

Joachim VOGT, Karlsruhe  
Manfred MEURER, Karlsruhe  
Hans-Niklaus MÜLLER, Luzern

## **Verkehrsbelastungen im Alpenraum: Strukturen, Probleme und Lösungsansätze**

### **Summary**

The traffic in the alpine region can be differentiated into traffic using the Alps for transit, as a destination, as a source and internal traffic. Although the inner-alpine traffic is responsible for 90% of the total traffic the protest of affected persons is mainly directed against the transit because it leads to the concentration of extreme impairments on few routes. While the residents could profit from the transitory traffic in earlier days, today they only carry the burden of it, steadily increasing with the increase in traffic volume and its acceleration. In this contribution we want to show that the traffic in the Alps leads to exceedingly high impairments and conflicts in use. This is due to the distinctive topography and the concentration of traffic, settlements and most economic activity in the valleys. The emissions of pollution and noise are increased compared to the lowland, the transmission is considerably enhanced and most difficult to control by technical measures and the immissions take place in extremely sensitive landscapes and habitats and in areas of human recreation. Thus, critical values of emission and immission as well as pollution dispersion models cannot be assumed to be the same as in the lowland. They need an individual adaptation to the conditions prevalent in the Alps. As well, alpine-specific environmental quality objectives should be developed and applied regardless of state boundaries. Measures to be taken are the internalisation of external costs which will render forms of traffic that are environmentally friendly and better adapted to the local conditions more attractive and increase their percentage in the total traffic load.

### **1 Initialproblem: Protest gegen den Transitverkehr**

„Pervers bis zum Irrsinn ist der Transit in den Alpen. Ex und Hopp: Belgien exportiert über 300.000 Schweine zur Schlachtung in die italienische Po-Ebene, ... von wo sie dann als Parmaschinken, wiederum per LKW, nach

Norden exportiert werden. 1.800 Tonnen holländischer Tomaten werden jährlich nach Italien geliefert und im Gegengeschäft 12.500 Tonnen italienischer Tomaten nach Deutschland. 255.000 Tonnen Kartoffeln kommen aus den Beneluxländern und Deutschland nach Italien, über 235.000 Tonnen Kartoffeln rollen aus dem Land, wo die Zitronen blühen, nach Norden. Und das in erster Linie zum sogenannten Veredeln: Waschen, Schneiden, verpacken. Dass die Alpenländer diesen kriminellen Unsinn nicht schon längst abgeschafft haben, hängt mit der zunehmenden Verrohung und Abstumpfung des politischen Gewissens gegenüber der Natur weltweit zusammen. Wie Parasiten können wir den Wirt, auf dem wir leben, die Erde, zerstören. Aber im Gegensatz zu anderen Parasiten können wir unsere Kinder nicht zu einem anderen Wirt schicken, wenn der jetzt stirbt.“

Mit diesen Worten hat der für die Probleme der Alpen streitende Politiker Heiner Geisler in der Zeitschrift *BERGE* zum Jahr der Berge 2002 den Transitverkehr über die Alpen bewertet. Es ist nicht die erste und nicht die letzte engagierte Äußerung zu einem Thema, das seit Jahren Bevölkerung, Politiker, Raumplaner und Wissenschaftler bewegt. In Aufsehen erregenden Protestaktionen haben Bürgerinitiativen gegen bestehende und geplante Verkehrsstrassen Stellung bezogen, beispielsweise in einer Bürgerversammlung auf der Inntalautobahn am 25.10.2002, die damit beidseitig über 12 Stunden gesperrt war. Nationale und transnationale NGOs werden nicht müde, gegen die Belastungen von Alpentälern durch den Transitverkehr Sturm zu laufen. Sie bringen die Luft- und Lärmbelastung, die Beeinträchtigung von Menschen, Flora und Fauna durch Zerschneidungseffekte, die Schädigung der Siedlungsstruktur und Landwirtschaft durch den Flächenbedarf der Verkehrsinfrastruktur sowie viele weitere Argumente vor und untermauern ihre Kritik teilweise durch mehr oder weniger radikale Alternativkonzepte<sup>1</sup>. Dabei hat die Bevölkerung der Alpen seit vielen Jahrhunderten vom Verkehr und mit dem Verkehr gelebt, der Wohlstand einiger Alpentäler gründete auf den Dienstleistungen der Bevölkerung im Verkehr, vor allem für Säumerdienste. Schließlich scheint, auf den ersten Blick und im gesamtmitteleuropäischen Vergleich betrachtet, der Alpenraum nicht Raum besonders hoher Verkehrsdichte, etwa verglichen mit dem Oberrheingraben, zu sein.

In diesem Beitrag sollen die Fragen beantwortet werden, welches die Gründe für diesen Protest sind, welches Ausmaß das Verkehrsaufkommen und die tatsächliche Verkehrsbelastung – etwa im Vergleich zum Flachland – haben, welcher Verkehr für diese Belastungen verantwortlich ist, worin sie konkret bestehen und worauf die häufig vorgetragene besondere Situation

<sup>1</sup> Vgl. exemplarisch dazu die Initiative Alpentransit Außerfern in: <http://www.mynet.at/ata/dokumente/>

der Alpen zurückzuführen ist. Zum Abschluss sollen einige Ausblicke auf gegenwärtig geplante oder diskutierte Maßnahmen erfolgen und ein Plädoyer zur umweltgerechteren und damit nachhaltigeren Entwicklung des alpinen Verkehrs gegeben werden.

## **2 Strukturen des Alpenverkehrs**

Die Funktion von Alpentälern als Achsen des Transits ist – wie in anderen Hochgebirgen der Erde auch – sehr alt. Die alten Saumpfade markieren die Linien, über welche die Verbindung mit der Außenwelt verlief, Innovationen und Güter flossen und auf denen die Menschen einen Teil ihres Lebensunterhaltes oder ihres Wohlstandes erwirtschafteten. Der Verkehr war in die agrare Struktur der Gesellschaft eingepasst, indem er vor allem in Zeiten stattfand, in denen die Landwirtschaft ruhte. Der Streit um Saumrechte über Jahrhunderte hinweg dokumentiert auf allen Passrouten, welchen Wert diese Leistungen hatten und welche positive Einstellung zum Verkehr bestand. Sie beruhte darauf, dass die Störungen des Haupterwerbs, der Landwirtschaft, gering waren, dass durch Einheimische transportiert oder geführt wurde, Waren umgeladen und gehandelt wurden, Quartiere bereitgestellt wurden und damit die ortsansässige Bevölkerung auf verschiedene Weise Nutzen aus dem Verkehr zog. Erst die Beschleunigung des Verkehrs mit dem Bau der schnellen Straßenverbindungen – beginnend mit dem Brenner 1772, Tenda 1788 und Simplon 1805 – hat diesem System schrittweise ein Ende bereitet. Sie machte den Verkehr vor allem unabhängig von der örtlichen Bevölkerung. Nach der Phase der Straßenerschließung führte die Eisenbahn ab dem Bau der ersten Passstrecken über Semmering (1854) und Brenner (1882) zu einer weiteren Beschleunigung und quantitativen Zunahme des Transports, die mit dem Aufschwung des Individualverkehrs eine weitere Steigerung erfuhr. Ihr bisheriger Endpunkt sind alpenquerende Autobahnen (zuerst der Brenner 1967), sie soll aber – so aktuelle Planungen – auf Straße und Schiene in weiteren verkehrstechnischen Schritten fortgesetzt werden. Dabei verringerte sich der wirtschaftliche Anteil der örtlichen Bevölkerung am Transportvorgang stetig, die alten Saumpfade wurden durch Straßen, Schienen, Autobahnen oder lange Tunnel ersetzt, die Hospize und Lagerplätze verfielen. Nur die Störungen, die vom immer schneller und umfänglicher vorbeirauschenden Verkehr ausgingen, nahmen zu. Der Verkehr verlagerte sich von alpinen und damit angepassten Formen auf ubiquitäre Charakteristika eines alle landschaftsspezifischen Ausprägungen nivellierenden Einheitsverkehrs, gleichsam ein regionaler Vorläufer der aktuellen Globalisierung. Parallel dazu und dadurch bedingt entwickelten sich auch andere alpentypische Elemente nach den Vorgaben des außer-alpinen Raumes. Es erfolgte die allmähliche „Entwertung der alpinen

Lebens- und Wirtschaftsformen“ (MESSERLI 1992). Die neuen Systeme, die in keiner Weise auf alte – je nach Talschaft sehr unterschiedliche – Strukturen Rücksicht nahmen, führten zu einer Umkehr früherer Bewertungsgrundlagen: Ehemals bevorzugte Räume wurden jetzt durch den zunehmenden Verkehr und die von ihm ausgehenden Belastungen zu Problemgebieten.

