastet waren die Abende. Allgemein beeinflussen die Emissionen des Schwerverkehrs die ganze Breite der Täler und dringen auch in grössere Höhen vor, ausser sie bleiben in Kaltluftseen gefangen.



## Aerosolmessungen:

Über die Aerosolverteilung in den schweizerischen Alpentransittälern waren bisher praktisch keine Informationen vorhanden. Anlässlich der Gotthardsperrung wurde die Gelegenheit genutzt, Erfahrungen auch auf diesem Gebiet zu sammeln. In diesem Bericht werden beispielhaft die Erhebungen der Partikelgrößenverteilungen zwischen 8 und 300 Nanometer im Misox, Riviera und in der Leventina gezeigt. Die sehr kleinen Partikel (<50 Nanometer) bezeichnet man als ultrafeine Partikel, welche sich zum Beispiel bei Abkühlung der Gase hinter dem Auspuff aus schwerflüchtigen Substanzen neu bilden. Diese Partikel stehen heute im Brennpunkt der Gesundheitsforschung bezüglich ihrer potentiell toxischer Wirkung bei Menschen. Im Gegensatz zu den ultrafeinen Partikeln werden Russpartikel hauptsächlich mit Durchmessern zwischen 80 und 150 Nanometern emittiert.

Die Erhebung der Verteilung der Aerosole wurde vom PSI vom 9.-16. Dezember 2001 und vom 9.-15. Januar 2002 durchgeführt. Die meteorologischen Bedingungen während beider Messphasen waren vergleichbar. Beispielhaft werden hier Messungen bei San Vittore im Misox und Personico bei Bodio in der Leventina gezeigt. Die Konzentrationen der ultrafeinen Partikel waren insbesondere im Misox sehr hoch. Meist zeigten sich deutliche Konzentrationsgradienten dieser sehr kleinen Aerosole mit höheren Konzentrationen in der Nähe der Autobahn und tieferen Konzentrationen weiter weg. Bei den grösseren Aerosolen waren die Unterschiede kleiner. Beeindruckend sind die vertikalen Konzentrationsgradienten in den Tälern. Die Messungen am Hang, jeweils ungefähr 300 Meter über Talgrund, wiesen etwa 10 bis über 100 mal tiefere Werte auf. Diese grossen Gradienten sind darauf zurückzuführen, dass sich die Aerosole in den Kaltluftseen ansammeln. Oberhalb der Kaltluftseen sind die Belastungen allgemein deutlich geringer. Ähnliche Zusammenhänge wurden bereits früher verschiedentlich bei Gasen entlang der Alpentransitachsen festgestellt<sup>3</sup>. Generell sind die Konzentrationen der ultrafeinen Partikel in den verkehrsbelasteten Tälern sehr hoch. Als Vergleich ist eine typische Aerosolanzahlgrößenverteilung im Zentrum der Stadt Zürich dargestellt. An jenem Tag waren die Konzentrationen in der dargestellten Zeitperiode in Zürich am höchsten. In Personico wurden trotz der Sperrung teilweise höhere und in San Vittore deutlich höhere Konzentrationen festgestellt als in Zürich. Aerosolmessungen wurden auch im Reuss- und Rheintal durchgeführt.

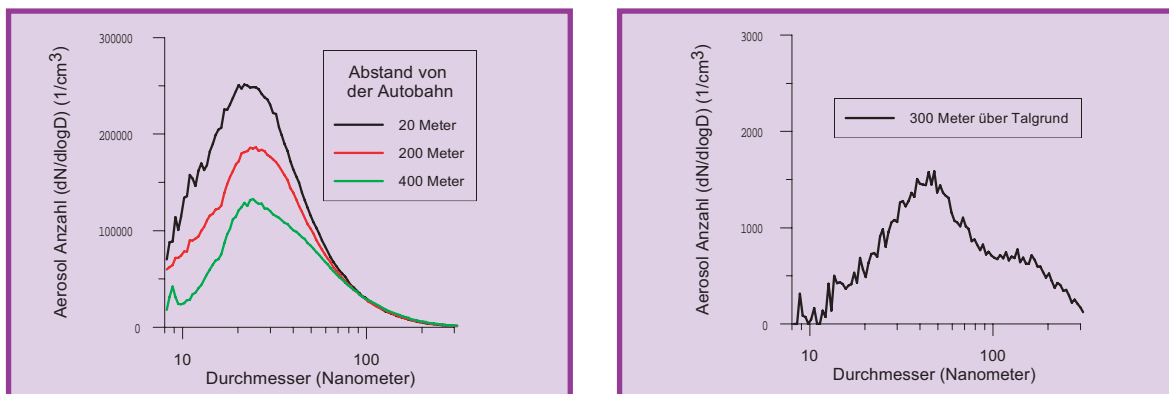
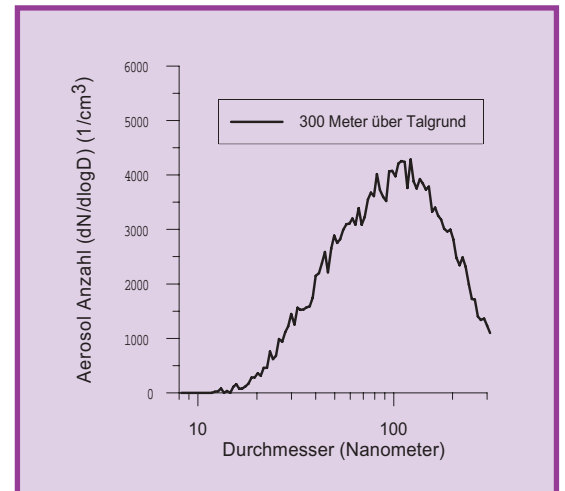
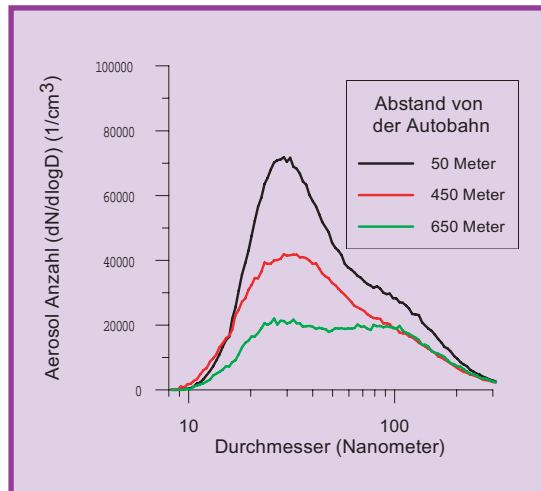
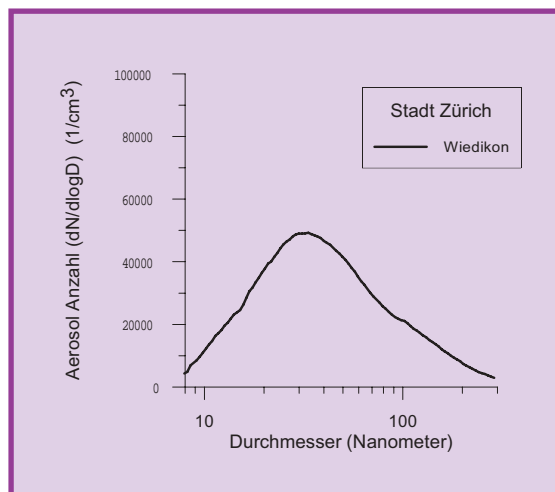


Abbildung 5.12: Aerosolanzahlgrößenverteilung bei San Vittore (Misox) am 9. Januar 2002 zwischen 8:25 und 9:25 Uhr. Man beachte die unterschiedlichen y-Achsen.



**Abbildung 5.13:** Aerosolanzahlgrößenverteilung in Personico bei Bodio (Leventina) am 10. Dezember 2002 zwischen 16:15 und 17:00. Man beachte die unterschiedlichen y-Achsen.



**Abbildung 5.14:** Aerosolanzahlgrößenverteilung am Bahnhof Wiedikon im Zentrum von Zürich am 4. Februar 2002 zwischen 18 und 19 Uhr.



Der Schwerverkehr ist eine massgebliche Quelle von feinen Partikeln (ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser  $< 50$  Nanometer; Russpartikel mit einem Durchmesser zwischen 80 und 300 Nanometer).

### 5.3. Modellierung der verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Mehrbelastung im Bündner Rheintal<sup>1)</sup>

Um den räumlichen Einfluss des zusätzlichen Verkehrsaufkommens näher quantifizieren zu können wurden die zusätzlichen Emissionen und die NO<sub>x</sub>-Jahresimmissionen im Bündner Rheintal mit dem Pollumap-Modell (Dispersionsrechnungen Version BUWAL 2001 und AfU GR 2001) modelliert. Gestützt auf Verkehrszählungen in Perioden mit und ohne Schliessung des Gotthardtunnels wurde ein mittleres tägliches Zusatzverkehrsaufkommen auf der A13 von 2197 LKW (Längen >6m) geschätzt. Die Zusammensetzung der Lastwagen wurde für die Modellierung identisch zur schweizerischen Flotte gemäss BUWAL (2000) gewählt. Das Modellgebiet umfasste das Gebiet des Churer Rheintals zwischen Maienfeld und Reichenau und die totale Länge der A13 im Modellgebiet betrug 34.5 km. Die Modellierung erfolgte unter der Annahme, dass das zusätzliche Verkehrsaufkommen ganzjährig vorkommt.

