

Verkehr und Umwelt
Wechselwirkungen Schweiz - Europa
Nationales Forschungsprogramm NFP 41
Transport et environnement
Interactions Suisse - Europe
Programme national de recherche PNR 41
Transport and Environment
Interactions Switzerland/Europe
National Research Programme NRP 41

Synthese S3

Urs Brodmann
Werner Spillmann

Verkehr – Umwelt – Nachhaltigkeit: Standortbestimmung und Perspektiven

**Teilsynthese des NFP 41 aus Sicht der Umweltpolitik
mit Schwerpunkt Modul C**

Impressum

Autoren: BRODMANN Urs, SPILLMANN Werner
Titel: Verkehr – Umwelt – Nachhaltigkeit:
Standortbestimmung und Perspektiven
Untertitel: Teilsynthese des NFP 41 aus Sicht der Umweltpolitik
mit Schwerpunkt Modul C
Reihe: Synthesen des NFP 41 „Verkehr und Umwelt“, Teilsynthese S3
Ort, Jahr: Bern, 2000
Herausgeber: Programmleitung NFP 41 (Nationales Forschungsprogramm
„Verkehr und Umwelt, Wechselwirkungen Schweiz-Europa“)
Bezug: BBL/EDMZ, CH-3003 Bern
Fax +41 - 31 - 325 50 58; www.admin.ch/edmz
EDMZ-Bestellnummer: 801.693.d

Mitarbeit an diesem Bericht:

Urs Brodmann Factor Consulting + Management AG
Binzstrasse 18, 8045 Zürich
Werner Spillmann Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf
Thomas Schneider Ernst Basler + Partner AG
Jürg Füssler Ernst Basler + Partner AG
Zollikerstrasse 65, 8702 Zollikon

Entwürfe dieses Berichts wurde mit den Forschenden und einer Begleitgruppe (mit Fachleuten u.a. des Bundesverwaltung) in einem Workshop Anfang 2000 und in einer schriftlichen Vernehmlassung im September 2000 sowie mehrmals in der Expertengruppe des NFP 41 diskutiert. Für wertvolle Anregungen, die dabei eingegangen sind, sei herzlich gedankt.

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Nationalfonds, der Expertengruppe, der Programmleitung oder der Begleitgruppe übereinstimmen muss.

Abdruck mit ausdrücklicher Quellenangabe erwünscht. Kommerzielle Nutzung vorbehalten. Belegexemplar erbeten an die Programmleitung.

Eine Liste mit allen Projekten und Publikationen des NFP 41 befindet sich am Schluss dieses Berichts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Überblick über das NFP 41.....	1
1.2	Zielsetzung und Gliederung dieses Berichts.....	1
2	Umwelt und Nachhaltigkeit: Stand des Konzepts im Verkehr.....	3
2.1	Nachhaltigkeit: Begriff und Stellenwert im NFP 41.....	3
2.2	Nachhaltigkeit messen und darstellen	5
2.3	Nachhaltigkeit prüfen.....	9
2.4	Nachhaltigkeit verwirklichen.....	11
2.4.1	Interessenabwägung als Forschungsgebiet.....	11
2.4.2	Interessenabwägung in der verkehrspolitischen Praxis.....	13
2.4.3	Ausgestaltung von Massnahmen und Massnahmenbündeln.....	14
2.5	Zwischenfazit zur Nachhaltigkeit.....	16
3	Umweltbilanz des Verkehrs: Problem gelöst?	17
3.1	Einstieg.....	17
3.2	Ausgangspunkt Verkehrswachstum.....	18
3.3	Umweltbilanz des Verkehrs im Überblick.....	21
3.4	Energieverbrauch und globale Erwärmung.....	24
3.5	Luftschadstoffe	30
3.6	Lärm	39
3.7	Verbrauch von Flächen, Natur und Landschaft.....	41
3.8	Externe Kosten	44
3.9	Fazit zur Umweltbilanz des Verkehrs.....	46
4	Handlungsfelder für umweltverträglichen Verkehr	47
4.1	Vorbemerkungen zur Systematik.....	47
4.2	Umwelteffizienz der Verkehrsträger steigern	48
4.2.1	Ausgangslage	48
4.2.2	Neue und verbesserte Antriebe auf der Strasse.....	49
4.2.3	Strassenverkehr effizienter abwickeln.....	54
4.2.4	Umwelteffizienzpotenziale auf der Schiene	56
4.2.5	Umwelteffizienzpotenziale im Luftverkehr	57
4.3	Verkehr verlagern	60
4.3.1	Ausgangslage	60
4.3.2	Attraktiver öffentlicher Verkehr durch Kundeninformation	62
4.3.3	Neue integrierte Mobilitätsdienstleistungen	63
4.3.4	Förderung des Langsamverkehrs	64
4.3.5	Zukunftsvision Swiss-/ Eurometro	65

4.4	Verkehr vermeiden	68
4.4.1	Ausgangslage	68
4.4.2	Entkopplung des Güterverkehrs vom Wirtschaftswachstum	68
4.4.3	Telekommunikation als Verkehrsersatz.....	71
4.5	Faire Preise und Märkte	72
4.5.1	Ansätze für eine bessere Preisgestaltung im Verkehr	72
4.5.2	Die Frage der Mittelverwendung	74
4.5.3	Parkraumbewirtschaftung	75
4.5.4	Steuern und Abgaben im Luftverkehr.....	75
4.6	Raumordnung und Raumplanung.....	76
4.7	Information und freiwillige Massnahmen.....	79
4.7.1	Information zur Förderung freiwilliger Massnahmen.....	79
4.7.2	Information und Ausbildung von Experten.....	81
4.8	Fazit zu den Handlungsfeldern	83
5	Eine Querschnittbetrachtung am Beispiel Freizeitverkehr.....	85
5.1	Ausgangslage.....	85
5.2	Verlagerung des Freizeitverkehrs	86
5.3	Verkehrsmanagement in Tourismusorten	87
5.4	Neuansätze zur Vermeidung von Freizeitverkehr	87
5.5	Zwischenfazit zum Freizeitverkehr	88
6	Folgerungen und Empfehlungen.....	89
6.1	Mehrwert des NFP 41 für die Umwelt- und Verkehrspolitik.....	89
6.2	Strategische Handlungsempfehlungen	91
6.2.1	Adressaten.....	91
6.2.2	Gefordert sind Massnahmen in allen Bereichen.....	91
6.2.3	Prozessorientierte Empfehlungen	93
6.2.4	Schlüsselprobleme und Schlüsselfragen.....	97
6.2.5	CO ₂ -Emissionen des Verkehrs: Schnittstelle zur Energiepolitik.....	98
6.2.6	Schlüsselmassnahmen für den Schutz der menschlichen Gesundheit	101
6.2.7	Wo bleibt die Nachhaltigkeit?.....	102
7	Literaturverzeichnis.....	105
7.1	Verzeichnis der NFP 41-Publikationen.....	105
7.2	Weitere Publikationen.....	113

Verzeichnis der Exkurse

Box 1:	Projekt C5: Nachhaltigkeit – Kriterien im Verkehr	7
Box 2:	Projekt C6: Nachhaltigkeitsbeurteilung von Projekten und Strategien	10
Box 3:	Sachziele Verkehr der Departementsstrategie UVEK.....	13
Box 4:	Environmentally Sustainable Transport: Ein wegweisendes Forschungsprojekt der OECD.....	15
Box 5:	Luftverkehr und globales Klima: ein heisses Thema.....	28
Box 6:	Projekt C4: Partikel-Emissionen des Strassenverkehrs	32
Box 7:	Strassenverkehr und Luftschadstoffe: auch in Zukunft ein Thema	37
Box 8:	Projekt C1: Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz.....	41
Box 9:	Emissionshandel und Kompensationsprojekte	59
Box 10:	Projekt C3: Dynamik der Güterverkehrsentwicklung.....	70
Box 11:	Umweltziele unter minimalen Kosten erreichen	73
Box 12:	Projekt C8: Verkehr und Raumordnung.....	78
Box 13:	Projekt C2: MODUM – Strategiemodell Umwelt-Mobilität	81
Box 14:	Kosten-Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr	93
Box 15:	Projekt C7: Strategie nachhaltiger Verkehr	95
Box 16:	Treibstoffeffizienz im Strassenverkehr: freiwillige Vereinbarungen reichen nicht..	99

1 Einführung

1.1 Überblick über das NFP 41

Das Nationale Forschungsprogramm 41 „Verkehr und Umwelt“ (NFP 41) startete 1996 mit dem Ziel, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine nachhaltige Verkehrspolitik zu verbessern. Insgesamt wurden 54 Projekte, geordnet in sechs thematischen Modulen, durchgeführt:

- Modul A Mobilität: Sozio-institutionelle Aspekte
- Modul B Mobilität: Sozio-ökonomische Aspekte
- Modul C Methoden und Modelle zur Analyse der Umweltauswirkungen
- Modul D Politische und ökonomische Strategien und Rahmenbedingungen
- Modul E Verkehrssystem-Management: Potenziale und Auswirkungen
- Modul F Technologie: Potenziale und Auswirkungen

Zudem wurden umfangreiche Synthesearbeiten lanciert, welche die Resultate des NFP 41 verdichten und verarbeiten. Sie umfassen:

- separate Teilsynthesen zu den sechs Modulen A bis F
- drei Querschnittsynthesen über das gesamte Programm aus der Sicht der Umwelt-, der Verkehrs- und der Europapolitik (Umweltpolitik kombiniert mit Modulsynthese C)
- Bilanzen aus Sicht der Wissenschaft und der Umsetzung
- eine Populärfassung sowie eine Abstractsammlung

Das Publikationsverzeichnis im Abschnitt 7.1 gibt einen Überblick über die einzelnen Projekte und die Syntheseberichte. Die Synthesen sind nicht als blosse Zusammenfassung der Studien des NFP 41 konzipiert. Vielmehr verfolgen sie einen thematischen Ansatz, wobei neben den – besonders gewürdigten – NFP 41-Studien auch weitere Arbeiten verwertet werden. Somit wird ein Überblick über den Stand der Forschung und des Wissens im betreffenden Thema vermittelt. Der Vertiefungsgrad der Synthesen ist bewusst relativ gering gehalten, um den nicht spezialisierten Lesern und Leserinnen den Einstieg zu erleichtern.

1.2 Zielsetzung und Gliederung dieses Berichts

Der vorliegende Bericht ist Teil der Synthesearbeiten zum NFP 41. Er fasst die Resultate des Umwelt- und Nachhaltigkeitsmoduls zusammen und diskutiert sie („Teilsynthese Modul C“). Ausserdem nimmt er die umweltrelevanten Resultate der übrigen Projekte auf und stellt sie in den wissenschaftlichen und umweltpolitischen Kontext („Querschnittsynthese Umweltpolitik“). Ein wesentliches Ziel ist die Formulierung von Empfehlungen zuhanden der Politik. Dabei konzentriert sich der Bericht auf die Umweltaspekte des Verkehrs, d.h. die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit. Als Einstieg und Ergänzung erläutert er den Stand des umfassenderen Konzeptes „Nachhaltiger Verkehr“ und dessen Bezug zur Umweltthematik.

Der Bericht will die wesentlichen Umweltwirkungen des Verkehrs beschreiben und die wichtigsten Entlastungspotenziale aufgreifen und würdigen. Der Fokus liegt auf den mittel- und langfristigen Handlungsspielräumen. „Tagespolitische“ Fragen, wie z.B. die Übergangsbestimmungen zu den bilateralen Abkommen Schweiz-EU, werden nicht oder nur am Rand behandelt. Aufgrund der Weitläufigkeit des Themas bleiben detaillierte Vorschläge zur Massnahmenausgestaltung und Umsetzung den Modulsynthesen sowie den einzelnen Projektberichten vorbehalten. Kurzfassungen der Projektberichte können auf dem Internet konsultiert werden (www.nfp41.ch). Für eine Synthese der politischen Empfehlungen aller Module verweisen wir zudem auf die Gesamtsynthese (Bericht S8).

Der Aufbau des Berichtes präsentiert sich wie folgt:

- Kapitel 2 klärt die Beziehung zwischen den Begriffen *Umweltverträglichkeit* und *Nachhaltigkeit*. Es erläutert, welche Beiträge das NFP 41 zur methodischen und instrumentellen Weiterentwicklung des Nachhaltigkeitskonzepts erbracht hat. Zudem geht es auf den Stellenwert der Nachhaltigkeit im vorliegenden Synthesebericht ein. Das Kapitel zeigt auf, dass Umweltverträglichkeit – neben der Wirtschafts- und Sozialverträglichkeit – eine notwendige Voraussetzung für nachhaltigen Verkehr darstellt, die heute nicht erfüllt ist. Die übrigen Kapitel des vorliegenden Berichts konzentrieren sich auf die Umweltaspekte des Verkehrs, zumal hier die Nachhaltigkeitsziele besonders deutlich verfehlt werden.
- Kapitel 3 beschreibt die heutige Umweltbilanz des Verkehrs und die zu erwartende, zukünftige Entwicklung. Zudem umreisst es die ökologischen Belastungsgrenzen, die der Verkehr langfristig einhalten muss. Darauf aufbauend wird der Handlungsbedarf bezüglich der einzelnen Umweltbelastungen beurteilt.
- Kapitel 4 vermittelt einen Überblick über die wichtigsten Handlungsansätze zur Lösung der verkehrsbedingten Umweltprobleme. Dabei wird keine Vollständigkeit angestrebt, sondern eine geordnete und geraffte Darstellung der Resultate aus dem NFP 41, ergänzt durch ausgewählte weitere Forschungsarbeiten. Leitend ist jeweils die Frage, welche Umweltentlastungspotenziale die einzelnen Handlungsansätze bieten.
- Kapitel 5 fasst sehr kurz einige Resultate des NFP 41 zum Thema Freizeitverkehr und Umwelt zusammen. Dabei geht es nicht um eine vollständige Abhandlung des Themas Freizeitverkehr. Vielmehr wird illustriert, dass die Verkehrsproblematik aus verschiedenen thematischen Perspektiven betrachtet werden muss – unter anderem eben gegliedert nach Verkehrszwecken, unter denen der Freizeitverkehr heute dominiert.
- Kapitel 6 enthält die Folgerungen zum NFP 41 sowie zu den Umweltproblemen des Verkehrs. Es formuliert Handlungsempfehlungen zuhanden der Umwelt- und Verkehrspolitik.

Der vorliegende Synthesebericht wurde mit den Mitgliedern der Begleitgruppe, den Forschenden des Moduls, der Expertengruppe und der Programmleitung mehrmals diskutiert. Für die zahlreichen Anregungen sind die Autoren dankbar. Der Bericht liegt jedoch in der Verantwortung der Autoren und gibt deren Meinung wieder, die sich nicht in jedem Fall mit der Auffassung der konsultierten Personen zu decken braucht.

2 Umwelt und Nachhaltigkeit: Stand des Konzepts im Verkehr

2.1 Nachhaltigkeit: Begriff und Stellenwert im NFP 41

„Ein neues Wort macht Karriere: nachhaltig. Die Zukunft hat eine Vergangenheit, uns nämlich. Was wir heute tun, darf unsere Kinder nicht schädigen. Nachhaltigkeit, das ist die geuldige Lehre des Naturkreislaufs.“ (Benedikt Loderer, Tages Anzeiger, 5.12.97)

Der Begriff Nachhaltigkeit hat im vergangenen Jahrzehnt einen Aufschwung erlebt wie kaum ein anderer Ausdruck. Ob in wissenschaftlichen Berichten, politischen Debatten, Stellungnahmen von Wirtschaftsvertretern oder Plädoyers von Umweltschutzverbänden – eine Bezugnahme auf „die Nachhaltigkeit“ darf heute kaum mehr fehlen. Eine einheitliche Interpretation des Begriffs fehlt allerdings noch, bzw. eine breit akzeptierte Auffassung, wie das Konzept der Nachhaltigkeit konkretisiert und in die Praxis umgesetzt werden kann.

Das NFP 41 verfolgte erklärtermaßen das Ziel, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine nachhaltige Verkehrspolitik zu verbessern. Um den Nachhaltigkeitsbegriff für den Verkehrsbereich fassbarer zu machen, formulierte das NFP 41 als eine Leitfrage: *„Wie lässt sich eine nachhaltige Verkehrsentwicklung definieren?“* Vier Forschungsprojekte des Moduls C wurden explizit auf die Nachhaltigkeit ausgerichtet und untersuchten die folgenden Fragen:

- Projekt C5: Wie kann die Nachhaltigkeit des Verkehrs gemessen werden?
- Projekt C6: Welchen Beitrag könnten Planungs- und Prüfinstrumente des Bundes zu einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung leisten?
- Projekt C7: Mit welchen mittel- bis langfristigen Strategien ist Nachhaltigkeit im Verkehr zu erreichen?
- Projekt C9: Weiterbildungsmöglichkeiten für eine nachhaltige Mobilität: Bestandesaufnahme und Bedarf für Verbesserungen

Die Resultate dieser Projekte werden weiter unten vorgestellt. An dieser Stelle geht es vorerst um den Bezug der vorliegenden Teilsynthese zur Nachhaltigkeit. Dazu wird im Folgenden der Grundgedanke des Nachhaltigkeitskonzeptes umrissen. Weltweite Verbreitung erfuhr der Nachhaltigkeitsbegriff mit dem Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (sog. Brundtland-Kommission) im Jahre 1987 und insbesondere der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio 1992, wo er wie folgt definiert wurde:

„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, welche die heutigen Bedürfnisse zu decken vermag, ohne für künftige Generationen die Möglichkeiten zu schmälern, ihre eigenen Bedürfnisse zu decken.“

In den folgenden Jahren sind zahlreiche Sichtweisen und Interpretationen der Idee der nachhaltigen Entwicklung entstanden, welche auch die politische Nachhaltigkeitsdiskussion prägen.¹ Überwiegend besteht heute aber Konsens, dass Nachhaltigkeit ein „Dreigestirn“ aus ökologischer Verträglichkeit, wirtschaftlicher Effizienz und sozialer Gerechtigkeit darstellt. Die Bundesverwaltung teilt diese Auffassung,² und auch die vorliegende Teilsynthese nimmt diese Definition als Ausgangspunkt.

Eine nachhaltige Verkehrsentwicklung bringt also ökologische, wirtschaftliche und soziale Bedürfnisse unter einen Hut. Die Nachhaltigkeit einzelner Massnahmen bemisst sich daran, wie weit sie die *Zielkonflikte* zwischen diesen teils widersprüchlichen Bedürfnissen zu entschärfen vermögen. Doch war genau dies nicht schon länger das Kernanliegen der Verkehrspolitik? Inwiefern beinhaltet eine „nachhaltige“ Verkehrspolitik einen Fortschritt gegenüber einer „konventionellen“, an der umweltverträglichen und effizienten Bedürfnisbefriedigung orientierten Verkehrspolitik?

Walter & Spillmann (1999) halten fest, dass sich der verkehrspolitische und –planerische Werkzeugkasten nicht grundsätzlich verändert hat. Das Verdienst der Nachhaltigkeit betrifft vielmehr die Art, wie verkehrspolitische Ziele und Massnahmen bestimmt werden:

- Nachhaltigkeit verlangt eine konsequente Orientierung an langfristigen und globalen Zielen, welche auch weitreichendere Massnahmen notwendig machen. Die Abdiskontierung zukünftiger Schäden und Nutzen wird hinterfragt.
- Nachhaltigkeit verlangt vernetztes, transdisziplinäres Denken und Handeln. Zielkonflikte zwischen den drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft sind von Anfang an offenzulegen. Massnahmen sind in ihren Auswirkungen umfassend zu dokumentieren und in Zusammenarbeit mit den betroffenen Interessengruppen zu erarbeiten.

Entsprechend dieser Auffassung kann es nicht Aufgabe der vorliegenden Teilsynthese sein, „nachhaltige“ Lösungen für die Umweltprobleme des Verkehrs zu präsentieren. Vielmehr dokumentiert unser Bericht zunächst die, meist altbekannten, ökologischen Probleme des Verkehrs, um anschliessend mögliche Lösungansätze aus Umweltsicht auszuleuchten. Ökonomische und soziale Aspekte können hingegen nur punktuell angesprochen werden. Eine Gesamtschau im Sinne der Nachhaltigkeit, das Abwägen ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Bedürfnisse, bleibt der Gesamtsynthese des NFP 41 mit der Querschnittsynthese Verkehrspolitik sowie vor allem dem politischen Prozess vorbehalten. Die vorliegende Teilsynthese will hierzu einen Beitrag aus Sicht der Umwelt liefern, wobei namentlich die Diskussion der Zielwerte für umweltverträglichen Verkehr stark auf dem Nachhaltigkeitskonzept aufbaut.

Vorerst bleiben wir aber bei der Nachhaltigkeit, nämlich den methodischen und instrumentellen Aspekten dieses noch ungewohnten Konzepts. Ist Nachhaltigkeit messbar, und kann

¹ Vgl. für eine Übersicht: Renn & Kastenholz 1996

² Vgl. zum Beispiel IdaRio 1996, pp.8ff.

ihre Einhaltung geprüft werden? Welchen Stellenwert hat die Nachhaltigkeit in der heutigen verkehrspolitischen Praxis? Das NFP 41 hat zu diesen Fragen erste Antworten geliefert, die in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellt werden.

Dabei ist nicht zu vergessen, dass sich alle im Rahmen des NFP 41 formulierten Vorschläge auf die nachhaltige Entwicklung in der hochentwickelten Schweiz ausrichten. Es werden sozusagen Vorschläge für eine „Wohlstandsnachhaltigkeit“ aufgezeigt, welche zudem auf einen einzelnen Sektor – den Verkehr – fokussiert sind. Einzelne globale Zusammenhänge wie z.B. die Treibhausgasemissionen des Verkehrs werden zwar berücksichtigt. Eine „globale Nachhaltigkeit“, welche auch den wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsbedürfnissen der ärmeren Länder Rechnung zu tragen hat, ist damit aber nicht abgedeckt. Auch sind die aufgestellten Empfehlungen nicht unbesehen auf Entwicklungsländer übertragbar. Bezüglich der Konkretisierung und Umsetzung des Nachhaltigkeitskonzepts im Nord-Süd-Kontext verbleibt riesiger Handlungsbedarf.

2.2 Nachhaltigkeit messen und darstellen

„You can't manage what you can't measure“ – getreu diesem Motto befasste sich das Projekt C5 mit der für das NFP 41 sehr wichtigen Frage, wie die Nachhaltigkeit des Verkehrs gemessen werden kann (vgl. Box 1). Als Ausgangspunkt diente die oben erwähnte Brundtland-Definition sowie darauf aufbauende, allgemeine Leitsätze; so etwa die vier Handlungsregeln für ökologische Nachhaltigkeit:³

- *Schadstoffemissionen dürfen nur so hoch sein, dass ihr Abbau und die Umwandlung in ungiftige und unschädliche Substanzen von der Natur bewältigt werden können.*
- *Die Natur ist in ihrer ganzen Vielfalt zu erhalten. Beeinträchtigungen sind mit Massnahmen zu kompensieren, welche den Fortbestand von Ökosystemen und die Wahrung der Artenvielfalt gewährleisten.*
- *Erneuerbaren Ressourcen darf pro Zeiteinheit nicht mehr Substanz entnommen werden als wieder nachwachsen kann.*
- *Nicht erneuerbare Ressourcen, wie z.B. fossile Energieträger, dürfen nicht rascher abgebaut werden als gleichzeitig neue regenerierbare Quellen für deren Ersatz bereitgestellt werden können.*

Als Rahmen für die weitere Konkretisierung hat sich im Rahmen des Projektes C5 die Unterscheidung von Nachhaltigkeitskriterien, Indikatoren und Zielwerten bewährt:

- Nachhaltigkeitskriterien sind Aspekte oder Merkmale von Nachhaltigkeit, wie z.B. ein intaktes globales Klima.

³ Die Formulierung entstammt dem *Aktionsplan nachhaltige Entwicklung für die Schweiz*. Vgl. Conseil du développement durable 1996

- Nachhaltigkeitsindikatoren sind einem Kriterium zugeordnete Messgrößen, z.B. die jährlichen CO₂-Emissionen des Verkehrs für das Kriterium „Klima“.
- Jedem Indikator wird idealerweise ein quantitativer Zielwert zugeordnet; mindestens aber wird die gewünschte Entwicklungsrichtung definiert.

Als weiterer Konkretisierungsschritt wurde auch die Möglichkeit einer Aggregation der Indikatoren zu einem „Nachhaltigkeitsindex“ untersucht. Aggregation bedeutet, verschiedene Indikatoren gegeneinander zu gewichten. Für die Aggregation ökologischer Indikatoren sind heute vielversprechende Ansätze vorhanden (Ökobilanzierung). Eine wissenschaftlich abgesicherte Methode zur Aggregation ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Größen existiert jedoch nicht; vielmehr müssen die verschiedenen Indikatoren im Einzelfall gegeneinander abgewogen werden.

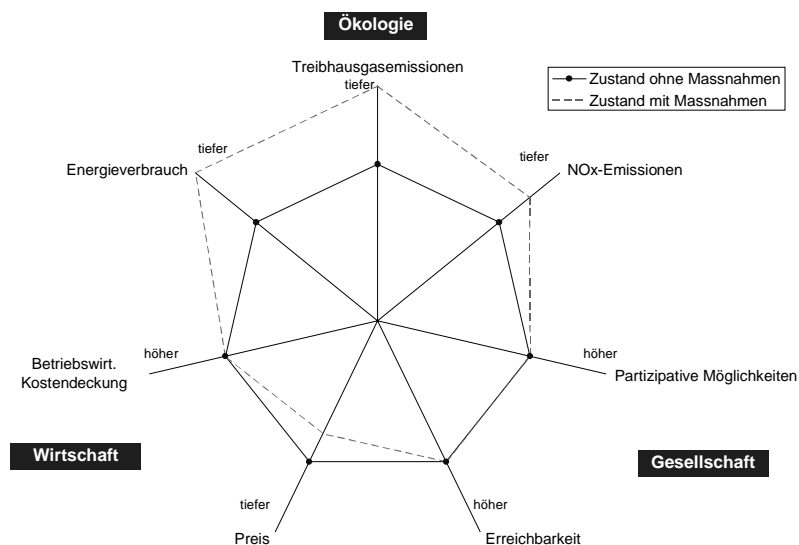
Intransparente Aggregationen sind zu vermeiden, weil sie die relative Bewertung der verschiedenen Indikatoren im politischen Prozess verunmöglichen, bzw. vorwegnehmen. Modelle für vollständige Aggregation können aber nützliche Hilfsmittel sein, wenn die Grundlagen und Annahmen zur Gewichtung der Indikatoren deklariert und ihre Einflüsse durch Sensitivitätsanalysen untersucht werden. Solche Modelle sind politischen Willkürabwägungen in jedem Fall vorzuziehen.

Für transparente Interessenabwägungen ist aber in erster Linie die Offenlegung aller Wirkungen der betrachteten Massnahmen erforderlich. Im Projekt C5 wurde hierzu die „Nachhaltigkeitsrose“ vorgeschlagen (vgl. Figur 1). Diese Darstellung zeigt auf einen Blick, bei welchen Nachhaltigkeitsindikatoren Verbesserungen zu verzeichnen sind. Allerdings wird der Betrachter auch dazu verleitet, die Fläche der Rose mit einer „Gesamtnachhaltigkeit“ gleichzusetzen. Dies ist jedoch gleichbedeutend mit einer Aggregation der Indikatoren und daher nur zulässig, wenn Einigkeit über die Skalierung der verschiedenen Achsen besteht. Erfreulich ist, dass die Nachhaltigkeitsrose bereits auch in der verkehrsplanerischen Praxis angewendet wird.⁴

Die Messung der Nachhaltigkeit ist nicht nur auf Projektebene bedeutungsvoll. Auch auf der Ebene des gesamten Verkehrssystems und anderer Sektoren gilt es, Entwicklungstrends zu überwachen und die Wirksamkeit von Politiken zu verfolgen. Ein wichtiges Beispiel auf EU-Ebene ist die TERM-Initiative⁵, welche die Verkehrsentwicklung in den EU-Mitgliedstaaten anhand von 31 Nachhaltigkeitsindikatoren verfolgt mit dem Ziel, Ansatzpunkte für politische Massnahmen aufzuzeigen und die Gesellschaft umfassend über die Verkehrsentwicklung und deren Auswirkungen zu informieren.

⁴ Vgl. z.B. Metron 2000

⁵ TERM: Transport and Environment Reporting Mechanism. Vgl. EEA 2000



Figur 1: Darstellung der Auswirkungen verschiedener Massnahmen anhand der „Nachhaltigkeitsrose“ (illustratives Beispiel). Für jeden Indikator wird die nachhaltige Entwicklungsrichtung angegeben. Eine Entwicklung der Indikatorwerte weg vom Zentrum („Aufblühen der Rose“) bedeutet einen Schritt in Richtung Nachhaltigkeit.

Die Frage einer systematischen und kontinuierlichen Nachhaltigkeitsevaluation der Verkehrspolitik wurde auch im NFP 41 thematisiert: Die Forscher des Projektes C6 schlagen vor, die bundesrätliche Legislaturplanung neu auf ein umfassendes System von Nachhaltigkeitskriterien und Indikatoren abzustützen, welches auch den Verkehrsbereich abdecken würde (vgl. Abschnitt 2.3).

Die Konsensfindung bezüglich der „richtigen“ Indikatoren wird in diesem Prozess eine grosse Herausforderung darstellen. Verschiedene Projekte des NFP 41 haben Indikatorenvorschläge des Projektes C5 weiterentwickelt. Projekt C7 definierte zusätzliche Indikatoren zur Messung des Zugangs zu Freizeiteinrichtungen für Jugendliche und zu Einrichtungen des täglichen Bedarfs, sowie Indikatoren für den Schutz von Kindern vor Verkehrsunfällen. Das Projekt A11 hat sich ausschliesslich mit der Messung der Erreichbarkeit von Regionen befasst. Das Projekt D10 untersuchte neue Möglichkeiten zur Messung des Verkehrsnutzens.⁶

Box 1: Projekt C5: Nachhaltigkeit – Kriterien im Verkehr

Im Projekt C5 wurde ein praktisch anwendbares Set von Nachhaltigkeitskriterien und –indikatoren für den Verkehr erarbeitet. Ziel war einerseits die Anwendbarkeit auf Bundesebene, z.B. im Rahmen einer Konkretisierung der bundesrätlichen Nachhaltigkeitsziele. Andererseits sollte die Arbeit auch eine Grundlage für die Diskussion innerhalb des NFP 41 liefern und zur Stärkung des Nachhaltigkeitsaspektes in den übrigen Forschungsprojekten beitragen.

Ausgehend von der Brundtland-Definition (vgl. Haupttext) und den wesentlichen Sichtweisen einer nachhaltigen Entwicklung definierte das Forschungsteam 13 Kriterien, mit denen die für den Verkehr kritischsten Aspekte der Nachhaltigkeit eingefangen werden. In einem weiteren Schritt wurden den Kriterien messbare Indikatoren zugeordnet (vgl. Figur 2). Dabei wurde auf folgende Punkte geachtet:

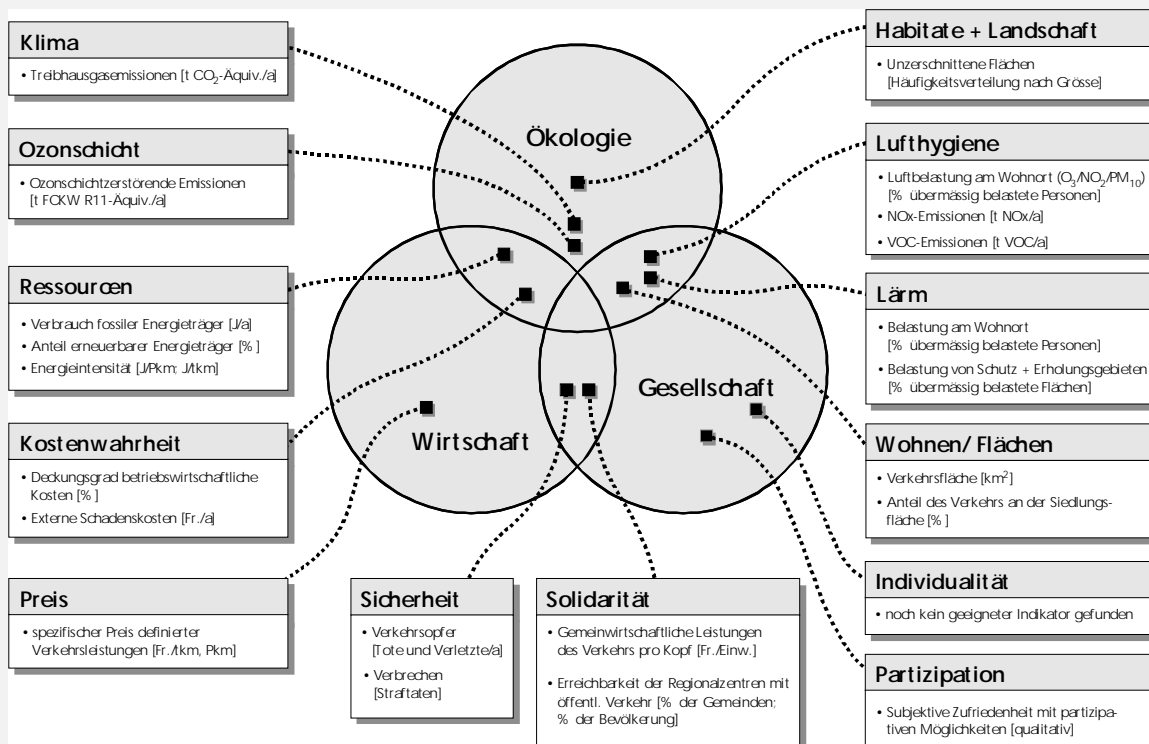
⁶ Vgl. die Schlussberichte A11, C7, D10 sowie die Modulsynthesen A und D.

- Die Kriterien müssen einen klaren Bezug zur Nachhaltigkeit haben. Das System soll übersichtlich sein und nicht die ganze Verkehrsstatistik duplizieren.
- Die Indikatoren sollen sich zur Festlegung sinnvoller Qualitätsziele, wenn möglich in quantitativer Form, eignen.

Entsprechend wurde z.B. das Kriterium „Beschäftigung“ verworfen, da es volkswirtschaftlich nicht sinnvoll ist, eine möglichst hohe Beschäftigung im Verkehr zu postulieren. Bei der Beurteilung eines Einzelprojekts kann dessen Bedeutung für eine florierende Wirtschaft und Beschäftigung hingegen durchaus ein wichtiges Kriterium darstellen. Auf einen Indikator für die Verkehrsleistung wurde verzichtet, weil die Reduktion der Verkehrsleistung nicht das eigentliche Ziel der Nachhaltigkeit ist. Auch die Ebene der Massnahmen zur Verwirklichung eines nachhaltigen Verkehrssystems (Response-Ebene) wurde ausgeklammert.

Im ökologischen Bereich konnte das Forschungsteam auf guten Datengrundlagen aufbauen; entsprechend handelt es sich bei diesen Kriterien und Indikatoren meist um bekannte Grössen. Innovativ sind besonders die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Indikatoren:

Beim Kriterium „Kostenwahrheit“ bilden die externen (also nicht vom Verursacher getragenen) Schadenskosten und der Deckungsgrad der betriebswirtschaftlichen Kosten je einen Indikator. Damit wird deutlich, dass umfassende Kostenwahrheit eine zwar notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für Nachhaltigkeit ist.



Figur 2: Kriterien und Indikatoren für die Nachhaltigkeit des Verkehrs.
Quelle: Ernst Basler + Partner 1998

Als wichtiger wirtschaftlicher Indikator wurde der Preis für ein Paket von definierten Verkehrsleistungen vorgeschlagen. Aus wirtschaftlicher Sicht soll der Preis des „Produktionsfaktors Transport“ möglichst tief sein, weil dies der Wertschöpfung und dem Wirtschaftswachstum zuträglich ist. Bedingung ist allerdings, dass die Preise die volkswirtschaftliche Effizienz des Transports richtig messen und z.B. keine Kosten auf die Allgemeinheit überwälzt („externalisiert“) werden. Entsprechend schlägt das Forschungsteam einen korrigierten („kostenwahren“) Preisindikator vor, bei dem normale Steuern subtrahiert und externe Kosten addiert werden.

„Solidarität“ wurde vor allem regional verstanden und mit zwei Indikatoren konkretisiert: den gemeinschaftlichen Leistungen (d.h. den im Voraus entrichteten Defizit-Abgeltungen der öffentlichen Hand für bestellte Verkehrsleistungen) sowie dem Anteil der Bevölkerung, der mit öffentlichen Verkehrsmitteln in 45 Minuten ein Regionalzentrum erreichen kann. Zusammen decken diese zwei Indikatoren die Zielsetzung des Bundes ab, den Zugang zu Menschen, Gütern und Dienstleistungen flächendeckend und möglichst kostengünstig zu gewährleisten.

Soweit es die naturwissenschaftlichen, ökonomischen und politischen Grundlagen erlaubten, ermittelte das Forschungsteam Zielwerte für die einzelnen Indikatoren und zeigte auf, wo heute der dringendste Handlungsbedarf besteht. Als besonders kritisch werden die CO₂-Emissionen des Verkehrs gewertet; hier wird eine Reduktion um langfristig 60–80% als nötig erachtet. Auch bezüglich Luftschadstoffen, Energieverbrauch und Kostenwahrheit orten die Forschenden einen grossen Handlungsbedarf.

Das Projekt C5 hat einige Fragen aufgeworfen. So sind die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kriterien und Indikatoren aufgrund der Neuartigkeit der Thematik noch unvollständig und müssen in weiteren Forschungsarbeiten ergänzt und vertieft werden. Weiter stellt sich die Frage, wie weit für einen einzelnen Sektor wie den Verkehr überhaupt sinnvolle Zielwerte definiert werden können. Welchen Beitrag soll beispielsweise der Verkehr generell, oder der Luftverkehr im besonderen, zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten? Hier eröffnet sich ein zentrales Feld für weitere Forschungsarbeiten, vor allem aber für einen intensiven politischen Diskurs.

2.3 Nachhaltigkeit prüfen

Für die nachhaltige Entwicklung des Verkehrs ist es von hervorragender Bedeutung, dass Grossprojekte und Strategien vor ihrer Realisierung umfassend und fundiert beurteilt werden. Es gilt sicherzustellen, dass langlebige Infrastrukturprojekte wie z.B. AlpTransit oder die Swissmetro die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems fördern. Aus diesem Grund wird heute vermehrt die Idee eines Instrumentes „Nachhaltigkeitsprüfung“ geäussert. Dem steht der Wunsch nach einer Vereinfachung und Beschleunigung der amtlichen Planungs- und Bewilligungsverfahren gegenüber.

Das Projekt C6 hat sich mit der Möglichkeit einer instrumentalisierten Nachhaltigkeitsbeurteilung befasst. Konkret wurde untersucht, wie weit die bestehenden Planungs-, Beurteilungs- und Prüfinstrumente des Bundes heute Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigen, und wie allenfalls eine sinnvolle Neukonzeption dieser Verfahren aussehen würde. Dabei stützten sich die Forscher insbesondere auf drei Fallbeispiele ab (vgl. Box 2).

Die Forscher kommen zum Schluss, dass die Einführung zusätzlicher Instrumente, wie z.B. der im Ausland teilweise verankerten *Strategischen Umweltprüfung (SUP)* oder einer *Nachhaltigkeitsprüfung*, in der Schweiz nicht nötig ist. Vielmehr soll das bestehende Instrument der *Zweckmässigkeitsprüfung (ZMP)* gestärkt und in Richtung einer Nachhaltigkeitsprüfung weiterentwickelt werden. Die ZMP ist darauf ausgelegt, Projekte verschiedenster Art einer umfassenden Beurteilung zu unterziehen. Die Kernideen der Nachhaltigkeit können bestens in die ZMP integriert werden, indem ökologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Beurteilungskriterien berücksichtigt werden. Die Anliegen der SUP können im Rahmen einer Aufwertung der bestehenden *Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)* erster Stufe erfüllt wer-

den. Dabei soll auch die Koordination der UVP mit den anderen Instrumenten verbessert und ihr Anwendungsbereich ausgedehnt werden.

Zusätzlich schlagen die Forscher vor, das Raumplanungsinstrument *Konzept und Sachplan* (K+S) zu stärken. Dessen Stärke liegt in der institutionalisierten Gesamtschau auf alle Anlagen eines Sachbereichs in der Schweiz. K+S bilden die zentrale Nahtstelle zwischen den strategisch-konzeptionell ausgerichteten Sachbereichspolitiken und deren konkreter, planerischer Umsetzung in Massnahmen und Projekte. Weiter empfehlen die Forscher, die bundesrätliche *Legislaturplanung* sowie die übrigen Instrumente auf ein möglichst einheitliches Set von Nachhaltigkeitskriterien und Indikatoren auszurichten und die Instrumente auch verfahrensmässig besser aufeinander abzustimmen.

Aus Umweltsicht sind diese Empfehlungen bedeutend, weil sie auf eine differenzierte, konsistente und vor allem frühzeitige Beurteilung und Gewichtung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen von Verkehrsprojekten und –strategien abzielen. Damit soll verhindert werden, dass verkehrserzeugende Infrastruktur aus einer einseitigen Optik heraus oder im Widerspruch zu den übergeordneten politischen Zielen erstellt wird.

Box 2: Projekt C6: Nachhaltigkeitsbeurteilung von Projekten und Strategien

Das Projekt C6 untersuchte, inwieweit Planungs-, Beurteilungs- und Prüfinstrumente dazu geeignet sind, Nachhaltigkeitskriterien in Strategien, Planungen und Projekte einzubringen. Als Grundlage diente das im Projekt C5 erarbeitete Set von Nachhaltigkeitskriterien und –indikatoren. Das Forscherteam erörterte neuartige Instrumente wie die strategische UVP und das Technology Assessment. Schwergewichtig wurden aber zwei bestehende Planungsinstrumente (bundesrätliche *Legislaturplanung* sowie *Konzept und Sachplan*) und zwei Prüfinstrumente (Zweckmässigkeitsprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung) untersucht. Drei Fallbeispiele wurden vertieft analysiert:

- die *Legislaturplanung* 1995–99
- der *Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt*
- das Projekt *AlpTransit*

Die **Legislaturplanung** ist eine Agenda für den Bundesrat, die auf der Basis der aktuellen Herausforderungen des Staates prioritäre Ziele und Massnahmen für Regierung und Verwaltung definiert. Das Instrument setzt auf übergeordneter Ebene an. Mit ihm kann die bundesrätliche Nachhaltigkeitsstrategie in konkrete politische Handlungsziele umgesetzt werden. Die Empfehlungen der Forscher zielen darauf ab, diese Handlungsziele und die dafür getroffenen Massnahmen systematischer auf die Nachhaltigkeit auszurichten. Zu diesem Zweck soll der Bund ein System von Nachhaltigkeitskriterien, Indikatoren und Zielwerten erarbeiten, an dem politische Handlungsziele und Massnahmen regelmässig gemessen und optimiert werden können.

Die **Konzepte und Sachpläne** (K+S) zielen auf eine umfassende Planung und Koordination der raumwirksamen Bundestätigkeiten ab. Sie werden für einzelne Sachbereiche erstellt, regelmässig nachgeführt und periodisch einer Bilanz unterzogen. K+S sind eher strategisch ausgerichtet und bieten Gelegenheit, um die Planungs- und Vollzugstätigkeiten des Bundes und der Kantone in einer Synthese zu vereinen. Zur Weiterentwicklung empfehlen die Forscher, das Instrument über Raumordnungsfragen hinaus auszuweiten, indem weitere Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt werden. So sollen K+S für die Nachhaltigkeit wesentliche Kriterien wie z.B. CO₂ aufgreifen, auch wenn sie als Raumplanungsinstrumente die entsprechenden Zielkonflikte nicht alleine lösen können. Zudem soll die Abwägung zwischen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Interessen transparenter gestaltet werden, was auch umfassendere Variantenanalysen erfordert.

Ziel der **Zweckmässigkeitsprüfung** (ZMP) ist es, den politischen Entscheidungsträgern einen Gesamtüberblick über die Konsequenzen eines Projektentscheides und einen Vergleich zu anderen Handlungsmöglichkeiten zu geben, indem die entscheidenden Argumente übersichtlich dargelegt werden. Ihre Stärke liegt in der breiten Sicht bezüglich Beurteilungskriterien. Gestützt auf die ZMP zum Projekt AlpTransit schliessen die Forscher, dass die ZMP zu einer Gesamtbeurteilung im Sinne der Nachhaltigkeit weiterentwickelt werden kann. Zur Verbesserung sollte die ZMP rechtlich besser verankert und ihr Einsatz besser geregelt werden. Zudem wird die Aufteilung in eine ZMP erster und zweiter Stufe vorgeschlagen. Der Katalog der Beurteilungskriterien ist aus Sicht Nachhaltigkeit zu vervollständigen, und die Interessenabwägung ist bezüglich Methodik und Partizipation zu klären. Eine Umbenennung in *Nachhaltigkeitsprüfung* ist erwägenswert.

Die **Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVP) klärt ab, ob ein Projekt den rechtlichen Vorschriften über den Schutz der Umwelt genügt. Die UVP kann die Anforderungen der Nachhaltigkeit definitionsgemäss nur beschränkt erfüllen, da sie sich auf den Umweltaspekt beschränkt. Die Forscher empfehlen, die UVP besser auf die ZMP abzustimmen. Für Grossprojekte soll die UVP 1. Stufe bezüglich Vorgehen, Inhalt und Verbindlichkeit besser geregelt werden. So könnte die UVP 1. Stufe einerseits die Rolle einer strategischen UVP in konsistenter Weise erfüllen und andererseits als massgeschneiderte Zuarbeit zur ZMP 1. Stufe dienen.

Das Projekt C6 hat unter anderem einige Vorschläge wieder aufgenommen, die bereits vor 10 Jahren geäussert wurden (Güller 1991). Mit dem Erfahrungsschatz der drei Fallbeispiele konnten die Vorschläge noch besser abgestützt werden. Damit stehen nun fundierte Empfehlungen für eine Weiterentwicklung der Planungs- und Beurteilungsverfahren des Bundes im Raum, die es aufzugreifen und zu verfeinern gilt.

2.4 Nachhaltigkeit verwirklichen

Die Analyse der verkehrspolitischen Praxis der letzten Jahre zeigt, dass ökologische Nachhaltigkeitsziele häufig nicht umgesetzt werden konnten, weil wirtschaftliche oder gesellschaftliche Ziele höher gewichtet wurden als die ökologischen Anliegen. Es kann im Rahmen dieser Arbeit nicht darum gehen, die Gründe für diese Entwicklung auszuleuchten. Hingegen stellt sich zwangsläufig die Frage, wie zukünftig mit den häufigen Interessenkonflikten zwischen ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Zielen umgegangen werden soll. Und noch pointierter gefragt: Soll sich die Wissenschaft überhaupt systematisch mit diesem Thema beschäftigen, oder ist die Interessenabwägung der politischen Praxis zu überlassen?

2.4.1 Interessenabwägung als Forschungsgebiet

In verkehrspolitischen Entscheidungsprozessen und rechtlichen Verfahren gehört die Auseinandersetzung mit Interessenkonflikten zum Alltag. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Interessenabwägung – bezogen auf die umfassende Nachhaltigkeitsproblematik – aber noch wenig untersucht. Dies gilt z.B. für die Frage, ob und inwieweit die bestehenden Bewertungsmethoden wie z.B. die Kosten/Nutzen-Analyse und die Nutzwertanalyse auf die Nachhaltigkeit angewendet werden können. Zur Debatte steht aber auch, wie weit die Verwirklichung nachhaltiger Lösungen an Experten und Behörden delegiert werden kann, und welchen Stellenwert neuartige partizipative Verfahren wie z.B. Bürgerforen und Konsensuskonferenzen einnehmen sollen.

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, hat das NFP 41 wichtige instrumentelle Grundlagen für die Interessenabwägung geliefert. Dazu zählt das C5-Set von Nachhaltigkeitskriterien und Indikatoren, welches die Offenlegung relevanter Zielkonflikte erlaubt. Dazu zählt weiter die Analyse zur Frage, wie weit sich bestehende Beurteilungs- und Prüfverfahren wie die Zweckmässigkeitsprüfung oder die Umweltverträglichkeitsprüfung zur Gewährleistung einer nachhaltigen Entwicklung im Verkehrsbereich eignen.

Bei diesen Projekten kam aber auch klar zum Ausdruck, dass die Forschung keine pflanzenfertigen Rezepte für die Realisierung von Nachhaltigkeit liefern kann. Dies beginnt bereits bei der Wahl von Kriterien und Indikatoren, welche – namentlich in den Bereichen Wirtschaft und Gesellschaft – nicht „wissenschaftlich eindeutig“ hergeleitet werden können. Noch deutlicher wird dies bei der Herleitung von Zielwerten, welche per Definition Wertungen beinhalten, also subjektiv sind (z.B. „Wie viel Zugang zu Menschen, Gütern und Dienstleistungen brauchen wir?“). Am ausgeprägtesten ist die Wertbehaftheit bei der Interessenabwägung, d.h. bei der Gewichtung verschiedener Anliegen im Einzelfall, da hier die individuelle Situation der involvierten Akteure berücksichtigt werden muss.