Mit den verbesserten verkehrstechnischen Erschließungen kamen erst der Tourismus und dann der Massentourismus, die in zunehmendem Maße außerlandwirtschaftliche Erwerbsmöglichkeiten brachten, und es erfolgte die Massenmotorisierung der Alpenbewohner selbst in einer nach wie vor ungebremsten Dynamik. Parallel zum Transitverkehr wuchsen daher der Ziel- und Quellverkehr, durch den die Alpen mit den umliegenden Gebieten wirtschaftlich verbunden wurden, und es nahm der Binnenverkehr innerhalb der Alpen zu. Dabei verschoben sich die Anteile der Verkehrsträger. Während sich das Schienenverkehrsnetz in der Nachkriegszeit nur noch marginal veränderte, ist das Straßen- und insbesondere das Fernstraßennetz in einer atemberaubenden Geschwindigkeit ausgebaut worden, um den mit ihm wachsenden Bedarf zu befriedigen oder – wie ähnlich der Diskussion um Henne und Ei formuliert werden kann – zu erzeugen und von der Schiene auf die Straße zu verlagern.

Der Umfang der Straßen-Infrastruktur hat mittlerweile enorme Ausmaße erreicht (GRUBER 1994, GUGGENBÜHL 1998):

<b>Straßenverkehrs-Infrastrukturen der Alpen</b>	<b>Kilometer</b>
Autobahnen und Autostraßen	4.000
Internationale Fernstraßen	6.000
Regionale Fernstraßen und Hauptverbindungsstraßen	16.000
Nebenstraßen	80.000
Wirtschaftswege und Erschließungsstraßen	ca. 300.000

Der inneralpine Verkehr dominiert dabei in den Verkehrsleistungen ganz eindeutig, 90% der Gesamtfahrleistungen der Güter und 95% der Personen rühren vom inneralpinen Verkehr oder vom touristischen Ziel- und Quellverkehr her (CIPRA 1999). Doch dieser von den rund 12 Millionen Bewohnern und den Arbeit und Wohlstand bringenden jährlich über 120 Millionen Touristen verursachte Verkehr (rund 100 Mio. km pro Jahr durch PKW und rund 6 Mio. km pro Jahr durch LKW) verteilt sich über eine große Zahl von Tälern, während der Transitverkehr mit in der Summe geringeren Jahresfahrleistungen auf wenige Achsen konzentriert ist und – abgesehen von der kurzen Zeit des Baues der Trassen (WEISSEN 1994) – kaum einen positiven Ertrag für die von den Belastungen betroffenen Anrainer abwirft. Immerhin spielt sich ein Viertel des Welttourismus in den Alpen ab und bringt dort einen Umsatz von ca. 52 Milliarden US\$ (KELLER

1998), so dass vielerorts eine Abhängigkeit von der touristischen Monostruktur entstanden ist und damit der Ziel- und Quellverkehr sowie Binnenverkehr durch Touristen als ein notwendiges Übel gesehen wird. Dieser wird eher in Kauf genommen als der Transitverkehr.

Für den Anstieg des Individualverkehrs ist – wie im außeralpinen Raum – der zunehmende Anteil des Freizeitverkehrs verantwortlich. Die Schweizer Bevölkerung legt, wie der Mikrozensus 2000 ergibt, allein für Fahrten im Zusammenhang mit der Freizeit jährlich 63 Milliarden Personenkilometer zurück, das sind 60% der gesamten nationalen Verkehrsleistung. Dazu kommen 40 Milliarden Personenkilometer, die Schweizerinnen und Schweizer im Ausland zurücklegen. Freizeit und Tourismus sind also mit Abstand die wichtigsten Verkehrszwecke geworden. Die Fahrstrecken sind mit einer mittleren Länge von 17 km mehr als doppelt so lang wie Berufspendelfahrten mit 8 km (MEIER 2002).

Es gab in der Vergangenheit nur wenige Beispiele gezielter verkehrsreduzierender Maßnahmen, und das Verkehrsaufkommen entwickelte sich rasant. In Österreich wurden im Jahr 2000 über 100 Milliarden Personenkilometer zurückgelegt, davon zwei Drittel im motorisierten Individualverkehr. 1970 waren es noch 53,5 Mrd. Pkm. Die Fahrleistungen des öffentlichen Verkehrs sind in diesem Zeitraum nur geringfügig gestiegen. Der Straßengüterverkehr wuchs von 1990 bis 2000 auf über 37 Mrd. Tonnenkilometer an und hat sich damit in 10 Jahren mehr als verdreifacht (GANGL et al. 2002). Angestiegen sind damit vor allem diejenigen Verkehrsarten, welche die geringste Energieeffizienz aufweisen und die negativsten Umweltauswirkungen verursachen.

Doch auch diese Verhältnisse von Binnen-, Ziel-, Quell- und Transitverkehr unterscheiden sich quantitativ nicht wesentlich von anderen Räumen mit Transitverkehr, etwa dem Oberrheingraben, so dass die Frage gestellt werden muss, welches die Ursachen der als höher empfundenen oder tatsächlich wesentlich höheren Belastung sind und worin sich der alpine Verkehr vom Verkehr im Flachland unterscheidet.

Hier ist zunächst die Dominanz des Fremdenverkehrs zu nennen, der eine veränderte zeitliche Struktur bewirkt. Während Güter-, Geschäfts- und Pendelverkehr sich recht gleichmäßig über das Jahr verteilen, hat der Urlaubsverkehr eine ausgeprägte Saisonalität und dann seine Spitzen, wenn der Erholungssuchende den heimatlichen Belastungen (oft genug auch den verkehrsbedingten) zu entfliehen versucht. Gerade in Zentren des Fremdenverkehrs sind die Jahresamplituden des Verkehrs extrem ausgeprägt und mit ihnen die saisonalen Belastungen durch Lärm und Schadstoffe. Dass auch die Spitzen des Transitverkehrs in diese Zeit fallen, wird am Brenner deutlich, wo trotz seiner hohen Bedeutung für den Gütertransit 50% der gesamten Jahresfahrleistungen in der Sommersaison von Juni bis September

registriert werden (GRUBER 1994). In der Schweiz dokumentieren die automatischen Straßenverkehrszählungen diese unterschiedlich hohe Saisonalität als Maß des Einflusses des Urlaubsverkehrs mit teilweise über 100% höheren Belastungen im Juli gegenüber dem November (BUNDESAMT FÜR STRASSENWESEN 2001).

Der Tourismus, der seine Ressource zu verschlingen droht, und in immer weitere Täler vorstoßen muss, ist teilweise traurige Realität, die zum weiteren Ausbau des Erschließungsnetzes beiträgt und somit den Prozess verstärkt.

Bei den Verkehrsträgern hat sich mit dem allgemeinen Anstieg des Verkehrs und seiner Geschwindigkeit sowie der Verlagerung der Lagerhaltung auf die Straßen eine Verschiebung vom Schienen- zum Straßenverkehr ergeben. Der Schwerverkehrsanstieg ist wesentlich stärker als das Wirtschaftswachstum. So ist der Brennertransit mit Schwerlastwagen zwischen 1965 und 1990 12 mal stärker gestiegen als das Bruttoinlandsprodukt der OECD-Länder und 10 mal stärker als dasjenige Österreichs. Straßenbaumaßnahmen haben die Verlagerung auf die Straße beschleunigt. Nach der Eröffnung des Straßentunnels am Gotthard hat sich der Schwerverkehr dieser Transitroute bis 1993 mehr als verdreifacht (WEISSEN 1994). In Südtirol werden täglich 1,2 Millionen Wegstrecken von Personen mit Kraftfahrzeugen zurückgelegt. Davon entfallen 86% auf das Privatauto, 11% auf öffentliche Verkehrsmittel und nur 3% auf die Eisenbahn (VITTADINI 1994).

Prognosen zufolge wird der Verkehr weiter zunehmen, in der Schweiz wird bis 2020 mit einer Zunahme von 18% bis 48% kalkuliert, die Frage ist nur, mit welchen Verkehrsträgern. So schwanken die Prognosen für den motorisierten Individualverkehr zwischen 16 und 31% und für den Öffentlichen Verkehr zwischen 30 und 132%, je nach politischen Vorgaben und Wirksamkeit von Maßnahmen zur Umverlagerung (ARENDE, INFANGER 2002). Zwischen Ventimiglia und Brenner wird der Personenverkehr bis zum Jahr 2010 um 36% und der Güterverkehr um 75% im Vergleich zum Jahr 1992 zunehmen, wenn keine signifikanten Änderungen im Modal-Split eintreten (UMWELTBUNDESAMT 2000).

