

BERICHT

**Zusammenstellung von
immissionsklimatischen
Erkenntnissen in der
Umgebung von
Alpentransitachsen.**

Brenner, San Bernardino, Gotthard

Dr. Franziska Siegrist
Dr. Jürg Thudium
V 1/ 15.9.2002/ 5202.10, 5203.10, 5204.20
BE_Transitachsenbericht.doc

Oekoscience AG

Werkstrasse 2
7000 Chur
Telefon: +41/81/250 33 10
Telefax: +41/81/250 33 11

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	3
1.1. Zielsetzung	3
1.2. Aufbau des Berichts	4
1.3. Grundlagen	4
2. Untersuchungsgebiete	7
2.1. Unteres Inntal, Tirol / A (Inntal-Autobahn A12, nördliche Zufahrt zum Brenner)	8
2.2. Südtirol / I (Autobahn A22, Brenner Süd)	10
2.3. Churer Rheintal / CH (A13, San Bernardino Nord)	12
2.4. Misox / CH (A13, San Bernardino Süd)	12
2.5. Urner Reusstal / CH (A2, Gotthard Nord)	15
2.6. Val Maurienne / F (A43, Fréjus Nord)	17
3. Klimatische Situation	19
3.1. Temperaturschichtung	19
3.1.1. Allgemeines	19
3.1.2. Methodik	19
3.1.3. Häufigkeit von Inversionen	21
3.1.4. Inversionsuntergrenzen	24
3.1.5. Schlussfolgerungen zu den Inversionsuntersuchungen	25
3.2. Wind	25
3.3. Zusammenhang der Immissionen mit den Inversionen und dem Wind	27
4. Verkehrs-Emissionen	30
4.1. Trends der Verkehrszahlen	30
4.1.1. Gesamter Strassenverkehr	31
4.1.2. Güterverkehr	34
4.2. Emissionen	38
4.2.1. Emissionskataster Südtirol: Die Rolle des Verkehrs als Emissionsquelle	38
4.2.2. Die Entwicklung der Verkehrs-Emissionen im Tirol	40
4.2.3. Mittlere Tagesgänge der Emissionen	42
5. Immissionen	44
5.1. Jahresmittelwerte an verschiedenen Standorten	44
5.2. Mittlere Tagesgänge der Immissionen	48

6. I/E-Verhältnisse	52
6.1. Grundlagen	52
6.2. Methodik	53
6.3. Überblick über die I/E-Verhältnissen in den Regionen	54
6.3.1. Mittlere Tagesgänge	55
6.3.2. Tageszeitliche und jahreszeitliche Variabilität an den einzelnen Stationen	56
6.3.3. Regionale Variabilität	58
6.3.4. Überregionaler Vergleich	59
6.4. Fazit zu den I/E-Verhältnissen	60
7. Spezifische Aspekte in einzelnen Untersuchungsgebieten	61
7.1. NO _x - und NO ₂ -Immissions-Szenarien für das Inntal	61
7.2. Räumliche Schadstoffverteilung im Urner Reusstal	63
7.3. Ausbreitungsfunktion in Abhängigkeit der Distanz zur Autobahn	65
7.4. Wochentagsabhängigkeit der Ozon-Immissionen im Bündner Rheintal und im Misox	69
8. Fazit und Ausblick	71
9. Literatur	73

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 2.1: Übersicht über die Region des inneren Alpenbogens zwischen Fréjus und Brenner. Rot: grössere Städte, orange: in diesem Bericht erwähnte Standorte (wichtige Messstationen oder Verkehrszählstellen), grün: Autobahn-Alpenpässe und -Tunnels. 7
- Abbildung 2.2: Übersichtskarte über das Unterinntal. Massstab der Kartengrundlage: 1:200'000 (Österreichische Karte, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen). 9
- Abbildung 2.3: Überblick über das Eisacktal im Südtirol. Bozen liegt ca. 5 km südwestlich vom unteren Kartenrand. Massstab der Kartengrundlage: 1:200'000 (Österreichische Karte, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen). 11
- Abbildung 2.4: Übersichtskarte über den oberen Abschnitt des Churer Rheintals. Maienfeld liegt ca. 10 km nordwestlich von Zizers. am rechten Rheinufer. Massstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bew. des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148). 13
- Abbildung 2.5: Übersichtskarte über die Umgebung von Roveredo im Misox. Massstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148). 14
- Abbildung 2.6: Übersichtskarte über das Urner Reusstal. Massstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148). 16
- Abbildung 2.7: Überblick über das Val Maurienne. Massstab der Kartengrundlage: 1:1'000'000. 18
- Abbildung 3.1: Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Sommer und im Winter: Temperaturprofil Attinghausen (Reusstal): Links: Sommer (Mai bis August 1999), rechts: Winter (Jan., Feb., Nov., Dez. 1999). Auf der x-Achse ist die Tageszeit dargestellt, auf der y-Achse die Höhe über Grund. Die Farbe gibt die Häufigkeit der Inversionen an. 21

Abbildung 3.2:	Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Winter: Temperaturprofile Schwaz (Inntal, links) und Haldenstein (Rheintal, rechts). Beschreibung der Achsen vgl. Abbildung 3.1.	22
Abbildung 3.3:	Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Winter auf der Alpensüdseite: Temperaturprofile San Vittore (Misox, links) und Moleno (TI, rechts). Man beachte die unterschiedliche Farbskala im Vergleich zu den anderen Profilen! Die bodennahe Atmosphäre der Alpensüdseite ist in Winternächten praktisch permanent inversiv geschichtet, die Inversionen lösen sich tagsüber nur selten auf. Beschreibung der Achsen vgl. Abbildung 3.1.	23
Abbildung 3.4:	Inversionshöhen im Reusstal im Tages- und Jahresgang. Auf der x-Achse sind alle Tage des Jahres 2001 dargestellt, auf der y-Achse die Tageszeit. Die Farbe gibt jeweils die Untergrenze der tiefsten Inversionsschicht an.	24
Abbildung 3.5:	Windrichtungsverteilung über ein ganzes Jahr im Reusstal, Inntal und Südtirol	27
Abbildung 3.6:	Mittlere NO _x -Immissionen in Abhängigkeit der täglichen Inversionsdauer. Standorte: Reusstal (Erstfeld), Rheintal (Chur), Gotthard Süd (Bodio), Misox (Roveredo). Zeitraum jeweils Oktober bis Dezember.	28
Abbildung 3.7:	Mittlerer Tagesgang der NO _x -Immissionen bei Vomp (Inntal) in Abhängigkeit der täglichen Inversionsdauer (für Werktage vom 1.11.2000 - 18.3.2001)	29
Abbildung 4.1:	Vergleich der Verkehrszahlen (DTV) an den drei untersuchten Alpentransitachsen Brenner (oben), San Bernardino (Mitte) und Gotthard (unten). Quellen: Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001); Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Bundesamt für Strassenbau ASTRA.	32
Abbildung 4.2:	Mittlere Tägliche Gesamtverkehrszahl und Anzahl Lkws an den Brennerzufahrten im Inntal (Vomp) und im Eisacktal (Bozen Süd): Verkehrszählungen und Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. "Lkw" bezieht sich hier auf alle schweren Güterfahrzeuge >3.5 t, wobei im Südtirol zusätzlich die Busse eingerechnet sind. Quellen: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001).	33

- Abbildung 4.3: Mittlere Tägliche Gesamtverkehrszahl und Anzahl Lkws am Brennerpass (nord: Plon / Matrei, süd: Sterzing): Verkehrszählungen und Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. "Lkw" bezieht sich hier auf alle schweren Güterfahrzeuge >3.5 t, wobei im Südtirol zusätzlich die Busse eingerechnet sind. Quellen: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001). 34
- Abbildung 4.4: Relative Entwicklung des Lkw-Verkehrs auf der Südseite des Brenners in Sterzing und Bozen Süd (aufsummiert, Referenzjahr 1997). Quelle: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol. 35
- Abbildung 4.5: Entwicklung der Strassengüterfahrzeuge (Lastwagen, Last- und Sattelzüge >3.5 t) in der Schweiz nach Alpenübergängen. 2001: "mit Tunnelsperrung": tatsächlich gemessene Werte (infolge der Gotthardsperrung gehen die Güterfahrzeuge sowohl am Gotthard selbst als auch im gesamtschweizerischen Total zurück), "ohne Tunnelsperrung": Abschätzung der normalen Entwicklung, falls der Gotthard nicht gesperrt gewesen wäre. Abbildung übernommen aus: Bundesamt für Raumentwicklung (2002b). 36
- Abbildung 4.6: Entwicklung der schweren Güterfahrzeuge (Lkws, Lasten- und Sattelzüge >3.5 t) auf den einzelnen Alpenübergängen. Sperrung Mont-Blanc-Tunnel: ab 24.3.1999, Sperrung Gotthard-Tunnel: 24.10.01-21.12.01. Quelle: Alpinfo 2001 (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002a). 37
- Abbildung 4.7: Ausschnitt aus dem Emissionskataster Südtirol: relative Verteilung der Schadstoffquellen. Für CO, NOx und PM10 ist der Verkehr (rot) die dominante Quelle. Quelle: Emissionskataster Südtirol. 39
- Abbildung 4.8: PM10-Quellen im Südtirol für 1997 und 2000. Quelle: Emissionskataster Südtirol. 40
- Abbildung 4.9: NOx-Emissionen an der Autobahn in Vomp: Entwicklung seit 1990 und Trendabschätzung bis 2010. Quelle: Tirol, Verkehrsplanung (2000). 41

Abbildung 4.10: NO _x -Emissionen an der Autobahn in Plon: Entwicklung seit 1990 und Trendabschätzung bis 2010. Quelle: Tirol, Verkehrsplanung (2000).	41
Abbildung 4.11: Vergleich der NO _x -Emissionen durch die Autobahn im mittleren jährlichen Tagesgang. Von oben nach unten: Härkingen (Schweizer Mittelland), Altdorf (Urner Reusstal), Vomp (Inntal). Vgl. auch Abbildung 5.2.	43
Abbildung 5.1: Vergleich der mittleren jährlichen NO _x -Konzentration (ppb) an den einzelnen Standorten für das Jahr 2000 (Altdorf 1999).	45
Abbildung 5.2: Vergleich der NO _x -Immissionen im mittleren jährlichen Tagesgang. Von oben nach unten: Härkingen (Schweizer Mittelland), Altdorf (alpines Reusstal), Vomp (alpines Inntal). Vgl. auch Abbildung 4.11.	50
Abbildung 5.3: Mittlerer jährlicher Tagesgang der NO _x -Immissionen bei Sterzing.	51
Abbildung 6.1: Jahrgang 1999 der NO _x -Emissionen der A13 im Rheintal und der NO _x -Immissionen bei Zizers (600 m Distanz zur Autobahn). Das regelmässige Auftreten verminderter Emissions- und Immissionswerte repräsentiert den Wochengang mit dem geringeren Verkehrsaufkommen am Wochenende.	53
Abbildung 6.2: Mittlere saisonale Tagesgänge der I/E-Verhältnisse im Inntal (oben) und im Reusstal (unten). Beachte die unterschiedlichen Skalierungen der einzelnen Grafiken. Die beiden Regionen können nicht direkt miteinander verglichen werden, da die I/E-Verhältnisse nicht normiert sind.	56
Abbildung 7.1: Modellierete NO _x -Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das proportionale Szenarium (2005 prop und 2010 prop), das konstante Szenarium (2005 c und 2010 c), das Nachtfahrverbots-Szenarium (2005 NFV und 2010 NFV) und das Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h). Vgl. Text zur Erklärung der einzelnen Szenarien.	62

- Abbildung 7.2: Berechnete NO₂-Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das proportionale Szenarium (2005 prop und 2010 prop), das konstante Szenarium (2005 c und 2010 c), das Nachtfahrverbots-Szenarium (2005 NFV und 2010 NFV) und das Szenarium Tag – Nacht (2010 12 h) sowie die in den Jahren 2005 und 2010 gültigen Grenzwerte der EU (inklusive Toleranz in der Übergangsphase) und des österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft (IGL). 63
- Abbildung 7.3: Verlauf der NO_x-Belastung vom 14.-18.12.98 als Isolinien - Darstellung. Die x-Achse gibt die Zeit an, die y-Achse die Höhe über Meer. Die weissen Linien markieren die Messfahrten mit der Luftseilbahn, die weissen Dreiecke die jeweiligen Unter- und Obergrenzen der Inversion. Die Farbskala zeigt die zeitlich interpolierte NO_x-Konzentration an. 64
- Abbildung 7.4: I/E-Verhältnisse für jede Saison und das ganze Jahr 2000 an den Immissionsstationen im Unterinntal. 66
- Abbildung 7.5: I/E-Verhältnisse für jede Saison und das ganze Jahr 2000 im Unterinntal und Bestimmung der entsprechenden Ausbreitungsfunktionen. Die Symbole zeigen die auf Messdaten beruhenden I/E-Verhältnisse, die Kurven und die Formeln die daraus abgeleiteten Potenzfunktionen. 67
- Abbildung 7.6: Ausbreitungsfunktion für das Bündner Rheintal im Sommer und im Winter (Linien) im Vergleich mit einzelnen kurzen Messkampagnen (Symbole). Sowohl die Immissionsmessungen als auch die Ausbreitungsfunktion wurden auf den autobahnächsten Punkt normiert. 68
- Abbildung 7.7: Wochentagsabhängigkeit der mittl. Ozon-Produktionsrate (12-16 h) an drei Bündner Stationen (Zizers und Chur im Rheintal, Arosa in erhöhter Lage in einem Seitental). Bestimmt aus dem mittleren Tagesgang Mai-August 1995-1999 für 'Sommertage'. Indexiert auf Dienstag bis Donnerstag. 69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Immissions-Messstationen im Unterinntal. Betreiber: Landesforstdirektion Tirol LFD, Niederösterreichischen Umweltanstalt NUA.	10
Tabelle 2.2:	Immissions-Messstationen im Misox	15
Tabelle 2.3:	Immissions-Messstationen im Urner Reusstal	17
Tabelle 3.1:	Beschreibung der Temperaturprofilmessungen	20
Tabelle 3.2:	Mittlere Windgeschwindigkeiten an diversen Standorten	26
Tabelle 4.1:	Alpenquerender Güterverkehr auf den Strassen im inneren Alpenbogen: Vergleich von 1994 und 2001: schweren Güterfahrzeuge (Lkws, Lasten- und Sattelzüge >3.5 t). vgl. auch Abbildung 4.6. Quelle: Alpinfo 2001 (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002a).	38
Tabelle 5.1:	Trend der NO _x -Jahresmittelwerte (ppb) in den Untersuchungsgebieten. Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: (1) Effekt der Lärmschutzwand für die Distanzangabe bei Altdorf berücksichtigt. (2) Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar.	44
Tabelle 5.2:	Trend der NO ₂ -Jahresmittelwerte (µg/m ³) in den Untersuchungsgebieten. Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: (1) Effekt der Lärmschutzwand für die Distanzangabe bei Altdorf berücksichtigt. (2) Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar, (3) Sterzing 1998: nur Oktober bis Dezember.	47
Tabelle 5.3:	Trend der Gesamtstaub-Jahresmittelwerte (µg/m ³) im Inntal und im Eisacktal. Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: (2) Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar, (3) Sterzing 1998: nur Oktober bis Dezember, (4) Vomp 2001: Gesamtstaub abgeschätzt aus PM ₁₀ -Messung.	48

Tabelle 6.1:	Die relativen I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Inntal im Tages- und Jahresgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.	57
Tabelle 6.2:	Die relativen I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Reusstal im Tages- und Jahresgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.	58
Tabelle 6.3:	Vergleich des I/E-Verhältnisses zwischen den einzelnen Stationen im Inntal am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Vomp im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert.	58
Tabelle 6.4:	Vergleich des I/E-Verhältnisses aller drei Stationen im Reusstal am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Altdorf Gross Ei im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert.	59
Tabelle 6.5:	Vergleich der I/E-Verhältnisse im Tages- und Jahresgang zwischen den autobahnnahen Stationen Altdorf Gross Ei im Reusstal und Härkingen im Schweizer Mittelland. Normiert auf Altdorf, Nachmittag im Sommer.	59
Tabelle 6.6:	Vergleich der saisonalen und jährlichen Mittelwerte der I/E-Verhältnisse direkt an der Autobahn im Inntal und im Reusstal. Normiert auf den jeweiligen Wert in Vomp.	60

Zusammenfassung

Für diesen Bericht wurden mehrere Alpentäler auf einer internationalen Ebene im Hinblick auf die lufthygienischen Auswirkungen des Alpentransitverkehrs untersucht. Dabei wurde deutlich, dass alpine Regionen mit besonderen Problemen konfrontiert sind. Neben der Lärmbelastung und Nutzungskonflikten zwischen dem beschränkten Platz für Wohn- und Erholungsraum sowie Landwirtschaftsflächen und dem Platzbedarf der Verkehrsachsen in einem engen Alpental fällt insbesondere die Schadstoffbelastung der Luft ins Gewicht. Diese wird verstärkt durch die enge topografische Situation und häufige Inversionslagen, welche einen Austausch der Luftmassen verhindern.

Die Untersuchungsgebiete sind die Nord- und Südachse des Brenners und v.a. die Zufahrtsautobahnen nordwestlich von Innsbruck und in der Umgebung von Bozen. Weiter wurde das Reusstal an der Gotthardnordzufahrt sowie die Nord- und Südzufahrt des San Bernardino im Kanton Graubünden untersucht. Wo es die Datenlage erlaubte, wurden auch Beispiele von der Südseite des Gotthards (Kanton Tessin) und vom Fréjus und Mont-Blanc in Frankreich beigezogen.

Als Grundlage dienen bisherige Studien von Oekoscience AG aus diesen Regionen. Zusätzlich wurden vergleichende Datensätze zu den Verkehrszahlen, insbesondere zum Güterverkehr, sowie zu den Jahresmittelwerten der Schadstoffkonzentrationen speziell für diesen Bericht zusammengestellt.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass der Verkehr, besonders der schwere Güterverkehr, auf allen Alpentransitstrassen in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Technische Massnahmen zur verbesserten Effizienz der Motoren allein genügen nicht, um die Luftbelastung infolge des stetig wachsenden Verkehrsaufkommens zu senken. Dazu ist eine Verringerung des Strassengüterverkehrs (am ehesten durch Verlagerung auf die Schiene) anzustreben. Das Emissionskataster aus dem Südtirol zeigt, dass der Verkehr besonders für Stickoxide und Feinstaub der wichtigste Emittent im Südtirol ist. Dies gilt auch für alle anderen Untersuchungsregionen.

Ein wichtiges Kapitel ist dem Zusammenhang zwischen den Emissionen und den Immissionen gewidmet. Dieser ist nicht linear, sondern in komplexer Weise von den meteorologischen und topografischen Umgebungsbedingungen abhängig.

Es konnte gezeigt werden, dass eine bestimmte Menge emittierter Schadstoffe in einem Alpental deutlich höhere Immissionen verursacht als im Flachland. Am gravierendsten sind diese Auswirkungen nachts, weil dann oft stabile Bedingungen herrschen, die den Luftaustausch unterbinden. Deshalb ist eine Einschränkung des nächtlichen Güterverkehrs auch aus lufthygienischer Sicht sinnvoll.

Ziel dieses Berichts ist einerseits die einheitliche und vergleichbare Darstellung der angewendeten Methoden und der bisherigen Erkenntnisse. Andererseits soll die wissenschaftliche Grundlage geschaffen werden für eine gemeinsame Strategie zur Verringerung des gesamten alpenquerenden Verkehrs.

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung

Die Frage der Mobilität von Personen und Gütern erlangt in Europa zunehmende politische Bedeutung. Besonders im Vordergrund stehen dabei die Gütertransporte mit ihren ökologischen Auswirkungen. Die Alpentäler haben sich in verschiedenen Untersuchungen als besonders sensitiv gegenüber den Auswirkungen des Verkehrs herausgestellt. Der gesamte alpenquerende Verkehr wird über wenige Alpenübergänge abgewickelt, welche somit ein grosses Verkehrsaufkommen verkraften müssen. Meist liegen in den Alpentälern die Wohngebiete am Talboden in relativ geringer Distanz zur Autobahn. Ausserdem herrschen in den Alpen besondere topografische und meteorologische Bedingungen, welche den Abtransport der emittierten Schadstoffe aus dem Tal behindern. Lärm ist ebenfalls eine Auswirkung des Verkehrs, welche die Alpentäler in besonderem Mass betrifft. Er ist jedoch nicht Gegenstand dieser Studie. Die lufthygienischen Auswirkungen des alpenquerenden Verkehrs werden hier im internationalen Kontext im Auftrag folgender Ämter zusammengestellt: Amt der Tiroler Landesregierung (Landesbaudirektion, Abt. Gesamtverkehrsplanung), Landesamt für Luft und Lärm Südtirol, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (CH, auf Anregung der Ämter für Umweltschutz Graubünden und Uri).

In diesem Bericht werden verschiedene Täler an wichtigen Alpentransitachsen bezüglich ihrer lufthygienischen Situation miteinander verglichen. Als Grundlage dienen bisherige Studien, die von Oekoscience AG in diesen Regionen durchgeführt wurden. Da diese Studien jeweils unabhängig voneinander zu speziellen regionalen Fragestellungen in Auftrag gegeben wurden, behandeln sie z.T. sehr unterschiedliche Themen. Trotzdem zielen alle darauf ab, die Luftqualität aufgrund der Verkehrssituation zu beschreiben. Dabei spielen die örtlichen topografischen und klimatischen Austauschbedingungen eine wichtige Rolle.

Ziel dieses Berichts ist einerseits die einheitliche und vergleichbare Darstellung der angewendeten Methoden und der bisherigen Erkenntnisse. Andererseits sollen Gemeinsamkeiten der lufthygienischen Situation sowie deren Unterschiede in den einzelnen Alpentälern beleuchtet werden. Der Bericht liefert Erkenntnisse für zukünftige Planungsstrategien für den alpenquerenden Verkehr. Er dient als Diskussionsgrundlage für die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Regionen.

1.2. Aufbau des Berichts

Die Untersuchungsregionen werden im Kapitel 2 vorgestellt. Es sind dies am Brenner und am San Bernardino jeweils die Nord- und Südzufahrt (unteres Inntal, Südtirol, Churer Rheintal, Misox), am Gotthard die Nordrampe (Urner Reusstal). Es werden auch einige Beispiele der Gotthardsüdrampe im Tessin gezeigt. Die Region Val Maurienne am Fréjus wird ebenfalls kurz beschrieben, da über sie auch gewisse Erkenntnisse vorliegen. Sie ist aber nicht Gegenstand weiterer Untersuchungen dieses Berichts.

Die Kapitel 3 bis 6 zeigen Vergleiche von Messresultaten zwischen den einzelnen Regionen. Wenn möglich werden alle Täler einbezogen. Gewisse Ergebnisse liegen aber nicht für alle Gebiete vor, so dass sich die entsprechenden Vergleiche nur auf die Gebiete mit vorhandenen Untersuchungen beziehen.

Kapitel 3 geht auf die klimatische Situation in den einzelnen Tälern ein. Betrachtet werden die Temperaturschichtung und der Wind, welche einen starken Einfluss auf die Austauschbedingungen der Luft haben.

Die Kapitel 4 bis 6 beschreiben die Emissionen und die Immissionen im Überblick sowie das Verhältnis von Immissionen zu Emissionen.

Schliesslich werden im Kapitel 7 einzelne Aspekte betrachtet, die sehr spezifisch in einer Region untersucht wurden.

1.3. Grundlagen

Die hier erwähnten Studien finden sich alle am Ende dieses Berichts in der Literaturliste. Um eine möglichst umfassende Darstellung der bisherigen Arbeiten in den untersuchten Alpentälern zu haben, werden auch sehr spezifische lokale Untersuchungen von Oekoscience AG in die Literaturliste aufgenommen, auch wenn sie für diesen Bericht nicht weiter berücksichtigt werden.

Die Untersuchungen an der **Nordzufahrt zum Brenner** beziehen sich auf langjährige Messungen an der Inntal-Autobahn A12 im unteren Inntal (nordöstlich von Innsbruck). Sie wurden von Oekoscience AG in folgenden Studien ausgewertet: "Immissionsklima und Ausbreitungsmodellierung im Unterinntal", "Immissionsklimatisch abgestützte Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn (Vor-

studie)" und "Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn."

Südtirol stellt hinsichtlich dieses Berichts einen Sonderfall dar. Oekoscience AG hat bisher in dieser Region keine Untersuchungen durchgeführt. Deshalb werden eigens für diesen Bericht noch Auswertungen vorgenommen. Die entsprechenden Daten wurden vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol zur Verfügung gestellt. Die Region Südtirol verfügt ausserdem über ein Emissionskataster, welches interessante Erkenntnisse für diesen Bericht liefert. Im übrigen werden verschiedene im Südtirol durchgeführte Studien einbezogen (teilweise handelt es sich um gemeinsame Projekte mit Nordtirol). Die wichtigsten sind: "Auswirkungen des Transitverkehrs auf die Umwelt. Ergebnisse der Luftqualitätsuntersuchungen und Lärmmessungen entlang der Brennerautobahn", Teile 1 und 2 sowie der Zwischenbericht; ferner: "Stickstoffdioxidbelastung entlang der Brennerautobahn" und "Inquinamento da traffico transfrontaliero e alternative per una mobilità sostenibile."

Für den **San Bernardino (Nord- und Südzufahrt)** werden folgende Studien von Oekoscience AG berücksichtigt: "Der Einfluss von Temperaturinversionen auf die Stickoxidbelastung im Misox und Bündner Rheintal 1999/2000", "Dispersionsmodellierung für den Kanton Graubünden: Temperaturprofil-Auswertung und Ausbreitungsfunktion" und die entsprechende Studie von Infras AG: "Dispersionsmodellierung für das Churer Rheintal", ferner: "Wochentagsabhängigkeit der Ozonwerte im Misox und Tessin im Vergleich zu den Emissionen auf der Autobahn A2", "Wochentagsabhängigkeit der Immissionen und Emissionen im Bündner Rheintal".

Im **Urner Reusstal am Gotthard** wurden im Zusammenhang mit dem Projekt Lubetrax diverse Berichte erstellt, deren Resultate z.T. später wieder aufgegriffen wurden. Ausserdem liegen einige kleinere Untersuchungen zu speziellen Fragestellungen vor. Diese Berichte sind in der Literaturliste erwähnt. Das Hauptgewicht für den vorliegenden Bericht liegt jedoch auf folgenden Studien: "Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Feinstaubes im Urner Reusstal während winterlichen Inversionslagen", "Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Ozons im Urner Reusstal während des Hochsommers 2000", "Auswirkungen der Meteorologie und der Topografie auf die Stickoxidbelastung im Urner Reusstal entlang der Autobahn A2."

Im Übrigen gehen die beiden vergleichenden Untersuchungen zwischen **Gotthard und San Bernardino** während Sperrungen des Gotthards in diesen Bericht ein: "Immissionsbelastung entlang der Alpentransitachsen A2 und A13 während

der lawinenbedingten Sperrung der A2 vom 19.-25. Februar 1999" und "Umleitung Gotthard 2001".

Wo der Vergleich mit dem **Fréjus (Val Maurienne)** von Interesse ist, wird der Bericht "Transit Traffic in Maurienne Valley - Ambient Air Pollution" einbezogen.

Die wichtigsten Erkenntnisse über den Alpentransitverkehr wurden von Oeko-science AG schon früher im Bericht "Auswirkungen des Alpentransitverkehrs auf die Luftbelastung in den Alpentälern" sowie bei Siegrist & Thudium (2002) zusammengefasst.

Die Problematik des Alpenquerenden Verkehrs hat in den letzten Jahren diverse Autoren beschäftigt. Im Rahmen dieses Berichts wurde auch solche Literatur beigezogen. Hier seien einige grundlegenden Werke erwähnt: "Alpenreport" (CIPRA, 1998 & 2001, der Verkehr wird vor allem im Band 1 behandelt, Band 2 liefert generelle Informationen zu den Alpen als Lebensraum). Stone (1992) gibt einen globalen Überblick über Gebirgsräume, wobei die Verkehrsproblematik nur am Rande angesprochen wird. Einige weitere Studien: "Wege durch die Alpen" (Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, 1996); "Road freight transport and the environment in mountainous areas" (European Environment Agency, 2001); "Autostrade e ferrovie" (Club Alpino Italiano & Regione Valle d'Aosta, 1997); "Luftschadstoffuntersuchungen entlang von Alpen-Transitrouten" (Bösmiller, 2000).

2. Untersuchungsgebiete

Der gesamte innere Alpenbogen ist Gegenstand dieser Studie. Allerdings werden vorwiegend Untersuchungen aus der zentralen und östlichen Region einbezogen, für die grossen französischen Alpenpässe Mont-Blanc und Fréjus stehen nur wenig Daten und kaum Grundlagenstudien zur Verfügung. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die ganze Region und die wichtigsten Ortsnamen, welche in diesem Bericht erwähnt werden. Die einzelnen Regionen sind detailliert in den folgenden Kapiteln beschrieben.