Der Beitrag der Forschung liegt somit nicht in der „objektiven“ Lösung konkreter Entscheidungsprobleme. Hingegen kann die Forschung methodische Grundlagen für die Abwicklung von Entscheidungsprozessen liefern. Vorerst kann sie die entscheidenden Elemente, Merkmale und Mechanismen solcher Prozesse identifizieren. In einem nächsten Schritt kann sie Qualitätsmerkmale von Entscheidungsprozessen sowie Möglichkeiten zur Qualitätsverbesserungen aufzeigen. Qualitäten sind dabei nicht Objektivität in der Sache, sondern Aspekte wie Transparenz, Konsistenz, Nachvollziehbarkeit, Differenziertheit, Vollständigkeit der Grundlagen, aber auch Grad und Form der Beteiligung der Akteure oder Qualität der Argumentation in den entsprechenden Prozessen (Beispiel: argumentative Ethik).

Methodische Konzepte wie die Entscheidungstheorie oder das Risikomanagement sind darauf ausgerichtet, solche Qualitäten zu fördern und damit den Konsens in der Sache über den Konsens bzgl. des Entscheidungsprozesses zu unterstützen. Bei der oft gewünschten „Versachlichung der Diskussion“ geht es meist genau darum – viel eher als um die Elimination subjektiver Aspekte, welche natürlicher und zwingender Bestandteil gesellschaftlicher Entscheidungsprozesse sind. Das Konzept des Risikomanagements befasst sich dabei im Speziellen mit dem Umgang mit Unsicherheiten; eine Problematik, welche in der langfristig ausgerichteten Nachhaltigkeitsdiskussion naturgemäss grosse Bedeutung hat.

Als Folgerung drängt sich auf, dass Forschung und verkehrspolitische Praxis die Umsetzung der Nachhaltigkeit gemeinsam und iterativ vorantreiben müssen. Forschungsergebnisse müssen den Weg in die Praxis finden, und praktische Erkenntnisse in die Forschung zurückgespielen werden. Im NFP 41 wurde dieser Prozess mit vielfältigen Massnahmen zur Umsetzung der Forschungsergebnisse aktiv gefördert.

2.4.2 Interessenabwägung in der verkehrspolitischen Praxis

Im Dezember 1999 hat das Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eine Departementsstrategie verabschiedet, die explizit auf den Grundsätzen der Nachhaltigkeit basiert. Diese Strategie geht von den bestehenden Grundlagen und Konzepten aus; sie integriert aber auch die neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse des NFP 41. Für den Verkehrsbereich werden die in Box 3 gezeigten, generellen Ziele definiert.

Box 3: Sachziele Verkehr der Departementsstrategie UVEK

Nachhaltigkeit im Verkehrsbereich bedeutet im Einzelnen:

Ökologische Nachhaltigkeit

- Die Senkung folgender Umweltbelastungen auf ein langfristig unbedenkliches Niveau:
 - Luftschadstoffe und Beeinträchtigung des Klimas
 - Lärm
 - Bodenverbrauch
 - Belastung von Landschaften und Lebensräumen
- Die Senkung des Energieverbrauchs, insbesondere der nicht-erneuerbaren Energien

Wirtschaftliche Nachhaltigkeit

- Die Bereitstellung einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur
- Die effiziente Leistungserbringung und Förderung des Wettbewerbs
- Die Erhöhung der Eigenwirtschaftlichkeit des Verkehrs (unter Einschluss der externen Kosten)
- Die optimale Nutzung der vorhandenen Infrastruktur
- Wettbewerbsfähige Verkehrsunternehmen

Soziale Nachhaltigkeit

- Eine landesweite Grundversorgung (Service public)
- Die Rücksichtnahme auf Menschen, die einen erschwerten Zugang zum Verkehr haben
- Den Schutz von Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen und die Reduktion der Zahl der Unfälle
- Sozialverträgliches Verhalten der Verkehrsunternehmen

Diese Nachhaltigkeitspostulate für den Verkehrsbereich sind ein bedeutender Schritt in Richtung Konkretisierung der Nachhaltigkeit. Um die Zielerreichung überprüfen zu können, müssen aber weitere Konkretisierungsschritte folgen, beispielsweise die Bestimmung messbarer Indikatoren und die Festlegung von Zielwerten.

Interessant ist, dass das UVEK erstmals eine Regel zum Umgang mit Zielkonflikten und zur Interessenabwägung formuliert hat:

„Diese Abwägung darf nicht systematisch zu Lasten des gleichen Schlüsselfaktors gehen und muss die rechtlichen Mindestanforderungen und die Belastbarkeit der Biosphäre respektieren“.

Mit dieser Formulierung werden die rechtlichen Mindestanforderungen ausdrücklich anerkannt. Zudem wird zum Ausdruck gebracht, dass der Ökologie dort eine besondere Bedeutung zukommt, wo es um die langfristige Sicherung der natürlichen Existenzgrundlagen geht.⁷ Aus ökologischer Sichtweise ist diese Regel zu begrüßen, weil sie der besonderen Bedeutung der Ökologie Rechnung trägt. Auch hier sind aber weitere Konkretisierungen notwendig. Wie soll z.B. mit der Tatsache umgegangen werden, dass sich die Belastbarkeit der Biosphäre häufig nicht exakt definieren lässt, weil die naturwissenschaftliche Forschung nicht in der Lage ist, eindeutige Grenzen zu definieren?

Hier könnten die erwähnten Methoden der Entscheidungstheorie und des Risikomanagement Unterstützung bieten. Zu nennen ist beispielsweise der Ansatz der Risikoaversion, der im Zusammenhang mit sehr unwahrscheinlichen, aber sehr gravierenden Katastrophenpotenzialen Verwendung findet. Dabei werden Schadenauswirkungen mit existenzieller Bedeutung besonders stark gewichtet. Damit verbunden ist der Grad der Irreversibilität von Schäden: Unwiederbringliche Verluste, wie sie z.B. bei tropischen Korallenriffen als Folge der Klimaerwärmung befürchtet werden, müssen unter allen Umständen vermieden werden.

2.4.3 Ausgestaltung von Massnahmen und Massnahmenbündeln

Neben der Zielformulierung und Interessenabwägung zwischen konfligierenden Zielen stellt sich bei der Verwirklichung der Nachhaltigkeit auch die Frage der optimalen Ausgestaltung der Massnahmen. Das UVEK stellt in seiner Strategie dazu die folgenden Grundsätze auf:

„Das UVEK orientiert sich beim Umweltschutz an folgenden Prioritäten:

- 1. Massnahmen, die auf Freiwilligkeit beruhen*
- 2. Massnahmen, die Anreize zu einem umweltfreundlichen Verhalten schaffen, dem Verursacherprinzip folgen und präventive Wirkung haben*
- 3. Gebote und Verbote (wobei darauf zu achten ist, dass diese möglichst einfach umgesetzt und angewendet werden können)“*

Diese Priorisierung wird von manchen Forschern kritisiert. So stellt Spillmann (2000) fest, dass freiwillige Massnahmen in der Vergangenheit wenig wirksam waren, griffigere Massnahmen verhinderten und damit letztlich zur Verschwendung wertvoller Zeit bei der Bekämpfung von Umweltproblemen führten. Als Alternative schlägt Spillmann eine systematische Evaluation aller möglichen Massnahmen bezüglich Wirkung und Kosten vor. Basierend auf diesen Wirkungsanalysen kann eine Mischung von Massnahmen abgeleitet werden, die den formulierten Zielen möglichst gut Rechnung trägt. Bei der Zusammensetzung und Ausgestaltung der Massnahmen wird die Abwägung zwischen Effizienz- und Gerechtigkeitskriterien und die Suche nach politisch mehrheitsfähigen Lösungen eine besondere Herausforderung darstellen.

⁷ Vgl. Spillmann 2000, p.195

Schliesslich darf bei aller Interessenabwägung und Massnahmenpriorisierung nicht vergessen gehen, dass der Verkehr heute vor allem im Umweltbereich unnachhaltig ist. Dies anerkennt auch die OECD-Verwaltung, welche ein umfangreiches Forschungsprojekt bewusst unter den Titel des nachhaltig *umweltverträglichen* Verkehrs gestellt hat (vgl. Box 4).

Box 4: Environmentally Sustainable Transport: Ein wegweisendes Forschungsprojekt der OECD

Die Umweltdirektion der OECD befasst sich seit vielen Jahren mit den Themen Verkehr und Umwelt. Aus der Erkenntnis heraus, dass konventionelle Politikansätze zur Minderung der unerwünschten Verkehrswirkungen zunehmend an ihre Grenzen stossen, wurde 1995 das Projekt *Environmentally Sustainable Transport (EST)* gestartet. Das EST-Projekt will Grundlagen für einen neuen Politikansatz liefern, der Umweltsorgen gleichrangig neben andere Politikziele stellt. Insbesondere soll geklärt werden, was unter dem Begriff „EST“ (ökologisch nachhaltiger, d.h. umweltverträglicher Verkehr) zu verstehen ist und welches die Anforderungen für eine Verwirklichung sind. Die Erreichbarkeit von EST und die dafür notwendigen Strategien und Instrumente werden mittels langfristiger Szenarien untersucht. Das EST-Projekt umfasst vier Phasen:

- In Phase 1 wurden eine qualitative Definition und quantitative Kriterien (Zielwerte) für EST entwickelt. Zudem wurde der Stand der Diskussion und Politik in den OECD-Mitgliedstaaten untersucht.
- In Phase 2 bestimmten die Forschenden die sich abzeichnende Ziellücke zwischen den gegenwärtigen Verkehrstrends und den EST-Kriterien in einem *business-as-usual* Szenario für das Jahr 2030. Anhand dreier weiterer Szenarien steckten sie das Feld möglicher Massnahmen ab, mit denen die Ziele von EST erreicht werden könnten.
- In der nun anstehenden Phase 3 sollen optimale Massnahmenbündel zur Erfüllung der EST-Ziele definiert werden. Zudem werden die ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Szenarien vertieft.
- Phase 4 schliesslich sieht die Überprüfung der EST-Kriterien und die Ausarbeitung von Richtlinien für umweltverträglichen Verkehr zuhanden der Politik vor.

OECD-EST ist in verschiedener Hinsicht ein wegweisendes Forschungsprojekt und hat bereits zum heutigen Zeitpunkt wichtige Ergebnisse geliefert. Als eines der Ersten versuchte das Projekt den Begriff des nachhaltigen Verkehrs zu konkretisieren. Die qualitative Definition von EST betont die ökologischen Aspekte der Nachhaltigkeit:⁸

Transportation that does not endanger public health or ecosystems and meets needs for access consistent with (a) use of renewable resources at below their rates of regeneration, and (b) use of non-renewable resources at below the rates of development of renewable substitutes.

Auch die Zielwerte für die EST-Kriterien CO₂, NO_x, VOC, PM₁₀, Lärm und Bodenverbrauch sind einschneidend (vgl. die betreffenden Abschnitte im Kapitel 3 des Haupttexts). Daneben hat die OECD aber mit den an einer Konferenz in Vancouver erarbeiteten Prinzipien für nachhaltigen Verkehr betont, dass sie die ökonomische und soziale Dimension des Verkehrs nicht vernachlässigen will. Deren Titel lauten:⁹ 1. Zugang / Erreichbarkeit; 2. Gleichheit / Gerechtigkeit; 3. Persönliche und gemeinsame Verantwortung; 4. Gesundheit und Sicherheit; 5. Demokratie, Erziehung und Partizipation; 6. Integrierte Planung; 7. Boden- und Ressourcenverbrauch; 8. Emissionsvermeidung und Umwelterhaltung; 9. Ökonomische Wohlfahrt und Kostenwahrheit.

Bemerkenswert ist das EST-Projekt auch wegen seiner Grösse und Internationalität: Sechs Expertenteams aus acht Ländern bearbeiten sechs geografisch abgegrenzte Fallstudien für die folgenden Regionen: Schweden, Holland, Deutschland, den Quebec-Windsor Korridor in Kanada, die Oslo-Region

⁸ OECD 1996, p.53

⁹ OECD 1997a

und die Alpenregion mit Teilen von Frankreich, Österreich und der Schweiz. Angesichts der grenzüberschreitenden Natur vieler Umwelt- und Verkehrsprobleme erscheint dieser umfassende Ansatz vielversprechend.

Zentral und innovativ am EST-Projekt ist die Verwendung des *Backcasting-Ansatzes*: Statt die zukünftige Verkehrsentwicklung als gegeben anzunehmen und in einer Optimierungsübung Entlastungsmöglichkeiten für die Umwelt zu suchen, gehen die Forschenden von den ökologischen Randbedingungen für ein nachhaltiges Verkehrssystem aus und untersuchen anhand der EST-Szenarien, wie die gesteckten Ziele erfüllt werden können. Ein möglicher Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass aktuelle politische Zwänge nicht von Beginn weg im Vordergrund stehen und das Spektrum möglicher Lösungen erweitert wird. Tatsächlich hat die Fallstudie für die Alpenregion¹⁰ in zwei Extremszenarien „Technologie“ und „Mengenbeschränkung“ sowie einem Mittelszenario aufgezeigt, dass die EST-Ziele auch in der Schweiz theoretisch erreichbar sind. Ob es in der nächsten Phase auch gelingt, entsprechende, politisch tragfähige Massnahmenpakete auszuarbeiten – darauf warten wir gespannt. So oder so wird das EST-Projekt erheblich zum Verständnis der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Implikationen verschiedener Massnahmen im Verkehrsbereich beitragen.

2.5 Zwischenfazit zur Nachhaltigkeit

Die vorstehenden Abschnitte haben den Stand des Nachhaltigkeitskonzepts im Verkehrsbereich aufgezeigt. Dank dem NFP 41 hat die Nachhaltigkeit ihre Aura der ebenso wohlmeinenden wie wolkigen Utopie abgelegt und sich in Richtung eines praktisch anwendbaren Konzeptes entwickelt – auch wenn, wie angesprochen, durchaus noch Verfeinerungsbedarf verbleibt.

Der entscheidende Vorteil des Nachhaltigkeitskonzepts liegt in der Offenlegung und grundsätzlichen Gleichberechtigung aller involvierter Interessen: Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, Nord und Süd, heutige und zukünftige Generationen. Für das Abwägen zwischen diesen Interessen im Konfliktfall liefert die Nachhaltigkeit instrumentelle Grundlagen, aber keine fertigen Rezepte. Die Interessenabwägung bleibt ihrer Natur nach ein politischer Entscheidprozess.

Die Betrachtungen zur Nachhaltigkeit legen nahe, dass verkehrspolitische Entscheide in Zukunft noch verstärkt unter Kenntnis und angemessener Berücksichtigung aller Folgen und Risiken – auch der langfristigen ökologischen – getroffen werden müssen. Schliesslich drohen, z.B. als Folge der globalen Klimaerwärmung, irreversible ökologische Schäden. Die vorliegende Synthese will dazu eine Grundlage aus Sicht der Umwelt liefern, die es mit wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Betrachtungen zu ergänzen gilt. In diesem Sinne: Vorhang auf für eine aktuelle Umweltbilanz des Verkehrs sowie einen Überblick über mögliche Handlungsansätze.

¹⁰ Vgl. den Synthesebericht zur Phase II der Fallstudie „Alpenregion“: TRAFICO et al. 1999

3 Umweltbilanz des Verkehrs: Problem gelöst?

3.1 Einstieg

Die Erkenntnis, dass Mobilität schädliche und lästige Nebenwirkungen mit sich bringt, ist wohl ähnlich alt wie das Verlangen des Menschen nach müheloser Fortbewegung. So kommentierte Arthur Schopenhauer (1788–1860) die Erfindung des Kautschukrades für die Eisenbahn wie folgt – notabene, nachdem die Preussische Akademie Sir Richard Dunlop für ebendiese Erfindung ausgezeichnet hatte:

„Wer könnte leugnen, dass niemand etwas den Sinnen Qualvolleres als die Eisenbahn hervorgebracht hat, die mit ihrem Rammeln nicht nur ein geistloser Lärmerzeuger ist, sondern auch freigiebig Russ absondert? In der Tat ist die Eisenbahn schon in ihrer jetzigen Form eines der übelsten Dinge, und die Vorstellung, dass sie bald von jeder Fessel befreit über das Pflaster stampfe, ist unerträglich. Nicht nur, dass Lärm und Gestank sich ver Hundertfachen werden; nicht nur, dass sich die Anzahl der unter den Rädern des entfesselten Ungeheims zerquetschten Spaziergänger und Tiere ins Dutzendfache steigern wird, Russ den Himmel, Unrat die Erde verunstalten wird, sondern auch die schlimmste Unsitte dieses Zeitalters, das Reisen, wird zur allgemeinen Raserei getrieben.“

Auch heute, 150 Jahre später, fällt die Würdigung der Segnungen der motorisierten Mobilität zwiespältig aus. Verkehr ist nach wie vor umweltbelastend, und neben den von Schopenhauer beklagten Lärm- und Russabsonderungen haben sich eine Vielzahl weiterer unerwünschter Umweltwirkungen manifestiert. Folgende Aspekte stehen heute im Vordergrund:

- Beitrag zur Erwärmung des globalen Klimas, v.a. über Kohlendioxid (CO₂)
- Emissionen verschiedener Luftschadstoffe, z.B. Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (PM₁₀)
- Lärmbelastung und Erschütterungen
- Flächenverbrauch, Trennwirkung der Verkehrsinfrastruktur, Eingriffe ins Landschaftsbild
- Energieverbrauch
- Unfälle (oft auch zu den gesellschaftlichen Verkehrsproblemen gezählt)

Daneben belastet der Verkehr die Umwelt direkt oder indirekt in verschiedenster Weise; angefangen beim Streusalz über die Emission von Schwermetallen bis hin zu ozonschichtschädigenden Emissionen aus Klimaanlage und der Produktion von Bahnstrom in Atomkraftwerken. Viele dieser letzteren Belastungen liegen nach heutiger Beurteilung im Rahmen des Umweltverträglichen, doch das muss nicht zwingend so bleiben. So stellt etwa Becker (1997) fest: „Da viele Umwelteffekte mit Zeitverzögerung auftreten [...], darf vermutet werden, dass auch heute noch unbekannt oder nicht für wichtig gehaltene Langzeitwirkungen unseres Verkehrssystems auf die Umwelt auftreten werden“. Demzufolge kann eine Liste der „wesentlichen“ Umweltwirkungen des Verkehrs keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder bleibende Gültigkeit erheben.

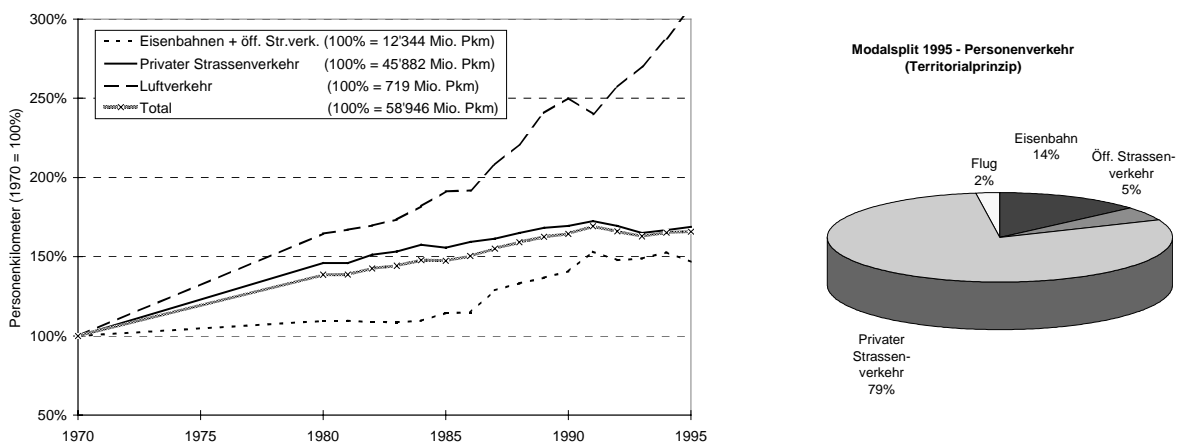
Trotzdem muss sich die vorliegende Teilsynthese natürlich auf die heute drängendsten Probleme des Verkehrs beschränken. In diesem Kapitel stellen wir das Ausmass dieser Umweltwirkungen dar, sprechen einige Trends der letzten Jahre an und schätzen ab, wie sich die Umweltbilanz des Verkehrs in den nächsten Jahrzehnten entwickeln wird, wenn nicht zusätzliche Massnahmen getroffen werden. Zudem fassen wir den Stand der Diskussion bezüglich ökologischer Zielwerte zusammen, um aufzuzeigen, wo nach heutiger Erkenntnis die Grenzen für einen umweltverträglichen Verkehr liegen. Dabei bauen wir vor allem auf den Resultaten der Projekte C5 und C7 auf, in denen die Fragen der Zielwerte und des Handlungsbedarfs für den Verkehr vertieft untersucht wurden.

3.2 Ausgangspunkt Verkehrswachstum

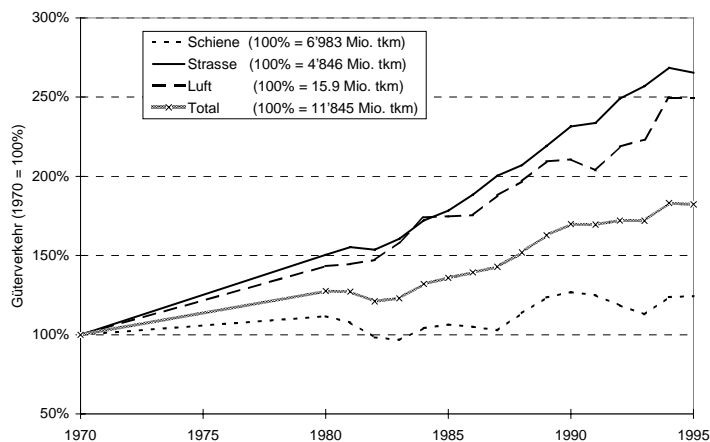
Vergangene Entwicklung

Die folgenden Figuren illustrieren die Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten. Die gesamte Personenverkehrsleistung ist seit 1970 um zwei Drittel gestiegen. Der Luftverkehr wies dabei mit Abstand die höchste Wachstumsrate auf, doch sein Anteil an der Personenverkehrsleistung erscheint heute noch gering, wenn nur die in der Schweiz zurückgelegten Kilometer betrachtet werden. Die relativen Anteile der Verkehrsträger (Modalsplit) haben sich seit 1970 kaum verändert, nachdem zwischen 1960 und 1970 die Strasse noch stark auf Kosten der Schiene dazugewonnen hatte.

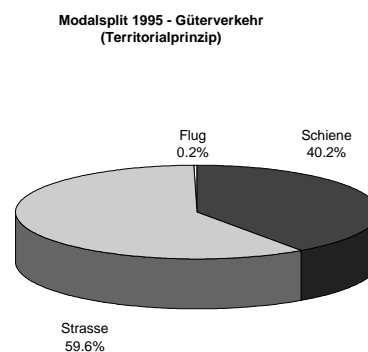
Beim Güterverkehr ist die Situation etwas anders: Hier verzeichnete die Strasse von allen Verkehrsträgern das höchste Wachstum mit nahezu einer Verdreifachung zwischen 1970 und 1995. Entsprechend stieg ihr Anteil am gesamten Güterverkehrsaufkommen auf Kosten der Schiene von 41% im Jahr 1970 auf knapp 60% 1995.



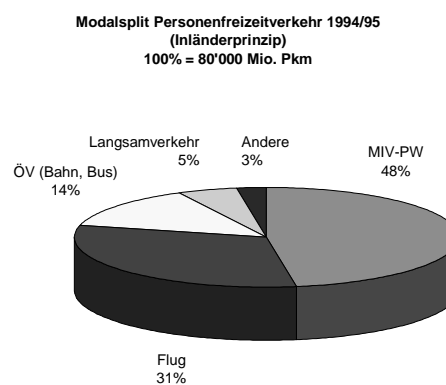
Figur 3: Personenverkehrsleistung in der Schweiz: Entwicklung 1970–1995 und Modalsplit 1995 (ohne Spezialbahnen, Schiffsverkehr, Langsamverkehr). Quelle: BFS 1999a, p.279



Figur 4: Güterverkehrsleistung in der Schweiz: Entwicklung 1970–1995 und Modalsplit 1995
Quelle: BFS 1999a, p.276



Die oben ausgewiesenen Zahlen umfassen die Verkehrsleistungen von Schweizern und Ausländern in der Schweiz („Territorial-“ oder „Inländerprinzip“). Sie vernachlässigen die Verkehrsleistung, welche in der Schweiz wohnhafte Personen im Ausland erbringen („Inländerprinzip“). Im Rahmen des Projektes D5 haben Forscher diese Auslandsreisen erstmals vertieft untersucht und sich speziell auf den Freizeitverkehr konzentriert (vgl. Abschnitt 5.2 sowie den Bericht M19). Wie Figur 5 zeigt, resultiert bei der Inländerbetrachtung ein Modalsplit, der sich erheblich vom Modalsplit nach Territorialprinzip unterscheidet: Demnach legen „Herr und Frau Schweizer“ rund 31% ihrer Freizeitverkehrsleistung im Flugzeug zurück. Der Anteil des Luftverkehrs ist somit – auch bei Betrachtung aller Verkehrszwecke – alles andere als vernachlässigbar.



Figur 5: Modalsplit des Freizeitverkehrs der Schweizer Bevölkerung im In- und Ausland. Quelle: Meier 2000

Zukünftige Entwicklung

Wie wird sich die Verkehrsleistung in Zukunft weiter entwickeln? Prognosen sind bekanntlich schwierig, doch unumgänglich für die Untersuchung der Frage, ob sich der Verkehr in Richtung mehr oder weniger Umweltverträglichkeit bewegt. Das Bundesamt für Energie (BFE) hat kürzlich im Rahmen der Arbeiten zu den Energieperspektiven das Mengengerüst zur Schweizer Verkehrsentwicklung 1990–2030 aktualisiert.¹¹ Die Resultate sind in Figur 6 dargestellt (Grundszenario). Demnach wird der Schienengüterverkehr in Zukunft stärker zulegen als der Strassengüterverkehr. Beim Personenverkehr wird hingegen auf der Strasse ein

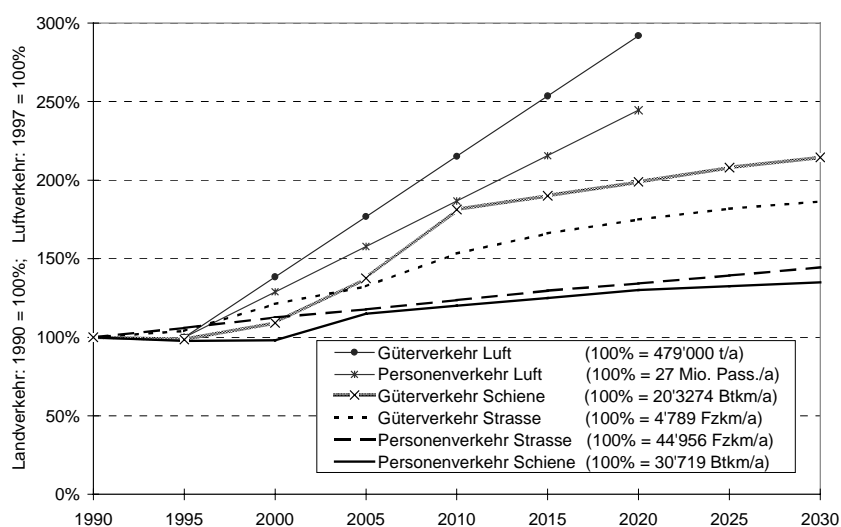
¹¹ BFE 2000b

leicht höheres Wachstum erwartet (Zahlen Schiene in Bruttotonnenkilometern, Zahlen Strasse in Fahrzeugkilometern).

Was sind die Determinanten für diese Entwicklung? Eine detaillierte Diskussion würde den Rahmen dieser Synthese sprengen. Im Güterverkehr sind das Wirtschaftswachstum und der anhaltende Trend zu längeren Transportdistanzen zu erwähnen, ferner auch die LSVA und die Aufhebung der 28-Tonnen-Limite, welche sich dämpfend auf die Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge auswirken. Interessant ist ferner, dass für den Anteil des Transitverkehrs am gesamten schweren Nutzfahrzeugverkehr ein Rückgang von 9% im Jahr 2000 auf 5% im Jahr 2010 und 3% im Jahr 2015 prognostiziert wird. Im Personenverkehr ist unter anderem der anhaltende Trend zum Zweitwagen für einen Teil des Wachstums verantwortlich.

Zum Luftverkehr liegen zur Zeit nur für den Zeitraum 1997–2020 aktuelle Prognosen vor (Figur 6; Landes- plus Regionalflughäfen). Trotz des kürzeren Betrachtungszeitraumes ist das vorausgesagte Wachstum grösser als beim Landverkehr; die Zunahme wird auf knapp 150% bei den beförderten Personen und auf knapp 200% bei den Frachttonnen geschätzt. Der Luftverkehr wird demnach in den nächsten Jahren die mit Abstand grösste Wachstumsrate aller Verkehrsträger verzeichnen.

Diese Prognosen werden durch eine aktuelle Delphi-Umfrage unter Experten zur Verkehrsentwicklung bis 2020 weitgehend bestätigt (ASTRA & GVF 2000). Nur das Wachstum des Luftverkehrs wurde in der Delphi-Umfrage bedeutend geringer eingeschätzt, was dahingehend interpretiert werden kann, dass dieses Wachstum sogar von Experten tendenziell unterschätzt wird. Insgesamt sind die Prognosen in Figur 6 plausibel und bilden eine gute Grundlage für die nachfolgenden Überlegungen zur zukünftigen Umweltbilanz des Verkehrs.

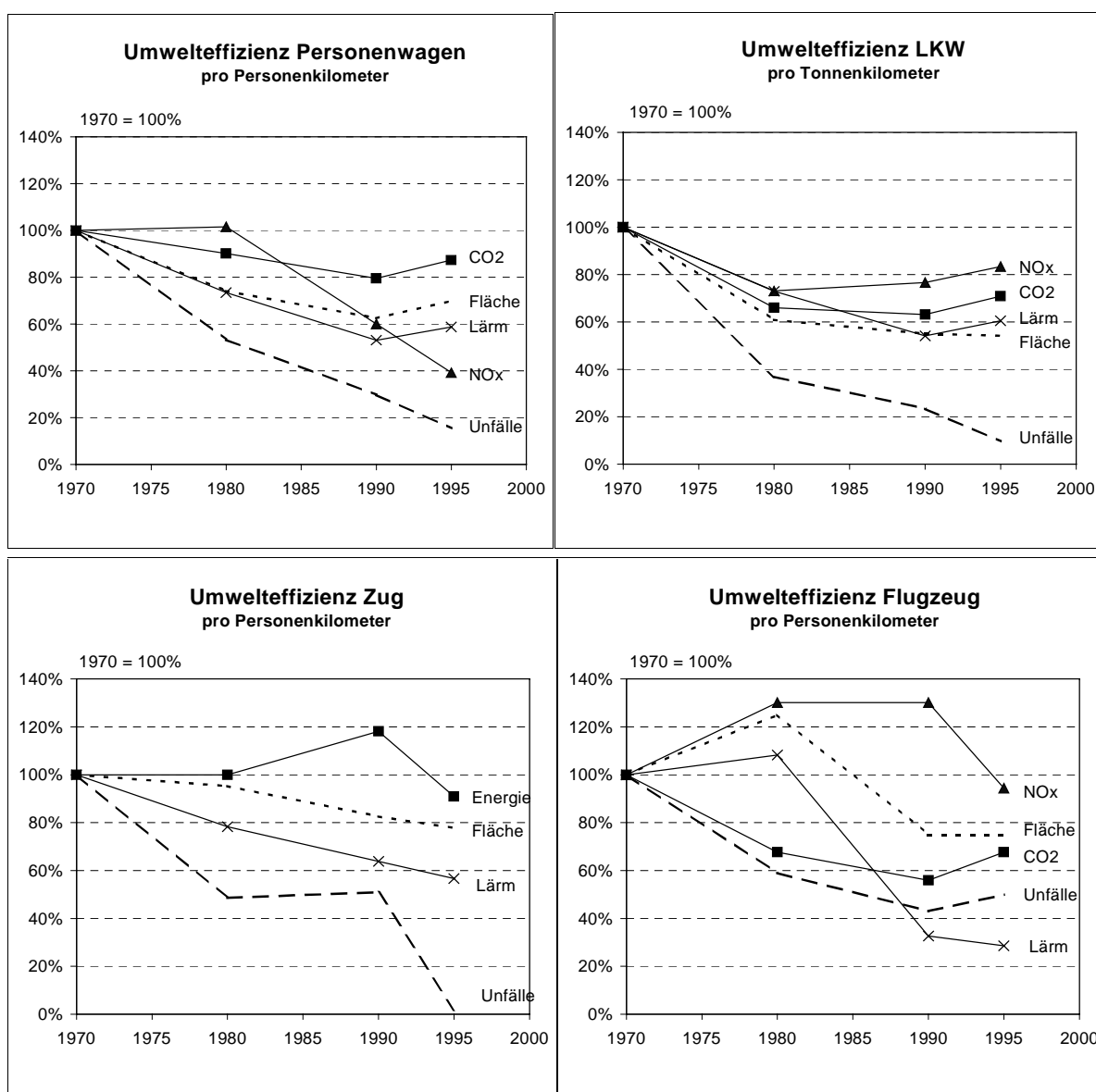


Figur 6: Prognostizierte Entwicklung der Verkehrsleistung in der Schweiz 1990–2020 (Landverkehr) resp. 1997–2020 (Luftverkehr; Werte zwischen 1997 und 2020 linear interpoliert). Man beachte die unterschiedlichen Einheiten der Daten vor der Indexierung (Fahrzeugkilometer, Bruttotonnenkilometer, beförderte Passagiere und Frachttonnen). Quellen Landverkehr: BFE 2000b; Luftverkehr: ITA 1999

3.3 Umweltbilanz des Verkehrs im Überblick

Umwelteffizienz der Verkehrsmittel: Entwicklung in den letzten Jahren

Die Umwelteffizienz der Verkehrsmittel ist neben der Verkehrsleistung der zweite entscheidende Faktor für die Umweltverträglichkeit des Gesamtsystems. Genau wie bei der wirtschaftlichen Effizienz heisst Umwelteffizienz: möglichst geringer Ressourcenverbrauch für eine erwünschte Transportleistung. Als Mass für die Umwelteffizienz des Verkehrs hat INFRAS verschiedene Indikatoren erarbeitet, welche die Umweltbelastung pro Transporteinheit (Personenkilometer, Tonnenkilometer) darstellen. Figur 7 zeigt die Entwicklung dieser Indikatoren für ausgewählte Verkehrsmittel im Zeitraum 1970–1995.



Figur 7: Entwicklung der Umwelteffizienz ausgewählter Verkehrsmittel in der Schweiz, 1970–1995 (nur direkte Belastung, ohne vor- und nachgelagerte Prozesse). „Unfälle“: Todesopfer (ohne Verletzte). Quelle: GVF 1997, p.26

Seit 1970 haben die Personenwagen, schweren Lastwagen, Personenzüge und Flugzeuge in der Schweiz ihre Umwelteffizienz ausnahmslos verbessert. Am deutlichsten ist die Entwicklung bei den verursachten Todesfällen, wo eine Reduktion um rund 90% zu verzeichnen ist.¹² Beim Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen wurde hingegen nur eine geringe Verbesserung erzielt. Die Abnahme der spezifischen Umweltbelastungen ist vor allem auf technische Optimierungen zurückzuführen, beispielsweise auf die Einführung des Katalysators bei den Personenwagen. Die teilweise steigenden Trends im Strassenverkehr sind dagegen die Folge der sinkenden mittleren Fahrzeugauslastung.

Zu beachten ist, dass sich diese Umweltindikatoren nur auf die direkte Umweltbelastung aus dem Betrieb der Fahrzeuge beziehen. Indirekte Belastungen durch den Bau, Unterhalt und die Entsorgung von Fahrzeugen und Infrastruktur sowie die Herstellung von Treibstoffen und Bahnstrom wurden aus Datengründen in den Zeitreihen nicht berücksichtigt, bei der Berechnung der aktuellen Umweltindikatoren hingegen schon. Ein Beispiel zeigt, dass diese indirekten Belastungen durchaus relevant sein können: Beim Personenwagen werden rund 65% des Energieverbrauchs direkt durch die Fahrt und 35% durch vor- und nachgelagerte Prozesse verursacht.¹³ In der vorliegenden Teilsynthese werden wir verschiedentlich auf die Frage der indirekten Umweltbelastungen zurückkommen. Die Unterschiede in der Umwelteffizienz der verschiedenen Verkehrsmittel werden im Abschnitt 4.3 angesprochen.

Absolute Umweltbelastung

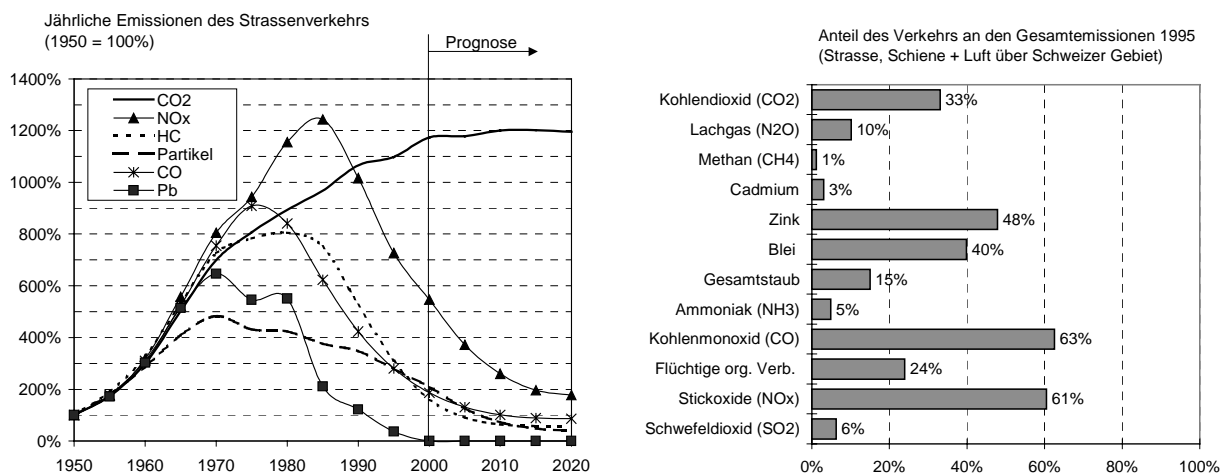
Die Umweltverträglichkeit des Verkehrssystems bemisst sich letztlich an der absoluten Umweltbelastung, also dem Produkt aus Verkehrsleistung und spezifischer Umweltbelastung pro Transporteinheit. Welcher Trend überwiegt nun – das Wachstum des Verkehrsvolumens oder die Verbesserung der spezifischen Umwelteffizienz?

Das BUWAL hat umfangreiche Datengrundlagen zum Ausmass der Umweltbelastung in der Schweiz zusammengetragen.¹⁴ Zur Illustration zeigt Figur 8 die Entwicklung der wichtigsten Schadstoffemissionen des *Strassenverkehrs* seit 1950 sowie die Prognose bis 2020. Ferner sind die Anteile der Quellgruppe Verkehr an den gesamten Emissionen in der Schweiz 1995 ausgewiesen, wobei 90–100% der Verkehrsemissionen auf den Strassenverkehr entfielen.

¹² Beim Landverkehr basiert die Zuordnung der Todesfälle auf der Schuldzuweisung gemäss polizeilichen Kriterien. Beim Luftverkehr wurden internationale Unfallzahlen herangezogen.

¹³ Quelle: GVF 1997a p.27

¹⁴ Vergleiche insbesondere: *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010* (BUWAL 1995a) und deren Aktualisierung (BUWAL 2000a), ferner *Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900–2010* (BUWAL 1995b), sowie *Umwelt in der Schweiz 1997* (BfS & BUWAL 1997a)



Figur 8: Schadstoffemissionen des Strassenverkehrs: Entwicklung 1950–2020; und Verkehrsanteil an den Gesamtemissionen 1995 (nur direkte Emissionen)
 Quellen: BUWAL 2000a p.50 (Emissionen) und BUWAL 1995b (Anteile)

Die Einführung der Luftreinhalteverordnung Mitte der Achtzigerjahre brachte bei den klassischen Luftschadstoffen NO_x, HC (= Kohlenwasserstoffe), CO, Partikel und Blei eine Trendwende. Seither sind diese Emissionen – nicht nur im Verkehrsbereich – deutlich zurückgegangen. Das Ziel des Luftreinhaltekonzepts des Bundes, die Reduktion der Luftbelastung auf das Niveau von 1950 bis 1960, wurde bisher aber nur teilweise erreicht. Insbesondere bei den Stickoxiden und Partikeln ist eine weitere Emissionsreduktion nötig. Die Prognosewerte in Figur 8 zeigen, dass bis 2020 tatsächlich zusätzliche Reduktionen zu erwarten sind, dies als Folge verschärfter Abgasgrenzwerte. Abschnitt 3.5 geht näher auf diese Entwicklung ein.

Anders ist der Fall bei den CO₂-Emissionen: Diese sind seit 1950 kontinuierlich angestiegen, weil die nur geringfügige Steigerung der Energieeffizienz der Transporte den Zuwachs der Verkehrsleistung nicht zu kompensieren vermochte. Auch in Zukunft ist ohne zusätzliche Massnahmen kein Rückgang zu erwarten (Näheres hierzu im Abschnitt 3.4).

Aus dem rechten Teil von Figur 8 geht ferner hervor, dass der Verkehr einer der Hauptemittenten von CO₂ und NO_x in der Schweiz ist. Bei Kohlenmonoxid und Zink ist der Anteil des Verkehrs zwar hoch, doch liegt die Gesamtbelastung dieser Schadstoffe deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten. Zum aus lufthygienischer Sicht problematischen Feinstaub liegen zur Zeit noch nicht genügend Daten für einen Vergleich vor.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Steigerung der Umwelteffizienz des Verkehrs nicht in allen Fällen ausreichte, um auch die absolute Umweltbelastung zu reduzieren. In den folgenden Abschnitten gehen wir näher auf die verschiedenen Belastungen ein und fragen insbesondere nach den langfristig umweltverträglichen Belastungsniveaus (Zielwerten) sowie nach der in Zukunft zu erwartenden Entwicklung.

3.4 Energieverbrauch und globale Erwärmung

Ausgangslage

Unsere moderne Mobilität ist energieintensiv: Zur Zeit gehen ein Drittel des schweizerischen Endenergieverbrauchs, über die Hälfte des Verbrauchs an Erdölprodukten sowie 5% des Stromverbrauchs auf das Konto des Verkehrssektors.¹⁵ Dieser Energiebedarf wird grösstenteils mit nicht erneuerbaren Erdölprodukten gedeckt (rund 97%). Der Stromanteil beträgt rund 3%; er stammt grösstenteils aus Wasserkraftwerken, d.h. erneuerbaren Quellen. Der hohe Energieverbrauch des Verkehrs ist zwar kein direktes Umweltproblem, aber doch eine zentrale Ursache der Verkehrsproblematik:

- **Treibhauseffekt:** Die Verbrennung fossiler Treibstoffe trägt massgeblich zur Erhöhung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre bei. Der Verkehr gehört damit zu den Hauptverursachern der globalen Klimaerwärmung. Der Anteil des Verkehrs an der Schweizer Treibhausgasbilanz liegt gegenwärtig bei rund 33% der CO₂-Emissionen und bei 29% der gesamten CO₂-equivalenten Treibhausgasemissionen (Stand 1995).¹⁶ Darin sind der Landverkehr sowie der Luftverkehr über Schweizer Gebiet enthalten. Zusätzlich verursacht der Luftverkehr Emissionen über internationalem Territorium, die sogenannten Bunkeremissionen. Deren Klimawirkung ist erheblich und darf nicht vernachlässigt werden (vgl. Box 5 weiter unten).

Die CO₂-Emissionen des Verkehrs sind ein besonders kritisches Umweltproblem, weil gegenwärtig keine technischen *end-of-pipe* Massnahmen verfügbar oder in Sicht sind. Die Lösung liegt allein in einer Reduktion des Energieverbrauchs sowie im Ersatz fossiler Treibstoffe durch weniger klimaschädliche Energieträger.

- **Lufthygiene:** Auch verschiedene Luftschadstoffemissionen des Verkehrs sind eine direkte Folge der Treibstoffverbrennung. Eine Reduktion des Energieverbrauchs ist daher meist gleichbedeutend mit einer Entlastung der Umwelt. Dies gilt z.B. für NO_x, VOC und PM₁₀ sowie das krebserregende Benzol.
- **Ressourcenaspekt:** Der Verschleiss an nicht erneuerbaren Energieträgern muss, selbst wenn er ökonomisch „effizient“ und „umweltfreundlich“ erfolgt, aus ethischer Sicht hinterfragt werden, sofern zukünftigen Generationen ein gleichwertiges Recht auf deren Nutzung zuerkannt wird – wie dies die Nachhaltigkeit verlangt.

Zielwerte für ein umweltverträgliches Verkehrssystem: Energie und CO₂

Wo liegt nun die Grenze eines umweltverträglichen Verkehrssystems? Wieviel Energie dürfte der Verkehr in der Schweiz verbrauchen, und wieviel CO₂ dürfte er ausstossen? Ein im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch häufig zitiertes Postulat der ökologischen

¹⁵ BFE 1999 p.3 und p.7. Der internationale Luftverkehr ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt.

¹⁶ Die Angabe zu den gesamten Emissionen berücksichtigt die Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O mit einem Zeithorizont von 100 Jahren. Quelle: BUWAL 1997c, p.14 und p.A30

Nachhaltigkeit betrifft die Konstanz des energetischen Ressourcenstocks. Wir zitieren nochmals die entsprechenden Nachhaltigkeitsregeln (vgl. Abschnitt 2.2):

- *Erneuerbaren Ressourcen darf pro Zeiteinheit nicht mehr Substanz entnommen werden als wieder nachwachsen kann.*
- *Nicht erneuerbare Ressourcen, wie z.B. fossile Energieträger, dürfen nicht rascher abgebaut werden als gleichzeitig neue regenerierbare Quellen für deren Ersatz bereitgestellt werden können.*

Erneuerbare Energieträger spielen heute im Verkehr eine vernachlässigbare Rolle. Kritisch ist die zweite Regel: Von ihrer Erfüllung ist unser Verkehrssystem weit entfernt – so weit, dass ein verkehrsspezifischer Zielwert, der auf dieser Regel aufbaut, vorläufig wenig hilfreich ist. Das ändert aber nichts an der langfristigen Bedeutung und Richtigkeit des Postulats: Der Energieverbrauch des Verkehrs ist kontinuierlich zu reduzieren mit dem Ziel, die Chancen der zukünftigen Generationen auf eine angemessene Ressourcennutzung zu erhalten. Der Betrieb des Verkehrssystems mit fossilen Energieträgern kann nur eine „Übergangslösung“ darstellen. Langfristig darf jedes nachhaltige System nur erneuerbare Energieträger verwenden.

Ein etwas weniger utopischer und gleichzeitig dringlicherer Zielwert ergibt sich aus den Anforderungen des globalen Klimaschutzes. Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen verpflichtet die Schweiz sowie über 180 weitere Vertragsstaaten, den Treibhausgehalt der Atmosphäre auf einem ungefährlichen Niveau zu stabilisieren. Dafür ist nach heutigem Kenntnisstand eine Reduktion der aktuellen anthropogenen CO₂-Emissionen um 60–70% bis Mitte des nächsten Jahrhunderts erforderlich.¹⁷ Für entwickelte Länder wie die Schweiz muss sogar ein noch höherer Reduktionsbedarf postuliert werden, wenn man berücksichtigt, wie ungleich der weltweite Energieverbrauch heute verteilt ist. Das anhaltende Bevölkerungswachstum in den Entwicklungsländern und der damit verbundene, unvermeidliche Mehrverbrauch an fossilen Energieträgern liefert hierfür ein weiteres Argument.

Somit ist es gerechtfertigt, dass das BUWAL eine Reduktion der Schweizer CO₂-Emissionen um zwei Drittel fordert – zu erfüllen in den nächsten Jahrzehnten.¹⁸ Die Experten des im Abschnitt 2.4.3 beschriebenen EST-Projektes setzen die Latte noch höher an: Sie gehen davon aus, dass der Verkehr seine CO₂-Emissionen bis 2030 um 80% reduzieren muss (Basis 1990).¹⁹ Dabei nehmen sie an, dass alle Quellgruppen ihre Emissionen um den gleichen Betrag reduzieren. Dieser Ansatz der „linearen Kürzung“ ist aus ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht zu hinterfragen. Als erste Näherung ist er aber zulässig. Auch wir gehen im Folgenden von einem CO₂-Reduktionsbedarf für den Verkehr von 60–80% bis 2030 aus.

¹⁷ Massgebend sind hier die Aussagen des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Im ersten IPCC-Bericht wurde die Reduktion um 60% explizit gefordert. Aus dem zweiten Bericht (IPCC 1996) geht sie indirekt hervor. Vgl. die Diskussion in OECD 1999, p.22.