### **3 Topographische Voraussetzungen der Belastungen durch den Verkehr in den Alpen**

Die grundlegende Voraussetzung zum Verständnis der alpinen Verkehrsproblematik ist, dass sich die Verkehrsleistung hier nicht etwa gleichmäßig auf die Fläche verteilt, sondern sich in den meist engen Tälern konzentriert und in der Folge zu einer deutlichen Verschärfung der Nutzungskonflikte führt. In den Tälern liegen die Siedlungsschwerpunkte mit einer vielfach dichten Bebauung, Siedlung reiht sich an Siedlung, hier liegen zahlreiche

touristische Infrastrukturen, und der Talboden gehört zu den wenigen landwirtschaftlich intensiv nutzbaren Flächen, so dass an sich für flächenintensive Verkehrsinfrastrukturen kein Platz wäre. Dennoch orientieren sich diese aus technischen und ökonomischen Gründen an den Tälern. Erst in jüngerer Zeit werden Umgehungsstraßen mit aufwändigen Tunnelbauwerken gebaut, um extrem belastete Orte zu entlasten. Dass die häufig damit verbundene Beschleunigung zu einer Zeitersparnis für die Nutzer wird, hat jedoch die unerwünschte Folge, dass Verkehrsverlagerungen stattfinden und der Anstieg der Verkehrsleistung den erhofften positiven Effekt schnell kompensiert. Bislang hat jede Beschleunigung des Verkehrs das Verkehrsaufkommen erhöht.

Doch bedingen die topographischen Gegebenheiten des Hochgebirges noch weitere Folgen für den Raum. Der Verkehr wird zunächst durch seine Emissionen charakterisiert, diese sind Lärm und Abgase. Beim Verhältnis zwischen Emission und Transportleistung schneidet die Bahn im Vergleich am günstigsten ab, obwohl auch sie aufgrund der Steigungen einen größeren Energiebedarf als außerhalb des Hochgebirges hat. Im Mittel ist der relative Energieverbrauch der Straßenfahrzeuge etwa dreimal so hoch wie derjenige der Schienenfahrzeuge, die Schadstoffemissionen sind um den Faktor 3 bis 10 und die Unfallrate um den Faktor 40 höher (BERMOND 1994).

Besonderheiten des alpinen Straßennetzes sind die Streckenführung und die Steigungen, die insbesondere beim Straßenverkehr häufige Geschwindigkeitswechsel mit Brems- und Beschleunigungsvorgängen sowie Schaltvorgänge zur Konsequenz haben. Als Folge erhöht sich einerseits die Schallmission, andererseits der Kraftstoffverbrauch, damit die Emissionsmenge, und aufgrund der ungünstigen Drehzahlen mit unvollständigen Verbrennungsprozessen das Emissionsspektrum. Daher ist auf Passstraßen die CO-Emission pro Streckeneinheit dreimal so hoch wie im Stadtverkehr (GRUBER 1994).

Die emittierten Schadstoffe der Verbrennungsmotoren breiten sich im Raum aus. Diese Transmissionsprozesse unterscheiden sich in den Alpentälern wiederum wesentlich von denjenigen des Flachlandes aufgrund ihrer Klimatologie. Inneralpine Täler sind durch häufige Schwachwindlagen und bodennahe Inversionen gekennzeichnet. Damit ist sowohl der horizontale wie der vertikale Austausch eingeschränkt. Der Transport von Luftbeimengungen erfolgt, vor allem in den Nacht- und Vormittagsstunden, durch abfließende Kaltluft. Die Strömungsbedingungen in dieser stabil geschichteten Luft weisen nur eine geringe turbulente Durchmischung auf, häufig sind sie nahezu laminar, so dass Luftbeimengungen über weite Strecken fast unverdünnt transportiert werden können. Auch in einigen hundert Metern Entfernung von einer Autobahn sind daher die gleichen Immissionen wie in unmittelbarer Nähe möglich. Der fehlende vertikale Austausch durch In-

versionen führt zu einer Anreicherung innerhalb der Täler, zuweilen einer Akkumulation unterhalb der Sperrschichten, so dass dort erhöhte Immissionen auftreten. Dieser Zusammenhang gilt auch für Mittelgebirge, doch im Alpenraum sind es häufig die Standorte von Siedlungen oder auch die sehr empfindlichen Bergwälder, welche durch Immissionen belastet oder geschädigt werden. Zudem sind stabile Schichtungen und fehlender Austausch in den Alpen häufiger als im Mittelgebirge. Besonders im Winter sind sie ganztägig, weil die Einstrahlung nicht ausreicht, um Inversionen konvektiv aufzulösen. Dazu trägt auch die hohe Abschattung durch talbegrenzende Kämme bei, die eine konvektive Durchmischung verhindert.

Die räumliche Lage und die zeitliche Dynamik von stabilen Schichtungen und ihrer Labilisierung durch Luftadvektion spielen in der alpinen Immissionsklimatologie eine zentrale Rolle, denn sie bestimmen die Luftvolumina, in denen eine Durchmischung von Emissionen stattfindet, und damit die lokalen Immissionskonzentrationen, z.B. im Hangbereich auf der Höhe bodennaher Sperrschichten (BAUMBACH, MINNER, KONRAD 1986, GRAUER 1991). Den Zusammenhang zwischen der inversiven Schichtung im Tal und der Luftbelastung am Beispiel der Stickoxide zeigen Vertikalprofile, welche mit der Luftseilbahn Arnisee (Kanton Uri) im Reusstal an der Gotthardachse aufgenommen wurden (Abb. 1). Unter der Inversionsschicht kommt es zur Akkumulation mit den höchsten Konzentrationen (ÖKOSCIENCE 2000). Die Häufigkeit von Inversionen in den Nachtstunden erhöht deren besondere Relevanz für die Lufthygiene, womit sich ein Nachtfahrverbot rechtfertigen ließe. Die häufig über mehrere Tage hinweg stabilen Schichtungen im Win-

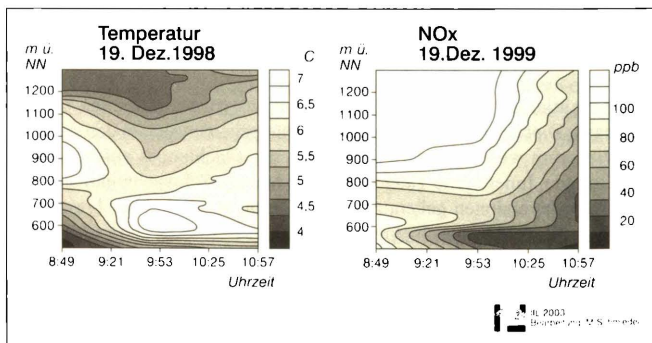


Abb. 1: Thermische Schichtung (links) und Konzentration der Stickoxide (rechts) bei Vertikalmessungen am Arnisee, Kanton Uri, Schweiz (umgezeichnet nach Ökoscience 2000)



terhalbjahr bewirken sogar eine über Tage, im Extremfall über Wochen andauernde Akkumulation, bevor eine ausreichend starke, großwetterlagenbedingte Advektion eine turbulente Durchmischung und einen Abtransport der belasteten Luft herbeiführen kann. Da im Winter der Hausbrand als Quelle hinzutritt, ist die winterliche Immissionsbelastung höher als die sommerliche, wobei die Jahresamplitude wesentlich höher ist als im Flachland (ZUDK 2002).

Die lokalen Windsysteme bedingen darüber hinaus, dass vor allem oberflächenparallele Transporte stattfinden. So wird in den Vormittagsstunden die Abluft der Verkehrsstrassen des Tales durch Hangaufwinde in die bevorzugten Siedlungslagen der Terrassen und alten Talböden transportiert (FREYTAG 1985). Mesoskalig wirkt der Talwind, der durch die relativ schnelle Erwärmung der Talatmosphäre am Tage dazu führt, dass Luft durch die radialen Täler aus dem Vorland in das Zentrum des Gebirges strömt (FREYTAG 1988). Problematisch ist, dass gerade in den Tälern dieses Windregimes die Hauptverkehrsachsen liegen.

Der Niederschlag ist der Hauptreinigungsmechanismus der durch Emissionen belasteten Atmosphäre. Daraus folgt, dass die Alpen aufgrund ihrer hohen Niederschläge eine wirksame Senke für Ferntransporte von Luftschadstoffen sind, was zusätzliche Depositionen bewirkt. Insbesondere in den Südalpen werden bei Südtau regelmäßig extrem hohe Niederschlagsbelastungen ermittelt. Sie überlagern sich mit lokalen und regionalen Immissionsfeldern. SEIDL (2000) hat dies anhand der Belastung mit schwer abbaubaren organischen Verbindungen in den Alpen nachgewiesen. Besonders in den Hochlagen addieren sich Fern- und Nahtransporte unterschiedlichster Quellen zu einem erschreckenden „Schadstoffmix“.