#### Modellierte Zusatzemissionen:

Der zusätzliche Schwerverkehr verursacht eine zusätzliche NO<sub>x</sub>-Emission von 24 kg NO<sub>x</sub> pro km Autobahn und pro Tag. Im Jahresmittel führt dies zu Zusatzemissionen in der Grössenordnung von 1 Tonne NO<sub>x</sub> pro Jahr und pro Hektare. Zusammen mit der "Grundemission" (verursacht durch das Verkehrsaufkommen ohne Sperrung des Gotthardtunnels) ergäben sich damit Emissionslasten, welche sich mit stark befahrenen Autobahnen im schweizerischen Mittelland vergleichen lassen.

Die Emissionen verursacht durch den zusätzlichen Verkehr sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Dieselmotorkraftstoff
in t/Tag	0.06	0.09	0.84	0.02	103	33
in t/Jahr*	20.35	32.78	304.92	5.9	37'589	11'933

*Tabelle 5.4.: Zusatzemissionen auf der A13 während der Gotthardschliessung (\* unter Annahme einer Schliessung während 12 Monaten). Die Emissionsberechnung erfolgte mit dem "Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs", Version 1.2 (BUWAL 1999).*

	Auspuffemissionen	Strassenabrieb und Aufwirbelung	Bremsabrieb	Reifenabrieb	PM10-Summe
in t/Tag	0.026	0.034	<0.001	0.015	0.075
in t/Jahr*	9.431	12.438	0.096	5.513	27.478

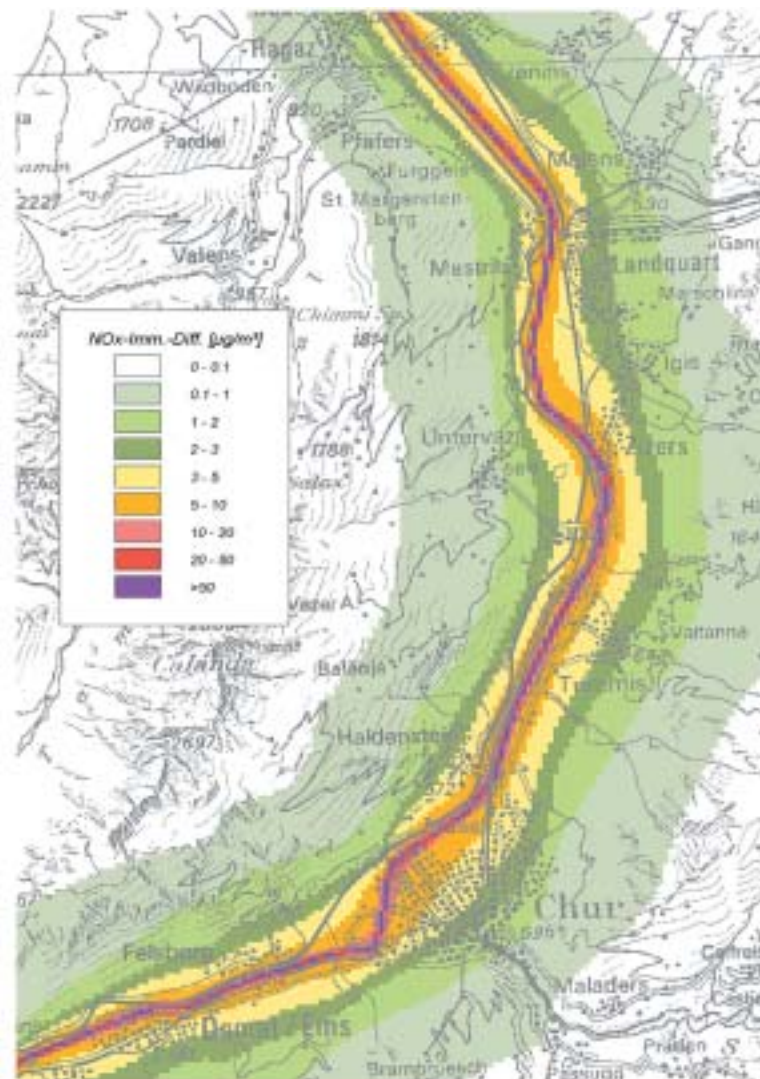
*Tabelle 5.5.: Zusatz PM10-Emissionen auf der A13 während der Gotthardschliessung (\* unter Annahme einer Gotthardschliessung während 12 Monaten). Für die PM10-Nicht-Auspuff-Emissionen wurden die gleichen Emissionsfaktoren wie in BUWAL (2001) verwendet.*

#### Modellierte Zusatzimmissionen:

Die Ausbreitungsbedingungen in Alpentälern wie dem Churer Rheintal sind im Jahresmittel ungünstiger als im schweizerischen Mittelland (Beschränkung der Ausbreitung durch die Bergflanken, Auftreten von bodennahen Kaltluftseen während der kalten Jahreszeit). Im Gegensatz zu diesen immissionseinschränkenden Eigen-

<sup>1)</sup>NO<sub>x</sub>-Modellierung INFRAS

schaften zeichnet sich das Rheintal durch eine gute Durchlüftung aus. Es tritt ein ausgeprägtes Tal- und Talabwindssystem auf und gelegentlich herrscht Föhnwind. Entsprechend zeigt die Immissionskarte sehr hohe Zusatz-NO<sub>x</sub>-Immissionen in unmittelbarer Nähe zur Autobahn, mit Werten über 50 µg/m<sup>3</sup>, was einer Zunahme von 60% gegenüber dem Zustand 2000 (Luftmessstation Maienfeld) entspricht. Diese "Aufkonzentrierung" tritt ein, weil die Autobahn exakt in Talrichtung verläuft. Quer zur Hauptwindrichtung fällt die Immission entsprechend schneller ab als im schweizerischen Mittelland. Im Stadtgebiet von Chur fällt die Zusatz-NO<sub>x</sub>-Immission in einer Entfernung von 1 km von der Autobahn unter 5 µg/m<sup>3</sup>; in einer Entfernung von 1.5 km fällt sie unter 3 µg/m<sup>3</sup>. Diese Konzentrationszunahme entspricht einer Zunahme von rund 10% der jährlichen Belastung in der Stadt Chur (Luftmessstation Chur RhB). Gesamthaft muss davon ausgegangen werden, dass ein dauerhaftes Auftreten eines Verkehrsaufkommens wie während der Umleitung die Luftbelastung im Bündner Rheintal wieder auf Werte wie Mitte der 90er Jahre ansteigen liesse. Dies würde wiederum bedeuten, dass im Bündner Rheintal die in den letzten 5 bis 7 Jahren durch Bund, Kanton und Gemeinden getroffenen Massnahmen kompensiert würden.



**Abbildung: 5.15.:** Dispersionsmodellierung der zusätzlichen Immissionen durch den Schwerverkehr im Bündner Rheintal. Die errechneten jahresmittleren Zusatzimmissionen stehen für den hypothetischen Fall, dass der Gotthardtunnel während 12 Monate geschlossen wäre und in dieser Zeit jeweils täglich zusätzliche 2197 Lastwagen die A13 befahren würden (1 ppb NO<sub>x</sub> = 1.86 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>).

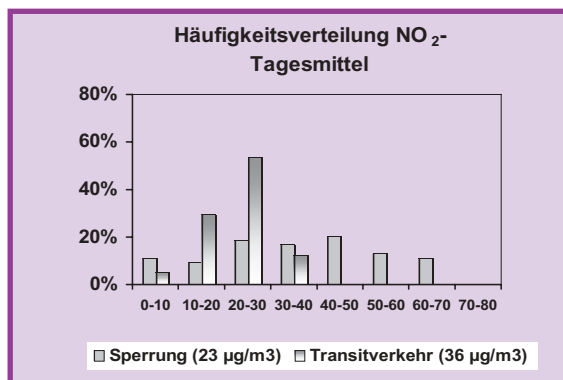
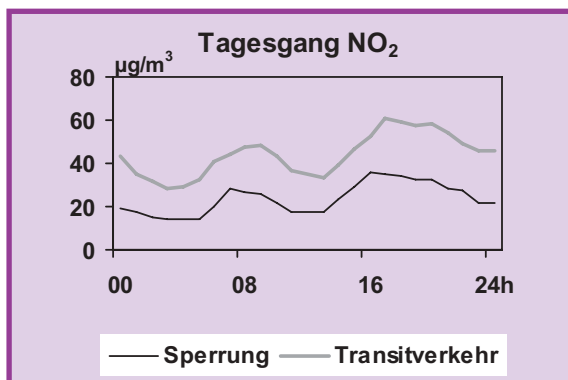


## 5.4. Die Luftbelastung im Reusstal - kontinuierliche Messungen in Erstfeld<sup>1)</sup>

Die Schliessung des Gotthard-Strassentunnels wirkte sich stark auf die Luftbelastung im Urner Reusstal aus. Die Reduktion nahe der Talmitte bei Erstfeld (300m von der Autobahn entfernt) betrug während der Sperrung im Vergleich zu den ersten beiden Monaten nach der Wiedereröffnung 38-47% für NO<sub>2</sub>, 62-72% für NO<sub>x</sub> und 47-59% für SO<sub>2</sub>. Diese Reduktionen verdeutlichen den grossen Einfluss der Emissionen der A2 auf das ganze Urner Reusstal.