¹⁸ Vgl. BUWAL 1997c p.4

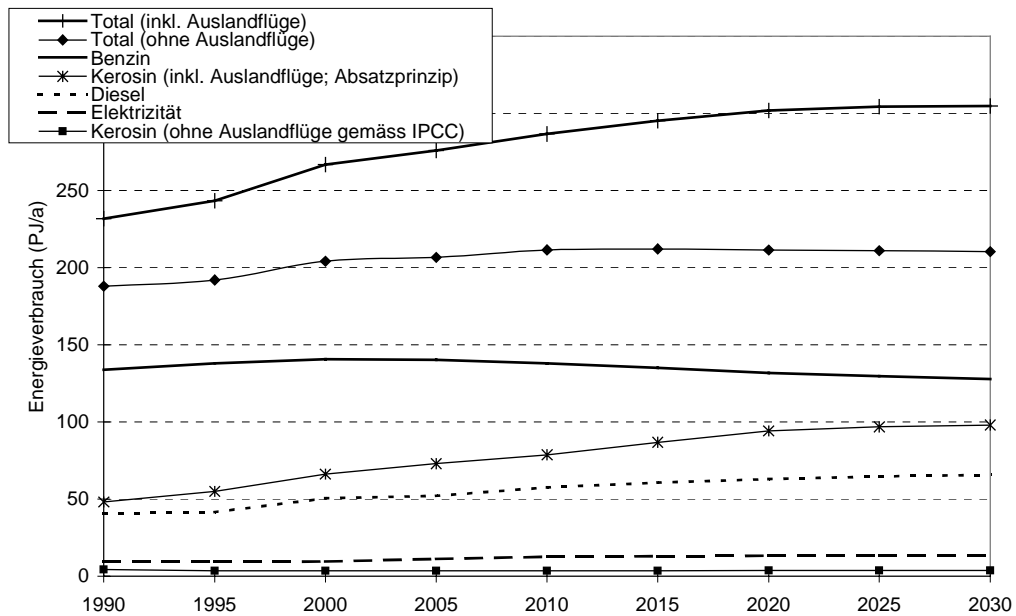
¹⁹ Quelle: OECD 1999 p.22. Die schwedische EST-Fallstudie geht von weniger strengen CO₂-Zielen aus: minus 10% bis 2005, minus 20% bis 2020, und minus 60% bis 2050. Dabei wird zwischen Verkehrsträgern differenziert (vgl. SEPA 1996 p.20). Die deutsche EST-Fallstudie betrachtet ergänzend zum 80%-Reduktionsziel auch weniger strenge Ziele.

Ein erstes Zwischenziel in diese Richtung setzt das Schweizer CO₂-Gesetz, welches unter anderem eine Reduktion der CO₂-Emissionen aus Treibstoffen um 8% gegenüber 1990 bis zum Jahr 2010 verlangt. Bei Einhaltung der Ziele gemäss CO₂-Gesetz dürfte die Schweiz auch in der Lage sein, ihre Verpflichtung im Rahmen des Kyoto-Protokolls zur Klimarahmenkonvention zu erfüllen, nämlich die Reduktion der Emissionen von sechs Treibhausgasen (wovon CO₂ das mit Abstand wichtigste ist) um total 8% gegenüber 1990 in der Zielperiode 2008–12. Anzumerken ist, dass die CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs gegenwärtig weder den Reduktionsvorgaben des CO₂-Gesetzes noch jenen des Kyoto-Protokolls unterliegen, d.h. weltweit keinerlei Wachstumsbeschränkungen unterworfen sind – als einzige neben den Emissionen des internationalen Schiffsverkehrs und jenen der Entwicklungsländer.

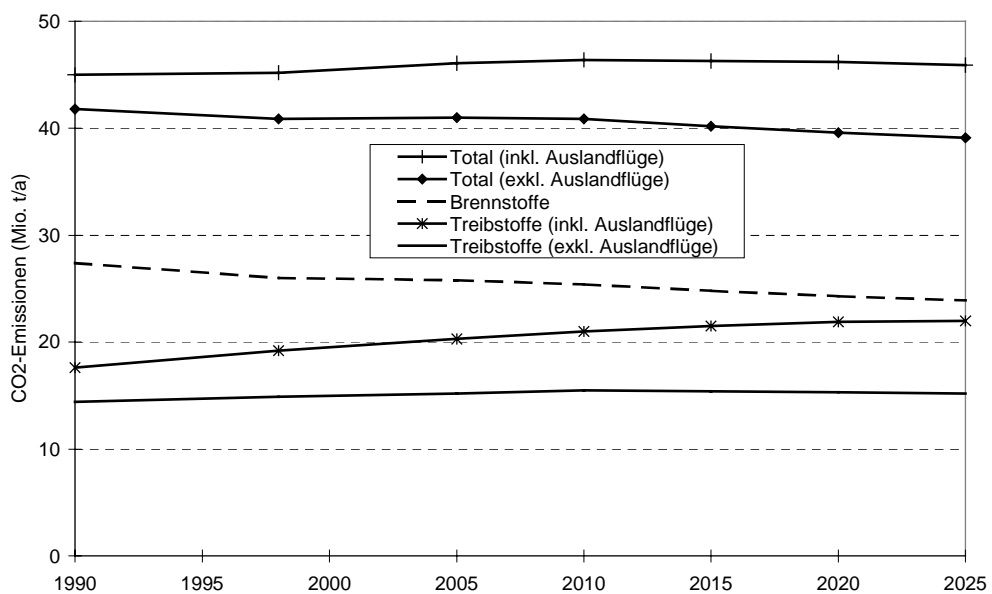
Zukünftige Trends und Handlungsbedarf: Energie und CO₂

Mit Blick auf das CO₂-Gesetz und die energiepolitischen Abstimmungen vom September 2000 hat das BFE seine Energie- und CO₂-Perspektiven überarbeitet. Die Resultate zum Verkehr sind in Figur 9 und Figur 10 dargestellt. Sie basieren auf dem in Abschnitt 3.2 präsentierten Mengengerüst sowie der erwarteten Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs im Verkehr (Grundszenario mit Energiegesetz, aber ohne zusätzliche Massnahmen). Dazu ist Folgendes anzumerken:

- Im **Strassenpersonenverkehr** wird eine Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs der Neuwagen um zunächst 1.5% pro Jahr (1998–2012) und später 1% pro Jahr zu Grunde gelegt. Zusammen mit der nur leichten Steigerung der Verkehrsmenge ergibt sich ab ca. 2005 ein leicht rückläufiger Trend für den Benzinabsatz und die damit verbundenen CO₂-Emissionen. Die Annahmen zur Effizienzsteigerung werden mit Blick auf eine Vereinbarung zwischen der EU und Automobilherstellern getroffen, welche die Absenkung der spezifischen Emissionen von Neuwagen auf 140 g CO₂/km bis 2008 vorsieht. Die Forscher gehen davon aus, dass dieses Ziel nur teilweise erreicht wird. Dieser konservative Ansatz erscheint auf Grund der Erfahrungen mit der Schweizer Energieverordnung, welche eine Absenkung des spezifischen Verbrauchs um 15% im Zeitraum 1996–2001 verlangt, sehr gerechtfertigt (vgl. hierzu Box 16 im Abschnitt 6.2.5).
- Im **Strassengüterverkehr** sind die Potenziale zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs geringer. Aufgrund der stark wachsenden Verkehrsleistung steigen Dieselverbrauch und CO₂-Emissionen vor allem nach 2005 kontinuierlich an.
- Im **Schieneverkehr** wird eine Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs um 10% in 30 Jahren angenommen (Erfahrungswert). In Verbindung mit der wachsenden Verkehrsleistung ergibt sich eine erhebliche Zunahme des Stromverbrauchs. Indirekte CO₂-Emissionen aufgrund der Stromherstellung werden nicht ausgewiesen.
- Auch im **Luftverkehr** werden die Potenziale zur Senkung der spezifischen Energieverbrauchs als vorderhand gering eingeschätzt. Entsprechend geht die massive Steigerung des Verkehrsvolumens mit einer ebensolchen Steigerung des Kerosinverbrauchs einher.



Figur 9: Energieverbrauchsprognose für den Verkehr (Grundszenario).
 Basis: Modellierter Verbrauch auf dem Gebiet der Schweiz (Territorialprinzip)
 ausser: Kerosin inkl. Auslandflüge = Absatz in der Schweiz
 Quelle: BFE 2000b, Anhang 3



Figur 10: CO₂-Emissionsprognose für die Schweiz (Brenn- und Treibstoffe, Grundszenario).
 Basis Treibstoffe: Absatz in der Schweiz.²⁰ Quelle: BFE 2000a, p.26

²⁰ Absatz inklusive Tanktourismus: Die Benzinpreise in der Schweiz liegen tiefer und die Dieselpreise höher als in den Nachbarländern. Entsprechend liegt der Benzinabsatz über und der Dieselpreis unter den in der Schweiz verbrauchten Mengen. In der Bilanz resultiert ein positiver Fluss von Treibstoffen in das Ausland, der in der Prognose als ungefähr konstant angenommen wurde. Die entsprechenden, exportierten CO₂-Emissionen sind in Figur 10 enthalten; sie betragen zwischen 1.2 Mio. t CO₂ (1990) und rund 0.6 Mio. t CO₂ (2025).

Figur 10 zeigt, dass sich die CO₂-Emissionen des Landverkehrs in den nächsten zwei Jahrzehnten stabilisieren werden (inkl. einem geringen Anteil der Inlandflüge). Unter Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs ergibt sich ein klar steigender Trend für die CO₂-Emissionen im Treibstoffbereich, der die rückläufigen Emissionen im Brennstoffbereich mindestens bis 2010 überkompensiert. Das Treibstoffziel des CO₂-Gesetzes wird in diesem Grundszenario klar verfehlt. Von der markanten Trendwende, welche mit Blick auf die langfristigen Reduktionsziele (minus 60–80% gegenüber 1990 bis ca. 2030) notwendig wäre, ist nichts zu erkennen. Im Gegenteil: Der Verkehrssektor macht die im Brennstoffbereich erzielten Einsparungen zunichte. Erschwerende Faktoren wie die mehrfache Klimawirkung des Luftverkehrs sind dabei noch nicht berücksichtigt (vgl. Box 5).

Die Berechnungen des BFE zeigen ferner, dass selbst die kürzlich vom Volk verworfenen Energieabgaben und ein verlangsamtes Wirtschaftswachstum von 0.9% nicht ausreichen würden, um das Treibstoffziel des CO₂-Gesetzes zu erfüllen.²¹ Die Ziellücke ist somit erheblich. Zusammenfassend ist CO₂ heute das dringendste Umweltproblem des Verkehrs mit einem sehr grossen Handlungsbedarf.

Box 5: Luftverkehr und globales Klima: ein heisses Thema

Aufgrund des massiven Wachstums im Luftverkehr haben auch dessen CO₂-Emissionen stetig zugenommen. Für die nächsten Jahrzehnte wird eine Fortsetzung dieses Trends prognostiziert, z.B. rechnet die IPCC mit einer Zunahme des globalen Passagierluftverkehrs (Personenkilometer) um jährlich 5% im Zeitraum 1990–2015. Auch in der Schweiz wird ein weiteres starkes Wachstum erwartet: beim Passagiervolumen der Landesflughäfen z.B. mehr als eine Verdoppelung im Zeitraum 2000–2020, und beim Passagiervolumen der Regionalflughäfen ein Plus von 70% im Zeitraum 2000–2010.²²

Aus Sicht des globalen Klimas kommt erschwerend hinzu, dass der Luftverkehr nicht nur über CO₂, sondern auch über seine NO_x-, Partikel- und Wasseremissionen im Bereich der Tropopause klimaerwärmend wirkt (z.B. Bildung von klimaaktivem Ozon, Kondensstreifen und Cirruswolken). Die resultierende Netto-Treibhauswirkung beträgt nach heutigem Kenntnisstand ein Zwei- bis Vierfaches der CO₂-Wirkung. Der Beitrag des Luftverkehrs zur Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht („Ozonloch“) ist hingegen wenig bedeutend, solange die Zahl der in grosser Höhe fliegenden Überschalljets nicht zunimmt.²³

Trotz dieser beunruhigenden Erkenntnisse vermittelten in jüngerer Zeit verschiedene Quellen den Eindruck, dass die Treibhauswirkung des Luftverkehrs vernachlässigbar sei:

- Das BAZL liess 1997 verlauten, dass „... der heutige Luftverkehr zwar die Stickoxid- und Ozonkonzentrationen auf Reiseflughöhen erhöhe, die Auswirkungen auf das globale Klima aber klein seien.“ Andere Autoren folgern mit Blick auf die sinkenden spezifischen Schadstoffemissionen sogar, dass sich der Luftverkehr generell nachhaltig entwickelt habe.²⁴
- Die Berechnungen der IPCC zeigen, dass die globale Treibhauswirkung des Luftverkehrs im Vergleich zu anderen Quellgruppen heute noch eher gering ist. 1992 betrug sie 0.05 Watt pro Quadratmeter (Wm⁻²) oder 3.5% der gesamten anthropogenen Treibhauswirkung. Für 2050 wird dem Luftverkehr eine Vervielfachung auf 0.19 Wm⁻² prognostiziert. Verglichen mit dem IPCC-

²¹ Die Energieabgaben (Lenkungsabgabe gemäss Grundnorm und Förderabgabe auf fossile Energien) wurden in der Abstimmung vom 24. September 2000 abgelehnt. Das Wirtschaftswachstum im Grundszenario beträgt 1.8%.

²² BAZL 2000, p.15ff

²³ IPCC 1999 p.4 und 9

²⁴ Vgl. Medienmitteilung BAZL zum Projekt NOXAR, 1997 sowie Janic 1999, p.178

Referenzszenario würde dies nur 5% der gesamten anthropogenen Treibhauswirkung im Jahr 2050 entsprechen.

Das IPCC-Referenzszenario geht allerdings von einer Verdreifachung der globalen CO₂-Emissionen bis 2050 aus, was weit über dem unbedenklichen Niveau liegt und mit hoher Wahrscheinlichkeit katastrophale Entwicklungen zur Folge hätte. Gemäss IPCC sollen die weltweiten Treibhausgasemissionen stabilisiert und möglichst reduziert werden. Gemessen an diesem Stabilisierungsziel würde sich der zukünftige Anteil des Luftverkehrs nicht im Bereich von 3–5%, sondern von 10–30% bewegen. Dies zeigt, wie hoch der Handlungsbedarf wirklich ist.

Ein bedenkliches Bild ergibt sich auch, wenn wir den Anteil des Luftverkehrs an der Treibhausbilanz der Schweizer Bevölkerung betrachten. Die Studie M25 des NFP 41 hat die CO₂-Emissionen quantifiziert, welche die in der Schweiz wohnhaften Personen auf ihren Flugreisen rund um die Welt verursachen (Inländerprinzip). Es resultierten rund 4.85 Mio. t CO₂, oder, unter Berücksichtigung des Fracht- und Postverkehrs, 6.3 Mio. t CO₂. Letztere Zahl entspricht knapp 1 t CO₂ pro Kopf und Jahr oder rund einem Sechstel der gesamten CO₂-Emissionen 1999, also deutlich mehr als die CO₂-Emissionen gemäss Absatzprinzip.²⁵

Bei diesen Berechnungen ist die mehrfache Klimawirkung des Luftverkehrs noch nicht enthalten. Angemessen ist, wie oben erwähnt, ein Vervielfachungsfaktor zwischen 2 und 4. Selbst unter Verwendung des konservativen Faktors 2 resultiert gemäss M25 ein Anteil des Luftverkehrs an den gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen von gut 22%. Dieser Anteil wird in Zukunft noch massiv steigen. Bei stagnierenden oder rückläufigen Emissionen in den anderen Bereichen wird der Luftverkehr inskünftig für bis zu 30% der CO₂-Emissionen der Schweiz verantwortlich sein - zuzüglich der Treibhauswirkung seiner übrigen Emissionen.²⁶

Zusammenfassend besteht für Politik und Forschung grosser Handlungsbedarf:

- Die luftverkehrsbedingten Treibhausgasemissionen der Schweiz sind alles andere als vernachlässigbar.
- Der steigende Trend läuft den Klimaschutzanstrengungen in anderen Bereichen klar zuwider, zumal die CO₂-Emissionen des internationalen Luft- und Schiffsverkehrs vorderhand als einzige nicht den Kyoto-Zielen unterworfen sind (nebst den Emissionen der Entwicklungsländer).
- Die wissenschaftlichen Unsicherheiten bezüglich der Treibhauswirkung des Luftverkehrs sind nach wie vor erheblich; gewisse Effekte wurden noch nicht genügend berücksichtigt (z.B. Cirrenbildung).
- Auch bezüglich der Zuordnung der Emissionen sind noch einige Probleme zu lösen (z.B. Kerosinabsatz- vs. Territorial- vs. Inländerprinzip).

Die Abschnitte 4.2.5, 4.5.4 und 6.2.5 gehen auf Ansätze zur Lösung dieser Probleme ein.

²⁵ Quelle: Bericht M25 p.K-1 und 28

²⁶ Quelle: Bericht M25 p.K-2 und 50

3.5 Luftschadstoffe

Ausgangslage

Die Belastung der Luft mit Schadstoffen ist ein klassisches Umweltproblem des Verkehrs, wie auch der industrialisierten Welt überhaupt. Seit Jahrzehnten gibt es auf der Welt keinen Ort mehr, der frei von anthropogenen Luftfremdstoffen ist. Mit modernen Methoden kann z.B. die zunehmende Bleibelastung der Atmosphäre sogar in Eisbohrproben der Arktis nachgewiesen werden. Alle Menschen sind deshalb Fremdstoffen ausgesetzt, die natürlicherweise in ihrer Umgebung nicht oder nur in viel geringerer Konzentration vorkommen.

Das Thema ist komplex, weil eine Reihe von Schadstoffen involviert sind, welche unterschiedliche und teils mehrfache Wirkungen entfalten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Schadstoffe und ihre Wirkungswege. In den folgenden Abschnitten gehen wir näher auf deren Wirkung auf die menschliche Gesundheit sowie auf Ökosysteme ein. Besonders Augenmerk verdient die Frage, wie weit die Luftschadstoffemissionen angesichts der rückläufigen Tendenz im Strassenverkehr überhaupt noch ein Problem darstellen.

Schadstoff (-gruppe)		Human- toxizität	Ozon / Sommersmog	Eutrophie- rung	Versauerung	Ökotoxizität
Stickoxide	NO _x	X	X	X	X	X
Schwefeldioxid	SO ₂	X			X	X
Kohlenmonoxid	CO	X				
Flüchtige organische Verbind.	VOC ²⁷	X	X			
Polyzykl. aromatische KW	PAK	X				
Feinstaub	PM ₁₀ ²⁸	X				
Schwermetalle		X				X

*Tabelle 1: Wirkungsmechanismen der wichtigsten verkehrsbedingten Luftschadstoffe
Quelle: eigene Darstellung, basierend auf AEFU 1997 u.a. KW = Kohlenwasserstoffe*

Luftschadstoffe und Gesundheit

Der Einfluss der Luftschadstoffe auf die menschliche Gesundheit ist recht gut untersucht. In der Schweiz befassten sich Mitte der Neunzigerjahre grossangelegte Studien mit dem Thema. Die Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz haben den Stand des Wissens in einer allgemein verständlichen Publikation zusammengetragen:²⁹

- Typisch für städtische Ballungsräume ist die Belastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM₁₀). Menschen, die kurzfristig oder dauernd überhöhten Konzentrationen dieser Schadstoffe ausgesetzt sind, neigen eher zu einer Vielzahl gesundheitlicher Störungen, von Atembeschwerden bis hin zu chronischer Bronchitis und Todesfällen durch

²⁷ Im Einklang mit BUWAL 1996a verwenden wir den Begriff VOC, Volatile Organic Compounds, als Synonym für die – bezüglich Ozonbildung massgeblichen – Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMVOC).

²⁸ Die Abkürzung PM₁₀ bezeichnet die Feinstaubfraktion mit einem Partikeldurchmesser ≤10 µm.

²⁹ Vgl. AEFU 1997

Atemwegs- und Herz-/ Kreislaufkrankungen. Tabelle 2 zeigt die in epidemiologischen Studien ermittelten Auswirkungen des Leitindikators PM_{10} . Umfangreiche Untersuchungen im Auftrag des Bundes haben ergeben, dass der Verkehr durch seine Luftschadstoffemissionen zahlreiche vorzeitige Todesfälle verursacht (Stand 1993: rund 2'100 Todesfälle pro Jahr).³⁰

- Zusätzlich kann im Frühling und Sommer der so genannte Sommersmog zum gesundheitlichen Problem werden. Aus NO_2 und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) werden unter Einfluss des Sonnenlichtes Ozon (O_3) sowie weitere oxidierende Substanzen gebildet. Die für die Schweiz typischen, kurzfristigen Belastungen verursachen beim Menschen Reizungen der Augen und Schleimhäute sowie Atemstörungen.
- Die krebserregenden Luftschadstoffe bilden eine dritte Kategorie. Dazu gehören Russpartikel aus Dieselmotoren, Benzol sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Das BUWAL schätzte 1994, dass von 1'000 Personen, welche 70 Jahre lang in der Nähe einer Strasse mit starkem Lastwagenverkehr wohnen, eine bis zwei deswegen an Krebs erkranken.³¹

Kurzfristige Verschlechterung der Luftqualität um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} bewirkt:	Zunahme
Sterblichkeit (ohne Unfälle) insgesamt	0,5–1 %
– wegen Atemwegserkrankungen	3–4 %
– wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	1–2 %
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	1,5–2 %
- wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	0,5–1 %
Notfallkonsultationen wegen Asthma	2 %
Asthmaanfälle bei Asthmatikern	5 %
Verwendung von zusätzlichen Medikamenten bei Asthmatikern	5 %
Arbeitsabsenzen, eingeschränkte Aktivität wegen Atemwegserkrankungen	10 %
Langfristige Verschlechterung der Luftqualität um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} bewirkt:	Zunahme
Sterblichkeit insgesamt	3–8 %
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	25 %
Husten und Auswurf bei Erwachsenen	13 %
Akute Bronchitis im letzten Jahr bei Kindern	35 %
Atemwegsbeschwerden bei Kindern	54 %
Abnahme der Lungenfunktion von Erwachsenen	–3 %

Tabelle 2: Luftverschmutzung vom städtischen Typ: Gesundheitliche Auswirkungen einer Erhöhung der Feinstaubbelastung PM_{10} um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Die mittlere PM_{10} -Belastung beträgt in ländlichen Gebieten $15\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in städtischen Zentren $30\text{--}35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Quelle: Eidg. Kommission für Lufthygiene, zitiert in AEFU 1997 p.33, 49

³⁰ Vgl. GVF 1996

³¹ Vgl. BUWAL 1994 p.20–21

Gegenwärtige Situation und Anteile des Verkehrs

Der Verkehr und weitere Quellgruppen haben ihre Schadstoffemissionen seit den Achtzigerjahren erheblich reduziert (vgl. Abschnitt 3.3). In der Folge hat die Immissionsbelastung mit SO₂, CO und Blei deutlich, und die Belastung mit NO₂ und Staub leicht abgenommen. Beim Ozon ist kein einheitlicher Trend erkennbar.

Die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung für SO₂, CO und Blei werden heute eingehalten. Hingegen ist die mittlere Belastung mit NO₂ und PM₁₀ in den städtischen Zentren noch immer rund doppelt so hoch wie die Langzeitgrenzwerte. Rund 25% der Schweizer Bevölkerung sind heute an ihrem Wohnort NO₂-Belastungen über dem Grenzwert von 30 µg/m³ ausgesetzt. Gar 60% der Bevölkerung sind übermässig mit PM₁₀ belastet. Der Kurzzeitgrenzwert für Ozon wird, besonders in den Agglomerationen und ländlichen Gebieten, mehrmals pro Jahr um das 1.5- bis 2.5fache überschritten.³²

Die Luftreinhalteverordnung verlangt also eine weitere Reduktion der NO_x- und PM₁₀-Emissionen. Damit ist auch der Verkehr angesprochen, der noch immer eine der wichtigsten Quellgruppen für die betreffenden Schadstoffe darstellt:

- Der Anteil des Verkehrs an den gesamten NO_x-Emissionen liegt gegenwärtig bei rund 60%; bei den VOC sind es rund 20%;
- In städtischen Räumen gehen rund 50% der Feinstaubbelastung auf das Konto des Strassenverkehrs (vgl. Box 6).
- Lastwagen, Lieferwagen und Cars in der Schweiz stossen 85–90% der krebserregenden Russpartikel und rund 50% der PAK aus. Auch der Verkehrsanteil an den gesamten Benzolemissionen beträgt heute 85–90%.³³

Box 6: Projekt C4: Partikel-Emissionen des Strassenverkehrs

1999 trat die revidierte Luftreinhalteverordnung in Kraft, welche neu auch Immissionsgrenzwerte für Feinstaubimmissionen (PM₁₀) enthält. Der Jahresmittelgrenzwert beträgt 20 µg/m³ und der 24h-Grenzwert, welcher nur einmal jährlich überschritten werden darf, 50 µg/m³. Aus den Messungen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftschadstoffe (NABEL) geht hervor, dass diese Grenzwerte heute in weiten Teilen der Schweiz nicht eingehalten werden. Städte und verkehrsexponierte Lagen sind besonders stark belastet. Aufgrund der vielfältigen Quellen für Feinstaub konnte die Verantwortung für diese übermässige Belastung bislang nicht genügend exakt zugewiesen werden.

Das Projekt C4 setzte sich zum Ziel, die wesentlichen Verursacher der Feinstäube zu identifizieren und ihre Anteile an den PM₁₀- und PM_{2.5}-Immissionen zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurden an vier NABEL-Messstationen in Basel, Bern, Chaumont und Zürich während 14 Monaten Tagesproben gesammelt und chemisch charakterisiert. Ergänzend führten die Forscher Messkampagnen an zwei weiteren Standorten in Payerne und Zürich durch.

Feinstaub ist komplex zusammengesetzt. Neben Mineralen und Spurenelementen, organischem Material und elementarem Kohlenstoff beinhaltet er auch sekundäre, aus Gasen gebildete Aerosole (z.B. Ammoniumnitrat) sowie weitere Verbindungen. Die Anteile variieren je nach Messstandort.

³² Quellen: BUWAL 1997b, BUWAL 1999b, AEFU 1997

³³ BUWAL 1994 p.13

Der Strassenverkehr trägt über Partikel im Abgas zur Feinstaubbelastung bei, aber auch durch den Abrieb von Reifen und Bremsen, die Suspension von Strassenstaub und Streusalz sowie über seine NO_x-Emissionen, welche zur Bildung von sekundären Aerosolen führen. Weitere Feinstaubquellen sind die stationären Verbrennungsanlagen und Industrie (z.B. KVA), die Landwirtschaft (Biomasseverbrennung, Ammoniakemissionen) und die Suspension von natürlichem Mineralstaub.

Die Analysen belegen die grosse Bedeutung des Strassenverkehrs für die Feinstaubbelastung. Für die städtischen Messstandorte wurde ein Anteil an der Gesamtbelastung zwischen 27% (Stadtspark) und 64% (exponierter Standort) ermittelt. Dabei dominieren die direkten Partikelemissionen aus dem Auspuff. Der Reifenabrieb ist hingegen, entgegen früherer Vermutungen, von untergeordneter Bedeutung. Von den primären Partikelemissionen des Verkehrs entfallen etwa 50% auf den Güterverkehr (schwere Nutzfahrzeuge). Die Wetterlage beeinflusst die lokalen Immissionsituationen erheblich. Der Ferntransport von Partikeln spielt hingegen eine eher geringe Rolle.

Das C4-Projekt hat wichtige Wissenslücken zu den Partikelimmissionen eliminiert. Der ermittelte Gesamtbeitrag des Strassenverkehrs stimmt zudem gut mit den Resultaten einer früheren Studie überein, welche einen anderen methodischen Ansatz verwendet hatte (Ausbreitungs- statt Rezeptormodell).³⁴ Damit liegen nun gute Grundlagen vor, um die weitere Reduktion der Partikelbelastung in Angriff zu nehmen. Den toxischen Partikeln aus Dieselmotoren muss dabei besonderes Augenmerk gelten.

Luftschadstoffe und Ökosysteme

Luftschadstoffe wirken sich nicht nur ungünstig auf die menschliche Gesundheit aus, sondern schädigen auch unsere natürliche Umwelt. Beim Verkehr steht die düngende (eutrophierende) und saure Wirkung der Stickoxide (NO_x) im Vordergrund:

Eutrophierung: NO_x führen zu einer erhöhten Stickstoffdeposition in Böden und Gewässer. Diese Düngung vermag empfindliche Ökosysteme zu schädigen. Die Wirkungsmechanismen sind komplex; sie umfassen z.B. Nährstoff-Ungleichgewichte in Böden, die Verdrängung von Arten an Stickstoff-limitierten Standorten sowie vermehrte Anfälligkeit von Wäldern auf Sturmschäden aufgrund überhöhter Wachstumsraten.³⁵

Die Ammoniakemissionen (NH₃) der Landwirtschaft tragen ebenfalls erheblich zum Problem der Eutrophierung bei. Die gesamte Deposition von Stickstoffverbindungen in der Schweiz beträgt heute ungefähr das Zehnfache des natürlichen Wertes. Sie übersteigt die kritischen,³⁶ d.h. für die langfristige, integrale Erhaltung der Ökosysteme maximal zulässigen Flüsse in weiten Gebieten deutlich, teils sogar um einen Faktor 5. Die deponierten Stickstoffmengen werden überwiegend aus dem Ausland importiert, und die Emissionen der Schweiz und des Schweizer Verkehrs entsprechend exportiert.

Versauerung: Säure wird direkt und in Form sauer wirkender Verbindungen (SO₂, NO_x) in Böden und Gewässer eingetragen. Die Versauerung von Böden fördert Nährstoff-Ungleichgewichte und Wachstumsreduktionen; letztlich kann sie die Stabilität des gesamten Ökosystems gefährden. In Seen ist die toxische Wirkung auf Fische hervorzuheben.

³⁴ BUWAL 1999b

³⁵ Quelle: FOEFL 1996

³⁶ Der kritische Fluss wurde hier definiert als maximaler Eintrag, bei dem keine Anreicherung stattfindet (genutzte Wälder); bzw. bei dem keine Veränderungen in der Ökosystemstruktur und -funktion zu beobachten sind (übrige Ökosysteme).

Die heutige Säuredeposition übersteigt das zulässige Mass in weiten Gebieten der Schweiz deutlich: 63% der untersuchten Waldböden und 100% der Bergseen sind übermässig belastet. Auch hier liegt der Eintrag bis zum Fünffachen über dem kritischen Wert. Der Schweizer Verkehr trägt vor allem über seine Stickoxidemissionen und nur zu einem kleinen Teil durch seine Schwefeldioxidemissionen zur Versauerung bei.³⁷

Auch die Versauerung ist aufgrund der signifikanten Schadstoffimporte und -exporte ein grenzüberschreitendes Problem. Für einen umfassenden Schutz der Ökosysteme müssen die betreffenden Emissionen europaweit reduziert werden. Aus diesem Grund wurde bereits 1979 eine Konvention verabschiedet, der sich auch die Schweiz angeschlossen hat.³⁸ Sie bezweckt die Einhaltung von Grenzwerten (critical loads) für Säure- und Stickstoffeinträge, welche von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) erarbeitet werden. Mit verschiedenen Protokollen zur Emissionsreduktion wurde auf dieses Ziel hingearbeitet. Weitere Reduktionen sind aber notwendig – namentlich auch im Verkehr.

Zielwerte für ein umweltverträgliches Verkehrssystem: Luftschadstoffe

Bei der Definition von Zielwerten für die Luftschadstoffemissionen des Land- und bodennahen Luftverkehrs sind mindestens die folgenden Anforderungen zu berücksichtigen:

- NO_x- und PM₁₀-Emissionen sind soweit zu reduzieren, dass die Immissionsgrenzwerte für NO₂ und PM₁₀ flächendeckend erfüllt werden. Diese Grenzwerte sind auch auf den Schutz von empfindlichen Personen (z.B. Kinder, Kranke) ausgelegt³⁹ und können aus Sicht der menschlichen Gesundheit als nachhaltig bezeichnet werden. Eine Ausnahme sind die Dieselpartikel: Da sie krebserregend wirken, kann keine untere, „sichere“ Schadschwelle definiert werden, weshalb sie zusammen mit den übrigen krebserregenden Emissionen grundsätzlich möglichst weit zu reduzieren sind.
- NO_x- und VOC-Emissionen sind soweit zu reduzieren, dass die Immissionsgrenzwerte für Ozon (O₃) eingehalten werden können.
- NO_x- und SO₂-Emissionen sind soweit zu reduzieren, dass die kritischen Depositionsmengen (critical loads) für Stickstoff und Säure eingehalten werden können.⁴⁰

Aus diesen Anforderungen lassen sich quantitative, gesamtschweizerische Emissionszielwerte für die einzelnen Schadstoffe ableiten. Die Definition von Zielwerten für den Verkehr wird kompliziert durch die Tatsache, dass andere Quellgruppen (Industrie, Landwirtschaft und Dienstleistungen, Haushalte) an den gesamten Emissionen beteiligt sind. Hier stellt sich, wie schon beim CO₂, die Frage der Opfersymmetrie, die nicht allein nach wissenschaftlichen

³⁷ Quelle: FOEFL 1994. Saure Emissionen im Jahr 1995: NO_x 82'300 t; SO₂ 2150 t (BUWAL 1995b)

³⁸ Genfer Konvention zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor den Auswirkungen der weiträumigen, grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen

³⁹ Entsprechend den Kriterien des Umweltschutzgesetzes für Immissionsgrenzwerte (Art. 14); vgl. auch BUWAL 1992 p.11

⁴⁰ Die „kann“-Formulierung in den letzten beiden Punkten weist darauf hin, dass die Ozonbelastung und die Stickstoff- und Säuredeposition durch aus dem Ausland importierte Schadstoffe mitverursacht werden. Diese Probleme können nur in Zusammenarbeit mit den Nachbarländern vollständig gelöst werden.

Kriterien beantwortet werden kann. Tabelle 3 fasst verschiedene Emissionsziele für NO_x- und VOC zusammen und stellt ihnen die aktuellen Emissionsprognosen gegenüber.

	Emission 1990 ⁴¹	Prognose 2010 ⁴²	Minimalziel LRK ⁴³	Ziel gemäss UN/ECE ⁴⁴	Ziel Einhal- tung IGW O ₃ ⁴⁵	Ziel EST für 2030 ⁴⁶
NO_x:						
CH – gesamt (kt/a)	166	78	64	80	ca. 45	(17)
CH – Verkehr (kt/a)	107	35	--	--	--	11
VOC (ohne Methan):						
CH – gesamt (kt/a)	292	162	145	143	ca. 81	(29)
CH – Verkehr (kt/a)	90	11	--	--	--	9

Tabelle 3: Vergleich verschiedener Emissionsziele für NO_x und Nicht-Methan-VOC in 1'000 Tonnen pro Jahr (kt/a)

Emissionsziele NO_x und VOC: Tabelle 3 illustriert, dass die im Luftreinhaltekonzept des Bundesrates (LRK) festgesetzten, minimalen (gesamtschweizerischen) Emissionsziele für NO_x und VOC die Einhaltung der Ozon-Immissionsgrenzwerte nicht gewährleisten. Ob sie für einen Schutz empfindlicher Ökosysteme ausreichen, ist gegenwärtig unsicher. Jedenfalls wurde im Rahmen des EST-Projekts für den Verkehr im Alpenraum ein bedeutend stärkerer Reduktionsbedarf ermittelt, nämlich minus 90% im Zeitraum 1990–2030 – anzuwenden auf alle Verkehrsträger. Als vorläufige Folgerung bleibt, dass die NO_x- und VOC-Emissionen des Verkehrs gegenüber 1990 bedeutend, d.h. in der Grössenordnung von 75–90%, reduziert werden müssen.

Tabelle 3 zeigt ferner, dass der Verkehr seine NO_x- und VOC-Emissionen bis 2010 beträchtlich reduzieren wird. Trotzdem werden die Ziele des Luftreinhaltekonzepts auch dann noch überschritten werden. Im nächsten Abschnitt gehen wir näher auf diese Entwicklung ein.

Emissionsziele PM₁₀: Emissionszielwerte für PM₁₀ müssen sich zunächst nach den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalteverordnung richten. Wegen der krebserregenden Wirkung gehen die Forscher des EST-Projektes in erster Näherung von einem Reduktionsbedarf von *mindestens* 90% im Zeitraum 1990–2030 aus. Sie betonen die provisorische Natur dieses Zielwertes und den Bedarf nach vertiefenden Abklärungen. Ausschlaggebend sei insbesondere die Entwicklung der betreffenden WHO-Richtlinien.⁴⁷

⁴¹ Quelle: BUWAL 1995b

⁴² Quellen: BUWAL 2000a (Strassenverkehr), BUWAL 1996b (übriger Verkehr), BUWAL 1995b. Der Anteil der Strasse an den gesamten Verkehrsemissionen beträgt 24 kt NO_x und 10 t VOC; die neuen Abgasgrenzwerte EURO3–5 sind berücksichtigt.

⁴³ LRK: Luftreinhaltekonzept des Bundesrates. Entspricht dem Emissionsstand 1960 (Minimalziel). Quelle: BUWAL 1996a p.24

⁴⁴ Aktuelle (Dezember 1999) Verpflichtung der Schweiz im Rahmen des Genfer Abkommens über die Reduktion der weiträumigen, grenzüberschreitenden Luftverschmutzung.

⁴⁵ Das BUWAL schätzt, dass für die Einhaltung der Ozongrenzwerte eine Reduktion der NO_x- und VOC-Emission um rund 75% gegenüber dem Höchststand der 80er Jahre notwendig ist. Quelle: BUWAL, zitiert in EV 1999, p.7

⁴⁶ Quelle: TRAFICO et al. 1999 p.24; vgl. Abschnitt 2.4.3. Die Autoren gehen beim Verkehr von einem Reduktionsbedarf von 90% gegenüber 1990 aus. Die Zahlen für die gesamte Schweiz wurden entsprechend dem Verhältnis 1990 hochgerechnet.

⁴⁷ Quelle: TRAFICO et al. 1999, p.12

Zukünftige Trends und Handlungsbedarf: Luftschadstoffe

Der Rückgang der verkehrsbedingten NO_x- und VOC-Emissionen seit dem Höchststand Mitte der 80er Jahre war vor allem auf die Einführung des Katalysators für Personenwagen zurückzuführen. Mittlerweile ist dieses Potenzial weitgehend ausgeschöpft, und aufgrund des anhaltenden Verkehrswachstums wäre ohne weitergehende Massnahmen ab ca. 2005 wieder ein Anstieg der NO_x- und VOC-Emissionen zu erwarten.⁴⁸ Verschiedene Entwicklungen der jüngeren Zeit werden sich aber senkend auf diese Emissionen auswirken:

- Die EU hat kürzlich eine mehrstufige Verschärfung der Abgasgrenzwerte sowie neue Vorschriften zur Treibstoffqualität (u.a. maximaler Schwefelgehalt) erlassen. Für neu in Betrieb gesetzte Personen- und Lieferwagen gelten ab 2000 die Grenzwerte EURO 3 und ab 2005 EURO 4. Bei den schweren Nutzfahrzeugen umfasst die Verschärfung drei Stufen (EURO 3, 4 und 5, gültig ab 2000, 2005 und 2008). Gemäss einer Grundsatzklärung des Bundesrates wird die Schweiz diese Grenzwerte übernehmen.
- Alpeninitiative und LSVA werden dazu beitragen, das Güterverkehrsaufkommen auf der Strasse zu dämpfen.

Vor diesem Hintergrund hat das BUWAL seine Prognosen für die Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs überarbeitet.⁴⁹ Dessen NO_x-Emissionen werden 2010 voraussichtlich rund 24'000 t/a erreichen; dies entspricht einer Reduktion gegenüber 1990 um 75%. Die Kohlenwasserstoffe werden im selben Zeitraum um 90% auf rund 10'000 t/a fallen. Bei den Partikelemissionen beträgt der Rückgang rund 80% (vgl. die Grafik im Abschnitt 3.3).

Diese Zahlen zeigen, dass der Strassenverkehr seine Luftschadstoffemissionen bis 2010 nochmals deutlich reduzieren wird. Anschliessend ist ein gewisser weiterer Rückgang zu erwarten. Die Immissionsgrenzwerte für NO₂ sollten dann nur noch an besonders belasteten Standorten überschritten werden.⁵⁰ Allerdings wäre es verfrüht, das Schadstoffproblem der Strasse deswegen als gelöst zu bezeichnen. Box 7 geht näher auf diese Frage ein.

Der günstigen Entwicklung auf der Strasse sind die stark steigenden NO_x-Emissionen des Luftverkehrs gegenüber zu stellen. Als Beispiel sei der Landesflughafen Zürich erwähnt: Der UVB zur 5. Ausbautappe rechnet bei voller Auslastung im Jahr 2010 mit NO_x-Emissionen von rund 3'400 t jährlich. Dies stellt eine Steigerung um 90% gegenüber 1997 dar und entspricht 20–25% der dazumaligen NO_x-Emissionen des Kantons sowie rund 10% der verkehrsbedingten Emissionen der Schweiz. Die Einhaltung des NO₂-Immissionsgrenzwertes in der Flughafenumgebung wird dadurch verhindert. Inzwischen hat das UVEK allerdings eine Emissionslimite verfügt, bei deren Überschreitung zusätzliche Massnahmen zu treffen sind, wobei eine Plafonierung der Flugbewegungen nicht gänzlich ausgeschlossen wird.⁵¹

⁴⁸ Vgl. BUWAL 1995a, p.290

⁴⁹ Vgl. BUWAL 2000a

⁵⁰ EV 1999 p.IV

⁵¹ Von den prognostizierten 3'443 t NO_x entfallen rund 3'000 t (87%) auf Flugbetrieb und Abfertigung und rund 400 t auf den landseitigen Verkehr. Die UVEK-Limite von 2'400 t bezieht sich nur auf den Flugbetrieb und die Abfertigung. Quelle: UVEK 1999b p. 51f und p.65

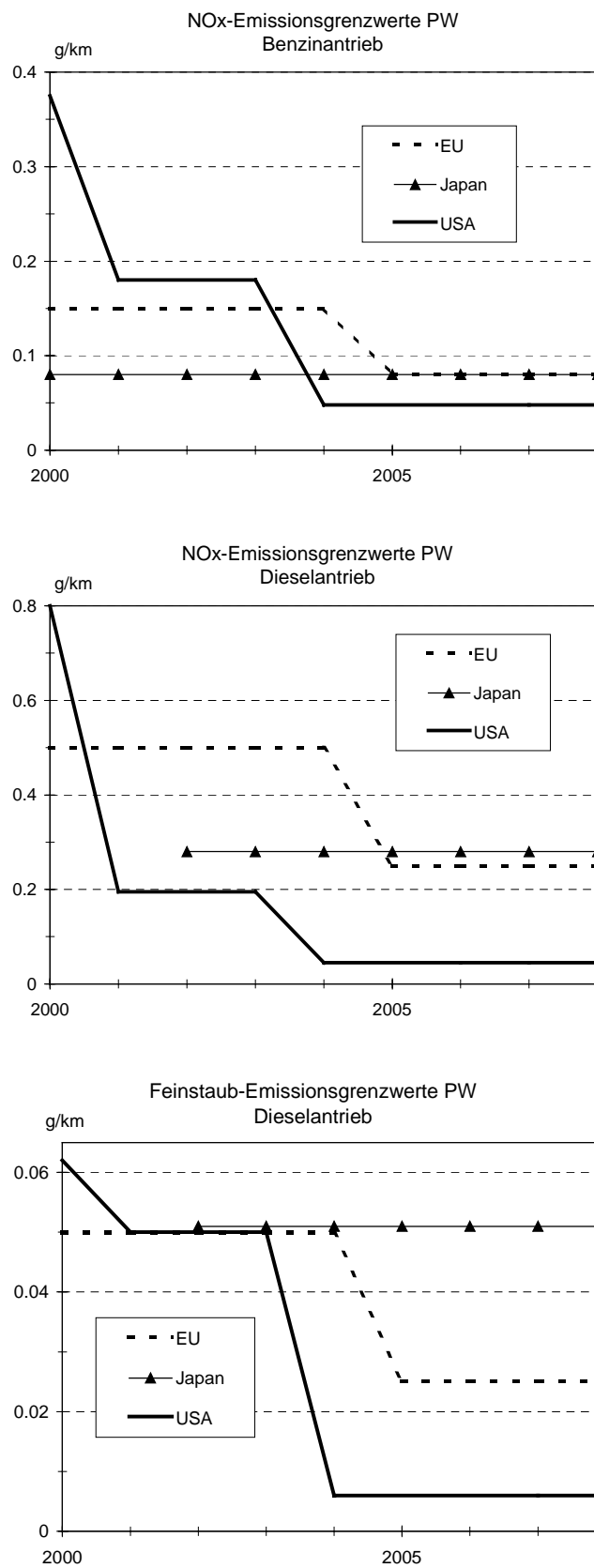
Zusammenfassend verlangt die Frage nach dem Handlungsbedarf bezüglich Luftschadstoffen eine differenzierte Antwort:

- Beim Strassenverkehr versprechen die neuen Abgasgrenzwerte (EURO 3–5) eine bedeutende Entlastung, welche aber zu spät kommt. Eine beschleunigte Reduktion der Partikelemissionen ist notwendig. Zudem erfordert die Sommersmog-Problematik eine Reduktion der NO_x-Emissionen, welche über die heute absehbaren Verbesserungen hinausgeht.
- Beim Luftverkehr ergibt sich grosser Handlungsbedarf im Bereich NO_x.
- Bei der Schiene gilt es, die Emissionen aufgrund der Stromherstellung im Auge zu behalten. Diese sind zwar heute noch gering (hoher Wasserkraftanteil im Bahnstrommix), in Zukunft dürften sie aber steigen.

Box 7: Strassenverkehr und Luftschadstoffe: auch in Zukunft ein Thema

Die verschärften Abgasgrenzwerte für Personen- und Lastwagen (EURO 3–5) versprechen eine spürbare Reduktion der Luftschadstoffemissionen bis 2010 (v.a. NO_x, VOC, Partikel, aber nicht CO₂). Ist die Strasse damit bezüglich Luftverschmutzung „aus dem Schneider“? Verschiedene Gründe legen nahe, dass dies nicht so ist:

- Die Emissionsreduktion kommt, gemessen an den gesetzlichen Zielen des Bundes, viel zu spät.
- Die absehbare Reduktion der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen reicht nicht aus, um die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte für Ozon zu gewährleisten.
- Auch bei Einhaltung der Immissionsgrenzwerte müssen Emittenten weitere Massnahmen realisieren, sofern sie technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar sind (Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes).
- Im Strassenverkehr besteht kurzfristiger Handlungsspielraum vor allem bezüglich der beschleunigten Umsetzung der neuen Emissionsgrenzwerte. Z.B. können Dieselfahrzeuge bereits heute mit Partikelfiltern nachgerüstet werden.
- Der Vergleich mit den Abgasgrenzwerten in den USA zeigt zudem, dass die europäischen Grenzwerte den technischen Spielraum nicht ausschöpfen (vgl. Figur 11). Weitere Verschärfungen sind machbar (für Personenwagen: EURO 5 und 6). Dabei muss sich die Schweiz aber vermutlich nach der EU richten.



Figur 11: Vergleich der geltenden und zukünftigen Abgasgrenzwerte für Personenwagen in der EU, Japan und USA (ohne Kalifornien). Quelle: ECMT 2000

3.6 Lärm

Ausgangslage

Übermässiger Verkehrslärm verursacht Gesundheitsschäden, von Konzentrationsschwächen über Schlafstörungen bis zu Herzinfarkten. Laut neueren deutschen Studien werden rund 2% der Herzinfarkte durch Strassenlärm ausgelöst.⁵² Verkehrslärm ist auch mit erheblichen volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, neben den Gesundheitskosten z.B. über die Entwertung von Gebäuden und Grundstücken (vgl. Abschnitt 3.8). Nicht zu unterschätzen ist die belästigende Wirkung, z.B. die Beeinträchtigung von Erholungsgebieten durch Fluglärm.

Nach Berechnungen des BUWAL⁵³ sind heute ein Viertel der Bevölkerung tagsüber einer Belastung mit Strassenlärm ausgesetzt, die den Immissionsgrenzwert für Wohnzonen gemäss Lärmschutz-Verordnung übersteigt. Nachts dürfte der Anteil der übermässig belasteten Personen eher noch höher liegen. Knapp 5% der Bevölkerung sind übermässigem Eisenbahnlärm ausgesetzt.

Die Lärmbelastung durch den Luftverkehr wird gegenwärtig besonders kontrovers diskutiert. Immissionsgrenzwerte bestanden lange Zeit nur für Regionalf Flughäfen und Flugfelder. 1998 formulierte eine Kommission Grenzwertvorschläge für die Landesflughäfen. Eine darauf basierende Hochrechnung für die Flughäfen Zürich und Genf ergab, dass rund 67'000 Personen oder rund 1% der Landesbevölkerung übermässigen Belastungen unterworfen wären (Stand 1994). Bei rund 15'700 Personen läge die Belastung über dem (höheren) Alarmwert.⁵⁴

Im Frühling 2000 hat der Bundesrat nun Grenzwerte für die Landesflughäfen in Kraft gesetzt. Diese sind weniger streng als der erwähnte Kommissionsvorschlag. Dadurch reduziert sich rechtlich gesehen der Handlungsbedarf für Behörden und Flughäfen. Die übermässige Lärmbelastung grosser Gebiete und die damit verbundene Kontroverse bleibt aber bestehen.

