



GVF

U m w e l t i n d i k a t o r e n i m V e r k e h r

Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel

Markus Maibach, Philippe Schenkel, Daniel Peter, Sonja Gehrig

Juli 1997 / 525-3.doc



INFRAS

Gerechtigkeitsgasse 20, Postfach, CH-8039 Zürich, Tel. +41 1 205 95 95, Fax +41 1 205 95 99, E-Mail zuerich@infras.ch
Mühlemattstrasse 45, CH-3007 Bern, Tel. +41 31 370 19 19, Fax +41 31 370 19 10, E-Mail bern@infras.ch

Zertifiziert nach ISO 9001/14001

Umweltindikatoren im Verkehr

Masse für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel

Zusammenfassung

1. Umweltindikatoren als Mass für die Umwelteffizienz

Umweltindikatoren sind ein Mass für einen ökologischen Vergleich der verschiedenen Verkehrsmittel. Sie bilden die Grundlage zur Beantwortung verkehrsspezifischer Fragestellungen, wie beispielsweise:

- Wie umwelteffizient sind *heute* die verschiedenen Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr?
- Welche technischen und organisatorischen Potentiale sind *in Zukunft* zu erwarten?
- Welche Faustregeln lassen sich für einen optimalen Verkehrsmittel-Einsatz ableiten?

Eine Steigerung der Umwelteffizienz ist unabdingbar, wenn die Umweltbelastung im Verkehrsbereich in Zukunft reduziert werden soll. Mit Hilfe von Umweltindikatoren lässt sich die Umwelteffizienz der einzelnen Verkehrsmittel ausdrücken.

Umweltindikator = Umweltbelastungen pro Transporteinheit (Personen- resp. Tonnenkilometer) eines bestimmten Verkehrsmittels

Im Vordergrund stehen der Energieverbrauch, die CO₂-Emissionen, die Luftbelastung, der Lärm, der Flächenverbrauch und die Unfallhäufigkeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Verkehrsmittel nicht nur im direkten Betrieb Belastungen erzeugen. Die Herstellung der Energie (z.B. Stromproduktion bei der Bahn, die Herstellung und Entsorgung des Rollmaterials sowie der Infrastruktur belasten die Umwelt ebenfalls. Je nach Verkehrsmittel ist der Anteil dieser indirekten Belastungen unterschiedlich hoch. Es hängt von der Fragestellung ab, wie diese Belastungen für einen Verkehrsmittelentscheid berücksichtigt werden sollen.

Je besser das technische Potential der einzelnen Verkehrsmittel genutzt wird und je besser ein Verkehrsmittel ausgelastet ist, desto höher ist die Umwelteffizienz und desto geringer die spezifische Umweltbelastung. Es nützt beispielsweise nichts, wenn die Fahrzeuge technisch umweltfreundlicher werden, aber gleichzeitig die Auslastung weiter sinkt.

Die vorliegende Publikation will die Zusammenhänge zwischen Umwelt und Verkehr mit Hilfe der Umweltindikatoren einem breiteren Publikum zugänglich machen und den aktu-

ellen Wissensstand vermitteln. Sie baut auf diversen Arbeiten auf, die sich mit der Umweltbelastung im Verkehr im In- und Ausland beschäftigt haben. Bereits 1973 wurden für die Schweiz erstmals Umweltindikatoren erhoben (Basler und Hoffmann 1973)¹. Diese Indikatoren wurden 1991 mit aktuellen Verkehrs- und Umweltdaten aktualisiert und für verschiedene Verkehrsmittel ergänzt (INFRAS 1991)². Im Rahmen des Schwerpunktprogrammes Umwelt ist das Datenmaterial noch einmal umfassend überarbeitet worden (Ökoprofil Transporte, INFRAS 1995)³. Diese Arbeit hat verschiedene Prozessstufen (Betrieb, Herstellungs- und Entsorgungsprozesse) im Verkehrsbereich analysiert und alle wichtigen direkten und indirekten Umweltbelastungen pro Verkehrsmittel untersucht. Sie bildet die wichtigste Datengrundlage für die vorliegende Publikation. Dank diesen Erkenntnissen ist nun eine differenziertere Betrachtung möglich.