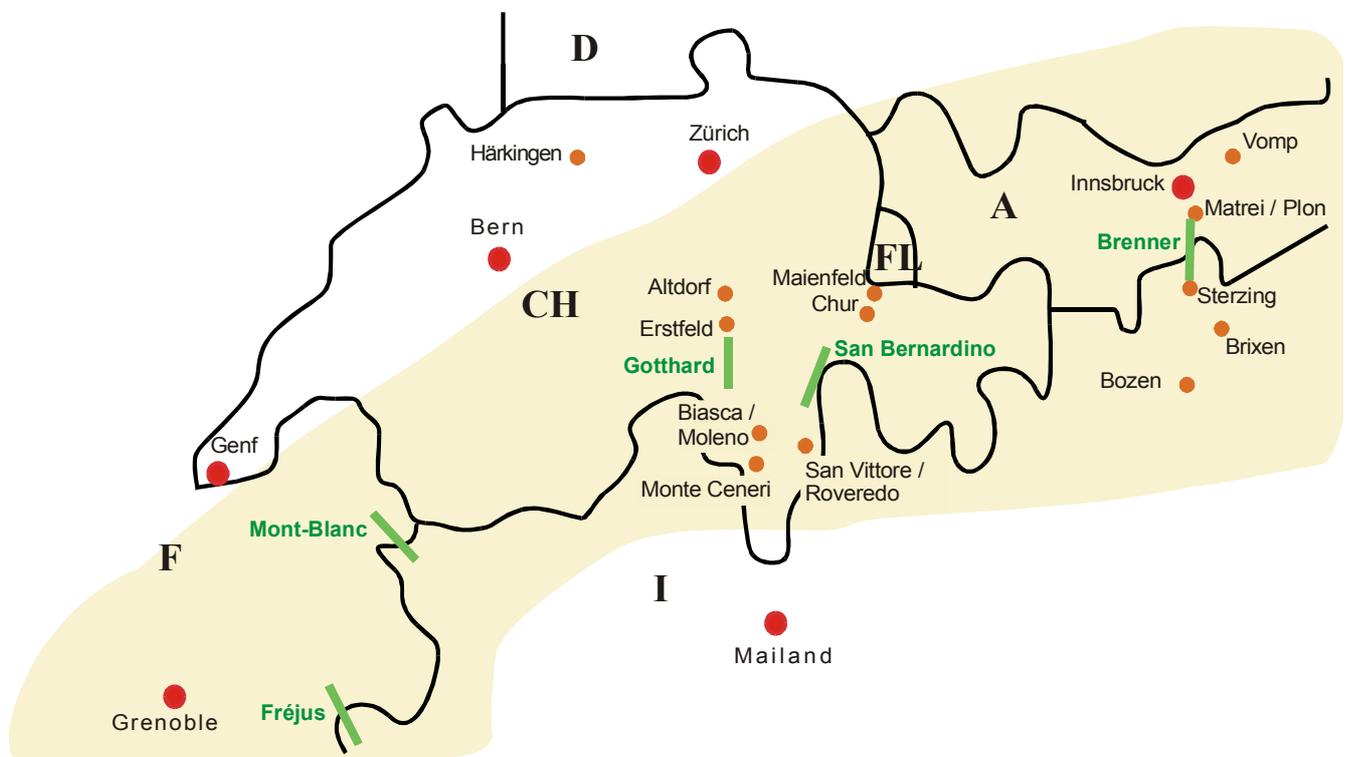


Abbildung 2.1: Übersicht über die Region des inneren Alpenbogens zwischen Fréjus und Brenner.
 Rot: grössere Städte, orange: in diesem Bericht erwähnte Standorte (wichtige Messstationen oder Verkehrszählstellen), grün: Autobahn-Alpenpässe und -Tunnels.

2.1. Unteres Inntal, Tirol / A (Inntal-Autobahn A12, nördliche Zufahrt zum Brenner)

Die Untersuchungen im Tirol wurden entlang der Autobahn A12 im unteren Inntal zwischen Volders und Jenbach durchgeführt (Abbildung 2.2). Das Tal verläuft hier fast flach (auf einer Höhe von 560 – 530 m ü.M.) von Südwest nach Nordost. Der Talboden hat eine durchschnittliche Breite von etwa 1.5 km. Das Tal weist vor allem an der nördlichen Flanke ausgeprägte Mittelgebirgsterrassen auf, die es aus der Distanz wesentlich breiter erscheinen lassen. In diesem Talabschnitt gibt es einige bedeutsame Seitentäler, sowohl von Norden als auch von Süden. Solche Seitentäler können durch nächtlichen Kaltluftabfluss zu einer Verbesserung der Luftqualität im Haupttal beitragen. Die grossräumige Topografie mit der Nähe zum Alpenhauptkamm sowie die damit verbundenen Grosswetterlagen haben ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf das Tal. Besonders die ausgeprägten Föhnlagen sind hier von Bedeutung. Bei Westlagen wird der Wind in Talrichtung kanalisiert.

Das Unterinntal ist von allen Untersuchungsgebieten dasjenige mit der besten Abdeckung an Messstationen. Es wurden Daten von 7 Immissionsstationen der Tiroler Landesforstdirektion (LFD) und der Niederösterreichischen Umweltschutzanstalt (NUA) ausgewertet (vgl. Tabelle 2.1). Die klimatischen Untersuchungen beruhen auf Messungen bei Vomp sowie einem Temperaturprofil bei Schwaz (am nord-exponierten Hang).

Als Hauptuntersuchungszeitraum wurde das Jahr 2000 gewählt. Dieses war im Vergleich zum langjährigen Mittelwert deutlich zu warm und wies besonders im Sommer und im Herbst mehr Niederschläge auf. Diese Bedingungen sind luft-hygienisch eher günstig. Das heisst, die Ausbreitungsbedingungen sind besser als im langjährigen Mittel und die Schadstoffbelastung für das Tal somit geringer. Das ausgewertete Jahr zeigt also einen Idealfall. Die Schadstoffbelastung im Tal kann in einem meteorologisch ungünstigen Jahr noch deutlich höher ausfallen. Im weiteren gelangten Daten von 1995 und 1999 zur Auswertung.

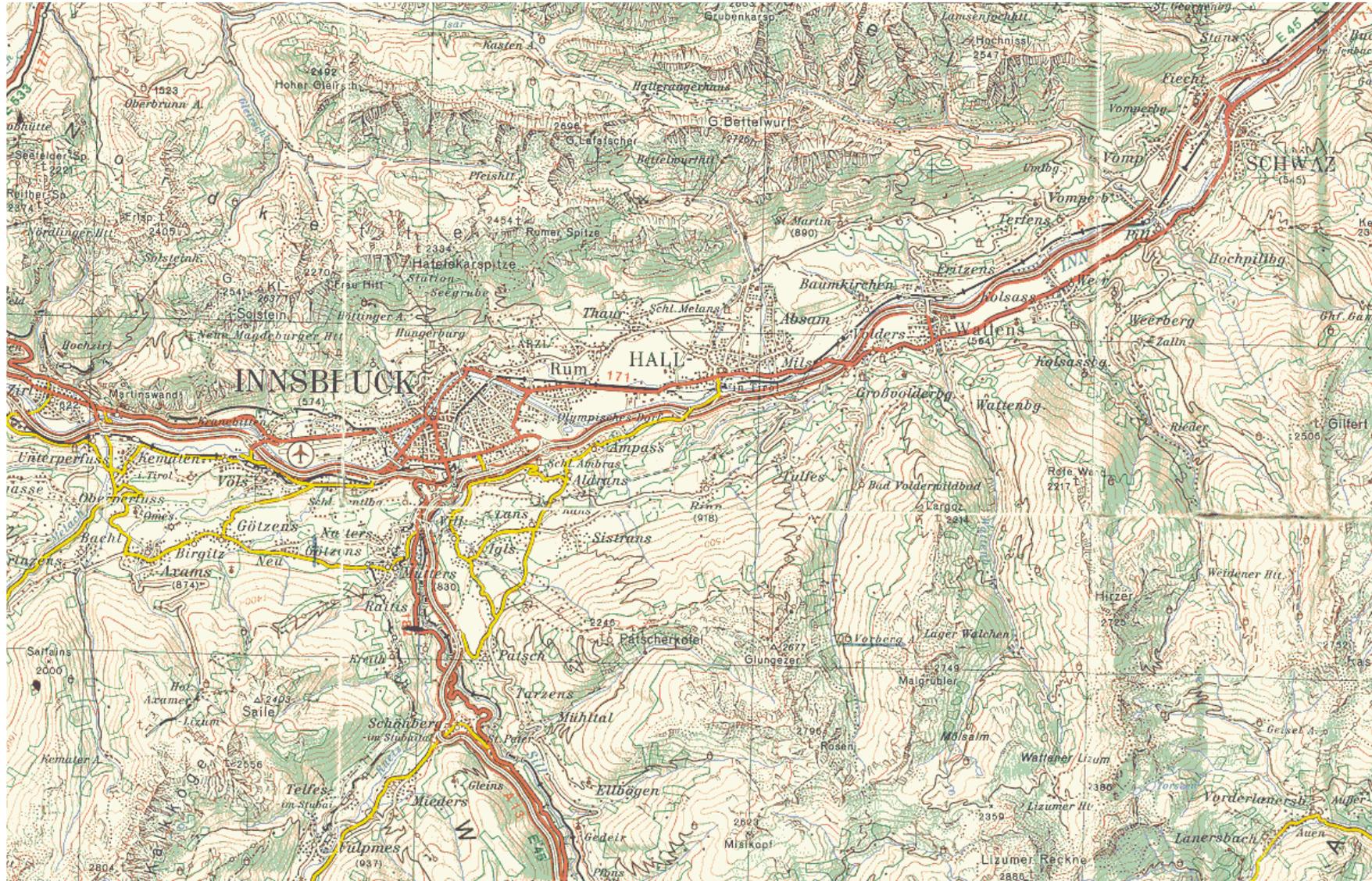


Abbildung 2.2: Übersichtskarte über das Unterinntal. Masstab der Kartengrundlage: 1:200'000 (Österreichische Karte, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).

Tabelle 2.1: Immissions-Messstationen im Unterinntal. Betreiber: Landesforstdirektion Tirol LFD, Niederösterreichischen Umweltanstalt NUA.

Name der Station und Betreiber	Abstand zur Fahrbahn	Niveau-Unterschied zur A12	Bemerkungen
Vomp (LFD)	5 m (südlich)	0 m	direkt an der A12
Vomp an der Leiten (LFD)	40 m (südlich)	-12 m	
Schlagturn (NUA)	12 m (nördlich)	-3 m	hinter einer ca. 5 m hohen Lärmschutzwand, (Schadstoffeintrag an der Station reduziert)
Stans (NUA)	50 m (nördlich)	-6 m	hinter einer ca. 5 m hohen Lärmschutzwand (hat kaum Einfluss auf die Station)
Unterfeld (NUA)	350 m (nördlich)	0 m	
Pill (NUA)	310 m (südlich)	-10 m	nur bis März 2000
Hall (LFD)	210 m (nördlich)	ca. -12 m	mässiger Einfluss zusätzlicher Emissionsquellen (z.B. Bundesstrasse 171)

2.2. Südtirol / I (Autobahn A22, Brenner Süd)

Das Eisacktal zwischen Sterzing und Bozen (Abbildung 2.3) ist Gegenstand diverser Untersuchungen zur Lufthygiene und zum Verkehr auf der Brennerautobahn A22. Es verläuft auf einer Länge von ca. 60 km in einem Bogen, anfänglich Richtung Südosten, später Richtung Südwesten, von 960 m ü.M. bis auf 260 m ü.M. Im ganzen Gebiet ist das Tal nur wenige hundert Meter breit, wobei es im obersten Abschnitt bei Sterzing eine etwas weitere Ebene bildet. Das Gebiet wird vom Klima der Alpensüdseite bestimmt.

Die wichtigste Immissions-Messstation liegt in Sterzing, 100 m von der Autobahn entfernt, ca. 20 m unterhalb der Fahrbahn. Es liegen auch Daten von mobilen Messungen vor, z.B. in Klausen und Brixen. Die Meteodaten stammen von Sterzing, Freienfeld und Klausen. Die Immissionsdaten für diesen Bericht wurden in den Jahren 1999 und 2000 erhoben. Grosse mobilen Messkampagnen fanden 1997 statt.

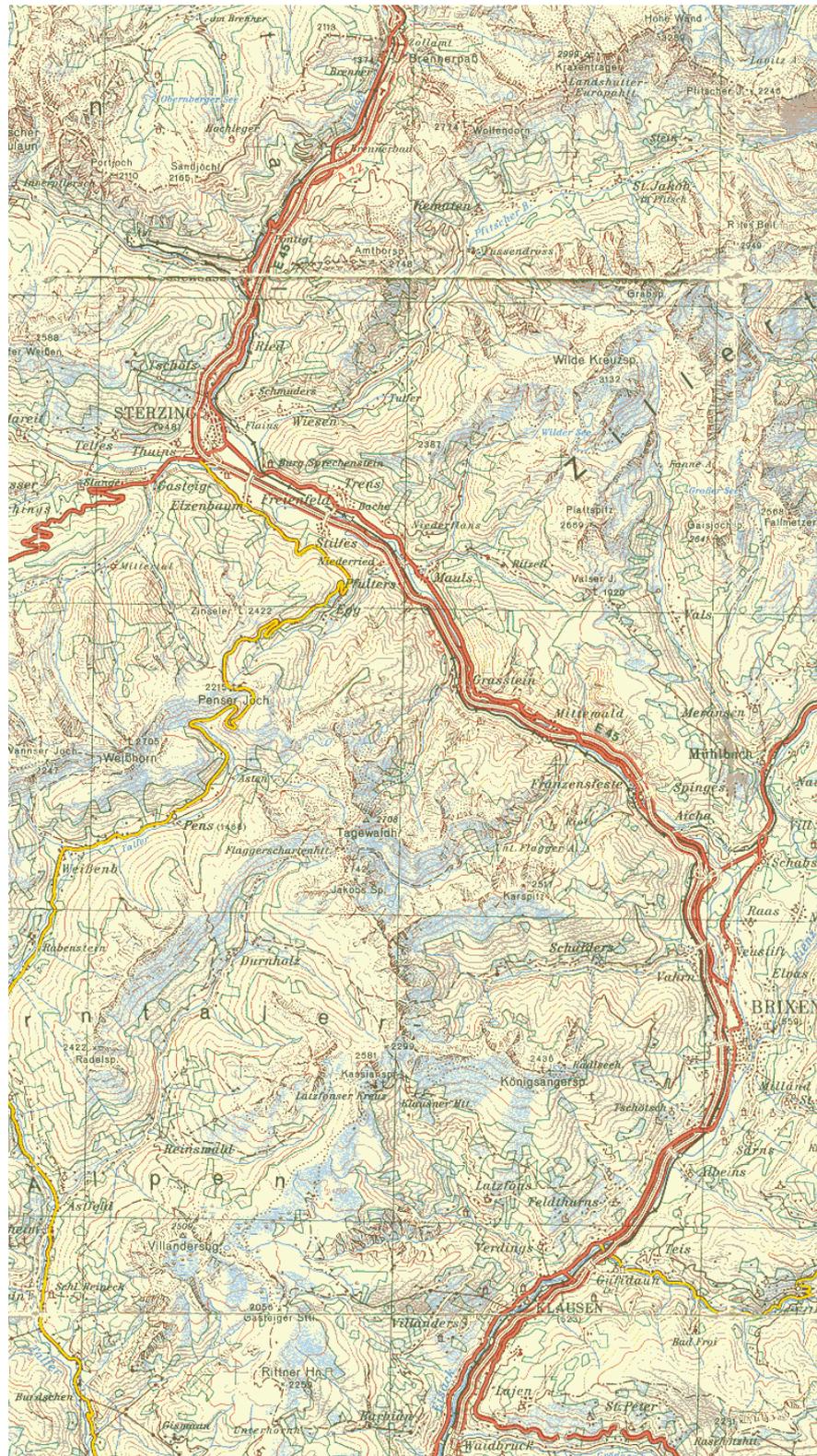


Abbildung 2.3: Überblick über das Eisacktal im Südtirol. Bozen liegt ca. 5 km südwestlich vom unteren Kartenrand. Masstab der Kartengrundlage: 1:200'000 (Österreichische Karte, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).

2.3. Churer Rheintal / CH (A13, San Bernardino Nord)

Als Churer Rheintal wird der ca. 15 km lange Talabschnitt von Chur bis nach Maienfeld bezeichnet (Abbildung 2.4). Das Rheintal verläuft hier von Süden nach Norden auf einer Höhe von 560 bis 500 m ü.M. An der engsten Stelle (bei Haldenstein) weist das Tal eine Breite von 600 m auf, an der weitesten (bei Landquart) ist es ca. 3 km breit. Besonders aus Osten führen einige kleine Seitentäler in das Tal. Die bedeutendere Landquart mündet unterhalb von Landquart in den Rhein. Die Autobahn A13 verläuft vorwiegend im Talboden, direkt dem Rhein entlang. Die topografische Lage des Tals begünstigt häufige Föhn-situationen.

In Graubünden gibt es ein dichtes Immissions-Messnetz. Je nach topografischer Lage und regionaler Belastung sind die einzelnen Stationen mit unterschiedlichen Messgeräten ausgestattet. Die Standorte der Stationen wurden im Laufe der Zeit immer wieder verschoben. Für den vorliegenden Bericht sind v.a. folgende Immissions-Messstationen von Bedeutung: Maienfeld A13 (7 m Distanz zur Autobahn) und Zizers (600 m östlich der A13), ausserdem einzelne Messkampagnen an diversen Standorten. Die Klimadaten stammen von der Station Chur Industrie sowie von Temperaturprofilen bei Haldenstein und Untervaz (am ostexponierten Hang).

In diversen Studien wurden Daten aus dem Churer Rheintal seit 1992 analysiert. Der Schwerpunkt für diesen Bericht liegt jedoch in den Jahren 1999 / 2000. Der Winter 1999 / 2000 war geprägt von starkem Wind und häufigen Niederschlägen. Er stellt also eine lufthygienisch günstige Situation mit guten Austauschbedingungen dar.

2.4. Misox / CH (A13, San Bernardino Süd)

Das Misox ist das Tal auf der Südseite des San Bernardino, das von Norden nach Süden verläuft (Abbildung 2.5). Die lufthygienischen Untersuchungen konzentrieren sich auf den untersten Talabschnitt in der Umgebung von Roveredo. Hier verläuft das Tal auf einer Höhe von ca. 300 m ü.M. Richtung Westsüdwest. Es weist eine Breite von 700-1000 Metern auf. Das Tal liegt südlich der Alpen und ist somit vom Klima der Alpensüdseite geprägt.

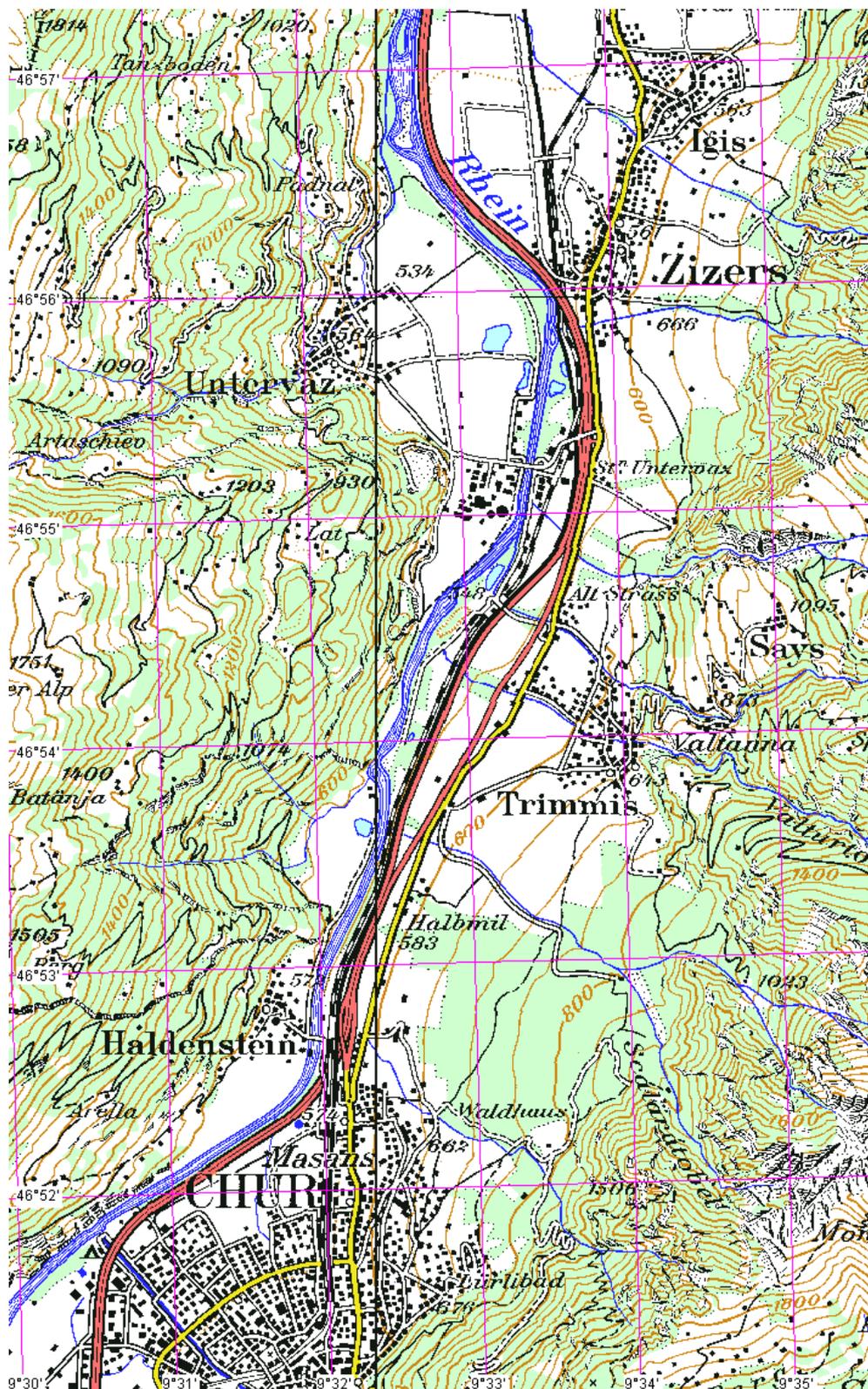


Abbildung 2.4: Übersichtskarte über den oberen Abschnitt des Churer Rheintals. Maienfeld liegt ca. 10 km nordwestlich von Zizers. am rechten Rheinufer. Massstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bew. des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148).

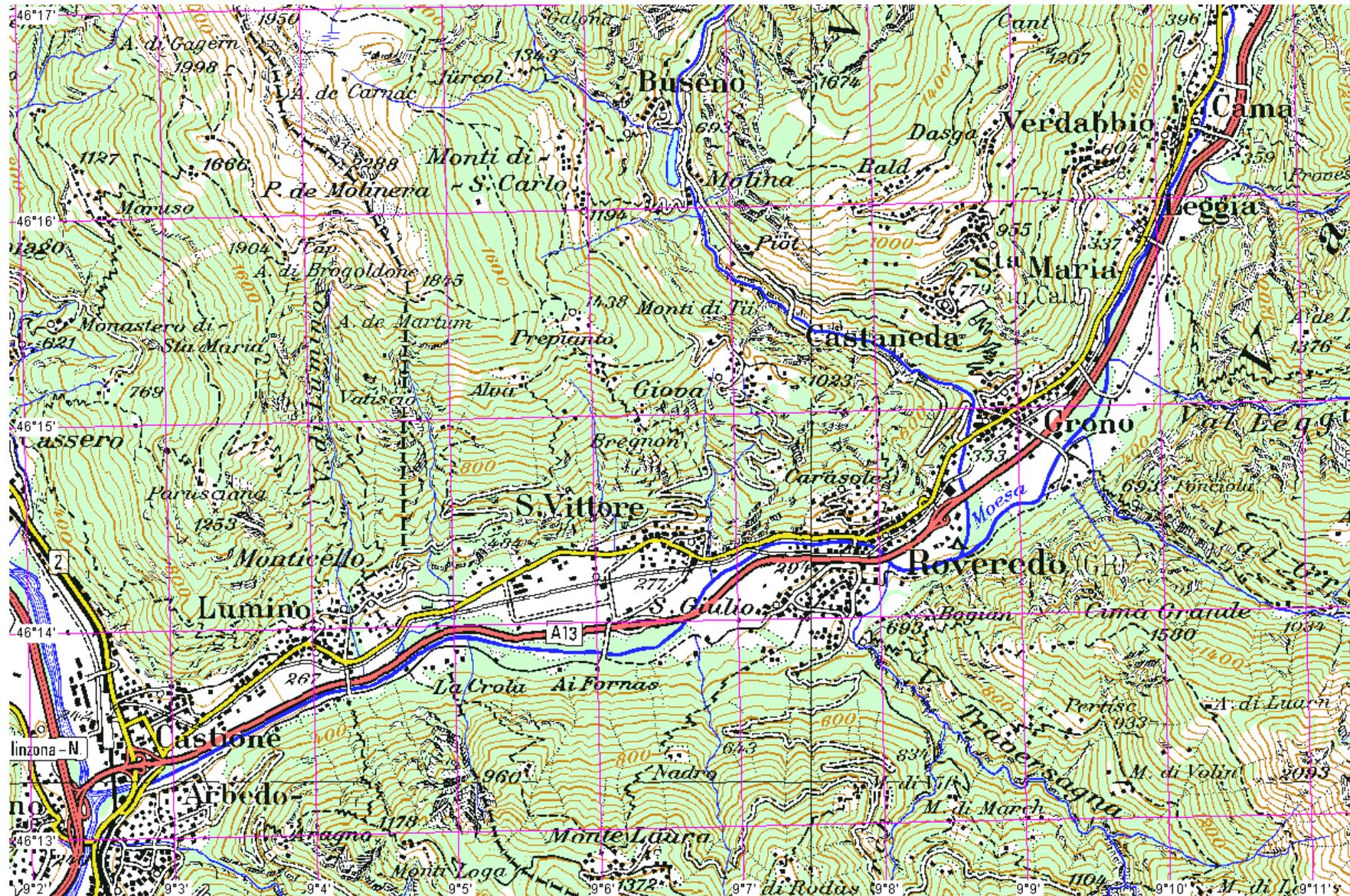


Abbildung 2.5: Übersichtskarte über die Umgebung von Roveredo im Misox. Masstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148).

Tabelle 2.2 zeigt die wichtigsten Stationen für Immissionsmessungen im Misox. Zusätzlich gelangten einige Ozon-Messstationen zur Auswertung. Die Klimanalysen beruhen auf Temperaturprofilen am nordexponierten Hang bei Roveredo und San Vittore sowie auf den meteorologischen Messungen an der Station Roveredo.

Tabelle 2.2: Immissions-Messstationen im Misox

Name der Station	Abstand zur Fahrbahn A13	Bemerkungen
Roveredo	20 m (nördlich)	hinter einer ca. 3 m hohen Lärmschutzwand
San Vittore A13	20 m (nördlich)	
San Vittore Dorf	500 m (nördlich)	eventuell zusätzlicher Einfluss der Kantonsstrasse (80 m von der Station entfernt)

Die wichtigsten Messperioden sind die Winter 1998 / 1999 und 1999 / 2000. Während der Winter 1999 mit seinen starken Niederschlägen auf der Alpennordseite für eine extreme Lawinensituation sorgte, war die Alpensüdseite eher zu trocken. Der Winter 2000 war auf der Alpensüdseite extrem trocken. Somit herrschten in beiden Wintern die für die Alpensüdseite typischen austauscharmen Hochdrucklagen mit Kaltluftseebildung. Die Ozonuntersuchungen beziehen sich auf die Sommermonate der Jahre 1994-1998.

2.5. Urner Reusstal / CH (A2, Gotthard Nord)

Im Urner Reusstal wurden für den Talabschnitt von Amsteg bis Altdorf verschiedene Studien zur Luftreinhaltung durchgeführt (Abbildung 2.6). Der Talabschnitt verläuft von Süden nach Norden auf einer Höhe von 510 bis 440 m ü.M. Während das Tal bei Amsteg sehr eng ist und bis Erstfeld auf einige hundert Meter Breite zunimmt, liegt Altdorf in der Reussebene mit einer Breite von ca. 2.5 km. Neben der Autobahn A2 verlaufen auch die Eisenbahnlinie und die Kantonsstrasse durch das Tal. Es gibt mehrere kleine Seitentäler. Von lufthygienischer Bedeutung könnte besonders das Schächental sein, das oberhalb von Altdorf aus Osten zum Reusstal stösst. Aufgrund der topografische Lage als inneralpines Tal nördlich des Gotthardmassivs wird das Reusstal häufig von Föhnlagen beherrscht.

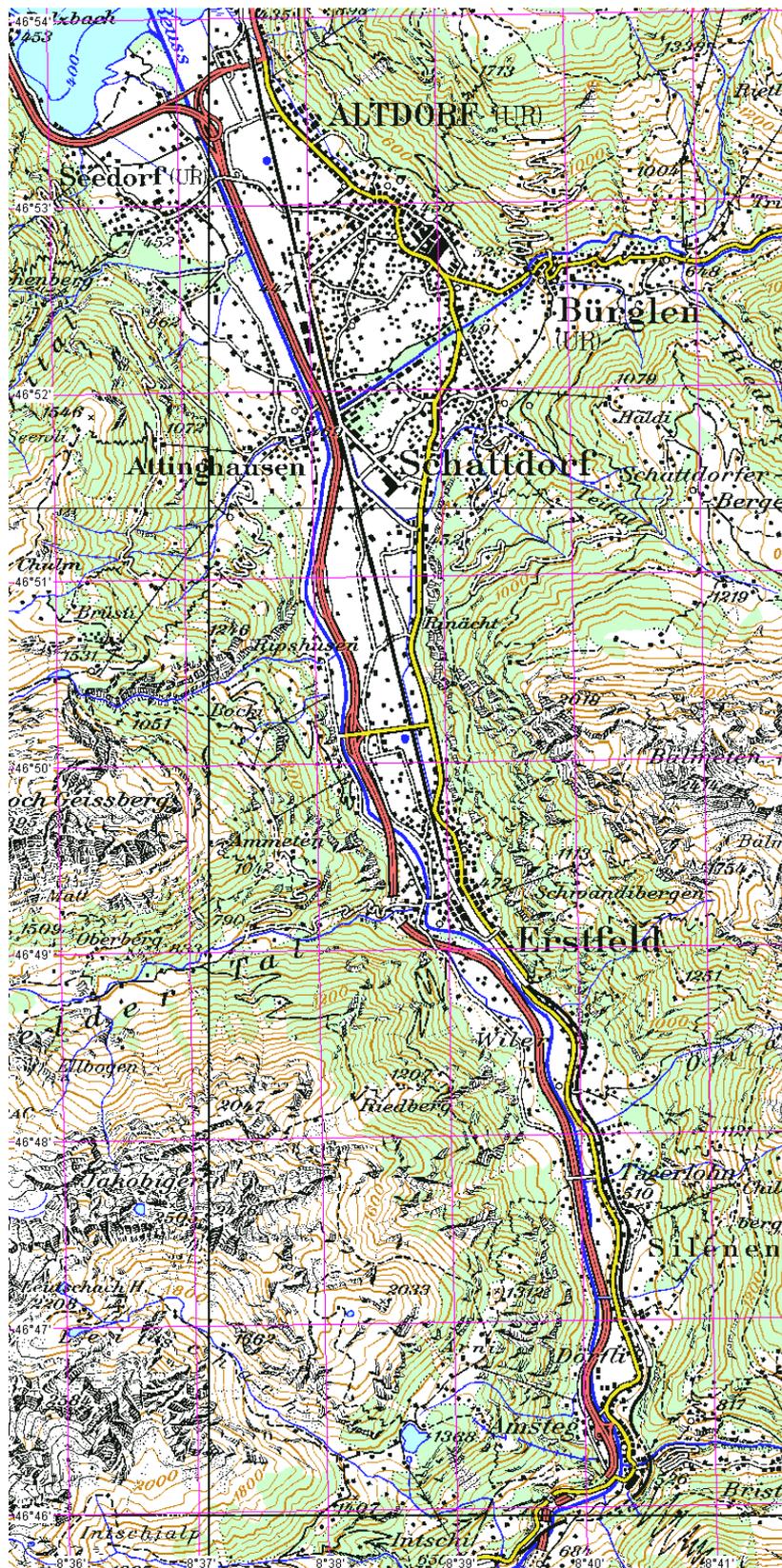


Abbildung 2.6: Übersichtskarte über das Urner Reusstal. Masstab der Kartengrundlage: 1:100'000. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (JA012148).