Zielwerte für ein umweltverträgliches Verkehrssystem: Lärm

Ein umweltverträgliches Verkehrssystem muss zumindest die Immissionsgrenzwerte der Lärmschutzverordnung für Strassen- und Bahnlärm einhalten, die auf den Schutz des Menschen vor übermässigen Belastungen ausgerichtet sind. Für Wohnzonen liegen diese Immissionsgrenzwerte bei 60 dB(A) tagsüber und bei 50 dB(A) nachts.⁵⁵ Allerdings sind auch bei Einhaltung dieser Grenzwerte wesentliche Belästigungen nicht auszuschliessen.

⁵² Vgl. TRAFICO et al. 1999, p.26

⁵³ Quelle: BFS & BUWAL 1997, p.129–130.

⁵⁴ Vgl. den Bericht zu den Vorschlägen der Kommission: BUWAL 1998h

⁵⁵ Dass die geltenden Immissionsgrenzwerte für die Landesflughäfen (65 und 57 dB(A)) einen genügenden Schutz gewährleisten, darf angesichts der anhaltenden Opposition in der Bevölkerung bezweifelt werden.

Im Rahmen des EST-Projektes wurden weitergehende Zielwerte definiert, nämlich 55 dB(A) tagsüber und 45 dB(A) nachts.⁵⁶ Diese Werte sind identisch mit den Planungswerten der Lärmschutz-Verordnung für neue Verkehrsanlagen in Wohnzonen. Ihre Einhaltung ist im Sinne eines umfassenden Schutzes der Bevölkerung sehr wünschenswert. Der Vorschlag des EST-Teams bleibt aber noch breit zu diskutieren, zumal er höchstens langfristig eingehalten werden kann. Ähnliches gilt für die Lärmbelastung von Erholungsgebieten, wo die Grundlagen für die Definition von Schutzziele noch unvollständig sind.

Zukünftige Trends und Handlungsbedarf: Lärm

Die Fakten zur zukünftigen Entwicklung der Verkehrslärmbelastung lassen sich wie folgt umreissen:

- Das anhaltende Verkehrswachstum erhöht grundsätzlich die Lärmbelastung.
- Gemäss Fristenvorgabe der LSV sollte die Lärmsanierung der Strassen und Eisenbahnen bis 2002 abgeschlossen werden. Die Gewährung von Erleichterungen wird aufgrund der hohen Lärmbelastung tendenziell eher zunehmen.
- Bei den Eisenbahnen wurde die Sanierungsfrist verlängert und die Kosten der Sanierungsmassnahmen mit der Annahme der FinöV-Vorlage durch das Volk gesichert. Die technischen Massnahmen an Schienenfahrzeugen müssen bis 2009, die baulichen Massnahmen an bestehenden ortsfesten Eisenbahnanlagen und die Schallschutzmassnahmen an bestehenden Gebäuden bis 2015 durchgeführt sein. Allerdings sind 50–70% der in der Schweiz verkehrenden Güterwagen ausländischer Herkunft und damit von diesem Sanierungsprogramm ausgeschlossen. Das Projekt B5 hat sich vertieft mit dem Thema Lärm im Schienengüterverkehr befasst (Abschnitt 4.2.4).
- Auch bei den Strassenlärmsanierung ist absehbar, dass die Frist bis 2002 nicht eingehalten wird und verlängert werden muss, da die entsprechenden Arbeiten nicht wie geplant vorankommen.
- Das Lärminderungspotenzial ist bei der Strasse geringer als bei der Schiene, da im Bereich „leisere Autos“ in den letzten Jahren bereits bedeutende Massnahmen realisiert wurden. Sanierungen im Ausbreitungsbereich scheitern z.T. an der Ortsbildverträglichkeit.
- Beim Fluglärm ist aufgrund des starken Verkehrswachstums in Zukunft mit deutlichen Belastungszunahmen zu rechnen.⁵⁷ Die Folgen sind: spürbare Einbusse an Lebensqualität für die betroffenen Anwohner sowie Bauverbote, Nutzungseinschränkungen und Einzonungsverbote in der Umgebung der Flughäfen.

Diese Überlegungen zeigen, dass die Reduktion des Verkehrslärms auf ein umweltverträgliches Mass weitere Anstrengungen erfordert. Der Handlungsbedarf ist nach wie vor gross.

⁵⁶ Vgl. TRAFICO et al. 1999, p.26

⁵⁷ Vgl. z.B. die Folgen des Ausbaus des Flughafens Zürich in: FDZ 1998, p.1 und p.22

3.7 Verbrauch von Flächen, Natur und Landschaft

Ausgangslage

Der Verkehr nimmt ein Drittel unserer Siedlungsfläche in Anspruch. 85% der Verkehrsfläche entfallen auf den Strassenverkehr. Laufend werden neue Flächen versiegelt. In der Westschweiz z.B. betrug die Flächenzunahme im Zeitraum 1980–1992 zwischen 6% (Bahnareale) und 51% (Autobahnen). Seit Mitte der 80er Jahre hat sich das Wachstum der Siedlungsfläche, und damit vermutlich auch der Strassenareale, wieder etwas verlangsamt.⁵⁸

Zu den Folgen gehört neben dem Kulturlandverlust beispielsweise die Beeinflussung des Grundwassers, da Verkehrsflächen meist versiegelt sind. Verkehrswege stellen auch erhebliche Eingriffe in das Landschaftsbild dar. Weiter entfalten grosse Verkehrswege eine Trennwirkung („Landschaftszerschneidung“), welche die Qualität von Tierhabitaten massgeblich beeinträchtigen kann. Saisonale Wanderungen werden ebenso behindert wie der Austausch von Genen zwischen verschiedenen Populationen. In der Schweiz sind beispielsweise Wildschweine und Hirsche von der Trennwirkung der Autobahnen betroffen.⁵⁹ Zu diesen Wirkungen des Verkehrs auf die Tierwelt liegen nur ungenügende Daten vor.

Die quantitative Erfassung von Schäden an Natur und Landschaft (N+L) ist schwierig. Im Rahmen des Projektes C1 wurde nun ein innovatives und praxisnahes Instrument entwickelt, um die Kosten und Nutzen von N+L-Massnahmen im Verkehr zu quantifizieren (vgl. Box 8). Das Instrument kann in der Planungsphase von Infrastrukturprojekten eingesetzt werden, welche im Abschnitt 2.3 diskutiert wurde. Es befindet sich mitten im Schnittpunkt der drei Nachhaltigkeitsdimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, weil es z.B. ökologische Nutzen und ökonomische Kosten von N+L-Massnahmen, die Werthaltung der Bevölkerung bezüglich N+L sowie ihre Zahlungsbereitschaft berücksichtigt.

Ein laufendes Projekt des Dienstes GVF und des BUWAL befasst sich zudem mit der umfassenden Monetarisierung der externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Dabei werden Habitatverluste, Habitatqualitätsverluste und Habitatfragmentierungen seit den 50er Jahren erfasst und bewertet.⁶⁰

Box 8: Projekt C1: Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz

Unter dem Druck knapper Finanzen werden Natur- und Landschaftsschutz zunehmend kritisch hinterfragt. Im Projekt C1 wurde ein praxisorientiertes Arbeitsinstrument erarbeitet, mit dem Kosten und Nutzen von Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen im Verkehr erfasst, bewertet und gegeneinander abgewogen werden können.

Das vorgeschlagene Modell stützt sich auf das Prinzip der Kosten-Nutzen-Analyse: Die Kosten einer klar definierten Natur- und Landschaftsschutzmassnahme (NLS-Massnahme) werden dem in einen

⁵⁸ Quelle: BUWAL & BFS 1997, p.101 und p.256

⁵⁹ Vgl. Baumgartner 1997

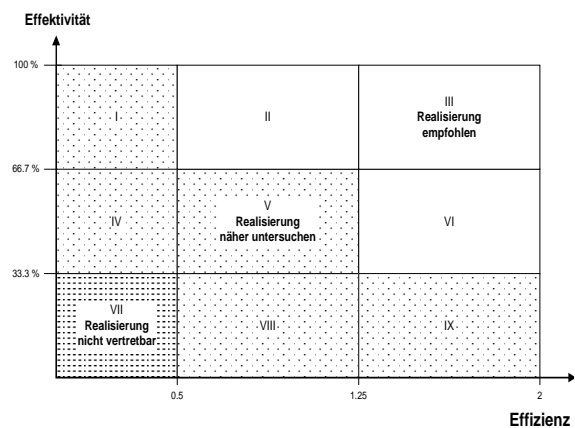
⁶⁰ Vgl. den Zwischenbericht, GVF & BUWAL 2000

Geldwert umgerechneten physischen Nutzen gegenübergestellt. Die methodisch anspruchsvolle Ermittlung des Nutzens einer NLS-Massnahme erfolgt im Modell in zwei Schritten:

1. **Nutzen-Bewertung:** Die Wirkungen einer Massnahme auf Natur und Landschaft werden nach naturwissenschaftlichen Kriterien systematisch erfasst und benotet. Als Bewertungsraster dient ein Zielsystem mit insgesamt 11 Unterzielen. Die 11 Teilnoten (Nutzenpunkte) werden für die gesamte Fläche des Untersuchungsraumes in eine Gesamtnote aggregiert. Die Bewertung des Untersuchungsraumes wird für einen Zustand mit und ohne NLS-Massnahmen durchgeführt. Die Differenz entspricht der Schutzwirkung resp. dem Nutzen der Massnahme.
2. **Nutzen-Monetarisierung:** Für die monetäre Bewertung der Schutzwirkung wird die für das Modell abgeleitete **Zahlungsbereitschaft** der Bevölkerung von 2,5 Rappen pro m², Nutzenpunkt und Jahr eingesetzt („Monetarisierungsfaktor“). Damit kann dem Nutzen für Natur und Landschaft im gesamten Untersuchungsraum ein Geldwert zugeordnet werden.

Die Massnahmen werden aufgrund des ermittelten Nutzen/Kostenverhältnisses (= Effizienz), aber auch aufgrund ihres Beitrags zur Zielerreichung der gesetzlichen Vorgaben (= Effektivität) beurteilt. Das **Effizienz- / Effektivitätsdiagramm** erlaubt eine Triage der Massnahmen in die drei Kategorien „Realisierung empfohlen“, „Realisierung näher untersuchen“, „Realisierung nicht vertretbar“.

Oberziele	Unterziele
Pflanzenwelt und ihre Lebensräume schützen	Artenvielfalt erhalten: - Waldvegetationen - Wiesenvegetationen - Ufervegetationen
Tierwelt und ihre Lebensräume schützen	Artenvielfalt erhalten: - Säuger - Amphibien und Reptilien - Fische / Wassertiere - Vögel - Insekten und andere Tierarten
Heimatliches Landschafts- und Ortsbild schonen	- Freie Landschaften erhalten - Bebaute Gebiete gestalten - Natur- und Kulturdenkmäler schonen



Figur 12: Zielsystem für NLS-Massnahmen, und Effizienz- / Effektivitätsdiagramm für Massnahmen-Triage. Quelle: Infraconsult 1999

Das Projekt C1 darf als vorbildliches Forschungsprojekt gelten, sowohl von seiner Fragestellung her als auch bezüglich der Art seiner Durchführung. Für Einsteiger ist die sorgfältige Aufarbeitung der Grundlagen zum Natur- und Landschaftsschutz im Schlussbericht wertvoll. Innovativ ist insbesondere die Methodik zur naturwissenschaftlichen Erfassung von Umweltveränderungen (Nutzen-Bewertung), die von Grund auf neu entwickelt wurde. Unter anderem galt es, geeignete Indikatoren für die Messung des Zielerreichungsgrades zu definieren und die Frage der Gewichtung der verschiedenen Ziele zu lösen. Für die Nutzen-Monetarisierung wurden empirische Arbeiten zur Zahlungsbereitschaft der in- und ausländischen Bevölkerung für Natur- und Landschaftsschutz ausgewertet und im Modell einer konkreten Anwendung zugeführt.

Die Praxistauglichkeit des Modells wurde anhand von fünf aktuellen Fallbeispielen geprüft. Eingehende Sensitivitätsanalysen zeigen, dass das Modell keine mathematisch genauen, aber doch plausible Resultate liefert. Das Forschungsteam betont, dass weitere Verfeinerungen des Modells möglich sind. Insbesondere bezüglich der Zahlungsbereitschaft wird die Datengrundlage als gegenwärtig ungenügend erachtet, da die Resultate entsprechender Studien meist auf sehr spezifischen Fragestellungen beruhen und nur bedingt auf die Schweiz übertragbar sind. Hier gilt es, den für das Modell hergeleiteten Monetarisierungsfaktor durch Befragungen zu erhärten, welche auch Unterschiede der verschiedenen

Landschaftstypen in verschiedenen Regionen berücksichtigen und einen Flächenbezug der Zahlungsbereitschaft herstellen.

Trotz dieser Unsicherheiten liefert das Modell bereits jetzt eine wertvolle Grundlage für die effiziente Erfüllung der Schutzziele gemäss dem Natur- und Heimatschutzgesetz und dem Landschaftskonzept Schweiz. Planer verfügen nun über ein Instrument, um eine optimale Schutzwirkung pro investiertem Franken zu erzielen. Zusätzlich zu den Fallbeispielen gewährleistet ein Handbuch für Modellanwender im Anhang des Schlussberichtes C1, dass das Modell den Weg in die planerische Praxis findet.

Zielwerte für ein umweltverträgliches Verkehrssystem: Flächen, Natur und Landschaft

Zielwerte für den Flächenbedarf des Verkehrs sowie den Zerschneidungsgrad der Landschaft sind schwierig festzulegen. Das BUWAL fordert, dass der offene Boden in seiner Fläche zu erhalten sei.⁶¹

Durch eine wirksame Raumplanung ist zu verhindern, dass weiterhin Boden ersatzlos versiegelt wird. So sind beispielsweise Neuversiegelungen wo immer möglich durch Entfernen bestehender Anlagen und Wiederherstellen einer bepflanzbaren Fläche zu kompensieren. Was für den Wald recht ist, sollte für den Boden billig sein. [...]

Von diesem Ziel ist die Schweiz zur Zeit weit entfernt. Umso wichtiger ist, dass die Geschwindigkeit der Versiegelung und Landschaftszerschneidung kontinuierlich abnimmt. Im Sinne eines Zwischenzieles schlägt INFRAS vor, die Rate des jährlichen Flächenverbrauchs durch Überbauung zu halbieren.⁶² Der Verkehr kann, unter der Bedingung einer entsprechenden Ausrichtung der Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung, zur Erreichung dieser Ziele einen überproportionalen Beitrag leisten.

Bezüglich Habitatschutz ist die Erkenntnis aus dem NFP Boden zu berücksichtigen, wonach im Mittelland mindestens 12% naturnahe vernetzte Flächen notwendig sind, um den Artenschwund aufzuhalten.⁶³ Dieser Wert entspricht dem Anteil naturnaher Ökosysteme an der Mittellandfläche in den 50er Jahren. Die analogen Werte für die Juraregion und die Region Voralpen / Nordalpen wurden kürzlich ebenfalls bestimmt; sie betragen 25% und rund 40%.⁶⁴ Diese Richtwerte für eine „intakte Naturlandschaft“ könnten den Ausgangspunkt für zukünftige, quantitative N+L-Zielwerte für den Verkehrsbereich darstellen.

In den engen Tälern des Alpenraums ist die Flächenbeanspruchung durch den Verkehr besonders kritisch. Das EST-Projekt für den Alpenraum machte deutlich, dass hier noch schwerwiegende Datenlücken vorliegen, und dass für die Definition nachhaltiger Zielwerte vertiefende Forschungsarbeiten erforderlich sind.⁶⁵ Im Projekt C5 wurde der Konflikt zwischen Verkehrsflächen und Wohn-/Aufenthaltsflächen betont, der in städtischen Räumen ausgeprägt ist. Zu diesem Zweck wurde ein Nachhaltigkeitsindikator „Anteil des Verkehrs an

⁶¹ BUWAL & BFS 1997, p.41

⁶² in: WWF et al., 1995

⁶³ Broggi & Schlegel 1989

⁶⁴ Quelle: GVF / BUWAL 2000, p.20f. Der Unterschied zum Mittelland ist vor allem auf die höheren Anteile naturnaher Wälder in den Gebirgsregionen zurückzuführen.

⁶⁵ Vgl. TRAFICO et al. 1999, p.27

der Siedlungsfläche“ definiert (vgl. Box 1). Auch hier ist für die Bestimmung von Zielwerten noch weitere Forschung und eine breite Diskussion notwendig.

Zukünftige Trends und Handlungsbedarf: Flächen, Natur und Landschaft

Der Flächenbedarf des Verkehrs wird in Zukunft weiter ansteigen:

- Verschiedene Neu- und Ausbaumassnahmen bezüglich Eisenbahnnetz, Nationalstrassen und Flughäfen sind in Planung.
- Kantons- und Gemeindeplanungen weisen einen weiteren Bedarf an Verkehrswegen aus.
- Mit dem prognostizierten Verkehrswachstum steigt der Druck, das Verkehrssystem über die heute geplanten Massnahmen hinaus auszubauen.

Dem steht ein tendenziell steigender öffentlicher Widerstand gegen Ausbauten entgegen. Eine exakte langfristige Prognose wird dadurch schwierig. Der Handlungsbedarf bezüglich Flächenverbrauch sowie Natur und Landschaft ist aber als mindestens mittelgross einzustufen. Zum einen gilt es, zukünftige Schäden und Verluste durch Infrastrukturausbauten möglichst zu vermeiden. Zum anderen warten erhebliche bestehende Schäden auf ihre Behebung.

3.8 Externe Kosten

Unser heutiges Verkehrssystem deckt nicht alle Kosten, die es verursacht, sondern überwälzt einen Teil davon der Allgemeinheit. Ein wesentlicher Teil dieser „externen“ Kosten wird durch die in den vorstehenden Abschnitten beschriebenen Umweltwirkungen bzw. Umweltschäden verursacht („externe Umweltkosten“). Die Thematik wird in der Teilsynthese zum Modul D, im Bericht D3 sowie in der Populärfassung von Maibach et al. (1999) ausführlich untersucht. Wir beschränken uns darauf, einige aus Sicht Umwelt und Gesundheit wesentliche Punkte anzumerken:

- Der Begriff Kostenwahrheit kann im betriebswirtschaftlichen und im volkswirtschaftlichen Sinn verwendet werden. Im ersten Fall geht es um die Kostendeckung bezüglich Verkehrsinfrastruktur und -betrieb. Bei der volkswirtschaftlichen Kostenwahrheit werden auch die externen Umweltkosten mit einbezogen.
- Die Bezifferung der externen Umweltkosten ist schwierig und umstritten. Dies gilt namentlich für die externen Kosten infolge der Klimaerwärmung, wo die Unsicherheit über die zu erwartenden Auswirkungen besonders gross sind.
- Bei der Schiene ist vor allem die betriebswirtschaftliche Kostendeckung ungenügend. Die externen Umwelt- und Unfallkosten in der Grössenordnung von 380 Mio. Fr. pro Jahr sind vergleichsweise unbedeutend (Stand 1995). Umgekehrt ist es bei der Strasse, welche ihre betriebswirtschaftlichen Kosten weitgehend bis vollständig deckt. Der Strassen-

verkehr verursacht aber externe Umwelt- und Unfallskosten in der Grössenordnung von 7.3 Mrd. Fr. pro Jahr, wobei rund drei Viertel auf den Personenverkehr entfallen. Zusammengenommen entsprechen diese Kosten rund 2.2% des Bruttoinlandprodukts der Schweiz, was zeigt, dass die vom Verkehr verursachten Umweltschäden wirtschaftlich durchaus von Bedeutung sind. Der Luftverkehr, zu dem bislang keine genügenden Daten vorliegen, ist dabei noch ausgenommen.

Im Projekt D4 wurde erstmals untersucht, wie sich die ungedeckten Kosten des Verkehrs auf die Regionen der Schweiz verteilen. Der Befund ist regionalpolitisch brisant: Absolut gesehen sind die städtischen Zentren am stärksten belastet. Die durchschnittliche Belastung *pro Einwohner* ist hingegen in den dünn besiedelten Alpen am höchsten; für die Region Unterengadin wird sie z.B. auf gegen 4'000 Fr. pro Jahr geschätzt. Verantwortlich dafür sind vor allem die Luftschadstoff-bedingten Waldschäden, welche allerdings relativ grosse Unsicherheiten aufweisen. Auch die Voralpen, die Juraregion sowie die Zentren weisen überdurchschnittliche Pro-Kopf-Belastungen auf. Erstere haben vor allem Ertragsausfälle im Skitourismus aufgrund der Klimaerwärmung zu gewärtigen. In den Zentren fallen die Kosten für Lärm, Gesundheits- und Gebäudeschäden sowie Unfälle besonders ins Gewicht.

Das D4-Team hat sich auch mit den Auswirkungen verschiedener Internalisierungsszenarien befasst und aufgezeigt, dass der Frage der Mittelverwendung im Hinblick auf den Abbau regionaler Ungleichheiten grosse Bedeutung zukommt. Wir kommen im Abschnitt 4.5 darauf zurück.

Mit der Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe hat die Schweiz einen bedeutenden Schritt in Richtung Kostenwahrheit vollzogen. Mit ihr wird der Strassengüterverkehr neu nicht nur seine Betriebskosten, sondern auch einen wesentlichen Teil seiner Umweltkosten decken (Einführung ab 2001). Beim Personenverkehr auf der Strasse und dem Luftverkehr ist die Situation hingegen nach wie vor unbefriedigend. Beim Luftverkehr droht aufgrund der hohen Wachstumsraten sogar noch eine Verschärfung. Verstärkte Anstrengungen sind hier nötig, um einerseits die Umweltschäden zu minimieren und andererseits die verbleibenden externen Kosten zu internalisieren. Insgesamt ist der Handlungsbedarf bezüglich der externen Verkehrskosten nach wie vor gross.

3.9 Fazit zur Umweltbilanz des Verkehrs

Die Analyse in diesem Kapitel hat aufgezeigt, dass das Umweltproblem des Verkehrs bislang nicht gelöst ist. Nach wie vor belastet der Verkehr Mensch und Umwelt zu stark mit Schadstoffen und Lärm. Nach wie vor schreitet der Verzehr von Energieressourcen, Flächen und Landschaft voran.

Der Handlungsbedarf bezüglich der einzelnen Umweltbelastungen richtet sich zum einen danach, wie weit der heutige Verkehr von der Umweltverträglichkeit entfernt ist. Zum anderen sind die zukünftigen Entwicklungstrends unter *business-as-usual* Bedingungen, d.h. ohne zusätzliche Massnahmen, zu berücksichtigen.

- Alarmierend ist die Entwicklung der **Treibhausgasemissionen**: Um das Risiko einer globalen Klimakatastrophe auf ein erträgliches Mass zu reduzieren, müssen die Industrieländer ihre CO₂-Emissionen bis 2030 um 60–80% reduzieren. Dies erfordert eine rasche Trendwende, von steigenden hin zu sinkenden CO₂-Emissionen, in allen Sektoren. Entgegen diesem Ziel werden die CO₂-Emissionen des Verkehrs, nicht zuletzt aufgrund des Luftverkehrswachstums, in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter anwachsen. Der Verkehr droht somit die Reduktionserfolge im Brennstoffbereich zu kompensieren. Das Ziel des CO₂-Gesetzes, die Emissionen aus Treibstoffen bis 2010 um 8% gegenüber 1990 zu reduzieren, wird ohne zusätzliche Massnahmen deutlich verfehlt.
- Bei den **Luftschadstoffen** versprechen die verschärften Abgasgrenzwerte für Personen- und Lastwagen eine spürbare Entlastung bis 2010, welche allerdings viel zu spät kommt und längerfristig nicht ausreicht. Die neuen Grenzwerte schöpfen den technischen Spielraum nicht aus und könnten früher als vorgesehen eingehalten werden. Überdies verschärft sich die Belastung mit NO_x im Gebiet der Landesflughäfen.
- Beim **Lärm** verzögern sich die gesetzlich vorgeschriebenen Sanierungen erheblich: Weiterhin werden ca. ein Drittel der Bevölkerung gesundheitsschädlichen Lärmbelastungen durch Strasse, Luftverkehr oder (in abnehmendem Masse) Schiene ausgesetzt sein.
- Die Probleme im Bereich **Flächenverbrauch, Zerschneidung natürlicher Lebensräume** und **Landschaftsbelastung** werden durch den anhaltenden Ausbau der Verkehrsinfrastruktur weiter verschärft.

Die CO₂-, Luftschadstoff- und Lärmemissionen sind aus Umweltsicht die **Kernprobleme des Verkehrs mit dem grössten Handlungsbedarf**. Die folgenden Kapitel werden schwerge-
wichtig auf diese Probleme ausgerichtet. Die übrigen Umweltprobleme des Verkehrs, namentlich der Flächenverbrauch und die Zerschneidung von Landschaft und Lebensräumen, sind ebenfalls bedeutend, aber in ihrer Dynamik weniger dringend. Zudem werden sich Massnahmen zur Lösung der Klima-, Luft- und Lärmproblematik oft auch positiv auf diese übrigen Bereiche auswirken. Im Natur- und Landschaftsschutz gilt es, zusätzliche Belastungen durch neue Verkehrsinfrastrukturen zu minimieren und bestehende Belastungen im Rahmen des technisch und finanziell Möglichen schrittweise abzubauen.

4 Handlungsfelder für umweltverträglichen Verkehr

4.1 Vorbemerkungen zur Systematik

Die Umweltprobleme des Verkehrs sind erkannt – wie können sie gelöst werden? Im NFP 41 wurden diverse Ansätze für die umweltverträglichere Gestaltung des Verkehrssystems untersucht und zahlreiche praktische Lösungsvorschläge formuliert. Das folgende Kapitel stellt die wichtigsten Beiträge vor. Das Spektrum der möglichen Massnahmen ist so vielfältig, dass allein schon die systematische Einordnung in den „verkehrspolitischen Werkzeugkasten“ anspruchsvoll ist. Tabelle 4 zeigt einen möglichen Rahmen für diese Einordnung auf.

Politikinstrumente	Drei verkehrspolitische Grundstrategien					
		Effizienz verbessern	Verlagern	Vermeiden		
Strategische Richtlinien Gebote u. Verbote, Standards Marktwirtschaftl. Instrumente Freiwillige Vereinbarungen	→	Verkehrspolitische Ansatzpunkte	Marktordnung, Finanzierung	X	X	X
			Planung, Raumordnung		X	X
	→		Fahrzeugtechnik	X		
			Betrieb, Abläufe	X		
	→		Information, freiw. Massnahmen	X	X	X

*Tabelle 4: Systematik des Werkzeugkastens für umweltverträglichen Verkehr. Massnahmen können nach verkehrspolitischen Ansatzpunkten oder nach Grundstrategien kategorisiert werden. X = Hauptwirkungsbereich der Ansatzpunkte, bezogen auf die Grundstrategien
Quelle: eigene Darstellung*

Tabelle 4 unterscheidet zwischen den drei verkehrspolitischen Grundstrategien *Effizienz verbessern* – *Verlagern auf umweltfreundliche Verkehrsmittel* – *Vermeiden von Verkehr* sowie verkehrspolitischen Ansatzpunkten wie *Marktordnung*, *Planung*, etc. Die meisten Ansatzpunkte interagieren mit mehr als einer Grundstrategie. Beispielsweise wird eine Entzerrung der Marktordnung durch Internalisierung externer Umweltkosten Impulse für eine effizientere Verkehrsabwicklung geben, aber auch die Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel fördern und das Verkehrswachstum dämpfen. Der Regierung und Verwaltung stehen wiederum verschiedene *Politikinstrumente* zur Verfügung, um auf die verkehrspolitischen Ansatzpunkte einzuwirken, z.B. technische Vorschriften oder marktwirtschaftliche Instrumente.

Zusammen bilden Ansatzpunkte und Grundstrategien eine Matrix, in deren Felder viele NFP 41-Projekte recht eindeutig eingeordnet werden können. Eine lückenlose und überlappungsfreie Gliederung ist aber auch mit dieser Systematik nicht zu erzielen. Aus diesem

Grund gliedern wir das vorliegende Kapitel nicht nach dem einen oder anderen, sondern nach einer Mischstruktur, welche die folgenden *Handlungsfelder für umweltverträglichen Verkehr* umfasst:

- Umwelteffizienz der Verkehrsträger steigern
- Verkehr auf umweltfreundlichere Verkehrsträger verlagern
- Verkehr vermeiden
- Faire Preise und Märkte
- Planung und Raumordnung
- Information und freiwillige Massnahmen

Wohlgermerkt: Die Liste dieser Handlungsfelder erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Trennschärfe. Sie dient lediglich als Hilfsmittel, um die umweltrelevanten Resultate des NFP 41 und weiterer wesentlicher Forschungsarbeiten in einen leserfreundlichen Rahmen zu packen. Auf die zwei „fehlenden“ Ansatzpunkte *Fahrzeugtechnik* und *Verkehrsabläufe* wird im Rahmen des Handlungsfelds *Umwelteffizienz der Verkehrsträger* eingegangen.

4.2 Umwelteffizienz der Verkehrsträger steigern

4.2.1 Ausgangslage

Abschnitt 3.3 hat gezeigt, dass die spezifische Umweltbelastung pro Fahrleistung in den vergangenen Jahren bei allen Verkehrsträgern beträchtlich abgenommen hat. Diese Verbesserung der *Umwelt-* oder *Ökoeffizienz* des Verkehrs wird auch in Zukunft wichtige Beiträge zur Entlastung der Umwelt liefern. Zu nennen sind etwa die verschärften Emissionsgrenzwerte im Strassenverkehr (EURO 3–5), welche durch bessere Fahrzeugtechnik und Treibstoffqualitäten eingehalten werden können. Auch die in der Verordnung zum Energiegesetz verlangte Absenkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs bei Neuwagen ist diesem Handlungsfeld zuzuordnen.

Es stellt sich die Frage, welche weitergehenden Ökoeffizienzgewinne erzielt werden können. Dieser Themenkreis war kein Hauptgegenstand des NFP 41, weil einerseits die technisch orientierte Forschung traditionell Sache der Fahrzeugindustrie ist und andererseits der Bund im Rahmen der Ressortforschung bereits wichtige Übersichtsarbeiten geleistet hat.⁶⁶ Trotzdem haben verschiedene Projekte des NFP 41 Resultate geliefert, die zur Ökoeffizienz des Verkehrs beitragen. Beispiele:

- das Projekt B5, Zukunftsgüterbahn, befasste sich mit den ökonomischen und ökologischen Sparpotenzialen auf der Schiene („Faktor 4-Güterbahn“);

⁶⁶ Vgl. z.B. BUWAL 1997a, *Möglichkeiten des technischen Umweltschutzes beim öffentlichen Strassenverkehr*, sowie GVf 1997a, *Umweltindikatoren im Verkehr. Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel*

- die Projekte des Moduls E befassten sich mit den Potenzialen der Verkehrstelematik, von der einerseits Beiträge zur ökologischen und ökonomischen Effizienz des Verkehrs erhofft werden, andererseits aber – über Kapazitäts- und Attraktivitätssteigerungen – auch eine verkehrserzeugende Wirkung ausgeht.

Nachstehend geben wir einen – aufgrund der Weitläufigkeit des Themas zwangsläufig sehr selektiven – Überblick über einige Potenziale zur Entlastung der Umwelt auf der Strasse, Schiene und im Luftverkehr. Dabei interessiert besonders die Frage der Sparpotenziale für CO₂. Der Forschung ausserhalb des NFP 41 wird relativ viel Platz eingeräumt, was angesichts der Bedeutung der Klimaproblematik gerechtfertigt scheint.

4.2.2 Neue und verbesserte Antriebe auf der Strasse

Elektroautos

Batteriebetriebene Elektromobile zeichnen sich durch *lokale* Emissionsfreiheit aus: Im Betrieb emittieren sie weder Schadstoffe noch Treibhausgase und sind ausgesprochen leise. Elektromotoren weisen zudem einen hohen Wirkungsgrad auf und können einen Teil der Bremsenergie durch Rekuperation zurückgewinnen.

Der lokalen Emissionsfreiheit stehen die Emissionen bei der Bereitstellung der elektrischen Energie gegenüber. So zeigt eine vergleichende Ökobilanz⁶⁷ von Elektrofahrzeugen in Rügen (D) und Mendrisio (CH), dass Elektrofahrzeuge in Deutschland mit hohen Schadstoff- und Treibhausgasemissionen belastet sind und im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren keinen Beitrag zur Schadstoffreduktion leisten, weil der Strom zu zwei Dritteln aus fossil-thermischen Kraftwerken stammt. In der Schweiz produzierter Strom ist hingegen mit seinem hohen Anteil von Wasser- und Kernkraft (58% bzw. 38%) nahezu frei von CO₂. Entscheidend für die Umweltbilanz von Elektromobilen ist somit die Art der Stromherstellung.

Unter den Bedingungen des heutigen nationalen Strommixes könnte in der Schweiz eine Substitution von Verbrennungsfahrzeugen durch Elektrofahrzeuge einen hohen spezifischen Beitrag zur Reduktion der Emissionen von CO₂ und Schadstoffen leisten. Die Strommärkte befinden sich jedoch gegenwärtig in einer Phase der Öffnung und Liberalisierung, was zu einem verstärkten internationalen Stromaustausch und damit zu einem höheren Anteil fossil-thermischer Kraftwerke am Schweizer Strommix führen wird. Eine Studie des BUWAL⁶⁸ hat die spezifischen Emissionen der Elektrofahrzeuge unter den zukünftigen Stromproduktionsbedingungen in der Schweiz für das Jahr 2030 abgeschätzt. Sie rechnet mit einer leichten Erhöhung der Treibhausgasemissionen, aber nur unwesentlichen Veränderungen bezüglich Luftschadstoffen (Bezugsjahr 1995).

⁶⁷ BEW 1997b

⁶⁸ BUWAL 1998a

Entscheidender als der Strommix der Zukunft dürfte aber die Frage sein, welche Kraftwerkstypen den *zusätzlichen* Strombedarf für einen signifikanten Ausbau der Mobilität mittels Elektrofahrzeugen decken würden (Grenzstrombetrachtung). Auf Grund der Kostenstrukturen ist hier vorderhand mit fossil-thermischen Kraftwerken zu rechnen, was die spezifischen Emissionen wieder in die Nähe von herkömmlichen Benzin- oder Dieselantrieben rücken könnte. Solche Grenzstrombetrachtungen sind heute noch zuwenig verbreitet; dies gilt auch für den zusätzlichen Strombedarf beim Ausbau der Schiene. Als Folgerung drängt sich auf, dass eine Umstellung auf Elektrofahrzeuge vor allem dann Sinn macht, wenn gleichzeitig entsprechende, umweltfreundliche Stromerzeugungskapazitäten bereitgestellt werden.

Den lokalen Umweltvorteilen der batteriebetriebenen Elektromobile stehen spezifische Nachteile wie kürzere Reichweite, dünnes Netz von Ladestationen, lange Ladezeiten und hoher Platzbedarf für die Batterien gegenüber. Diese Nachteile bestimmen die Nischen, in denen Batteriefahrzeuge in Zukunft einen wichtigen Platz einnehmen können: Im Vordergrund stehen der Stadtverkehr sowie etwa Tourismusorte. Eine Nische füllt der Elektromotor auch bei Hybridfahrzeugen für Fahrten in der Stadt, während über Land ein zweiter Motor mit Verbrennungstechnologie den Antrieb übernimmt und die Batterie lädt. Eines der vielversprechendsten Konzepte für Autos mit Elektromotor liegt jedoch in der Strombereitstellung im Fahrzeug mittels einer Brennstoffzelle.

Brennstoffzelle

Die Brennstoffzellentechnologie verspricht eine Alternative zur problematischen Energiespeicherung in Batterien beim Elektrofahrzeug. Brennstoffzellen produzieren den Strom in einem elektrochemischen Prozess, beispielsweise aus Wasserstoff und Sauerstoff. Sie zeichnen sich durch einen sehr hohen Wirkungsgrad und vernachlässigbare Schadstoffemissionen (NO_x, Kohlenwasserstoffe, Russpartikel) aus.



Figur 13: Mit Wasserstoff und Luft betriebener 1kW-Brennstoffzellenstapel, entwickelt am Paul Scherrer Institut in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich (Bild PSI)

Viele Faktoren reduzieren beim heutigen Stand der Technik jedoch den erreichbaren Wirkungsgrad des Brennstoffzellenfahrzeugs. Verlustreiche Nebenaggregate und Verwendung von Luft anstelle des umständlich zu transportierenden Sauerstoffs senken den gesamten Wirkungsgrad in die Nähe desjenigen eines Dieselfahrzeugs.⁶⁹

Wie schon beim batteriegetriebenen Elektromobil stellt sich auch beim Wasserstoffantrieb das Problem der vorgelagerten Emissionen. Wasserstoff wird heute in der Regel auf der Basis von Erdgas hergestellt oder fällt als Nebenprodukt in der Mineralöl- und der chemischen Industrie an. Ein geringerer Teil

⁶⁹ Petersen & Diaz-Bone 1998, p. 251

des Bedarfs wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. Alle diese Herstellungswege führen letztlich zu CO₂-Emissionen oder sind mit anderen schwer wiegenden Nachteilen behaftet (Atomstrom). Die umweltfreundliche und preisgünstige Herstellung grosser Wassermengen stellt damit eine wichtige Herausforderung für die Energiepolitik dar.

Ein wesentlicher Nachteil des Wasserstoffantriebs liegt in der aufwendigen Betankung und Speicherung. Um die notwendigen Energiemengen für Fahrzeugreichweiten von einigen hundert Kilometern kompakt im Fahrzeug unterbringen zu können, muss Wasserstoff entweder unter hohem Druck oder bei extrem tiefen Temperaturen aufbewahrt werden, was technisch schwierig zu handhaben ist und zu Gewichtszunahme und Effizienzverringern führt. Der Betrieb von Brennstoffzellen mit flüssigen Treibstoffen wie etwa Benzin ist theoretisch machbar, aber zur Zeit noch nicht praktikabel. Eine andere Lösung besteht darin, den Wasserstoff im Fahrzeug selbst von einem gut speicherbaren Primärenergieträger wie etwa Methanol abzuspalten. Der Nachteil dieser mehrstufigen Energiekette liegt neben technischen Problemen in der hohen Anzahl von Umwandlungsschritten, welche den Gesamtwirkungsgrad stark reduzieren.

Vor diesem Hintergrund liegt der Vorteil von Brennstoffzellenfahrzeugen in näherer Zukunft weniger in ihrem überlegenen Wirkungsgrad oder in besonders tiefen Treibhausgasemissionen. Fast alle grossen Automobilhersteller sehen aber in der Brennstoffzellentechnik eine Möglichkeit, die zunehmend schärferen Emissionslimiten für klassische Luftschadstoffe zu erfüllen. Konzerne wie DaimlerChrysler, Ford, Toyota, VW und Opel wollen um das Jahr 2004 bis 2005 erste Brennstoffzellenautos zu konkurrenzfähigen Preisen auf den Markt bringen. Dass die Miniaturisierung schon heute weit fortgeschritten ist, beweist DaimlerChrysler mit einem Prototyp, bei dem Brennstoffzelle und Reformier in einem A-Klasse Modell untergebracht sind, ohne den Innenraum wesentlich zu beeinträchtigen.

Erdgas als Treibstoff in Verbrennungsmotoren

Erdgas ist der kohlenstoffärmste fossile Energieträger. Seine spezifischen CO₂-Emissionen pro Energieeinheit liegen rund 25% unter denen von Benzin oder Diesel. Auch bezüglich Luftschadstoffen (NO_x, PM₁₀) bietet Erdgas grosse Vorteile. Damit scheint im Umstieg von Diesel oder Benzin auf Erdgas als Treibstoff ein beträchtliches Potenzial zur Reduktion der Schadstoff- und Treibhausgasemissionen zu liegen.

Das BUWAL hat verschiedene Benzin- und Dieselsorten, Erd- und Flüssiggas sowie die biogenen Treibstoffe Ethanol, Methanol und Rapsölmethylester bezüglich ihrer spezifischen Schadstoff- und Treibhausgasemissionen untersucht.⁷⁰ Dabei wurden die heute verfügbaren Technologien und Abgasnormen (EURO 2) zu Grunde gelegt. Neben dem Fahrzeugbetrieb wurden auch die Emissionen durch die vorgelagerten Prozesse der Treibstoffbereitstellung

⁷⁰ BUWAL 1998d

berücksichtigt (Förderung, Raffinierung und Transport). Die Treibstoffe wurden auf der Basis des Gebrauchsnutzens in Form eines gefahrenen Kilometers verglichen.

Das Resultat der Studie unterstreicht das grosse Potenzial des Treibstoffs Erdgas zur Reduktion der meisten Schadstoffe, wie Stickoxiden, Partikel, sowie Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe. In der Gesamtbewertung nach Umweltbelastungspunkten schneidet Erdgas rund doppelt so gut ab wie Benzin, und rund dreimal so gut wie Diesel. Lediglich bezüglich der Treibhausgasemissionen weist Erdgas gegenüber Benzin und Diesel nur geringfügige Vorteile auf. Der Grund liegt einerseits in den relativ hohen, vorgelagerten Methanemissionen (einem starken Treibhausgas). Andererseits ist der Wirkungsgrad von Gasmotoren in heutiger Technologie vergleichsweise gering, da es sich dabei oft um abgewandelte Verbrennungsmotoren für andere Treibstoffe (z.B. Diesel) handelt, welche nicht vollständig für den Treibstoff Erdgas optimiert sind.

Die zukünftige Verschärfung der Emissionsvorschriften (EURO 3–5) wird zur Senkung der Emissionen von Benzin- und Dieselmotoren den Einsatz neuer Technologien wie DeNO_x-Katalysator oder Partikelfilter erfordern, während bei Gasfahrzeugen keine oder geringe Absenkungen der Emissionen notwendig sein werden. Damit dürfte sich der Umweltvorteil von Gas- gegenüber Benzin- und Dieselfahrzeugen künftig verkleinern. Allerdings besteht bei Gasmotoren noch ein beträchtliches Entwicklungspotenzial bezüglich ihrer Effizienz, und eine verbesserte Fördertechnologie dürfte auch zu geringeren Methanverlusten und damit zu einer weiteren Verminderung der Treibhausgasemissionen führen.

Im alltäglichen Gebrauch hat Erdgas den Nachteil, dass es sich im Unterschied zu Benzin und Diesel nur in teuren und voluminösen Drucktanks oder bei Tiefsttemperaturen speichern lässt. Dies stellt höhere Anforderungen an die Treibstoffversorgung, den Tankvorgang und an die Konstruktion des Fahrzeuges. Die Erdgastanks sind deutlich schwerer als Benzin- oder Dieseltanks, was das Fahrzeuggewicht erhöht und die Reichweite einschränkt.

Eine wichtige Nische für den Erdgasantrieb ist der Einsatz bei Stadtbussen. Eine Studie des BUWAL (1997a) betont, dass der Ersatz von Dieselbussen durch Gas- oder Elektrobusse eine valable und kurzfristig realisierbare Möglichkeit zur Schadstoffreduktion darstellt. Auch die Stadt Winterthur hat Trolley-, Diesel- und Gasbusse bezüglich ökologischer und ökonomischer Aspekte untersucht. Bezüglich Kosten schnitt die Erdgasvariante nur unwesentlich schlechter ab als der Dieselbus (+16%, Vollkosten), bei einer um ein Mehrfaches tieferen Umweltbelastung durch Luftschadstoffe und Lärm. Im Vergleich hätte der Trolleybus nur noch eine geringe weitere Verbesserung im Emissionsverhalten bei 71% Mehrkosten gebracht. Für die Anwendung als Stadtbus auf einer bestimmten Linie in Winterthur verfügt der Gasbus damit klar über das beste Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis.

Während die Stadt Winterthur schliesslich von der Beschaffung von Gasbussen aus Spargründen absah, sind in der Stadt Basel seit 1996 zwölf Gasbusse im regelmässigen Einsatz.

Eine zwei Jahre später durchgeführte Studie⁷¹ bestätigt die Vorteile von Gasbussen gegenüber Dieselnbussen bezüglich Stickoxiden, Partikeln und Lärm bei Messungen unter Realbedingungen und demonstriert die Alltagstauglichkeit der Gastechologie bei Stadtbussen.

Fazit zu neuen Antrieben aus Sicht CO₂ und Luftschadstoffen

Der Fahrzeugantrieb auf der Strasse wird mittelfristig kohlenstoffbasiert bleiben. Verschärfte Abgasvorschriften und freiwillige Vereinbarungen der Industrie werden zu einer Senkung der spezifischen Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen führen. Gasfahrzeuge und Elektromobile können kurz- bis mittelfristig gewisse Nischen besetzen, vor allem im städtischen Bereich, wo ihre lokale Emissionsarmut von direktem Vorteil ist. Allerdings sind auch beim Diesel- und Benzinantrieb noch beträchtliche Sparpotenziale bezüglich Luftschadstoffen und Treibstoffverbrauch vorhanden. Ob Elektromobile in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Schadstoff- und Treibhausgasemissionen leisten können, hängt davon ab, ob es gelingt, den benötigten Strom emissionsarm bereitzustellen.

Beim Brennstoffzellenantrieb ist besonders hinsichtlich seines Wirkungsgrades und seiner Alltagstauglichkeit noch ein beträchtlicher Forschungsaufwand notwendig. Er stellt daher erst in mittlerer bis langfristiger Perspektive eine Alternative zum Verbrennungsmotor dar, wenn auch eine Alternative mit sehr grossem Potenzial. Analog zum Elektro- und Erdgasantrieb stellt sich hier die Frage nach der emissionsarmen Bereitstellung des Treibstoffs.

Der wichtigste Beitrag zur Milderung der Klimaproblematik im Verkehr ist vorderhand nicht von den besprochenen neuen Antrieben zu erwarten, sondern von der Verbesserung der bestehenden Fahrzeugkonzepte. Mit einem Übergang auf leistungsschwächere und leichtere Fahrzeuge in Verbindung mit effizienter, heute verfügbarer Verbrennungsmotorentechologie kann kurz- bis mittelfristig ein erheblicher Beitrag zur Emissionsreduktion geleistet werden, bei vergleichsweise geringen Kosten.⁷² Die Ausschöpfung dieser Potenziale bedingt neben der Technologieforschung die Untersuchung ökonomischer und vor allem sozialer Faktoren, welche die Fahrzeugwahl und das Mobilitätsverhalten prägen (vgl. Abschnitt 4.7). Die notwendigen Massnahmen zur Senkung von Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs werden im Abschnitt 6.2.5 nochmals ausführlicher thematisiert.

⁷¹ BUWAL 1998c

⁷² Petersen & Diaz-Bone 1998, p.265

4.2.3 Strassenverkehr effizienter abwickeln

Das Spektrum der Massnahmen für eine effizientere Abwicklung des Strassenverkehrs ist vielfältig. Wir beschränken uns auf zwei Stossrichtungen, zu denen das NFP 41 Resultate geliefert hat:

- Verkehrssystem-Management mittels Telematik
- Massnahmen zur Erhöhung des Besetzungsgrades von Fahrzeugen

Verkehrssystem-Management

Verkehrssystem-Management (VSM) zielt darauf ab, die Effizienz des Verkehrsablaufs bezüglich Sicherheit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Das Projekt E4 hat die Wirkungen eines VSM auf Umwelt und Verkehrsverhalten untersucht. Forschungsgegenstand war das VSM Bern, welches in den nächsten Jahren Schritt für Schritt eingeführt werden soll. Im Einzelnen strebt das VSM Bern die folgenden Ziele an:

- Optimierung des Verkehrs auf den Autobahnen (Homogenität des Verkehrsflusses)
- planmässige Abwicklung des Verkehrs auf den Hauptstrassen
- möglichst störungsfreier Betrieb des öffentlichen Verkehrs
- Berücksichtigung der Bedürfnisse des Langsamverkehrs (Velo und Fussgänger)

Die beabsichtigten Massnahmen umfassen z.B. die Dosierung des Verkehrszufusses in die Stadt während Spitzenzeiten (Pfortnerung), integrierte Lichtsignalsteuerungen mit ÖV-Priorisierung, ein Parkleitsystem sowie Wechselverkehrszeichen. In späteren Etappen sollen weitere Massnahmen bis hin zu einem Road Pricing folgen.

Die Studie zeigt in einer ex ante-Betrachtung auf, dass mittels VSM grossräumige Verkehrszusammenbrüche vermieden werden können. Ihr Beitrag zur Umweltentlastung wird dagegen als eher gering eingeschätzt. Z.B. vermögen Parkleitsysteme die Anzahl der gefahrenen Kilometer nur marginal zu verringern. Die Verflüssigung des Verkehrs dürfte aber Emissionsreduktionen von einigen wenigen Prozenten bewirken, und auch bei den Unfällen kann eine deutliche Verbesserung erzielt werden (ca. minus 10%). Der öffentliche Verkehr wird beschleunigt und gewinnt damit an Attraktivität. Insgesamt schätzen die Autoren, dass die Einsparungen an Stau- und externen Umweltkosten die Kosten des VSM etwa aufwiegen.