Doch auch künstliche Windsysteme schaffen Spitzenbelastungen in relativ verkehrsfernen Räumen, wie anhand einer Messung von Nitrophenolen gezeigt werden kann. Sie entstehen im Rahmen von luftchemischen Bildungsmechanismen aus Vorläufersubstanzen, vor allem durch Kfz-Verkehr. Ein Immissionspunkt, der völlig entlegen auf einer Alm in 1.900 m Seehöhe, jedoch nahe dem Entlüftungsschacht des Tauernautobahntunnels liegt, weist ähnlich hohe Nitrophenolgehalte auf wie die Standorte nahe der verkehrsreichen Südosttangente in Wien (UMWELTBUNDESAMT 2001).

Bei sekundären Luftschadstoffen, wie beispielsweise beim Ozon, sind aufgrund des komplexen Zusammenwirkens mit lokalen Entstehungs- und Ausbreitungsbedingungen Belastungsspitzen außerhalb der Emittentenbereiche vorhanden, die sich nur aufgrund lokaler Transmissionen durch lokale, thermisch induzierte Windsysteme erklären lassen. Die oberflächennahen Hangaufwinde, welche primäre Schadstoffe hangaufwärts verfrachten (BREHM 1986), bringen die Emissionen in Bereiche erhöhter Sonneneinstrahlung und verstärken die Bildung von Photooxidantien. Dies trifft häufig

besonders sensible Ökosysteme im Bereich der Bergwälder. Gemessene und simulierte Immissionsverteilungen und Schadenskartierungen belegen diese ausgeprägte vertikale Verteilung von Photooxidantien.<sup>2</sup> In Österreich wird der „critical level“ zum Schutz der Waldbäume (10.000 ppb\*h accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) der UN/ECE und der EU-Schwellenwert zum Schutz der Vegetation von 65 µg/m<sup>3</sup> großflächig überschritten, insbesondere in den Hochlagen wurde das dreifache des Grenzwertes registriert (UMWELTBUNDESAMT 2001). Flechtenkartierungen auf Transekten des Inn-, Wipp- und Zillertales in Tirol haben 1991 Belastungen ermittelt, die denen der Kerngebiete industrialisierter Großstädte entsprechen (TÜRK, HOFFMANN 1991, zit. in UMWELTBUNDESAMT 2000). Doch hohe Emissionsraten in großer Entfernung von den Emittenten belasten nicht nur Flora und Fauna. Eine medizinische Studie aus Tirol belegt, dass Kinder, die weit über dem Talraum leben, eine signifikant verminderte Lungenfunktion gegenüber Kindern haben, die in unmittelbarer Nähe der Emittenten von Primärschadstoffen leben (LERCHER et al. 1992 zit. in GRUBER 1994).

Das schweizerische BUWAL schätzte 1994, dass von 1000 Personen, welche 70 Jahre lang in der Nähe einer Straße mit starkem Lastwagenverkehr wohnen, eine bis zwei deswegen an Krebs erkranken (BRODMANN/SPILLMANN 2000). Zum Jahreswechsel 2002/03 hat der Präsident der Österreichischen Ärztekammer auf „alarmierende Berichte seitens der ortsansässigen Ärzte“ hingewiesen, „wonach die chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen etwa im Unterinntal als auch die psychischen Beeinträchtigungen durch Lärm zunehmen“ ([http://www.aek.or.at/text.html?aktuelles/apm2003\\_0001.htm](http://www.aek.or.at/text.html?aktuelles/apm2003_0001.htm)).

Die gesundheitlichen Konsequenzen der Belastungen sind in einer breit angelegten Untersuchung der Weltgesundheitsorganisation bestimmt worden (WHO 1999). Die entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten haben WANNER et al. (1997) für die Schweiz abgeschätzt. Sie errechnen jährliche Gesundheitskosten in Höhe von 1,6 Milliarden Franken, bezogen auf 1993, und machen damit deutlich, welche Kosten des Straßenverkehrs allein auf diesem Sektor externalisiert werden. Ihre Internalisierung würde die ökonomische Bewertung von Verkehrsleistungen grundlegend ändern und nach Ansicht von KNOFLACHER (1994) die einzig adäquate Lösung des Verkehrsproblems im Alpenraum bewirken.

Beim Straßenverkehr ist die Emissionsrate, die Emission je Streckeneinheit, gegenüber dem Flachland erhöht, die Ausbreitungsbedingungen sind zumeist sehr ungünstig, und die Empfindlichkeit der Akzeptoren weist im Bereich der naturnahen Ökotope ebenfalls eine erhöhte Sensitivität auf,

<sup>2</sup> Dies zeigt anschaulich die Verteilung der Ozon-Dosiswerte im Oberwallis im Jahr 2000: [http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg\\_luft/luftbelastung/karten/](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_luft/luftbelastung/karten/)

so dass es nicht zulässig ist, lufthygienische Grenzwerte und einfache Ausbreitungsberechnungen vom Flachland ins Hochgebirge zu übertragen (TÜRK 1996).

Dies gilt in ähnlicher Weise für die schon erwähnte Lärmbelastung, der im subjektiven Empfinden der Betroffenen die größte Störwirkung zukommt und die ebenfalls eine erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigung der Anwohner bewirkt. Dabei ist wiederum zwischen der Emission, der Transmission und der Empfindlichkeit der Akzeptoren, also der Menschen, zu differenzieren. Die Emission ist beim Straßenverkehr aufgrund der im Gebirge veränderten Fahrweise vielfach erhöht. Die Berechnungsverfahren für den Lärm berücksichtigen dies meist durch Zuschläge in Abhängigkeit vom Straßengefälle, indem bei einem Gefälle über 3% 0,5% dB(A) pro Steigungsprozent addiert werden (in Deutschland die 16. BImSchV). Eine neunprozentige Gefällestrecke hat danach eine um 3 dB(A) erhöhte Emission, dies entspricht einer Verdoppelung des Verkehrs. Hinzu treten all jene lärm erhöhenden Effekte, die bei nicht fließendem Verkehr auftreten, der in der Hochsaison auf Passstrecken und in Ortsdurchfahrten häufig vorkommt.

Beim Schienenverkehr sind bei der Streckenführung die engen Kurven charakteristisch. Dadurch kommt es zur Reibung der Radkränze an den Schienen, die hochfrequente und sehr störende Geräuschemissionen zur Folge hat. Zudem wird ein nicht zu vernachlässigender Teil der Strecken über Brücken geführt, wobei es sich mehrheitlich um Stahlskelettbrücken handelt. Diese kommen beim Überfahren in Schwingungen und verstärken die Emission verglichen mit dem Schottergleisbett um ein Mehrfaches.

Die Transmission wird im Flachland wesentlich durch die Absorption des Bodens vermindert, die auch als Bodendämpfung bezeichnet wird. Sie wirkt nicht, wenn der Immissionspunkt deutlich über dem Emissionspunkt liegt. Daher ist die Schallpegelreduktion mit der Distanz geringer als im Flachland oder – anders formuliert – in der gleichen Distanz vom Emittenten sind höhere Schallimmissionen zu erwarten. Das ist in Alpentälern die Regel, weil die Verkehrsachsen im Tal und die Siedlungen topographisch höher liegen. Insbesondere an der gegenüberliegenden Talflanke wird der Schall durch die Reflektionen an den Felswänden verstärkt. Täler wirken häufig wie ein Amphitheater, das sich dadurch auszeichnet, dass man auch auf der letzten Bank noch alles hört. SCHEIRING (2000) veranschaulicht diese Sachverhalte mit einem Vergleich zwischen einer Autobahn im Flachland (Hamburg-Flensburg) und der Inntal-Autobahn. Trotz größeren Verkehrsaufkommens ist auf der Flachlandstrecke nach 416 m eine Reduktion um 40 dB(A) erreicht, auf der Inntalstrecke sind dazu 2000 m erforderlich.

Auch die klimatischen Bedingungen tragen erheblich zur Verringerung der entfernungsabhängigen Schallminderung bei. Die Schallstrahlen werden zum dichteren Medium hin gebeugt, bei inversiver Schichtung also zum

Boden hin. Hindernisse werden so umgangen, und selbst nicht sichtbare entfernte Lärmquellen können noch unerwartete Immissionen herbeiführen. Dies gilt in besonderem Maße für die Nachtstunden. In ihnen sind durch regelmäßige Inversionen die Ausbreitungsbedingungen problematischer, andererseits ist die Empfindlichkeit des schlafbedürftigen Menschen besonders hoch.