Zur Auswertung wurden die Mittel von NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> über zwei Zeiträume (9. Nov.-20. Dez. 2001 (Periode 1); 22. Dez. 01.-14. Feb. 2002 (Periode 2)) gebildet. Dabei wurden Föhnperioden ausgeschlossen, indem Messungen mit einer Windgeschwindigkeit v<sub>hh</sub> grösser als einem bestimmten Schwellwert verworfen wurden. Wird der Schwellwert für v<sub>hh</sub> variiert oder werden alle Tage berücksichtigt, ändern sich die Mittelwerte um einige Prozent. Je kleiner der Schwellwert für den Wind, desto grösser ist der Unterschied (absolut und prozentual) zwischen den beiden Vergleichsperioden, in Einklang mit dem zunehmenden Gewicht von Inversionslagen, die durch schwache Winde und hohe Schadstoffkonzentrationen gekennzeichnet sind. Nimmt man (A) nur Werkstage und v<sub>n</sub> < 1 m/s als das eine Limit und (B) alle Tage und beliebige Winde als das andere Limit, waren in Periode 1) die Konzentrationen von NO<sub>2</sub> / NO<sub>x</sub> / SO<sub>2</sub> im Mittel um (A) 47% / 72% / 59% bzw. um (B) 38% / 62% / 47% gegenüber Periode 2) reduziert. Für NO<sub>2</sub> und Limit (B), welches einer Auswertung ohne jede Berücksichtigung von meteorologischen Einflüssen oder Emissionsquellen (Verkehr) entspricht, ist die Verteilung der 24h-Mittelwerte beider Perioden dargestellt. In Periode 2) betragen der maximale und der mittlere 24h-Mittelwert der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen am Messstandort (nahe der Talmitte) 67µg/m<sup>3</sup> bzw. 36µg/m<sup>3</sup>, in Periode 1) hingegen nur 37µg/m<sup>3</sup> bzw. 23µg/m<sup>3</sup>.

<sup>1)</sup>Messungen, Auswertungen IAC / ETH



**Abbildung 5.16.:** Mittlere Tagesgänge Werkstage von NO<sub>x</sub> während (9. Nov. - 20. Dez. 2001) und nach (22. Dez. 2001 - 14. Feb. 2002) der Sperrung, sowie Verteilung der NO<sub>2</sub>-Tagesmittel während und nach der Sperrung. Deutlich zu sehen ist der Einfluss der Sperrung auf die Luftbelastung in Erstfeld 300m von der A2 entfernt. Die Tagesgänge von NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> weisen ein ähnliches Verhalten wie diejenigen der NO<sub>2</sub> auf.

## Die Luftbelastung im Reusstal - Passivsammlermessungen im Raum Altdorf

Die Schliessung des Gotthard-Strassentunnels wirkte sich nicht nur in Autobahnnähe, sondern auf das gesamte Uner Reusstal aus. Es wurde eine Reduktion der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen um rund ein Drittel in der Nähe der A2 und ein Fünftel bis ein Viertel am Rand des Reusstals beobachtet. Diese Reduktion wurde anhand von 14 NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessstellen des AfU Uri im Raum Altdorf abgeleitet.

Für die Bestimmung des Einflusses auf die räumliche NO<sub>2</sub>-Verteilung wurden 3 Messzeiträume gebildet und die Mittelwerte miteinander verglichen.

Charakterisierung		Messzeitraum
(1)	Sperrung	31.10.01 - 20.12.01
(2)	Vorjahre	01.11.00 - 26.12.00 und 3.11.99 - 28.12.99
(3)	vor und nach der Sperrung	19.09.01 - 16.10.01 und 22.12.01 - 08.01.02

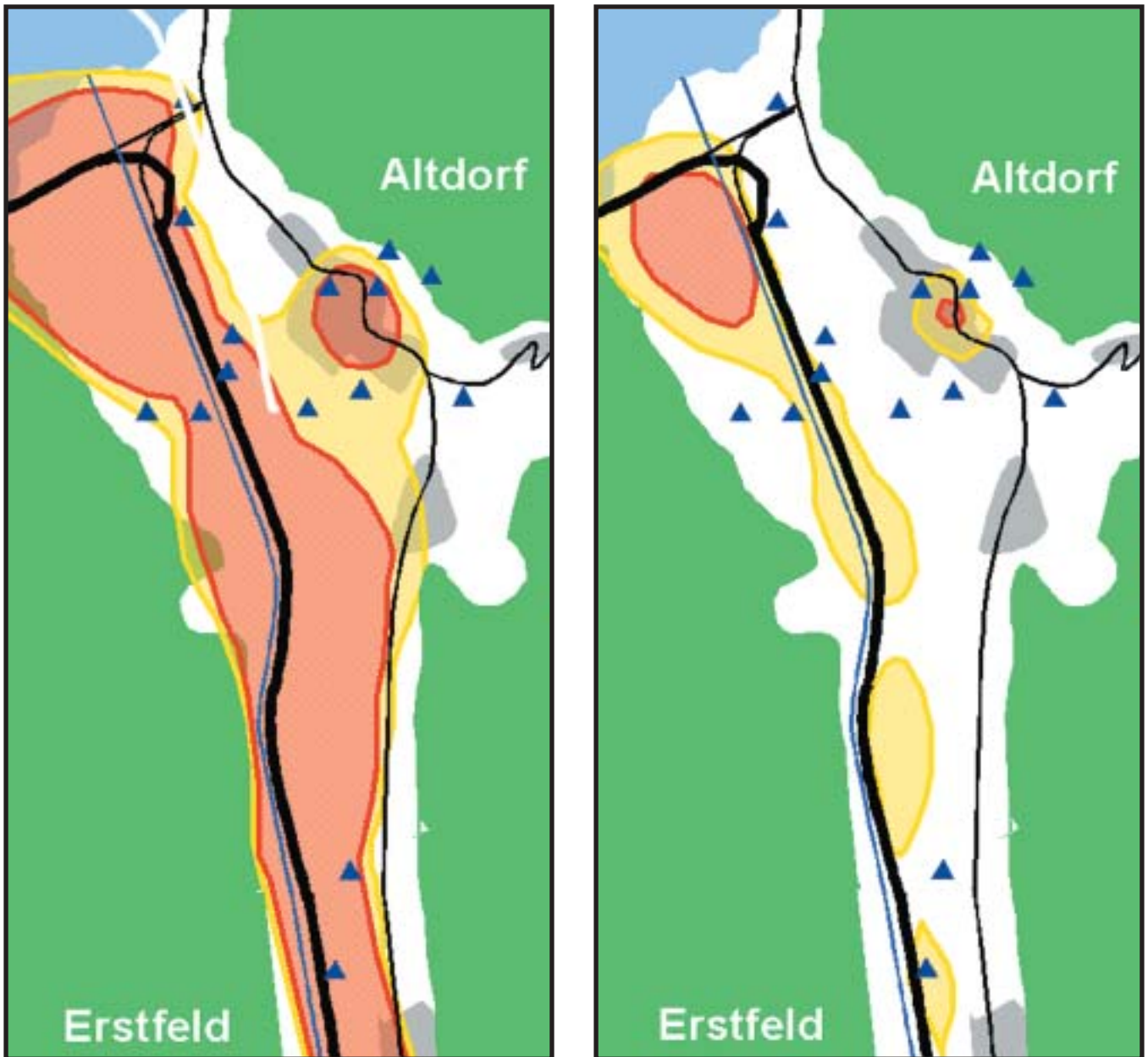
*Tabelle 5.6.: Einteilung der Messzeiträume der Passivsammler*

Während der Tunnelsperrung waren die NO<sub>2</sub>-Immisionen im Vergleich zu beiden Vergleichsperioden deutlich reduziert, wobei die Messwerte der beiden Vergleichsperioden (2) und (3) einander sehr ähnlich sind. Mit einer Reduktion von etwa 15 µg/m<sup>3</sup> war der Effekt in nächster Nähe zur Autobahn (C) erwartungsgemäss am stärksten. Doch auch in über 1km Entfernung am Rand vom Tal (H-J) betrug die Reduktion noch 7-8 µg/m<sup>3</sup> im Vergleich zu den beiden Vorjahren (2) und etwas weniger im Vergleich zu den Wochen vor und nach der Tunnelsperrung (3). An Stationen, die etwas oberhalb vom Talboden liegen (K-M), war die NO<sub>2</sub>-Konzentration um etwa 5 µg/m<sup>3</sup> (2) bzw. 1 µg/m<sup>3</sup> (3) reduziert. Dies zeigt, dass diese Messstationen den typischen Inversionslagen bereits weniger ausgesetzt sind als der Talboden. Weit oberhalb vom Reusstal auf einer Bergstation (N) war schliesslich kein Einfluss der Tunnelsperrung mehr auszumachen. In Prozenten ausgedrückt betrug die Reduktion in der Nähe der Transitachse (B-E) rund 33% und am Talrand (H-J) etwa 20-25%.

	Label	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Messstation	dA (m)	740	280	40	100	220	500	650	1000	1100	1450	1650	1750	1800	7000
	dS (m)	740	280	40	100	220	120	100	140	120	5	300	100	400	-
	h (m)	451	446	444	440	445	440	436	464	449	464	514	496	578	1625
	(2) - (1) (µg/m <sup>3</sup> )	9	10	15	13	11	9	8	7	8	8	5	5	4	0
	(3) - (1) (µg/m <sup>3</sup> )	3	5	14	11	9	7	7	5	6	8	1	1	1	0

*Tabelle 5.7: 1. Distanz der Messstationen zur (dA) Autobahn und zur (dS) nächstgelegenen, verkehrsreichen Strasse; (h) Höhe über dem Meeresspiegel. 2. Reduktion der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen während der Tunnelsperrung im Vergleich zu Periode (2) und Periode (3).*

Die Konzentrationen bei der Messstation Erstfeld (Entfernung A2: 300m, Betrieb und Unterhalt IAC) betragen 23 µg/m<sup>3</sup> während der Sperrung des Tunnels und 36 µg/m<sup>3</sup> nach dessen Wiedereröffnung, was einer Reduktion ähnlich wie bei den Passivsammlern um gut ein Drittel entspricht.