Langfristige Messstationen befinden sich im Reusstal vor allem im unteren Talgebiet. Die Immissionsstationen sind in Tabelle 2.3 aufgelistet. Es sind z.T. permanente Stationen des Innerschweizer Luftmessnetzes ("in Luft"), z.T. eigens für spezielle Projekte installierte Stationen. Für die Klima-Auswertungen wurden Daten von Altdorf Gross Ei und Erstfeld sowie von zwei Temperaturprofilen in Atinghausen und in Erstfeld (jeweils am ostexponierten Hang) analysiert. Ferner gab es einige mobile Immissions-Messkampagnen mit verschiedenen Horizontalprofilen im Talquerschnitt und einem Vertikalprofil entlang der Arniberg-Seilbahn (505 bis 1293 m ü.M.).

Tabelle 2.3: Immissions-Messstationen im Urner Reusstal

Name der Station	Abstand zur Fahrbahn	Bemerkungen
Altdorf Gross Ei	20 m (östlich)	hinter einer 6 m hohen Lärmschutzwand
Altdorf Gartenmatt	100 m (östlich)	
Werkhof Flüelen	110 m (nördlich vom Anschluss A2-A4)	
Erstfeld	10 m (östlich)	

Die wichtigste ganzjährige Untersuchungsperiode ist das Jahr 1999. Dieses Jahr war im Kanton Uri wärmer und niederschlagsreicher als das langjährige Mittel. Es repräsentiert also ein lufthygienisch günstiges Jahr. Bei ausgeprägten langanhaltenden Hochdrucklagen (besonders im Winter) wäre der Luftaustausch noch schlechter. Das Jahr 1999 war geprägt von einer äusserst prekären Lawinensituation im ganzen Alpenraum im Spätwinter und von Überschwemmungen in der Schweiz im Frühjahr. Frühere Untersuchungen beziehen sich auf Sommer 1996 bis April 1997. Die Horizontal- und Vertikalprofile wurden in mehreren Intensivmesskampagnen (im Februar und Dezember 1998 für die Wintersituation sowie im Sommer 2000) erfasst.

2.6. Val Maurienne / F (A43, Fréjus Nord)

An der Nordzufahrt zum Fréjus wurde ein ca. 20 km langer, Richtung Nordwesten verlaufender Talabschnitt des Val Maurienne unterhalb von St. Michel (von 720 m ü.M. bis 450 m ü.M.) untersucht (Abbildung 2.7). Dazu wurden im Frühjahr 2001 während einiger Wochen zwei Messstationen in St. Michel (60 m Distanz zur A43) und Hermillon (50 m Distanz zur A43) betrieben. Sie dienten sowohl für Immissionsmessungen als auch zur Erfassung meteorologischer Daten. Parallel dazu waren bei St. Michel und Pontamafrey jeweils am nordexponierten Hang

zwei Temperaturprofile installiert. Bei Hermillon ist das Tal sehr eng, während es bei St. Michel ein etwas weiteres Bassin bildet.

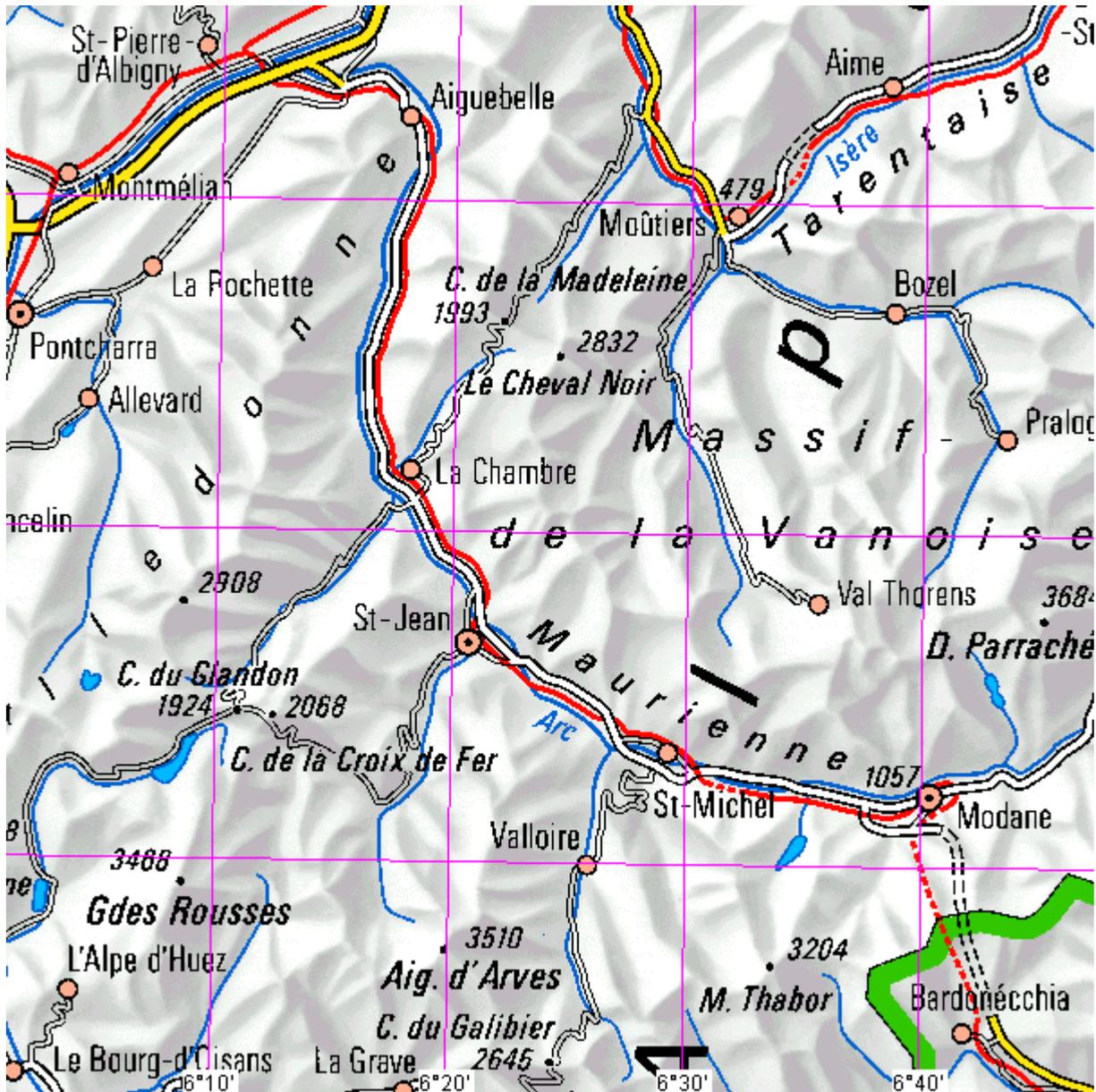


Abbildung 2.7: Überblick über das Val Maurienne. Masstab der Kartengrundlage: 1:1'000'000.

3. Klimatische Situation

Die meteorologischen Bedingungen spielen eine wichtige Rolle bei der Ausbreitung der Schadstoffe. Deshalb wurden in allen bearbeiteten Regionen regional-klimatische Untersuchungen vorgenommen. Dabei ist einerseits die Temperaturschichtung von Interesse. Sie gibt Auskunft über die Häufigkeit und die Höhe von Inversionen, welche den Luftaustausch unterbinden. Die entsprechende Methodik und die Resultate aus den einzelnen Regionen sind im Kapitel 3.1 dargestellt. Andererseits kommt auch dem Wind eine wichtige Bedeutung für den Luftaustausch zu. Einige Beispiele von Winduntersuchungen finden sich im Kapitel 3.2.

3.1. Temperaturschichtung

3.1.1. Allgemeines

Temperaturprofilmessungen geben Auskunft über die Schichtung der bodennahen Atmosphäre. Normalerweise nimmt die Temperatur mit der Höhe ab. Die Schichtung wird als inversiv bezeichnet, wenn die potentielle (d.h. die druckkorrigierte) Lufttemperatur gegen oben zunimmt. Dadurch wird der vertikale Austausch der Luftmassen unterbunden und die Schadstoffe sammeln sich in Bodennähe an. Lokale und regionale Inversionen bilden sich durch nächtliche Ausstrahlung am Boden (besonders bei klarem Himmel) und durch Kaltluftabfluss an den Hängen und Bildung eines Kaltluftsees im Tal. Detaillierte Erklärungen zur Entstehung von Inversionen sowie über den Tagesgang der Luftschichtung finden sich bei Oke (1987) und Stull (1988), eine einfachere Beschreibung bei Weischet (1988).

3.1.2. Methodik

Mit Ausnahme vom Südtirol liegen für alle Regionen Temperaturprofilmessungen über mehrere Monate bis Jahre vor. Die Messungen erfolgen am Hang, ca. 2 m über Grund, mittels strahlungsgeschützter Temperatursensoren und automatischer Datenerfassung in einem Messintervall von 15-60 Minuten. Der unterste Sensor ist jeweils am Talboden installiert. Insgesamt besteht ein Profil aus 5 bis

10 Sensoren mit einer Höhendifferenz von 20 bis 50 m zwischen den einzelnen Messstandorten. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die Temperaturprofile in den verschiedenen Regionen. Details zu einzelnen Profilen finden sich in den jeweiligen Originalberichten.

Tabelle 3.1: Beschreibung der Temperaturprofilmessungen

Region	Name des Profils	Höhe unterster Sensor (m ü.M.)	Höhen über Talgrund (m)	Bemerkungen
Inntal	Schwaz (bis Okt. 2000)	544	0, 103, 219, 301, 415, 649, 797, 882	
	Schwaz (ab Nov. 2000)	540	0, 16, 44, 112, 170, 227, 309, 801	bessere Differenzierung in Bodennähe durch kleinere Abstände
Südtirol	---	---	---	keine Profilmessung
Rheintal	Haldenstein	550	0, 20, 50, 90, 140, 200, 300	
	Untervaz	560	0, 50, 100, 150, 200	
Misox	Roveredo	280	0, 40, 100, 205, 300, 400, 500, 600, 750, 900	
	San Vittore	270	0, 20, 50, 90, 140, 200	
Reusstal	Attinghausen	445	0, 40, 80, 120, 490	
	Erstfeld	460	0, 40, 80, 120, 160	
Val Maurienne	St. Michel	720	0, 20, 50, 100, 150	beide Profile: nur 6 Wochen, Frühjahr 2001
	Pontamafrey	490	0, 20, 50, 100, 150	

Die Messgenauigkeit der Sensoren beträgt $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Durch eine sorgfältige Kalibration mittels Vergleichsmessungen zwischen den einzelnen Sensoren ist die Abweichung der Sensoren meist deutlich kleiner. Inversionen werden in den folgenden Auswertungen erst als solche bezeichnet, wenn die Temperaturdifferenz zwischen zwei Schichten mindestens 0.5°C beträgt, um Messfehler weitestgehend auszuschliessen. Für einige Regionen (v.a. bei älteren Untersuchungen) lag diese Toleranz noch bei 0.8°C . Die Inversionen wurden damit möglicherweise etwas unterschätzt. Da sich bei starken Inversionen jedoch Temperaturdifferenzen von einigen $^\circ\text{C}$ auf weniger als 100 m Höhenunterschied bilden, ist der durch diese Toleranz verursachte Fehler gering.

3.1.3. Häufigkeit von Inversionen

Die folgenden Darstellungen ermöglichen einen guten Vergleich, wie häufig in jeder Region Inversionen auftreten. Sie erlauben auch die Unterscheidung nach Höhenschichten. Tiefe Inversionen wirken sich besonders verhängnisvoll auf die Luftqualität aus, weil sich die Schadstoffe in einem begrenzten Luftvolumen ansammeln. Je mehr Schichten von einer Inversionslage betroffen sind, desto mehr Energie braucht es im Normalfall, um die Inversion aufzulösen. Die Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung von Inversionen während einer bestimmten Saison im Tagesgang.

Als Beispiel für die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten ist in Abbildung 3.1 die Situation beim Temperaturprofil Attinghausen für den Sommer und den Winter 1999 dargestellt. Während sich im Sommer die Inversionen tagsüber in allen Schichten praktisch immer auflösen, bleiben im Winter Inversionen in Bodennähe an 20% aller Tage durchgehend erhalten. Auch an den übrigen Tagen lösen sie sich nur für wenige Stunden auf, schon Mitten im Nachmittag ist die Häufigkeit von Inversionen fast 50%. Nachts konzentrieren sich die Inversionen im Sommer vor allem auf die unteren Schichten, während sie im Winter in allen Schichten etwa gleich häufig vorkommen. In beiden Jahreszeiten wird deutlich, dass Inversionen besonders nachts auftreten.

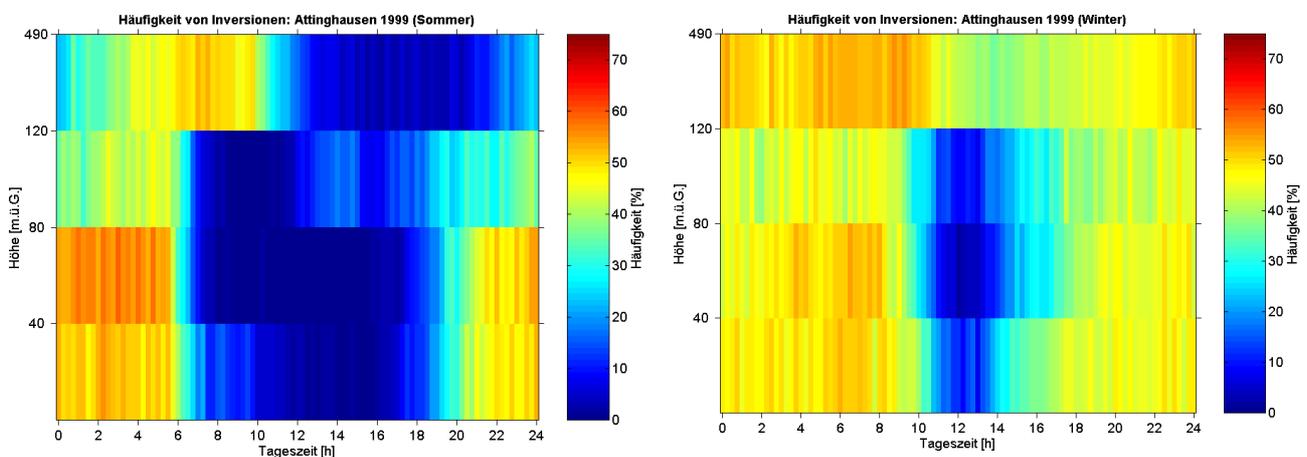


Abbildung 3.1: Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Sommer und im Winter: Temperaturprofil Attinghausen (Reusstal): Links: Sommer (Mai bis August 1999), rechts: Winter (Jan., Feb., Nov., Dez. 1999). Auf der x-Achse ist die Tageszeit dargestellt, auf der y-Achse die Höhe über Grund. Die Farbe gibt die Häufigkeit der Inversionen an.

Inversionen treten im Winter wegen der geringen Sonneneinstrahlung besonders häufig auf. Viele der bisher durchgeführten Inversionsuntersuchungen beziehen

sich deshalb auf den Winter. Der Vergleich zwischen den einzelnen Regionen ist in dieser Jahreszeit am interessantesten. Die in Abbildung 3.2 dargestellten Inversionshäufigkeiten im Inntal und im Rheintal können direkt mit der Wintersituation im Reusstal (Abbildung 3.1) verglichen werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Höhenabstufung jeweils unterschiedlich ist. Ausserdem handelt es sich um verschieden lange Perioden im Winter und z.T. um unterschiedliche Jahre. Perioden mit stark zyklonaler Aktivität mit häufigen Niederschlägen weisen kaum Inversionen auf. Auch während Föhnlagen bilden sich in den entsprechenden Tälern keine Inversionen aus. Der Winter 2000/ 2001 war in der Schweiz von solchen Situationen dominiert. Deshalb sind in Haldenstein die Häufigkeiten der Inversionen eher gering. Am häufigsten treten dort Inversionen zwischen 20 und 50 m Höhe sowie zwischen 90 und 140 m auf. Die genaue Höhe der Inversionsschichten wird durch die lokalen orografischen Gegebenheiten bestimmt. Im Inntal sind Inversionen zwischen ca. 110 und 170 m sehr häufig, wobei auch die bodennahen Inversionen nicht zu vernachlässigen sind. Es fällt auch in diesen Regionen auf, dass die Inversionen in tiefen Luftschichten vorwiegend nachts vorkommen.

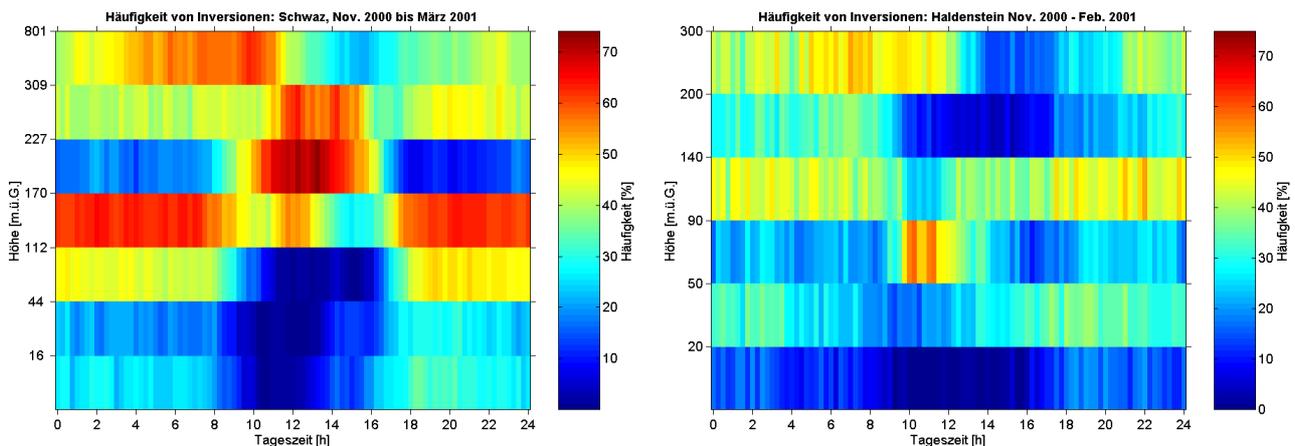


Abbildung 3.2: Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Winter: Temperaturprofile Schwaz (Inntal, links) und Haldenstein (Rheintal, rechts). Beschreibung der Achsen vgl. Abbildung 3.1.

Winterliche Inversionen sind südlich der Alpen bei stabilen Hochdrucklagen sehr häufig und stark ausgeprägt. Deshalb wurde für San Vittore im Misox und für Moleno im Tessin als Beispiele für die Alpensüdseite eine andere Farbskala als auf der Alpennordseite gewählt (Abbildung 3.3). 90 bis 100% aller Nächte weisen auf den untersten 50 m (respektive 80 m) Inversionen auf. Tagsüber lösen sie sich nur während weniger Stunden auf, in Moleno an ca. 75% aller Tage (aus der Abbildung nicht ersichtlich, da die Skala erst bei 50% Inversionen beginnt), in San

Vittore nur an 20% aller Tage. So können sich während mehrerer Tage Schadstoffe in den untersten Luftschichten ansammeln, ohne dass die Luftmassen zwischendurch wieder ausgetauscht werden.

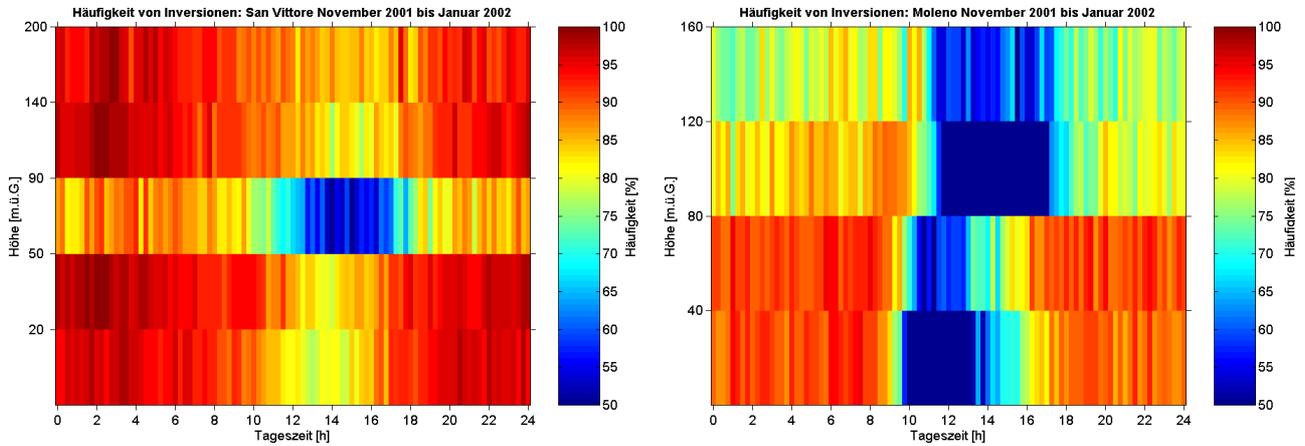


Abbildung 3.3: Häufigkeit von Inversionen je Schicht im Tagesgang im Winter auf der Alpensüdseite: Temperaturprofile San Vittore (Misox, links) und Moleno (TI, rechts). Man beachte die unterschiedliche Farbskala im Vergleich zu den anderen Profilen! Die bodennahe Atmosphäre der Alpensüdseite ist in Winternächten praktisch permanent inversiv geschichtet, die Inversionen lösen sich tagsüber nur selten auf. Beschreibung der Achsen vgl. Abbildung 3.1.

Für das Südtirol liegen keine Temperaturprofilmessungen vor. Um die Inversionsituation im Eisacktal (Talabschnitt unterhalb von Bozen) abzuschätzen, wurden Daten vom Jahr 2001 der Temperaturmessstationen Tramin (214 m ü.M., am Talboden) und Kaltern (450 m ü.M., auf einem Hügel) miteinander verglichen. Da der potentielle Temperaturgradient (d.h. die normale Abnahme der Temperatur mit der Höhe) vom Niederschlag und der Luftfeuchte abhängt, wird ein mittlerer jährlicher Wert angenommen. Deshalb kann die Häufigkeit von Inversionen nur näherungsweise geschätzt werden. Erfasst werden mit dieser Methode ohnehin nur die starken Inversionen, die über die Höhendifferenz von mehr als 200 m reichen. Flache, bodennahe Inversionen können so nicht bestimmt werden. Je nach Schätzung weisen 50-90% aller Stundenmittelwerte über das ganze Jahr 2001 Inversionen auf, im Winter sind es 70-95%. Damit liegt die Vermutung nahe, dass das stark befahrene untere Eisacktal wie die anderen Regionen der Alpensüdseite unter den lufthygienischen Folgen von sehr häufig auftretenden Inversionen zu leiden hat. Deshalb wird empfohlen, in dieser Region Immissionsmessungen durchzuführen und allenfalls auch die Inversionssituation durch eine langfristige Temperaturprofilmessung zu untersuchen.

3.1.4. Inversionsuntergrenzen

Abgesehen von den Häufigkeitsverteilungen der Inversionen, die Aussagen über die mittleren Verhältnisse während einer Saison oder eines ganzen Jahres ermöglichen, wurden von Oekoscience AG auch die Entwicklung der Inversionsuntergrenze und deren Mächtigkeit im Jahresverlauf sowie die Intensität von Inversionen untersucht. Ein sehr schönes Beispiel für den Verlauf der Inversionsuntergrenze zeigt Abbildung 3.4 für das Reusstal. Während zu allen Jahreszeiten nachts Inversionen mit einer Untergrenze von höchstens 40 m über Talgrund dominieren, lösen sie sich tagsüber oft ganz auf oder ihre Untergrenze steigt an. Im Winter beherrschen bodennahe Inversionen die meiste Zeit des Tages, im Sommer lediglich die Nachtstunden.

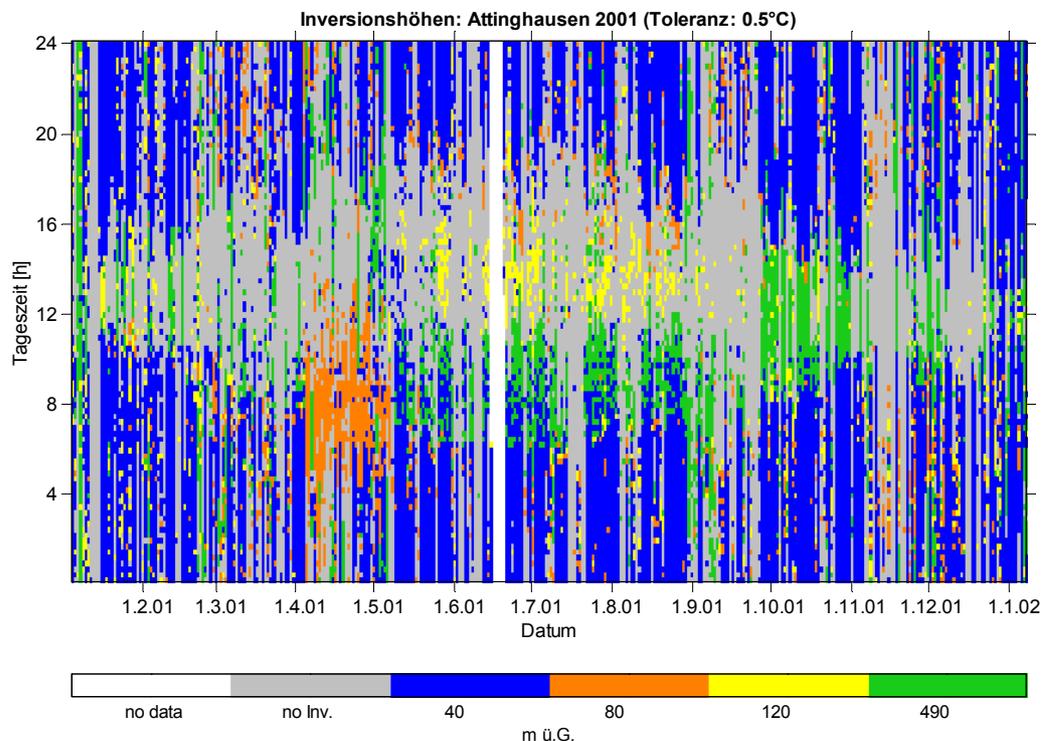


Abbildung 3.4: Inversionshöhen im Reusstal im Tages- und Jahrgang. Auf der x-Achse sind alle Tage des Jahres 2001 dargestellt, auf der y-Achse die Tageszeit. Die Farbe gibt jeweils die Untergrenze der tiefsten Inversionsschicht an.

In den Originalberichten finden sich detaillierte Angaben zur Inversionssituation in den einzelnen Tälern. Die Untergrenze der Inversionen spielt jeweils eine wichtige Rolle, weil sie das Luftvolumen bestimmt, in welchem sich die Schadstoffe ungehindert verteilen können. Je tiefer sie liegt, desto ungünstiger ist die lufthygienische Situation.

3.1.5. Schlussfolgerungen zu den Inversionsuntersuchungen

Die Häufigkeitsverteilung wurde ausgewählt, um einen ersten Überblick über die Inversionssituation in den einzelnen Regionen zu geben. Auch wenn sie sich auf verschiedene Perioden mit unterschiedlicher Witterung beziehen, lassen sich aus den bisherigen Untersuchungen folgende generellen Aussagen treffen:

- Alpentäler sind wegen der engen Topografie und des Kaltluftabflusses von den Hängen besonders stark von bodennahen Inversionen betroffen.
- Inversionen treten besonders nachts auf.
- Im Winter sind Inversionen häufiger als im Sommer. Oft lösen sie sich auch tagsüber gar nicht oder nur während weniger Stunden auf.
- Am stärksten ist die Alpensüdseite betroffen, weil sie im Winter oft von langanhaltenden, stabilen Hochdrucklagen beeinflusst wird.

Neben den generellen Aussagen zur Inversionssituation in den einzelnen Tälern wurden in verschiedenen Untersuchungen die aktuellen Immissionswerte im direkten Zusammenhang zur gleichzeitig herrschenden Inversionslage untersucht. Beispiele dafür finden sich im Kapitel 3.3.