Nun kann die Schallausbreitung durch Lärmschutzmaßnahmen wie Dämme und Wände vermindert werden. Diese wirken vor allem bei der horizontalen Ausbreitung und um so mehr, je tiefer die Lärmquelle an der Fahrbahn liegt. Die Gebirgstopographie verhindert in vielen Fällen, dass Dämme oder Wände schallmindernd eingesetzt werden können, denn die Siedlungen liegen so weit oberhalb der Trassen, dass Lärmschutzbauwerke zu aufwändig wären oder zu stark das Landschaftsbild beeinträchtigen würden. Nur in breiten Tälern ist dies sinnvoll, so beispielsweise entlang der Inntalautobahn, wo der Autofahrer sich zu über 30% der Strecke zwischen zwei Lärmschutzwänden durch das Tal bewegt. In der Mehrzahl der Fälle sind Lärmschutzmaßnahmen nicht sinnvoll oder aus räumlichen und anderen Gründen nicht möglich. Vielerorts verbietet die Notwendigkeit des winterlichen Räumdienstes die Positionierung nahe an der Emissionsquelle.

Die Lärmemissionen sind erhöht, die Transmission problematischer, die Möglichkeiten des Lärmschutzes gegenüber dem Flachland eingeschränkt. Dabei kommt der Urlauber zur Erholung in diese Räume, noch zudem zu einem Zeitpunkt, in welchem der Verkehr und die Lärmimmission ihre Jahresmaxima aufweisen (VOGT 1994,1997). Für weite Teile der Alpen wären diejenigen niedrigen Immissionsgrenzwerte angezeigt, die für Kur- und Erholungsgebiete im Flachland gelten. Schließlich sind die Alpen, wie KNOFLACHER (1994) treffend formuliert, „eine der größten Recyclinganlagen für verbrauchte Menschen, das heißt, ein Zentrum des sogenannten Tourismus“. Auch bezüglich der Lärmbelastung muss also von einer besonders problematischen Situation und hohen Empfindlichkeit im Alpenraum ausgegangen werden (KURZE 2001).

Das herausragende Konfliktpotenzial rührt nun daher, dass sich all diese Probleme auf engem Raum bündeln, denn die durch inneralpinen oder Transitverkehr am meisten belasteten Täler sind meist dicht besiedelt. Es verwundert daher nicht, wenn die Täler sich in Karten der Luftbelastung wie verschmutzte und verlärmte Bänder aus dem Vorland in die Alpen hinein erstrecken. Im Rahmen einer epidemiologischen Untersuchung zur Ermittlung der Auswirkungen der verkehrsbedingten Luftverschmutzung auf die Gesundheit in der Schweiz wurde die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Feinstaubes als Leitschadstoffe des Straßenverkehrs flächenhaft berechnet (WANNER et al. 1997). Exemplarisch zeigt die Karte des lungengängigen Feinstaubes ( $PM_{10}$ ) – einer geeigneten Leitkomponente für ver-

kehrsbedingte Luftbelastungen – dieses für den gesamten Alpenraum gültige Phänomen (Abb. 2). Die Konzentration auf die Täler, insbesondere auf die dicht besiedelten, weil verkehrsgünstig gelegenen Haupttäler wird in der Schweiz in der Gegenüberstellung von Mittelland und Alpen deutlich. Es kommt zu einer Kontraktion eines im Mittelland flächenhaften Phänomens zu einem konzentrierten bandförmigen Phänomen in den Alpentälern, in denen sich alle Wirkungen hoher Verdichtung bündeln. Daraus wird verständlich, dass sich die Alpen in der Wahrnehmung der Bevölkerung „in der Verkehrszone“ (KELLER 1998) befinden, denn Ausmaß der Betroffenheit und Anzahl der Betroffenen sind erheblich größer als bei gleicher Verkehrsdichte, bezogen etwa auf Verwaltungseinheiten, außerhalb des Gebirgsraumes. Der Talbewohner hat keinen Nutzen davon, dass siedlungsfreie alpine Hochlagen weitgehend unbeeinträchtigt sind, und diese Flächen sind auch keine Rückzugsgebiete der aus den Tälern verdrängten Flora und Fauna.

So stellt sich die Flächeninanspruchnahme durch Verkehrsinfrastrukturen als ein weiteres brisantes Problem dar, auch wenn sich der Anstieg der Flächenumwidmungen in den letzten Jahren verlangsamt hat. Es bedarf keiner näheren Begründung, dass der Anteil der Verkehrsfläche an der Gesamtfläche, die im Flachland meist vollständig nutzbar ist, als Maß zur Charakterisierung des Phänomens untauglich ist. In den Alpen ist dieses Verhältnis insgesamt sogar geringer als im außeralpinen Raum, doch bezogen auf den Siedlungsraum oder die land- und forstwirtschaftlich nutzbaren Flächen ist es wesentlich höher. In Tirol sind 14% der Gesamtfläche besiedelbar, und von dieser Fläche sind 7% Verkehrsfläche, etwa doppelt so viel wie im Flachland (GRUBER 1994). Dies ist auch darin begründet, dass aufgrund des alpinen Reliefs erheblich mehr Flächen für Rampen, Böschungen und dergleichen benötigt werden. Am stärksten ist der Flächenbedarf für den Straßenverkehr. Eine zweispurige Eisenbahnstrecke kann etwa eine Transportleistung bewältigen, die einer 16-spurigen Autobahn entspricht (BERMOND 1994).

Auch kann die Verkehrsführung, die sich mehr an technischen und ökonomischen Zielen – teilweise Zwängen – orientiert, weniger als außerhalb des Gebirges auf andere Belange Rücksicht nehmen. Die Mehrkosten für alternative Trassenführungen sind im alpinen Raum um Dimensionen höher als im Flachland, und dies hat Auswirkungen auf den Abwägungsvorgang, indem das Durchsetzungspotenzial anderer Belange geringer ist. Die Zerschneidung der Landschaft findet wie im Flachland statt, nur ist die umweltverträglichere Variante, wenn es sie denn gibt, im alpinen Raum wesentlich teurer und damit weniger durchsetzungsfähig. So verwundert es nicht, dass die Rücksichtnahme auf landwirtschaftliche oder ökologische Belange oder auf das Orts- und Landschaftsbild trotz unbestritten zuweilen erheblicher

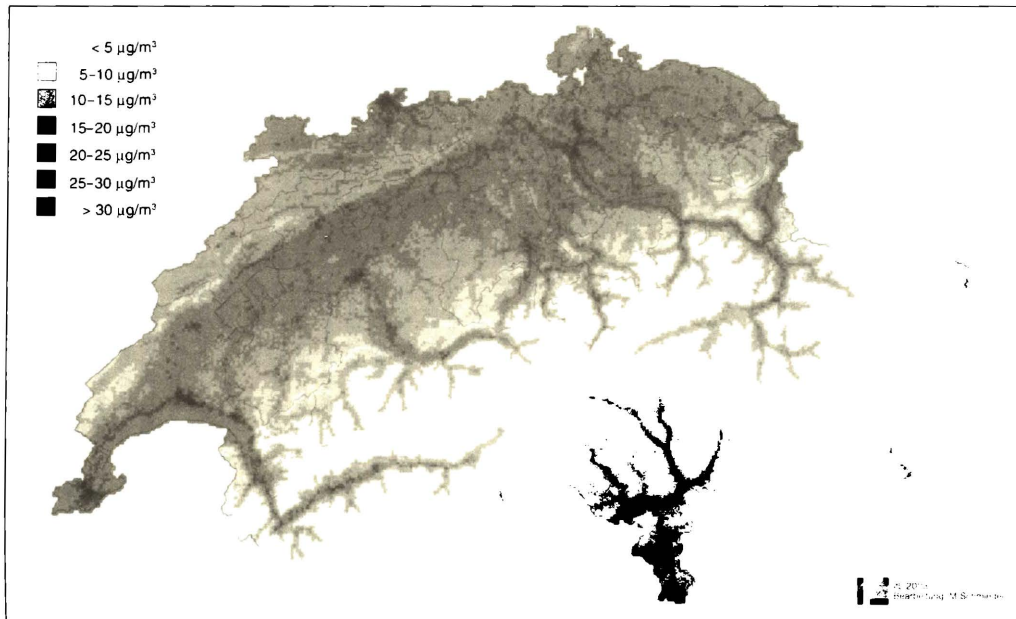


Abb. 2: PM<sub>10</sub>-Immissionen im Jahresmittel in der Schweiz. Bezugsjahr 1993 (aus WANNER et al. 1997)

Aufwendungen im Alpenraum Defizite aufweist. GRUBER (1994) hat die großen unzerschnittenen Räume der Alpen anhand von Karten 1963 und 1993 kartiert, wobei nur die höherrangigen Straßen berücksichtigt wurden. Die großen unzerschnittenen Räume zeigen eine dramatische Abnahme, vor allem in der Umgebung inner- und randalpiner Agglomerationen. Diese Verinselung der Landschaft ist besonders problematisch, da alpine Ökotope eine ausgeprägte Linearstruktur aufweisen, meist durch die Bindung an eine klimatische Höhenstufe. Zerschneidungen wirken hier wesentlich gravierender als dies im Flachland der Fall ist. Die Folge ist auch in diesem Themenfeld eine verstärkte Gefährdung der Fauna durch den alpinen Verkehr.