VSM steigert die Kapazität und Attraktivität der Strasse. Mit flankierenden Massnahmen muss daher verhindert werden, dass die gewonnenen Vorteile durch einen Zuwachs der Verkehrsleistungen kompensiert werden. Hier stellen die Forscher marktwirtschaftliche Anreize wie die Anlastung externer Kosten sowie eine flächendeckende Parkraumbewirtschaftung in den Vordergrund.

Massnahmen zur Erhöhung des Besetzungsgrades von Fahrzeugen

Der durchschnittliche Besetzungsgrad der Autos hat stetig abgenommen und liegt nun bei 1.62 Personen pro Auto, im Pendlerverkehr sogar bei 1.14 (1994). Das bedeutet, dass 60–80% der PW-Sitze leer herumfahren. Ein Potenzial für eine Effizienzsteigerung der Strasse?

Ein umfangreiches Forschungsprojekt der EU-Kommission untersuchte die Möglichkeiten, mit innovativen Massnahmen und technischen Instrumenten den PW-Besetzungsgrad signifikant zu erhöhen. Das NFP 41-Projekt A6 wurde darin eingebunden. Die Forschung umfasste neben einer Auswertung früherer Erfahrungen auch Pilotprojekte zur Bildung von Fahrgemeinschaften sowie Simulationen zur Übertragbarkeit der Resultate.

Als zielführende Massnahmen wurden insbesondere die Öffnung von Busspuren für Fahrgemeinschaften, bevorzugte Parkierung sowie Mitfahrzentralen untersucht. Die Resultate sind ernüchternd. Trotz vereinzelter erfolgreicher Beispiele kommen die Forscher zum Schluss, dass eine wesentliche Erhöhung des Besetzungsgrades nur durch eine einschneidende Änderung der automobilen Rahmenbedingungen möglich ist. Als Gründe sind etwa zu nennen:

- Der tiefe Preis der Automobilität lässt die wirtschaftlichen Einsparungen durch Fahrgemeinschaften als unbedeutend erscheinen. Mitfahrzentralen können in absehbarer Zeit nicht rentabel betrieben werden.
- V.a. in der Schweiz mangelt es an Leidensdruck bezüglich Staus.
- Die zunehmende Flexibilisierung der Arbeitszeiten erschwert die Bildung von Fahrgemeinschaften bei Arbeitspendlern.

Die untersuchten Massnahmen dürften daher in absehbarer Zeit nur geringe Beiträge zur Umweltentlastung leisten. Die Resultate des Forschungsprojektes erlauben aber auch, die vorhandenen Potenziale zielgerichteter auszuschöpfen, z.B. durch Car-Pooling bei Grossveranstaltungen wie der Expo 02.

4.2.4 Umwelteffizienzpotenziale auf der Schiene

Die Bahn steht heute in zweierlei Hinsicht unter Druck: Zum einen verliert sie im Güterbereich laufend Marktanteile. Zum anderen droht auch ihr ökologischer Vorsprung zu schmelzen, weil die Strasse ihre Umwelteffizienz stark verbessert hat und, wie bereits mehrfach angesprochen, in Zukunft weiter verbessern wird. Heute ist die Bahn aber noch klar umweltfreundlicher als der Strassenverkehr; vgl. Abschnitt 4.3.1.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Projekt B5 unter dem Titel *Zukunftsgüterbahn* mit der Frage befasst, wie die Güterbahn ihre ökonomische und ökologische Produktivität verdoppeln kann (*Faktor 4-Güterbahn*). Ökonomische Produktivität ist dabei als „geleistete Tonnenkilometer pro eingesetzter Franken“ und ökologische Produktivität als „Tonnenkilometer pro Umweltbelastung“ zu verstehen.

Bezüglich der ökologischen Potenziale konzentrierte sich die Studie B5 auf den Lärm und den Energieverbrauch:

- Zur Senkung der Lärmbelastung stehen heute verschiedene Massnahmen am Rollmaterial zur Verfügung. Unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten erscheinen die neuen Brems Technologien am vielversprechendsten, insbesondere der Ersatz der bestehenden Grauguss- durch Kunststoffbremsklötze. Insgesamt wird das Ziel einer Halbierung der Lärmbelastung durch den Güterbahnverkehr als erreichbar erachtet. Die Potenziale können allerdings nur langfristig ausgeschöpft werden, weil die Erneuerung des Rollmaterials viel Zeit in Anspruch nimmt. Zudem ist, aufgrund des hohen Anteils ausländischer Wagen, ein europaweit koordiniertes Vorgehen bei der Sanierung des Wagenparks erforderlich.
- Der Energieverbrauch der Güterbahn stellt einen bedeutenden Kostenfaktor dar und wurde daher in der Vergangenheit laufend optimiert. Entsprechend sind die heutigen Potenziale bescheidener als beim Lärm. Im Zentrum stehen verbesserte Systeme für die Rückgewinnung der Bremsenergie. Längerfristig versprechen die Optimierung des Wirkungsgrades der Lokomotiven sowie neue Antriebstechnologien (z.B. Brennstoffzellen) weitere Potenziale.
- Beim Personenverkehr ist die Situation etwas anders. Laut einer Studie des BEW (1997) gehen fast 20% des SBB-Stromverbrauchs auf das Konto der klimatisierten Reisewagen. Durch eine bessere Wärmedämmung der Fenster und Wagenhülle sowie weiteren Massnahmen liesse sich dieser Verbrauch um über 50% senken, was einer Reduktion des SBB-Stromverbrauchs um 10% entspricht. Die Sanierung bestehender Wagen ist möglich und zahlt sich dank verminderter Stromkosten innert rund sechs Jahren aus.

Neben den technischen Sparpotenzialen ist auch die mittlere Auslastung der Güterbahn sehr wesentlich für ihre Umwelteffizienz. Hier ortet das B5-Team Synergien mit den Massnahmen für die Verbesserung der ökonomischen Produktivität.

Ein weiteres Projekt des NFP 41 hat sich mit den technischen Möglichkeiten im Personenfernverkehr auf der Schiene befasst (F4). Die Studie macht deutlich, dass die Bahn auch in diesem Marktsegment die Möglichkeit und das technische Potenzial besitzt, um seine Marktposition in Zukunft zu behalten und sogar erheblich auszubauen.

Ein entscheidender Faktor für die Umwelteffizienz der Bahn ist die Herstellung des Bahnstroms. Bis anhin haben die Schweizer Bahnen von einem Strommix profitiert, der sehr stark auf umweltfreundlicher Wasserkraft beruhte. In Zukunft werden die Bahnen zunehmend Strom auf dem liberalisierten Markt einkaufen. Hinzu kommt der Mehrbedarf an Strom infolge NEAT und Bahn 2000 im Umfang von rund 30%,⁷³ der voraussichtlich ebenfalls zu einem grossen Teil auf dem europäischen Markt gedeckt werden wird. In der Folge wird sich der Schweizer Bahnstrom zunehmend dem europäischen Mix mit einem fossil-thermischen Anteil von rund 50% annähern.

Diese Entwicklung gilt es mit einer weitestgehenden Ausschöpfung der bahnseitigen Energiesparpotenziale zu kontern. Nur so kann gewährleistet werden, dass der Umweltvorteil der Bahn gegenüber der Strasse als zentrale Legitimation für die Verkehrspolitik des Bundes erhalten bleibt. Offensichtlich hängt die Rentabilität solcher Sparmassnahmen entscheidend vom Strompreis ab. Hier eröffnet sich eine Schnittstelle zur Energiepolitik und zur Frage der Externalitäten in der europäischen Stromherstellung. Kurzfristig dürfte die Liberalisierung des Strommarktes die Steigerung der Energieeffizienz aufgrund sinkender Preise eher hemmen. Auf der anderen Seite schafft die Liberalisierung eine Grundlage für die freie Wahl des Stromversorgers und eine kostenwahre Tarifierung auf der Stufe der Konsumenten (z.B. CO₂-Abgabe auf Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken). Damit könnte die Liberalisierung dem Konzept des *Grenzstroms* zur Anwendung in der Praxis verhelfen, d.h. die Konsumenten (hier: Bahnen) zur Auseinandersetzung mit der Herkunft jeder zusätzlich verbrauchten Einheit Strom zwingen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die externen Kosten der Stromherstellung europaweit angemessen internalisiert werden. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg.

4.2.5 Umwelteffizienzpotenziale im Luftverkehr

Beim Luftverkehr war die Diskrepanz zwischen der Verbesserung der Umwelteffizienz und der Entwicklung der absoluten Umweltbelastung in den vergangenen Jahren besonders gross. Trotz deutlich sinkendem spezifischen Treibstoffverbrauch stieg der Gesamtausstoss an CO₂ kontinuierlich an. Auch beim Lärm ergaben sich trotz spürbarer technischer Verbesserungen gesamthaft keine wesentlichen Entlastungen. Die NO_x-Emissionen stiegen sogar überproportional an, weil die Triebwerke auf einen tiefen Treibstoffverbrauch optimiert wurden. In Zukunft ist aufgrund des hohen Verkehrswachstums ein weiterer namhafter Anstieg vor allem der CO₂- und NO_x-Emissionen zu erwarten, und auch die Lärmbelastung dürfte tendenziell wieder zunehmen.

⁷³ Quelle: SBB, zitiert in Tagesanzeiger, 30. Januar 1998, p.44

Das Projekt D8 hat die Liberalisierung im Luftverkehrsmarkt untersucht und sich auch mit den Auswirkungen auf die Umweltsituation in der Umgebung der Schweizer Landesflughäfen befasst. Dabei stand zum einen das bilaterale Abkommen mit der EU im Vordergrund, welches den Schweizer Luftverkehrsgesellschaften zusätzliche Freiheiten eröffnet, z.B. das Recht auf die Beförderung von Passagieren zwischen zwei EU-Staaten. Ein weiterer wichtiger Faktor ist das revidierte Schweizer Luftfahrtgesetz, welches unter anderem den Wettbewerb bei der Vergabe von Streckenkonzessionen fördert.

Die Studie kommt zum Schluss, dass die Liberalisierung das Luftverkehrsaufkommen in der Schweiz nur unwesentlich beeinflussen wird. Insgesamt dürfte sich die verschärfte Konkurrenz aber senkend auf die Flugpreise auswirken und damit das Verkehrswachstum zumindest vorübergehend fördern. Den Einfluss der Liberalisierung auf die Umweltbelastung schätzen die Autoren – aufbauend auf der Annahme eines unveränderten Verkehrswachstums – als gering ein. Mittels Szenarien zeigen sie auf, dass die Zusammensetzung des Flugzeugmixes (Lang- vs. Kurzstreckenflugzeuge) einen gewissen Einfluss auf die Lärmbelastung hat. Der Flugzeugmix hängt wiederum von der Rollenteilung zwischen den europäischen Flughäfen ab, und diese ist gegenwärtig schwierig vorherzusehen.

Bezüglich Potenzialen zur Steigerung der Umwelteffizienz präsentiert sich die Situation laut IPCC und dem Bericht D8 wie folgt:⁷⁴

- Bei den Triebwerken geht die Reduktion der NO_x-Emissionen gegenwärtig auf Kosten eines höheren Treibstoffverbrauchs. Bis ca. 2010 könnten aber Triebwerke erhältlich werden, welche die bodennahen NO_x-Emissionen um bis zu 70% reduzieren und gleichzeitig den Treibstoffverbrauch um 8–10% senken.
- Ein optimiertes Luftverkehrsmanagement verspricht ebenfalls gewisse Treibstoffsparpotenziale (bis 18%), mit entsprechender Reduktion auch der übrigen Schadstoffemissionen.
- Meier (2000a: 97) spricht sogar von NO_x-Sparpotenzialen bis 90% und verweist auch auf Möglichkeiten zur Lärmreduktion.

Neben diesen technischen Potenzialen kommt den regulatorischen, ökonomischen und planerischen Massnahmen im Luftverkehrsbereich besondere Bedeutung zu. Die essentielle Notwendigkeit einer gerechten Besteuerung des Luftverkehrs wird im Abschnitt 4.5 angesprochen. Mit emissionsabhängigen Landegebühren kann zudem die Ausschöpfung von Lärm- und NO_x-Potenzialen gezielt gefördert werden; dies wird in der Schweiz bereits praktiziert. Über marktbasierende Mechanismen kann der Luftverkehr auch seinen Beitrag zur Entlastung des globalen Klimas leisten (handelbare Emissionsgutschriften, vgl. Box 9).

Das Projekt C6 hat die Bedeutung von Planungs- und Prüfinstrumenten des Bundes für die Verwirklichung eines nachhaltigen Verkehrssystems untersucht. Ein Fallbeispiel wurde dem

⁷⁴ Vgl. Bericht D8 sowie IPCC 1999 p.10ff

Sachplan „Infrastruktur der Luftfahrt“ gewidmet. Dabei wurde unter anderem deutlich, dass der Luftverkehrsbereich von erheblichen Datenlücken geprägt ist, vor allem was die wirtschaftlichen Folgen eines teilweisen Ausbauverzichts anbelangt. Die Verbesserung der Planungs- und Prüfinstrumente verspricht eine Versachlichung der Diskussion und einen bedeutenden Beitrag zu einem nachhaltigeren Verkehrssystem, inklusive des Luftverkehrs (vgl. Details im Abschnitt 2.3).

Box 9: Emissionshandel und Kompensationsprojekte

Die Ökoeffizienz der einzelnen Verkehrsträger (ausgedrückt z.B. als Umweltbelastung pro Personenkilometer) ist kurz- bis mittelfristig nur bedingt verbesserbar und wird zudem durch das Verkehrswachstum mindestens teilweise kompensiert. Besonders deutlich stellt sich dieses Problem bei den CO₂-Emissionen des Luftverkehrs. Hier können der Emissionshandel und Kompensationsprojekte als ergänzende Massnahmen herangezogen werden. Im internationalen Klimaschutz gemäss dem Kyoto-Protokoll nehmen solche marktwirtschaftlich orientierten Instrumente eine wichtige Stellung ein, da es aus Sicht des globalen Klimas keine Rolle spielt, wo CO₂-Emissionen eingespart werden.

Beim Emissionshandel werden den einzelnen Emittenten eine beschränkte Anzahl handelbarer Emissionsrechte (z.B. 100'000 Tonnen CO₂ pro Jahr) zugeteilt. Überschüssige Emissionsrechte können verkauft, und zu kleine Emissionsbudgets durch Kauf zusätzlicher Rechte aufgestockt werden. Im Rahmen eines umfassenden Handelssystems könnte der Luftverkehr so von den günstigeren CO₂-Sparpotenzialen in anderen Wirtschaftssektoren profitieren.

Kompensationsprojekte basieren auf einem ähnlichen Prinzip. Dabei finanzieren die Emittenten (z.B. Airlines) definierte Projekte in anderen Sektoren und lassen sich die erzielten, kostengünstigen Emissionseinsparungen gutschreiben. Als Projekte kommt z.B. die Sanierung wenig effizienter Kraftwerke in Osteuropa und Entwicklungsländern in Frage, aber auch Aufforstungen oder Schutz von Wäldern zur Speicherung von Kohlenstoff werden diskutiert.

In beiden Fällen braucht der Luftverkehr ein bindendes Emissionsziel als Handlungsanreiz. Zudem sind die Spielregeln für diese Instrumente erst in Entstehung. Auch die Europäische Kommission bezeichnet jedoch Emissionshandel und Kompensationslösungen als vielversprechende Ansätze für den Luftverkehr und will sich vertieft damit befassen.⁷⁵

⁷⁵ Vgl. European Commission 1999, p. 11f und 24

4.3 Verkehr verlagern

4.3.1 Ausgangslage

Der öffentliche (sprich: kollektive) Strassen- und Schienenverkehr gilt gemeinhin als umweltfreundlicher als der motorisierte Individualverkehr. Doch wie ausgeprägt ist dieser Vorteil, und gilt er bedingungslos?

Die im Abschnitt 3.3 vorgestellte Studie⁷⁶ des Dienstes GVF zur Umwelteffizienz des Verkehrs hat die Verkehrsmittel in der Schweiz bezüglich ihrer spezifischen Umweltbelastung verglichen. Die Kriterien umfassten die Bereiche Energie und Klima, Luftbelastung, Lärm, Flächenverbrauch, kritische Stoffe sowie Unfälle. Vor- und nachgelagerte Emissionen aus der Herstellung von Treibstoffen und Fahrzeugen, Erstellung und Unterhalt der Infrastruktur sowie der Entsorgung wurden berücksichtigt.

Die Studie bestätigt zunächst, dass Velo und Fussverkehr die mit Abstand umweltfreundlichsten Verkehrsmittel darstellen. Dieser Befund mag trivial erscheinen, doch in der heutigen Verkehrspolitik ist er noch zu wenig präsent. Der Umweltvorteil des öffentlichen Verkehrs wird durch die Studie weitgehend erhärtet. Bezüglich Energieverbrauch präsentiert sich die Situation wie folgt:⁷⁷

- Die Personenverkehrsmittel Bus, Trolleybus sowie Schnellzug benötigen rund 60% weniger Energie pro Personenkilometer als ein Personenwagen (Basis 1993, durchschnittliche Auslastung). Hingegen liegt der Energieverbrauch beim Tram und Regionalzug aufgrund ihrer schlechten durchschnittlichen Auslastung nur geringfügig unter dem des Personenwagens. Fast 80% des Energieverbrauchs der Schiene entfallen auf vor- und nachgelagerte Prozesse, vor allem Erstellung und Unterhalt der Infrastruktur. Der Kurzstreckenjet weist den höchsten Energieverbrauch aller Personenverkehrsmittel auf.
- Im Güterverkehr ist die Schiene um 56% (Wagenladungsverkehr) bis 80% (unbegleiteter Kombiverkehr) energieeffizienter als der LKW. Der Binnenfrachter belegt klar den ersten und das Frachtflugzeug ebenso klar den letzten Platz bezüglich Energieeffizienz.

Die hohe Energieeffizienz der Schiene sowie der gegenwärtige, emissionsarme Strommix (vorwiegend Wasser- und Atomkraft) ergeben einen deutlichen Umweltvorteil für die Schiene (Figur 14). Als vorläufige Folgerung zur Verlagerung ist aus Umweltsicht festzuhalten:

- Die Verlagerung des motorisierten Strassenverkehrs und des Luftverkehrs auf die Schiene und den öffentlichen Strassenverkehr verspricht deutliche Umweltvorteile. Wegen der höheren Energieeffizienz der öffentlichen Verkehrsmittel gilt dies auch unter der Annahme, dass der fossil-thermische Anteil am Bahnstrom in Zukunft steigt.

⁷⁶ GVF 1997a

⁷⁷ Vgl. GVF 1997 p.11

- Der grösste Teil des Energieverbrauchs der Schiene entfällt auf die Erstellung und den Unterhalt ihrer Infrastruktur. Die Verlagerung auf die Schiene ist daher dort besonders sinnvoll, wo sie zu einer verbesserten Auslastung der bestehenden Infrastruktur beiträgt.
- Die Verlagerung auf Fussgänger- und Veloverkehr verdient ebenfalls grosse Beachtung.

Nachstehend skizzieren wir die wichtigsten Beiträge des NFP 41 zu diesem Themenbereich.

Vergleich Schiene – Strasse: <u>Personenverkehr</u>, Schiene = 1				
		Nur Betrieb	Betrieb & Bereitstellung Energie	Gesamtbelastung (inkl. Rollmaterial & Infrastruktur)
Energie	1:	7	5	1.7
CO ₂	1:		70	4
NO _x	1:		140	4
Lärm	1:	0.4	0.4	0.4
Fläche	1:		45	0.7
Unfälle	1:	10		

Lesebeispiel: Im direkten Betrieb benötigt ein Personenwagen pro Personenkilometer 7 mal soviel Energie wie ein Personenzug. Bei Berücksichtigung aller indirekten Belastungen verringert sich der ökologische Vorteil der Bahn auf einen Faktor 1.7.

Vergleich Schiene – Strasse: <u>Güterverkehr</u>, Schiene = 1				
		Nur Betrieb	Betrieb & Bereitstellung Energie	Gesamtbelastung (inkl. Rollmaterial & Infrastruktur)
Energie	1:	8	5	2.5
CO ₂	1:	78	40	5
NO _x	1:	50	44	15
Lärm	1:	1	1	1
Fläche	1:		32	2
Unfälle	1:	6		

Lesebeispiel: Wenn nur die reine Betriebsenergie betrachtet wird, benötigt ein Lastwagen pro Tonnenkilometer 8 mal soviel Energie wie ein durchschnittlicher Güterzug. Wenn aber die indirekten Belastungen mitberücksichtigt werden, sinkt der Mehrverbrauch des Lastwagens auf das 2.5-fache des Güterzugs.

Figur 14: *Umwelteffizienz von Strasse und Schiene im Vergleich.*⁷⁸ Quelle: GVF 1997a, p.30. Siehe auch SATW 1999 für einen Vergleich des Energieverbrauchs verschiedener Verkehrsmittel.

⁷⁸ „Schiene Personenverkehr“= 32% Schnellzug, 33% Regionalzug, 17% Intercity, 18% S-Bahn. „Schiene Güterverkehr“= 80% WLV, 17% UKV, 3% RLS. „Strasse“ = mittlerer PW bzw. LKW

4.3.2 Attraktiver öffentlicher Verkehr durch Kundeninformation

Aktuelle, umfassende und verlässliche Verkehrsinformationen vor Fahrtantritt sind eine notwendige Voraussetzung für die sichere und störungsfreie Durchführung jeder Reise. Im motorisierten Individualverkehr haben umfangreiche Forschungsarbeiten der europäischen Kommunikations- und Autoindustrie dazu geführt, dass in naher Zukunft ein Grossteil der Mittelklasseautos mit elektronischen Verkehrsinformations- und Navigationssystemen ausgerüstet sein werden. Dem Autofahrer werden damit aktuelle, umfassende und leicht zugängliche Informationen über Verkehrslage, Verkehrsbedingungen und Parkierungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt. Beim Einsatz von satellitengestützten Zielführungssystemen mittels Global Positioning System GPS wird der Autofahrer überdies vom Abfahrtsort auf dem direktesten Weg zu seinem Ziel geleitet.

Demgegenüber präsentiert sich das Informationsangebot im öffentlichen Verkehr der Schweiz heute eher bescheiden. Insbesondere kann die normale Fahrplanauskunft via PC oder Telefon heute keine Echtzeitinformationen liefern, z.B. über grössere Verspätungen, Folgen von Streckenunterbrüchen, etc. Nachteilig ist auch, dass die Fahrplandaten der städtischen Verkehrsbetriebe nicht im elektronischen Kursbuch der Schweizerischen Bundesbahnen enthalten sind und damit keine geschlossenen Wegketten abgefragt werden können.

Aufgrund dieser ungleichen Entwicklung im Bereich der Verkehrsinformationen droht dem ÖV die Gefahr, trotz grosser Anstrengungen beim Ausbau der Infrastruktur und des Angebots an Konkurrenzfähigkeit einzubüssen und Marktanteile zu verlieren. Es stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten moderner Kundeninformationssysteme zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des öffentlichen Verkehrs und zur Erzielung von Umsteigewirkungen zugunsten des ÖV.

Das Projekt E1 hat diese Ausgangslage aufgearbeitet und vermittelt einen Überblick über den *State-of-the-art* der modernen ÖV-Kundeninformation. Die Anforderungen aus Benutzersicht werden den Möglichkeiten und Grenzen moderner Informationssysteme gegenübergestellt. Als Folgerung hält das Forscherteam unter anderem fest, dass die Hürden primär organisatorisch-wirtschaftlicher und weniger technischer Natur seien. Das Team schlägt eine Prioritätenliste für das weitere Vorgehen vor und zeigt Möglichkeiten einer Integration in anstehende Projekte der Expo 02 und der SBB auf.

Das Projekt E1 zeigt exemplarisch auf, dass der öffentliche Verkehr seine Attraktivität kontinuierlich und umfassend verbessern muss, wenn er seinen Marktanteil halten oder gar ausbauen will. In diesem Zusammenhang ist auf die Bahnreform zu verweisen, von der wesentliche Impulse für die verbesserte Ausschöpfung von Effizienz- und Attraktivitätspotenzialen erhofft werden. Das Projekt D2 des NFP 41 hat sich vertieft mit dem Thema Bahnreform beschäftigt (vgl. auch die Modulsynthese D).

4.3.3 Neue integrierte Mobilitätsdienstleistungen

Bei integrierten Mobilitätsdienstleistungen werden mehrere, bisher getrennte Beförderungs- und Fahrzeugangebote gemeinsam, d.h. in einem System angeboten. Die Integration solcher „Mobil-Pakete“ kann beispielsweise Leistungen aus den Bereichen des öffentlichen Verkehrs, des Car-Sharing, des Mietwagen- und Taxigewerbes sowie andere mobilitätsbezogene Angebote umfassen. Aktuelle Beispiele sind die Angebote *Züri mobil* sowie *Mobility Rail Card*. Mobil-Pakete erlauben es dem Benutzer, je nach Fahrtzweck das geeignetste Verkehrsmittel auszuwählen (z.B. S-Bahn für den Arbeitsweg, Car-Sharing-Auto für den abendlichen Ausgang), und sie erleichtern das „intermodale“ Reisen (z.B. Bahn plus Mietwagen).

Das Projekt A3 hat die Erfolgsfaktoren und das Marktpotenzial von Mobil-Paketen untersucht. Dazu wurden heutige Nutzer, Nicht-Nutzer und Experten befragt. Die Auswertung zeigt, dass Mobil-Pakete autoreduzierte Lebensstile begünstigen. Mobil-Paket-Nutzer decken ihren verkehrlichen Grundbedarf mit öffentlichen Verkehrsmitteln sowie mit dem Velo. Die mit dem Personenwagen zurückgelegten Kilometer sinken gegenüber Nicht-Nutzern auf ein Drittel. Aus der Sicht der Nutzer liegen die Vorteile der Mobil-Pakete unter anderem in ihrer Umweltfreundlichkeit sowie reduzierten Mobilitätskosten.

Das Forscherteam schätzt das Marktpotenzial von Mobil-Paketen in der Schweiz in den nächsten 5 bis 7 Jahren auf 90'000 bis 200'000 Kunden. Die resultierende Einsparung an PW-Personenkilometern wird auf 0.4% bis 1.4 % der gegenwärtigen Jahresfahrleistung geschätzt. Zum Vergleich: Der jährlich Zuwachs der Fahrleistung lag 1994/95 bei 1.8%. Somit können Mobil-Pakete vorerst nicht für eine markante Änderung des Modalsplits sorgen. Sie vermögen den Zuwachs der Fahrleistung aber abzufedern. Unter Umweltgesichtspunkten ist auch der verringerte Fahrzeugbestand positiv zu werten. Zudem könnte das langfristige Potenzial der Mobil-Pakete um einiges höher liegen: Beispielsweise beziffert eine Studie im Rahmen von Energie 2000 das gesamte Car-Sharing-Potenzial auf rund 600'000 Personen.⁷⁹

Ausgehend von den wirtschaftlichen und Umweltvorteilen der Mobil-Pakete zeigt die Studie A3 konkrete Fördermöglichkeiten auf Seiten der Politik und der Verwaltungen auf. Damit leistet sie einen wichtigen Beitrag zur optimalen Ausschöpfung dieser Potenziale.

⁷⁹ Muheim Peter & Partner 1998 p.10

4.3.4 Förderung des Langsamverkehrs

Die Umweltvorteile des Velo- und Fussverkehrs sind so offensichtlich, dass sie gerne übersehen werden. Die Hälfte aller Wege legen Schweizerinnen und Schweizer zu Fuss oder per Velo zurück. Trotzdem war Langsamverkehr lange Zeit ein Stiefkind der Verkehrsplanung und -politik, was sich unter anderem in erheblichen statistischen Datenlücken äussert.

Im Rahmen des Projektes A9 hat ein multidisziplinäres Forschungsteam die Potenziale zur Förderung des Langsamverkehrs und die daraus resultierenden Vorteile umfassend aufgearbeitet und insbesondere auch ausländische Erfahrungen ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass der Anteil der Wege, die per Velo zurückgelegt werden, in rund 10 Jahren um die Hälfte gesteigert werden könnte, von knapp 10% auf rund 15%. Die mit dem Auto zurückgelegten Personenkilometer würden dadurch um rund 10% reduziert. Wenn die Förderung zudem mit veränderten Rahmenbedingungen wie z.B. Preiserhöhungen für den motorisierten Verkehr gekoppelt würde, könnte der Veloanteil sogar auf 20% gesteigert werden.

Die Vorteile des Langsamverkehrs liegen – neben einer entsprechenden Reduktion der Umweltbelastung – auch in seiner gesundheitsfördernden Wirkung. Weiter reduziert die Verlangsamung des Verkehrs Anzahl und Schwere der Unfälle, fördert das subjektive Sicherheitsempfinden und damit Wohlbefinden der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer und schafft Lebens- und Spielraum, nicht zuletzt für Kinder. Anhand von zwei Fallbeispielen zeigen die Forscher zudem, dass eine auf kurze Wege optimierte, langsamverkehrstaugliche Siedlungsstruktur auch volkswirtschaftlich attraktiv ist: Die Kosteneinsparung aufgrund reduzierter Verkehrsnetz- und Pendelkosten schätzt das Team in den Fallbeispielen auf 5'000 Franken pro Einwohner und Jahr. Angewendet auf die gesamte Schweiz ergibt sich ein Sparpotenzial in der Grössenordnung von 10 Mia. Fr. oder rund 3% des Bruttoinlandprodukts.

Der Raum- und Siedlungsplanung kommt für die Förderung des Langsamverkehrs grosse Bedeutung zu. Darüber hinaus hat das Projekt gezeigt, dass Fördermassnahmen auf einem Gesamtkonzept aufbauen müssen. Es gilt, zahlreiche Hindernisse im Verkehrsrecht, in der Verwaltung, in der Verkehrspolitik und -planung sowie bei der Finanzierung zu überwinden. Die Forscher skizzieren deshalb ein *Nationales Aktionsprogramm Fussgänger- und Veloverkehr 2000plus*, bei dem Bund, Kantone und Gemeinden ihre Velo- und Fussgängerförderung wesentlich verstärken und besser koordinieren würden.

Die Förderung des Langsamverkehrs muss in der Schweiz nicht bei Null beginnen. Stellvertretend für die Vielzahl der heute bereits verfolgten Ansätze seien hier zwei aktuelle Projekte erwähnt:

- *Fussgänger- und Velomodellstadt Burgdorf*: Dieses von Energie 2000 und weiteren Partnern getragene Projekt strebt eine Reduktion des motorisierten Binnenverkehrs in Burgdorf um 10% an. Dazu soll die Stadt insbesondere für Fussgänger attraktiver werden. Wesentliche Elemente sind die Schaffung einer Flanierzone, eine Verbesserung der Si-

cherheit sowie die Einführung eines Mobilitätsmanagements, letzteres vor allem in Betrieben, Schulen und Sportvereinen. Das Projekt kann erste Erfolge vorweisen und stösst auf anhaltend hohes Interesse im In- und Ausland.⁸⁰

- *Tempo 30-Zonen*: Verkehrsberuhigung durch Temporeduktion ist ein wesentlicher Bestandteil der Förderung des Langsamverkehrs. Die Einrichtung von Tempo 30-Zonen ist seit 1989 möglich. Seither finden sie zunehmend Verbreitung; im Herbst 1997 waren 465 Zonen bewilligt (zum Vergleich: die Schweiz umfasst knapp 3000 Gemeinden). Das BUWAL hat einen Leitfaden mit praktischen Empfehlungen für die Einrichtung von Tempo 30-Zonen zuhanden der interessierten Gemeinden verfasst.⁸¹

4.3.5 Zukunftsvision Swiss-/ Eurometro

Dem Projekt *Swissmetro* liegt die Idee für ein neues, unterirdisches Verkehrsmittel zur Verbindung der wichtigsten Schweizer Agglomerationen zugrunde. Die *Swissmetro* soll unterirdisch bei über 400 km/h verkehren, wobei die Fahrzeuge berührungsfrei, im Teil-Vakuum, unter Anwendung der Magnetschwebetechnik mit Strom angetrieben würden. Die Idee einer *Eurometro* sieht ihrerseits vor, die *Swissmetro*-Technologie auf ein grösseres Netz mit beispielsweise den Achsen Frankfurt–Rom und Budapest–Madrid zu übertragen.

Bei der *Swiss-* bzw. *Eurometro* handelt es sich um ein neues Verkehrsmittel, welches einerseits Nachfrage von den bestehenden Verkehrsmitteln abziehen und andererseits zusätzlichen Verkehr induzieren würde. Vier Projekte des NFP 41 haben sich mit dem Konzept einer Hochgeschwindigkeitsmetro befasst (vgl. Modulsynthese F für eine detaillierte Diskussion):

- F1 schätzte die Nachfrage für eine *Swissmetro* ab,
- F3 verwendete die *Swissmetro* als Fallstudie für die Technikfolgenabschätzung von Hochgeschwindigkeitssystemen,
- F5 untersuchte die Raumeffekte einer *Swissmetro*,
- F6 sowie M29 analysierten die *Eurometro* unter den Gesichtspunkten einer Ökobilanz.

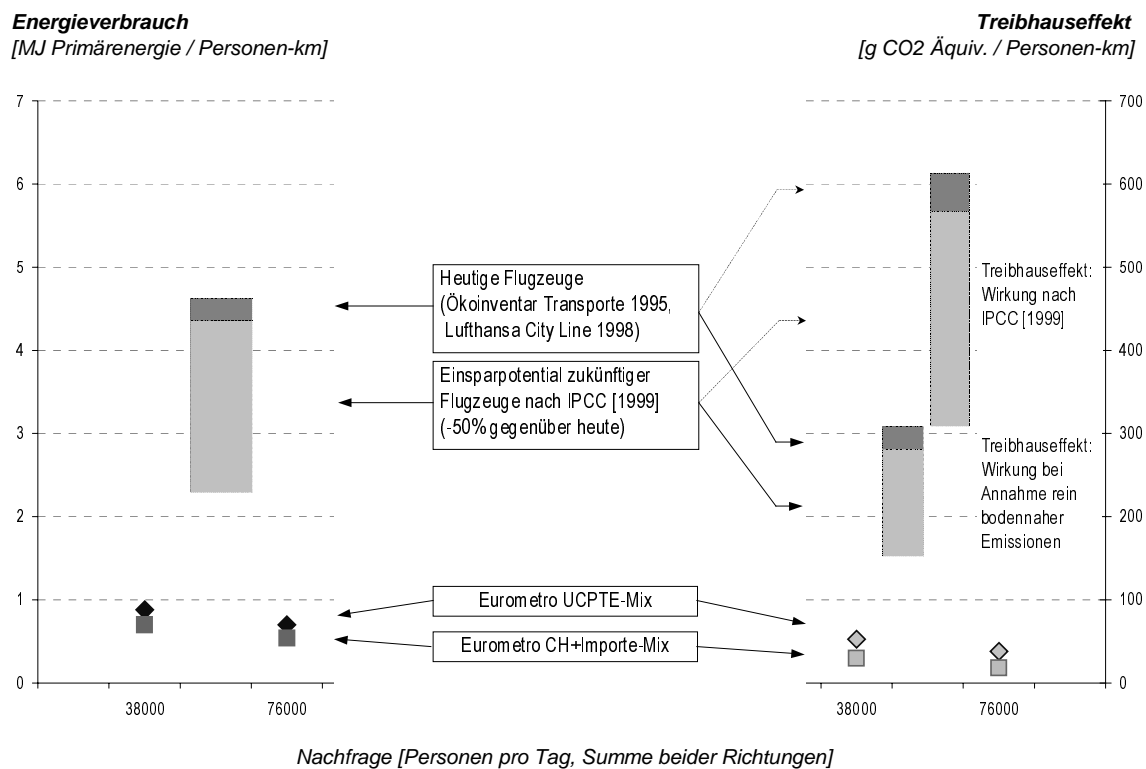
Der Bericht F6 kommt zum Schluss, dass der spezifische Primärenergieverbrauch und die Klimawirkung einer *Eurometro* um einen Faktor 5 bis 10 geringer wären als beim Kurzstreckenflugzeug (Lebenszyklusanalyse). Dabei wurden umfangreiche Sensitivitätsanalysen zu technischen Parametern, zur Auslastung der Metro und zur Art der Stromherstellung durchgeführt (vgl. Figur 15). Aus Klimasicht legen diese Resultate nahe, dass das Metro-Konzept längerfristig auf Distanzen zwischen 300 und 1000 km eine interessante Alternative zum Kurzstreckenflugzeug darstellen könnte.

Eine Metro wird aber nicht nur das Flugzeug, sondern vor allem auch die (Hochgeschwindigkeits-)Bahn konkurrieren. Hier sind die Vorteile der Metro bezüglich Lärm und Landver-

⁸⁰ Quellen: Bericht T2 sowie UVEK 1998b p.464

⁸¹ BUWAL 1998e

brauch evident. Die vergleichende Umweltbilanz konnte allerdings aufgrund mangelnder Grundlagendaten nur in Ansätzen durchgeführt werden. Bezüglich Betriebsenergie gehen die Forscher von einem Effizienzgewinn von ca. Faktor 2 gegenüber der Bahn aus. Mindestens so entscheidend dürfte aber der Energieaufwand für die Erstellung der Metroinfrastruktur sein, der – bezogen auf die angenommene Betriebsdauer von 100 Jahren – ähnlich hoch liegt wie die Betriebsenergie. Hier sind noch einige vertiefende Arbeiten notwendig.



Figur 15 Vergleich des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen bzw. der potenziellen Treibhauswirkung eines Eurometro-Systems in Abhängigkeit der Transportnachfrage und der Stromherstellung. Quelle: Projekt F6

Für die Umweltverträglichkeit einer Metro ist entscheidend, dass der induzierte Mehrverkehr gering bleibt und primär eine Verlagerung weg von stärker umweltbelastenden Verkehrsmitteln erzielt wird. Die Studie F1 rechnet mit einem induzierten Verkehr im Umfang von 15% der gesamten Swissmetro-Nachfrage, was eher gering erscheint. Die übrigen Passagiere würden von der Bahn (60%) und von der Strasse (25%) umsteigen. Für die Eurometro liegen keine entsprechenden Zahlen vor. Hier sind weitere, kritische Abklärungen notwendig, namentlich in Anbetracht der sich abzeichnenden Kapazitätsgrenzen im mitteleuropäischen Luftraum.

Die Auswirkungen der Swissmetro auf die räumliche Struktur der Schweiz wurden in einer koordinierten Doppelstudie untersucht (Projekt F5). Die zwei Forscherteams kamen mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen zum selben Schluss: dass nämlich die Swissmetro in erster Linie die grossen Zentren stärken würde. Die Randregionen und gemäss den mei-

sten Szenarien auch die kleineren Städte würden entsprechend Arbeitsplätze und Einwohner verlieren. Das Gleichgewicht der sieben Grossregionen der Schweiz würde sich hingegen kaum verändern, solange jede Grossregion über eine Haltestelle verfügt.

In ihren Modellrechnungen ermittelten die Forscher Veränderungen von maximal drei Prozent bezüglich Bevölkerung und Arbeitsplätzen. Verglichen mit den strukturellen Auswirkungen der Bahn 2000 oder des Autobahnnetzes seien diese Auswirkungen eher gering. Trotzdem würde die vom Bund gemäss den Grundzügen der Raumordnung angestrebte Vernetzung aller Städte ein Stück weit relativiert. Aus Umweltsicht ist dies gegenwärtig schwierig zu bewerten. Jedenfalls dürfte die übrige Entwicklung der Raumordnung in den nächsten Jahrzehnten aus Umweltsicht sehr viel entscheidender sein als die Raumeffekte der Swissmetro (vgl. hierzu Abschnitt 4.6).

Vorderhand bleiben Swiss- und Eurometro aber ohnehin Zukunftsmusik. Eine Inbetriebsetzung der Swissmetro vor 2030 wird als nicht realistisch eingeschätzt. Entscheidend für das Schicksal des Metro-Konzepts dürfte seine Wirtschaftlichkeit sein, insbesondere in Anbetracht der bereits getätigten Investitionen in die Bahn-, Strassen- und Luftverkehrsinfrastruktur.

4.4 Verkehr vermeiden

4.4.1 Ausgangslage

Die vorstehenden Abschnitte haben zahlreiche Potenziale zur Erhöhung der Umwelt effizienz des Verkehrs aufgezeigt, einerseits bei den einzelnen Verkehrsmitteln und andererseits durch eine Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel. Doch reichen diese Potenziale aus, um die Umweltverträglichkeit des gesamten Verkehrssystems zu gewährleisten? Ist eine Verkehrsvermeidung, d.h. die Reduktion der geleisteten Personen- und Tonnenkilometer, nötig?

Die Antwort lautet: ja. Diverse aktuelle Studien⁸² kommen zum Schluss, dass Verkehrsvermeidung einen essentiellen Bestandteil jeder Strategie für umweltverträglichen Verkehr darstellt. Der Grund liegt zum einen darin, dass das anhaltende Verkehrswachstum die Umwelteffizienzgewinne zu kompensieren droht. Dies gilt insbesondere für die CO₂-Emissionen. Zum anderen liegen in der Verkehrsvermeidung kostengünstige oder gar rentable Sparpotenziale, die nicht auszuschöpfen unverantwortlich wäre.

Die zwei wichtigsten Ansatzpunkte zur Verkehrsvermeidung sind die Lenkung durch kostenwahre Preise sowie die Raumplanung (vgl. Abschnitte 4.5 und 4.6). Die Verkehrsvermeidung im Freizeitbereich wird im Kapitel 5 angesprochen. Der vorliegende Abschnitt konzentriert sich auf zwei Aspekte:

- Entkopplung des Güterverkehrsaufkommens vom Wirtschaftswachstum
- Verkehrsvermeidung durch Telekommunikation

4.4.2 Entkopplung des Güterverkehrs vom Wirtschaftswachstum

Die Fragen rund um den Güterverkehr sind in erster Linie Gegenstand der Modulsynthese B. Aufgrund der grossen Umweltbedeutung gehen wir hier trotzdem kurz auf das Thema ein.

Die Idee der Entkopplung des Güterverkehrs vom Wirtschaftswachstum fügt sich nahtlos in den grösseren Zusammenhang der Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch. Es geht um die Vermeidung von Tonnenkilometern, analog zu den „Negawatt“ im Energiebereich. Angesichts der gegenwärtigen Globalisierungstrends ist die Idee der Entkopplung hoch aktuell und vielleicht sogar etwas ketzerisch.

⁸² Zu nennen sind etwa die umfassende Studie des Dienstes GVF zur Umwelteffizienz des Verkehrs (GVF 1997a, p.Z-14), das Projekt C5 des NFP 41 (p.20), das OECD-EST-Projekt (OECD 1999) sowie im europäischen Ausland die Arbeiten von Bleijenberg & Swigchem (1997) und das POSSUM-Projekt (POSSUM 1998 p.2).

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes POSSUM (*Policy Scenarios for Sustainable Mobility*) wurden die Notwendigkeit und die Möglichkeiten einer Entkopplung vertieft untersucht. Die Forscher unterscheiden die folgenden Schlüsselfaktoren:⁸³

- Materialintensität der Wirtschaft
- Räumliche Struktur von Produktion und Konsum
- *Handling Requirements* der Güter, z.B. Verpackung, Versandgrösse, Sicherheitsaspekte
- Organisation der Transporte

Die Forscher identifizieren verschiedene Möglichkeiten für eine Dematerialisierung („Reduktion der Tonnen“) sowie für die Schaffung weniger transportintensiver Wirtschaftsstrukturen („Reduktion der Kilometer“). Die entsprechenden Politikansätze zeichnen sich dadurch aus, dass sie zumeist weit über das angestammte Gebiet der Transportpolitik hinausreichen. Zudem sind die Entkopplungspotenziale schwierig zu quantifizieren, da die betreffenden Mechanismen schlecht untersucht sind. Insgesamt schätzen die Forscher aber – vielleicht etwas euphorisch – eine weitgehende Entkopplung des europäischen Güterverkehrs vom Wirtschaftswachstum im Zeitraum 2000–2020 als machbar ein.

Der vierte Schlüsselfaktor, die optimierte Organisation der Transporte, dient strenggenommen nicht der Entkopplung, sondern der Verbesserung der Transporteffizienz. Die Transportlogistik ist im Gegensatz zu den anderen Schlüsselfaktoren ein klassisches Gebiet der Transportforschung. Auch verschiedene Projekte des NFP 41 haben sich damit befasst.⁸⁴ Das Projekt B3 hat zudem den Zusammenhang zwischen Unternehmensstrategien und Güterverkehr an Fallbeispielen untersucht und dabei auch die Möglichkeiten einer Entkopplung diskutiert. Ein etwas ernüchterndes Fazit dieser Arbeiten lautet, dass das Transportverhalten von Unternehmen ebenso vielfältig wie komplex ist und sich einfachen Rezepten entzieht. Die Rolle des Staates wird in erster Linie im Setzen von Preisanreizen, in der Information, in einer gezielten Förderung des Kombiverkehrs sowie einer zweckmässigen Raumplanung gesehen. Diese Resultate können dahingehend interpretiert werden, dass das Potenzial für weitergehende, gezielte Entkopplungsanreize als eher gering eingeschätzt wird, was ein Stück weit zu den Befunden des POSSUM-Projektes steht.

Angesichts dieser unterschiedlichen Auffassungen stellt sich die Frage, welche Faktoren überhaupt für die Güterverkehrsentwicklung verantwortlich sind. Das Projekt C2 des NFP 41 hat hierzu einige Erkenntnisse geliefert (vgl. Box 10). So wurde die Zunahme der mittleren Transportdistanzen als entscheidender Faktor für das Wachstum des Strassengüterverkehrs während der letzten drei Jahrzehnte identifiziert. Dies legt nahe, dass sich die zukünftige Forschung zu Entkopplungsmöglichkeiten bevorzugt mit Anreizen für regionalisierte Wirtschaftsstrukturen beschäftigen sollte.

⁸³ Schleicher-Tappeser & Hey 1998

⁸⁴ Z.B. Projekt B1, *Verhalten der Verlader*, und Projekt B9, *Plates-formes logistiques multiservices*

Box 10: Projekt C3: Dynamik der Güterverkehrsentwicklung

Die Entwicklung des Verkehrsgeschehens hängt von zahlreichen, dynamisch verknüpften Faktoren ab. Das Projekt C3 hat die langfristige Entwicklung des Güterverkehrs in der Schweiz und in Grossbritannien untersucht und versucht, Beziehungen zur Verkehrsmarktordnung und weiteren Bestimmungsfaktoren herzustellen. Dabei konzentrierten sich die Forscher auf die zwei für Güter wichtigsten Verkehrsträger Schiene und Strasse.

Das Projekt umfasste zum einen eine qualitative Analyse des Verkehrsmarktes seit dem frühen 19. Jahrhundert, und zum anderen quantitative Analysen zu Netzinfrastruktur, Verkehrsaufkommen, Modalsplit, Schadstoffemissionen und weiteren Parametern. Zudem erstellten die Forscher eine Prognose zur Güterverkehrsentwicklung bis 2010 in Form einer Trendextrapolation, welche auf den Zeitreihen der vergangenen Jahrzehnte zur beförderten Gütermenge und zur mittleren Transportdistanz aufbaut. Dabei kamen einige interessante Resultate zu Tage:

- Der Vergleich zwischen den betrachteten Ländern zeigt, dass die Schiene in der Schweiz zwar seit einigen Jahrzehnten Marktanteile an die Strasse verliert, aber das absolute Güterverkehrsvolumen einigermaßen halten konnte, während in Grossbritannien die Schiene auch absolut gesehen massive Einbussen erlitten hat. Diesen Unterschied führen die Forscher unter anderem auf die relative Konstanz der Verkehrspolitik in der Schweiz zurück.
- Von Bedeutung ist die Aufschlüsselung der Güterverkehrsleistung (Tonnenkilometer) in beförderte Mengen (Tonnen) einerseits und mittlere Transportdistanzen (Kilometer) andererseits. Die Analyse belegt, dass die Zunahme der Transportdistanzen für einen erheblichen Teil des Wachstums im Schweizer Strassengüterverkehr verantwortlich ist. Seit Beginn der 90er Jahre ging die beförderte Menge sogar zurück, während der Trend zu weiteren Distanzen unverändert anhielt.
- Interessant ist auch die Entwicklung des Fahrzeugparks im Strassengüterverkehr: Hier ist ein Trend hin zu den „Extremen“; d.h. zu Kleinlastwagen und den schwersten Fahrzeugen zu verzeichnen. Die Gesamtzahl der Fahrzeuge hat sich seit 1980 hingegen wenig verändert. Hier zeigt sich die Flexibilität des Strassengütermarktes, die nicht zuletzt bei der Umsetzung der LSVA zu berücksichtigen ist.
- Unter dem Stichwort „Trendbrüche“ ist erwähnenswert, dass die Schiene infolge der zwei Ölkrisen zu Beginn der 70er und 80er Jahre bedeutend stärkere Markteinbussen erlitt als die Strasse – und dies trotz höherer Energieeffizienz und der weitgehenden Unabhängigkeit der Schweizer Bahn von fossilen Energieträgern. Die Autoren folgern daraus, dass die Auswirkungen von Energiepreiserhöhungen oder CO₂-Steuern auf den Marktanteil der Schiene vorsichtig abzuschätzen seien. Einflüsse auf verkehrsnachfragende Wirtschaftssektoren müssten berücksichtigen werden.