**Abbildung 5.17.:** NO<sub>2</sub>-Belastung im Reusstal während der Tunnelsperrung (Nov./Dez. 2001; oben rechts) und während der Vergleichsperiode (Nov./Dez. 1999, 2000; oben links). Die orangen (gelben) Flächen markieren die Bereiche, die mit mehr als 30 µg/m<sup>3</sup> (25 µg/m<sup>3</sup>) belastet sind. Die blauen Dreiecke geben die Messstandorte der Passivsammler an. Deutlich zu sehen ist, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung während dem Normalverkehr praktisch in der ganzen Talebene markant höher war als während der Sperrung.

## Lärmbelastung vor, während und nach der Sperrung<sup>1)</sup>

Lärm ist für die betroffene Bevölkerung entlang der A2 und A13 unerwünschter Schall, der sie psychisch, physisch, sozial oder ökonomisch beeinträchtigen kann. Seine vielfältigen Auswirkungen nehmen grundsätzlich mit steigendem Schallpegel zu. Im Gegensatz zur Bevölkerung entlang der A2, welche während der Sperrung des Gotthardtunnels einer deutlich geringeren Lärmbelastung ausgesetzt war, stieg die Lärmbelastung für die Bevölkerung entlang der A13 merklich an.

Die Veränderungen im Lärmbereich liessen sich nicht nur in einer Erhöhung oder Verminderung des mittleren Beurteilungspegels während der Tages- und der Nachtperiode hervorheben (d.h. durch eine strikte Beurteilung nach LSV), sondern zeichneten sich in leichten Änderungen der Lärmspektren bei tiefen Frequenzen und in deutlicheren Verschiebungen der Pegelstatistiken aus. Die Auswirkungen dieser erkennbaren Veränderung der Schallmerkmale auf die Bevölkerung (Lärmbelästigung usw.) sind zur Zeit schwer abschätzbar und sind Gegenstand der Forschung. Die folgenden Informationen über die Lärmbelastung sind ein Auszug des Gesamtberichtes über die Lärmbelastung anlässlich der Umleitung Gotthard.

## Lärmesskampagne

Die zu Verfügung stehenden Messwerte beziehen sich sowohl auf Kurzzeitmessungen an ausgewählten Immissionsstandorten in der Nähe der A2 und A13, als auch auf kontinuierliche Lärmessungen am Rande der Strassen über mehrere Wochen (in Moleno, Erstfeld und Chur). Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten Charakteristiken der kontinuierlichen Lärm-Messungen zusammen.

Messort	Messintervall (Std) <sup>2</sup>	Messperioden	Pegelverlauf in der Zeit	Lärmspektren in Terzbänder	Pegelstatistiken
Moleno (TI) (Richtung Nord)	1	29.11.01 - 13.12.01 29.01.02 - 03.02.02	ja	ja	ja
Erstfeld (UR)	1	Richtung Süd (Romeo) 01.12.01 - 09.12.01 12.12.01 - 28.01.02 Richtung Nord (Lora) 19.12.01 - 27.12.01 03.01.02 - 29.01.02	ja	ja	ja
Chur (GR) (Richtung Nord)	1	06.12.01 - 12.12.01 18.12.01 - 01.02.02	ja	bei Kurzmessungen <sup>3</sup>	nein

**Tabelle 6.1.:** Übersicht über die kontinuierlichen Lärmessungen neben der A2 und der A13. An allen drei Messorten befand sich das Mikrophon 6.5 m von der normalen Fahrspur entfernt und 3.2 m über dem Strassenniveau.

<sup>1</sup> Messungen und Auswertungen: IFEC (D.Bozzolo), AfU Tessin, AfU Graubünden

<sup>2</sup> Die Messungen in Moleno und Erstfeld wurden mit einem Schallpegelmessgerät Norsonic 121 durchgeführt, welcher gleichzeitig die Erfassung der Pegelwerte in mehreren Zeitintervallen erlaubt. Die Messungen in Chur wurden mit einem Messgerät von Brüel und Kjaer (Typ 7802) durchgeführt.

<sup>3</sup> Es wurden mehrere Kurzzeitmessungen von 10 Minuten Dauer am 19. Dezember 2001 (8.45 - 11.22 und 23.18 - 23.41) und am 22. Januar 2002 (8.49 - 11.04) durchgeführt.



Die Kurzzeitmessungen wurden entweder im freien Feld oder in der Nähe von Dörfern durchgeführt, in einer Entfernung von einigen 100 Meter bis 1 km von der A2 / A13<sup>4</sup>. Mit wenigen Ausnahmen ist der Pegel vor der Sperrung des Gotthardtunnels nicht bekannt. Die Messungen an den einzelnen Orten wurden sowohl am Tag als auch während der Nacht wiederholt.

Messorte der Kurzzeitmessungen (Klammern: Entfernung zur Quelle):

1. In der Riviera (TI): Lodrino/Prosito (Talboden, 350 m), Lodrino/Prosito (Bergflanke, 850 m), Cresciano (Talboden, 380 m), Cresciano (Bergflanke, 950 m), Gnosca (neben A2) und Personico (Talboden, 250 m);
2. Im Reusstal (UR): Altdorf, Attinghausen, Erstfeld, Silenen/Amsteg, Gurtellen und Wassen;
3. Im Rheintal (GR): Strecke Splügen/Lostallo, Strecke Lostallo/Roveredo und Strecke Roveredo/Castione.

Für eine erste Darstellung der Lärmsituation wurden folgende Indikatoren gewählt:

- Pegelverlauf, A-bewertet;
- Lärmspektren, LIN oder A-bewertet;
- Pegelverteilungen (auf dem A-bewerteten Globalpegel und auf die Pegel in den Terzbändern 63 / 80 Hz bezogen) und die statistischen Pegel ( $L_{99}$ ,  $L_{95}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_5$ ,  $L_1$ ,  $L_{0.1}$ ).

## Ergebnisse der kontinuierlichen Immissionsmessungen nahe der Quelle

Die folgenden Vergleiche beziehen sich auf die Zustände während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels.

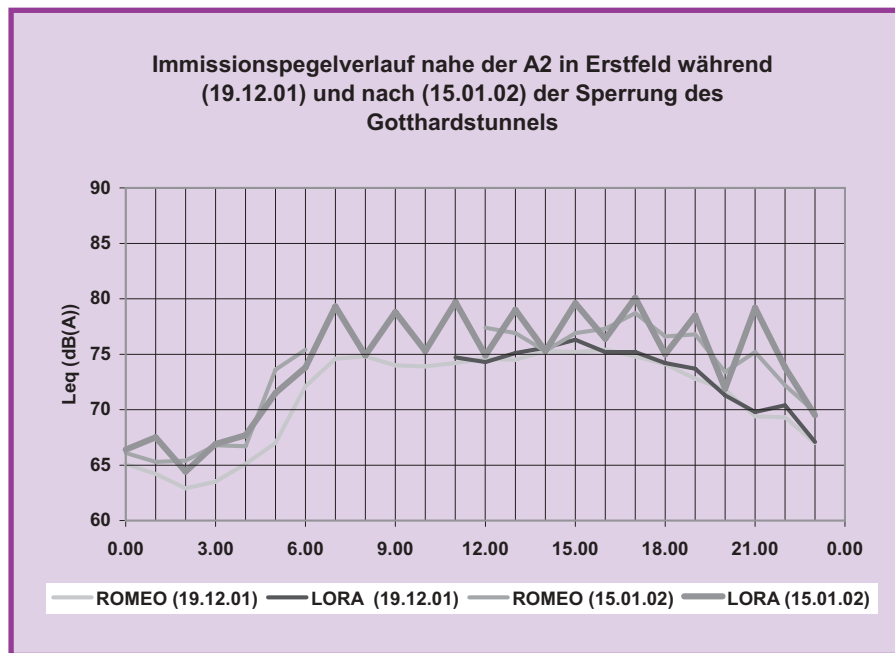
### Pegelverlauf

Bemerkungen aus der Betrachtung des Pegelverlaufes:

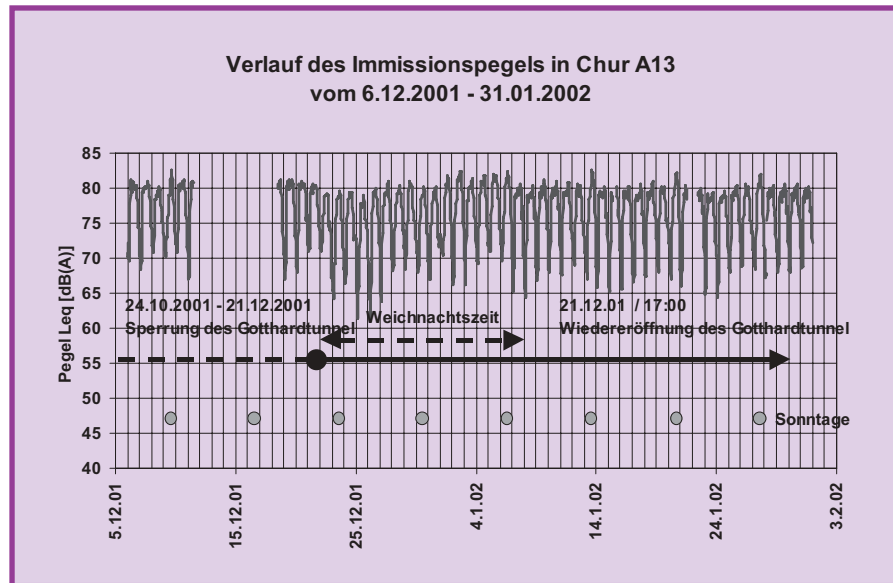
- Im Rheintal (bei Chur) sind die mittleren und die Spitzenwerte des Pegels tagsüber während der Sperrung des Gotthardtunnels um etwa 1 dB(A) höher zu sein als die entsprechenden Werte nach der Wiedereröffnung. Die ruhigsten Nachtperioden zeigen Pegelunterschiede, welche von 0 bis etwa 5 dB(A) variieren können. Es ist zu bemerken, dass sich typische Verläufe der Lärmimmissionen an Werktagen und an Wochenenden herauslesen lassen. Während die Lärmbelastung an Werktagen geringere Spitzenbelastungen erreicht, ist die Belastung über den gesamten Tag gleichmässig verteilt. An Wochenenden sind die Spitzenbelastungen wegen des sehr hohen PW-Aufkommens höher und erreichen üblicherweise am späten Nachmittag / früher Abend das Maximum.
- Im Reusstal (bei Erstfeld) zeigt sich deutlich das Staumanagement: die Lärmpegel zwischen 7.00 und 20.00 Uhr sind stündlichen Schwankungen von etwa 5 dB(A) unterworfen.

<sup>4</sup> Gleichzeitig wurden in den meisten Fällen auch die Immissionen nahe zur Quelle gemessen und die Verkehrsdaten (Anzahl PW und LKW) erhoben, um die Berechnung der zu einem mittleren Verkehrsfluss zugehörigen Lärmimmissionen zu ermöglichen.

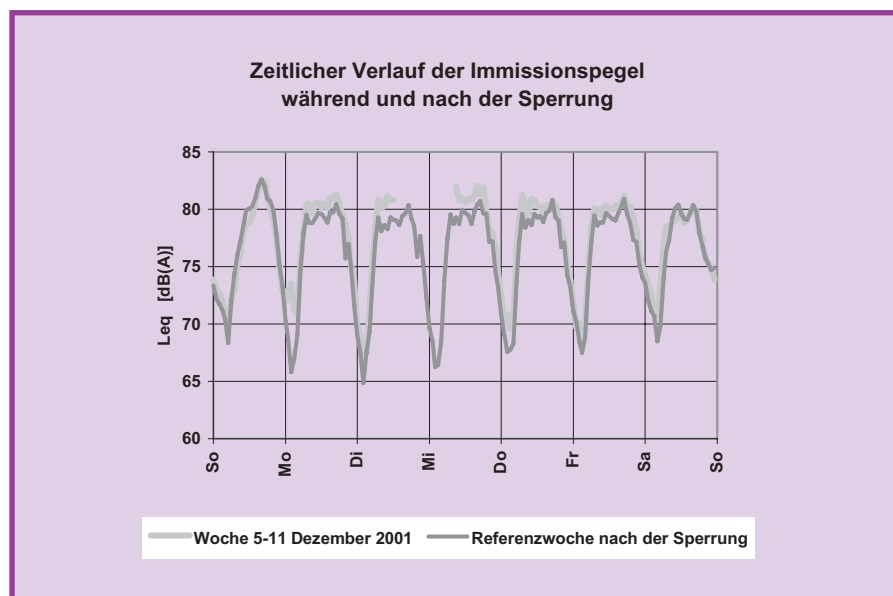
- ❑ In dieser Zeitspanne liegt der mittlere Pegel zirka 2-3 dB(A) höher als früher (d.h. während der Sperrung), die Unterschiede können jedoch leicht Werte von 9 dB(A) erreichen (z.B. um 21.00 Uhr).
- ❑ In der Riviera (bei Moleno) ist eine ähnliche Situation wie im Rheintal zu beobachten, jedoch sind die Pegeländerungen leicht höher und können etwa 4 dB(A) am Tag erreichen.



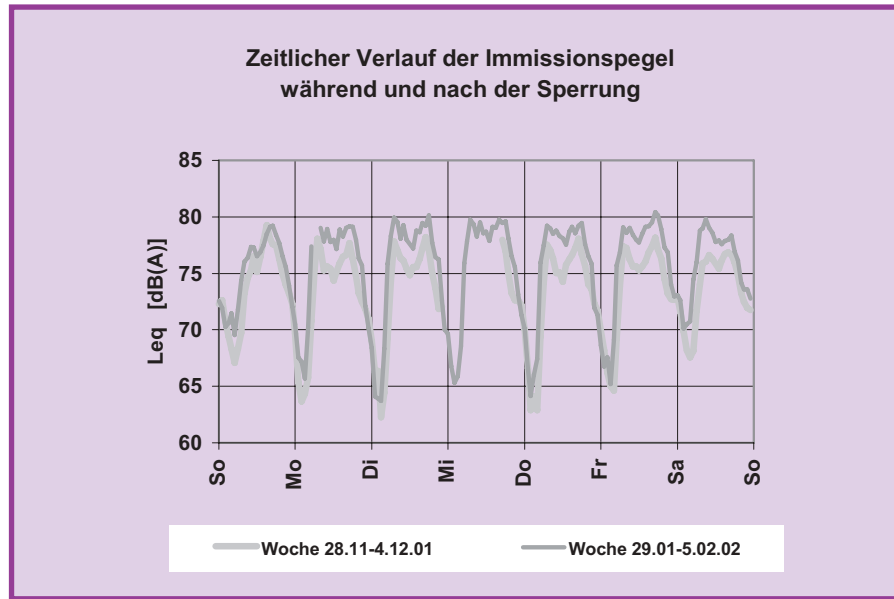
**Abbildung 6.1.:** Immissionspegelverlauf auf beiden Seiten der A2 in Erstfeld. Die Effekte des Stau-managements in der Süd-Nord Richtung (und teilweise in der umgekehrten Richtung) sind deutlich aufgrund der starken Pegelschwankungen erkennbar.



**Abbildung 6.2.:** Immissionspegelverlauf bei Chur A13 während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels. Die Lärmbelastung an Werktagen war während der Sperrung höher als nach der Wiedereröffnung.



**Abbildung 6.3.:** Vergleich der Pegelverläufe bei Chur A13 während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels. Die Referenzwoche bezieht sich auf die Messperiode 6.-20. Januar 2002. Wegen des Mehrverkehrs war die Lärmbelastung auf der A13 während der Gotthardsperrung an Werktagen höher als bei Normalverkehr.



**Abbildung 6.4.:** Vergleich der Pegelverläufe am Rande der A2 während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels in Moleno. Nach der Wiedereröffnung der A2 stieg die Lärmbelastung deutlich an.

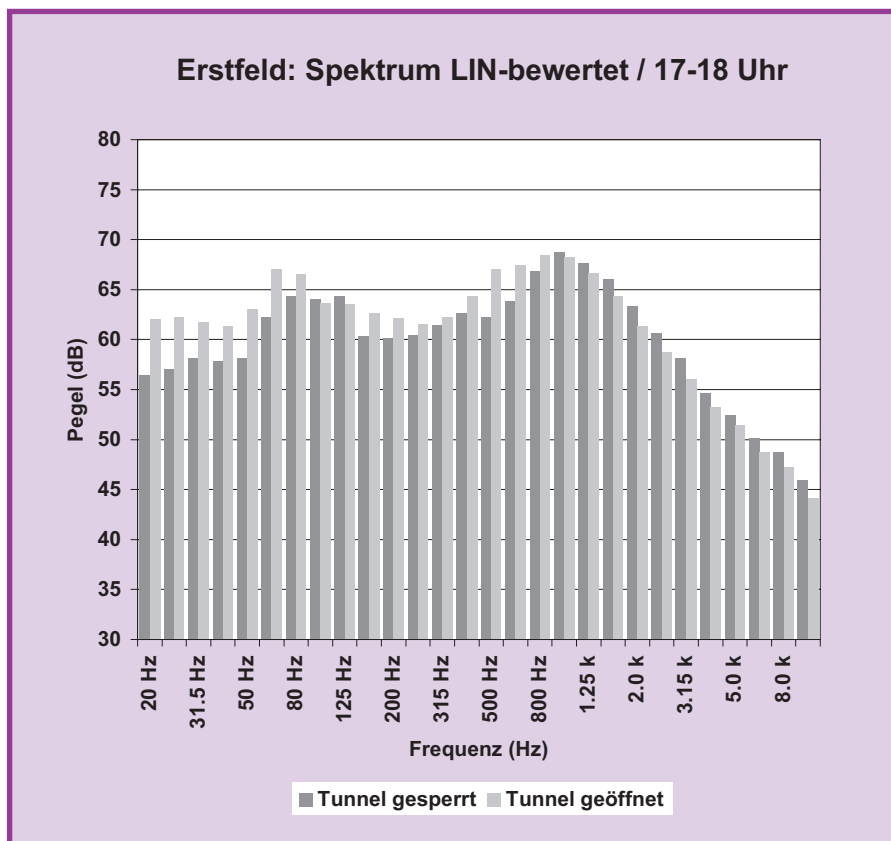
## Terzspektren

Die Analyse der Lärmspektren in Terzbändern dient dazu, die Effekte des Schwerverkehrs auf die tiefen Frequenzen (unter 100 Hz) zu veranschaulichen. Man stellt nämlich fest, dass bei allen Messorten (Moleno, Ersfeld und Chur) eine Veränderung des Lastwagenanteils eine relative Veränderung der Pegelwerte zwischen 20 und 100 Hz im Vergleich mit dem Spitzenpegel (normalerweise bei einem Terzband zwischen 800 Hz und 1,25 kHz) verursacht. Dieser Sachverhalt ist in der Grafik dargestellt, bei welchem die A-bewerteten Gesamtpegel gleich gesetzt wurden, damit die Veränderungen im Spektrum besser zum Vorschein kommen können: der Spitzenpegel nimmt nämlich um etwa 1 dB ab, während die Pegelwerte der 63 und 80 Hz um 3 bis 5 dB(A) wachsen.