Als weiteres Problem tritt hinzu, dass es sich bei den Alpen wie bei jedem Hochgebirge um einen sehr katastrophenanfälligen Raum handelt. Lawinen, Murgänge und Überschwemmungen erreichen häufiger und schneller katastrophale Dimensionen als im außeralpinen Raum, und der gefährdete Bergwald ist als Schutzwald für die Talsiedlungen und Verkehrswege wichtiger als jeder Wirtschaftswald im Flachland. Zu den Kosten des Verkehrs zählen im Hochgebirge auch die unzähligen Lawinenverbauungen, deren Einfluss auf das Landschaftsbild immer prägender wird, die aber auch dann nicht in die Flächenbilanzierung für Straßenbaumaßnahmen eingehen.

All die genannten Belastungen wirken im Alpenraum, räumlich gebündelt und verstärkt in den besiedelten Tälern, zusammen und machen es verständlich, wenn von einer besonderen Empfindlichkeit oder Sensibilität des alpinen Raumes gegenüber den Auswirkungen des Verkehrs gesprochen wird. Noch brisanter wird dies bei Berücksichtigung inneralpiner Bevölkerungsverschiebungen. In peripheren Räumen und entlegenen Tälern setzen sich Entleerungstendenzen fort, ganze Talschaften überaltern wegen des Fortzugs der jungen Menschen. Nur in relativ wenigen Tälern boomt der Tourismus und wachsen die Siedlungen. Dies sind einerseits die klassischen Urlaubsorte, dann aber vor allem die inneralpinen Städte. Die gegenwärtigen Konzentrationsprozesse der Bevölkerung in bereits verkehrsbelasteten und dicht besiedelten Räumen verschärfen das bestehende Problem massiv.

Der im alpinen Raum verstärkte Wirkungsmechanismus der Folgen des Massenverkehrs macht Stellungnahmen wie die einleitend zitierte sowie die vielen sehr engagierten Proteste der Betroffenen verständlich. Er gefährdet nicht nur die Lebensgrundlagen der alpinen Bevölkerung und bewirkt nicht nur die genannten Belastungen, sondern er führt, wie KNOFLACHER (1994) überzeugend ausführt, durch seine nivellierende Wirkung im Raum „zwangsläufig zur wirtschaftlichen und kulturellen Vernichtung aller kleinräumigen Strukturen“. Doch sind es gerade diese, die Hochgebirge allgemein und ebenso die Alpen interessant machen. Es ist daher höchste Zeit, Überlegungen anzustellen, wie das Verkehrsaufkommen weniger belastend gestaltet und insgesamt vermindert werden kann.

#### 4 Maßnahmen zur Verminderung der Belastungen

Die besonderen Bedingungen im Alpenraum verstärken die Probleme, die durch den Verkehr entstehen. Es ist daher sinnvoll, bergspezifische Umweltqualitätsziele (UQZ) zu formulieren, wie dies in einer transnationalen Arbeitsgruppe geschehen ist (UMWELTBUNDESAMT 2000). Solche Ziele formulieren den angestrebten Umweltzustand unter Berücksichtigung systemarer Zusammenhänge und Wechselwirkungen mit konkretem Bezug zum Alpenraum und seinen spezifischen Bedingungen. Sie geben bei Bedarf aktualisierbare, sachlich, zeitlich und räumlich konkrete Qualitäten von Schutzgütern an. Dieser Ansatz wurde im Rahmen des MAB-Projektes „Der Einfluss des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme“, das 1981 bis 1991 in Berchtesgaden durchgeführt wurde, anhand des Alpen-Nationalparks entwickelt (KERNER et al. 1989). Diese Umweltqualitätsziele erlauben es, den Status quo zu beurteilen, geplante Maßnahmen im Hinblick auf ihre Verträglichkeit, insbesondere Umweltverträglichkeit, zu bewerten und den Handlungsbedarf für Meliorationsmaßnahmen abzuleiten. Die Weiterentwicklung und systematische Anwendung von alpenspezifischen Umweltqualitätszielen in allen betroffenen Ländern wäre – im Gegensatz zur bislang sehr unterschiedlichen Rechtslage und Verwaltungspraxis in vielen Bereichen – ein entscheidender Schritt.

Der Verkehr ist die Nagelprobe für die Alpenkonvention und zur Überlebensfrage für die rund zwölf Millionen Bewohner des Alpenbogens geworden, wie die CIPRA-ÖSTERREICH (1996, zit. nach KELLER 1998) erklärte. Daher sind Maßnahmen erforderlich, welche die von ihm ausgehenden Belastungen vermindern.

Die rasante Entwicklung des Verkehrs in der Vergangenheit ist – innerwie außeralpin – nur dadurch zu erklären, dass es keine Kostenwahrheit gibt und die Kosten insbesondere beim Straßenverkehr externalisiert werden können, meist zu Lasten der Anrainer der Verkehrswege und der Natur. Der historische Alpenverkehr kannte die Kostenwahrheit. Der Reisende musste die Führer und Säumer zahlen, die ihm den Weg wiesen, und er war auf deren Leistungen angewiesen. Die Internalisierung der externen Kosten ist daher die zentrale Forderung, welche die Europäische Kommission 1998 und 2001 erhoben hat. Dies bedeutet in der Konsequenz eine gravierende Steigerung der Transportkosten, nach KNOFLACHER (1994) um den Faktor 5 bis 8. Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe der Schweiz (LSVA) ist ein erster Ansatz dazu, denn sie basiert auf einer überschlägigen Kalkulation der externen Kosten des Güterverkehrs. Eine breit angelegte Ermittlung der gesamten externen Kosten ist in Arbeit und soll 2004 vorliegen (CARRON, BORER BLINDENBACHER 2002). Damit wird die Grundlage einer realistischeren Kostenbelastung derjenigen Verkehrsträger geschaffen, welche für die dargestellten Wirkungen verantwortlich sind.



Radikale Lösungsansätze fordern massive geschwindigkeitsreduzierende Maßnahmen sowie solche, welche die Kosten zu Lasten der Verkehrsträger vollständig internalisieren. Damit würde insbesondere der fahrende wie der ruhende Straßenverkehr erheblich verteuert und Maßnahmen der Geschwindigkeitserhöhung, wie sie von anderer Seite diskutiert werden, würden nicht realisiert werden (KNOFLACHER 1994). Derartige Preisfestsetzungsmechanismen werden in den skandinavischen Ländern bereits in umfangreicheren Maße als im Alpenraum eingesetzt. Sie entsprechen den Vorschlägen der europäischen Umweltagentur in Kopenhagen (EUA 2000).

Welche weit reichenden lufthygienischen Auswirkungen die Verringerung des Verkehrs einer Autobahn für das gesamte Tal hat, konnte während einer unfallbedingten Sperrung und anschließenden Reparatur des Gotthard-Tunnels vom 24.10. bis 21.12.2001 eindrücklich belegt werden. Der Schwerverkehr wurde über den San Bernardino umgeleitet, während für den PKW-Verkehr der Gotthard-Pass zur Verfügung stand. Abb. 3 zeigt die im Reusstal am Südufer des Vierwaldstätter Sees ermittelte  $\text{NO}_2$ -Belastung während der Tunnelsperrung (rechts) und in einem Referenzzeitraum 1999 und 2000 (BUWAL 2002). Da die Belastung durch die Autobahn den gesamten Talraum in Mitleidenschaft zog, gilt dies in umgekehrtem Schluss auch für die Entlastung. Auch relativ weit entfernte Lagen profitieren von der Verkehrsreduzierung. Gerade dies sollte Mut machen: Verkehrsvermindierungen werden in den meisten Fällen deutlicher spürbare Effekte haben als in außeralpinen Räumen.