3.2. Wind

Die Topografie von Alpentälern beeinflusst den Wind auf verschiedene Weise: Die synoptischen Winde werden durch den Kanalisierungseffekt in Talrichtung abgelenkt. Dadurch werden Schadstoffe nicht wegtransportiert sondern lediglich entlang der Talachse und der Autobahn verfrachtet. Ausserdem bilden sich lokale Windsysteme aus. Tagsüber bei Sonneneinstrahlung weht der Wind in der Regel wegen der Konvektion talaufwärts. Nachts bläst er wegen des Kaltluftabflusses talabwärts. Wenn das Tal eine geringe Neigung aufweist, sammelt sich die abfliessende Kaltluft als Kaltluftsee an, der den Luftaustausch unterbindet. In einem steileren Tal dagegen setzt sich der Kaltluftabfluss von den Hängen im Tal fort. Dadurch profitiert das Tal von der Frischluftzufuhr. Auch der Wind aus Seitentälern kann frische Luft in das Tal führen. Solche Seitenwinde sind schwierig zu erfassen, weil sie direkt am Ausgang jedes Seitentals gemessen werden müssten.

Tabelle 3.2 gibt die mittleren Windgeschwindigkeiten an verschiedenen Standorten wieder. Sie lässt jedoch keine eindeutigen Aussagen zu. Die Windgeschwindigkeit unterliegt sehr kleinräumigen Variationen und ist deshalb abhängig von der lokalen Standortwahl der Messstation. So zeigen z.B. zwei verschiedene

Messstationen in Altdorf sehr unterschiedliche Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit. Auch saisonale Trends lassen sich aufgrund der hier aufgeführten Mittelwerte nur schwer ausmachen. Im Winter sind die Geschwindigkeiten eher geringer, weil starke Inversionen den Luftaustausch generell unterbinden. Oft werden im Frühjahr und im Herbst wegen der stärkeren Zyklonentätigkeit etwas höhere Windgeschwindigkeiten gemessen. Das Rheintal weist eine gute Durchmischung auf, ebenso die günstigen Lagen im Südtirol (Freienfeld und die Hügellage Kaltern). Vomp im Inntal, Klausen im Eisacktal und Locarno im Tessin weisen sich durch eher tiefe Windgeschwindigkeiten und somit ungünstigere Austauschbedingungen aus. Der Vergleich mit flacheren Regionen (Payerne und Zürich im Schweizer Mittelland und Basel in der Oberrheinebene) zeigt, dass an diesen Stationen eher höhere Geschwindigkeiten gemessen werden als in den Alpentälern. Generell sind aber die Unterschiede gering. Für lufthygienische Untersuchungen sind solche Jahresmittelwerte nicht primär interessant. In den Originalberichten finden sich Untersuchungen der Immissionssituation in Abhängigkeit der aktuellen Windgeschwindigkeit (vgl. auch Kapitel 3.3).

Tabelle 3.2: Mittlere Windgeschwindigkeiten an diversen Standorten

Station und Messjahr		Sommer (m/s)	Winter (m/s)	ganzes Jahr (m/s)
Alpentäler	Reusstal (Altdorf Gross Ei) 1999	1.2	1.5	1.4
	Reusstal (Altdorf, Meteo Schweiz) 1999	---	---	2.7
	Rheintal (Chur) 1999	---	---	2.5
	Inntal (Vomp) 2000	1.7	1.3	1.6
	Eisacktal (Freienfeld) 2001	2.1	2.1	2.0
	Eisacktal (Klausen) 2001	1.6	0.75	1.2
	Eisacktal (Tramin) 2001	2.3	1.3	1.8
	Eisacktal (Kaltern, Hügel) 2001	---	2.0	2.2
	Locarno-Magadino	---	---	1.6
Flachland	Basel (Vorort) 1999	---	---	2.5
	Payerne 1999	---	---	2.1
	Zürich-Flughafen 1999	---	---	2.3

Bei starkem Wind ist die dynamische Durchmischung der Luft gewährleistet, so dass sich eine stabile Temperaturschichtung kaum ausbilden kann. Im Gegensatz dazu begünstigt eine windschwache Lage ohne dynamische Turbulenz die Inversionsbildung, weil die Luftmassen kaum durchmischt werden. So kann sich eine thermisch stabile Atmosphärenschichtung weiter etablieren. Windschwache und thermisch stabile Bedingungen sind somit lufthygienisch besonders ungüns-

fig. Generell zeichnen sich Inversionslagen durch geringere Windgeschwindigkeiten aus als Situationen ohne Inversion.

Abbildung 3.5 zeigt die Windrosen für die drei Regionen Inntal, Eisacktal und Reusstal. In allen drei Tälern folgen die Hauptwindrichtungen der Talrichtung. Während sich im Reusstal und im Inntal die talaufwärts und -abwärtsgerichteten Winde in etwa die Waage halten, dominieren im Eisacktal abwärts gerichtete Winde. Das Südtirol und das Reusstal weisen relativ eng begrenzte Windsektoren auf. Im Inntal scheint es eher zur Frischluftzufuhr aus Seitentälern zu kommen. Deutlich ist ein südlicher Querwind erkennbar.

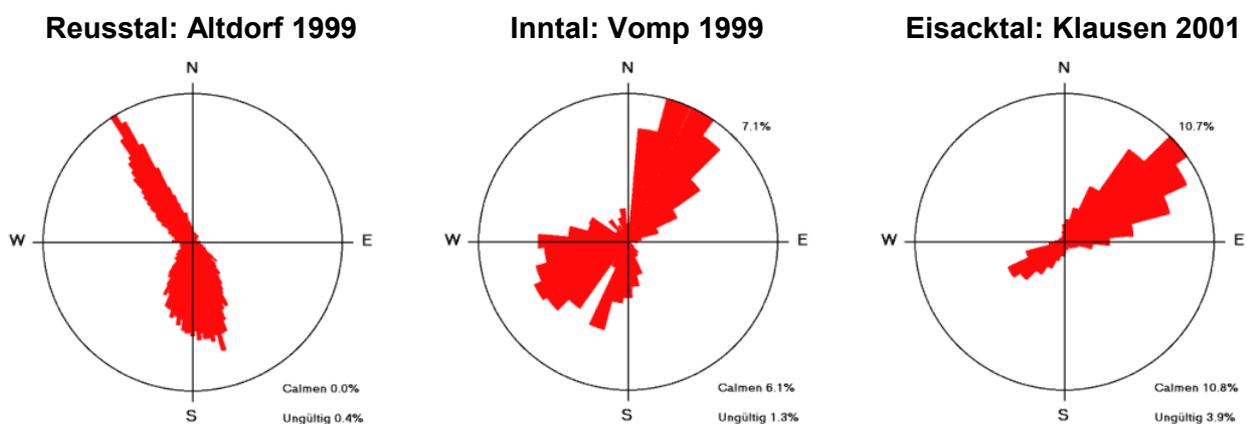


Abbildung 3.5: Windrichtungsverteilung über ein ganzes Jahr im Reusstal, Inntal und Südtirol

3.3. Zusammenhang der Immissionen mit den Inversionen und dem Wind

Dieses Kapitel illustriert anhand einiger ausgewählter Beispiele, dass die Immissionen abhängig sind vom Wind und von der Inversionssituation.

Abbildung 3.6 zeigt die über drei Monate (Oktober bis Dezember 2000 respektive 2001) gemittelten NO_x -Immissionen am Gotthard und am San Bernardino (letztere während der Gotthardsperrung 2001). Für die Mittelwertbildung aus Tagesmittelwerten, wurde jeweils unterschieden zwischen Tagen mit Inversionen während weniger als 25%, 50-75% und über 75% der Zeit. An allen Standorten nehmen die Immissionen mit zunehmender Inversionsdauer zu. Die hier dargestellten Situationen zeichnen sich durch generell hohe Immissionen aus und sind geeignet, um den Effekt der Inversionen zu illustrieren. Bei tiefen Immissionen (z.B. im

Reusstal während der Gotthardsperrung) ist der Einfluss der Inversionen nicht so deutlich erkennbar.

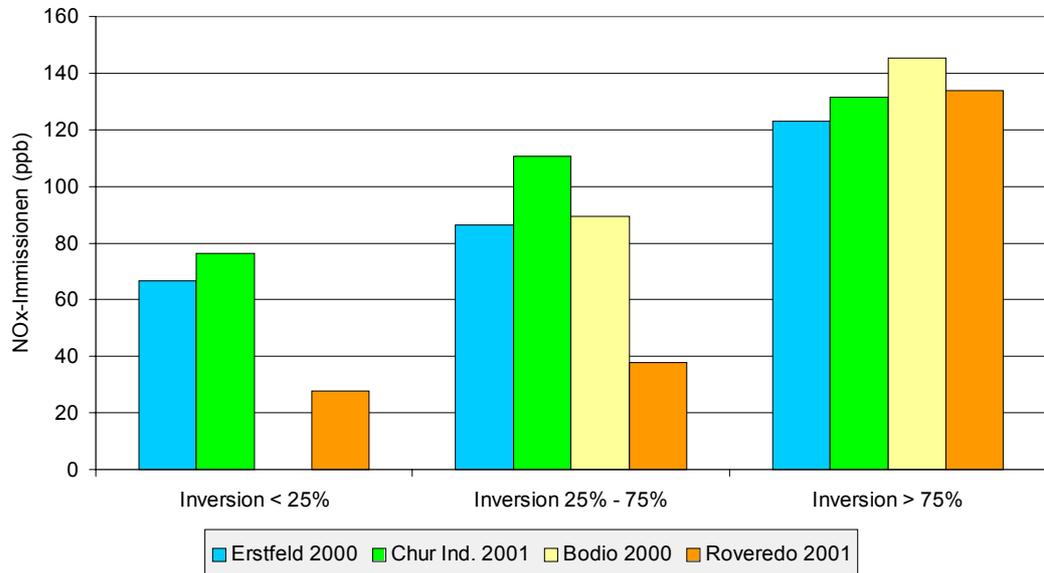


Abbildung 3.6: Mittlere NO_x -Immissionen in Abhängigkeit der täglichen Inversionsdauer. Standorte: Reusstal (Erstfeld), Rheintal (Chur), Gotthard Süd (Bodio), Misox (Roveredo). Zeitraum jeweils Oktober bis Dezember.

In Abbildung 3.7 ist der mittlere Tagesgang der NO_x -Immissionen an Werktagen im Winter für das Inntal dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen Tagen mit weniger als 20% Inversionsdauer und solchen mit mehr als 90%. An inversionsreichen Tagen werden höhere Immissionsspitzen erreicht. Nachts und frühmorgens verlaufen die beiden Kurven praktisch gleich, weil auch an Tagen mit geringer Inversionsdauer nachts Inversionen auftreten können. Erstaunlicherweise ist die Konzentration an Tagen mit wenig Inversionen über Mittag gegenüber den stark inversiven Tagen leicht erhöht. Dies hängt mit den lokalen Windverhältnissen zusammen. Tagsüber herrscht bei inversionsfreien Situationen ein Talwind vor. Die Messstation Vomp liegt bei diesem Wind im Lee der Autobahn und somit im direkten Einflussbereich der emittierten Schadstoffe. Dieses Beispiel zeigt, dass die Immissionen in komplexer Weise von den meteorologischen Bedingungen wie Inversionen und Wind abhängen.

In den Originalberichten finden sich ausführliche Untersuchungen zur Schadstoffdosis an einem bestimmten Standort in Abhängigkeit der Windrichtung, d.h. zum Anteil der verschiedenen Windrichtungen am gesamten Schadstoffeintrag. Bei Schäfer et al. (1999) und In Campo (2001) wird aufgrund von Messungen und Modellen für das Südtirol beschrieben, wie die Ozonbelastung sowohl bei Som-

mersmoglagen als auch im Winter von den lokalen Windverhältnissen und der Temperaturschichtung der unteren Atmosphäre abhängig ist.

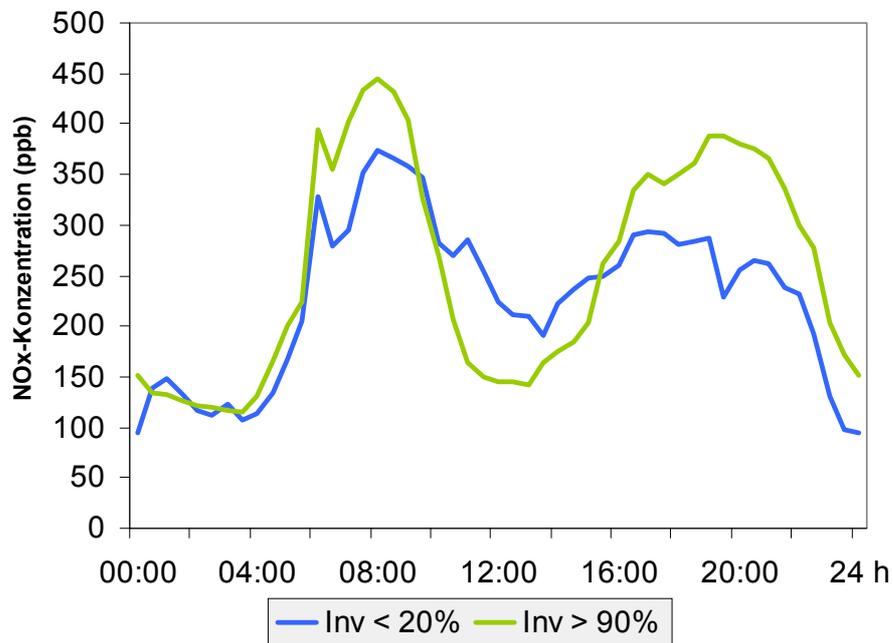


Abbildung 3.7: Mittlerer Tagesgang der NO_x -Immissionen bei Vomp (Inntal) in Abhängigkeit der täglichen Inversionsdauer (für Werktage vom 1.11.2000 - 18.3.2001)

4. Verkehrs-Emissionen

4.1. Trends der Verkehrszahlen

Der transalpine Güterverkehr auf Strasse und Schiene hat sich seit den 1970er Jahren beinahe verdreifacht. Eine Übersicht über die Entwicklung der einzelnen Verkehrszweige im inneren Alpenbogen bis 1995 findet sich bei EVED (1996). In der Schweiz wird der grösste Teil des alpenquerenden Güterverkehrs per Bahn abgewickelt, in Frankreich und Österreich hat die Strasse einen Anteil von rund 70%. Im ganzen Alpenbogen ist der Anteil der Strasse am zunehmen (Lebel & Torricelli, 2000). Der meisten Güter im alpenquerenden Verkehr (Bahn und Strasse) werden über den Brenner transportiert.

Dieses Kapitel befasst sich im ersten Teil mit dem Strassenverkehr insgesamt und im zweiten mit dem Strassengüterverkehr. Letzterer verursacht den grössten Teil der Emissionen, obwohl die Fahrzeugzahlen des Schwerverkehrs geringer sind als jene der Personenwagen.

Da es hier generell um die Auswirkungen des Verkehrs auf die Alpentäler geht, wird nicht unterschieden zwischen Binnenverkehr und ausländischem Transitverkehr. Untersucht wird lediglich die Anzahl der Fahrzeuge, welche eine bestimmte Zählstelle passieren. Dabei wurden sowohl direkt Daten einzelner Zählstellen ausgewertet als auch diverse Literaturquellen beigezogen. Die Unterscheidung nach Fahrzeugkategorien folgt keiner eindeutigen Definition. Während im Inntal beim "Strassengüterverkehr" nur die tatsächlichen Lkws und Lastenzüge >3.5 t erfasst werden, fallen im Südtirol und teilweise auch in der Schweiz alle schweren Fahrzeuge, also auch Busse, in diese Kategorie. Bei gewissen Zählungen in der Schweiz werden auch Lieferwagen mit weniger als 3.5 t Gesamtgewicht zum Schwerverkehr gerechnet. Die Daten der einzelnen Zählstellen wurden von den zuständigen Stellen in jeder Region aufgrund von Schätzungen in die entsprechenden Kategorien überführt (z.B. Elimination der Busse im Tirol, Elimination von erfassten Güterfahrzeugen <3.5 t im Südtirol). Aufgrund dieser Gegebenheiten wird der Vergleich der Schwerverkehrszahlen zwischen den Regionen erschwert. Wo die entsprechenden Informationen zu den Verkehrskategorien vorhanden waren, werden sie bei den einzelnen Abbildungen erwähnt. Für zukünftige Vergleiche zwischen den einzelnen Regionen wird dringend empfohlen, die

Erfassungsmethoden an den Zählstellen und die Definitionen der Fahrzeugkategorien zu vereinheitlichen.

4.1.1. **Gesamter Strassenverkehr**

Der durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) aller Fahrzeugkategorien an diversen Standorten entlang der Autobahnen ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Für jede untersuchte Alpentransitachse wurden sowohl Stationen auf den Zufahrtsrouten als auch der Alpenübergang selbst beigezogen. Die Abbildung zeigt, dass sich die Verkehrsströme unterschiedlich stark auf die einzelnen Achsen verteilen. Am meisten Fahrzeuge benutzen den Brennerkorridor. Aus der Abbildung geht ebenfalls hervor, dass nur ein Teil der Fahrzeuge auf den Zufahrtsrouten den Pass tatsächlich überquert. Besonders im Inntal und im Südtirol ist der Anteil des Regionalverkehrs sehr bedeutend. Im Churer Rheintal spielt insbesondere der lokale Personenverkehr eine grosse Rolle, der lokale Güterverkehr ist dort weniger wichtig. Am Gotthard geht praktisch der ganze in Erstfeld erfasste Verkehr auch durch den Tunnel, ebenso in Biasca auf der Südseite des Gotthards. Hingegen ist der Monte Ceneri im südlichen Tessin eine wichtige regionale Verbindungsstrasse, welche deutlich mehr Verkehr aufweist als der Gotthardtunnel. Auf der Südseite des San Bernardino spielt der Regionalverkehr eine untergeordnete Rolle. Der Regionalverkehr ist natürlich für ein Alpental ein wichtiger ökonomischer Faktor. Allerdings belastet auch dieser die Luftqualität (vgl. dazu den Artikel von G. Tappeiner). Als Schlussfolgerung lässt sich sagen, dass besonders das Inntal, aber auch das Südtirol, das südliche Tessin und das Churer Rheintal hohe Verkehrsaufkommen verkraften müssen, wobei auch die regionale Erschliessung eine wichtige Rolle spielt. Dagegen müssen das Reusstal und die Leventina (Gotthardsüdrampe) sowie das Misox den Durchgangsverkehr erdulden, ohne vom Regionalverkehr zu profitieren.

In Abbildung 4.1 ist im übrigen auch der Effekt der Gotthardsperrung im Herbst 2001 erkennbar. Der DTV nimmt im Jahr 2001 am Gotthard ab und am San Bernardino zu.

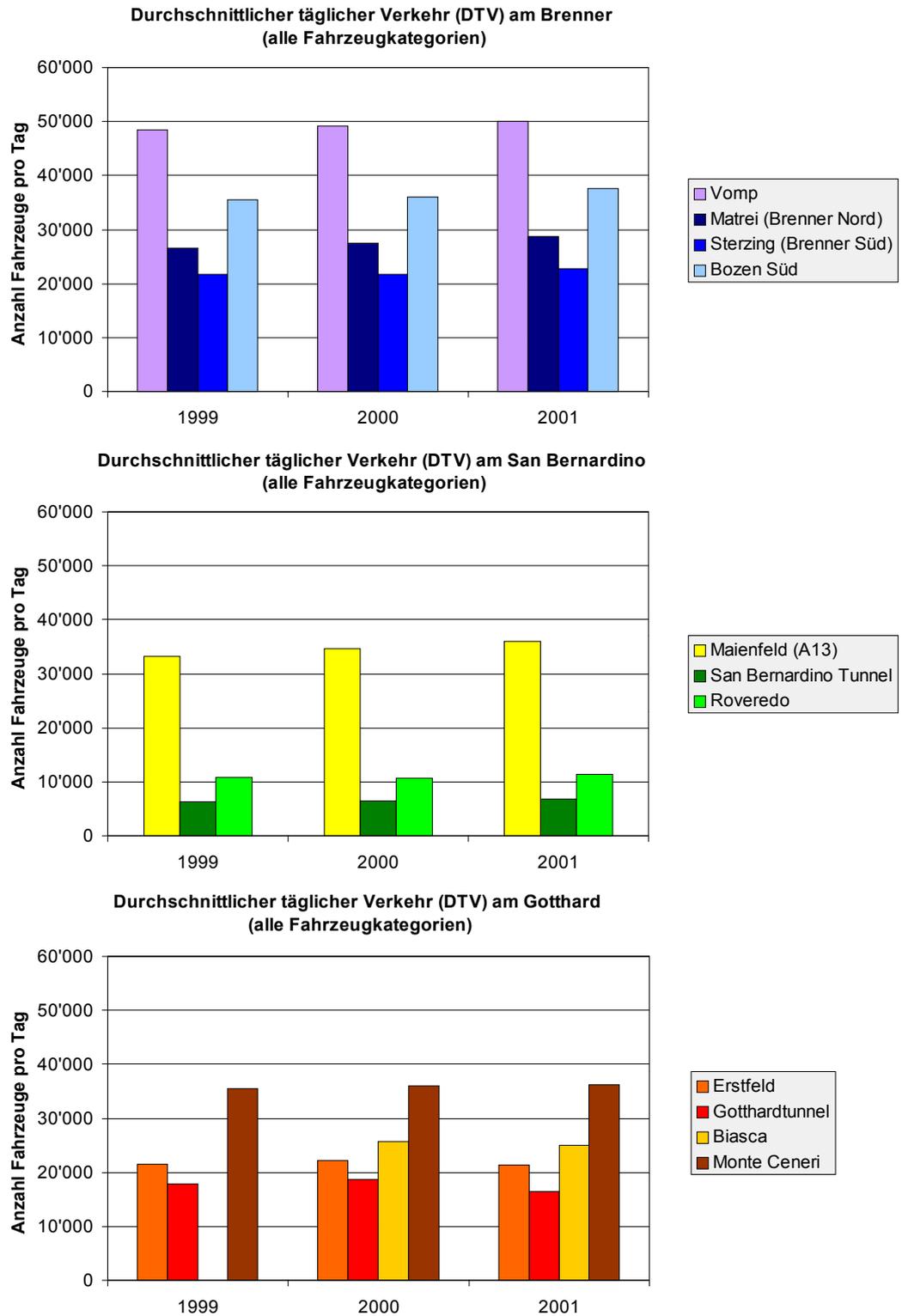


Abbildung 4.1: Vergleich der Verkehrszahlen (DTV) an den drei untersuchten Alpentransitachsen Brenner (oben), San Bernardino (Mitte) und Gotthard (unten). Quellen: Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001); Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Bundesamt für Strassenbau ASTRA.

Sowohl der Gesamtverkehr als auch der Güterverkehr über die Alpen zeigen einen zunehmenden Trend. Dies ist in den folgenden Abbildungen am Beispiel des Brenners sehr gut erkennbar. Dort sind die Verkehrszahlen an den Brennerzufahrten (Vomp und Bozen, Abbildung 4.2) und am Brenner selbst (Plon / Matrei und Sterzing, Abbildung 4.3) dargestellt. Neben den Verkehrszählungen wurde für Nordtirol auch der zukünftige Trend bis zum Jahr 2010 abgeschätzt (Tirol, Verkehrsplanung, 2000).

Während das Unterinntal (Zählstelle Vomp) im Jahr 2001 rund 50'000 Fahrzeuge täglich verkräften muss, sind es südlich von Bozen im Südtirol ca. 38'500. Der Brennerpass weist eine Fahrzeugdichte auf von über 28'000 Fahrzeugen täglich auf der Nordseite und von fast 23'000 auf der Südseite.

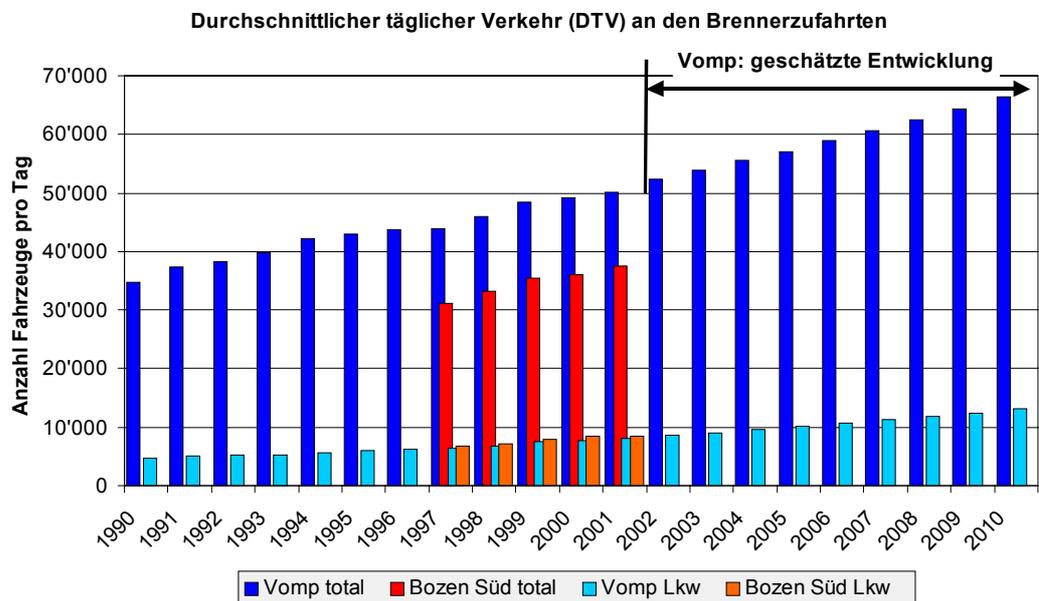


Abbildung 4.2: Mittlere Tägliche Gesamtverkehrszahl und Anzahl Lkws an den Brennerzufahrten im Inntal (Vomp) und im Eisacktal (Bozen Süd): Verkehrszählungen und Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. "Lkw" bezieht sich hier auf alle schweren Güterfahrzeuge >3.5 t, wobei im Südtirol zusätzlich die Busse eingerechnet sind. Quellen: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001).

Von 1997 bis 2001 hat der Verkehr auf der Inntalautobahn um ca. 13% zugenommen, auf der Brennerautobahn und im Eisacktal sogar um 20%. Seit 1990 hat er sich auf der Nordseite des Brenners um ca. 50% erhöht. Die Zukunftsprognosen gehen für die nächsten 10 Jahre von einer Erhöhung des DTV um 30% im Inntal aus und sogar von einer Zunahme um 50% an der Brenner-Nordrampe. Ein solch ungebremstes Wachstum, das sich ohne drastische Massnahmen auch in den anderen Alpentälern ähnlich entwickeln dürfte, ist für die betroffenen Regio-

nen kaum zu verkraften. Auch wenn im Rahmen dieser Studie keine langfristigen Trends der Gesamtverkehrszahlen in den anderen Alpentälern untersucht wurden, ist anzunehmen, dass auch dort der Verkehr generell zunimmt.

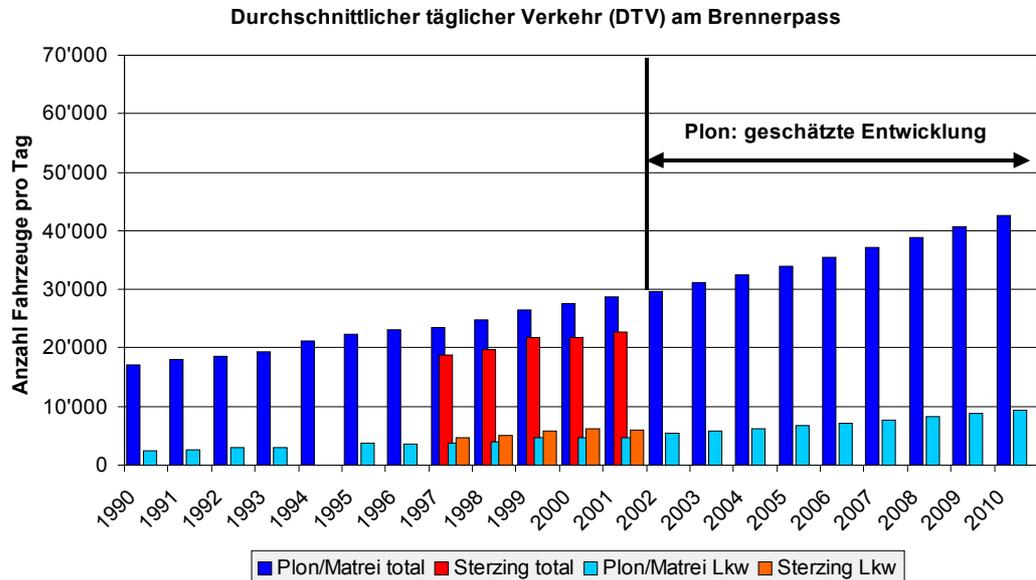


Abbildung 4.3: Mittlere Tägliche Gesamtverkehrszahl und Anzahl Lkws am Brennerpass (nord: Plon / Matrei, süd: Sterzing): Verkehrszählungen und Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. "Lkw" bezieht sich hier auf alle schweren Güterfahrzeuge >3.5 t, wobei im Südtirol zusätzlich die Busse eingerechnet sind. Quellen: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol; Tirol, Verkehrsplanung (2000 & 2001).

Die Erläuterungen zu Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 betreffend Güterverkehr finden sich im folgenden Kapitel.

4.1.2. Güterverkehr

Da sich der Güterverkehr sowohl bezüglich Lärm als auch bezüglich Luftqualität besonders negativ auswirkt, ist ihm ein eigenes Kapitel gewidmet. Aus Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 geht hervor, dass der Güterverkehr im Inntal in den letzten 10 Jahren um 75% zugenommen hat und sich in den kommenden 10 Jahren um weitere 60% steigern wird, so dass schon bald mehr als 10'000 schwere Fahrzeuge (>3.5 t) täglich durch das Tal fahren werden. Am Brenner hat er sogar um 100% zugenommen und soll sich bis zum Jahr 2010 nochmals verdoppeln! An den beiden Mess-Standorten im Südtirol hat er in den letzten 5 Jahren um 25% zugenommen. Dieser Sachverhalt ist für das Südtirol auch in Abbildung 4.4 in relativen Zahlen mit Bezugsjahr 1997 dargestellt. Der etwas höhere Güterverkehr

am Brennerpass im Südtirol im Vergleich zu Nordtirol dürfte auf die unterschiedliche Definition bei den Schwerverkehrszählungen zurückzuführen sein (im Nordtirol werden die Busse nicht dazu gerechnet, im Süden dagegen schon).