Das Projekt C3 hinterlässt auch einige Fragezeichen. So bleiben die konkreten Lehren, die wir aus der historischen Analyse des Verkehrsmarktes seit dem letzten Jahrhundert ziehen sollen, schleierhaft. Bei der Prognose zur zukünftigen Verkehrsentwicklung fehlt die Diskussion der kritischen Frage, welche Aussagekraft eine rein rechnerische Trendextrapolation haben kann, welche zudem massgeblich durch die Rezession in der 90er Jahren geprägt ist. – Insgesamt ist das Projekt C3 dem ursprünglichen Anspruch, die Zusammenhänge zwischen Verkehrsentwicklung und Marktordnung in einem interdisziplinären Modell abzubilden, nur sehr bedingt gerecht geworden.

4.4.3 Telekommunikation als Verkehrsersatz

Von der Telekommunikation werden seit längerem Beiträge zur Lösung der Verkehrsprobleme erhofft. Mitte der 80er Jahre wurde erwartet, dass 1995 in der Schweiz allein durch Telearbeit zwischen 50 und 130 Millionen Fahrzeugkilometer im motorisierten Individualverkehr eingespart würden. Dies entspricht zwar nur 1–2 Promille der gesamten Fahrleistung, sollte aber zur Entlastung während der täglichen Verkehrsspitzen beitragen. Für den öffentlichen Verkehr wurden ebenfalls Einsparungen zwischen 20 und 70 Millionen Fahrzeugkilometer jährlich geschätzt. Andererseits wurde auch prognostiziert, dass rund 20% der substituierten Pendlerverkehrsleistung als Freizeitverkehr neu auftreten würden.⁸⁵

Die erwartete rasche Verbreitung der Telearbeitsplätze blieb zwar aus verschiedenen Gründen aus. Die Beziehungen zwischen Telekommunikation und physischem Verkehr sind aber nach wie vor ein Forschungsthema. Die Projekte A7 und A8 des NFP 41 haben den Einsatz neuer Kommunikationsmedien in Unternehmen und deren Auswirkungen auf den Verkehr mittels Umfragen untersucht (vgl. die detaillierte Erörterung in der Modulsynthese A).

Aus Umweltsicht ist erwähnenswert, dass die Forscher den sogenannten Telematikanwendungen durchaus einige Potenziale zur Verkehrssubstitution – sowie auch zur Verkehrsrationalisierung – zugestehen. Zu nennen sind beispielsweise der Ersatz von Berufsverkehr durch Telearbeit, der Ersatz von Geschäftsreiseverkehr durch Videokonferenzen, der Ersatz von Post- und Kuriersendungen durch E-Mail sowie das Teleshopping.

Auf der anderen Seite betonen die Forscher die verkehrsinduzierenden Wirkungen der Telematik. Beispielsweise ermöglichen die modernen Kommunikationsmedien vielfach überhaupt erst Geschäftsbeziehungen über grosse Distanzen. Entsprechend nehmen der Geschäftsreise- und Güterverkehr zu, weil persönliche Kontakte nur bedingt und Gütertransporte überhaupt nicht ersetzt werden können. Nach Ansicht der Forscher überwiegen diese verkehrserzeugenden Effekte in der Bilanz die Rationalisierungs- und Substitutionseffekte. Der Beitrag der Telekommunikation zur Lösung der Umweltprobleme des Verkehrs würde demnach in der Summe gering bleiben.

Diese heute nicht im Detail belegbare Einschätzung scheint durchaus plausibel, soweit sie den Ersatz von Verkehr durch Telekommunikation anbelangt. Auf der anderen Seite darf nicht vergessen werden, dass die Telematik eine zwingende Voraussetzung für potenziell sehr wirksame Instrumente wie z.B. die LSVA oder Road Pricing darstellt. Telematik generell als „unter dem Strich wirkungslos“ abzuqualifizieren scheint deshalb auch aus Umweltsicht verfehlt.

⁸⁵ Rotach et al. 1987, zitiert im Bericht A7, p.1

4.5 Faire Preise und Märkte

4.5.1 Ansätze für eine bessere Preisgestaltung im Verkehr

Die Erkenntnis, dass die Preisbildung ein zentraler Ansatzpunkt zur Lösung der Verkehrsprobleme darstellt, ist nicht neu. Schon die Gesamtverkehrskonzeption (1977) sah vor, das Prinzip der Kostenwahrheit im Verkehr auf Verfassungsstufe zu verankern. Später empfahl unter anderem der Bericht „Mobilität in der Schweiz“ die Verwirklichung der Kostenwahrheit als eine von sieben Aktionslinien im Verkehr. Studien im In- und Ausland belegen, dass Preisanreize ein unverzichtbares Mittel für die Ausschöpfung der Reduktionspotenziale im motorisierten Strassenverkehr darstellen.⁸⁶

Das Projekt D3 hat die Vor- und Nachteile verschiedener Ansätze zur Verwirklichung der Kostenwahrheit untersucht. Die Forscher verglichen drei Szenarien der Preisbildung:

- „Social marginal cost pricing“: Dieser Ansatz wird zur Zeit auf EU-Ebene propagiert. Im Szenario werden die heutigen Abgaben weitgehend durch lokal und zeitlich differenzierte, fahrleistungsabhängige Abgaben ersetzt, die sich an den jeweils verursachten sozialen Grenzkosten einschliesslich Umwelt- und Staukosten orientieren. Der Ansatz ist effizient im ökonomischen Sinne. Er vermag die Finanzierung der Schieneninfrastruktur aber nicht zu gewährleisten und ist bezüglich Umweltentlastung nur bedingt wirksam.
- „Finanzierung“: Dieses Szenario baut auf der heutigen Verkehrspolitik auf und verstärkt die dort eingesetzten Abgaben. Die Finanzierung des öffentlichen Verkehrs ist hier langfristig sichergestellt (Querfinanzierung zwischen Verkehrsträgern). Aufgrund der höheren Strassenverkehrspreise ergibt sich eine etwas höhere Umweltentlastung.
- „Umweltziele“: In diesem Szenario wurde eine Minimalkostenkombination von Massnahmen für die Einhaltung von vorgegebenen Umweltzielen erstellt. Als Grundlage dienten die offiziellen Umweltziele des Bundesrates gemäss Luftreinhaltekonzept, Lärmschutzverordnung und CO₂-Gesetz, welche, wie im Kapitel 3 gezeigt wurde, teils noch deutlich über dem langfristig anzustrebenden Niveau liegen. Als preisliche Massnahmen wurden eine Erhöhung des Treibstoffpreises um 50 Rp./L und eine Kilometerabgabe für PW von rund 10 Rp. angenommen (vgl. Box 11).

Das Projekt D3 hat eindrücklich gezeigt, dass effizienzorientierte Preise allein die Einhaltung der Umweltziele nicht garantieren. Nötig ist eine Strategie, welche die Vorteile der verschiedenen Preisbildungsansätze und anderer Massnahmen möglichst optimal kombiniert. Beim Strassenpersonenverkehr ist nach Ansicht der Forscher längerfristig ein Wechsel von Mineralölsteuern hin zu einer kilometerabhängigen Grundgebühr anzustreben; dies in Koordination mit dem Ausland. Die Grundgebühr würde rund 5 Rp. pro km betragen und auch einige externe Umweltkosten abdecken (v.a. Lärm, Natur und Landschaft, Luftschadstoffe). In Ag-

⁸⁶ Vgl. GVF 1994a sowie z.B. GVF 1997b und POSSUM 1998

glomerationen und an staugefährdeten Strecken würde sie durch Zuschläge ergänzt („Road-pricing“). Hinzu kämen eine CO₂-Abgabe auf Treibstoffen sowie risikogestufte Haftpflichtprämien für die Internalisierung der Unfallkosten.

Beim Strassengüterverkehr schlagen die Forscher unter anderem vor, die fixen Motorfahrzeugsteuern abzuschaffen und statt dessen die LSVA differenziert zu erhöhen, von heute max. 3 auf rund 5 Rp. pro Tonnenkilometer. Dadurch würde eine deutliche zusätzliche Lenkungswirkung ausgelöst. Auch für den Schienenverkehr wird eine grenzkostenorientierte Grundgebühr sowie z.B. Zuschläge auf lärmiges Rollmaterial empfohlen.

Wichtig ist die Einbettung dieser preislichen Massnahmen in ein Gesamtpaket. Dazu gehören z.B. ein konsequentes Bestellprinzip im öffentlichen Verkehr, verkehrsträgerübergreifende Evaluationssysteme für einen volkswirtschaftlich optimalen Infrastrukturausbau, ein Ausschöpfen des raumplanerischen Instrumentariums sowie zusätzliche wirkungsvolle Umweltschutzmassnahmen. Zudem sind die Erträge aus den Verkehrsabgaben gerecht und zweckmässig einzusetzen. Das Thema Road Pricing wurde in einem eigenen Projekt weiter vertieft (D11).

Box 11: Umweltziele unter minimalen Kosten erreichen

Im Projekt D3 wurde ein Massnahmenmix ermittelt, mit welchem die CO₂-, Luftschadstoff- und Lärmziele des Bundes bis 2010 unter minimalen Kosten erreicht werden können. Bezüglich Unfällen liegen keine offiziellen Zielwerte vor; hier wurden alle Massnahmen berücksichtigt, welche ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Die Resultate bauen auf früheren, methodischen Arbeiten zur Kosten-Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr auf (vgl. Abschnitt 6.2.2). Der Mix umfasst die folgenden Massnahmen und Dosierungen:⁸⁷

Klimaschutz + Lufthygiene: (Reduktionsziele: CO₂ -3.4 Mio. t, NO_x -36'000 t, VOC -4'000 t)

- | | |
|--|---------------------|
| • Umsetzung EURO 3+4 PW / LW | vollständig |
| • Tempo 30 auf Quartierstrassen | flächendeckend |
| • Sperrung Innenstädte für MIV | niedrige Dosierung |
| • Parkraumbewirtschaftung | niedrige Dosierung |
| • Umrüstung ÖV-Busse auf alternative Treibstoffe (Rapsmethylester) | ca. 6'700 Busse |
| • Treibstoffpreiserhöhung | 50 Rp. |
| • Eco-Fahrweise | 500'000 Akteure |
| • Car-Sharing | 100'000 Akteure |
| • LSVA / 40t Limite | eingeführt |
| • km-Abgabe für PW | ca. 10.3 Rp. / Fzkm |

Unfälle: (keine quantitative Zielsetzung)

- | | |
|--|----------------|
| • Fahrsimulatoren in der Fahrausbildung | Einführung der |
| • Mobilitätsausbildung | Massnahmen |
| • Velo- und Mofakurse | |
| • Senkung der Promille-Grenze 0.5 Promille | |
| • Punktesystem (Fahrausweisentzug nach best. Anzahl an Delikten) | |
| • Aktion junge LenkerInnen | |
| • Bonus-Malus durch Versicherungen bei 18–25jährigen | |

⁸⁷ Quelle: Bericht D3, p.140

- Kinderrückhaltesysteme
- Anlassfreie Atemalkoholkontrolle
- Sanierung von Gefahrenstellen / Lokale Verbesserungen
- Kontrollintensität Tempo erhöhen
- Obligatorische Nachschulung
- Fahren mit Licht am Tag
- Airbag-Obligatorium
- Verkehrsberuhigung in städtischen Gebieten / Quartierstrassen
- 2-Phasen-Modell: PW / MR-Lenker: 3jährige Bewährungs-/Weiterbildungsphase

Lärm: (Ziel: Einhaltung Immissionsgrenzwerte Lärmschutzverordnung)

Massnahmen Strasse:

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| • Verkehrsberuhigung | niedrige Dosierung |
| • Tempo 30 Quartierstrassen | flächendeckend |
| • lärmarme Reifen | vollständig |
| • Motorenkapselung LKW | vollständig |
| • lärmarme Fahrbahnbeläge | ca. 3'000 km |
| • Lärmschutzwände | ca. 385 km |
| • Schallschutzfenster | ca. 415 km |

Massnahmen Schiene:

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| • Sanierung des Rollmaterials | gemäss IDA-E II 1998 |
| • Lärmschutzwände | |
| • Schallschutzfenster | |

4.5.2 Die Frage der Mittelverwendung

Möglichst vollständige Kostendeckung ist ein wesentliches Ziel einer nachhaltigen Verkehrspolitik. Verschiedene Projekte des NFP 41 haben aber aufgezeigt, dass die Kostenwahrheit nicht mit Nachhaltigkeit gleichzusetzen ist, weil sie einerseits die Erreichung der Umweltziele nicht gewährleistet und andererseits Verteilungsfragen offen lässt. Der Verwendung der finanziellen Mehrerträge aus der Internalisierung kommt diesbezüglich grosse Bedeutung zu. Dabei ist zwischen den folgenden Zielsetzungen abzuwägen:⁸⁸

- gesamtwirtschaftliche Effizienz: Förderung von Wachstum und Beschäftigung
- verkehrspolitische Ziele: Finanzierung eines ausreichenden und umweltfreundlichen Mobilitätsangebotes; Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene
- umweltpolitische Ziele: Schutz der Alpenregion; Reduktion der Luftschadstoff- und Lärmbelastung sowie der CO₂-Emissionen, Schonung von Natur und Landschaft
- Raumordnungs- und regionalwirtschaftliche Ziele: Stärkung der peripheren Regionen, Abbau regionaler Disparitäten, verkehrliche Einbindung in Europa

Das Abwägen zwischen diesen teils harmonisierenden, teils konfligierenden Zielen widerspiegelt den Grundgedanken der Nachhaltigkeit und ist letztlich der politisch-gesellschaftlichen Entscheidungsfindung vorbehalten. Das NFP 41 hat aber verschiedenste wissenschaftliche

⁸⁸ Quelle: Bericht D4

Grundlagen für diesen Prozess geliefert, z.B. die im Abschnitt 3.8 vorgestellte Quantifizierung der regionalen Disparitäten bezüglich Belastung mit externen Verkehrskosten.

4.5.3 Parkraumbewirtschaftung

Die im Projekt D3 erarbeiteten Vorschläge bezüglich der Preisbildung im Verkehr bedingen teils grundlegende Änderungen und lassen sich nicht von heute auf morgen verwirklichen. Das Forschungsteam nennt Vorschläge für eine schrittweise Umsetzung. Dazu gehört, als eine Übergangsmassnahme, auch eine Erhöhung der Parkplatzpreise im städtischen Raum. Verschiedene weitere NFP 41-Projekte betonen ebenfalls die Umweltbedeutung der Parkraumbewirtschaftung, z.B. als Begleitmassnahme bei der Einführung von Verkehrsmanagementsystemen in Städten sowie zur Verkehrsverlagerung auf den ÖV bei Grossveranstaltungen und im Wintertourismus (vgl. Abschnitte 4.2.3 und 5.2).

Das BUWAL hat 1997 eine umfassende Publikation zu den Möglichkeiten der Parkraumbewirtschaftung und zum aktuellen Stand der Umsetzung veröffentlicht.⁸⁹ Bei den öffentlichen Parkplätzen an zentralen Lagen wird zwischen Kontrollgebühren (0.25–0.75 Fr./h), Benutzungsgebühren (1–3 Fr./h) und Lenkungsabgaben (>3 Fr./h) unterschieden. Kostendeckende Benutzungsgebühren für Boden, Parkplatzerstellung, Unterhalt und Kontrolle können bereits eine Lenkungswirkung entfalten. Darüber hinaus sind auch Zuschläge für Externalitäten denkbar.⁹⁰ Die Studie zeigt auf, dass das Potenzial für die Erhebung solcher Benutzungsgebühren heute nicht ausgeschöpft wird. Sie empfiehlt, Tarife für öffentliche Parkplätze grundsätzlich kostendeckend auszugestalten und je nach Zentralität mit einem Lenkungszuschlag zu versehen. Zu beachten ist die uneinheitliche Kompetenzverteilung zwischen Kantonen und Gemeinden in Bezug auf die Tarifgestaltung.

4.5.4 Steuern und Abgaben im Luftverkehr

Der internationale Luftverkehr ist heute weltweit von Mineralölsteuern und Mehrwertsteuern befreit. Diese Regelung beruht auf dem 1949 in Kraft gesetzten Luftverkehrsabkommen von Chicago, das von fast allen Staaten unterzeichnet wurde. Das Ziel war damals eine möglichst ungestörte Entwicklung des Luftverkehrs.

Heute stellt diese Steuerbefreiung eine erhebliche Bevorzugung gegenüber den anderen Verkehrsträgern dar. Angesichts der wachsenden Umweltprobleme des Luftverkehrs ist sie nicht mehr zeitgemäss. Der Bund setzt sich auf internationaler Ebene seit längerem für eine Besteuerung ein, und die EU-Kommission verfolgt dasselbe Ziel. Die Notwendigkeit einer international abgestimmten Einführung hat bislang aber wesentliche Fortschritte verhindert. Vor diesem Hintergrund hält Müller (1998) fest, dass die pauschale Forderung einer Kerosinbesteuerung nicht mehr genügt. Erforderlich sind vielmehr eine intensive Auseinanderset-

⁸⁹ BUWAL 1997e

⁹⁰ Vgl. z.B. ECOPLAN 1992

zung mit den Möglichkeiten und Hindernissen, eine Konkretisierung der Ausgestaltung sowie die Stärkung der Entscheidungsstrukturen.

Tatsächlich hat die EU-Kommission kürzlich die Auswirkungen verschiedener Varianten einer Kerosinbesteuerung und zusätzlicher Umweltabgaben untersucht. Sie kommt zum Schluss, dass eine spürbare Umweltwirkung und ein angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis nur erzielt werden kann, wenn alle Destinationen (und nicht nur die Binnenflüge) besteuert werden.⁹¹

Weiter bezeichnet die Kommission distanzabhängige und nach Emissionen differenzierte Umweltabgaben im Stil der LSVa als vielversprechenden Ansatz. Damit könnten die externen Kosten des Luftverkehrs internalisiert werden, welche zur Zeit allerdings noch weniger gut untersucht sind als jene des Landverkehrs. Die Kommission beabsichtigt, im Jahr 2001 einen entsprechenden Vorschlag zu lancieren; dies als Teil eines umfangreichen Aktionsplans zu den Umweltwirkungen des Luftverkehrs. Eine Zusammenarbeit der Schweiz mit der EU ist hier zwingend erforderlich.⁹²

4.6 Raumordnung und Raumplanung

Verkehrssystem und Raumordnung beeinflussen sich gegenseitig. Einerseits prägt(e) die Verkehrsinfrastruktur die räumliche Entwicklung der Schweiz. Andererseits werden hohe Erwartungen an die Raumplanung gestellt, was ihren Beitrag zur Lösung der Verkehrsprobleme anbelangt. Beispielsweise soll die Raumplanung durch eine Verdichtung der Siedlungsstruktur und eine optimale Nutzungsdurchmischung sicherstellen, dass die zurückzulegenden Wege möglichst kurz sind. Die Nutzungsverdichtung soll zudem eine effiziente Erschliessung mit öffentlichen Verkehrsmitteln gewährleisten. Auch im bundesrätlichen Bericht zu den *Grundzügen der Raumordnung Schweiz*⁹³ spielt der Bezug der Raumentwicklung zur Verkehrsproblematik eine relativ grosse Rolle.

Forscher der ETH kamen im Rahmen des Projektes Synoikos zum Schluss, dass die Verdichtung der Siedlungsstruktur tatsächlich eine höhere Mobilität bei tieferem Ressourcenverbrauch erlaubt.⁹⁴ Das BRP hat zusammen mit weiteren Ämtern ein Handbuch herausgegeben, welches 39 praktische, raumplanerische Massnahmen zur Luftreinhaltung und rationellen Energienutzung aufzeigt. Verkehrsbezogene Massnahmen spielen darin eine grosse Rolle.⁹⁵

Diese Befunde und Vorschläge stehen im Kontrast zur tatsächlichen Raumentwicklung in der Schweiz, welche durch anhaltende Zersiedelungstendenzen geprägt ist. Die jüngste Re-

⁹¹ Vgl. Resource Analysis 1998

⁹² Vgl. European Commission 1999

⁹³ Bundesrat 1996

⁹⁴ Blaser & Redle 1998

⁹⁵ BRP et al. 1995

vision des Raumplanungsgesetzes, deren Neuerungen das Verkehrsaufkommen eher fördern als dämpfen, ist hier nur ein aktuelles Beispiel. Es stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Raumplanung wirklich zur Lösung der Umweltprobleme des Verkehrs leisten kann, und wie die bundesrätlichen Ziele zur Raumordnung umgesetzt werden sollen.

Auch das NFP 41 hat sich dieser Frage gestellt. Zum einen wurde aufbauend auf den Resultaten des Projektes A9 ein leicht lesbarer Überblick über wichtige Tendenzen und Auswirkungen der Siedlungsentwicklung erarbeitet (Studie M22). Die Broschüre zeigt Möglichkeiten, wie die Siedlungs- und die Verkehrsentwicklung besser aufeinander abgestimmt werden können, zum Beispiel durch die Siedlungsentwicklung nach innen sowie durch Entwicklungsschwerpunkte an Bahnknoten. Insbesondere die Kantone können so längerfristig Siedlungsstrukturen der kurzen Wege und damit eine nachhaltigere Mobilität fördern.

Das Projekt C8 hat ausserdem die Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Raumordnung untersucht und im Sinne einer Synthese die Resultate des NFP 41 beurteilt (vgl. Box 12). Auch diese Forscher orten eine Chance in der Verdichtung, das heisst der verstärkten Ausrichtung der grossräumigen Siedlungsentwicklung auf die Grosszentren und grossen Mittelzentren sowie deren Agglomerationen. Bezüglich Verkehr formulieren die Autoren die folgenden Empfehlungen:

- Der öffentliche Agglomerationsverkehr ist massiv zu stärken, vor allem bezüglich Tangenzialverbindungen.
- Die Finanzmittel zur Förderung des öffentlichen Verkehrs müssen in den Städten und Agglomerationen konzentriert werden anstatt im ländlichen Raum.
- Die Grosszentren sind durch ein effizientes und leistungsfähiges Verkehrssystem untereinander und international zu vernetzen.

Diese Empfehlungen zielen in eine ähnliche Richtung wie das in den *Grundzügen* postulierte „Städtesystem Schweiz“. Die provokante Forderung, Finanzmittel in den Städten und Agglomerationen zu konzentrieren, wirft allerdings sehr direkt die Frage auf, welche Grundversorgung mit Verkehr (*service public*) im ländlichen Raum notwendig bzw. angebracht ist. Hier offenbart sich ein Konflikt zwischen Umweltinteressen und dem sozial-kulturellen Interesse der ländlichen Regionen an einer Aufrechterhaltung ihrer Strukturen. Doch auch wirtschaftliche Interessen sind betroffen: Eine neue Studie⁹⁶ im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung zeigt, dass eine verdichtete Siedlungsentwicklung deutlich tiefere Infrastrukturkosten mit sich bringt (Verkehrsinfrastruktur, Wasser, Abwasser, Strom).

Als Folgerung aus diesen Arbeiten resultiert, dass die kantonale und kommunale Raumplanung in Zukunft verstärkt auf eine Verdichtung im Sinne des *Städtesystems Schweiz* auszurichten ist. Durch die verstärkte Anwendung des Verursacherprinzips bei der Zuordnung von

⁹⁶ Vgl. ARE 2000 sowie ECOPLAN 2000

Erschliessungskosten kann ein marktwirtschaftlicher Anreiz gegen die weitere Zersiedelung geschaffen werden. Ausserdem müssen die Zielkonflikte in der Frage der Siedlungsentwicklung – ganz im Sinne der Nachhaltigkeit – verstärkt untersucht und thematisiert werden.

Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang die im Abschnitt 2.3 diskutierten Planungs- und Prüfinstrumente. Eine verstärkte Ausrichtung der raumplanerischen *Konzepte und Sachpläne* und eine vermehrte Anwendung der *Zweckmässigkeitsprüfung* in Raumordnungsfragen könnte helfen, die Siedlungsentwicklung nachhaltiger zu gestalten. Zu verweisen ist zudem auf das im Projekt C1 entwickelte Instrument für die Beurteilung von Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz. Dieses ist in der Planungsphase von Infrastrukturprojekten einsetzbar und kann, gerade bei konkurrierenden Raumnutzungsansprüchen von Umwelt und Verkehr, eine ökonomisch-ökologische Hilfestellung für einen effizienten Mitteleinsatz darstellen (vgl. Abschnitt 3.7).

Box 12: Projekt C8: Verkehr und Raumordnung

Das Projekt C8 setzte sich zum Ziel, die Wechselwirkungen zwischen Verkehrspolitik und Raumordnung zu untersuchen, um damit die Grundlagen für eine Koordination der beiden Politikbereiche zu verbessern. Im Sinne einer Synthese wurden neuste Trends und wissenschaftliche Erkenntnisse verwertet, namentlich auch die Resultate der übrigen NFP 41-Projekte. Die Arbeit wurde auf die folgenden Leitfragen ausgerichtet:

- Wie und über welche Wirkungsketten beeinflussen neue Trends in der Verkehrspolitik und der Verkehrsentwicklung die Raumordnung?
- Entsprechen diese räumlichen Effekte den bestehenden politischen Zielen?
- Welche Massnahmen im Bereich der Raumordnungspolitik sind zu empfehlen?

Die Forscher gehen von der verbreiteten These aus, dass die Verkehrsinfrastruktur ihre früher prägende Funktion für räumliche Prozesse ein Stück weit verloren hat, weil sie heute allgegenwärtig und quasi flächendeckend ist. Dafür gewinnen verkehrsökonomische, technische und organisatorische Rahmenbedingungen im Verkehr an Einfluss auf die Raumordnung, d.h. genau jene Faktoren, mit denen sich das NFP 41 schwergewichtig befasst hat.

Die gegenwärtigen Trends und verkehrspolitische Vorschläge müssen laut den Forschern mit Blick auf die Ziele einer nachhaltigen Raumentwicklung beurteilt werden. Diese Ziele liegen – ganz im Sinne der bundesrätlichen *Grundzüge der Raumordnung* – in der verstärkten Ausrichtung der grossräumigen Siedlungsentwicklung auf die Grosszentren und grösseren Mittelzentren. Konkret fordern die Forscher unter anderem:

- Mit Blick auf die angestrebte Verdichtung müssen die Agglomerationsräume und die grossen Stadtregionen so rasch wie möglich ökologisch und städtebaulich saniert werden.
- Das Verhältnis zwischen Stadt und Land ist neu zu definieren.
- Auch in den Agglomerationen ist eine Innenentwicklung (Verdichtung) anzustreben; dies anstelle des heute vorherrschenden Wachstums an der Peripherie.
- Kurzen Stoffkreisläufen ist grössere Aufmerksamkeit zu schenken.

Bezüglich Massnahmen im Verkehr folgern die Forscher insbesondere, dass der öffentliche Agglomerationsverkehr und die Vernetzung der Zentren massiv zu fördern sei (vgl. Haupttext). Weiter wird festgehalten, dass die Resultate des NFP 41 einer nachhaltigen Raumentwicklung im Wesentlichen förderlich sind.

4.7 Information und freiwillige Massnahmen

4.7.1 Information zur Förderung freiwilliger Massnahmen

Die Information der Bevölkerung gewinnt als Ansatzpunkt für die Entschärfung der Verkehrsprobleme zunehmend an Bedeutung. Ein wichtiges Beispiel sind die Ausbildungsaktivitäten des Energie 2000-Programms, zu denen Kurse für treibstoffsparendes Fahren (*Eco-Fahrweise*) sowie die Verkaufsförderung energieeffizienter Autos gehören. Eine Erkenntnis aus Energie 2000 lautet, dass solche freiwilligen Massnahmen den Verkehrsteilnehmern einen Zusatznutzen bringen müssen. So können z.B. mit der Eco-Fahrweise nicht nur 10–15% Treibstoff, sondern auch entsprechend Kosten eingespart werden.⁹⁷

Neben Effizienzaspekten wie Fahrstil und Fahrzeugtyp ist die *Wahl des Verkehrsmittels* für die Umweltproblematik entscheidend. Jeder vierte Haushalt in der Schweiz besitzt kein Auto, was bedeutet, dass andere Verkehrsmittel gewählt werden. Es stellt sich die Frage, ob und wie der persönliche Entscheid gegen das Auto gefördert werden kann.

Im Projekt A2 wurden die Determinanten der autofreien Haushalte anhand der Mikrozensus-Daten 1994 sowie eigener Erhebungen untersucht. Die Resultate belegen, dass die Mobilität ohne Auto in den meisten Fällen freiwillig gewählt wird. Nur rund 20% dieser Haushalte sind unfreiwillig autofrei, z.B. aus finanziellen oder gesundheitlichen Gründen. Zudem sind deutlich mehr als 80% mit ihrer heutigen Mobilität zufrieden.

Die entscheidenden Faktoren für die Autofreiheit sind eine gute Nahversorgung sowie eine optimale Erschliessung mit dem öffentlichen Verkehr. Entsprechend liegt der Anteil der autofreien Haushalte in den grossen Städten mit 45% bis über 50% um einiges höher als in den Agglomerationen (20%) und ländlichen Gebieten. Ökologische Motive scheinen beim Entscheid gegen das eigene Auto eine geringe Rolle zu spielen.

Die Forscher schlagen eine Reihe von Massnahmen vor, um die Autofreiheit weiter zu fördern. Die Potenziale des Car-Sharing werden dabei besonders betont (vgl. Abschnitt 4.3.3). Zudem gilt es, die externe Wahrnehmung der autofreien Haushalte zu stärken. Das Vorurteil, dass „nur Öko-Fundis kein Auto haben“, wurde im Projekt eindeutig widerlegt.

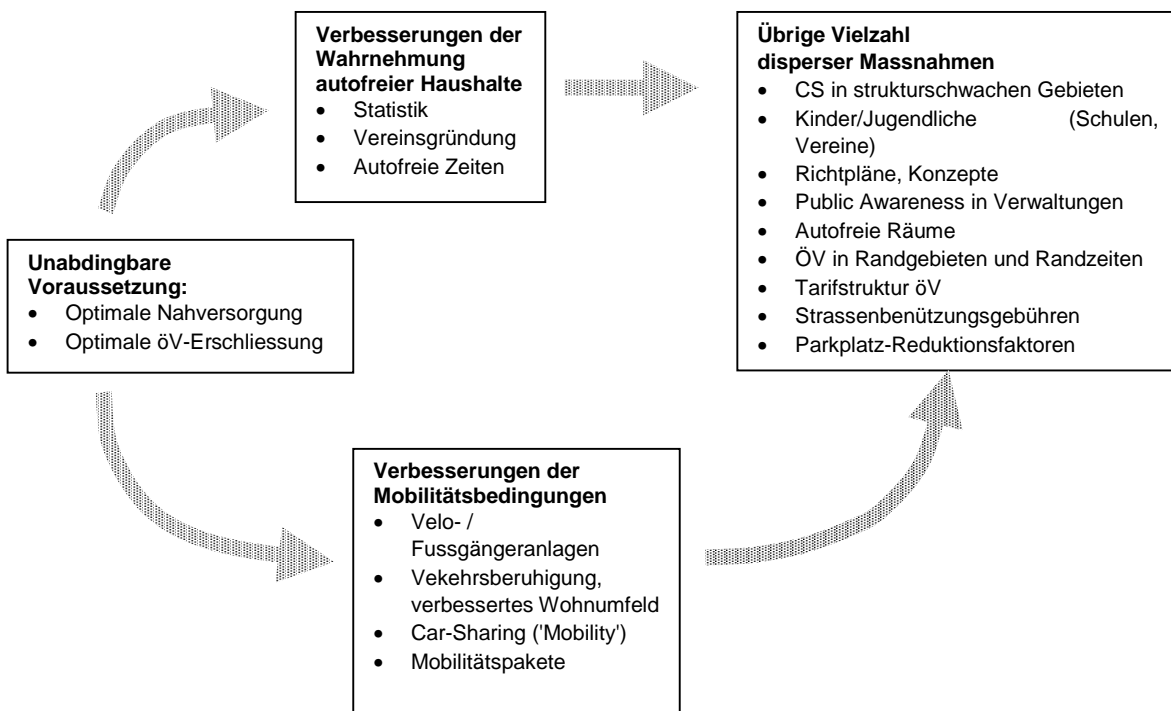
Ähnlich zu werten ist die Tatsache, dass fast die Hälfte aller Reisen mit mindestens drei Übernachtungen ihr Ziel im Inland haben. Für ihre Auslandferien wählt die Schweizer Wohnbevölkerung noch immer in neun von zehn Fällen eine Europadestination. Fernreisen sind also alles andere als ein „must“.⁹⁸ Die Verbreitung solcher Erkenntnisse kann helfen, das Verkehrsverhalten der Bevölkerung im Sinne der Umwelt zu beeinflussen. Die zunehmenden

⁹⁷ Quelle: UVEK 1998b p.457ff

⁹⁸ Vgl. BFS 1999b, p.14f. Die absolute Reiseaktivität steigt allerdings nach allen Destinationen stetig an.

Angebote für „Mobilitätsberatung“, z.B. durch kantonale und kommunale Verwaltungen, sind ein begrüssenwerter Schritt in diese Richtung.

Der Befund, dass ökologische Motive beim Entscheid für oder gegen den Autobesitz keine zentrale Rolle spielen, bedeutet nicht, dass die Information der Bevölkerung zur Verkehrsproblematik generell wirkungslos wäre. Vielmehr stellt eine ausgewogene Information und die Teilnahme an Entscheidungsprozessen eine zwingende Voraussetzung für die Akzeptanz von verkehrspolitischen Massnahmen dar.



Figur 16

Strategischer Ansatz für die Förderung der Zahl autofreier Haushalte. Die Kombination der beiden Stränge verspricht den grössten Erfolg. CS = Car-Sharing
Quelle: Projekt A2, Müller & Roman et al. 1999, p.K-17

4.7.2 Information und Ausbildung von Experten

Auch Verkehrsexperten und verkehrspolitische Entscheidungsträger sind auf angemessene Informationen angewiesen. Die zunehmende Komplexität des Verkehrssystems und verstärkte Zielkonflikte erschweren Entscheide über Politiken und Strategien. Das Projekt C2, MODUM, hat neue Erkenntnisse zur Frage geliefert, welche Rolle computergestützte systemdynamische Modelle in diesem Umfeld spielen können (vgl. Box 13).

MODUM verfolgte das Ziel, die klassische, „harte“ Modellierung von Verkehrsleistungen und Modalsplits mit der Modellierung „weicher“, gesellschaftlicher Faktoren wie z.B. Umweltbewusstsein der Verkehrsteilnehmer, Werthaltungen oder Lebensstile zu verbinden. Kennzeichnend für das Modell ist der Einbau von Rückkopplungsmechanismen, z.B. zwischen der Verkehrsentwicklung und Verkehrspolitiken, welche in herkömmlichen Modellen nicht erfasst werden. Die Forscher kommen zum Schluss, dass mit einem solchen Simulationsmodell nur sehr bedingt robuste, quantitative Prognosen generiert werden können, weil die „weichen“ Faktoren eine erhebliche Unschärfequelle darstellen.

Gestützt auf die Zusammenarbeit mit Akteuren aus dem Verkehrsbereich schliessen die Forscher aber, dass sich das Modell als „Lernwerkzeug“ für Experten und Entscheider eignet. Die Modellbildung in Gruppen kann die Vermittlung von Vorstellungen sowie die Diskussion und Bewertung komplexer Systemzusammenhänge erleichtern. Die Auswirkungen verschiedener Massnahmenkombinationen lassen sich anhand von Nachhaltigkeitsindikatoren zumindest qualitativ evaluieren. So kann ein Beitrag zur Strategiefindung geleistet werden.

Ein weiteres Projekt des NFP 41 hat sich nicht mit einzelnen Werkzeugen befasst, sondern die gesamten Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich der nachhaltigen Mobilität untersucht (Projekt C9). Basierend auf einer Bestandesaufnahme wurden Lücken im Angebot aufgezeigt und Vorschläge für mögliche neue Bildungsangebote formuliert. In einer Umfrage zeigten die betroffenen Berufsverbände Interesse an weitergehenden Bildungsangeboten. Empfohlen wird unter anderem zusätzliche, zielgruppenspezifische Weiterbildungsmöglichkeiten sowie längerfristig eine Integration der nachhaltigen Mobilität in die Grundausbildung von Raumplanern, Umwelt- und Verkehrsingenieuren sowie Tourismusfachleuten. Eine solche Entwicklung wäre natürlich auch aus Umweltsicht zu begrüßen.

Box 13: Projekt C2: MODUM – Strategiemodell Umwelt-Mobilität

Die Entwicklung des Mobilitätssystems stösst zunehmend an Grenzen bezüglich Umwelt, Kapazitäten und Finanzen, aber auch bezüglich der politischen Problemlösung. Geeignete Instrumente für die Planung, die auch mittel- bis langfristige Interaktionen zwischen diesen Bereichen berücksichtigen können, stehen bisher nicht zur Verfügung.

Das Projekt C2 hat dazu beigetragen, diese Lücke zu schliessen. Kernstück des Projektes ist ein computergestütztes Simulationsmodell für das „Gesamtsystem“ Mobilität, welches wirtschaftliche, soziale, technische und ökologische Aspekte berücksichtigt. Das Modell umfasst eine Vielzahl von Parametern, die teilweise als fixe Randbedingungen dienen (z.B. Bevölkerungsentwicklung) und teilweise in ihrer zeitlichen Entwicklung berechnet werden (z.B. Verkehrsaufkommen, Wirkungen auf Umwelt).

Die zentralen Wirkungen des Verkehrssystems werden mittels Nachhaltigkeitsindikatoren abgebildet. Als Modellierungszeitraum dient die Periode 1960–2030. Für die Eichung des Modells wurden Daten aus dem Zeitraum 1960–1990 verwendet.

MODUM unterscheidet sich von herkömmlichen Verkehrsmodellen unter anderem dadurch, dass Rückkoppelungen zwischen Parametern vorkommen. Ausserdem ist es bedeutend breiter angelegt und beinhaltet eine Reihe von „weichen“ Parametern wie z.B.: Prestige von Verkehrsmitteln in verschiedenen Bevölkerungsgruppen, Umweltbewusstsein, Mobilitätslust, etc. Die räumliche Aggregation ist vergleichsweise hoch, d.h. die Parameter können nicht nach verschiedenen Regionen der Schweiz differenziert werden.

Der Personenverkehrsteil von MODUM wurde in enger Zusammenarbeit mit einer *AkteurInnen-Plattform* entwickelt, welche zehn VertreterInnen von Verkehrsdienstleistern, Verkehrsträgern (SBB, Mobility), der Verwaltung sowie Benutzerverbänden umfasste. Die Inputs dieser Plattform wurden insbesondere für die Entwicklung des qualitativen, „weichen“ Modellteils verwendet.

Als Anwendung für MODUM steht, gestützt auf die Erfahrungen aus dem Projekt, die Bewusstseinsförderung bei den verschiedenen Akteuren des Bereichs Verkehr und Umwelt im Vordergrund. Ähnlich wie andere systemdynamische Modelle erlaubt auch MODUM die spielerische und doch (bezüglich der zu Grunde liegenden Datenbasis) wissenschaftlich fundierte Auseinandersetzung mit den Bestimmungsgrössen und Auswirkungen der Verkehrsentwicklung. Durch Variation der treibenden Parameter können Szenarien der zukünftigen Verkehrsentwicklung entworfen und die Vernetzung der verschiedenen Modellgrössen erkundet werden.

Im Weiteren eignet sich MODUM in gewissen Grenzen auch als Policy-Instrument für die Entwicklung und Bewertung von Massnahmen im Personen- und Güterverkehr. Der Modellierungsprozess selbst hat Erkenntnisse über die entscheidenden Schlüsselgrössen, Wirkungsbeziehungen und Mechanismen im Kontext von Mobilität und Umwelt geliefert.

Die angestrebte Verbindung eines „weichen“, im Gruppenprozess erarbeiteten Modellteils mit einem „harten“ Verkehrsmodell ist im Vergleich zu herkömmlichen Modellen sehr innovativ. Gleichzeitig sties- sen die Forschenden mit diesem Ansatz an die Grenzen des Machbaren. Als Fazit stellen sie fest, dass „harte“ Prognoseabsichten und für die Anwendung als Lernwerkzeug geeignete, plausible „weiche“ Aussagen vom Anspruch her schwer vereinbar scheinen. Sie folgern unter anderem, dass je nach Zielpublikum eine Entwicklung in Richtung es prognosefähigen Simulationsinstruments *oder* eines einfach handhabbaren Lernwerkzeugs ins Auge gefasst werden müsste.

4.8 Fazit zu den Handlungsfeldern

Im vorstehenden Kapitel haben wir versucht, einen Überblick über die wichtigsten Handlungsfelder für die umweltverträgliche Gestaltung des Verkehrs zu geben. Als vorläufiges Fazit halten wir fest, dass grundsätzlich einige Ansatzpunkte verfügbar sind:

- *Preisreize und Kostenwahrheit* bilden das Rückgrat einer umweltverträglichen Verkehrsstrategie. Internalisierung der externen Kosten allein vermag das Erreichen der Umweltziele aber nicht zu gewährleisten.
- Die *Verbesserung der Umwelteffizienz* der Verkehrsmittel kann auch in Zukunft wichtige Beiträge leisten. Fahrzeugseitig sind erhebliche Potenziale zur Reduktion des Energieverbrauchs, der Luftschadstoffemissionen (Strasse) und der Lärmemissionen (Schiene) verfügbar. Verbesserte Verkehrsabläufe sowie – insbesondere auf der Schiene – eine bessere Auslastung der Infrastruktur eröffnen ebenfalls beträchtliche Potenziale zur Effizienzsteigerung. Längerfristig wird die umweltfreundliche Bereitstellung von Strom und eventuell Wasserstoff von grosser Bedeutung sein.
- Die Möglichkeiten zur *Verlagerung* auf umweltfreundliche Verkehrsmittel, bzw. zur Sicherung des Schienenanteils am Verkehrsaufkommen, sind nicht ausgeschöpft. Entscheidende Bedeutung kommt der weiteren Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Verkehrs zu. Die Bahnreform muss hier Impulse vermitteln. Daneben können auch Car-Sharing und neue, integrierte Mobilitätsdienstleistungen den Modalsplit günstig beeinflussen, weil sie einen autoarmen Lebensstil erleichtern. Ein drittes, wesentliches Potenzial steckt in der verstärkten Förderung des Langsamverkehrs. Langfristig könnten zudem neue, umweltaffiziente Verkehrsmittel wie die Eurometro möglicherweise helfen, das Wachstum des Luftverkehrs einzudämmen.
- Die *Raumplanung* und eine umfassende, vorausschauende *Beurteilung* von Verkehrsprojekten und Strategien sind grundsätzlich mächtige Hilfsmittel für die Verkehrsvermeidung und die umweltverträgliche und nachhaltige Gestaltung des Verkehrssystems. Eine Verbesserung der planerischen Praxis ist möglich und notwendig.
- Die übrigen Potenziale für eine gezielte *Verkehrsvermeidung*, z.B. durch Telekommunikation, scheinen vorläufig gering.
- Die *Information* über die unerwünschten Folgen des Verkehrs und über die Möglichkeiten für ein umweltverträgliches Verkehrsverhalten kann dazu beitragen, Bevölkerung und Wirtschaft zu sensibilisieren und auch gewisse Sparpotenziale auszuschöpfen. Die Sensibilisierung ist entscheidend für freiwillige Verhaltensänderungen und die Akzeptanz von staatlichen Massnahmen wie z.B. Preisreizen.

Das NFP 41 hat massgeblich zur Konkretisierung dieser Ansatzpunkte beigetragen. Entscheidend ist allerdings, ob letztlich der politische Wille vorhanden ist, entsprechende Schlüsselmassnahmen tatsächlich umzusetzen. Darauf gehen wir im Kapitel 6 ein. Zuvor befassen wir uns aber noch kurz mit dem aus Umweltsicht wichtigen Thema Freizeitverkehr.

5 Eine Querschnittbetrachtung am Beispiel Freizeitverkehr

5.1 Ausgangslage

Mit rund 63 Milliarden Personenkilometern pro Jahr oder 60% der in der Schweiz gefahrenen Personenkilometer ist der Freizeitverkehr gemessen an der Verkehrsleistung der wichtigste Verkehrszweck.⁹⁹ Zwei Drittel davon entfallen auf die Schweizer Wohnbevölkerung, und ein Drittel wird durch Ausländer (Ausflug-, Transit- und Ferienverkehr) verursacht. Hinzu kommen die von den Ausländern auf der Anreise in die Schweiz sowie die von Schweizern im Ausland geleisteten Personenkilometer. So fragen die Schweizer auf ihren Ferienreisen und Ausflügen im Ausland rund 40 Milliarden Personenkilometer jährlich nach, das heisst etwa gleichviel wie im Inland.¹⁰⁰

In den vergangenen Jahren hat der Freizeitverkehr absolut und anteilmässig stark zugenommen. Auch für die Zukunft werden ihm überdurchschnittliche Wachstumsraten prognostiziert. Anteilsmässig dominiert das Auto mit rund zwei Drittel der Personenkilometer (Binnenverkehr). Allerdings hat eine NFP 41-Untersuchung – eher überraschend – ergeben, dass der Autoanteil nicht höher, sondern leicht tiefer liegt als beim Gesamtverkehr.¹⁰¹ Auf Auslandsreisen hat hingegen das Flugzeug einen hohen Anteil von 60% der Personenkilometer (vgl. auch die Inländerbetrachtung im Abschnitt 3.2). Insgesamt ist der Freizeitverkehr – nicht nur aus Umweltsicht – das dominierende Verkehrssegment, das bislang viel zu wenig beachtet wurde.

Die Reduktion der mit dem Freizeitverkehr verbundenen Umweltbelastungen erfordert eine integrale Strategie, welche sämtliche der im Kapitel 4 diskutierten Handlungsfelder einbezieht. Zu diesem Schluss kommt eine aktuelle Forschungsarbeit im Auftrag des Bundesamtes für Strassen.¹⁰² Das NFP 41 hat die Thematik in verschiedenen Projekten weiter vertieft:

- Projekt D5 hat Strategien und Massnahmen zur Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr evaluiert, aber auch umfangreiches Zahlenmaterial zum Freizeitverkehr zusammengetragen und ausgewertet.
- Projekt D6 hat sich mit dem Verkehrsmanagement in Tourismusorten befasst.
- Projekt A5 hat Neuansätze für die Vermeidung von Freizeitverkehr untersucht.

Nachstehend stellen wir die betreffenden Projekte und die aus Sicht Umwelt wesentlichen Resultate vor. Für eine vertiefte Diskussion verweisen wir auf die im Rahmen des NFP 41 verfasste Synthesearbeit von Meier (2000a) zum Thema sowie auf die Modulsynthese A.

⁹⁹ Stand 1994/95. Die weiteren Verkehrszwecke sind: Arbeits- oder Pendlerverkehr, Einkaufsverkehr und Geschäftsverkehr.

¹⁰⁰ Zahlen aus Bericht D5

¹⁰¹ Vgl. den Bericht M19, p. K-3

¹⁰² Lükling & Meyrat-Schlee 1998, *Perspektiven des Freizeitverkehrs Teil 2: Strategien zur Problemlösung*

5.2 Verlagerung des Freizeitverkehrs

Projekt D5 hat die Eigenheiten des Freizeitverkehrs analysiert und Strategien und Massnahmen entwickelt, welche – nebst weiteren Ansätzen – insbesondere die Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr bezwecken. Die Forscher konzentrierten sich auf drei Themenkreise:

- *Verkehrsabwicklung bei Grossveranstaltungen:* Grossveranstaltungen mit mehr als 500 Besuchern stellen mit 15–20% der Verkehrsleistung ein entscheidendes Segment innerhalb des Freizeitverkehrs dar. Die Untersuchung zweier Fallbeispiele ergab einen weit überdurchschnittlichen ÖV-Anteil von über 50% bei solchen Anlässen. Nach Ansicht der Forscher besteht aber noch ein weiteres, erhebliches Umlagerungspotenzial zugunsten des ÖV. Schlüsselfaktoren sind eine restriktive Parkplatzbewirtschaftung sowie rasche und direkte ÖV-Angebote; dagegen scheint der Preis der ÖV-Angebote eine geringere Rolle zu spielen. Die Forscher schliessen, dass die Machbarkeit nachhaltiger Verkehrslösungen bei Grossveranstaltungen erwiesen sei. In Zukunft sei die Diffusion und Systematisierung erprobter Ansätze gefordert.
- *Ski- und Snowboard-Tagesausflugsverkehr:* Dieses Segment stellt rund 7% des nationalen Freizeitverkehrs. Mit ca. 80% ist es in hohem Mass vom MIV geprägt. Auch hier orten die Forscher ein erhebliches Verlagerungspotenzial, das für den ÖV eine Verdoppelung der entsprechenden bisherigen Transportleistung bedeuten würde. Die Empfehlungen der Forscher beinhalten vor allem Fahrplan- und Komfortverbesserungen beim ÖV sowie dosierte Parkplatzbewirtschaftung mit einem Zuschlag für externe Landschaftskosten als innovativem Element. Bei der Bahn ist sicherzustellen, dass Ausbauprojekte wie Bahn 2000 und NEAT nicht auf Kosten der Feinverteilung in den Berggebieten gehen.
- *An- und Abreise im Ferienverkehr:* Auch dieses Segment stellt rund 7% des Freizeitverkehrsaufkommens. Der Anteil des ÖV ist relativ hoch. Dem Ferienreiseverkehr wird für die nächsten 15–20 Jahre ein Wachstum von bis zu 30% prognostiziert. Entsprechend ist auch hier ein erhebliches Wachstums- und Umlagerungspotenzial für den ÖV vorhanden. Als zentrale Massnahme empfehlen die Forscher wiederum zielgerichtete Attraktivitätssteigerungen beim ÖV, z.B. durch bessere Serviceleistungen im Bereich Gepäck.