Eine lokale Möglichkeit ist die Schaffung autofreier Tourismusgebiete (THALER, FROSCHE 1994) nach dem Vorbild der autofreien Schweizer GAST-Orte. Nur ist es wesentlich schwieriger, aus Orten das Auto zu verbannen, deren Bewohner sich daran gewöhnt haben, als jene Orte zu erhalten, die niemals nennenswerten motorisierten Individualverkehr hatten. Das Problem ist die selbstverständlich gewordene jederzeitige Verfügbarkeit des eigenen Autos. Seine Dominanz scheint in den Köpfen der Menschen mindestens ebenso groß zu sein wie auf den Straßen oder Parkplätzen. Doch immerhin häufen sich Aktivitäten, die auf autofreie Urlaubsgebiete hin zielen. Dazu gehört auch das Angebot und die Vergünstigung zahlreicher Dienstleistungen für Touristen, die freiwillig auf das Auto verzichten und umfassende Maßnahmenpakete, um Touristen per Bahn in das Land zu locken, wie sie beispielsweise die sehr stark verkehrsbelastete Stadt Luzern unternimmt (vgl. FRISCHKNECHT 2002). Auch gewinnen diejenigen Orte, die auf Formen des sanften Tourismus gesetzt haben, an Attraktivität, wie im Vergleich des Grödner Tales und des Villnößtales in den Dolomiten deutlich wird (MEURER 1988).

Beim Schienenverkehr sind die Möglichkeiten zur Reduzierung der lästigen Lärmemissionen insbesondere der Güterwagen nicht ausgeschöpft,

doch werden sehr erfolgversprechende Ansätze bei der Entwicklung des Low Noise Train (LNT) in Zusammenarbeit der Bahnen Österreichs, Italiens und der Schweiz mit Unterstützung der EU verfolgt (MÜLLER 2002). Ein in seinen Umweltwirkungen optimierter Schienenverkehr ist das Verkehrsmittel der Zukunft im Alpenraum, denn er bietet im Gegensatz zum Straßen- und Luftverkehr noch die weitreichendsten Reduzierungspotenziale (KALIVODA 1999).

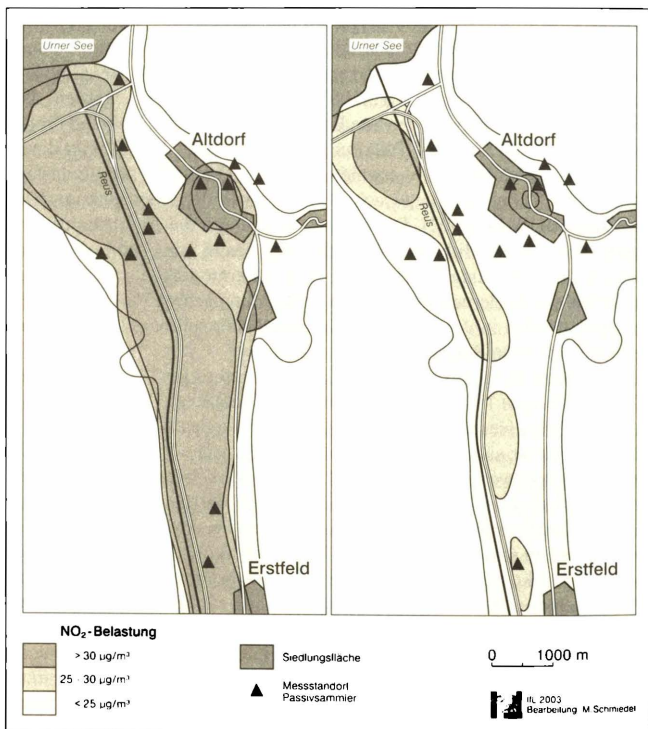


Abb. 3: NO<sub>2</sub>-Belastung im Reusstal bei Altdorf während der Tunnel-sperrung des Gotthard November und Dezember 2001 (rechts) und während einer Vergleichsperiode 1999 und 2000 (links). (Umgezeichnet nach BUWAL 2002)

## 5 Perspektiven

Am vehementesten wird der Protest im Bereich des Transitverkehrs vorgetragen. Entsprechend sind hier die bereits eingeleiteten Maßnahmen am weitreichendsten. In der Schweiz hat seit der erfolgreichen Volksabstimmung vom 20.2.1994 der Schutz der Alpen Verfassungsrang. Seitdem werden Anstrengungen unternommen, den gesamten die Schweiz querenden Gütertransit auf die Bahn und damit das Mensch und Natur weniger belastende Verkehrsmittel zu verlagern. Schritte sind das bilaterale Land- und Luftverkehrsabkommen mit der EU, eine Bahnreform und die Einführung einer leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) sowie die massive Förderung des Langsamverkehrs (LV), womit all diejenigen Verkehrsarten bezeichnet werden, die wesentlich zur Mobilität beitragen, aber bislang ein Schattendasein in der Debatte führten: Fußgängerverkehr, Fahrradfahren u.ä. (SCHÄR, ALBRECHT 2002).

Auch in anderen Alpenländern sind Bemühungen im Gange, den Neu- und Ausbau von Transitachsen zu beschränken oder zu unterbinden. Ähnliche Anstrengungen sind auch für den inneralpinen Verkehr dringend geboten, denn er ist zwar weniger spektakulär, doch die Folgen seiner enormen Verkehrsleistungen sind nicht weniger problematisch. Letztlich muss es das Ziel sein, nicht durch ordnungspolitische Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Nachfahrverbote oder Pförtnerampeln an Symptomen zu kurieren, sondern im Verkehr europaweit die Kostenwahrheit einzuführen. Dies hätte ökonomische Bewertungen zur Folge, die zu einem weitgehenden Umstieg vom Straßenverkehr beispielsweise auf die Schiene führen würden.

Es ist zu erwarten, dass die Emission der Luftschadstoffe aufgrund der Verschärfung der neuen Abgasgrenzwerte der EU (EURO 4 und 5 ab 2005 bzw. 2005 und 2008), die auch die Schweiz übernehmen wird, langfristig abnehmen werden. Dies darf nicht von einem Anstieg des Verkehrsaufkommens nivelliert werden. Dazu werden verkehrspolitische Maßnahmen wie die LSVA in der Schweiz beitragen. Darüber hinaus ist zu hoffen, dass auch der Luftverkehr, der in diesem Beitrag nicht behandelt wurde, den Anstieg seiner Emissionen vermindern kann. Immerhin muss nach der 5. Ausbautappe des Flughafens Zürich ab 2010 mit 3.400 t NO<sub>x</sub>-Emissionen gerechnet werden, was eine Steigerung um 90% gegenüber 1997 wäre (BRODMANN, SPILLMANN 2000).

Die Alpen werden, so müssen wir realistisch annehmen, ein wichtiger Transitraum bleiben, auch das gesamte Verkehrsvolumen wird voraussichtlich nicht verringert werden. Der Verkehr muss jedoch in Richtung auf eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen entwickelt werden. In diesem Sinne fordert LENDI (1998) keine Radikallösung mit ungewissen ökonomischen Konsequenzen, sondern das Verkehrskonzept einer „tragbaren

Mobilität“. Es zielt auf eine Optimierung in Richtung Nachhaltigkeit, welche die Umweltwirkungen minimiert und das technisch, wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch auf Dauer Machbare anstrebt. Dies geht nur in einem eng koordinierten Vorgehen von Verkehrs-, Raum- und Umweltplanung. Das durch die Raumplanung in der Entwicklung gesteuerte Muster räumlicher Nutzungen bestimmt wesentlich das Verkehrsaufkommen. Solange Beispielsweise Golfplätze mit ihren umfangreichen Planierungen und intensiven Pflegemaßnahmen im Bereich der Waldgrenze angelegt werden, wie oberhalb der Plan de Gralba in Südtirol, wird eine sektorale Verkehrspolitik wenig erfolgreich sein.

Es muss eine umwelt- und alpengerechtere Raumstruktur angestrebt werden, es müssen die unterschiedlichen Umwelteffizienzpotenziale der Verkehrsträger ausgeschöpft, Anreize für Verkehrsverlagerung und -vermeidung gegeben und externe Kosten weitestgehend internalisiert werden. Die Alpen sind derjenige Raum, der dies am deutlichsten in Form einer Aufwertung der Lebensqualität in den verkehrsbelasteten Tälern spüren würde.