Obwohl die heutige Fassung der LSV diese spektrale Zusammensetzung des Straßenlärms nicht berücksichtigt, ist bekannt, dass die tiefen Frequenzen einen Verdeckungseffekt auf die höheren haben. Die Anwendung eines geeigneteren Bewertungsverfahrens<sup>5</sup> würde darum der effektiven von der Bevölkerung empfundenen Lautstärkeveränderung besser Rechnung tragen.

<sup>5</sup> z.B. da Verfahren nach Zwicker (siehe auch Norm ISO-ISO 532-1975).

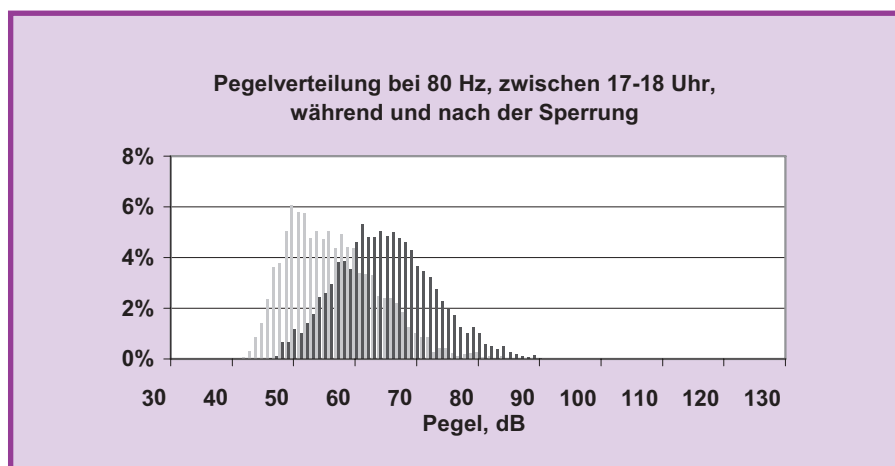
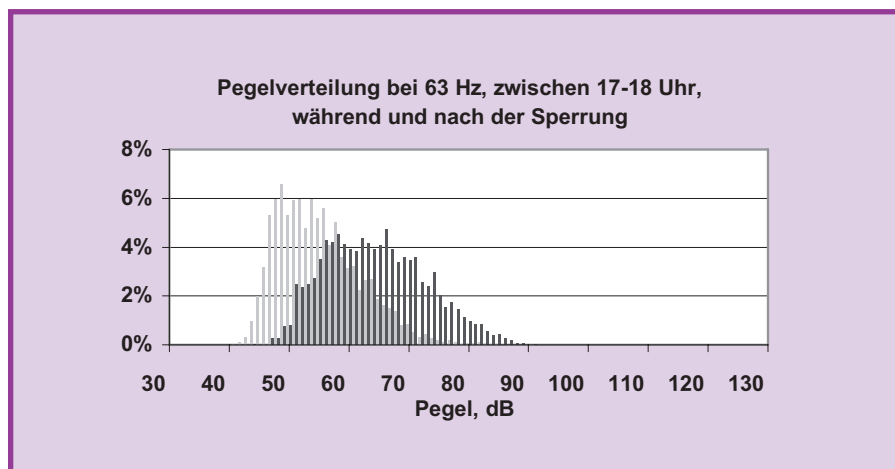
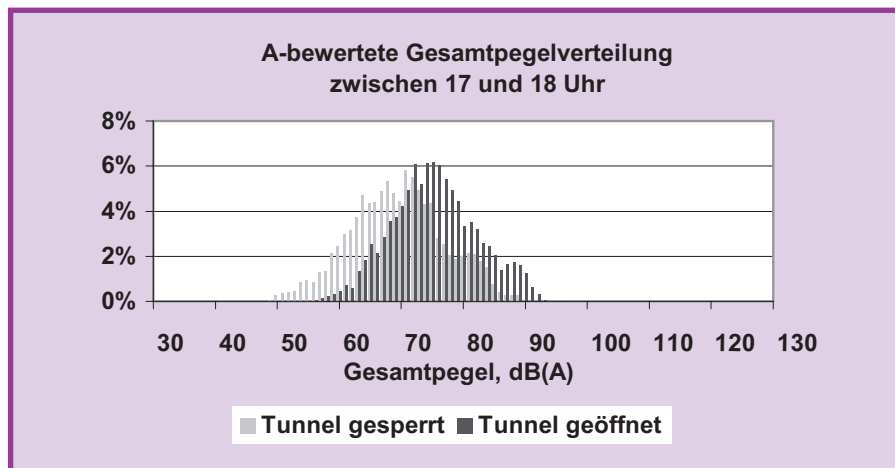




**Abbildung 6.5.:** Vergleich der Spektren (LIN-bewertet) am Rande der A2 in Erstfeld. Um die Unterschiede im Spektrum hervorzuheben, wurden die A-bewerteten Gesamtpegel den  $L_{eq}$  gleich gesetzt.

## Statistische Pegelverteilungen

Die statistischen Pegelverteilungen und die daraus ermittelten statistischen Pegel stellen eine sehr empfindlich auf den Schwerverkehr reagierende Grösse dar. Diese Verteilungen haben sich in der Riviera und im Reusstal drastisch während der Tagesstunden verändert, in den Nachtsstunden dagegen blieben sie fast unverändert (keine Lastwagen). Die Pegelverschiebungen erreichten in den Terzbändern 63 und 80 Hz mehr als 10 dB und wurden von einer Formänderung derselben Verteilungen begleitet.



**Abbildung 6.6.:** Änderungen der statistischen Pegelverteilungen am Rande der A2 (Erstfeld - Lora) während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels.

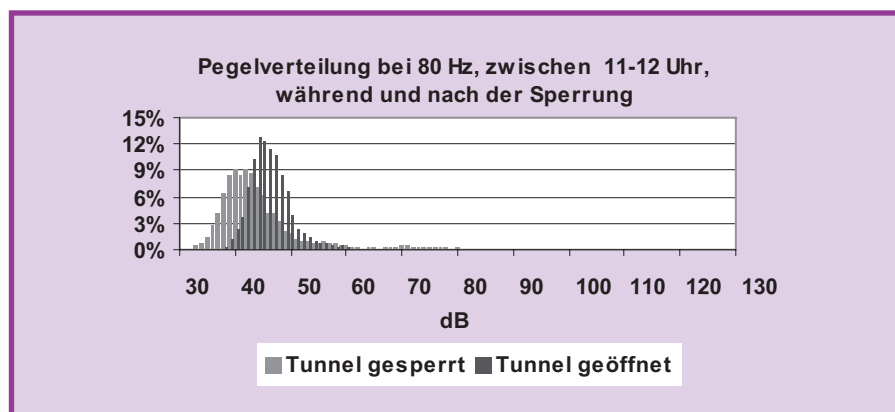
Percentile	Statist. Pegel L (dBA) (29.11.01)	Statist. Pegel L (dBA) (30.01.02)	DL (dBA)	Percentile	Statist. Pegel L (dBA) (29.11.01)	Statist. Pegel L (dBA) (30.01.02)	DL (dBA)
99%	47.5	50.9	3.4	10%	67.6	72.2	4.6
95%	49.8	53.4	3.6	5%	69.4	75.1	5.7
90%	51.0	55.2	4.2	1%	73.7	80.0	6.3
50%	58.5	63.6	5.1	0,1%	82.7	83.7	1.0

**Tabelle 6.2.:** Änderungen der statistischen Pegel bei einem Terzband von 63 Hz, am Rande der A2 (Moleno) während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels.

### Erste Ergebnisse aus den Kurzzeitimmissionsmessungen

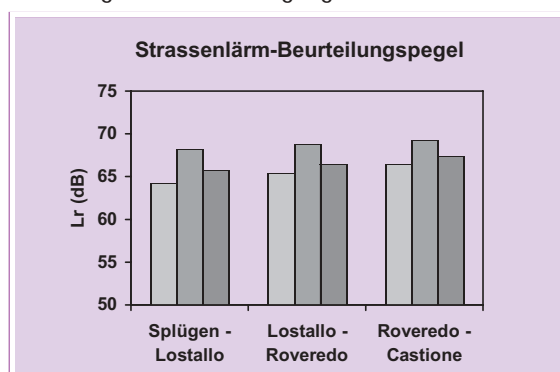
Die Kurzzeitmessungen beziehen sich auf weit von der Hauptquelle entfernten Punkte. Sie bestätigen in einer ersten Beurteilung die Resultate, welche aus den kontinuierlichen Messungen in der Nähe der A2 / A13 hervorgehen. Die Pegelschwankungen sind jedoch begrenzt und somit erstrecken sich auch die statistischen Pegelverteilungen auf ein beschränktes Pegelintervall. Die Wirkung des Schwerverkehrs ist jedoch noch deutlich erkennbar und die tiefen Frequenzen spielen eine noch wichtigere Rolle als bei den Messpunkte neben der Autobahn, da die höheren Frequenzen durch Luft- und Bodenabsorption stark gedämpft werden.