Das Projekt D5 hat einerseits zu einer Verbesserung der Datengrundlagen im noch jungen Forschungsbereich Freizeitverkehr beigetragen. Andererseits zeigt es auf, dass auch in diesem schwierigen Verkehrssegment erhebliche Umweltentlastungen möglich sind, und bietet eine Reihe von nützlichen – aber auch herausfordernden – Ansatzpunkten für die betroffenen ÖV-Unternehmen. Wichtig ist der Befund, dass beim Freizeitverkehr keine Gesellschaftspolitik betrieben werden darf: Freizeitverkehr ist eine wirtschaftliche Notwendigkeit und grundsätzlich zu akzeptieren – nicht aber die damit verbundenen, übermässigen Umweltbelastungen.

5.3 Verkehrsmanagement in Tourismusorten

Die Motorisierung der letzten Jahrzehnte gehört zu den grossen Boomfaktoren der touristischen Entwicklung. Gleichzeitig stellt der Strassenverkehr heute für viele Tourismusorte das grösste (Umwelt-)Problem dar. Verkehrstechnische Konzepte zur Beeinflussung des Verkehrs sind heute bekannt. Hingegen wurden die konkreten Umsetzungsprozesse, die Auswirkungen auf die Umwelt sowie die Akzeptanz der Massnahmen bislang wenig untersucht.

Das Projekt D6 hat diese Fragen aufgegriffen. In neun Ferienorten im In- und Ausland wurden die umgesetzten Verkehrsmassnahmen und deren Effekte analysiert. Dabei wurden folgende Massnahmenpakete unterschieden:

- Umfahrungsstrasse,
- flächendeckende Verkehrsberuhigung,
- Attraktivierung und Ausbau des öffentlichen Verkehrs,
- räumliche Anordnung und Bewirtschaftung der Parkplätze.

Die Forschungsarbeit zeigt auf, dass die Integration aller vier Massnahmenpakete die besten Wirkungen bezüglich Umweltentlastung erzielt und zudem als einzige dem sich abzeichnenden Anstieg des Strassenverkehrsaufkommens gewachsen ist. Die Massnahmen erlauben es, lokale Belastungsschwerpunkte zu entschärfen und so die Attraktivität der Ferienorte sicherzustellen – im Wettbewerb mit anderen Ferienorten eine Notwendigkeit. Grossräumig gesehen sind aber keine wesentlichen Reduktionen der Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen zu erwarten. Die Studie liefert Planern und Ferienorten fundierte Informationen zur Lösung ihrer Verkehrsprobleme und zeigt die Erfolgsbausteine – z.B. Information und Beteiligung der lokalen Bevölkerung – für ein zukunftsgerichtetes Verkehrsmanagement auf.

5.4 Neuansätze zur Vermeidung von Freizeitverkehr

Das Projekt A5 hat sich mit den Möglichkeiten verkehrsvermeidender Innovationen im Freizeitbereich auseinander gesetzt. Kern der Untersuchung war eine Befragung von Personen im Agglomerationsraum Horgen und im Tourismusgebiet Sarganserland / Walensee. Dabei ging es darum, die dem Freizeitverkehrsverhalten zu Grunde liegenden soziokulturellen Faktoren zu identifizieren und nach Möglichkeiten zu suchen, mit denen nachhaltigen Verhaltensinnovationen zum Durchbruch verholfen werden kann.

Die Empfehlungen der Forscher zielen zum einen in Richtung einer *Neuentdeckung des Nahraums*, um den fluchtartigen Exodus aus den Agglomerationsgebieten an Wochenenden und in Ferienzeiten abzuschwächen. Zum anderen soll der Typus eines *partnerschaftlichen Tourismus* gestärkt werden, damit die Feriengäste weniger häufig und dafür länger in dieselben Tourismusregionen reisen.

Die Studie entwirft die Idee einer bewussteren Mobilität und skizziert mögliche Initialprojekte. Sie macht allerdings klar, dass die kurz- bis mittelfristigen Potenziale zur Umweltentlastung in diesem Bereich gering sein dürften. Die aufgezeigten Ansätze können aber längerfristige Impulse vermitteln, welche insbesondere auch dem Wunsch der Zielregionen nach einem lokal ausgerichteten, sanften Tourismus entgegenkommen.

5.5 Zwischenfazit zum Freizeitverkehr

Der Freizeitverkehr ist mit seinen hohen Wachstumsraten und dem hohen Fluganteil aus Umweltsicht ein Sorgenkind. Aus wirtschaftlicher und sozialer Sicht wird er hingegen meist gern gesehen. Die vorstehenden Abschnitte verstehen wir keineswegs als vollständige Abhandlung des Themas, sondern als Schlaglichter auf eine die grösste und schwierigste Verkehrskomponente. Zudem wollen wir mit dieser „Querschnittbetrachtung“ illustrieren, dass die im Kapitel 4 vorgestellten Handlungsfelder für umweltverträglichen Verkehr nur eines unter mehreren möglichen Gliederungssystemen darstellen. Eine thematische Betrachtung, z.B. des Luftverkehrs oder eben des Freizeitverkehrs, ist ebenso möglich wie notwendig, wenn die Umweltprobleme des Verkehrs umfassend gelöst werden sollen. Eine Beschränkung auf einzelne Handlungsfelder, z.B. – wie oft verlangt – auf die technische Effizienzsteigerung im Verkehr – wird alleine nicht zum Ziel führen, weil die Potenziale zu gering sind.

In diesem Sinne entwirft Meier (2000a) eine umfassende Strategie zur Lösung der Umweltprobleme des Freizeitverkehrs, welche fast alle im Kapitel 4 angesprochenen Handlungsansätze beinhaltet, z.B. die Internalisierung der externen Verkehrskosten sowie die Einbindung des Luftverkehrs in den Klimaschutz über Kompensationslösungen und Emissionshandel. Meier kommt zum ermutigenden Fazit, dass eine nachhaltige Entwicklung des Freizeitverkehrs möglich sei: Er schätzt, dass gegenüber der Referenzentwicklung bis 2020 im Strassenpersonenverkehr rund 30 – 50% und im Luftverkehr 15 – 50% der CO₂-Emissionen eingespart werden könnten. Dazu müssen allerdings umfassende Massnahmenpakete verwirklicht werden, was nicht zuletzt Anstrengungen zur Akzeptanzbildung verlangt. Für Details verweisen wir nochmals auf diese Arbeit sowie auf die Teilsynthese zum Modul A des NFP 41.

6 Folgerungen und Empfehlungen

6.1 Mehrwert des NFP 41 für die Umwelt- und Verkehrspolitik

Die vorstehenden Kapitel haben aufgezeigt, welche Beiträge das NFP 41 zur Beschreibung und Lösung der Umweltprobleme des Verkehrs geliefert hat. Nun stellt sich die Frage: Welche grundlegenden neuen Erkenntnisse hat das NFP 41 ermöglicht? Worin liegt der Mehrwert der Forschungsergebnisse für die Verkehrs- und Umweltpolitik?

Ein Blick auf die aktuelle Politik im Spannungsfeld von Verkehr und Umwelt zeigt, dass der Bund bereits heute in allen sechs der im Kapitel 4 beschriebenen Handlungsfelder mehr oder weniger aktiv ist:

- Die Verbesserung der Umwelteffizienz, die Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger sowie die Verwirklichung der Kostenwahrheit im Verkehr bilden seit längerem die verkehrspolitischen Hauptpfeiler zur Lösung der Umweltprobleme. Als Beispiele sind zu nennen: die kontinuierliche Verschärfung der Abgasgrenzwerte und die Investitionen in einen attraktiven Schienenverkehr (z.B. NEAT, Bahn 2000, TGV-Anschluss Westschweiz, Lärmschutz), die Bahnreform sowie die Einführung der LSVA. Mit dem *Aktionsplan Umwelt und Gesundheit*¹⁰³ hat sich der Bund auch zur Förderung des Langsamverkehrs bekannt.
- Im Bericht zu den *Grundzügen der Raumordnung Schweiz* hat der Bundesrat die Bedeutung der Raumplanung für die Verkehrsvermeidung und die Verlagerung auf den ÖV betont. Mit dem *Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt* nimmt er zudem einen eigenen, planerischen Spielraum für die umweltverträgliche Gestaltung der Luftverkehrsentwicklung wahr.¹⁰⁴
- Das UVEK verpflichtet sich in seiner Strategie unter anderem den folgenden verkehrspolitischen Grundsätzen:¹⁰⁵
 - koordinierte Verkehrspolitik
 - Ausschöpfung der technischen Möglichkeiten zur Optimierung von Infrastrukturen, Fahrzeugen und Treibstoffen
 - Internalisierung der betriebswirtschaftlichen und externen Kosten aller Verkehrsträger (unter dem Vorbehalt gemeinwirtschaftlicher Leistungen im Dienste der landesweiten Grundversorgung)
 - die Erhöhung der Anteile des öffentlichen Verkehrs und des Langsamverkehrs
- Hingegen spielen weitergehende Massnahmen zur Verkehrsvermeidung sowie Information zur Beeinflussung des Verkehrsverhaltens bislang nur eine geringe Rolle. Zu nennen sind etwa die Aktivitäten im Rahmen von Energie 2000 (Eco-Drive, Mobilitätsmanage-

¹⁰³ BAG & BUWAL 1997

¹⁰⁴ Vgl. Bundesrat 1996 und BAZL 2000

¹⁰⁵ UVEK 1999a

ment, vgl. Abschnitt 4.7). Zumindest das BUWAL schlägt aber vor, in Zukunft auch in diesen beiden Handlungsfeldern vermehrt aktiv zu werden.¹⁰⁶

Vor diesem Hintergrund kann gefolgert werden, dass die Resultate des NFP 41 die gegenwärtige Verkehrspolitik des Bundes – zumindest in Umweltfragen – grundsätzlich bestätigen. Verlangt wird nicht eine radikale Neuausrichtung, sondern die weitere, vertiefte Auseinandersetzung mit den kritischen Umweltproblemen des Verkehrs und deren schrittweise Entschärfung. Als Mehrwert für die Verkehrspolitik hat das NFP 41 verschiedene Mosaiksteine zu Tage gefördert, die der Vision eines umweltverträglichen und nachhaltigen Verkehrs ein Gesicht geben und gleichzeitig die Anknüpfung an Bestehendes erlauben. Zusammenfassend lassen sich die Resultate des Programms aus Sicht Umwelt und Nachhaltigkeit wie folgt kategorisieren:¹⁰⁷

- Das NFP 41 hat *neue Methoden und Modelle zur Abschätzung der Umweltauswirkungen des Verkehrs und der Verkehrspolitik* hervorgebracht, namentlich: eine praxisnahe Methode und einen Leitfaden zur Abschätzung der Kostenwirksamkeit von Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen und ein computergestütztes Globalmodell für die Abbildung der komplexen Wirkungszusammenhänge im Bereich Umwelt-Mobilität.¹⁰⁸
- Das NFP 41 hat *Aufschluss über die Entwicklung einer bislang schlecht erforschten Umweltbelastung* des Verkehrs geliefert, nämlich zu den Partikelemissionen.¹⁰⁹
- Das NFP 41 hat das *Konzept Nachhaltigkeit für den Verkehrsbereich* konkretisiert: durch die Erarbeitung von Nachhaltigkeitskriterien, Indikatoren und (soweit möglich) Zielwerten; durch eine entsprechende Analyse der Planungs- und Prüfinstrumente des Bundes; durch die Formulierung strategischer Handlungsempfehlungen basierend auf umfassenden Lagebeurteilungen.¹¹⁰
- Diverse weitere Projekte des NFP 41 haben Lösungsansätze für die Umweltprobleme des Verkehrs in den verschiedenen Handlungsfeldern identifiziert und ausgearbeitet. Es ist weitgehend gelungen, Umweltfragen in allen Teilbereichen des Verkehrs verstärkt zu thematisieren, so z.B. im Güterverkehr und in den Arbeiten zur Swissmetro. Umweltaspekte wurden deshalb besser als in früheren Forschungsprogrammen als Querschnittsaufgabe wahrgenommen und berücksichtigt.

¹⁰⁶ Vgl. den Vorschlag des BUWAL für eine *Strategie Nachhaltige Entwicklung der Mobilität* (BUWAL 1998f).

¹⁰⁷ Die ersten drei Punkte widerspiegeln die Leitfragen des Umweltmoduls des NFP 41 (Modul C).

¹⁰⁸ Vgl. die Abschnitte 3.7 und 4.7 sowie die Berichte C1 und C2

¹⁰⁹ Vgl. Abschnitt 3.5 sowie den Bericht C4

¹¹⁰ Vgl. die Abschnitte 2.2, 2.3 und 6.2.3 sowie die Berichte C5, C6 und C7

6.2 Strategische Handlungsempfehlungen

6.2.1 Adressaten

Das Spektrum der Akteure im Spannungsfeld von Verkehr und Umwelt erstreckt sich vom Bund über die Kantone und Gemeinden bis hin zu den Unternehmen und der Bevölkerung. Die Resultate des NFP 41 sind durchaus für verschiedene politische Ebenen von Interesse. Die Formulierung differenzierter strategischer Empfehlungen für alle Akteure würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit aber weit übersteigen. Statt dessen konzentrieren wir uns im Folgenden auf Empfehlungen zu Handen der zuständigen Bundesstellen.

6.2.2 Gefordert sind Massnahmen in allen Bereichen

Die Analyse im Kapitel 3 hat aufgezeigt, dass der heutige Verkehr aus Umweltsicht alles andere als nachhaltig ist, und dass sich die Probleme nicht von alleine lösen werden. Besonders gravierend ist die Entwicklung der CO₂-Emissionen, doch auch in den Bereichen Energieverbrauch, Luftverschmutzung, Lärm, Bodenverbrauch sowie Schädigung von Natur und Landschaft ist der Handlungsbedarf beträchtlich. Auf der anderen Seite sind, wie in Kapitel 4 beschrieben, eine Vielzahl verschiedenartiger Handlungsansätze verfügbar, welche alleine keine umfassenden Lösungen darstellen, aber zu einer schritt- und bereichsweisen Erreichung der Umweltziele beitragen können.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich die folgenden Schlüsse:

- Eine erfolgreiche Strategie muss auf alle drei verkehrspolitischen Grundstrategien *Verbessern der Effizienz* – *Verlagern auf umweltfreundliche Verkehrsmittel* – *Vermeiden von Verkehr* zurückgreifen. Ein grundsätzlicher Verzicht auf nachfragedämpfende Massnahmen ist aus Umweltsicht nicht zu verantworten.
- Es müssen Massnahmen in allen möglichen Bereichen getroffen werden: Massnahmen zur Marktordnung und Preissetzung sind ebenso notwendig wie solche, welche auf Fahrzeugtechnik, betriebliche Abläufe etc. abzielen. Tabelle 5 gibt hierzu einige wichtige Beispiele. Für Details zu diesen Massnahmen verweisen wir auf die entsprechenden Schlussberichte und Teilsynthesen des NFP 41.

Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl geeigneter Massnahmen ist ihre Kostenwirksamkeit. Hier liegen mittlerweile gute methodische Grundlagen vor (vgl. Box 14).

Ansatzpunkte	Beispiele für Massnahmen und -pakete
Marktordnung, Finanzierung	<ul style="list-style-type: none"> • Preisstrategie Verkehr Schweiz schrittweise umsetzen, u.a.¹¹¹ <ul style="list-style-type: none"> – Personenverkehr Strasse: Umstellung auf kilometerabhängige Abgabe, welche zunächst die externen Umweltkosten deckt, später auch die Infrastrukturkosten (→ Road pricing). Umwandlung der Treibstoffabgaben in CO₂-Abgabe. Internalisierung der externen Unfallkosten über Haftpflichtprämien. – Güterverkehr Strasse: Ausdehnung der LSVA auf Lieferwagen und Infrastrukturkosten – Öffentlicher Strassenverkehr: z.B. Gleichbehandlung mit Bahn – Schienenverkehr: z.B. Einbezug der Umweltkosten in Trassenpreise – Aufhebung Zweckbindung Treibstoffzölle, statt dessen Ausgleichsfonds zur Finanzierung von Infrastrukturdefiziten und Umweltmassnahmen – Urbane Räume: Verkehrslenkung durch Parkplatz-Preispolitik • Bahnreform: Umsetzung und gezielte Weiterentwicklung¹¹²
Planung, Raumordnung	<ul style="list-style-type: none"> • Zweckmässigkeitsprüfung im Verkehr: Weiterentwicklung im Sinne einer Nachhaltigkeitsprüfung unter Abdeckung der Ziele der strategischen Umweltprüfung durch UVP erster Stufe; Anwendungsbereich verbindlich regeln.¹¹³ • Raumordnung verstärkt auf Verkehrsproblematik ausrichten¹¹⁴
Fahrzeugtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Luftschadstoffemissionen Strassenverkehr: EURO 3–5 ohne Verzögerung in Kraft setzen; Anreize für vorgezogene Einhaltung prüfen: z.B. Umrüstung bestehender LKW (Partikelfilter, DeNox-Katalysatoren) und alternative Treibstoffe im öffentlichen Strassenverkehr (Erdgas) • Anreize für Energiesparen bei der Bahn¹¹⁵ • Anreize für verbrauchsarme Fahrzeuge im Strassenverkehr
Betrieb, Abläufe	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrssystem-Management: Einführung fördern, Ausschöpfung der Umweltentlastungspotenziale durch flankierende Massnahmen sicherstellen¹¹⁶
Information, freiwillige Massnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Stossrichtungen Energie 2000 vorantreiben (z.B. Eco-Drive, Mobilitätsmanagement) • Car-Sharing und Mobilpakete fördern¹¹⁷

Tabelle 5: *Ausgewählte Massnahmenbeispiele für einen umweltverträglicheren Verkehr (Schwergewicht auf Resultaten NFP 41)*

¹¹¹ Vgl. Abschnitt 4.5.1, den Bericht D3 sowie die Teilsynthese Modul D

¹¹² Vgl. den Bericht D2 sowie die Teilsynthese Modul D

¹¹³ Vgl. Abschnitt 2.3 sowie den Bericht C6

¹¹⁴ Vgl. Abschnitt 4.6 sowie den Bericht C8

¹¹⁵ Vgl. Abschnitt 4.2.4 sowie die Berichte B5 (Maibach et al. 1998 und 2000)

¹¹⁶ Vgl. Abschnitt 4.2.3 sowie die Teilsynthese Modul E

¹¹⁷ Vgl. Abschnitt 4.3.3 sowie die Teilsynthese Modul A

Box 14: Kosten-Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr

Die Effizienz verschiedener Massnahmen ist ein wichtiges Kriterium bei der Festlegung von Handlungsstrategien und –prioritäten. In einer Forschungsarbeit im Auftrag des UVEK¹¹⁸ wurde die Kosten-Wirksamkeit ausgewählter Umweltschutzmassnahmen im Verkehr verglichen. Dabei galt es zunächst, eine geeignete Methodik bereitzustellen. Die Studie lieferte unter anderem die folgenden Befunde:

- Luftschadstoffe: Technische Massnahmen für die Einhaltung verschärfter Abgasgrenzwerte weisen eine relativ hohe Kosten-Wirksamkeit auf, insbesondere im Dieselpbereich (PW, LKW) und bei alternativen Treibstoffen im öffentlichen Strassenverkehr.
- Lärm: Schallschutzmassnahmen an der Quelle schneiden in der Regel besser ab als Lärmschutzwände und -fenster. Im Schienenverkehr ist das Lärmreduktionspotenzial deutlich grösser als auf der Strasse.
- CO₂: Die freiwilligen Massnahmen im Rahmen des Ressorts Treibstoffe von Energie 2000 weisen eine sehr hohe Kosten-Wirksamkeit auf; allerdings ist das Einsparpotenzial nicht sehr gross. Auch Treibstoffabgaben verfügen über ein gutes Verhältnis, zumal sie verschiedene weitere positive Umwelteffekte mit sich bringen (z.B. Luftschadstoffe; weniger Unfälle durch verringerte Verkehrsleistung).
- Die Monetarisierung der Umweltutzen zeigt, dass sowohl Tempo 30 in Wohnquartieren wie auch Treibstoffpreiserhöhungen Massnahmen sind, deren volkswirtschaftlich messbare Nutzen die Kosten deutlich übersteigen. Demgegenüber schneiden flächendeckende Temporeduktionen auf Autobahnen schlechter ab, da hohe Zeitkosten ins Gewicht fallen. Gezielte Tempolimits auf sensiblen Abschnitten können aber ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielen.

Die Forschungsarbeit zur Kosten-Wirksamkeit hat Verkehrsplanern und –politikern ein praxisnahes Instrument zur Bewertung verschiedener Massnahmen bereitgestellt. Die Studie zeigt aber auch auf, dass der Berechnung der Kosten-Wirksamkeit Grenzen gesetzt sind, weil die Wirkungen der Massnahmen oftmals sehr komplex sind (z.B. Fahrverbote, preisliche Massnahmen). Aus diesem Grund betonen die Forscher, dass die Kosten-Wirksamkeit nicht als alleiniges Entscheidungskriterium verwendet werden soll. Mindestens ebenso wichtig sind Kriterien wie Effektivität (Ausmass der erzielbaren Umweltverbesserung), Flexibilität und Nachhaltigkeit einer Massnahme (z.B. soziale Wirkungen).

Im Rahmen des Projektes D3 wurde basierend auf dieser Methodik eine Minimalkostenkombination zur Verwirklichung der Umweltziele des Bundes im Verkehr erstellt (Abschnitt 4.5.1).

6.2.3 Prozessorientierte Empfehlungen

Eine Liste empfehlenswerter verkehrspolitischer Massnahmen ergibt noch keine Strategie. Erforderlich sind auch prozessorientierte Entscheide, um die Umsetzung der richtigen Massnahmen sicherzustellen. Im Projekt C7 wurde eine solche, umfassende und langfristige Strategie für nachhaltigen Verkehr erarbeitet (vgl. Box 15). Ein wesentlicher Befund ist, dass die zur Zielerreichung notwendigen Veränderungen unseres Verkehrssystems noch immer mehrheitlich als unerwünschte Einschränkungen unserer Mobilität wahrgenommen werden und deshalb auf geringe Akzeptanz stossen.

Die Forscher bezeichnen daher die Moderierung eines gesellschaftlichen Zielfindungsprozesses durch die staatlichen Institutionen als zentralen Bestandteil einer Strategie „Nachhaltiger Verkehr“. Dabei geht es nicht primär um die Frage „Wieviel Verkehr?“ oder um die

¹¹⁸ INFRAS 1998

Akzeptanzschaffung für einzelne Massnahmen, sondern um die Entwicklung breit akzeptierter Visionen, wie unser Verkehrssystem längerfristig aussehen soll – bezüglich seiner Umweltbelastung ebenso wie bezüglich wirtschaftlicher, sozialer und kultureller Kriterien wie Kostendeckungsgrad oder verkehrliche Grundversorgung. Dieser gesellschaftliche Diskurs deckt sich gleichzeitig mit dem ersten von zehn strategischen Bausteinen, mit denen die C7-Forscher den Prozess hin zu einem nachhaltigen Verkehr erfolgreicher gestalten wollen:

1. **Gesellschaftlichen Diskurs über Nachhaltigkeit im Verkehr anregen:** Das Thema Nachhaltigkeit im Verkehr soll in der Öffentlichkeit vermehrt diskutiert werden und einen wichtigen Platz auf der politischen Agenda besetzen.
2. **Experimentierfelder schaffen:** Das gesellschaftliche Innovationspotenzial soll dank staatlicher Anreize besser genutzt werden. Ideen für technologische und infrastrukturelle, aber auch organisatorische und institutionelle Neuerungen sollen in Pilot- und Demonstrationsversuchen schnell und unbürokratisch auf ihre Praxistauglichkeit getestet werden können.
3. **Erfolgslebnisse ermöglichen:** Kollektive Vorurteile und überholte Denkmuster sind abzubauen. Eine möglichst grosse Zahl von Akteuren soll durch praktische Erfahrung erleben, dass Schritte in Richtung Nachhaltigkeit im Verkehr nicht zwangsläufig Beschränkungen in Mobilität und Komfort zur Folge haben, sondern im Gegenteil häufig mit vielfältigen individuellen Vorteilen verbunden sind.
4. **Forschung und Ausbildung für Nachhaltigkeit im Verkehr stärken:** Die grossen Wissensdefizite, vor allem bezüglich sozialer und ökonomischer Aspekte eines nachhaltigen Verkehrs, sind abzubauen. Insbesondere gilt es, transdisziplinäre Ansätze stärker zu gewichten sowie die Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Forschung besser einzubeziehen.
5. **Konsensfindung über Nachhaltigkeit im Verkehr erleichtern:** Staatliche Verkehrspolitik kann günstige Rahmenbedingungen für eine sachdienliche gesellschaftliche Entscheidungsfindung schaffen, ohne damit den Meinungsbildungsprozess ungebührlich zu beeinflussen.
6. **Bewährte Massnahmen weiterführen:** Die Vielzahl bewährter Massnahmen für die nachhaltigere Gestaltung des Verkehrssystems sind weiterzuführen.
7. **Neue, wenig bestrittene Massnahmen einführen:** Neue wirksame Massnahmen, welche bereits auf breite Akzeptanz stossen, sind unverzüglich einzuführen.
8. **Internationale Zusammenarbeit fördern:** Offensichtlich kann ein Grossteil der negativen ökologischen Auswirkungen des Verkehrs nur mittels internationaler Kooperation erfolgversprechend angegangen werden. Daneben sprechen auch wirtschaftliche Gründe für eine multinationale Nachhaltigkeitsstrategie. Die Schweiz soll im Rahmen ihrer Möglichkeiten eine Schrittmacherrolle einnehmen und die Praxistauglichkeit einzelner Instrumente und Massnahmen demonstrieren.

9. **Schlüsselmassnahmen einführen:** Sobald sich ausreichender Konsens bezüglich der gesellschaftlichen Vision eines nachhaltigen Verkehrs und bezüglich des besten Weges dorthin abzeichnet, können Schlüsselmassnahmen konkretisiert und eingeführt werden (vgl. den Vorschlag für mögliche Schlüsselmassnahmen in Box 15).
10. **Kontinuierliche Evaluation der getroffenen Massnahmen:** Die Wirkungen und Nebenwirkungen der verschiedenen Massnahmen sind komplex und nur beschränkt vorhersagbar. Neben der vorausschauenden Wirkungsanalyse braucht es daher auch eine rückblickende Evaluation getroffener Massnahmen.

Diese zehn Bausteine sind für die mit Verkehrspolitik befassten Stellen des Bundes, der Kantone und der Gemeinden gleichermaßen von Interesse. Besonders zu würdigen ist der oben erwähnte Vorschlag einer Phase verstärkter verkehrspolitischer Zieldiskussionen. Zwar haben sich solche Zieldiskussionen in der Vergangenheit als schwierig erwiesen.¹¹⁹ Sie könnten aber sicher zur Überwindung der Blockaden beitragen, welche heute namentlich die Strassenpersonenverkehrs- und Luftverkehrspolitik prägen. Adressaten wären dabei nicht nur Politiker und Behörden, sondern vor allem auch die Interessenverbände und die Stimmbürger und Stimmbürgerinnen. Nur mit dem breiten Konsens, auf den diese Diskussion abzielt, ist die erforderliche, schrittweise Realisierung von in sich konsistenten Massnahmenpaketen für nachhaltigen Verkehr in nützlicher Frist denkbar. Die Ablehnung der Energievorlagen in der Abstimmung vom September 2000 bestätigen diesen Befund.

Box 15: Projekt C7: Strategie nachhaltiger Verkehr

Das Projekt C7 setzte sich zum Ziel, eine kohärente Strategie zur Verwirklichung von Nachhaltigkeit im Verkehr bis 2030/40 vorzulegen. Ausgangspunkt war die Bewertung des Handlungsbedarfs anhand der im Projekt C5 entwickelten Kriterien und Indikatoren, wobei letztere teilweise angepasst oder ergänzt wurden (vgl. Abschnitt 2.2). Grosser Handlungsbedarf wurde vor allem für ökologische, aber auch für einige wirtschaftliche Indikatoren ermittelt:

- zu hohe Treibhausgasemissionen und Verbrauch fossiler Energieträger
- zu hohe Luftbelastung
- zu hohe Belastung mit Verkehrslärm
- zu geringer Anteil erneuerbarer Energieträger
- zu geringer betriebswirtschaftlicher Kostendeckungsgrad im öffentlichen Verkehr
- zu hohe externe Kosten des Strassenpersonenverkehrs

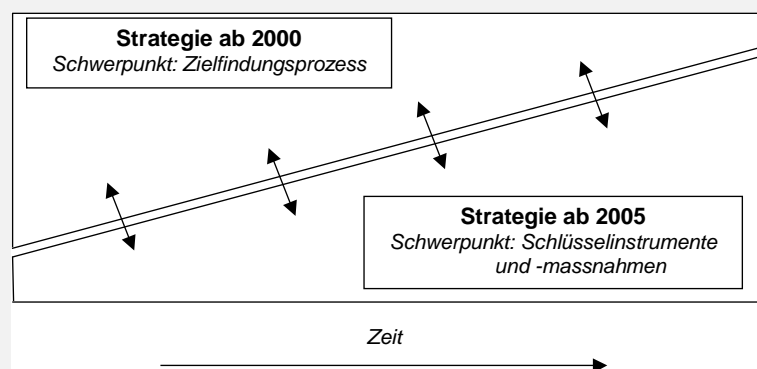
Die Forscher kommen zum Schluss, dass das gesellschaftliche Leitbild "mehr Verkehr = mehr Wohlstand = mehr Lebensqualität" nach wie vor handlungsleitend ist. Entsprechend erachten sie es als Aufgabe des Staates, das ganze Spektrum grundsätzlich möglicher Vorstellungen von der Zukunft (Visionen) sowie die Skizzierung des Weges zu den einzelnen Zukunftsentwürfen (Szenarien) in die Diskussion einzubringen.

In Form eines „European Awareness and Scenario Workshop“ (EASW) wurde eine Art Testlauf zur Prüfung der Akzeptanz sehr verschiedener Visionen eines nachhaltigen Verkehrs durchgeführt. Dabei diskutierten Vertreterinnen und Vertretern der verschiedensten gesellschaftlichen Gruppierungen intensiv die Vor- und Nachteile von vier vorgelegten Visionen und Szenarien, wobei der Ansatz

¹¹⁹ Vgl. z.B. BFE 1998, *Energiedialog Verkehr – Strategiepapier für das energiepolitische Programm nach 2000*, p.5

"Entschleunigung", welcher für die städtischen Regionen auf ein Niedriggeschwindigkeitsszenario setzt, am meisten Anklang fand. "High-Tech" sollte demnach am ehesten zur Verbindung städtischer Verdichtungen sowie im Güterverkehr angestrebt werden.

Laut den Forschern ist die Klärung der Zielfrage die vordringlichste Aufgabe einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Verkehrspolitik: Welche Form von nachhaltigem Verkehr ist grundsätzlich anzustreben? Erst nach Vorliegen breit diskutierter und akzeptierter Visionen eines zukünftigen Verkehrs mache es Sinn, weitere Entscheide über die zu wählenden verkehrspolitischen Massnahmen zu fällen. Deshalb schlagen sie die Unterteilung einer Gesamtstrategie in zwei Schritte vor. Bei der "Strategie ab 2000" steht der Zielfindungsprozess im Vordergrund. In der darauf aufbauenden "Strategie ab 2005" werden Schlüsselinstrumente und -massnahmen für einen nachhaltigen Verkehr in einem strategischen Rahmen zusammengefasst und schrittweise umgesetzt (vgl. Figur 17):



Figur 17: Zwei Schritte – eine Strategie. Das Gewicht der Strategie ab 2000 ist anfangs gross, um dann im Zeitverlauf zu Gunsten der Strategie ab 2005 abzunehmen.
Quelle: IKAÖ & EBP 2000

Die C7-Strategie setzt sich aus 10 prozessorientierten Bausteinen zusammen (vgl. Haupttext). Einer der wichtigsten ist der neunte Baustein, die Umsetzung ausgewählter Schlüsselmassnahmen. Die Forscher formulieren Vorschläge für solche Schlüsselmassnahmen, welche auf Verbesserungen in den Nachhaltigkeitsindikatoren mit dem grössten Handlungsbedarf abzielen. Es sind dies:

- eine CO₂-Abgabe im Verkehr
- eine zeitlich begrenzte Subventionierung erneuerbarer Energieträger
- Vorschriften zur Ausrüstung von Dieselfahrzeugen mit Partikelfiltern
- eine leistungs- und lärmemissionsabhängige Abgabe auf Motorfahrzeuge
- die fiskalische Gleichbehandlung von öffentlichem und Individualverkehr
- die Umsetzung der Preisstrategie Schweiz
- restriktive Vorgaben für eine haushälterische Bodennutzung

Die im Projekt C7 entwickelte Strategie hebt sich in zweierlei Hinsicht klar von neueren Verkehrsstrategien in der Schweiz und in Europa ab:¹²⁰ Die Betonung des Handlungsbedarfs bei der gesellschaftlichen Akzeptanz und der Zieldiskussion ist neu und sehr bedenkenswert. Daneben erlaubte der langfristige Horizont auch die ernsthafte Diskussion innovativer Ansätze wie die z.B. der örtlich und zeitlich differenzierten Lärmabgabe auf Motorfahrzeuge.

¹²⁰ Vgl. namentlich die Departementsstrategie UVEK (1999) sowie z.B. das Weissbuch der Kommission zur Preissetzung im Verkehr (European Commission 1998) und jüngste Empfehlungen der Konferenz europäischer Verkehrsminister (ECMT 2000), aber auch das OECD-Projekt „Environmentally Sustainable Transport“ (Box 4 im Abschnitt 3.2).

6.2.4 Schlüsselprobleme und Schlüsselfragen

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene, intensiviert Zieldiskussion darf nicht dazu führen, dass brennende Fragen mit kurzfristigem Handlungsbedarf auf die lange Bank geschoben werden. Die Verkehrspolitik muss sich jetzt den Schlüsselproblemen und -fragen stellen und entsprechende Schlüsselmaßnahmen umsetzen oder zumindest aufgleisen.

Schlüsselprobleme sind:

- die **CO₂-Emissionen des Verkehrs**. Im Hinblick auf die längerfristig erforderliche, massive Reduktion der CO₂-Emissionen (60–80% gegenüber 1990) gilt es, in den kommenden Jahren den Wachstumstrend zu brechen und eine Trendwende einzuleiten. Quantitative Ziele ergeben sich aus den Anforderungen des CO₂-Gesetz und des Kyoto-Protokolls, zu deren Erfüllung der Verkehr seinen Beitrag leisten muss.
- die **Gefährdung der menschlichen Gesundheit** durch die anhaltende Überschreitung kritischer Umweltziele. Gegenwärtig sterben in der Schweiz mehrere hundert Personen pro Jahr vorzeitig aufgrund verkehrsbedingter Schadstoffimmissionen. Die übermässige Belastung eines Drittels der Bevölkerung mit Verkehrslärm verursacht nicht nur Gesundheitskosten, sondern nach neusten Erkenntnissen sogar vorzeitige Todesfälle (Herzinfarkte, vgl. Abschnitte 3.5 und 3.6).

Schlüsselfragen sind in diesem Zusammenhang:¹²¹

- Kritische Umweltziele ernst nehmen oder hinausschieben?
- Wachstum dämpfen oder Kapazitäten ausbauen?

Aus der Sicht der Forschung ist die Stossrichtung der Antworten auf diese Fragen klar. Die kritischen Umweltziele sind, dies zeigt schon die obige Einschätzung der Schlüsselprobleme, sehr ernst zu nehmen. Der ungebrochene und vielerorts gerne gesehene Trend zu mehr Verkehr läuft diesen Zielen klar zuwider. Bei Kapazitätsausbauten ist in Zukunft noch mehr als bisher zwischen allen betroffenen Interessen abzuwägen, wobei, wie das UVEK verlangt, diese Abwägung nicht systematisch auf Kosten desselben Faktors (Umwelt) gehen darf. Die verkehrsinduzierende Wirkung neuer Infrastrukturen, bzw. deren Umweltwirkung, ist mit flankierenden Massnahmen mindestens zu kompensieren.

Dieses Problembewusstsein ist aber heute in Politik und Öffentlichkeit noch zu wenig verbreitet. Deshalb gilt es, wie in Abschnitt 6.2.3 beschrieben Aufklärungsarbeit zu leisten und die Debatte über die verkehrs- und umweltpolitischen Ziele neu zu lancieren. Nachstehend skizzieren wir Schlüssel- und Begleitmassnahmen, mit denen die zwei Verkehrsprobleme „CO₂-Emissionen“ und „Gesundheitsgefährdung“ ohne Verzug angegangen werden können. Bezüglich der Akzeptanz verkehrspolitischer Massnahmen, mit der sich das NFP 41 ebenfalls befasst hat, verweisen wir auf die Modulsynthese D sowie die Gesamtsynthese.

¹²¹ In Anlehnung an ein Referat von Felix Walter, ECOPLAN / Programmleitung NFP 41, Januar 2000

6.2.5 CO₂-Emissionen des Verkehrs: Schnittstelle zur Energiepolitik

Landverkehr

Massgebend für die CO₂-Emissionen des Landverkehrs ist vorerst das Treibstoffziel gemäss CO₂-Gesetz, welches eine Reduktion der Emissionen auf 92% des Niveaus von 1990 bis zum Jahr 2010 verlangt. Die aktuellen Perspektivarbeiten des Bundesamtes für Energie zeigen, dass dieses Ziel ohne zusätzliche Massnahmen klar verfehlt werden wird.

Das CO₂-Gesetz gibt dem Bundesrat die Möglichkeit, ab 2004 eine CO₂-Abgabe auf fossile Brenn- und/ oder Treibstoffe mit einem Maximalsatz von 210 Fr./t CO₂¹²² einzuführen, wenn absehbar ist, dass die Emissionsziele sonst nicht erreicht werden. Grundsätzlich ist die gesetzliche Basis für eine wirksame Bekämpfung der CO₂-Emissionen also bereits vorhanden. Der Haken liegt in der Tatsache, dass das letzte Wort über die Höhe des Abgabesatzes beim Parlament liegt. Dessen Wille, einen möglicherweise unpopulären Entscheid zugunsten des Klimaschutzes zu fällen, ist derzeit sehr ungewiss.

Öffentlichkeit, Parlament und Interessenverbände müssen deshalb in den nächsten Jahren von der Notwendigkeit wirksamer Klimaschutzmassnahmen im Verkehr überzeugt werden – sowie von der Tatsache, dass die CO₂-Abgabe das Rückgrat solcher Massnahmen darstellt. Im Weiteren wird auch die Opfersymmetrie zwischen dem Strassengüterverkehr, welcher bereits durch die LSVA belastet wird, und dem bislang „ungeschorenen“ motorisierten Individualverkehr zu beachten sein.

Eine „CO₂-Strategie Landverkehr“ darf sich aber nicht auf die Einführung der CO₂-Abgabe beschränken. Vielmehr ist mit flankierenden Massnahmen sicherzustellen, dass die Abgabe ihre Wirkung möglichst schnell und stark entfalten kann. Dazu wurden wichtige Vorarbeiten bereits geleistet:

- Die Verordnung zum Schweizer Energiegesetz und die Vereinbarungen der EU-Kommission mit der Automobilindustrie schaffen einen Rahmen für die Absenkung des Treibstoffverbrauchs bei Neuwagen (vgl. Box 16).
- Ein fundierter Bericht zuhanden der Konferenz kantonaler Energiedirektoren empfiehlt die Einführung eines kostenneutralen Bonus-Malus-Systems zur Förderung treibstoffeffizienter Personenwagen. Dabei würden besonders effiziente Wagen beim Erstverkauf durch einen einmaligen Bonus verbilligt und ineffiziente Wagen durch einen Malus entsprechend verteuert. Verbrauch und CO₂-Emissionen der neu in Verkehr gebrachten Fahrzeuge könnten so um jährlich über 1% gesenkt werden.¹²³

¹²² Entspricht ca. 0.5 Fr./Liter Benzin oder 5.2 Rp./kWh. Zum Vergleich: Der Maximalsatz der Lenkungsabgabe gemäss Grundnorm betrug 2 Rp./kWh.

¹²³ Vgl. BFE 1999b p.Z-5. Derselbe Bericht empfiehlt, aus Effizienzgründen (Datenmangel, Vollzugsaufwand) von einer verbrauchsabhängigen Differenzierung der Motorfahrzeugsteuern abzusehen und statt dessen eine Besteuerung nach Gesamtgewicht einzuführen. Die Wirkung bezüglich CO₂-Emissionen ist in beiden Modellen sehr gering. Ergänzend könnten die Motorfahrzeugsteuern aus lufthygienischen Gründen nach den EURO-Grenzwerten differenziert werden.

- Das BFE hat im Rahmen der Arbeiten für ein Nachfolgeprogramm zu Energie 2000 strategische Stossrichtungen für die weitere Absenkung des Treibstoffverbrauchs erarbeitet.¹²⁴ Im Vordergrund stehen – neben der Weiterführung erfolgreicher Massnahmen wie z.B. Eco-Drive und Verbrauchsinformationen – das Ausschöpfen technischer Sparpotenziale, Mobilitätsmanagement im Personenverkehr, Logistiko Optimierung im Güterverkehr, und eine entsprechende Ausrichtung der Rahmenbedingungen (z.B. Bahnreform, LSV). Ergänzend werden weitergehende Massnahmen wie Steuern, Fördermodelle oder Zulassungsvorschriften angesprochen.

Auf diesen Vorarbeiten gilt es aufzubauen. Für das Nachfolgeprogramm zu Energie 2000 sind ausreichende Mittel sicherzustellen, da eine Anstossfinanzierung von Aktivitäten durch die öffentliche Hand weiterhin in vielen Fällen notwendig sein wird.

Box 16: Treibstoffeffizienz im Strassenverkehr: freiwillige Vereinbarungen reichen nicht

Regelungen für freiwillige Umweltschutzmassnahmen geniessen in der Wirtschaft relativ hohe Akzeptanz. Auch das UVEK gibt in seiner Departementsstrategie freiwilligen Massnahmen Priorität, vor marktwirtschaftlichen Massnahmen und Geboten / Verboten. Die Regelung in der Schweizer Energieverordnung, wonach der spezifische Verbrauch neu in Verkehr gesetzter Fahrzeuge im Zeitraum 1996–2001 um 15% gesenkt werden soll, zielt auf solche freiwillige Massnahmen durch die Automobilbranche ab.¹²⁵

Die EU hat 1996 einen Zielwert für die CO₂-Emissionen von neuen Personenwagen von 120 g CO₂/km beschlossen, der bis 2012 zu erreichen ist. Als Massnahmen werden neben Vereinbarungen mit Herstellern auch fiskalische Massnahmen und Konsumenteninformationssysteme genannt. Bislang setzt die Kommission aber primär auf die Karte Freiwilligkeit. Sie hat mit verschiedenen Automobilherstellern vereinbart, dass die spezifischen Emissionen bei Neuwagen bis 2008 auf 140 g CO₂/km gesenkt werden sollen.

Die Regelungen in der Schweiz und der EU sind aus verschiedenen Gründen kritisch zu hinterfragen:

- In der Schweiz wird die mit der Energieverordnung angestrebte Reduktion des spezifischen Verbrauchs um 15% bis 2001 voraussichtlich klar verfehlt werden. In den Jahren 1996, 1997 und 1998 wurden Abnahmen um lediglich 1%, 1.8% und 1% verzeichnet (in den Jahren 1989–1995 blieb der Verbrauch praktisch konstant).¹²⁶
- Kompetente Kritiker bezweifeln, dass die Automobilhersteller das mit der EU vereinbarte Ziel erreichen werden, wenn nicht umgehend zusätzliche, härtere Massnahmen getroffen werden. Der Grund liegt darin, dass effizientere Antriebe allein höchstens 50% der notwendigen Reduktionen gewährleisten können. Der Rest müsste durch einen Wechsel hin zu leichteren Fahrzeugen mit weniger Roll- und Luftwiderstand erzielt werden. Für die Automobilbranche sind aber leistungsstarke, grosse und luxuriöse Fahrzeuge bedeutend lukrativer.¹²⁷
- Die Schweiz verfügt über eine Flotte mit überdurchschnittlich hohem Treibstoffverbrauch. Um den EU-Zielwert von 140 g/km für Neuwagen rechtzeitig zu erreichen, wäre eine Absenkung um jährlich 3.7% im Zeitraum 1998–2008 notwendig. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen scheint dies nicht realistisch.¹²⁸

¹²⁴ Vgl. BFE 1998

¹²⁵ Diese Regelung wurde aus der mittlerweile aufgehobenen Verordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoffverbrauchs (VAT) übernommen.

¹²⁶ Quelle: BFE 2000b, p.14

¹²⁷ Vgl. Kageson 2000

¹²⁸ Zahlenquelle: BFE 2000b, p.15

- Schliesslich führt die Absenkung des Treibstoffverbrauchs auch zu tieferen variablen Fahrkosten und damit zu einer Erhöhung der Fahrleistung. Laut Schätzungen ist eine Erhöhung der Treibstoffpreise im Umfang von 20–30% der erzielten Verbrauchseinsparung notwendig, um diesen *Rebound*-Effekt zu kompensieren.¹²⁹

Zusammengenommen sind die genannten freiwilligen Vereinbarungen sicher nützlich, weil sie der Autoindustrie Innovationsanreize vermitteln. Die gewünschte Wirkung können sie aber nur in Verbindung mit weitergehenden Anreizen für die Konsumenten entfalten, insbesondere einem Bonus-Malus-System sowie einem Label für sparsame Fahrzeuge. Eine CO₂-Steuer bleibt weiterhin notwendig, um die erwähnten Rebound-Effekte zu kompensieren und die Fahrleistungen der bestehenden Flotte zu dämpfen.

Luftverkehr

Auch der Luftverkehr ist für wesentliche Treibhausgasemissionen verantwortlich, welche zudem rasant wachsen. Die Studie M25 des NFP 41 hat gezeigt, dass die weltweiten Flugreisen der Schweizer Bevölkerung heute CO₂-Emissionen von knapp 1 t pro Kopf und Jahr verursachen. Dies entspricht etwa einem Sechstel der gesamten CO₂-Emissionen in der Schweiz. Berücksichtigt man die mehrfache Klimawirkung des Luftverkehrs aufgrund seiner Stickoxid-, Wasser- und Partikelemissionen, so resultiert bereits heute ein Anteil des Luftverkehrs an den gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen von mindestens 22% (Inländerprinzip, vgl. Abschnitt 3.4). Aufgrund des rasanten Wachstums wird der Luftverkehr in Zukunft für bis zu 30% der CO₂-Emissionen der Schweiz verantwortlich sein – zuzüglich der Treibhauswirkung seiner übrigen Emissionen.

Die Besteuerung der Flugtreibstoffe, für deren Einführung sich der Bund international einsetzt, könnte helfen, die alarmierende Entwicklung im Bereich Luftverkehr und Klima zu dämpfen. Eine Stabilisierung oder gar Trendwende ist mit realistischen Steuersätzen nicht zu erzielen, weil die technischen Treibstoffsparpotenziale zu gering sind. Damit ist der Luftverkehr ein ausgesprochener Kandidat für Emissionshandel oder Kompensationslösungen (Joint Implementation). Über solche neuartigen, marktbasieren Mechanismen könnte auch der Luftverkehr seinen Beitrag zum Klimaschutz leisten, ohne dass das Gebot der Kosteneffizienz verletzt würde.

Nationale Alleingänge sind im Luftverkehrsbereich wenig aussichtsreich. Der Bund kann sich aber international für solche Regelungen einsetzen. Erforderlich sind insbesondere:

- eine verstärkte Zusammenarbeit mit der EU bezüglich Treibstoffbesteuerung und Umweltabgaben im Luftverkehr mit dem Ziel, Anreize für die Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen (auch bezüglich Luftschadstoffen und Lärm) zu setzen und externe Kosten zu internalisieren;
- der schnelle Einbezug des Luftverkehrs in die Klimaschutzziele des Kyoto-Protokolls und die entsprechenden nationalen Gesetze (in der Schweiz: CO₂-Gesetz);

¹²⁹ Kageson 2000

- als Grundlage hierfür, die Klärung der Zuordnung der Luftverkehrsemissionen zu den verschiedenen Staaten;
- vertiefende Forschung zu den komplexen Klimawirkungen des Luftverkehrs.