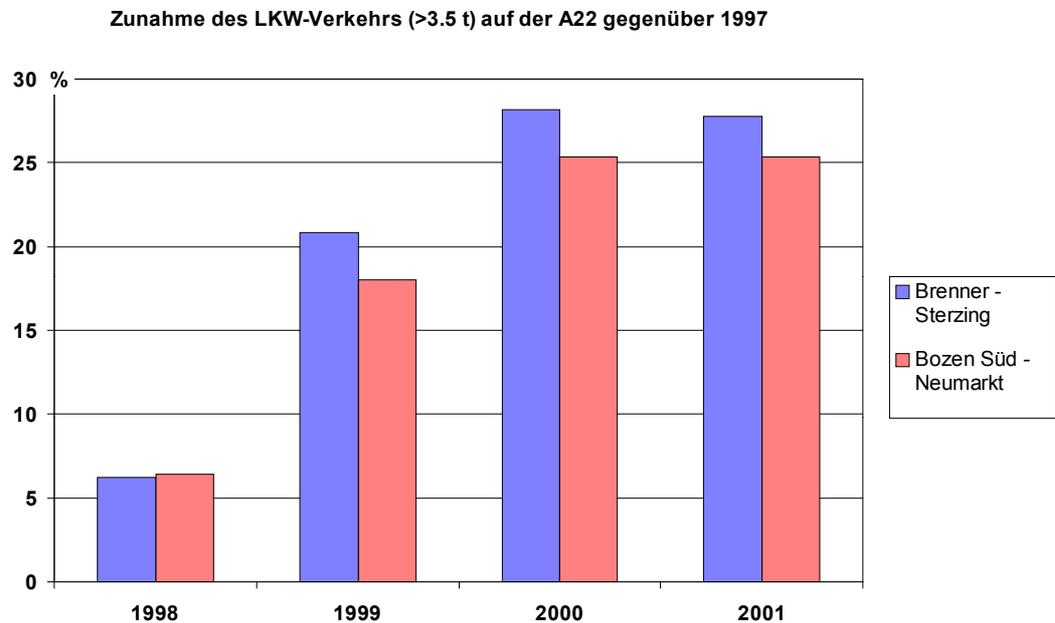


Abbildung 4.4: Relative Entwicklung des Lkw-Verkehrs auf der Südseite des Brenners in Sterzing und Bozen Süd (aufsummiert, Referenzjahr 1997). Quelle: Datensätze vom Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol.

Die Entwicklung der schweren Güterfahrzeuge in der Schweiz zeigt ebenfalls eine starke Zunahme (vgl. Abbildung 4.5): seit 1981 hat sich der gesamte Alpenquerende schwere Güterverkehr in der Schweiz verfünffacht, seit 1989 mehr als verdoppelt (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002b). Der Gotthard ist bei weitem der wichtigste Schweizer Alpenübergang für den Strassengüterverkehr. Die Zahlen dieser Abbildung können nicht direkt mit jenen anderer Quellen verglichen werden, weil sie nur alle paar Jahre umfassend erhoben werden und in den Zwischenjahren auf Stichprobenuntersuchungen an ausgewählten Tagen beruhen. Die Abnahme des Güterverkehrs auf der Strasse im Jahr 2001 ist die Folge der Gotthardsperrung. Als Vergleich zu den tatsächlich gezählten Werten wurde auch die Entwicklung ohne den Einfluss der Gotthardsperrung abgeschätzt. Während der Gotthardsperrung nahm der Güterverkehr nicht nur auf der Gotthardachse selbst ab, sondern auch gesamtschweizerisch, weil er sich aufgrund der eingeschränkten Kapazitäten z.T. auf die Bahn und z.T. ins Ausland verlagerte.

In der Schweiz wurde im Jahr 2001 die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe eingeführt. Gleichzeitig wurde das zulässige Höchstgewicht pro Fahrzeug

von 28 auf 34 t erhöht (in den kommenden Jahren wird dieses kontinuierlich auf 40 t angehoben werden). Durch diese Massnahmen verringern sich die Anzahl der einzelnen Fahrzeuge auf der Strasse, weil anstelle mehrerer kleiner Lastwagen oft ein grosser Sattelzug eingesetzt wird. Im Laufe der kommenden Jahre muss untersucht werden, ob die transportierte Gütermenge vermehrt auf die Bahn verlagert wird.

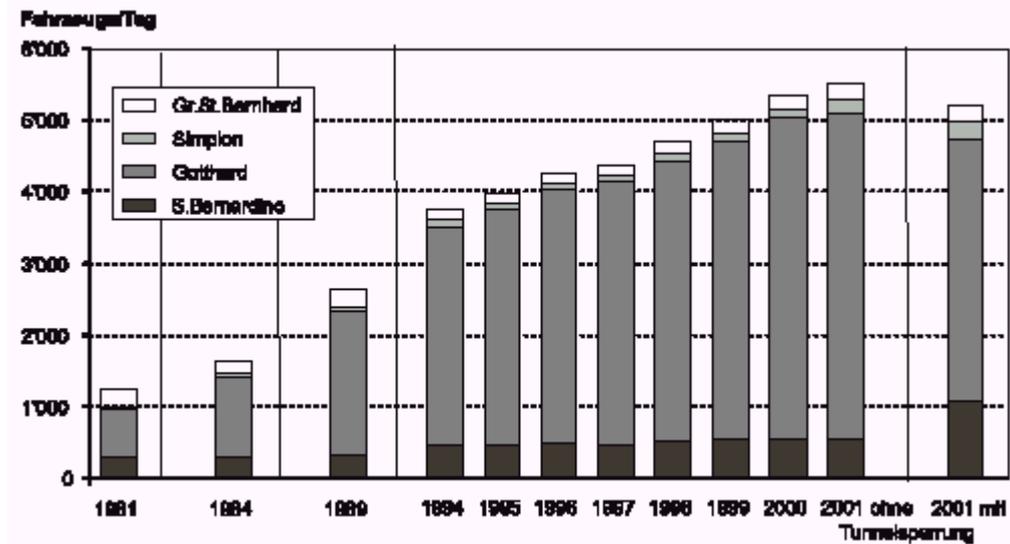


Abbildung 4.5: Entwicklung der Strassengüterfahrzeuge (Lastwagen, Last- und Sattelzüge >3.5 t) in der Schweiz nach Alpenübergängen. 2001: "mit Tunnelsperrung": tatsächlich gemessene Werte (infolge der Gotthardsperrung gehen die Güterfahrzeuge sowohl am Gotthard selbst als auch im gesamtschweizerischen Total zurück), "ohne Tunnelsperrung": Abschätzung der normalen Entwicklung, falls der Gotthard nicht gesperrt gewesen wäre. Abbildung übernommen aus: Bundesamt für Raumentwicklung (2002b).

Die Entwicklung des Güterverkehrs auf den bedeutendsten Alpentransit-Autobahnen im inneren Alpenbogen (zwischen Fréjus und Brenner) ist in Abbildung 4.6 zusammengestellt (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002a). Die hier dargestellten Zahlen wurden jeweils direkt an den Alpenübergängen oder Strassentunnels erhoben. Sie beziehen sich offenbar alle auf Lkws und Last- und Sattelzüge >3.5 t Gesamtgewicht. In Tabelle 4.1 sind die entsprechenden Zahlen für die Jahre 1994 und 2001 wiedergegeben. Während der gesamte alpenquerende Güterverkehr auf der Strasse in dieser Alpenregion (inklusive einige weitere, eher kleinere Übergänge) von 1994 bis 2000 von 3.8 Millionen auf 4.6 Millionen Fahrzeuge (>3.5 t) pro Jahr zugenommen hat, ist im Jahr 2001 eine Stagnation zu verzeichnen. Die Abbildung zeigt deutlich den Effekt der Tunnelsperrungen am Mont-Blanc (ab 24.3.1999) und am Gotthard (24.10.-21.12.2001). Während auf diesen Achsen der Güterverkehr drastisch sinkt (am Montblanc können während

mehr als 2 Jahren überhaupt keine Güterfahrzeuge mehr passieren), nimmt er gleichzeitig am Fréjus respektive am San Bernardino zu.

Der Brenner ist auch beim Güterverkehr wie schon beim Gesamtverkehr der am stärksten belastete Alpenübergang. Allerdings werden am Fréjus infolge der Mont-Blanc-Sperrung ähnlich hohe Werte erreicht.

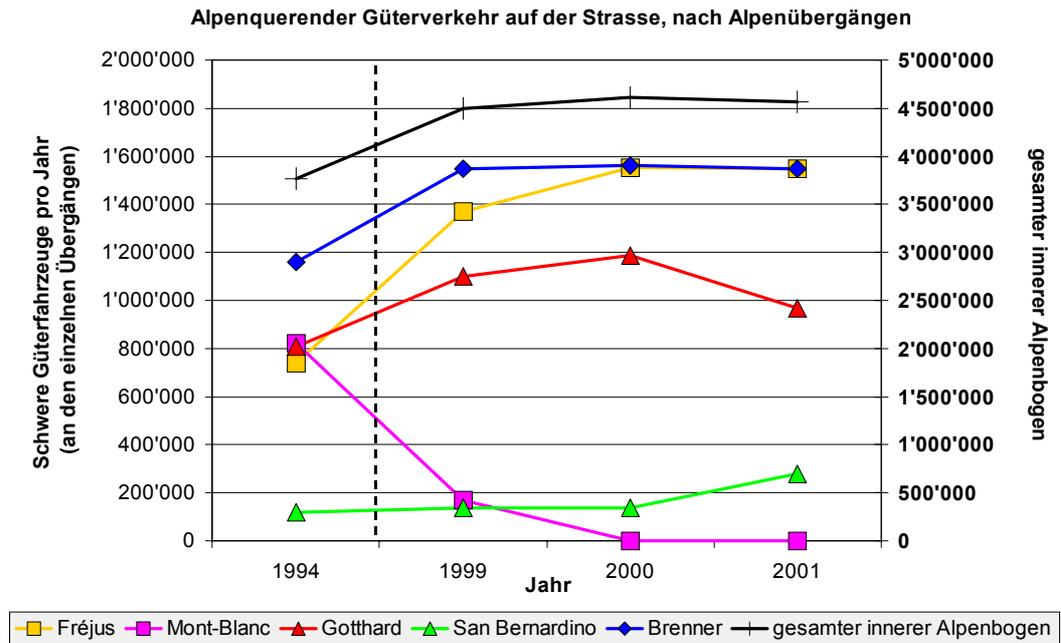


Abbildung 4.6: Entwicklung der schweren Güterfahrzeuge (Lkws, Lasten- und Sattelzüge >3.5 t) auf den einzelnen Alpenübergängen. Sperrung Mont-Blanc-Tunnel: ab 24.3.1999, Sperrung Gotthard-Tunnel: 24.10.01-21.12.01. Quelle: Alpinfo 2001 (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002a).

Tabelle 4.1: Alpenquerender Güterverkehr auf den Strassen im inneren Alpenbogen: Vergleich von 1994 und 2001: schweren Güterfahrzeuge (Lkws, Lasten- und Sattelzüge >3.5 t). vgl. auch Abbildung 4.6. Quelle: Alpinfo 2001 (Bundesamt für Raumentwicklung, 2002a).

Alpenübergang	Anzahl schwere Güterfahrzeuge 1994	Anzahl schwere Güterfahrzeuge 2001
Fréjus	742'000	1'549'000
Mont-Blanc (2001 gesperrt)	822'000	0
Gotthard (Herbst 2001 gesperrt)	807'000	966'000
San Bernardino	119'000	277'000
Brenner	1'159'000	1'550'000
gesamter innerer Alpenbogen (inkl. weitere, kleinere Alpen-Übergänge)	3'765'000	4'567'000

4.2. Emissionen

In den diesem Bericht zugrunde liegenden Studien werden für alle Täler nur die Autobahnemissionen quantifiziert. Die Autobahnen sind in diesen Regionen mit Sicherheit die dominierende Quelle von Luftschadstoffen. Allenfalls wird bei der Interpretation (z.B. im Inntal) auf das Vorhandensein weiterer Quellen (meist lokale Strassen, also ebenfalls Verkehrsquellen) hingewiesen, auch wenn diese im Verhältnis zur Autobahn eine untergeordnete Rolle spielen. Dieses Kapitel zeigt den Zusammenhang der Verkehrszahlen und der entsprechenden Emissionen auf.

Die Berechnung der Emissionen erfolgte jeweils aufgrund der Verkehrszählungen und der Emissionsfaktoren für die verschiedenen Fahrzeugkategorien (Umweltbundesamt, 1998 und BUWAL / Infrac, 1999).

4.2.1. Emissionskataster Südtirol: Die Rolle des Verkehrs als Emissionsquelle

Für das Südtirol liegt ein Emissionskataster vor. Die wichtigsten Erkenntnisse daraus sind in den beiden Berichten "Verkehr und Umweltschutz" und "Luftbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen im inneralpinen Raum" zusammengestellt. In Abbildung 4.7 wird der Verkehr als Hauptquelle für CO, NO_x und PM10 identifiziert. Obwohl sich das Emissionskataster auf das gesamte Gebiet

des Südtirols bezieht und somit der Überland- und der Stadtverkehr ebenfalls eine wichtige Rolle spielen, ist die Autobahn A22 eine sehr dominante Quelle. Sie ist beispielsweise für rund ein Viertel des NO_x -Ausstosses und für fast die Hälfte des gesamten PM_{10} -Ausstosses im Südtirol verantwortlich. Das Emissionskataster zeigt, dass den Heizungen und Industrieanlagen eine deutlich geringere Bedeutung beim Ausstoss von Stickoxiden, Feinstaub und Kohlenmonoxid zukommt als dem Verkehr. Seit der Einführung des Katalysators konnte der Ausstoss von Schwefeloxiden (SO_x) massiv eingedämmt werden, so dass diese heute kaum mehr ein Problem darstellen.

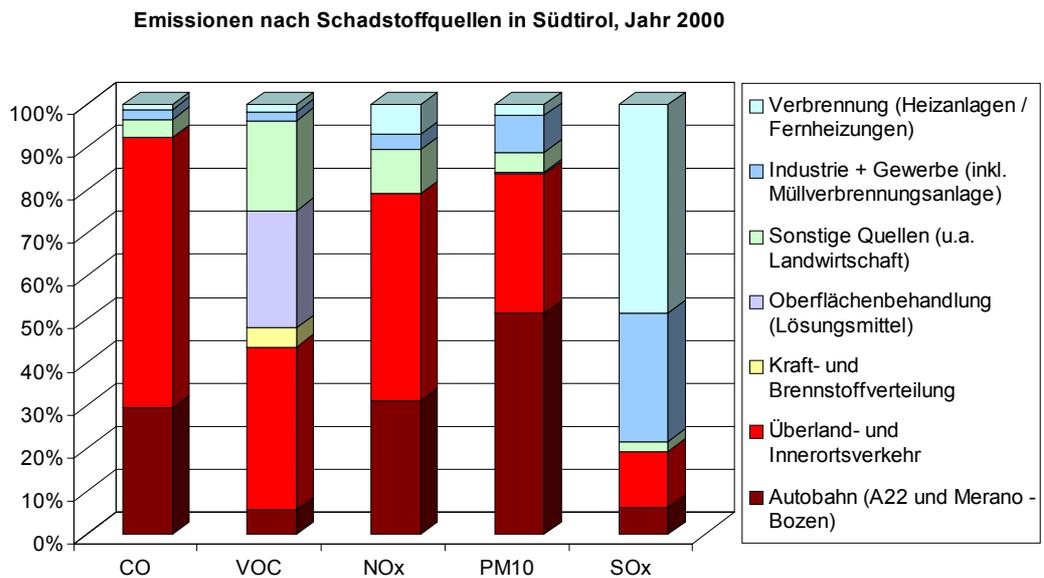


Abbildung 4.7: Ausschnitt aus dem Emissionskataster Südtirol: relative Verteilung der Schadstoffquellen. Für CO , NO_x und PM_{10} ist der Verkehr (rot) die dominante Quelle. Quelle: Emissionskataster Südtirol.

Interessant ist die Entwicklung der Feinstaub-Emissionen (PM_{10}) von 1997 bis 2000 (vgl. Abbildung 4.8). Während der PM_{10} -Ausstoss im Stadt- und Überlandverkehr aufgrund verbesserter Motoren leicht abgenommen hat, stieg er auf der Autobahn massiv an. Dies ist eine Folge der Zunahme des Schwerverkehrs und des damit verbundenen Diesel-Ausstosses. Die Brennerautobahn ist mit Abstand die wichtigste PM_{10} -Quelle im Südtirol.

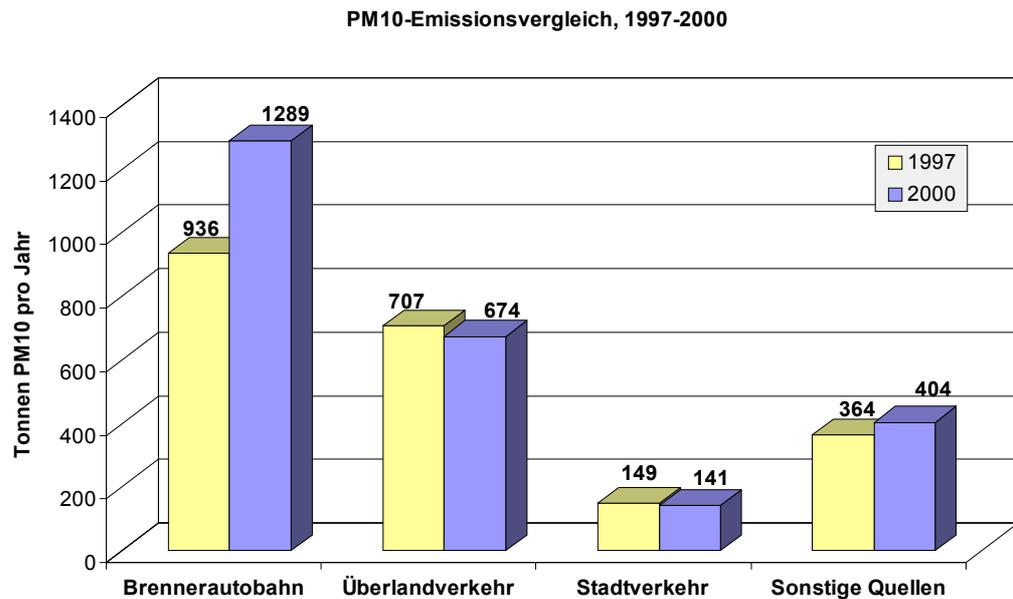


Abbildung 4.8: PM10-Quellen im Südtirol für 1997 und 2000. Quelle: Emissionskataster Südtirol.

4.2.2. Die Entwicklung der Verkehrs-Emissionen im Tirol

Aufgrund der Verkehrszahlen in Abbildung 4.2 und in Abbildung 4.3 wurde mittels der Emissionsfaktoren für die verschiedenen Fahrzeugkategorien (Umweltbundesamt, 1998) die Entwicklung der Emissionen durch die Autobahnen im Tirol berechnet (Tirol, Verkehrsplanung, 2000). Die Resultate für NO_x sind in Abbildung 4.9 für das Inntal und in Abbildung 4.10 für die Brennerautobahn zu sehen. Obwohl sowohl die Personenwagen als auch der Güterverkehr zunehmen, sinken die Emissionen durch den Personenverkehr wegen den effizienteren Motoren, welche aufgrund verschärfter Richtlinien durch die EU eingeführt werden.

Obwohl der Schwerverkehr an den beiden Messstandorten nur ca. 15-20% der gesamten Fahrzeugzahlen ausmacht, ist er im Inntal bei Vomp für 50-70% aller NO_x -Emissionen verantwortlich, am Brenner bei Plon sogar für 70-85%. Die Emissionen durch den Schwerverkehr haben im Mittel über die letzten 10 Jahre zugenommen. Die Prognosen für die Zukunft deuten zwar auf eine Abnahme hin. Diese fällt jedoch eher gering aus und beruht zudem auf optimistischen Annahmen bezüglich Verkehrsentwicklung und technischer Verbesserungen.

Wie aus dem Emissionskataster des Südtirols hervorgeht (vgl. Kapitel 4.2.1), ist der Güterverkehr auch für einen Grossteil des PM10-Ausstosses verantwortlich. Somit lässt sich sagen, dass bei einer ungebremsten Entwicklung des Schwerverkehrs keine wesentliche Verbesserung der lufthygienischen Situation erreicht

werden kann, auch wenn die Motoren technisch verbessert werden. Um die Emissionen zu senken, muss der Güterverkehr auf der Strasse eingeschränkt werden.

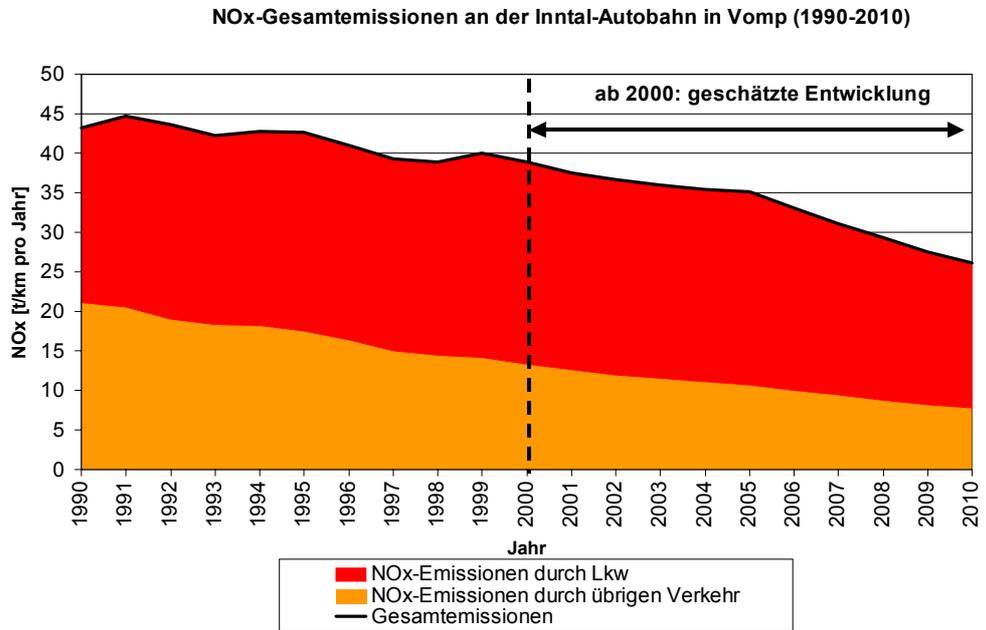


Abbildung 4.9: NO_x-Emissionen an der Autobahn in Vomp: Entwicklung seit 1990 und Trendabschätzung bis 2010. Quelle: Tirol, Verkehrsplanung (2000).

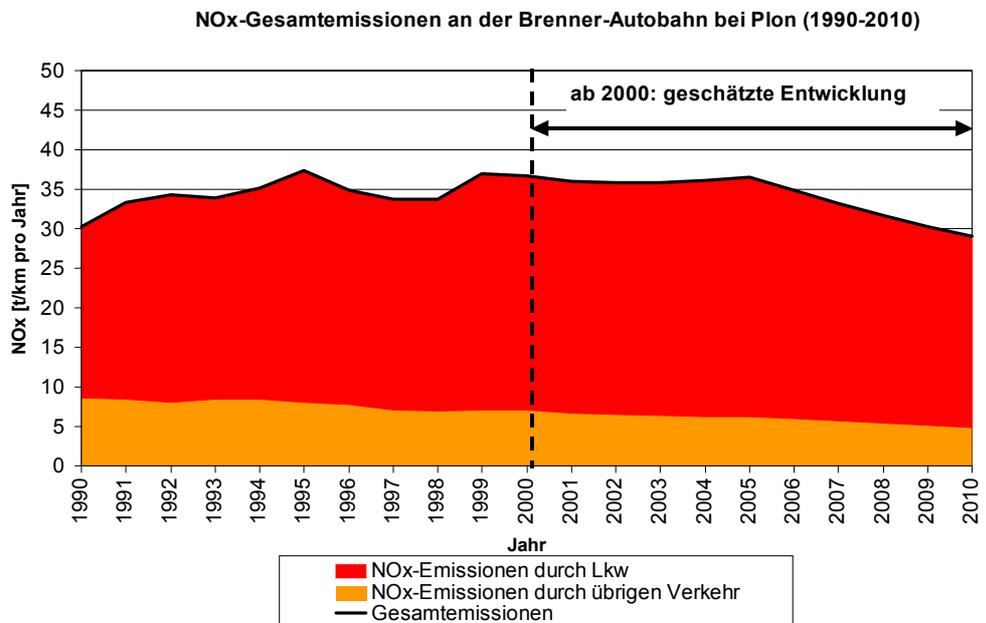


Abbildung 4.10: NO_x-Emissionen an der Autobahn in Plon: Entwicklung seit 1990 und Trendabschätzung bis 2010. Quelle: Tirol, Verkehrsplanung (2000).

Der Zusammenhang der Verkehrszahlen aus Kapitel 4.1 und der Emissionen wurde in diesem Kapitel am Beispiel von NO_x-Daten aus Tirol (Vomp im Inntal und Matrei/Plon am Brenner) dargestellt. Er gilt selbstverständlich auch für andere Regionen. Da der schwere Güterverkehr besonders stark zu den Emissionen beiträgt, muss aufgrund von Abbildung 4.4 bis Abbildung 4.6 davon ausgegangen werden, dass die Emissionen gegenwärtig in allen Regionen zunehmen und nur durch eine Umlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene nachhaltig eingeschränkt werden können.

4.2.3. Mittlere Tagesgänge der Emissionen

Für die Berichte "Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn" und "Auswirkungen der Meteorologie und der Topografie auf die Stickoxidbelastung im Urner Reusstal entlang der Autobahn A2" wurden aus Verkehrszählungen und den Emissionsfaktoren für die verschiedenen Fahrzeugkategorien (Umweltbundesamt, 1998 und BUWAL / Infrac, 1999) die Emissionen als Stundenwerte für ein ganzes Jahr berechnet und daraus mittlere Tagesgänge bestimmt.

Die mittleren Tagesmaxima der Emissionen erreichen in Vomp im Inntal etwa gleich hohe Werte wie am stark befahrenen Autobahnknotenpunkt Härkingen im Schweizer Mittelland, d.h. ca. 7000 g/(km h) (vgl. Abbildung 4.11). Im Urner Reusstal sind sie jedoch nur etwa ein Drittel so hoch.

Alle drei Standorte zeigen einen ausgeprägten Tagesgang der Emissionen mit einem starken Anstieg am Morgen und Maximalwerten am Vormittag und am Nachmittag sowie einem leicht verringerten Verkehrsaufkommen über Mittag. Das Nachtfahrverbot für schwere Güterfahrzeuge zeigt sich in der Schweiz durch nächtliche Emissionen von ca. 200-500 g/km pro Stunde. Im Tirol dagegen sinken die mittleren Werte auch nachts nicht unter 1000 g/km pro Stunde.

Für den interessanten Vergleich zwischen den Emissionen und den Immissionen sei hier auf Kapitel 5, insbesondere auf Abbildung 5.2 verwiesen.

Ein Beispiel für den Jahresgang der Emissionen findet sich in Kapitel 6.1 (Abbildung 6.1). Im Winter sind das Verkehrsaufkommen in den Alpentälern und damit die emittierten Schadstoffe generell geringer als im Sommer. In dieser Abbildung ist auch der Wochengang mit den geringeren Werten am Wochenende erkennbar.

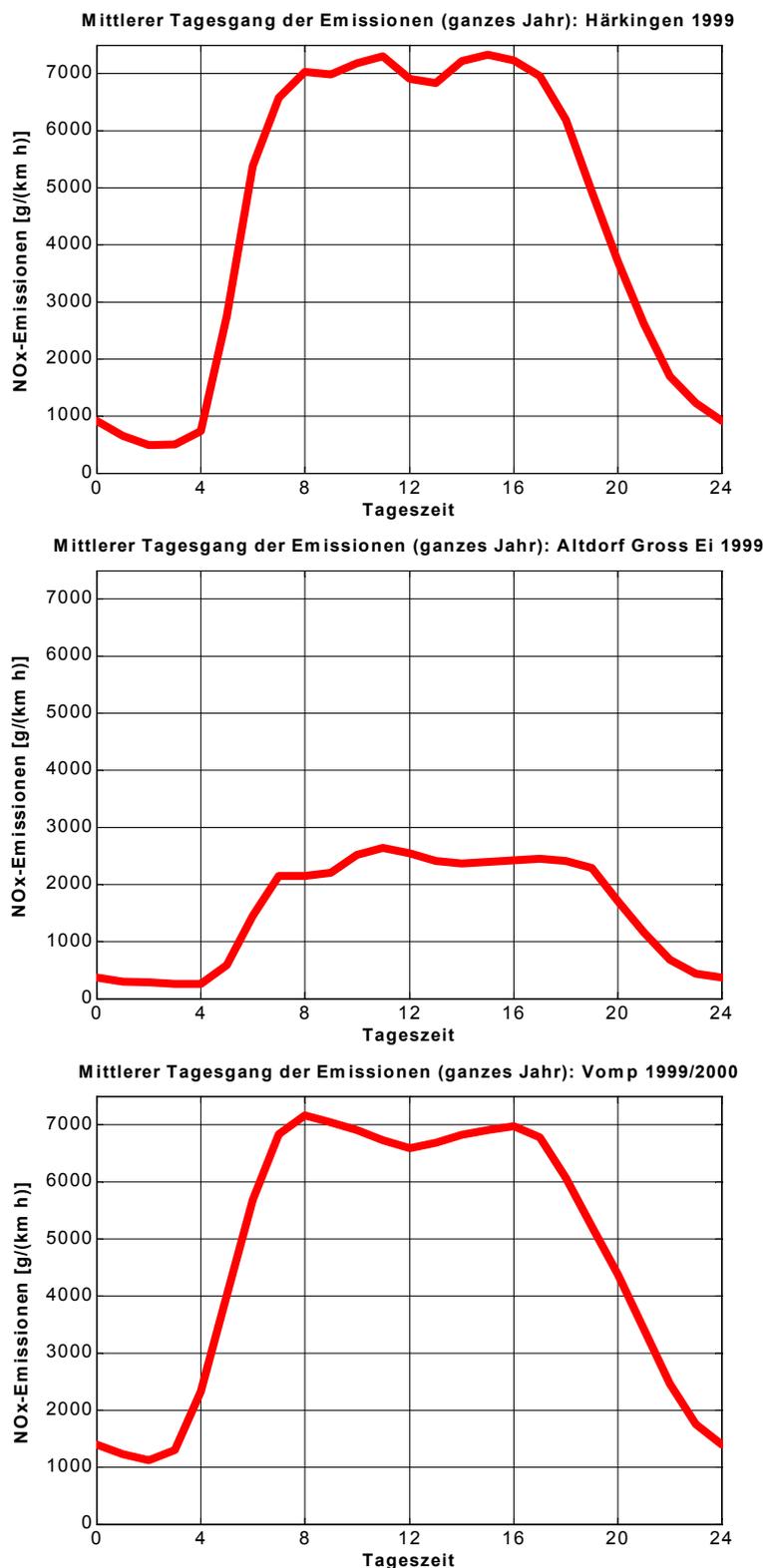


Abbildung 4.11: Vergleich der NO_x-Emissionen durch die Autobahn im mittleren jährlichen Tagesgang. Von oben nach unten: Härkingen (Schweizer Mittelland), Altdorf (Urner Reusstal), Vomp (Inntal). Vgl. auch **Abbildung 5.2**.