## Literatur

- ARENDET, M., K. INFANGER 2002: Welche Zukunft braucht der Straßenverkehr? In: Forum Raumentwicklung 2/2002, S. 23–26.
- BAUMBACH, G., G. MINNER, G. KONRAD 1986: Luftverunreinigungen in einem Schwarzwaldtal bei Inversionswetterlagen. Untersuchungen zur Schadstoffausbreitung in Baiersbrunn. Teil 1: Meteorologische Grundlagen und Untersuchung der SO<sub>2</sub>-Immissionen. Stuttgart (= Universität Stuttgart, Abteilung Reinhaltung der Luft im Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Bericht Nr. 3/86).
- BERMOND, P. 1994: Massenexodus aus den Städten in die Berge. In: CIPRA (Hrsg.): Verkehr in den Alpen. mehr als nur Transit. Referate anlässlich der CIPRA-Jahrestagung Belluno 1994, Torino, S. 77–81.
- BREHM, M. 1986: Experimentelle und numerische Untersuchungen der Hangwindschicht und ihrer Rolle bei der Erwärmung von Tälern. München (= Universität München, Meteorologisches Institut, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 54).
- BRODMANN, U., W. SPILLMANN 2000: Verkehr – Umwelt – Nachhaltigkeit: Standortbestimmung und Perspektiven. Teilsynthese des NFP 41 aus der Sicht der Umweltpolitik mit Schwerpunkt Modul C. Bern.
- BUNDESAMT FÜR STRASSENWESEN 2001: Schweizerische Straßenverkehrszählung 2000. Neuchâtel.
- BUWAL 2002, in Verbindung mit den kantonalen Umweltschützämtern GR, TI und UR (Hrsg.): Umleitung Gotthard 2001. ([http://www.ur.ch/news/GSUD/Zusammenfassung\\_de.pdf](http://www.ur.ch/news/GSUD/Zusammenfassung_de.pdf)).
- CARRON, N., F. BORER BLINDENBACHER 2002: Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs. In: Forum Raumentwicklung 2/2002, S. 12–14.
- EUA, EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2000: Stimmt die Richtung? Indikatoren zur Integration von Verkehr und Umwelt in der EU: TERM 2000. Kopenhagen.
- FREYTAG, C. (HRSG.) 1985: Atmosphärische Grenzschicht in Alpentälern während der Experimente HAWEI, DISKUS und MERKUR. München (= Universität München, Meteorologisches Institut, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 52).

- FREYTAG, C. 1988: Atmosphärische Grenzschicht in einem Gebirgstal bei Berg- und Talwind. München (= Universität München, Meteorologisches Institut, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 60).
- FRISCHKNECHT, R. 2002: Nachhaltiger Freizeitverkehr: Luzern schnürt ein integriertes Maßnahmenpaket. In: Forum Raumentwicklung 2/2002, S. 29–31.
- GRAUER, A. 1991: Untersuchung der vertikalen Stickstoffdioxid- und Ozonverteilung während einer sommerlichen Hochdrucksituation im Schweizer Mittelland. Stuttgart (= Universität Stuttgart, Abteilung Reinhaltung der Luft im Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Studienarbeit Nr. 2386).
- GANGL, M. et al. 2002: Luftschadstoff-Trends in Österreich. Wien.
- GRUBER, R. 1994: Der Straßen- und Schienenverkehr im Alpenraum: Verkehrsaufkommen und Auswirkungen auf die Umwelt. In: CIPRA (Hrsg.): Verkehr in den Alpen, mehr als nur Transit. Referate anlässlich der CIPRA-Jahresfachtagung Belluno 1994. Torino, S. 5–37.
- GUGGENBÜHL, H. 1998: Daten zu Verkehr und Transport. In: CIPRA: Alpenreport 1. Bern, Stuttgart, Wien, S. 442–453
- KALIVODA, M.T. 1999: Verkehrslärmschutz in Österreich. Maßnahmen und Aufwände im Vergleich je Verkehrsträger Schienen-, Straßen- und Luftverkehr. Wien (= Informationen zur Umweltpolitik, 135).
- KELLER, L. 1998: Die Alpen im politischen Spiel. München.
- KERNER, H.F. et al. 1989: Methodische Vorgehensweise zur Regionalisierung von Umweltqualitätszielen und Umweltstandards im Rahmen des MAB-Projektes „Ökosystemforschung Berchtesgaden“. München.
- KURZE, U.J. 2001: Lärm im Alpenraum durch Straßen- und Schienenverkehr. Bericht im Auftrag der Alpeninitiative. Altdorf (zugleich <http://www.alpeninitiative.ch/d/larml.html>).
- KNOFLACHER, H. 1994: Notwendige verkehrspolitische und verkehrstechnische Maßnahmen. In: CIPRA (Hrsg.): Verkehr in den Alpen, mehr als nur Transit. Referate anlässlich der CIPRA-Jahresfachtagung Belluno 1994. Torino, S. 39–49.
- LENDI, M. 1998: Sachprinzipien eines nachhaltigeren Verkehrsrechts. In: Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung 135, S. 44–52.
- LERCHER, P. et al. 1992: Auswirkungen des Straßenverkehrs auf Lebensqualität und Gesundheit; Transitstudie – Sozialmedizinischer Teilbericht. Hrsg.: Amt der Tiroler Landesregierung. Innsbruck.
- MEIER, R. 2002: Den Freizeit- und Tourismusverkehr auf Nachhaltigkeit ausrichten. In: Forum Raumentwicklung 2/2002, S. 8–11.
- MESSERLI, P. 1992: Die Zukunft der Alpen in Europa. In: Geographische Rundschau 44, S. 409–415.
- MEURER, M. 1988: Vergleichende Analysen touristisch bedingter Belastungen des Naturhaushaltes im Südtiroler Grödner- und Villnößtal. In: Geographische Rundschau 40, S. 28–38.
- MEURER, M., H.-N. MÜLLER 1996: Tourismus und Verkehrsbelastung in den Schweizer Alpen. In: Geographische Rundschau 48, S. 136–144.
- MÜLLER, J. 2002: Leise rollt die Bahn heran. In: Austria Innovativ H. 6/2002, S. 14.
- ÖKOSCIENCE 2000: Die räumliche Verteilung der Stickoxide und des Feinstaubes im Uner Reusstal während winterlicher Inversionslagen. Uri. Zit. in: <http://www.alpeninitiative.ch/d/studien-d.html>.
- SCHÄR, B. C. ALBRECHT 2002: Nachhaltige Mobilität: Vom magischen Zauberwort zur praktischen Umsetzung. In: Forum Raumentwicklung 2/2002, S. 5–7.
- SCHERING, H. 2000: Schutzleistung des Tiroler Bergwaldes gegen Lawinen: Mögliche Ursachen und monetäre Folgen eines Leistungsverlustes. Wien.

- SEIDL, E. 2000: Dauergifte in den Alpen. Die Belastung der Alpen mit schwer abbaubaren organischen Schadstoffen. Wien.
- TÜRK, R. 1996: Ökosystemare Schadstoffgrenzwerte als Voraussetzung für die Umsetzung des Bergwaldprotokolls. In: SCHEERING, H.: Das Bergwald-Protokoll. Wien, S. 185–92.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.). Alpenkonvention 2000: Umweltqualitätsziele für die Alpen. Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT 2001: Sechster Umweltkontrollbericht. Wien.
- VITTADINI, M.R. 1994: Regionale Verkehrspläne für die Alpen. Perspektiven für die Lösung von Verkehrsproblemen auf regionaler Ebene. In: CIPRA (Hrsg.): Verkehr in den Alpen, mehr als nur Transit. Referate anlässlich der CIPRA-Jahresfachtagung Belluno 1994. Torino, S. 51–61.
- VOGT, J. 1995: Meßtechnische Ermittlung von Verkehrslärmemissionen am Beispiel von Luzern. In: UMWELTSCHUTZ STADT LUZERN, H.-N. MÜLLER (Hrsg.): Mobilität und Verkehr. Luzern, S. 183–215 (= Luzerner Stadtökologische Studien, 8).
- VOGT, J. 1997: Schallpegelanalysen in Städten. In: Geographische Rundschau 49, S. 569–575.
- WANNER, H.-U. 1997: Verkehrsbedingte Luftbelastung in der Schweiz. In: Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung 128, S. 38–43.
- WEISSEN, A. 1994: Wenn ein Tal unter die Räder kommt: Verflechtungen zwischen Transit und Binnenverkehr. In: CIPRA (Hrsg.): Verkehr in den Alpen, mehr als nur Transit. Referate anlässlich der CIPRA-Jahresfachtagung Belluno 1994. Torino, S. 143–154.
- WIENER, S. et al. 1994: Schadstoffbelastung entlang von Autobahnen. Wien (= Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung, 419).
- WMO (Hrsg.), Regional Office for Europe 1999: Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. 3 Bde. Rom.
- ZUDK, ZENTRALSCHWEIZERISCHE UMWELTSCHUTZDIREKTION (Hrsg.) 2002: Luftbelastung in der Zentralschweiz und im Kanton Aargau. Detaillierte Messdaten 2001. Luzern.