**Abbildung 6.7.:** Änderungen der statistischen Pegelverteilungen bei Cresciano (Bergflanke, 950 m von der A2 entfernt) während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels.



Auch was die gemessenen Beurteilungspegel (nach LSV) anbelangt, ist klar zu sehen, dass die Verkehrsänderungen vor, während und nach der Sperrung des Gotthardtunnels eine wahrnehmbare Zu- oder Abnahme des Schallpegels zur Folge hatten. Es sei hier erwähnt, dass eine Pegeländerung von mehr als 2 dB(A), oder eine solche zwischen 1 und 2 dB(A) verknüpft mit einer Änderung des Verkehrs von mehr als 25%, nach den heutigen Kenntnissen sicher als wahrnehmbar einzustufen ist. Diese Pegeländerungen vermögen wahrscheinlich nur einen Teil der von der Bevölkerung wahrgenommenen, erheblichen Änderung der Lärmbelastung zu erklären. Die in diesem Bericht aufgezeigte spezifische Pegeländerung im Bereich der tiefen Frequenzen dürften einen ergänzenden Beitrag liefern.

**Abbildung 6.8.:** Strassenbeurteilungspegel. Deutlich zu sehen sind die höheren Lärmbelastungen entlang der A13 während und auch nach der Sperrung.







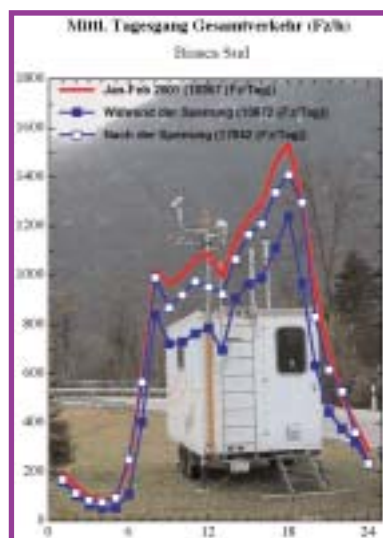




## Die Luftbelastung in der Riviera: kontinuierliche Messungen in Moleno<sup>1)</sup>

Nach dem Unfall im Gotthard-Tunnel wurde eine voll ausgerüstete Messstation nach Moleno verschoben um die Effekte der Verkehrsumleitung zu messen. Von grossem Interesse war insbesondere die Bestimmung der Hintergrundbelastung, d.h. der Belastung in Abwesenheit des Schwerverkehrs, deren künftige Entwicklung im Rahmen des Bundes-Projekts "Monitoring der flankierenden Massnahmen im Bereich Umwelt (MfM-U)" genau verfolgt werden muss.

**Abbildung 7.1:** Tagesgang des Verkehrsaufkommens auf der A2 zwischen Bellinzona und Biasca in den Zeiträumen 1. Januar 2001 - 28. Februar 2001, 25. Oktober 2001 - 21. Dezember 2001 (während der Sperrung) und 1. Januar 2002 - 28. Februar 2002 (nach der Sperrung).



Während der Sperrung auf der A2 hat der Gesamtverkehr in der Leventina und in der Riviera während jeder Tagesstunde abgenommen. Am stärksten war die Reduktion zwischen 6 und 19 Uhr. Das Verkehrsvolumen war nach der Wiedereröffnung des Gotthards deutlich gestiegen, jedoch auf tiefere Werte im Vergleich zur gleichen Periode im Vorjahr. Diese Veränderung, die bezogen auf dem Gesamtverkehr ungefähr 8% beträgt, ist eine direkte Folge des Dosierungssystems, das in der ersten zwei Monaten des Jahres 2002 - im Vergleich zu den gleichen Monaten des 2001 - eine Reduktion des Schwerverkehrs von ungefähr 800 Lastwagen pro Tag verursacht hat.

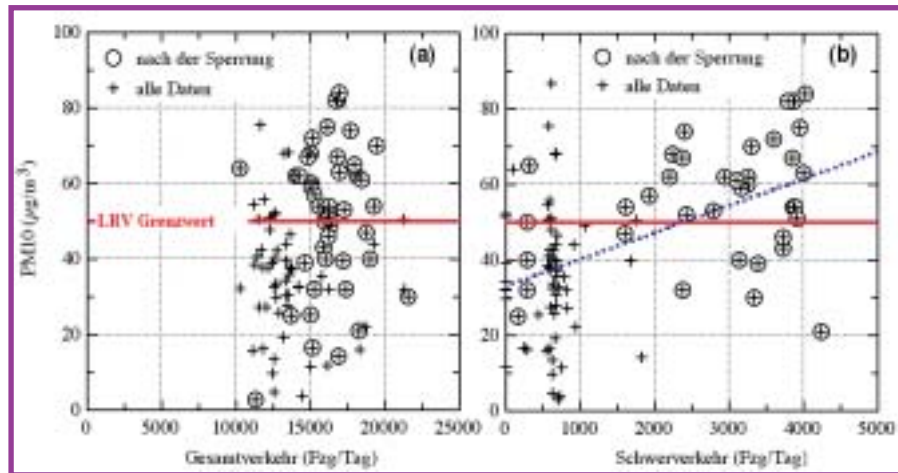
	LKW (> 6m) (Fzg/Tag)	Gesamtverkehr (Fzg/Tag)
Januar - Februar 2001	3487	12151
Januar - Februar 2002	2659	10724

**Tabelle 7.1:** Verkehrsaufkommen im Gotthardtunnel während den zwei Monaten Januar und Februar für die Jahre 2001 und 2002.

Um die durch den Schwerverkehr verursachte Luftbelastung zu analysieren, wurde nach möglichen Korrelationen zwischen PM10- und Stickoxid-Immissionen und Schwerverkehr-Emissionen gesucht. Die Streuplots der folgenden Abbildungen zeigen die von 1. November 2001 bis zum 28. Februar 2002 gemessenen PM10-Immissionen (Messstation Moleno) verglichen mit dem Gesamtverkehr (a) und dem Lastwagenverkehr (b).

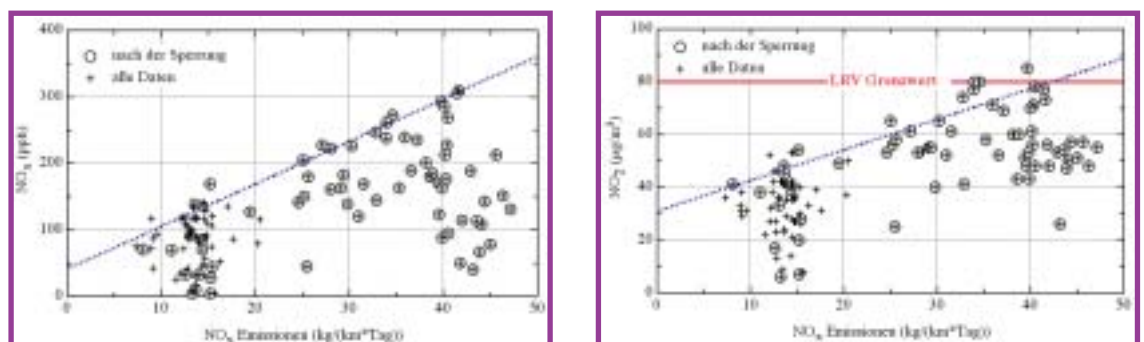
<sup>1)</sup> Ufficio della protezione dell'aria del Canton Ticino





**Abbildung 7.2:** Zusammenhänge zwischen den PM10-Tageskonzentrationen am Rand der A2 bei Moleno, dem Gesamtverkehr (a) und dem Schwerverkehr (b). Die horizontale (rote) Kurve zeigt den Grenzwert der Luftreinhalte-Verordnung für den Tagesmittelwert ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Die gestrichelte (blaue) Kurve (in der graphischen Darstellung (b)) zeigt ein mittleres Verhalten.

Da die Immissionen nicht nur vom Verkehr, sondern auch von den meteorologischen Randbedingungen abhängen, ist der Zusammenhang nicht eine einfache lineare Beziehung. Trotzdem treten die höchsten Immissionen in der Regel bei hohen Verkehrsvolumen auf und die Mehrheit der Tageswerte oberhalb dem LRV-Grenzwert wurden nach der Sperrung gemessen. Die Beziehung mit dem Verkehr wird deutlicher, wenn man sich auf den Schwerverkehr beschränkt. Das ist ein klarer Hinweis auf die wichtige Rolle des Schwerverkehrs für die PM10-Belastung am Rand der Alptransitachsen. Insbesondere schätzt man, dass im Januar und im Februar ein Mehrverkehr von 1000 Lastwagen (pro Tag) eine Zunahme der PM10-Tagesimmissionen von  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  verursacht. In der betrachteten Winterperiode schätzt man weiter eine mittlere PM10-Hintergrundbelastung von ungefähr  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im folgenden Streuplot werden anstatt der Lastwagenzahl die  $\text{NO}_x$ -Emissionen des Verkehrs mit den  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Immissionen (Messstation Moleno) verglichen.