5. Immissionen

5.1. Jahresmittelwerte an verschiedenen Standorten

Der Vergleich der Immissionen in den einzelnen Tälern ist äusserst schwierig, weil die Messstationen individuell errichtet wurden und keinem gemeinsamen Konzept folgen. Besonders die unterschiedlichen Distanzen der Stationen zur Autobahn verunmöglichen einen direkten Vergleich. Die unterschiedlichen Messmethoden können durch sorgfältige Datenkalibration ausgeglichen werden. Immissionsmessstationen repräsentieren den aktuellen Standort der Station. Sie sind nicht repräsentativ für das ganze Tal.

Um trotz der Unterschiede einen Überblick über die Immissions-Situation in den Untersuchungsgebieten zu bekommen, wird in den folgenden Tabellen die Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO_x , NO_2 und Feinstaub über einige Jahre dargestellt.

Tabelle 5.1: Trend der NO_x -Jahresmittelwerte (ppb) in den Untersuchungsgebieten. Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: ⁽¹⁾ Effekt der Lärmschutzwand für die Distanzangabe bei Altdorf berücksichtigt. ⁽²⁾ Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar.

[ppb]	Inntal (Vomp)	Eisacktal (Sterzing)	Rheintal (Maienfeld)	Misox (Roveredo)	Reusstal (Altdorf)
Jahr	5 m	100 m	5 m	20 m	40 m ⁽¹⁾
1995	---	---	58	31	---
1996	---	---	58	32	---
1997	159 ⁽²⁾	---	54	31	74
1998	174	---	50	28	69
1999	196	53	47	27	63
2000	188	59	45	24	---
2001	178	---	---	34	---

Die NO_x -Werte in Tabelle 5.1 lassen kein einheitliches Bild erkennen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen sind deutlich stärker ausgeprägt als die Differenzen zwischen den Jahren für einen bestimmten Standort. Es lässt sich kein zeitlicher Trend ausmachen. Wahrscheinlich ist der Schwankungsbereich

aufgrund der meteorologischen Einflüsse eines bestimmten Jahres grösser als die Zunahme der Immissionen aufgrund erhöhter Emissionen. Trends müssten aufgrund langjähriger Zeitreihen bestimmt werden. Solche langjährigen Messreihen existieren jedoch nur für ganz wenige Standorte, weil das Bewusstsein für die zunehmende lufthygienische Belastung erst seit den 1980er Jahren an Bedeutung gewann.

In Abbildung 5.1 werden die NO_x -Konzentrationen eines Jahres an den verschiedenen Messstationen einander gegenüber gestellt. Die Station Vomp, welche direkt an der Inntal-Autobahn liegt, zeigt mit einem Jahresmittelwert von über 180 ppb den mit Abstand höchsten Wert. Auch in den anderen untersuchten Jahren (Tabelle 5.1) weist Vomp jeweils sehr hohe NO_x -Werte auf. Maienfeld im Rheintal und Roveredo im Misox sind dank einer günstigen Durchlüftungssituation sowie eines kleineren Verkehrsaufkommens als in den anderen Tälern geringeren NO_x -Konzentrationen ausgesetzt. Hingegen ist der Wert in Altdorf im Reusstal trotz einer gewissen Distanz zur Autobahn recht hoch. Und schliesslich lässt der fast gleich hohe Wert für Sterzing im Eisacktal in einer Distanz von 100 m zur Autobahn erahnen, dass näher bei der Autobahn liegende Gebiete im Eisacktal sehr stark belastet sind.

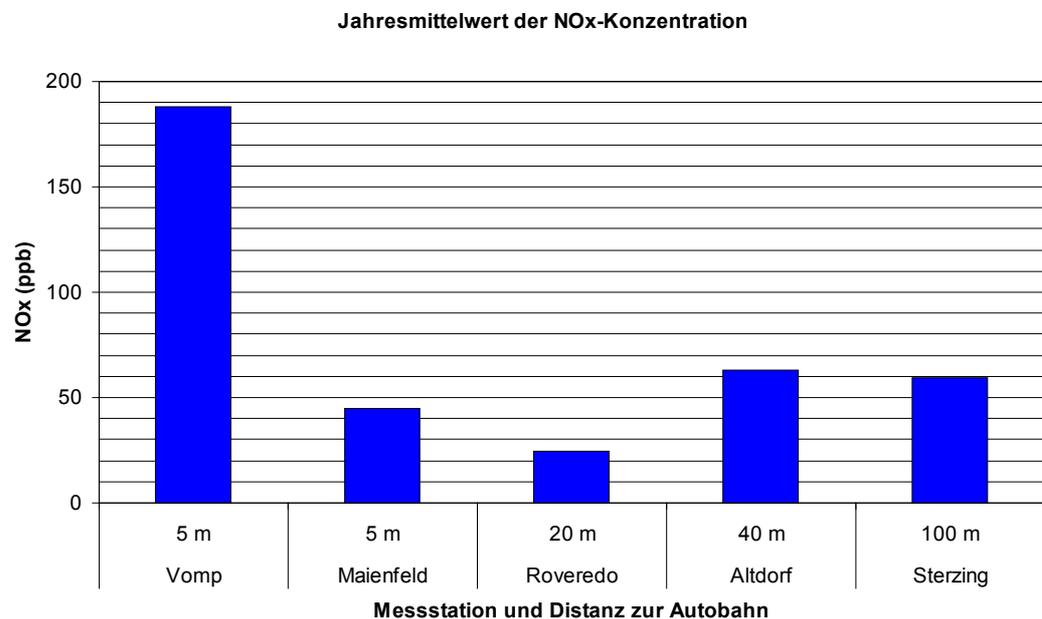


Abbildung 5.1: Vergleich der mittleren jährlichen NO_x -Konzentration (ppb) an den einzelnen Standorten für das Jahr 2000 (Altdorf 1999).

Beim NO_2 (Tabelle 5.2) fällt auf, dass sowohl die Unterschiede zwischen den einzelnen Messstationen als auch die Schwankungen über die Zeit schwächer aus-

geprägt sind als beim NO_x . Die photochemische Umwandlung von NO zu NO_2 hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dabei spielt nicht nur die Menge der emittierten Stickoxide eine Rolle, sondern z.B. auch die Verfügbarkeit von Ozon. Die Abhängigkeit der NO_2 -Konzentration von der NO_x -Konzentration verliert mit zunehmender NO_x -Konzentration an Bedeutung.

Die Grenzwerte für den NO_2 -Jahresmittelwert sind nicht einheitlich. Die EU hat einen verbindlichen Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahr 2010 festgelegt. Bis dahin gilt ein Übergangsfrist, während der sich der tolerierte Wert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2000 kontinuierlich verringert. Das österreichische Immissionsschutzgesetz Luft IGL senkt die tolerierten Werte rascher ab bis zu einem Grenzwert von $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2010. In der Schweiz gilt schon heute ein Grenzwert für das Jahresmittel von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vomp zeigt auch beim NO_2 wie schon beim NO_x die höchsten Werte von allen untersuchten Stationen. 1999 und 2000 wurde der Jahresgrenzwert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ knapp erreicht. Die zukünftigen EU- und insbesondere die IGL-Grenzwerte könnten an dieser Station mit den heutigen Emissionen in keinem Jahr eingehalten werden. In einer aktuellen Studie von Oekoscience AG wurden verschiedene Szenarien der Verkehrsentwicklung für die zukünftige NO_2 -Belastung untersucht: "Einhaltung der Grenzwerte für das NO_2 -Jahresmittel an der Messstelle Vomp: Szenarien der zukünftigen Entwicklung des Schwere Güterverkehrs 2002-2012". Technische Verbesserungen der Motoren reichen nicht aus, um die Grenzwerte in Vomp einzuhalten. Der Verkehr muss gegenüber einer ungebremsten Entwicklung auf jeden Fall reduziert werden. Gewisse Verbesserungen im Jahresmittelwert können auch durch Einführen eines Nachtfahrverbots erzielt werden. Die NO_2 -Belastung in Altdorf im Kanton Uri ist ebenfalls ziemlich hoch. Die strengen Schweizer Grenzwerte werden bei weitem überschritten. Selbst im Rheintal und im Misox, wo die Werte nur etwa halb so hoch sind wie in Vomp, können die Schweizer Grenzwerte nur knapp eingehalten werden. Die Werte in Sterzing bewegen sich ebenfalls um $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser vergleichsweise tiefe Wert ist eine Folge der grösseren Distanz zur Autobahn.

Tabelle 5.2: Trend der NO₂-Jahresmittelwerte (µg/m³) in den Untersuchungsgebieten. Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: (1) Effekt der Lärmschutzwand für die Distanzangabe bei Altdorf berücksichtigt. (2) Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar, (3) Sterzing 1998: nur Oktober bis Dezember.

[µg/m ³]	Inntal (Vomp)	Eisacktal (Sterzing)	Rheintal (Maienfeld)	Misox (Roveredo)	Reusstal (Altdorf)
Jahr	5 m	100 m	5 m	20 m	40 m ⁽¹⁾
1995	---	---	33	29	
1996	---	---	30	33	
1997	49 ⁽²⁾	---	30	32	49
1998	54	32 ⁽³⁾	31	30	43
1999	62	32	29	27	44
2000	60	33	31	24	
2001	54	---	---	24	

Feinstaub gewinnt zunehmend an Interesse bei lufthygienischen Untersuchungen. Seine gesundheitliche Wirkung ist erst teilweise erforscht. Es wird angenommen, dass die sehr kleinen Partikel die Lunge schädigen. Es ist bekannt, dass vermehrter Dieserverbrauch zu einer verstärkten Feinstaubemission führt. An vielen Standorten wird bisher der Gesamtstaub erfasst. Gewisse Stationen sind auch mit Geräten für die PM₁₀-Bestimmung ausgerüstet. Die Diskussion um noch feinere Partikel (z.B. PM_{2.5}) ist erst seit kurzer Zeit entfacht. In der Schweiz sollen solche Feinstaubpartikel im Rahmen des Projektes "Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt" (MFMU) an verschiedenen Standorten gemessen werden.

Tabelle 5.3 zeigt die Messwerte des Gesamtstaubes in Vomp und Sterzing für einige Jahre. In Vomp zeigt sich eine kontinuierliche Konzentrationszunahme, in Sterzing ist aufgrund der kurzen Messdauer von nur zwei vollständigen Jahren noch keine Aussage möglich.

Tabelle 5.3: **Trend der Gesamtstaub-Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Inntal und im Eisacktal.** Man beachte die unterschiedlichen Distanzen der Messstationen zur Autobahn. Anmerkungen: ⁽²⁾ Vomp 1997 erst installiert, nur ca. 60% der Rohdaten verwendbar, ⁽³⁾ Sterzing 1998: nur Oktober bis Dezember, ⁽⁴⁾ Vomp 2001: Gesamtstaub abgeschätzt aus PM10-Messung.

$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	Inntal (Vomp)	Eisacktal (Sterzing)
Jahr	5 m	100 m
1997	25 ⁽²⁾	---
1998	28	26 ⁽³⁾
1999	28	21
2000	29	23
2001	34 ⁽⁴⁾	---

Neben dem Jahresmittelwert der Schadstoffe sind natürlich auch der zeitliche Verlauf und die Verteilung auf unterschiedliche Tages- und Jahreszeiten von Interesse. Im Kapitel 6.1 (Abbildung 6.1) findet sich ein Beispiel für einen Jahresgang der NO_x -Konzentrationen. Auf den Zusammenhang der Immissionen zu den Emissionen wird in jenem Kapitel näher eingegangen. Interessant ist sicher, dass im Winter wegen der häufigen austauschschwachen Wetterlagen deutlich höhere Konzentrationen erzielt werden als im Sommer. In dieser Abbildung ist auch der Wochengang mit den verminderten Immissionen am Wochenende erkennbar, weil dann weniger Schwerverkehr unterwegs ist.

5.2. Mittlere Tagesgänge der Immissionen

Ein typischer mittlerer Tagesgang der NO_x -Immissionen, wie er in Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3 dargestellt ist, zeigt zwei Tagesspitzen: eine meist stärker ausgeprägte am frühen Morgen, wenn oft noch Inversionen herrschen und der Berufsverkehr einsetzt. Am frühen Abend, wenn sich erneut eine Inversion aufzubauen beginnt, ist die zweite Periode mit hoher Belastung. Über Mittag sind die Ausbreitungsbedingungen besser, so dass auch ein hohes Verkehrsaufkommen lufthygienisch weniger belastend ist als morgens und abends. Die drei Kurven in Abbildung 5.2 können direkt miteinander verglichen werden. Wie schon bei den Jahresmittelwerten festgestellt, weist Vomp eine sehr hohe Belastung auf. Auch nachts sinken die Werte im Mittel nicht unter 100 ppb. Mitverursacher dieser hohen Werte ist der Güterverkehr, da kein allgemeines Nachtfahrverbot besteht. Das mittlere tägliche Maximum beträgt fast 300 ppb!

Interessant ist der Vergleich des mittleren Tagesgangs der Immissionen mit den Emissionen (vgl. Abbildung 4.11). Während die Emissionen in Vomp vergleichbar sind mit der Vergleichsstation Härkingen im Schweizer Mittelland, zeigen die Immissionen in Vomp rund dreimal höhere Werte als jene in Härkingen. Dafür bewegen sich die Immissionen in Härkingen und Altdorf in der gleichen Grössenordnung, obwohl Härkingen eine etwa dreimal so grosse Verkehrsdichte wie Altdorf aufweist. Daraus lässt sich schliessen, dass die Schadstoffbelastung bei gleicher Emission in einem Alpental rund dreimal höher ist als in einer offenen Gegend, wo sich die Schadstoffe sowohl auf eine grössere Fläche als auch über eine grössere vertikale Ausdehnung verteilen können, weil bodennahe Inversionen dort weniger häufig auftreten. Auch in Härkingen ist die Umgebung nicht völlig flach. Möglicherweise wirkt sich auch ein Kaltluftabfluss vom Jura her positiv auf die Frischluftzufuhr aus. Die Werte am späten Nachmittag sind dort auffällig niedrig. In Altdorf, wo wegen der Berghänge früh Schatten auftritt und sich Inversionen bilden können, sind die nachmittäglichen Immissionswerte höher als in Härkingen.

Der mittlere jährliche Tagesgang der NO_x -Immissionen bei Sterzing (Abbildung 5.3) kann nicht direkt mit den anderen Standorten verglichen werden, weil die Station Sterzing viel weiter von der Autobahn entfernt ist. Auch diese Station weist zwei deutliche Tagesspitzen auf, am frühen Morgen und am Abend, wenn das Verkehrsaufkommen hoch und die Austauschbedingungen ungünstig sind. Interessanterweise wird das Tagesminimum nicht nachts sondern über Mittag erreicht. Bei günstigen Austauschbedingungen während der Mittagszeit nimmt der Einfluss der Autobahn mit zunehmender Entfernung rasch ab, und die Station in 100 m Entfernung ist nur noch schwach belastet. Hingegen werden auch Gebiete in einigen 100 m Entfernung bei ungünstigen Austauschbedingungen, wie sie nachts auftreten, noch stark von den Autobahnemissionen belastet. Da im Südtirol kein Nachtfahrverbot existiert, dürfte das Verkehrsaufkommen nachts noch beträchtlich sein.

Im folgenden Kapitel 6 wird der Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen sowie der Einfluss weiterer Faktoren auf die Immissionen näher erläutert.

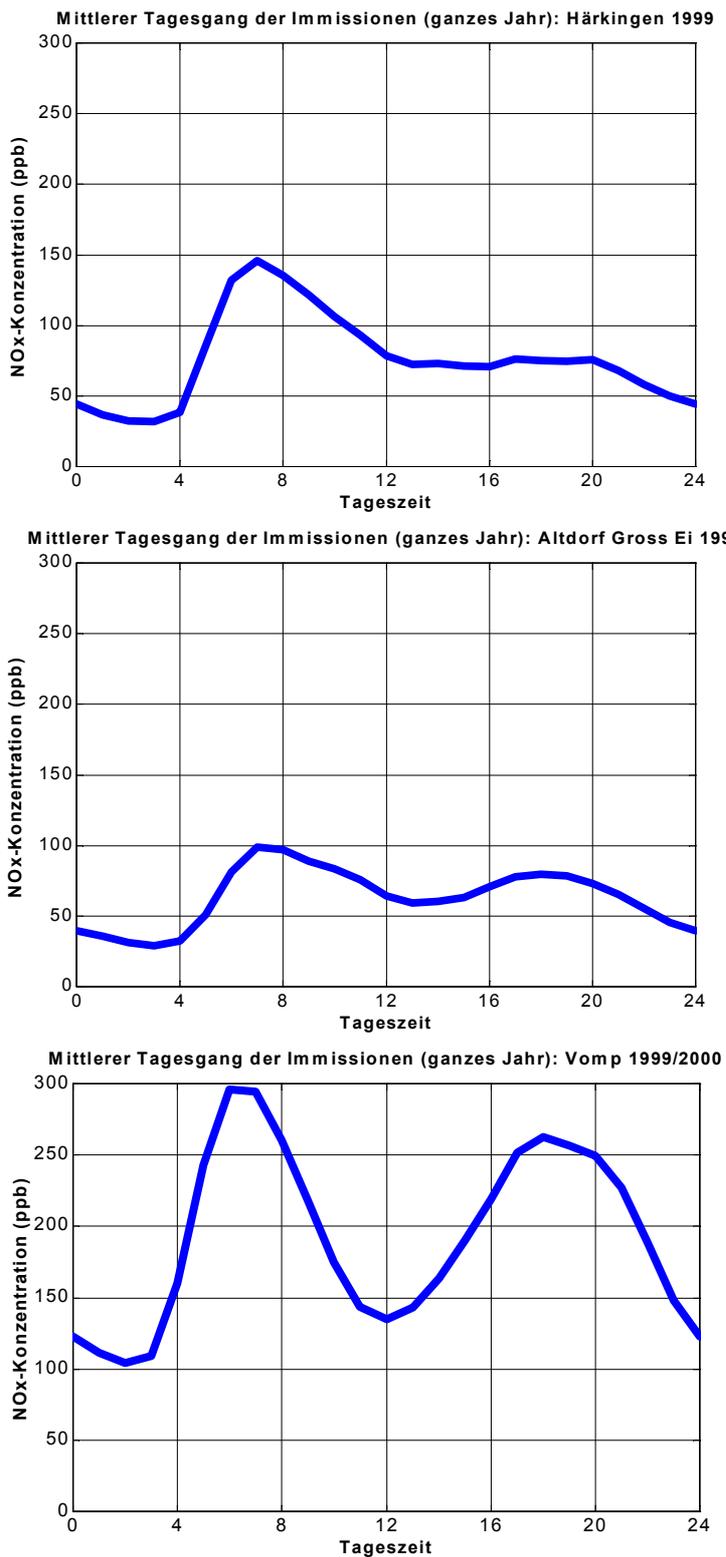


Abbildung 5.2: Vergleich der NO_x-Immissionen im mittleren jährlichen Tagesgang. Von oben nach unten: Härkingen (Schweizer Mittelland), Altdorf (alpines Reusstal), Vomp (alpines Inntal). Vgl. auch **Abbildung 4.11**.

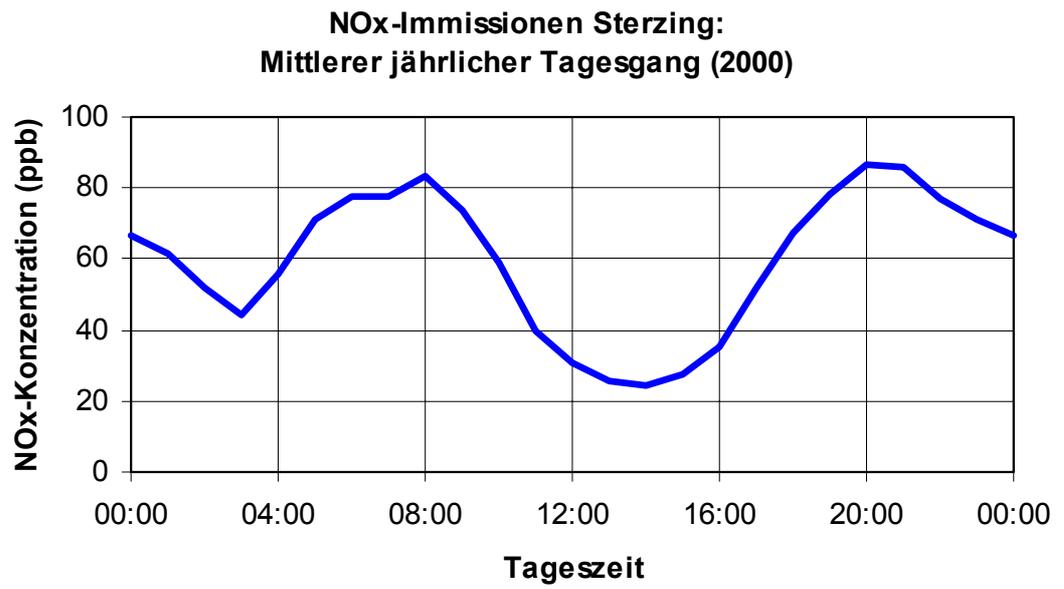


Abbildung 5.3: Mittlerer jährlicher Tagesgang der NO_x-Immissionen bei Sterzing.

6. I/E-Verhältnisse

6.1. Grundlagen

Der Zusammenhang zwischen den NO_x-Immissionen und den NO_x-Emissionen ist sehr komplex und nicht linear. Die Emission ist lediglich einer von vielen Parametern zur Steuerung der Schadstoffkonzentration an einem bestimmten Standort. Weiter spielen die Distanz und die Luv- oder Leelage zur Quelle eine Rolle sowie die topografischen Verhältnisse und die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, welche vor allem durch den Wind und die Temperaturschichtung der unteren Atmosphäre bestimmt werden. Das Verhältnis der Immissionen zu den Emissionen (I/E-Verhältnis) ist ein Mass zur Beschreibung all dieser Rahmenbedingungen, die bei einer bestimmten Menge emittiertes NO_x zu ganz unterschiedlichen Einträgen führen können.

Bei allen im Rahmen dieses Berichts untersuchten Alpentälern ist die Autobahn die dominante Emissionsquelle. Daher werden in diesem Kapitel die Immissionen mit einer Abstandsabhängigkeit zur Autobahn untersucht und in Beziehung gesetzt zu den Verkehrsemissionen der jeweiligen Autobahn.

Abbildung 6.1 zeigt an einem Beispiel aus dem Rheintal, wie die Jahresgänge der Autobahnemissionen und der Immissionen in 600 m Distanz zur Autobahn unterschiedlich verlaufen. Obwohl die mittleren Emissionen im Sommer höher sind als im Winter, werden die höchsten Immissionswerte im Winter erreicht.

Das I/E-Verhältnis erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Standorte und Zeitperioden bezüglich der Immissions-Situation, unabhängig von den aktuellen Emissionen. Bisher wurde es nur auf NO_x angewendet. Es sollte aber, wenn entsprechende Messungen vorhanden sind, auch für andere inerte Gase oder für PM10 Gültigkeit haben.

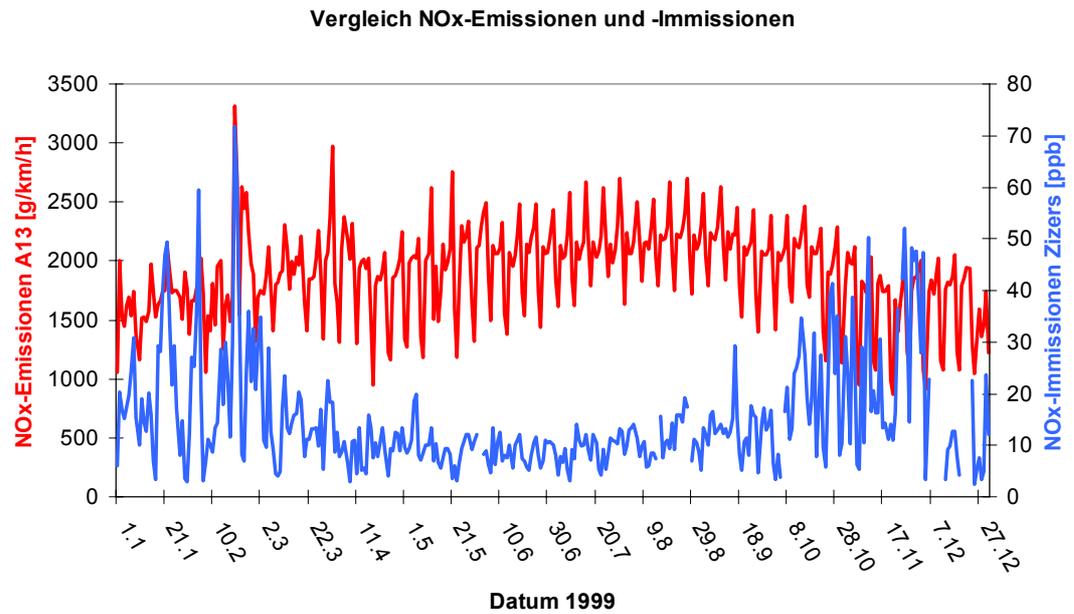


Abbildung 6.1: Jahrgang 1999 der NO_x-Emissionen der A13 im Rheintal und der NO_x-Immissionen bei Zizers (600 m Distanz zur Autobahn). Das regelmässige Auftreten verminderter Emissions- und Immissionswerte repräsentiert den Wochengang mit dem geringeren Verkehrsaufkommen am Wochenende.

6.2. Methodik

Die Methode der I/E-Verhältnisse wurde im Rahmen von verschiedenen Untersuchungen von Oekoscience AG entwickelt und vor allem im Inntal anhand des dichten Immissionsmessnetzes verifiziert. Sie ist ausführlich beschrieben im Bericht "Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn" und wurde auch veröffentlicht (Siegrist & Thudium, 2002).

Für jede Station und jede Saison wird ein eigenes I/E-Verhältnis gebildet. Dieses beruht auf saisonal gemittelten Tagesgängen der Emissionen und der Immissionen. Somit lassen sich Aussagen über die mittleren saisonalen Verhältnisse machen. Wegen der starken Variabilität, besonders aufgrund der meteorologischen Situation, ist diese empirische Methode nicht geeignet für eine tägliche oder gar stündliche Auflösung. Sie wurde jedoch im Hinblick auf bestimmte Fragestellungen so weiterentwickelt, dass auch Aussagen für bestimmte Tageszeiten und Zeitperioden möglich sind.

Die Emissionen werden aufgrund von Verkehrszählungen mit Hilfe der Emissionsfaktoren für die einzelnen Fahrzeugkategorien abgeschätzt (Umweltbundesamt, 1998 und BUWAL / Infrac, 1999). Für den ganzen untersuchten Talabschnitt gelten jeweils die gleichen Emissionswerte. Situationen mit sehr tiefen Emissionswerten, $<50 \text{ g}/(\text{km h})$, werden nicht berücksichtigt, da diese zu unrealistisch hohen I/E-Verhältnissen führen würden.

Die Immissionen werden an verschiedenen Stationen in unterschiedlicher Distanz zur Autobahn gemessen. So lässt sich das I/E-Verhältnis in seinen regionalen Variationen darstellen. Je nach Distanz der Immissionsmessungen wird die Emission über die letzten 1-2 Stunden gewichtet, um der zunehmenden Transportdauer von der Quelle bis zur Deposition mit zunehmender Distanz zur Autobahn Rechnung zu tragen.

Vom mittleren Tagesgang der Immissionen wird ein Hintergrundwert abgezogen. Dieser wird für jede Station separat empirisch bestimmt. Er wurde auf die Hälfte des Minimums vom mittleren Tagesgang festgelegt. Der Hintergrundwert repräsentiert alle anderen Quellen ausser der Autobahn. Dies sind z.B. andere Strassen, Industrie, Gewerbe und Hausfeuerungen, sowie auch Ferntransport durch den Wind. Aber auch Akkumulation von länger zurück liegenden Emissionen der Autobahn selbst sind Teil des Hintergrundes. Der um den Hintergrundwert korrigierte Immissionswert wird für jede Stunde durch den entsprechenden Emissionswert des mittleren Tagesgangs dividiert.

Da es sich um ein empirisches Mass handelt, das den Fluss der emittierten Schadstoffe pro Autobahnstrecke und Zeiteinheit mit einer Konzentration vergleicht, haben die Einheiten des Resultats keinen physikalischen Bezug. Um die I/E-Verhältnisse zwischen unterschiedlichen Standorten und Jahreszeiten miteinander zu vergleichen, werden sie standardisiert, normalerweise auf den sommerlichen Nachmittagswert. Dieses Vorgehen hat den zusätzlichen Vorteil, dass die Einheiten eliminiert werden.