Der Einbezug des Luftverkehrs wird die Frage neu aufwerfen, wie die nationalen Emissionsziele für Treibhausgase auf die verschiedenen emittierenden Sektoren und Verkehrsträger zu verteilen sind. Instrumente für den Handel mit Emissionsrechten können helfen, den dabei auftretenden Konflikt zwischen den Kriterien *Opfersymmetrie* und *volkswirtschaftliche Effizienz* zu entschärfen. In jedem Fall sollte das Herunterbrechen der nationalen Ziele auf die Emittentengruppen in Zukunft bedeutend transparenter erfolgen, als dies in der Vergangenheit (z.B. im Rahmen des CO₂-Gesetzes) geschehen ist. Auch hier kann die Forschung Beiträge leisten, z.B. bezüglich CO₂-Vermeidungskosten in den verschiedenen Sektoren.

6.2.6 Schlüsselmaßnahmen für den Schutz der menschlichen Gesundheit

Das Ziel des Umweltschutzgesetzes, der umfassende Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor schädlichen und lästigen Einwirkungen, ist bald 20 Jahre nach seiner Einführung nur teilweise erfüllt. Der Verkehr trägt hierfür einen grossen Teil der Verantwortung. Zu nennen sind insbesondere:

- die übermässige Belastung grosser Teile der Bevölkerung mit Strassen- oder Fluglärm, die seit den 80er Jahren nicht wesentlich abgenommen hat;
- die nach wie vor zu hohen Luftschadstoff- und vor allem Partikelemissionen, welche für viele Krankheitsfälle und vorzeitige Todesfälle verantwortlich sind (wobei die Umsetzung der verschärften Grenzwerte EURO 3–5 im nächsten Jahrzehnt eine spürbare Entlastung verspricht);
- die rund 600 tödlichen Unfälle, welche der Strassenverkehr jährlich verursacht (bei rückläufiger Tendenz).

Unter den vielen Massnahmen, welche zur Entschärfung dieser Probleme geeignet sind, möchten wir die folgenden besonders hervorheben:

- **Technischen Spielraum ausschöpfen:** Im Luftschadstoffbereich gilt es, die Umsetzung der verschärften Grenzwerte (EURO 3–5) voranzutreiben und Anreize für eine vorzeitige Einhaltung zu prüfen (z.B. Partikelfilter für Dieselfahrzeuge, auch der Bahn). Zudem muss die weitere Verschärfung der Grenzwerte für Schadstoffemissionen und Treibstoffzusammensetzung (Benzol und Schwefelgehalt) ein Thema bleiben. Weshalb liegen z.B. die EURO 4-Grenzwerte für Personenwagen (NO_x, Partikel) bedeutend höher als die Grenzwerte in den USA für den gleichen Zeitraum? Offensichtlich ist hier Spielraum für weitere technische Verbesserungen vorhanden.¹³⁰

¹³⁰ Siehe Figur 11 im Abschnitt 3.5 für einen Vergleich der Emissionsgrenzwerte.

- **Langsamverkehr fördern:** Die substanzielle Förderung des Fussgänger- und Veloverkehrs in einem nationalen Aktionsprogramm ist ernsthaft zu prüfen. Ein solches Programm kann in den Bereichen Lufthygiene, Lärm und Unfälle gleichzeitig Nutzen bringen, z.B. über die Förderung von Tempo 30-Zonen. Zudem verspricht es erhebliche Synergien mit dem bereits laufenden Aktionsplan Umwelt und Gesundheit des BAG.¹³¹
- **Siedlungen verdichten:** Die Verdichtung der grossen und mittleren Zentren und ihrer Agglomerationen ist zwingend notwendig, um längerfristig Wege zu verkürzen und die forcierte Erschliessung mit öffentlichem Verkehr zu erleichtern. Davon würde nicht nur die Umwelt profitieren, auch die Infrastrukturkosten (Verkehr, Wasser- und Stromversorgung, Abwasser) würden reduziert. Die verstärkte Anwendung des Verursacherprinzips bei der Zuordnung von Erschliessungskosten kann einen marktwirtschaftlichen Anreiz gegen die weitere Zersiedlung schaffen. Zudem ist der öffentliche Agglomerationsverkehr und die Vernetzung der Zentren mit der Bahn massiv zu stärken. Auch die Verteilung von Fördermitteln für den öffentlichen Verkehr zwischen Agglomerationen und ländlichem Raum ist mit Blick auf ihre Raumordnungseffekte zu überdenken.¹³²
- **Nachhaltiger planen:** Die Planung und Beurteilung von Projekten und Strategien ist unbedingt zu verbessern, um eine nachhaltige – und vor allem auch umweltgerechte – Entwicklung des Verkehrssystems zu gewährleisten. Die im NFP 41 formulierten Vorschläge zur Weiterentwicklung der Instrumente *Legislaturplanung, Konzept und Sachplan, Zweckmässigkeitsprüfung* und *Umweltverträglichkeitsprüfung* dürfen nicht (wieder) schubladisiert, sondern müssen aufgenommen und verfeinert werden. Erste bedeutende Anwendungsmöglichkeiten bieten die in Vorbereitung befindlichen Sachpläne für Schiene und Strasse.¹³³

6.2.7 Wo bleibt die Nachhaltigkeit?

Die Ausrichtung des vorliegenden Syntheseberichts auf die Umweltaspekte des Verkehrs und die Bezeichnung der zwei Schlüsselprobleme (CO₂-Emissionen und Gesundheit) könnten den Eindruck erwecken, dass im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung nun wieder die Umweltanliegen im Vordergrund stehen. Dies auf Kosten der Wirtschaft und der Gesellschaft.

Die Analyse kürzlicher Entscheide, z.B. zum Flughafen Zürich, zur Energie- und Förderabgabe oder zu den Lärmgrenzwerten für Flughäfen zeigt aber, dass wirtschaftliche Kriterien heute in der Politik häufig die Oberhand haben. Auch die gesellschaftlichen Anliegen wie z.B. die Grundversorgung mit dem öffentlichen Verkehr werden heute stark gewichtet.

¹³¹ Vgl. Abschnitt 4.3.4 sowie den Bericht A9

¹³² Vgl. Abschnitt 4.6 sowie den Bericht C8

¹³³ Vgl. Abschnitt 2.3 sowie den Bericht C6

Dies heisst nicht, dass in den Bereichen Wirtschaft und Gesellschaft kein Handlungsbedarf ansteht. So sind im Bereich der Effizienzsteigerung noch zahlreiche Verbesserungen zur Stärkung der Wirtschaftlichkeit notwendig, z.B. beim Bahngüterverkehr. Bezüglich der gesellschaftliche-sozialen Verkehrsaspekte bestehen z.B. erhebliche Mängel bei der Berücksichtigung von Kindern und älteren Personen oder bei der noch immer hohen Zahl an Verkehrsunfällen.

Bei den Umweltanliegen dürften die Ziele der Nachhaltigkeit aber am deutlichsten verfehlt werden. Hier ist der Handlungsbedarf am grössten, und deshalb orten wir hier die Schlüsselprobleme des Verkehrs in unserem Land. Die nachhaltige Entwicklung des Schweizer Verkehrs sehen wir, wie im Abschnitt 2.1 angesprochen, als Bestandteil einer umfassenderen, weltweiten nachhaltigen Entwicklung.

Es bleibt also viel zu tun, national und global. Wir hoffen, dass diese Teilsynthese auf nationaler Ebene einen Beitrag zur Umsetzung der Vision einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung liefert. Denn **Visionen brauchen Fahrpläne**, wie dies bereits Ernst Bloch festgehalten hat.

7 Literaturverzeichnis

7.1 Verzeichnis der NFP 41-Publikationen

Nr.	Titel / titre / title	Untertitel	Da- tum	AutorIn / auteur / author	EDMZ-Nr. / N° OCFIM	Preis / prix / price
A1	Mobilitätsmanagement als neue verkehrspolitische Strategie	Konzepte - Stand in Europa - Pilotversuche und Perspektiven in der Schweiz - Schweizer Bericht zum europäischen Forschungsprojekt MOMENTUM - Mobility Management for the Urban Environment	2000	de Tommasi Roberto, Flamm Michael, Wagner Conrad, Kipouros Antonios, Güller Peter	801.632.d	25.90
A2	Autofreie Haushalte	Ihre Mobilität und die Folgen für Verkehrsplanung und Verkehrspolitik	1999	Müller & Romann IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG Landert, Farago, Davatz und Partner	801.619.d	28.20
A3	Neue, integrierte Mobilitätsdienstleistungen		1999	Schad Helmut, Flamm Michael, Wagner Conrad, Frey Thomas et al.	801.617.d	32.40
A4	Entre rupture et activités: vivre les lieux du transport		2000	Vincent Kaufmann, Christophe Jemelin, Dominique Joye	801.635.f	29.25
A5	Die Chancen sozio-kultureller Innovation für Neuansätze im Freizeitverkehr		1999	Institut cultur prospectiv	801.631.d	23.30
A6	Carpooling: Massnahmen zur Erhöhung des Besetzungsgrades von Fahrzeugen	Bericht zur Schweizer Beteiligung am EU-Forschungsprojekt „Increase of Car Occupancy (ICARO)“	2000	Data Science AG	801.633.d	16.10
A7	Neue Kommunikationsmedien: Einsatz in Unternehmen und Auswirkungen auf den Verkehr		2000	Rangosch Simone	801.656.d	17.90
A8	Nouvelles formes de communication et de coopération des entreprises: conséquences pour les transports		2000	Buser Martine, Rossel Pierre, Bosset Frédéric	801.657.f	18.60

A9	Die Zukunft gehört dem Fussgänger- und Veloverkehr - L'avenir appartient aux déplacements à pied et à vélo	Stand des Wissens - Massnahmen - Potentiale - Schritte zu einer verkehrspolitischen Neuausrichtung / Etat des connaissances, mesures et potentiels - Vers une réorientation des politiques de transport	1999	Netzwerk Langsamverkehr (Hg.) / Réseau piétons-vélos (Ed.)	801.610.d	35.00
A10	Daten für die Zukunft	Anforderungen an die Erneuerung der schweizerischen Verkehrsstatistik	1999	Kooijman Gustaaf, Meyer-Rühle Olaf, Hitz Peter, Schad Helmut, Rommerskirchen Stefan	801.623.d	27.95
A11	Indicateurs d'accès pour une mobilité durable		2000	Martinelli Alberto, Pini Guiseppe, Torricelli Gian Paolo, Gérard Widmer	801.679.f	22.30
B1	Verladerverhalten		2000	Kaspar Claude, Laesser Christian, Meister Jürg	801.655.d	18.60
B2	Standort- und Transportkonzepte für den kombinierten Ladungsverkehr	Verlagerungspotentiale und Umsetzungsstrategie für den Import-/Export- und Binnenverkehr	2000	Ruesch Martin, Paras Milan, Kettner Simon	801.681.d	≈33.-
B3	Unternehmensstrategien und Güterverkehr	Wirkungen und Zusammenhänge - gezeigt am Beispiel der Region Zug	1999	Thierstein Alain, Schnell Klaus-Dieter, Schwegler Urs	801.616.d	16.10
B4	Multimodale Potenziale im transalpinen Güterverkehr		1999	Maggi Rico, Bolis Simona, Maibach Markus, Rossera Fabio, Rudel Roman, Schreyer Christoph	801.640.d	8.30
B5	Zukunftsgüterbahn	Vorstudie	1998	Maibach Markus, Schreyer Christoph, Lebküchner Matthias, Mauch Samue	801.602.d	19.70
B5+	Zukunftsgüterbahn	Synthesebericht	2000	Lebküchner Matthias, Schreyer Christoph, Maibach Markus	801.684.d	≈29.-
B6	Einbindung der Schweiz in die Transeuropäischen Verkehrsnetze: Personenverkehr		1999	Metron AG/EURES	801.639.d	23.30
B7	Europäischer Güterverkehr - Einbindung der Schweiz		1999	Wagner Stefano, Güller Peter, Pillet Gonzague	801.627.d	20.40
B8	European Sea Transport and Intermodalism	Consequences for Switzerland	1999	Roman Rudel, John Taylor	801.625.e	19.70
B9	Plates-formes logistiques multimodales et multiservices		2000	Poschet Lena, Rumley Pierre-Alain, De Tilière Guillaume	801.682.f	21.60
C1	Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz	Monetarisierungs- und Beurteilungsmodell für Schutzmassnahmen im Verkehr	1999	Infraconsult AG	801.614.d	28.30

C2	MODUM: Modell Umwelt - Mobilität	Ein systemdynamischer Ansatz für die Schweiz	2000	Keller Mario, Mauch Corine, Heeb Johannes, Huber Felix	801.685.d	≈28.50
C3	The Dynamics of Freight Transport Development	Explanations and Perspectives	2000	Ph. Thalmann	801.662.e	31.10
C4	Anteil des Strassenverkehrs an den PM10- und PM2.5-Immissionen	Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell	2000	Hüglin Christoph	801.683.d	≈22.-
C5	Nachhaltigkeit: Kriterien im Verkehr		1998	Ernst Basler + Partner AG	801.604.d	19.70
C6	Nachhaltigkeit im Verkehr: Planungs- und Prüfinstrumente		2000	Ernst Basler + Partner AG	801.654.d	27.85
C7	Strategie Nachhaltiger Verkehr		2000	IKAÖ Ernst Basler + Partner AG, Wuppertal Institut	801.672.d	30.35
C8	Verkehr und Raumordnung (Arbeitstitel)	(noch nicht publiziert)		Marti Peter et al.		
C9	Weiterbildung für eine nachhaltige Mobilität	Bestandesaufnahme der Angebote und Bedürfnisse sowie Empfehlungen für gezielte Verbesserungen	2000	Mazenauer-Kistler Vroni, Leuenberger Christian	801.666.d	9.50
D1	Verkehrspolitik EU/Schweiz (noch nicht publiziert)	Institutionen, Prozesse und Strategien der europäischen Verkehrspolitik und deren Wechselwirkungen mit der Schweiz		Kux Stephan et al.		
D2	Wettbewerb und Grundversorgung auf der Schiene	Grundlagen und Empfehlungen für künftige Bahnreformen in der Schweiz	1999	Lundsgaard-Hansen Niklaus, Knieps Günter, Bietenhard-Ritter Sonja, Oetterli Jörg	801.618.d	24.20
D3	Faire und effiziente Preise im Verkehr	Ansätze für eine verursachergerechte Verkehrspolitik in der Schweiz	1999	Maibach Markus, Schreyer Christoph, Banfi Silvia, Iten Rolf, de Haan Peter	801.629.d	28.30
D4	Externe Kosten im Verkehr: Regionale Verteilungswirkungen	Regionale Lasten - Auswirkungen von Internalisierung und Mittelverwendung	1999	Ott Walter, Seiler Benno, Kälin Roland	801.636.d	27.-
D5	Freizeitverkehr	Analysen und Strategien	2000	Meier Ruedi	801.658.d	28.30
D6	Verkehrsmanagement in Ferienorten	Lenkungsmaßnahmen, Akzeptanzprobleme, Implementierungsprozesse	1999	Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus der Universität Bern (FIF) und Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG	801.612.d	25.90
D7	Politique des transports et régions frontalières	Rapport de synthèse	1999	Mettan Nicolas, Erlanger Jacques	801.649.f	19.70
D8	Liberalisierung im Luftverkehr: Folgen f. d. Schweiz		2000	Oliva Carl, Hüttenmoser Cornelia, Lüking Jost	801.651.d	30.70

D9	Finanzierung des Verkehrs von morgen	Analysen und Reformen	1999	Blöchliger Hansjörg, Herrmann Sabine, Kux Stephan, Heitmann Seraina	801.637.d	27.-
D10	Nutzen des Verkehrs (Arbeitstitel)	(noch nicht publiziert)		Maggi Rico, Maibach Markus, Peter Martin, Mägerle Jürg		
D11	Road-Pricing in der Schweiz	Akzeptanz und Machbarkeit möglicher Ansätze im Spiegel von Umfragen und internationaler Erfahrung	2000	Güller Peter, Neuenchwander René, Rapp Matthias, Maibach Markus	801.665.d	28.30
D12	Akzeptanz der schweizerischen Verkehrspolitik bei Volksabstimmungen und im Vollzug		2000	Vatter Adrian, Sager Fritz, Bühlmann Marc, Maibach Markus	801.688.d	
D13	Akzeptanz einer nachhaltigen Verkehrspolitik im politischen Prozess	Deutschland, Niederlande und Schweiz im Vergleich	2000	Widmer Thomas, Schenkel Walter, Hirschi Christian	801.689.d	
D14	Evaluationskonzept für die schweizerische Verkehrspolitik	Bestandesaufnahme bisheriger Ex-Post-Evaluationen und Eckpfeiler für die Weiterentwicklung	2000	Balthasar Andreas, Bächtiger Christine	801.690.d	≈21.-
E1	Intelligente Kundeninformation im öffentlichen Verkehr	Überblick und Grundlagen	1998	Arnet Oliver, Holzinger Stefan, Maissen Stefan	801.603.d	10.70
E2	Möglichkeiten und Grenzen zusätzlicher Anwendungen des LSVA-Erhebungssystems		1999	Rapp Matthias, Liechti Markus	801.624.d	17.90
E3	Banques de données routières et mobilité	Apports des banques de données routières aux instruments de la gestion de la mobilité	1999	Robert-Grandpierre et Rapp SA, EPFL - Centre Informatique Génie Civil, Institut de Recherches Robert Bosch SA, INSER SA, Rosenthaler + Partner AG	801.638.f	30.50
E4	Verkehrsinformationssystem und Umweltmanagement (VISUM)	Wirkungsanalyse am Beispiel des Verkehrssystem-Managements (VSM) Bern	1999	B+S Ingenieur AG	801.621.d	17.90
E5	Perspektiven der Verkehrstelematik		1998	ASIT	801.607.d	20.40
F1	Nachfrageabschätzung Swissmetro	Eine Stated-Preference-Analyse	1999	Abay Georg	801.622.d	14.10
F2	Analyse des risques lors d'accidents en tunnels		1999	Trottet Yves, Vernez David, Jufer Marcel	801.620.f	22.30
F3	Les enjeux des transports à grande vitesse	Des méthodes pour l'évaluation des innovations technologiques, l'exemple de Swissmetro	1999	Rossel Pierre, Bosset Frédéric, Glassey Olivier, Mantilleri Roland	801.626.f	30.05

F4	Technische Möglichkeiten im Personenfernverkehr auf der Schiene	Übersichts- und Perspektivstudie	1998	Dasen Stefan, Engel Michael	801.606.d	16.10
F5a	Swissmetro et la Suisse en prospective	Les incidences spatiales de la grande vitesse - partie IREC-EPFL du projet F5	2000	Katell Daniel, Martin Schuler Michel Bassand, Pierre-Alain Rumley	801.673.f	28.45
F5b	Räumliche Effekte von Swissmetro	Modellsimulation der Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturänderungen; Teil ORL-ETHZ von Projekt F5	2000	Gruber Ricardo, Zbinden René, Schmid Willy A.	801.674.d	18.60
F6	Energie- und Umweltbilanz einer Eurometro		2000	Ernst Walter, Geisel Jens, Graf Hanspeter, Leuenberger Christian, Schöbi Daniel	801.680.d	28.10
M1	Leitfaden Nachhaltigkeit im Verkehr	Hinweise zur Beurteilung von Forschungsprojekten	1998	Ernst Basler + Partner AG	801.605.d	4.30
M2	Mesure de la durabilité des transports - Résumé du projet C5 et Fil rouge pour la réalisation de projets		1998	Ernst Basler + Partner AG	801.608.f	4.70
M3	Measuring the Sustainability of Transport - Summary of Project C5 and Guide to Application in Projects		1998	Ernst Basler + Partners Ltd.	801.609.e	4.70
M4	Vision Fahrplanauskunft Schweiz - Machbarkeitsstudie für eine flächendeckende Fahrplaninformation		1999	Arnet Oliver, Holzinger Stefan, Maissen Stefan	801.615.d	6.00
M5	Anhänge zu Bericht D3 „Faire und effiziente Preise im Verkehr“		1999	Maibach Markus, Schreyer Christoph, Banfi Silvia, Iten Rolf, de Haan Peter	801.630.d	16.80
M6	Schweiz. Verkehrspolitik im Spannungsfeld der Aussenpolitik - Beispiel 28-T-Limite (aus dem NFP 42)	Eine Policy-Netzwerkanalyse am Fallbeispiel der 28-Tonnen-Limite	1999	Maibach Markus, Vatter Adrian, Sager Fritz, Peter Daniel	801.628.d	29.25
M7	The supply of combined transport services	Increasing their market penetration	1999	Rossera Fabio, Rudel Roman	801.641.e	13.10
M8	Modelling the transport and logistics choice of a shipper		1999	Maggi Rico, Bolis Simona, Maibach Markus, Rossera Fabio, Rudel Roman, Schreyer Christoph	801.642.e	12.50
M9	Politikstrategien zur Förderung des Kombinierten Verkehrs		1999	Maggi Rico, Bolis Simona, Maibach Markus, Rossera Fabio, Rudel Roman, Schreyer Christoph	801.643.d	21.60
M10	Gestion de la mobilité et prestations intégrées de		2000	Flamm Michael; Schad Helmut; De Tommasi	801.634.f	8.80

	mobilité en Suisse romande			Roberto		
M11	Grenzüberschreitender Verkehr in der Region Oberrhein	Fallstudie Regio-S-Bahn: Grüne und Rote Linie des Projekts D7 „Verkehrspolitik und Grenzregionen“	1999	Würmli Peter, Plattner Rolf M.	801.644.d	13.10
M12	Grenzüberschreitender Verkehr in der Region Konstanz-Kreuzlingen	Fallstudie Stadtbuslinie 8 und Mittelthurgaubahn des Projekts D7 „Verkehrspolitik und Grenzregionen“	1999	Schnell Klaus-Dieter, Thierstein Alain	801.645.d	10.10
M13	Les transports transfrontaliers dans la région insubrienne	Etude de cas de la gare Como-Chiasso et de la Ligne Lugano-Mendrisio-Varese du projet D7 „Politique des transports et régions frontalières“	1999	Fischer Claire, Torricelli Gian-Paolo	801.646.f	13.35
M14	Les transports transfrontaliers dans la région de Genève	Etude de cas du projet de transport collectif en site propre (TCSP) du projet D7 „Politique des transports et régions frontalières“	1999	Widmer Gérard, Pini Giuseppe	801.647.f	12.50
M15	Les transports transfrontaliers dans la région du Chablais	Etude de cas de la ligne du Tonkin et du Mont-Blanc-Express du projet D7 „Politique des transports et régions frontalières“	1999	Mettan Nicolas, Erlanger Jacques	801.648.f	16.80
M16	Handbuch Mobilitätsmanagement	Deutsche Version des Handbuchs aus den EU-Projekten MOMENTUM und MOSAIC	2000	Konsortien MOMENTUM und MOSAIC	801.650.d	23.40
M17	Legislativperspektiven in der Verkehrspolitik	Diskussionspapier zu Handen der Kommissionen für Verkehr und Fernmeldewesen (KVF) des National- und des Ständerates	1999	Walter Felix, Neuenchwander René, Suter Stefan	801.652.d	3.45
M18	Perspectives pour la législature en politique des transports	Dossier à l'attention des Commissions des transports et des télécommunications (CTT) du Conseil national et du Conseil des Etats	1999	Walter Felix, Neuenchwander René, Suter Stefan	801.653.f	3.45
M19	Daten zum Freizeitverkehr	Methodische Analysen und Schätzungen zum Freizeitverkehr	2000	Meier Ruedi	801.659.d	17.90
M20	Technische und betriebliche Möglichkeiten der Gebührenerhebung im Strassenverkehr		2000	RAPP AG Ingenieure + Planer	801.664.d	13.10
M21	Vers un urbanisme de la proximité	Coordonner développement urbain et transports	2000	Bonanomi Lydia	801.667.f	5.50
M22	Das Gute liegt so nah	Bausteine für einen gemeinsamen Weg von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung	2000	Bonanomi Lydia	801.668.d	5.50

M23	Les gares, atouts des transports publics	Quels nouveaux services pour quelles attentes?	2000	Vincent Kaufmann, Christophe Jemelin, Dominique Joye,	801.669.f	
M24	Bahnhöfe: Trümpfe des öffentlichen Verkehrs	Neue Dienstleistungen für neue Bedürfnisse?	2000	Vincent Kaufmann, Christophe Jemelin, Dominique Joye,	801.670.d	
M25	Luftverkehr - eine wachsende Herausforderung für die Umwelt	Fakten und Trends für die Schweiz	2000	Kaufmann Yvonne, Meier Ruedi, Ott Walter	801.671.d	9.10
M26	Der Weg zu mehr Nachhaltigkeit im Verkehr		2000	Ernst Basler + Partner Ag, IKAÖ	801.675.d	3.40
M27	La voie vers une mobilité plus durable en Suisse		2000	Ernst Basler + Partner AG IKAÖ	801.676.f	3.40
M28	Quel avenir pour les technologies maglev dans le contexte du transport terrestre à hautes performances?		2000	Rossel Pierre, Bosset Frédéric	801.677.f	≈19.-
M29	Zusatzbericht Ökobilanz Swissmetro (Arbeitstitel)	(noch nicht publiziert)		Baumgartner Peter et al.		
T1	20 Jahre Gesamtverkehrskonzeption - wie weiter? La CGST a 20 ans../Tagung / colloque du 27.11.1997		1998	Walter Felix (Hrsg./Ed.)	801.601.df	12.50
T2	Fussgänger- und Veloverkehr / Les déplacements à pied et à vélo, Tagung vom / colloque du 6.11.1998	Potentiale - Massnahmen – Strategien / Potentialités - mesures - stratégies	1999	Netzwerk Langsamverkehr (Hg.) / Réseau piétons-vélos (Ed.)	801.613.df	16.10
T4	I trasporti e la mobilità / Verkehr und Mobilität / Les transports et la mobilité (Tagung Lugano '99)	Una minaccia e una sfida per le Alpi del XXI secolo / Bedrohung und Herausforderung für die Alpen des 21. Jahrhunderts / Une menace et un défi pour les Alpes du XXIe siècle	2000	G. P. Torricelli, Th. Scheurer (Hg.)	801.663.idf	25.20

Synthesen (Arbeitstitel, Autoren noch nicht definitiv)

- S1: Modul A: de Tommasi/Arend
S2: Modul B: Raymann et al.
S3: Modul C und Querschnittssynthese Umwelt: Brodmann/Spillmann
S4: Modul D: Suter
S5: Modul E: Macabrey et al.
S6: Modul F: Ende Sept
S7: Querschnittssynthese Schweiz - Europa:
– Teil 1: F. Walter / Ch. Wicki
– Teil 2: M. Frybourg
S8: Gesamtsynthese: Perret/Oetterli/Walter et al.
S9: Abstract-Sammlung: Zusammenstellung aller Abstracts aus den Bulletins (d/f/e)
S10: Populärfassung (32 Seiten), d/f/e/i in separaten Broschüren

7.2 Weitere Publikationen

- AEFU 1997, Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz Schweiz, Hrsg. *Luftverschmutzung und Gesundheit*. Basel
- ARE 2000, Bundesamt für Raumentwicklung. *Infrastrukturkosten*. Dossier 4/00. Bern.
www.raumentwicklung.admin.ch/medien_080900_d.html
- ASTRA & GVF 2000, Bundesamt für Strassen und Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Delphi-Umfrage zur Zukunft des Verkehrs in der Schweiz. Zusammenfassung*. Forschungsauftrag Nr. 45/97 / GVF-Auftrag Nr. 321 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure. Bern,
www.raumentwicklung.admin.ch
- BAG & BUWAL 1997, Bundesamt für Gesundheit & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Aktionsplan Umwelt und Gesundheit*. Bern
- Baumgartner Hanspeter 1997. *Kein Schwein kommt hier durch*. Pro Natura Magazin 5/97:26–29
- BAZL 1999, Bundesamt für Zivilluftfahrt. *Luftverkehr: Linien- und Charterverkehr 1998*. Neuenburg, Bundesamt für Statistik
- BAZL 2000, Bundesamt für Zivilluftfahrt. *Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt (SIL). Teile I–IIIB und Anhang. Entwurf vom 30. 8. 2000*. Bern, www.admin.ch/bazl
- Becker, Udo J. 1997. Verkehrsökologie – was ist denn das? Definition, Arbeitsgebiete, Methoden und Ziele eines neuen (?) Arbeitsgebietes. *Internationales Verkehrswesen* (49) 9/97: 440–446
- Becker, Udo J. 1998. Verkehrsökologie: Wozu führt denn das? Verkehrsökologische Anforderungen an unseren Verkehr im nächsten Jahrhundert. *Internationales Verkehrswesen* (50) 4/98: 139–148
- BEW 1996, Bundesamt für Energiewirtschaft. *Energieperspektiven der Szenarien I bis III 1990–2030*. Synthesebericht. Bern
- BEW 1997a, Bundesamt für Energiewirtschaft. *Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990–2030: Szenario IV, verschärfte und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO₂-Reduktion (Synthesebericht), und Sensitivitätsanalyse zu Szenario I, beschlossene Politik, tieferes Wirtschaftswachstum*. Bern
- BEW 1997b, Bundesamt für Energiewirtschaft. *Energiesparen bei Reisezügen*. Bern
- BEW 1997b. *Vergleichende Ökobilanz von Elektrofahrzeugen. Deutschland (Rügen) und der Schweiz (Mendrisio)*. BEW Projekt Nr. 22.540. Bern
- BFE 1998, Bundesamt für Energie. *Energiedialog Verkehr – Strategiepapier für das energiepolitische Programm nach 2000*. Autor: INFRAS, Zürich. Bern
- BFE 1999a, Bundesamt für Energie. *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1998*. Bern
- BFE 1999b, Bundesamt für Energie. *Finanzielle Anreize zur Förderung energieeffizienter Personenwagen*. Bericht der Arbeitsgruppe „Differenzierung der kantonalen Motorfahrzeugsteuern nach Treibstoffverbrauch“ im Auftrag der Konferenz kantonalen Energiedirektoren. Autor: INFRAS, Zürich. Bern, EDMZ
- BFE 1999c, Bundesamt für Energie. *Förderstrategien für den Einsatz einer Energieabgabe*. Arbeitsbericht. Autoren: INFRAS & Econcept, Zürich. Bern, EDMZ

- BFE 1999d, Bundesamt für Energie. *LEM – Förderung nach Mendrisio*. Forschungsprogramm rationale Energienutzung im Verkehr. Autor: INFRAS, Bern. Bern
- BFE 2000a, Bundesamt für Energie. *Energetische und klimatische Auswirkungen der Förderabgabe und der Abgabe gemäss Grundnorm*. Autor: Prognos, Basel. Bern, EDMZ
- BFE 2000b, Bundesamt für Energie. *Energieperspektiven Verkehr. Aktualisierung Grundszenario*. Autor: INFRAS, Bern
- BfS & BUWAL 1997a, Bundesamt für Statistik & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Umwelt in der Schweiz 1997*. Bern
- BfS & BUWAL 1997b, Bundesamt für Statistik & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Aktionsplan Umwelt und Gesundheit*. Bern
- BfS & GVF 1996, Bundesamt für Statistik & Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Verkehrsverhalten in der Schweiz 1994*. Bern
- BFS 1999a, Bundesamt für Statistik. *Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1999*. Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich
- BFS 1999b, Bundesamt für Statistik. *Der Reiseverkehr der Schweizer im Ausland. Internationaler Reiseverkehr und Grenzübertritte der Schweizerinnen und Schweizer, 1998*. Neuenburg
- Blaser, Christoph & Michael Redle 1998. Mehr Mobilität mit weniger Verkehr. In: Peter Baccini & Franz Oswald 1998 (Hrsg.). *Netzstadt – Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme – Ergebnisse aus dem ETH-Forschungsprojekt SYNOIKOS – Nachhaltigkeit und urbane Gestaltung im Raum Kreuzung Schweizer Mittelland*. Zürich, vdf
- Bleijenberg, Arie & Jessica van Swigchem 1997. *Efficiency and Sufficiency. Towards sustainable energy and transport*. Discussion paper, Centre for Energy Conservation and Environmental Technology. Delft
- Bleijenberg, Arie N. *Freight Transport in Europe 1996. In search of a sustainable course*. Report, Centre for Energy Conservation and Environmental Technology. Delft
- Broggi, M.F. & H. Schlegel 1989. *Mindestbedarf an naturnahen Flächen in der Kulturlandschaft*. Bericht 31 des Nationalen Forschungsprogrammes 22 „Boden“. Liebefeld-Bern
- BRP, BUWAL & ATAL 1995, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft & Amt für Technische Anlagen des Kantons Zürich. *Raumplanerische Massnahmen zur Luftreinhaltung und rationellen Energienutzung. Handbuch*. Bern und Zürich
- Bundesrat 1996. *Bericht über die Grundzüge der Raumordnung Schweiz vom 22. Mai 1996*. BBI 1996 III: 556–626
- BUWAL 1992, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Die Bedeutung der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 180. Bern
- BUWAL 1993, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Lärmschutz in der Schweiz. 7 Fragen – 7 Antworten*. Umwelt-Materialien Nr. 5, Bern
- BUWAL 1994, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Krebsrisiko von Diesel- und Benzinmotorabgasen. Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 2222. Bern
- BUWAL 1995a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2010*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255. Bern

- BUWAL 1995b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900–2010*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 256, Bern
- BUWAL 1996a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Luftreinhaltekonzept des Bundesrates. Stand der Realisierung und Ausblick, September 1996*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 272, Bern
- BUWAL 1996b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Schadstoff-Emissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors*. Umwelt-Materialien Nr. 49, Luft. Bern
- BUWAL 1997a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Möglichkeiten des technischen Umweltschutzes beim öffentlichen Strassenverkehr*. Umwelt-Materialien Nr. 79, Luft. Bern
- BUWAL 1997b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *NO₂-Immissionen in der Schweiz 1990–2010*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 289. Bern
- BUWAL 1997c, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Klima in Gefahr – Fakten und Perspektiven zum Treibhauseffekt*. Bern
- BUWAL 1997d, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *UN Framework Convention on Climate Change: Second National Communication of Switzerland 1997, and Swiss Greenhouse Gas Inventory 1995*. Bern
- BUWAL 1997e, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Parkplatz-Massnahmen in Schweizer Agglomerationen. Aktueller Stand und zukünftige Möglichkeiten*. Umwelt-Materialien Nr. 72. Bern
- BUWAL 1998a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Zur Situation des Elektrofahrzeugs bei der zukünftigen Stromversorgung der Schweiz. Bilanz der Luftschadstoff-Emission und des Energieverbrauchs im Rahmen der Begleitforschung zum Grossversuch mit Leichtelektromobilen (LEM) in Mendrisio*. Bern
- BUWAL 1998b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 301. Bern
- BUWAL 1998c, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Gasbusse in Basel. Erfahrungsbericht*. Umwelt-Materialien Nr. 103. Bern
- BUWAL 1998d, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Ökopprofile von Treibstoffen*. Autor: INFRAS, Bern. Schriftenreihe Umwelt Nr. 304. Bern
- BUWAL 1998e, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Tempo 30 in der Praxis. Erfahrungen und Empfehlungen*. Umwelt-Materialien Nr. 99. Bern
- BUWAL 1998f, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Strategie Nachhaltige Entwicklung der Mobilität – Vorschlag des BUWAL*. Stand 26.8.98. Bern
- BUWAL 1998g, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Luftverschmutzung und Gesundheit IV*. Literaturdokumentation. Schriftenreihe Umwelt Nr. 304. Bern
- BUWAL 1998h, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Belastungsgrenzwerte für den Lärm der Landesflughäfen*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 296. Bern
- BUWAL 1999a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmassnahmen – Zusammenstellung der Ergebnisse der Phase 1*. Bern
- BUWAL 1999b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Modellierung der PM₁₀-Belastung in der Schweiz*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 310. Bern

- BUWAL 1999c, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Swiss Greenhouse Gas Inventory 1997*. Bern
- BUWAL 2000a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950–2020. Nachtrag*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255. Bern
- Conseil du développement durable 1996. *Nachhaltige Entwicklung – Aktionsplan für die Schweiz*. Bern, BUWAL
- ECMT 1995, European Conference of Ministers of Transport. *Urban travel and sustainable development*. Paris, OECD/ECMT
- ECMT 1997, European Conference of Ministers of Transport. *CO₂ Emissions from Transport*. Paris, OECD/ECMT
- ECMT 1998, European Conference of Ministers of Transport. *Efficient Transport for Europe. Policies for Internalisation of External Costs*. Paris, OECD/ECMT
- ECMT 2000, European Conference of Ministers of Transport. *Sustainable Transport Policies*. Paris, OECD
- ECOPLAN 1992. *Internalisierung externer Kosten im Agglomerationsverkehr – Fallbeispiel Region Bern*. NFP 25 Bericht Nr. 15A. Zürich, vdf
- ECOPLAN 2000. *Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten*. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), des Staatssekretariats für Wirtschaft und des Amtes für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern (AGR). www.raumentwicklung.admin.ch/dossiers_d.html
- EEA 2000, European Environment Agency. *Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environment in the EU, TERM 2000*. Executive Summary. Kopenhagen
- Enquête 1994, Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des deutschen Bundestages (Hrsg.). *Mobilität und Klima. Wege zu einer klimaverträglichen Verkehrspolitik*. Bonn, Economica Verlag
- European Commission 1995a. *Green Paper on the Citizens' Network*; COM (95)601. Brussels
- European Commission 1995b. *Green Paper: Towards Fair and Efficient Pricing in Transport*; COM (95)691. Brussels
- European Commission 1998. *White Paper: Fair payment for infrastructure use: A phased approach to transport infrastructure charging in the European Union*. Brussels
- European Commission 1999. *Air Transport and the Environment: Towards Meeting the Challenge of Sustainable Development*. COM (1999) 640. Brussels. (Wiedergegeben in: *Transport Europe*, Supplement, February 2000)
- EV 1999, Erdöl-Vereinigung. *Auswirkungen der neuen EU-Gesetzgebung und der revidierten Luftreinhalteverordnung auf die Luftqualität in der Schweiz*. Zürich
- FDZ 1995, Flughafendirektion Zürich (Hrsg.). *Airport 2000 – Synthese Umweltverträglichkeitsbericht zum Rahmenkonzessionsgesuch für die Erweiterung des Flughafens Zürich*. Zürich
- FDZ 1998, Flughafendirektion Zürich (Hrsg.). *Zürich Airport, 5. Bauetappe: Ergänzungen zum UVB Rahmenkonzession 5. Bauetappe – Synthesebericht*. Zürich

- FOEFL 1994, Federal Office of Environment, Forests and Landscape. *Critical Loads of Acidity for Forest Soils and Alpine Lakes*. Environmental Series No. 234, Berne
- FOEFL 1996, Federal Office of Environment, Forests and Landscape. *Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances – Eutrophying Atmospheric Deposition*. Environmental Series No. 275, Berne
- Frey René L. 1994. *Ökonomie der städtischen Mobilität. Durch Kostenwahrheit zur nachhaltigen Entwicklung des Agglomerationsverkehrs*. Teilsynthese des Nationalen Forschungsprogrammes 25 „Stadt und Verkehr“. Zürich, vdf
- Güller Peter 1991. *Überlegungen zur Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinvestitionen*. GVF Auftrag Nr. 189. Bern, EVED
- Güller Peter, Breu Thomas 1996. *Städte mit Zukunft – ein Gemeinschaftswerk. Synthese des NFP „Stadt und Verkehr“*. Zürich, vdf
- GVF & BUWAL 2000, Dienst für Gesamtverkehrsfragen und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Forschungsbericht Phase II*. Gelterkinden, Ökoskop
- GVF 1994a, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Mobilität in der Schweiz. Bericht zuhanden der Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Ständerates*. GVF-Bericht 1/94. Bern.
- GVF 1994b, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Mobilität in der Schweiz – Grundlagenbericht*. Grundlagen zum GVF-Bericht 1/94. Bern.
- GVF 1996, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten*. Synthesebericht. GVF-Auftrag Nr. 272. Bern
- GVF 1997a, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Umweltindikatoren im Verkehr. Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel*. GVF-Bericht 1/97. Bern
- GVF 1997b, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Reduktionspotenziale beim motorisierten Strassenverkehr*. Grundlagenbericht zur Verkehrshalbierungs-Initiative. GVF-Auftrag Nr. 301. Bern
- GVF 1998, Dienst für Gesamtverkehrsfragen. *Verkehr – gestern, heute, morgen. Daten, Fakten, Politik. Information zum schweizerischen Verkehrssystem und zur schweizerischen Verkehrspolitik*. GVF-Bericht 1/98. Bern
- Heinze, Wolfgang G & Heinrich H. Kill 1997. *Freizeitverkehr statt Tourismus: Auf dem Wege zu einer zukunftsfähigen Strategie für Deutschland*. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 10/3 (1997): 297–302
- IDA-E II 1998, Interdepartementale Arbeitsgruppe Eisenbahnlärm. *Bericht der IDA-E II*. Bern, Bundesamt für Verkehr
- DARio 1996, Interdepartementaler Ausschuss Rio. *Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz – Bericht*. BUWAL, Bern
- Infras 1998. *Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr*. Forschungsauftrag Nr. 41/96. Zürich, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)
- Infras, Econcept & Prognos 1996. *Die vergessenen Milliarden. Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich*. Bern – Stuttgart – Wien, Verlag Paul Haupt

- IPCC 1996, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995 – The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press
- IPCC 1999, Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC Special Report – Aviation and the Global Atmosphere. Summary for Policymakers*. IPCC (ohne Ort)
- ITA 1998, Institut du Transport Aérien. *Air Traffic Forecasts for Zurich Airport up to 2020*. Paris
- ITA 1999, Institute of Air Transport. *Air Traffic Forecasts for Switzerland by the Year 2020*. Paris
- Jaccard, Piere-André & Francis-Luc Perret 1996. *Reconcilier le transport et l'environnement*. Synthèse partielle du programme national de recherche 25 „Ville et transport“. Zürich, vdf
- Janic Milan, 1999. Aviation and externalities: the accomplishments and problems. *Transportation Research Part D* 4 (1999): 159–180
- Kageson Per 2000. *The Drive for Less Fuel. Will the motor industry be able to honour its commitment to the European Union?* T&E 00/1. Brussels, European Federation for Transport and Environment (T&E)
- Kageson, Per 1994. *The Concept of Sustainable Transport*. Bruxelles, European Federation for Transport and Environment
- Knoflach Hermann 1996. *Zur Harmonie von Stadt und Verkehr. Freiheit vom Zwang zum Autofahren*. Wien, Böhlau (2. Auflage, 250 pp)
- Lendi Martin 1998. *Verkehr und Recht. An der Schwelle zu einem neuen Verkehrsrecht*. Zürich, vdf
- Lüking Jost & Ellen Meyrat-Schlee 1998. *Perspektiven des Freizeitverkehrs Teil 2: Strategien zur Problemlösung*. Forschungsauftrag 49/95 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure SVI. Zürich, SVI
- Maibach Markus, Walter Ott, Christoph Schreyer 1999. *Faire und effiziente Preise im Verkehr. Preispolitische Vorschläge für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung in der Schweiz*. Zürich, Rüegger Verlag, ISBN-Nr. 3 7253 0664 8
- Meier Ruedi 2000a. *Nachhaltiger Freizeitverkehr*. Chur, Zürich: Rüegger
- Metron 2000. *Aspekte der Nachhaltigkeit*. Themenheft 17. Brugg, Metron AG
- Muheim Peter & Partner 1998. *CarSharing – der Schlüssel zur kombinierten Mobilität. Synthese*. Untersuchung im Auftrag von Energie 2000, Ressort Verkehr. Bern
- Müller Hansruedi 1998. Kerosinsteuer – ja aber... *Politische Ökologie*, Tourismus Special '98, S. 30
- Müller, Hansruedi & Stettler Jürg 1997. *Freizeitverkehr und Umwelt: Das Beispiel Schweiz*. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 10/3 (1997): 307–312
- OECD 1996. *Pollution Prevention and Control – Environmental Criteria for Sustainable Transport. Report on Phase 1 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)*. Paris
- OECD 1997a. *Towards Sustainable Transport. The Vancouver Conference*. Paris
- OECD 1997b, Organisation for Economic Cooperation and Development. *Reforming Energy and Transport Subsidies. Environmental and Economic Implications*. Paris, OECD/IEA

- OECD 1997c, Organisation for Economic Cooperation and Development. *Transport, Energy, and Climate Change*. Paris, OECD/IEA
- OECD 1998, Organisation for Economic Cooperation and Development. *Environmental Performance Review – Switzerland*. Paris, OECD
- OECD 1999. *Environmentally Sustainable Transport. Report on Phase II of the OECD EST Project*. Paris, July
- Petersen Rudolf & Harald Diaz-Bone 1998. *Das Drei-Liter Auto*. Basel, Birkhäuser
- Petersen Rudolf & Karl Otto Schallaböck 1995. *Mobilität für morgen. Chancen einer zukunftsfähigen Verkehrspolitik*. Basel, Birkhäuser
- POSSUM 1998. *Policy Scenarios for a Sustainable Mobility. Final Report*. Project Coordinator: Prof. David Banister, University College London. Brussels, EU-DG VII
- Priewasser, Reinhold 1998. Verkehrsverlagerungen im Personennahverkehr. Ökologische Bedeutung, Strategien und Potenziale. *DISP* 132: 35–42
- Regierungsrat ZH 1994. *Energieplanungsbericht 1994 des Kantons Zürich: Bericht des Regierungsrates an den Kantonsrat über die Energieplanung vom 14. Dezember 1994, Kapitel 4.1 „Energiepolitische Ziele – Vision 2050“*. Zürich, Amt für technische Anlagen (ATAL)
- Renn, O. & H.G. Kastenholz 1996. *Ein regionales Konzept nachhaltiger Entwicklung*. *GAIA* 5/1996, 86–102
- Resource Analysis 1998. *Analysis of the taxation of aircraft fuel*. Delft (Zusammenfassung in: *Transport Europe*, Supplement March 2000).
- SATW 1999, Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften. *CH 50% – Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien*. Zürich
- Schleicher-Tappeser Ruggero & Christian Hey 1998. *Policy approaches for decoupling freight transport from economic growth*. Paper No 650, Topic Area E5, 8th World Conference on Transport Research, Antwerpen. EURES Institute, Freiburg i.Br.
- Schumann Ulrich 1999. Wie stark beeinflussen die Emissionen des Luftverkehrs Ozon und Klima? *GAIA* 8(1999) no.1, p.19–27
- SEPA 1996, Swedish Environmental Protection Agency. *Towards an Environmentally Sustainable Transport System*. Final report from the Swedish EST project. Stockholm, October
- Spillmann Werner 2000. Schwächen Nachhaltigkeitskonzepte den Umweltschutz? Eine Analyse am Beispiel des Verkehrs. *Umweltrecht in der Praxis* 14 (2000), Heft 3, pp.187–202
- Stadt Winterthur 1995, *Systemvergleich zwischen Trolleybus, Dieselbus und Erdgasbus. Grundlagen und Fallstudie für die Buslinie 4 in Winterthur*. Autor: Ernst Basler + Partner, Zollikon. Winterthur (20pp + Anhänge)
- TENASSESS 1997. *Euro-TenAssess: Comparative Report on National Transport Policies*. Deliverable D1. Coordinator: ICCR -- The Interdisciplinary Centre for Comparative Research in the Social Sciences. Vienna 31.03.1997
- Thierstein, Alain & Maren Lambrecht 1998. *Raumordnung und Nachhaltige Entwicklung: Handlungsansätze für eine nachhaltige Raumordnung der Schweiz*. Schweizerisches Institut für Aussenwirtschafts-, Struktur- und Regionalforschung SIASR-HSG, Universität St. Gallen

- TRAFICO, INFRAS & ADEME / INRETS / ENERDATA 1999. *EST – Environmentally Sustainable Transport. Alpine Region: Austria, France, Switzerland. Draft Synthesis Report*. Wien, Bern, Paris, Grenoble, February 1999
- UVEK 1998a, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. *Aktionsprogramm Energie 2000: 8. Jahresbericht 1998, Berichtsjahr Juli 1997 – Juni 1998*. Bern
- UVEK 1998b, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. *Programmleitung, Resorts und Massnahmen des Bundes. Beilagenband 1 zum 8. Jahresbericht des Aktionsprogramms Energie 2000, Berichtsjahr Juli 1997 – Juni 1998*. Bern
- UVEK 1999a, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. *Departementsstrategie UVEK*. Bern
- UVEK 1999b, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. *5. Bauetappe für den Flughafen Zürich-Kloten. Baukonzession für das Projekt Dock Midfield*. Bern, 5. November
- VCÖ, VCD & VCS 1997, Verkehrsclubs Österreichs, Deutschlands und der Schweiz. *Flugverkehr – Wachstum auf Kosten der Umwelt*. Wissenschaft und Verkehr, Nr. 5/1997
- VCS 1998, Verkehrs-Club der Schweiz, Sektion Zürich. *Einkaufsverkehr und Umwelt am Beispiel des Kantons Zürich. Eine Trendanalyse und Forderungen aus umweltpolitischer Sicht*. Zürich
- Walter Felix & Werner Spillmann 1999. Zwischenhalt auf dem Weg zum nachhaltigen Verkehr. *GAIA* 8 (1999) No. 2: 93–101
- World Bank, 1996. *Sustainable Transport. Priorities for Policy Reform*. Washington
- WWF, SBN, Greenpeace, SGU, SES, Erklärung von Bern, Arbeitsgemeinschaft Swissaid/ Fastenopfer/ Brot für alle/ Helvetas/ Caritas 1995. *Quantitative Aspekte einer zukunftsfähigen Schweiz*. INFRAS-Arbeitsbericht. Zürich