**Abbildung 7.3:** Zusammenhänge zwischen den  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Tagesimmissionen am Rand der A2 bei Moleno und den entsprechenden Verkehrsemissionen. Die gestrichelte (blaue) Kurve die Beziehung für die ungünstigsten Tage. Zeitraum Nov. 2001 bis Feb. 2002.



Auch in diesem Fall ist die Beziehung zwischen Ursache und Immissionen nicht eindeutig definiert. Das ist wiederum eine Folge von weiteren Faktoren wie die meteorologischen Rahmenbedingungen. Trotzdem erlaubt die Punktelwolke einige wichtige Erkenntnisse.

- Die höchsten  $\text{NO}_x$ -Immissionen wurden nach der Sperrung gemessen.
- Nimmt man bei verschiedenen Emissionsniveau nur die Punkte mit den höchsten Tageswerten kann man eine Linie bestimmen, welche die Halbebene Immissionen-Emissionen nach oben beschränkt. Diese Kurve beschreibt auch die Beziehung zwischen Immissionen und Emissionen bei den ungünstigsten Bedingungen. In solchen Fällen, in unmittelbarer Nähe der Autobahn, bei einer Zusatzemission von  $1 \text{ kg/km}$  pro Tag nehmen die  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen um  $12 \mu\text{g/m}^3$  zu.

Beiden Bemerkungen sind ein Zeichen dafür, dass der Hauptteil der  $\text{NO}_x$ -Immissionen aus dem Verkehr stammt und eine Änderung der verkehrsbedingten Emissionen die Immissionen immer in ähnlicher Weise beeinflusst.

Zu den gleichen Schlussfolgerungen kommt man bei einer Betrachtung des Stickstoffdioxides ( $\text{NO}_2$ ). Im Streuplot sind die  $\text{NO}_2$ -Tagesmittelwerte als Funktion der Tagesemissionen dargestellt. Die Streuung der Punktelwolke ist etwas grösser im Vergleich zum  $\text{NO}_x$ , weil neben der Meteorologie auch die chemischen Eigenschaften der Atmosphäre (Oxidationsvermögen) eine wichtige Rolle spielen. In Analogie zum  $\text{NO}_x$  stellt man fest, dass die höchsten Werte nach der Wiedereröffnung des Gotthardtunnels gemessen wurden. Während einigen Tagen das hat sogar zu einer Überschreitung des LRV-Grenzwertes geführt.

In Fall von  $\text{NO}_2$  aus einer Analyse der ungünstigsten Tagen erhält man, dass in unmittelbarer Nähe der Autobahn, bei einer Zusatz  $\text{NO}_x$ -Emission von  $1 \text{ kg/km}$  pro Tag die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen um  $1.2 \mu\text{g/m}^3$  zunehmen.

Auf Grund dieser Betrachtungen erwartet man, dass insgesamt die mit dem Dosierungssystem erhaltene Reduktion des Schwerverkehrs (s. Tabelle 7.1) eine positive Wirkung auf die Luftbelastung entlang der A2 hat. Jedoch für eine genaue Betrachtung muss man auch die durch den Stau induzierten Zusatzemissionen berücksichtigen. Unter der Annahme, dass mit dem Dosierungssystem jeder Lastwagen eine halbe Stunde im Stau mit laufendem Motor bleibt, wurden die Emissionen von 3487 Lastwagen pro Tag ohne Dosierungssystem mit denjenigen von 2659 Lastwagen mit Dosierungssystem. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 7.2 angegeben.

	Ohne Dosierung	Mit Dosierung		Differenz
		In Fahrt	Im Stau	
Bellinzona-Airolo	1482 kg/Tag	1130 kg/Tag	36 kg/Tag	-316 kg/Tag
Stauzone	112 kg/Tag	85 kg/Tag	36 kg/Tag	+9 kg/Tag

**Tabelle 7.2:** Tägliche  $\text{NO}_x$ -Emissionen des Schwerverkehrs mit und ohne Dosierungssystem auf der A2 Strecke zwischen Bellinzona und Airolo und in einer Stauzone (4 km A2). Die Emissionen sind für die täglichen Verkehrsvolumen der Monaten Januar und Februar berechnet worden (s. Tabelle 7.1). Der  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktor ( $27\text{g}/(\text{Fzg} \cdot \text{h})$ ) für ein Schwerverfahrzeug mit laufendem Motor im Stau wurde von der Firma Infrass berechnet.

Gesamthaf hat das Dosierungssystem auf der A2 zwischen Bellinzona und Airolo eine Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen von mehr als 20% zur Folge. Dagegen, lokal wo die Lastwagen angehalten werden, hat dieses Management des Schwerverkehrs einen negativen Einfluss auf die  $\text{NO}_x$ -Belastung (+8%). Ähnliche Ergebnisse erhält man für andere Luftschadstoffe.

Die Sperrung des Gotthards während zweier Monate im Jahre 2001 wurde von den betroffenen kantonalen Umweltfachstellen, dem BUWAL, der Fa. ökoscience, dem PSI und dem IAC (ETH) genutzt um verschiedene Projekte auf dem Gebiete der Lufthygiene und Lärmbelastung zu realisieren. Schlussendlich konnten die Zusammenhänge zwischen Immissionen - Emissionen und Meteorologie bei grossen Verkehrsänderungen in den unterschiedlichen Tälern zufriedenstellend erklärt und interpretiert werden, sowie wichtige neue Erkenntnisse gewonnen werden.

An dieser Stelle sei allen Beteiligten für Ihr Engagement, die Auswertungen und das Zurverfügungstellen der Daten gedankt.

Hinsichtlich der Messungen konnten vor allem auf dem Gebiete der Partikelbelastungen in den Alpentälern und hinsichtlich des Lärmes grosse Fortschritte bei der Interpretation gemacht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden für die Abschätzung der lufthygienischen Auswirkungen künftiger Verkehrsentwicklungen wichtig sein.

Dieser Gesamtbericht musste aus Aktualisierungsgründen rasch nach der Wiedereröffnung des Gotthards erstellt werden und ist in diesem Sinn auch eine Übersicht über die durchgeführten Projekte und deren erste Ergebnisse. Verschiedene Auswertungen unter anderen Gesichtspunkten könnten nachträglich noch gemacht werden und würden weitere Erkenntnisse liefern. Die entsprechenden Messdaten stehen zur Verfügung. Es hat sich allgemein bei dieser Zusammenarbeit gezeigt, wie gross der Nutzen eines permanenten und koordinierten Monitorings von Luftschadstoffen, Verkehrsaufkommens und Meteorologie ist. Ein solches Monitoring zur Beobachtung der langfristigen Entwicklung von Luft, Lärm und Verkehr wird zur Zeit vom BUWAL in Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen im Rahmen des MfM-U (Monitoring flankierende Massnahmen - Bereich Umwelt) aufgebaut. Ausserdem wird in der italienischen Schweiz ein Umweltbeobachtungsmessnetz (OASI, Osservatorio ambientale della svizzera italiana) zur Förderung des Daten- und Erfahrungsaustausches aufgebaut.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass der alpenquerende Transitverkehr einen wesentlichen Einfluss auf die Luftqualität und die Lärmbelastung der Alpentäler hat. Aufgrund der speziellen topographischen und meteorologischen Gegebenheiten wirken sich die Verkehrsemissionen in den Alpentälern viel stärker auf die Luft- und Lärmbelastung aus als in offenerem Gelände. Der Transitverkehr wirkt sich dabei auf die Luft in der ganzen Talbreite aus, wobei insbesondere diejenigen Schadstoffe ins Gewicht fallen, die durch den Schwerverkehr ausgestossen werden.

Damit die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) eingehalten und die Gesundheit der Bevölkerung in den Alpentälern geschützt werden kann, ist es nötig die Schadstoffemissionen insbesondere des Schwerverkehrs und der übrigen Dieselfahrzeuge wesentlich senken. Das kann durch technische Massnahmen zur Abgasverminderung (z.B. DeNOx-Katalysatoren, Nachrüstung mit Partikelfiltern) und durch Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene erfolgen.

**P**rojektorganisation AfU GR, AfU Tessin, AfU Uri, BUWAL  
(Adressen siehe Impressum Seite 2)

Auswertungen Immissionen - Emissionen - Verkehr:  
ökoscience AG, 7000 Chur ([www.oekoscience.ch](http://www.oekoscience.ch));  
AfU GR ([www.afu.gr.ch](http://www.afu.gr.ch))

Projekt LUTUS (räumliche Verteilung von Gasen und Aerosolen):  
Paul Scherrer Institut (Labor für Atmosphärenchemie) 5232 Villigen  
(<http://lac.web.psi.ch>); ökoscience AG, 7000 Chur

Immissionsmessungen im Reusstal:  
Institute for Atmospheric and Climate Science (IAC-ETH), ETH, 8093 Zürich  
([www.iac.ethz.ch](http://www.iac.ethz.ch))  
AfU URI ([www.in-luft.ch](http://www.in-luft.ch))

Modellierung der zusätzlichen Immissionsbelastung im Rheintal:  
INFRAS, 8039 Zürich, ([www.infras.ch](http://www.infras.ch))

Lärmmessungen:  
AfU GR, AfU URI und AfU TI  
IFEC, 6574 Vira - Gamborogno  
[dario.bozzolo@ifec.ch](mailto:dario.bozzolo@ifec.ch)

Layout Gestaltung Druck:  
AfU GR; Casutt AG 7000 Chur