6.3. Überblick über die I/E-Verhältnissen in den Regionen

Umfassende Untersuchungen zu den I/E-Verhältnissen liegen für das Inntal und das Reusstal (inklusive einem Vergleich mit dem Schweizer Mittelland) vor. Die Resultate werden in diesem Kapitel dargestellt. Je höher das I/E-Verhältnis ist, desto austauschärmer ist die Luftmasse, d.h. desto grösser die Immission, die aus einer bestimmten Emissionsmenge resultiert. Spezielle regionale Fragestel-

lungen, die ebenfalls mit Hilfe von I/E-Verhältnissen bearbeitet wurden, sind in Kapitel 7 erläutert.

Für die folgenden Ausführungen wurden jeweils drei Jahreszeiten unterschieden: Sommer (Mai bis August), Winter (November bis Februar) und Zwischensaison (März, April, September, Oktober).

6.3.1. Mittlere Tagesgänge

In Abbildung 6.2 sind einige Beispiele von mittleren saisonalen Tagesgängen der I/E-Verhältnisse dargestellt. Die Größenordnung aus dem Inntal kann nicht mit jener aus dem Reusstal verglichen werden, weil die I/E-Verhältnisse nicht normiert wurden. Hingegen lassen sich die autobahnnahen und die weiter entfernt liegenden Stationen innerhalb einer Region direkt vergleichen. Dabei ist die unterschiedliche y-Achsen-Skalierung der einzelnen Plots zu beachten.

Alle Kurven zeigen einen ausgeprägten Tagesgang mit hohen I/E-Verhältnissen in der Nacht und niedrigen um die Mittagszeit. Ausserdem ist die Saisonalität deutlich erkennbar. Die Winterkurven verlaufen durchwegs höher als jene im Sommer. Die in Kapitel 3.1 beschriebene Temperaturschichtung der unteren Atmosphäre wirkt sich direkt auf das I/E-Verhältnis aus. Bei guter Durchmischung ist dieses sehr tief. Dies ist im Sommer bis in die frühen Abendstunden der Fall. Im Winter dagegen, wenn nur selten konvektive Bedingungen herrschen und die Sonne früh untergeht, beginnt das I/E-Verhältnis bereits am frühen Nachmittag wieder anzusteigen.

Am frühen Morgen, wenn die Inversionen am ausgeprägtesten sind, erkennt man meist eine Zunahme des I/E-Verhältnisses. Diese hängt möglicherweise auch mit einer starken Immissionszunahme durch den einsetzenden morgendlichen Verkehr zusammen. Der starke Abfall der winterlichen I/E-Verhältnisse um Mitternacht bis gegen Morgen könnte mit Abwinden aus Seitentälern und von den Hängen zusammenhängen, welche insbesondere bei schneebedeckten Hängen beachtliche Windgeschwindigkeiten erreichen können. Dazu wäre es wichtig, die Windverhältnisse auch in diesen Seitentälern zu messen. Der winterliche Abfall ist grösser als im Sommer, weil der Luftaustausch auch tagsüber gering ist und sich Schadstoffe akkumulieren können, so dass eine Frischluftzufuhr das I/E-Verhältnis massiv verkleinert.

Auf den ersten Blick mag es erstaunen, dass das I/E-Verhältnis in Vomp bereits um die Mittagszeit wieder ansteigt, im Sommer wird das Tagesminimum sogar

schon am Vormittag erreicht. Der thermische Austausch ist zu dieser Tageszeit optimal. Aufgrund der Windauswertung wird jedoch klar, dass mit Einsetzen des Talwindes Schadstoffe entlang der Autobahn zur im Lee liegenden Station Vomp transportiert werden. Dieser lokale Einfluss führt bei konstanter Emission zu einer Erhöhung des I/E-Verhältnisses.

Direkt neben der Autobahn werden zu allen Tages- und Jahreszeiten die höchsten I/E-Verhältnisse erreicht.

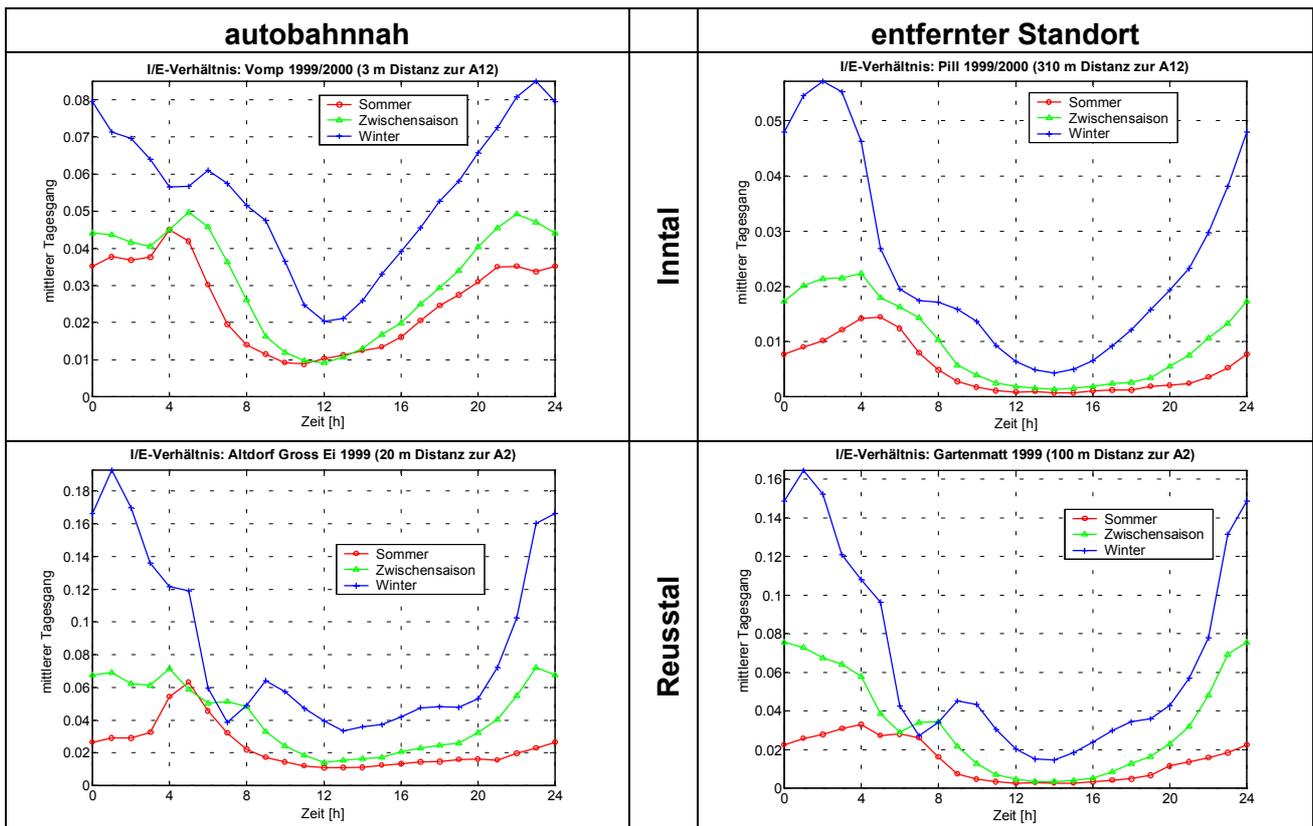


Abbildung 6.2: Mittlere saisonale Tagesgänge der I/E-Verhältnisse im Inntal (oben) und im Reusstal (unten). Beachte die unterschiedlichen Skalierungen der einzelnen Grafiken. Die beiden Regionen können nicht direkt miteinander verglichen werden, da die I/E-Verhältnisse nicht normiert sind.

6.3.2. Tageszeitliche und jahreszeitliche Variabilität an den einzelnen Stationen

Um in jeder Region die I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen direkt miteinander vergleichen zu können, werden diese nach typischen Belastungszeiten klassiert. Dazu werden sie jeweils über einige Stunden am Nachmittag, wenn sie sehr

tief sind, sowie in der zweiten Nachthälfte, wenn sie die höchsten Werte erreichen, gemittelt. Dabei wurde das Mittelungsintervall für jede Station individuell bestimmt, weil nicht eine bestimmte Tageszeit an allen Stationen verglichen werden soll, sondern die Perioden mit optimalen beziehungsweise sehr nachteiligen Austauschbedingungen.

In Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 wird der sommerliche Nachmittagswert jeder einzelnen Station auf 1 normiert, so dass man die Werte zu anderen Tages- und Jahreszeiten direkt den Optimalbedingungen gegenüberstellen kann. Der Unterschied des I/E-Verhältnisses zwischen Tag und Nacht ist dabei an allen Stationen deutlich stärker ausgeprägt, als jener zwischen den Jahreszeiten. Die extremsten Werte treten in Winternächten auf, wie schon aus den Grafiken hervorgeht. Der Extremwert von Pill ist mit Vorsicht zu interpretieren, weil die Daten nicht über ein ganzes Jahr vorliegen und die I/E-Verhältnisse im Winter nur auf Daten von Januar und Februar beruhen. I/E-Verhältnisse von 20 bis 30 mal dem sommerlichen Tageswert scheinen jedoch realistisch. An den autobahnnahen Standorten Vomp und Altdorf Gross Ei, welche ständig sehr hohen Belastungen ausgesetzt sind, ist der Unterschied zwischen guter und schlechter Durchmischung deutlich schwächer ausgeprägt als an entfernteren Standorten, die bei guten Bedingungen wenig Schadstoffe abbekommen und bei schlechteren deutlich mehr.

Tabelle 6.1: Die relativen I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Inntal im Tages- und Jahresgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.

Station und Distanz zur Autobahn (m)	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen- saison	Winter	Sommer	Zwischen- saison	Winter
Vomp (3)	1.0	1.0	2.2	3.5	4.2	6.1
Schlagturn (12)	1.0	1.3	3.6	5.7	10.3	23.5
Vomp an der Lei- ten (40)	1.0	1.4	3.9	13.5	14.3	20.9
Stans (50)	1.0	1.7	5.6	17.9	21.4	39.5
Hall (210)	1.0	2.0	10.3	23.3	27.9	48.6
Pill (310)	1.0	1.9	6.3	13.7	24.4	58.3
Unterfeld (350)	1.0	1.5	---	10.8	12.7	---

Tabelle 6.2: Die relativen I/E-Verhältnisse der einzelnen Stationen im Reusstal im Tages- und Jahrgang. Jede Station wird unabhängig von den andern im Sommer am Nachmittag auf 1 normiert. Das I/E-Verhältnis ist einheitslos.

Station und Distanz zur Autobahn (m)	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Altdorf Gross Ei (20)	1.0	1.5	3.1	3.5	5.4	12.3
Gartenmatt (100)	1.0	1.3	6.0	9.7	20.0	42.7
Werkh. Flüelen (110)	1.0	1.3	5.3	6.0	14.7	35.3

6.3.3. Regionale Variabilität

Tabelle 6.3 und Tabelle 6.4 zeigen den regionalen Vergleich mit der jeweils am stärksten belasteten autobahnnahen Station. Bei guten Austauschbedingungen erreichen die anderen Stationen je nach Distanz ein Zehntel bis ein Drittel der dortigen Belastung. Zu jeder Tages- und Jahreszeit ist die NO_x-Immission im Verhältnis zur Emission direkt neben der Autobahn am stärksten. Allerdings haben nächtliche Emissionen an den entfernteren Stationen eine eineinhalb bis dreimal so grosse Wirkung wie tagsüber direkt neben der Autobahn. Dies bedeutet, dass sich eine Erhöhung der Nachtfahrten besonders auf die lufthygienische Situation in Wohngebieten in einiger Distanz zur Autobahn negativ auswirken würde.

Tabelle 6.3: Vergleich des I/E-Verhältnisses zwischen den einzelnen Stationen im Inntal am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Vomp im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert.

Station und Distanz zur Autobahn (m)	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Vomp (3)	1.0	1.0	2.2	3.5	4.2	6.1
Schlagturn (12)	0.18	0.23	0.65	1.0	1.8	4.2
Vomp an der Leiten (40)	0.18	0.24	0.69	2.4	2.5	3.7
Stans (50)	0.13	0.22	0.73	2.3	2.8	5.2
Hall (210)	0.10	0.21	1.1	2.4	2.9	5.0
Pill (310)	0.08	0.15	0.48	1.1	1.9	4.5
Unterfeld (350)	0.11	0.16	---	1.1	1.4	---

Tabelle 6.4: Vergleich des I/E-Verhältnisses aller drei Stationen im Reusstal am frühen Morgen und am Nachmittag zu allen drei Jahreszeiten. Altdorf Gross Ei im Sommer am Nachmittag wird auf 1 normiert.

Station und Distanz zur Autobahn (m)	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Altdorf Gross Ei (20)	1.0	1.5	3.1	3.5	5.4	12.3
Gartenmatt (100)	0.25	0.33	1.5	2.4	5.0	10.7
Werkh. Flüelen (110)	0.25	0.33	1.3	1.5	3.7	8.8

6.3.4. Überregionaler Vergleich

Die I/E-Werte von Altdorf Gross Ei wurden mit jenen am autobahnnahen Standort Härkingen im Schweizer Mittelland verglichen. Obwohl die Emissionen am stark frequentierten Autobahnknotenpunkt bei Härkingen etwa dreimal so gross sind wie auf der Gotthardachse, erreichen die autobahnnahen Immissionen in beiden Regionen die gleiche Grössenordnung. In Tabelle 6.5 werden die I/E-Verhältnisse an beiden Standorten auf den sommerlichen Nachmittagswert in Altdorf normiert. Es zeigt sich, dass die gleiche Emission in Altdorf zu praktisch allen Tages- und Jahreszeiten eine rund dreimal so grosse Immission bewirkt wie in Härkingen.

Tabelle 6.5: Vergleich der I/E-Verhältnisse im Tages- und Jahresgang zwischen den autobahnnahen Stationen Altdorf Gross Ei im Reusstal und Härkingen im Schweizer Mittelland. Normiert auf Altdorf, Nachmittag im Sommer.

Station	Nachmittag			Nacht		
	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Sommer	Zwischen-saison	Winter
Altdorf Gross Ei	1.0	1.5	3.1	3.5	5.4	12.3
Härkingen	0.33	0.58	1.1	2.0	2.8	3.6

Im folgenden wird der Versuch unternommen, die I/E-Verhältnisse im Inntal mit jenen im Kanton Uri zu vergleichen (Tabelle 6.6). Da die Emissionen für die Schweiz und Österreich auf unterschiedlichen Emissionsfaktoren beruhen, ist eine direkte quantitative Gegenüberstellung nicht zulässig. Ein qualitativer Vergleich lässt sich aber trotzdem anstellen. Es zeigt sich, dass beide Täler ähnliche Eigenschaften aufweisen und die Immissionen pro Emissionseinheit durchaus vergleichbar sind. Weil die Station Altdorf etwas weiter von der Autobahn weg liegt als Vomp, werden dort bei guten Austauschbedingungen wahrscheinlich be-

reits etwas geringere Immissionen gemessen als direkt an der Autobahn. Bei schwachen Austauschbedingungen scheint das Reusstal geringfügig höheren Immissionen pro Emissionseinheit ausgesetzt als das Inntal. Die Unterschiede sind jedoch deutlich kleiner als jene zwischen Mittelland und Alpen.

Tabelle 6.6: Vergleich der saisonalen und jährlichen Mittelwerte der I/E-Verhältnisse direkt an der Autobahn im Inntal und im Reusstal. Normiert auf den jeweiligen Wert in Vomp.

Station	Sommer	Zwischen-saison	Winter	Jahres-mittelwert
Vomp	1	1	1	1
Altdorf Gross Ei	0.93	1.3	1.5	1.3

6.4. Fazit zu den I/E-Verhältnissen

- Das I/E-Verhältnis ist eine neu entwickelte Methode, die sich gut eignet, um die lufthygienischen Auswirkungen eines bestimmten Verkehrsaufkommens im Tagesgang für alle Jahreszeiten darzustellen.
- Direkt neben der Autobahn ist die mittlere Belastung konstant hoch.
- Bei guten Austauschsituationen sind die Immissionen in Gebieten mit mehr als 100 m Entfernung zur Autobahn zwar noch immer vom Verkehr als Quelle dominiert, aber die Belastung nimmt mit zunehmender Entfernung zur Autobahn stark ab.
- Bei austauschschwachen Bedingungen sind die Immissionen pro Emissionseinheit auch in entfernteren Lagen der Strasse stark erhöht, also auch in den vielfach als Wohngebieten genutzten Regionen.
- Der Unterschied des I/E-Verhältnisses zwischen Tag und Nacht fällt deutlicher ins Gewicht als jener zwischen den Jahreszeiten. Deshalb hätte eine Erhöhung der Zahl der Nachtfahrten gravierende Auswirkungen auf die Luftqualität in den Alpentälern.
- Dies hätte im Winter die grössten Konsequenzen, weil die Austauschprozesse tagsüber zu schwach sind, um vermehrte nächtliche Akkumulation zu kompensieren.
- In Alpentälern sind die I/E-Verhältnisse deutlich höher als in flachen Regionen, wo sich die Schadstoffe auf ein grösseres Gebiet verteilen können.

7. Spezifische Aspekte in einzelnen Untersuchungsgebieten

In diesem Schlusskapitel werden einige interessante Einzelaspekte demonstriert. Die einzelnen Unterkapitel erläutern spezifische Untersuchungen, die für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet durchgeführt wurden.

7.1. NO_x- und NO₂-Immissions-Szenarien für das Inntal

Für die Emissions-Szenarien für die Jahre 2005 und 2010 wird eine Verkehrszunahme der einzelnen Fahrzeugkategorien als lineare Weiterführung des Trends von 1993 bis 2000 angenommen (vgl. Abbildung 4.2). Gleichzeitig werden schärfere Emissionsverminderungsvorschriften in Kraft gesetzt werden. Dadurch resultiert insgesamt eine Abnahme der Emissionen (Prognosen in Abbildung 4.9). Im Bericht "Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn" werden verschiedene Szenarien für die Verteilung der zukünftigen Emissionen bei Vomp untersucht, wobei die Gesamtemission für das Jahr 2005 respektive 2010 jeweils konstant bleibt:

- Proportionales Szenarium (prop): prozentuale Verteilung der Verkehrszunahme aller Fahrzeugkategorien auf alle Stunden des Jahres, d.h. gleiches Verkehrsverhalten wie im Jahr 2000.
- Konstantes Szenarium (konst): Der Mehrverkehr im Personenverkehr wird wie im proportionalen Szenarium prozentual auf alle Stunden des Jahres verteilt. Die Zunahme des Schwerverkehrs wird mit konstanter Anzahl zu den stündlichen Frequenzen hinzugefügt. Dieser Ansatz berücksichtigt, dass der Schwerverkehr z.T. auf verkehrsarme Zeiten ausweichen wird.
- Szenarium Tag – Nacht (12h): Das Modell vertauscht die Frequenzen für den Schwerverkehr vom Tag mit jenen der Nacht. Dies ist natürlich ein hypothetisches Szenarium, das die Immissionsänderungen bei vorwiegend nächtlicher Abwicklung des Schwerverkehrs aufzeigt. Die höhere Immissionsbelastung infolge der ungünstigeren Ausbreitungsbedingungen verdeutlicht die Bedeutung der tageszeitlichen Verteilung des Verkehrs.
- Szenarium Nachtfahrverbot (NFV): Während der Mehrverkehr im Personenverkehr wie im proportionalen Szenarium prozentual auf alle Stunden des Jahres verteilt wird, verschiebt man unter der Annahme eines Nachtfahrver-

bots einen Grossteil des Schwerverkehrs von den Nachtstunden auf die Abend- und frühen Morgenstunden.

Durch Verrechnung der prognostizierten NO_x -Emissionen aller Szenarien mit den I/E-Verhältnissen der Station Vomp für jede Stunde des Jahres 2000 erhält man eine Vorhersage für die NO_x -Immissionen der Jahre 2005 und 2010. Dabei gilt die theoretische Annahme, dass die Ausbreitungsbedingungen gleich seien wie im Jahr 2000. Abbildung 7.1 zeigt die Szenarien der NO_x -Jahresmittelwerte. Die NO_x -Konzentrationen nehmen dabei in Zukunft ab. Je mehr Verkehr allerdings auf die Nachtstunden verlagert wird, desto geringer ist diese Abnahme.

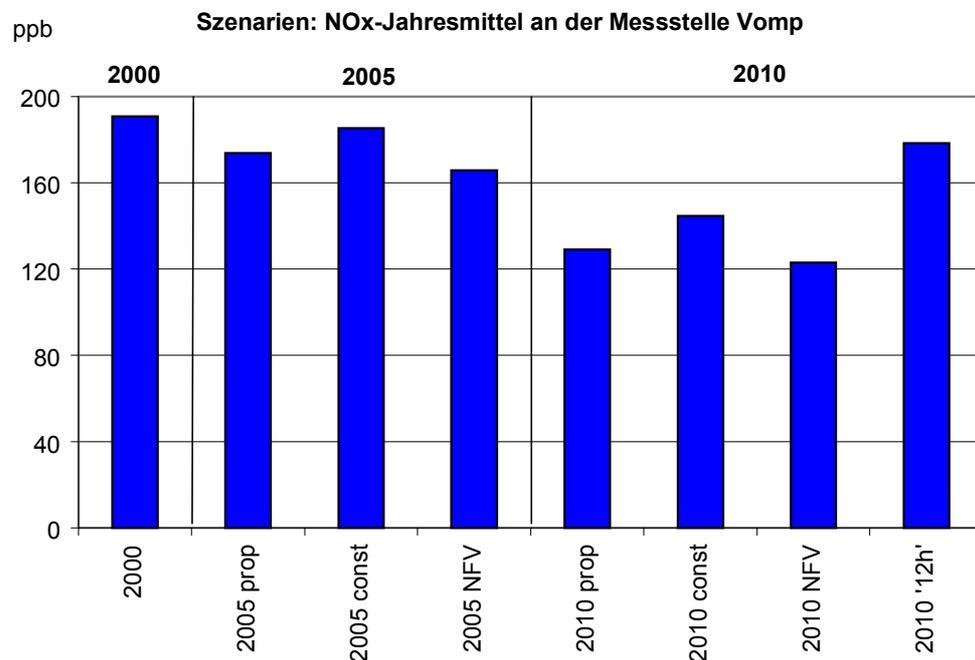


Abbildung 7.1: Modellierte NO_x -Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h). Vgl. Text zur Erklärung der einzelnen Szenarien.

Um die zukünftigen NO_x -Immissionen mit den Grenzwerten für NO_2 zu vergleichen, muss die komplexe, nicht lineare Umwandlung von NO_x zu NO_2 durch eine Näherungsfunktion abgeschätzt werden (vgl. BUWAL, 1997). Die entsprechenden Resultate zeigen näherungsweise die zukünftigen NO_2 -Konzentrationen (vgl. Abbildung 7.2). Dank den verschärften Emissionsvorschriften werden die Immissionen im Jahresmittel trotz zunehmendem Verkehr abnehmen. Allerdings können an der autobahnnahen Station Vomp bei keinem Szenarium in den Modell-

jahren 2005 und 2010 die dann gültigen NO₂-Jahresgrenzwerte der EU und des österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft (IGL) eingehalten werden. Wird der Schwerverkehr in die verkehrsarmen Zeiten, insbesondere in die Nacht, verlegt, so ist bei gleichem Verkehrsaufkommen mit einer deutlich höheren NO_x- und NO₂-Immissionsbelastung zu rechnen. Diese Szenarien sind wohlgermerkt unter sehr optimistischen Voraussetzungen gerechnet worden, sowohl bezüglich Entwicklung der mittleren Emissionsfaktoren der Fahrzeuge als auch bezüglich der Annahme, dass die Entwicklung der Fahrzeugzahlen je Kategorie linear gleich weiterwächst wie im Mittel der letzten Jahre.

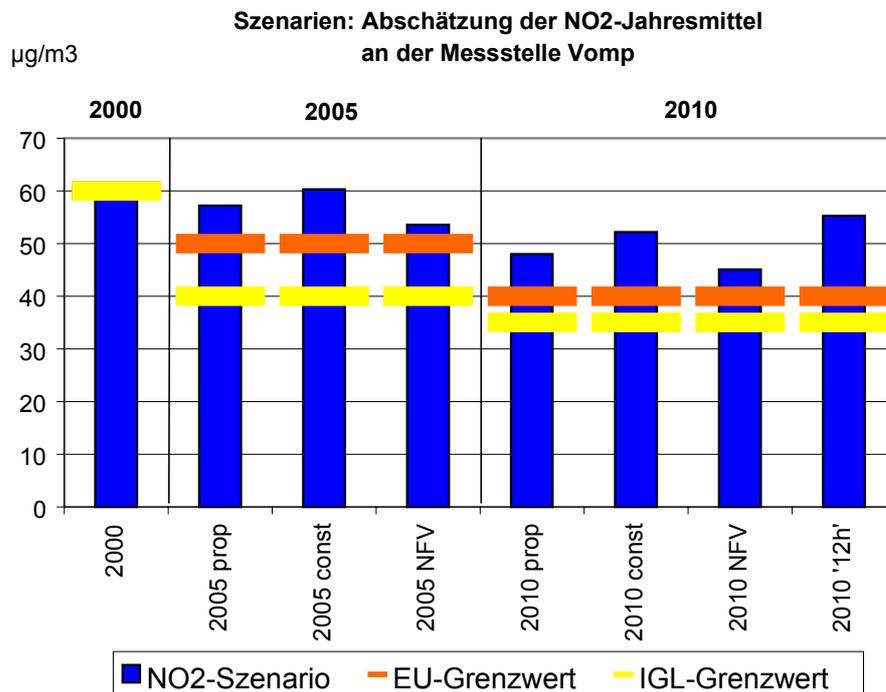


Abbildung 7.2: Berechnete NO₂-Jahresmittel an der Messstelle Vomp für das *proportionale Szenarium* (2005 prop und 2010 prop), das *konstante Szenarium* (2005 c und 2010 c), das *Nachtfahrverbots-Szenarium* (2005 NFV und 2010 NFV) und das *Szenarium Tag – Nacht* (2010 12 h) sowie die in den Jahren 2005 und 2010 gültigen Grenzwerte der EU (inklusive Toleranz in der Übergangsphase) und des österreichischen Immissionsschutzgesetzes Luft (IGL).

7.2. Räumliche Schadstoffverteilung im Urner Reusstal

Im Rahmen von einigen intensiven Messperioden im Reusstal bei winterlichen Inversionslagen (Februar und Dezember 1998) und im Hochsommer 2000 wurde die horizontale und vertikale Ausbreitung der Schadstoffe während der jeweiligen

Saison untersucht. Dazu wurden neben den kontinuierlichen Messstationen auch horizontale Messfahrten im Talquerprofil sowie vertikale Messungen an einer Seilbahn bei Amsteg (500 - 1300 m ü.M.) durchgeführt. Details zu Methoden und Resultaten finden sich in den beiden Berichten "Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Ozons im Urner Reusstal während des Hochsommers 2000" und "Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Feinstaubes im Urner Reusstal während winterlichen Inversionslagen". In diesem Kapitel wird exemplarisch die Vertikalstruktur der Schadstoffverteilung erläutert.

Abbildung 7.3 zeigt die zeitliche Entwicklung der vertikalen NO_x -Konzentrationsverteilung im Winter. In Bodennähe werden die höchsten Werte gemessen. Die Inversionsuntergrenze stellt jeweils eine deutliche Barriere dar. Die Schadstoffe verteilen sich darunter. Innerhalb der Inversionsschicht nehmen sie bereits deutlich ab. Am Mittag des 17.12. steigt die Inversionsuntergrenze markant an. Dadurch nimmt die NO_x -Konzentration in Bodennähe ab, weil sich die Schadstoffe in einem grösseren Luftvolumen verteilen können. Über der Inversion ist die Luftbelastung immer gering. Während der Nacht geht die Schadstoffbelastung infolge der verminderten Emissionen jeweils zurück.

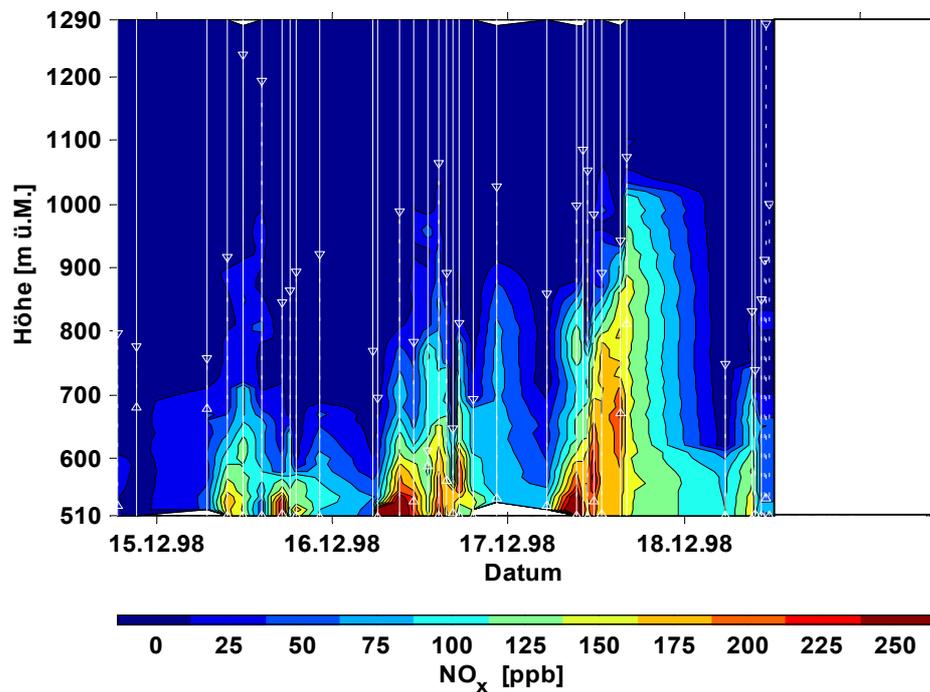


Abbildung 7.3: Verlauf der NO_x -Belastung vom 14.-18.12.98 als Isolinien - Darstellung. Die x-Achse gibt die Zeit an, die y-Achse die Höhe über Meer. Die weißen Linien markieren die Messfahrten mit der Luftseilbahn, die weißen Dreiecke die jeweiligen Unter- und Obergrenzen der Inversion. Die Farbskala zeigt die zeitlich interpolierte NO_x -Konzentration an.

Diese Studie hat generell gezeigt, dass bei bodennahen Inversionen vor allem der Talgrund belastet ist. Dort werden hohe Spitzenwerte der Schadstoffkonzentrationen erreicht, in höheren Lagen ist die Konzentration gering. Bei Hochnebel-Situationen mit einer Inversionsuntergrenze um 500 m über Grund werden die Schadstoffe in einem grösseren Volumen verteilt. Es werden weniger hohe Maximalwerte erreicht, aber dafür sind auch die höheren Regionen an den Hängen von der Luftbelastung betroffen.

7.3. **Ausbreitungsfunktion in Abhängigkeit der Distanz zur Autobahn**

Im Rahmen des Projektes "Dispersionsmodellierung für den Kanton Graubünden: Temperaturprofilauswertung und Ausbreitungsfunktion" wurde von Infrac AG eine bestehende Ausbreitungsfunktion für eine Linienquelle wie eine Autobahn weiterentwickelt, so dass sie auch auf die spezielle Situation in einem Alpental angewendet werden kann (Infrac AG, 2001). Die Resultate wurden von Oekoscience AG mit Messdaten und einer darauf beruhenden Ausbreitungsfunktion validiert. Dabei zeigte es sich, dass sich mit Hilfe des I/E-Verhältnisses eine einfache empirische Ausbreitungsfunktion bilden lässt, auch für Regionen mit nur einer einzigen langfristigen Messstation.

Als Grundlage für eine mögliche Ausbreitungsfunktion werden saisonale und Jahresmittelwerte der I/E-Verhältnisse für das Unterinntal in Abhängigkeit der Distanz zur Autobahn dargestellt (Abbildung 7.4), weil dort ein genügend dichtes und langfristiges Messnetz vorhanden ist. Die Luv- oder Leelage spielt dabei keine Rolle. Da zwei Stationen aufgrund von lokalen Gegebenheiten aussergewöhnliche Werte zeigen, werden diese für die Bestimmung der Funktion eliminiert (Schlagturn in 12 m Distanz zeigt wegen des tiefer als das Fahrbahnniveau und hinter einer Lärmschutzwand gelegenen Standorts zu tiefe Werte, Hall in 210 m Abstand wegen des Einflusses einer Regionalstrasse etwas zu hohe).

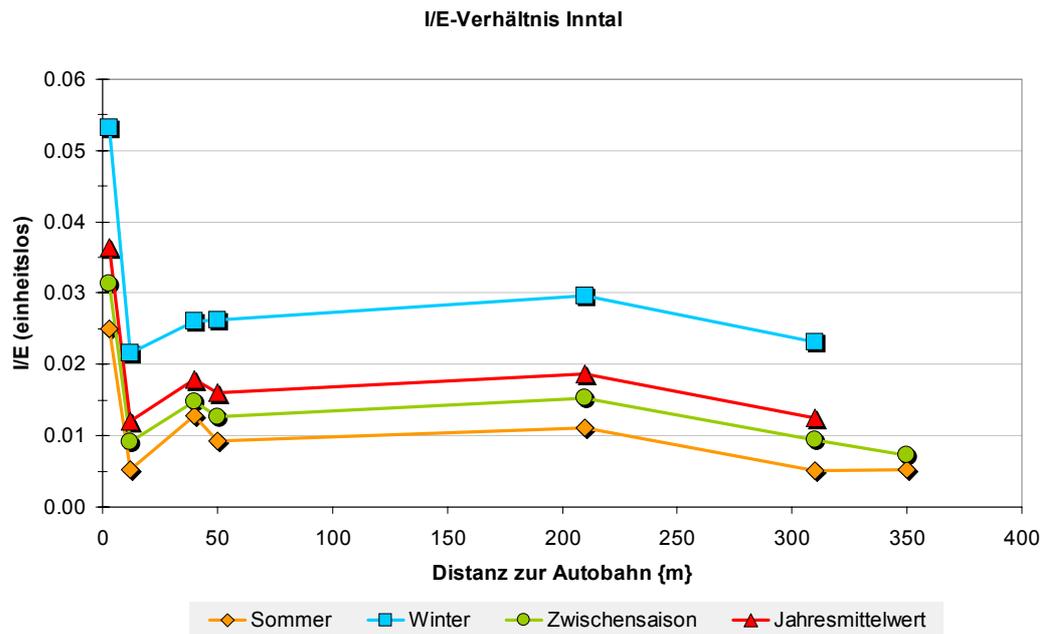


Abbildung 7.4: I/E-Verhältnisse für jede Saison und das ganze Jahr 2000 an den Immissionsstationen im Unterinntal.

Aus den verbleibenden Werten wird für jede Saison sowie für das Jahresmittel eine Ausbreitungsfunktion bestimmt (Abbildung 7.5). Es handelt sich jeweils um Potenzfunktionen. Diese bilden die gemessenen Werte sehr gut ab. Einzig im Winter, wo die meteorologischen Bedingungen oft sehr komplex sind (geschlossene Schneedecke in Teilen des Gebiets, häufige Niederschläge, Zeiten mit und solche ohne Inversionen etc.), ist sie etwas weniger genau, aber noch immer gut verwendbar.

Für das Churer Rheintal, für welches eine Ausbreitungsfunktion gesucht ist, liegen nur Daten einer einzigen ganzjährigen Messstation vor: Die Immissionsmessstation Zizers liegt in der Ebene des Rheintals etwa 600 m östlich der Autobahn. Unter der Annahme, dass die grundsätzliche Form der Ausbreitungsfunktion für alle Alpentäler ähnlich verläuft, wird das saisonal gemittelte I/E-Verhältnis von Zizers durch einen Faktor an das Funktionsergebnis der Inntalfunktion in der gleichen Distanz zur Autobahn angepasst. Mit diesem saisonalen Faktor, der die regionalen, topografischen und klimatischen Unterschiede zwischen den beiden Tälern repräsentiert, wird die ganze Inntalfunktion für jede Saison multipliziert. Die neue Funktion ist die Ausbreitungsfunktion für das Rheintal.

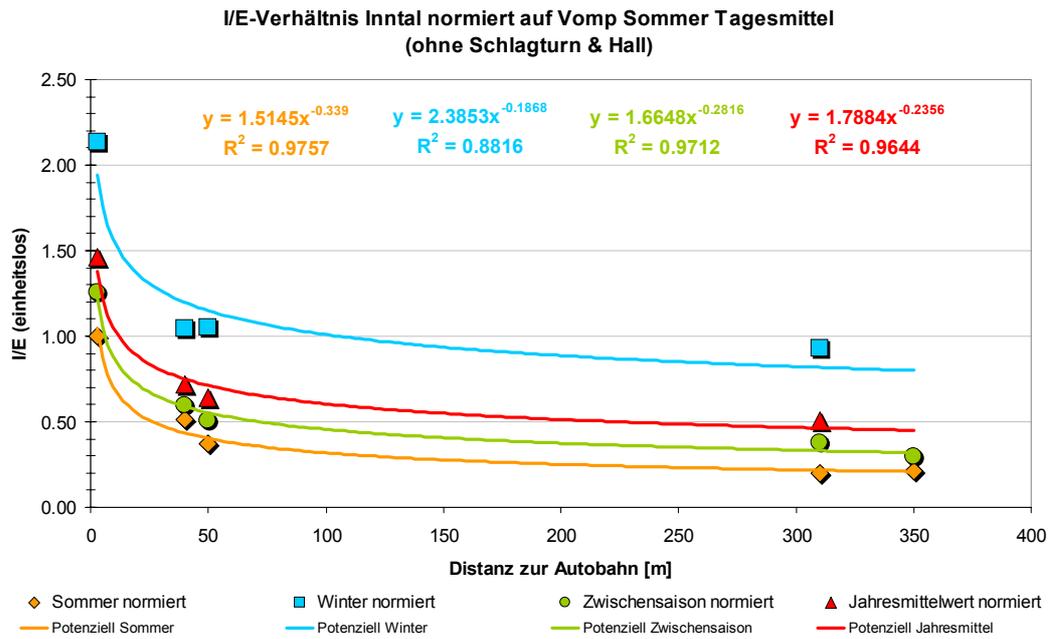


Abbildung 7.5: I/E-Verhältnisse für jede Saison und das ganze Jahr 2000 im Unterinntal und Bestimmung der entsprechenden Ausbreitungsfunktionen. Die Symbole zeigen die auf Messdaten beruhenden I/E-Verhältnisse, die Kurven und die Formeln die daraus abgeleiteten Potenzfunktionen.

Zur Überprüfung dieser empirischen Funktion wurde einerseits die gleiche Methode auch auf das Urner Reusstal angewendet, wo die Resultate mit Hilfe der zusätzlichen, unabhängigen Messstandorte überprüft werden konnten. Andererseits liegen für das Churer Rheintal Datensätze von kurzen mobilen Messkampagnen für verschiedene Jahre und Standorte vor. Diese sind in Abbildung 7.6 zusammen mit der Ausbreitungsfunktion eingezeichnet. Sie zeigen eine äusserst gute Übereinstimmung. Alle Daten wurden auf den autobahnächsten Punkt normiert, so dass dort die Kurven sicher übereinstimmen. Weiter sollten die Messungen bei Zizers (600 m Distanz) recht gut durch die Ausbreitungsfunktionen abgebildet werden, weil diese Funktionen aufgrund dieser Messstation berechnet wurden. Dabei handelt es sich allerdings um Messungen aus verschiedenen Jahren. Offenbar sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren in den saisonalen Mittelwerten gering. Die hier dargestellten Beispiele zeigen auch für den Standort "Maienfeld Dorf", der wie Zizers 600 m von der Autobahn entfernt liegt, eine gute Übereinstimmung. Auch alle Standorte zwischen Autobahn und 600 m Distanz zeigen sehr gute Resultate, liegen doch die gemessenen Konzentrationen praktisch auf der Ausbreitungskurve. Dies gilt auch für die Werte der hier nicht dargestellten Zwischensaison. Einzig der Standort "Landquart RhB" (150 m Distanz) zeigt zeitweise etwas zu hohe Messwerte. Möglicherweise spielt dort eine zusätzliche Quelle eine Rolle.

Als Schlussfolgerung lässt sich sagen, dass eine empirische Ausbreitungsfunktion, welche aus der Inntalfunktion und einer lokalen Messstation bestimmt wird, die tatsächlichen Verhältnisse zu jeder Jahreszeit sehr gut abbildet. Die Funktionen sind also für alle vergleichbaren Alpentäler ähnlich (es wurden nur Täler mit einem weiten Talboden untersucht, keine eng eingeschnittenen V-Täler). Es ist aber wichtig festzuhalten, dass die Funktionen nicht gleich sind, sondern durch den Faktor an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

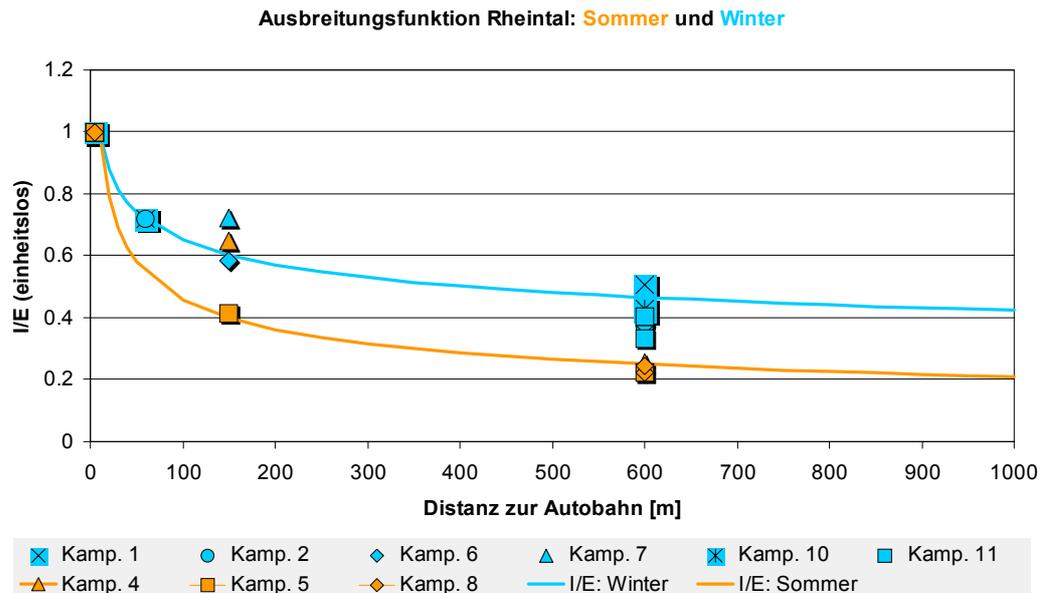


Abbildung 7.6: Ausbreitungsfunktion für das Bündner Rheintal im Sommer und im Winter (Linien) im Vergleich mit einzelnen kurzen Messkampagnen (Symbole). Sowohl die Immissionsmessungen als auch die Ausbreitungsfunktion wurden auf den autobahn nächsten Punkt normiert.

In Abbildung 7.6 ist sehr deutlich erkennbar, dass die Ausbreitungsfunktion im Winter unter den weniger guten Ausbreitungsbedingungen flacher verläuft als im Sommer. Bei gleicher Emission ist die daraus resultierende Immission im Winter in 1 km Entfernung noch so gross wie im Sommer in einer Distanz von 150 m. Diese Feststellung deckt sich mit Beobachtungen aus dem Südtirol (Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol: "Verkehr und Umweltschutz"). Dort wird dargelegt, dass die mittlere von der Autobahn verursachte NO_2 -Belastung von mehr als $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Sommer ein ca. 200-300 m breites Band entlang der Autobahn betrifft, im Winter ein 800-1000 m breites Band.

7.4. Wochentagsabhängigkeit der Ozon-Immissionen im Bündner Rheintal und im Misox

Die Abhängigkeit von Immissionsverläufen vom Wochentag stellt ein gutes Indiz für eine Quellzuordnung dar, gerade beim Ozon mit seinen komplexen Bildungs- und Abbaumechanismen. Von Oekoscience AG wurden in zwei Studien die Ozonbelastung im Misox und Tessin auf der Alpensüdseite ("Wochentagsabhängigkeit der Ozonwerte im Misox und Tessin im Vergleich zu den Emissionen auf der Autobahn A2") und im Bündner Rheintal ("Wochentagsabhängigkeit der Immissionen und Emissionen im Bündner Rheintal") untersucht.

Dabei zeigte sich in allen Regionen, dass die wöchentliche Verteilung der Ozonproduktion in erster Linie von den NO_x -Emissionen abhängig ist, Kohlenwasserstoffe spielen eine untergeordnete Rolle. Die wichtigsten Emittenten sind die schweren Güterfahrzeuge, denn trotz erhöhtem Personenverkehrsaufkommen nimmt die Ozonproduktion wegen des verminderten Güterverkehrs am Wochenende ab.

Bei der zeitlichen Zuordnung zeigen sich markante Unterschiede zwischen dem Rheintal und der Südschweiz: Während im Süden die Emissionen des Vortages am stärksten mit den aktuellen Ozonwerten korrelieren, sind es im Rheintal die Emissionen des gleichen Tages.

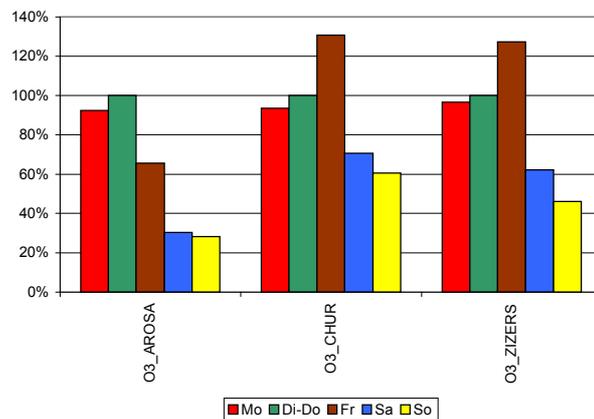


Abbildung 7.7: Wochentagsabhängigkeit der mittl. Ozon-Produktionsrate (12-16 h) an drei Bündner Stationen (Zizers und Chur im Rheintal, Arosa in erhöhter Lage in einem Seitental). Bestimmt aus dem mittleren Tagesgang Mai-August 1995-1999 für 'Sommertage'. Indexiert auf Dienstag bis Donnerstag.

Als Beispiel ist in Abbildung 7.7 die Ozonproduktion an Sommertagen (=die 25% aller Tage innerhalb des Untersuchungszeitraums mit der höchsten Globalstrahlung) im Rheintal dargestellt. Deutlich ist die hohe Produktionsrate am Freitag und die niedrige am Wochenende erkennbar.

8. Fazit und Ausblick

Aus dem Kapitel über Verkehrszahlen und Emissionen geht hervor, dass der alpenquerende Verkehr, und ganz besonders der Güterverkehr, in den letzten Jahren auf allen Achsen stark zugenommen hat. Die Tendenz für die nahe Zukunft deutet kaum auf eine Änderung hin. Trotz verschärfter Vorschriften auf politischer Ebene und technischer Verbesserungen an den Motoren ist es wahrscheinlich, dass die Emissionen weiterhin zunehmen und dass die zukünftigen Immissions-Grenzwerte für NO_2 kaum eingehalten werden können. Ein noch wenig erforschtes Problem ist der ultrafeine Staub, dessen Konzentration durch die Zunahme von Dieselfahrzeugen ansteigt.

Der Bericht macht deutlich, dass die Alpentäler aufgrund der topografischen und klimatischen Situation besonders unter der Luftbelastung durch den Verkehr leiden. In Alpentälern treten häufig Inversionen auf, welche die Ausbreitung der Schadstoffe verhindern, so dass sich diese in der Nähe des Talbodens ansammeln. Aus diesen Gründen verursacht eine bestimmte Menge emittierter Schadstoffe in den Alpentälern deutlich höhere Immissionen als in offenen Gebieten. Die bisherigen Untersuchungen deuten auf eine besonders starke Belastung der Alpensüdseite in den Wintermonaten durch langanhaltende Hochdrucklagen hin.

Das Verhältnis der Immissionen zu den Emissionen des Verkehrs (I/E-Verhältnis) zeigt, dass Standorte unmittelbar an der Autobahn immer am stärksten von den Emissionen betroffen sind. Bei guten Austauschbedingungen nimmt die Schadstoffkonzentration mit zunehmender Entfernung von der Autobahn rasch ab. Austauschschwache Lagen, wie sie besonders Nachts und im Winter auftreten, wirken sich dagegen vor allem in Gebieten in einigen hundert Metern bis wenigen Kilometern Entfernung zur Autobahn aus, welche bei solchen Lagen einer massiv höheren Schadstoffkonzentration ausgesetzt sind. Deshalb würde sich eine Erhöhung des nächtlichen Verkehrsaufkommens ganz besonders auf solche oft als Wohngebiete genutzten Regionen auswirken.

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen:

- ◆ Alpentäler sind aufgrund ihrer Lage besonders von der Luftbelastung durch den Verkehr betroffen.
- ◆ Emissionen wirken sich hier stärker auf die Immissionen aus als im Flachland.

- ◆ Deshalb sind zu ihrem Schutz besondere Massnahmen von Seiten der Politik notwendig.
- ◆ Es ist wünschenswert, dass die im Rahmen dieses Berichts begonnene Kooperation unter den betroffenen Regionen weitergeführt wird.
- ◆ Dabei ist eine Vereinheitlichung der Methoden anzustreben. Dies gilt besonders für eine einheitliche Erfassung der Verkehrszahlen und die entsprechenden Definitionen der einzelnen Verkehrskategorien. Aber auch bei den Immissionsmessungen lassen sich die Methoden noch besser koordinieren, z.B. bei der Standortwahl der Stationen.

9. Literatur

Anmerkungen: *Sämtliche für diesen Bericht verwendete Literatur ist hier in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Bei unveröffentlichten Berichten von Oekoscience AG ist für das rasche Auffinden die entsprechende Projektnummer angegeben. Bei den Südtiroler Studien handelt es sich zumeist um interne Rapporte und unveröffentlichte Arbeitsberichte mit teilweise unvollständigen bibliografischen Angaben. Wenn nichts anderes angegeben ist, können sie über das Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol bezogen werden.*

Autonome Provinz Bozen-Südtirol (1993): Belastung durch Luftschadstoffe und Lärm durch die Autobahn A22 in Brixen. Untersuchungen mit dem mobilen Messlabor.

Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Labor für Luft- und Lärmanalysen (1998): Auswirkungen des Transitverkehrs auf die Umwelt. 1. und 2. Teil.

Bishop, G., J. Morris, D. Stedman, L. Cohen, R. Countess, S. Countess, P. Maly, S. Scherer (2001): The Effects of Altitude on Heavy-Duty Diesel Truck On-Road Emissions. Environ. Sci. Technol., 35(8), 1574-1578.

Bonn, G. (1998): Auswirkungen des Transitverkehrs auf die Umwelt. Zwischenbericht. Bezugsquelle: Institut für Analytische Chemie und Radiochemie der Universität Innsbruck.

Bösmiller, T. (2000): Luftschadstoffuntersuchungen entlang von Alpen-Transitrouten. Vergleichende Auswertung. Im Auftrag der Länder Salzburg, Tirol und Vorarlberg sowie der Kantone Graubünden, St. Gallen und Tessin.

Bundesamt für Raumentwicklung (2002a): Alpinfo 2001. Alpenquerender Güterverkehr auf Strasse und Schiene. Bern.

Bundesamt für Raumentwicklung (2002b): Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2001. Verkehrsobservatorium, Bern.

BUWAL (1997): NO₂-Immissionen in der Schweiz 1990 - 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 289, Bern. 58 pp.

BUWAL / Infrac (1999): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (für Deutschland und die Schweiz). CD-ROM Version 1.2. Bern.

BUWAL, Ämter für Umweltschutz GR, UR, TI (Ed., 2002): Umleitung Gotthard 2001. Auswirkung der Verkehrsverlagerung auf die Luft- und Lärmbelastung in den Kantonen Graubünden, Tessin und Uri.

CIPRA (1998): Alpenreport 1. Daten, Fakten, Probleme, Lösungsansätze. Bern, Stuttgart, Wien. 472 S.

CIPRA (2001): Alpenreport 2. Daten, Fakten, Probleme, Lösungsansätze. Bern, Stuttgart, Wien. 434 S.

Club Alpino Italiano & Regione Valle d'Aosta (1997): Autostrade e ferrovie. Mito e realtà. Atti 15° corso-seminario regionale per operatori T.A.M, 10-11 maggio 1997, Saint Oyen (Aosta).

European Environment Agency (2001): Road freight transport and the environment in mountainous areas. Case studies in the Alpine region and the Pyrenees. Kopenhagen. Technical report, No 68.

EVED (1996): Wege durch die Alpen. Alpenquerender Güterverkehr auf Strasse und Schiene. Bezugsquelle: Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale EDMZ, Bern.

Guariento, M., N. Lantschner (2002): Stickstoffdioxidbelastung entlang der Brennerautobahn. Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Amt für Luft und Lärm.

In Campo, S.L. (2001) Determinazione dei parametri meteorologici necessari alla creazione di prognosi di inquinamento atmosferico nelle valli della provincia autonoma di Bolzano. Rapporto finale di sintesi.

Infrac AG (2001): de Haan, P., J. Heldstab: Dispersionsmodellierung für das Churer Rheintal. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Graubünden.

Künzli, N. (2001): Quantifizierung der gesundheitlichen Folgen der Luftverschmutzung im Südtirol. Landesagentur für Umwelt und Arbeitsschutz, Amt für Luft und Lärm, Bozen.

Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol: Verkehr und Umweltschutz.

Lantschner, N.: Luftbelastung durch verkehrsbedingte Emissionen im inneralpinen Raum. Landesamt für Luft und Lärm, Südtirol.

Lebel, N., Torricelli G.P. et al. (2000): Verso una mobilità sostenibile nelle Alpi. In: Atti del Forum Alpino, Bergamo. Supplemento al No 248 della "Rivista della Montagna", pp. 9-20.

Oekoscience AG (1998): Thudium, J., T. Bitter, D. Dickenmann, A. Frei, O. Kocsis, H.P. Lötscher, P. Maly, S. Scherer, R. Baumann: Luftbelastung entlang der Alpentransitachse N2 im Kanton Uri (Juli 1996 bis April 1997). Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Uri (Bezugsquelle).

Oekoscience AG (1999): Thudium, J., H.P. Lötscher, O. Kocsis, B. Kunz Göldi: Immissionsbelastung entlang der Alpentransitachsen A2 und A13 während der lawinenbedingten Sperrung der A2 vom 19.-25. Februar 1999. Proj. 105726.03, im Auftrag des BUWAL sowie der Ämter für Umweltschutz Uri, Graubünden und Tessin.

Oekoscience AG (2000): Kocsis, O., F. Akermann: Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Feinstaubes im Urner Reusstal während winterlichen Inversionslagen. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Uri (Bezugsquelle).

Oekoscience AG (2000): Kocsis, O., J. Thudium: Der Einfluss von Temperaturinversionen auf die Stickoxidbelastung im Misox und Bündner Rheintal 1999/2000. Proj. 105636.01, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Graubünden.

Oekoscience AG (2000): Kocsis, O.: Auswirkungen des Alpentransitverkehrs auf die Luftbelastung in den Alpentälern. Proj. 105700.03, im Auftrag der Alpen-Initiative, Altdorf.

Oekoscience AG (2000): Thudium, J., O. Kocsis, S. Scherer, H.P. Lötscher, B. Kunz Göldi: Immissionsklima und Ausbreitungsmodellierung im Unterinntal. Proj. 105722.00, im Auftrag der Brenner Eisenbahn-Gesellschaft BEG.

Oekoscience AG (2000): Thudium, J., O. Kocsis: Immissionsklimatisch abgestützte Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn (Vorstudie). Proj. 105719.00, im Auftrag der Tiroler Landesregierung (Abteilung Landesbaudirektion - Gesamtverkehrsplanung).

Oekoscience AG (2000): Thudium, J., P. Bucher: Wochentagsabhängigkeit der Ozonwerte im Misox und Tessin im Vergleich zu den Emissionen auf der Autobahn A2. Proj. 105640.00, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Graubünden.

Oekoscience AG (2001): Bucher, P., O. Kocsis, P. Maly, S. Scherer, F. Siegrist, J. Thudium: Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Ozons im Urner Reusstal während des Hochsommers 2000. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Uri (Bezugsquelle).

Oekoscience AG (2001): Scherer, S., J. Thudium: Analyse der Parallelmessungen: Stickoxide in Erstfeld und Altdorf Gross Ei. Proj. 5332.10, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Uri.

Oekoscience AG (2001): Siegrist, F., J. Thudium: Dispersionsmodellierung für den Kanton Graubünden: Temperaturprofil-Auswertung und Ausbreitungsfunktion. Vergleich von Messdaten mit Modellergebnissen von Infrasc AG. Proj. 5433.10, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Graubünden.

Oekoscience AG (2001): Thudium, J., F. Siegrist, P. Maly: Auswirkungen der Meteorologie und der Topografie auf die Stickoxidbelastung im Urner Reusstal entlang der Autobahn A2. Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Uri (Bezugsquelle).

Oekoscience AG (2001): Thudium, J., F. Siegrist, P. Maly: Beiträge zu einer immissionsklimatisch abgestützten Lenkung der Verkehrsströme auf der Inntalautobahn. Proj. 5201.00, im Auftrag der Tiroler Landesregierung (Abteilung Landesbaudirektion - Gesamtverkehrsplanung).

Oekoscience AG (2001): Thudium, J., P. Bucher: Wochentagsabhängigkeit der Immissionen und Emissionen im Bündner Rheintal. Proj. 5432.10, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Graubünden.

Oekoscience AG (2001): Thudium, J., P. Maly, S. Scherer, F. Siegrist: Transit Traffic in Maurienne Valley - Ambient Air Pollution. Im Auftrag von: Alp Action - international corporate fund for the environment, Genf.

Oekoscience AG (2002): Thudium, J.: Einhaltung der Grenzwerte für das NO₂-Jahresmittel an der Messstelle Vomp: Szenarien der zukünftigen Entwicklung des Schweren Güterverkehrs 2002-2012. Proj. 5211.20, im Auftrag der Tiroler Landesregierung.

Oke, T. R. (1987): Boundary layer climates. Routledge, London & New York. 435 S, 2. Aufl.

Schäfer, K., S. Emeis, H. Hoffmann, W. Junkermann, C. Prager (1999): Klima und Meteorologie in den Tälern der Provinz Bozen und die Bestimmung der Schadstoffausbreitung: Ergebnisse von Messungen im Jahre 1999. Fraunhofer Institut für atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen.

Siegrist, F., J. Thudium (2002): The ratio of ambient air pollution to traffic emissions as a means for traffic planning in alpine transit valleys. 11th International Symposium on Transport and Air Pollution, Graz 19th - 21st June 2002, Proceedings Vol. 1, 301-307.

Stone, P. (Ed., 1992): The state of the world's mountains. A global report. On behalf of Mountain Agenda. Zed Books Ltd, London & New Jersey. 391 S.

Stull, R. B. (1988): An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston & London. 666 S.

Tappeiner, G.: Wirtschaftliche Entwicklung und Güterverkehr in den Alpenregionen. Bezugsquelle: Institut für Wirtschaftstheorie, -politik und -geschichte, Universität Innsbruck.

Tirol, Verkehrsplanung (2000): Entwicklung der NO_x-Emissionen am Brennerkorridor. Kontrollrechnung 2000.

Tirol, Verkehrsplanung (2001): Verkehrsentwicklung in Tirol. Kurzbericht 2001.

Trozzi, C., R. Vaccaro, S. Crocetti (2000): Inquinamento da traffico transfrontaliero e alternative per una mobilità sostenibile.

Umweltbundesamt (1998): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs in Österreich. CD-ROM Version 1.1A. Wien.

Weischet, W. (1988): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Teubner Studienbücher, Stuttgart. 264 S, 4. Aufl.