2. Aktuelle Umwelteffizienz der Verkehrsmittel

Dividiert man die Umweltbelastung eines Verkehrsmittels durch die in einem Zeitabschnitt geleisteten Personenkilometer (für den Personenverkehr) oder Tonnenkilometer (für den Güterverkehr), so erhält man einen Wert für die aktuelle Durchschnittsbelastung.⁴ Diese sind für alle Verkehrsmittel für 1993 ermittelt worden. Berücksichtigt sind auch die indirekten Belastungen:

- Der **Energieverbrauch** wird ausgedrückt in Megajoule⁵ pro Pkm resp. tkm. Darunter fallen sowohl erneuerbare als auch nicht erneuerbare Energiequellen. Im Personenverkehr ist der Luftverkehr am energieintensivsten, gefolgt vom PW. Ein Drittel des Energieverbrauchs des PW ist "graue Energie", indirekt verursacht durch die Herstellungsprozesse der Treibstoffe, Herstellung und Entsorgung des Fahrzeugs und der Strassen. Weniger als halb soviel Energie verbraucht demgegenüber der öffentliche Strassenverkehr, etwa gleich viel wie die Bahn. Nur unwesentlich energie günstiger als der private Strassenverkehr ist die Bahn allerdings dann, wenn sie - etwa im Regionalverkehr - schlecht ausgelastet ist. Ein grosser Teil - fast 80% - des Energieverbrauchs der Bahn entfällt auf vor- und nachgelagerte Prozesse, vor allem Herstellung und Unterhalt der Infrastruktur. Die Bahn wäre also vor allem dann sehr energie günstig, wenn nur der Betrieb allein betrachtet würde.⁶ Im Güterverkehr ist der Lieferwagen pro gefahrenen Tonnenkilometer am energieintensivsten. Allerdings ist der Tonnenkilometer für den Lieferwagen kein idealer Indi-

1 Basler & Hoffmann: Die Belastung der Umwelt durch den Verkehr, 1973

2 INFRAS: Umwelt und Verkehr, GVF-Bericht 5/91

3 INFRAS: Ökoinventar Transporte, 1995

4 Zu beachten ist dabei, dass die einzelnen Verkehrsmittel sehr heterogen zusammengesetzt sein können. Dies gilt speziell für den PW. Der aktuelle Park umfasst sowohl umweltfreundliche Kleinautos wie auch ältere Grossraumlimousinen. Die spezifischen Belastungen (z.B. Energieverbrauch) weisen eine grosse Streubreite auf.

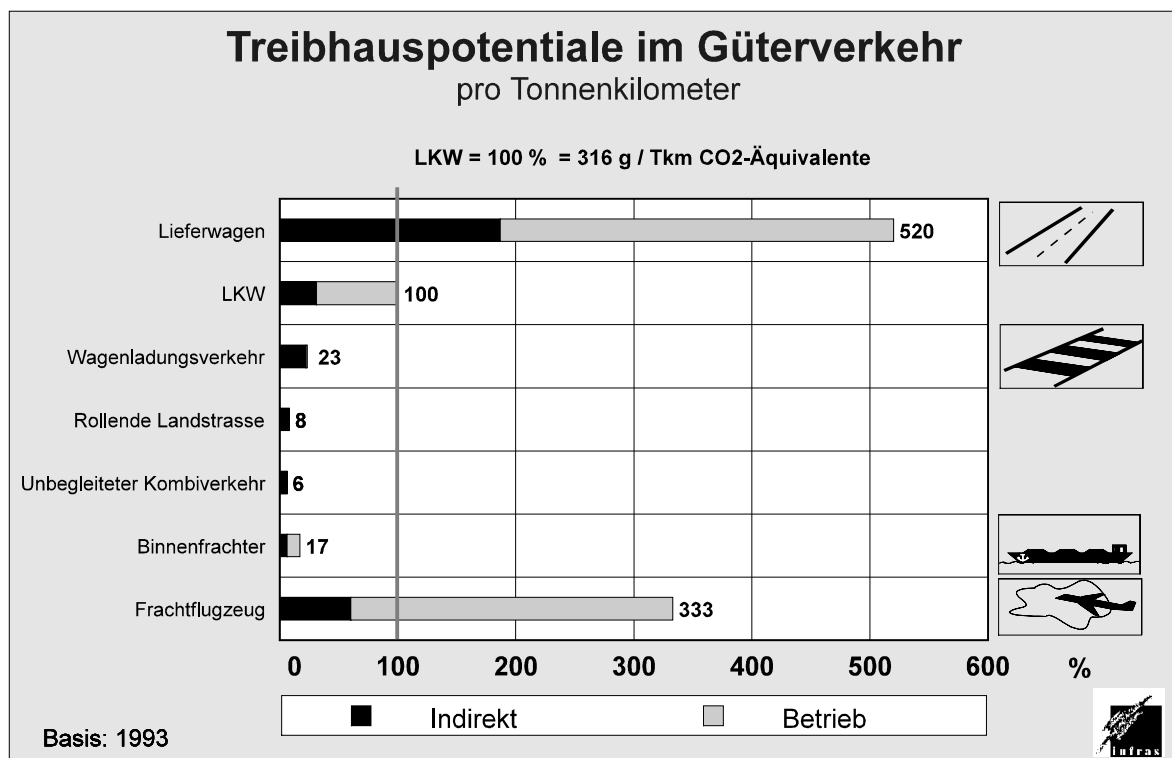
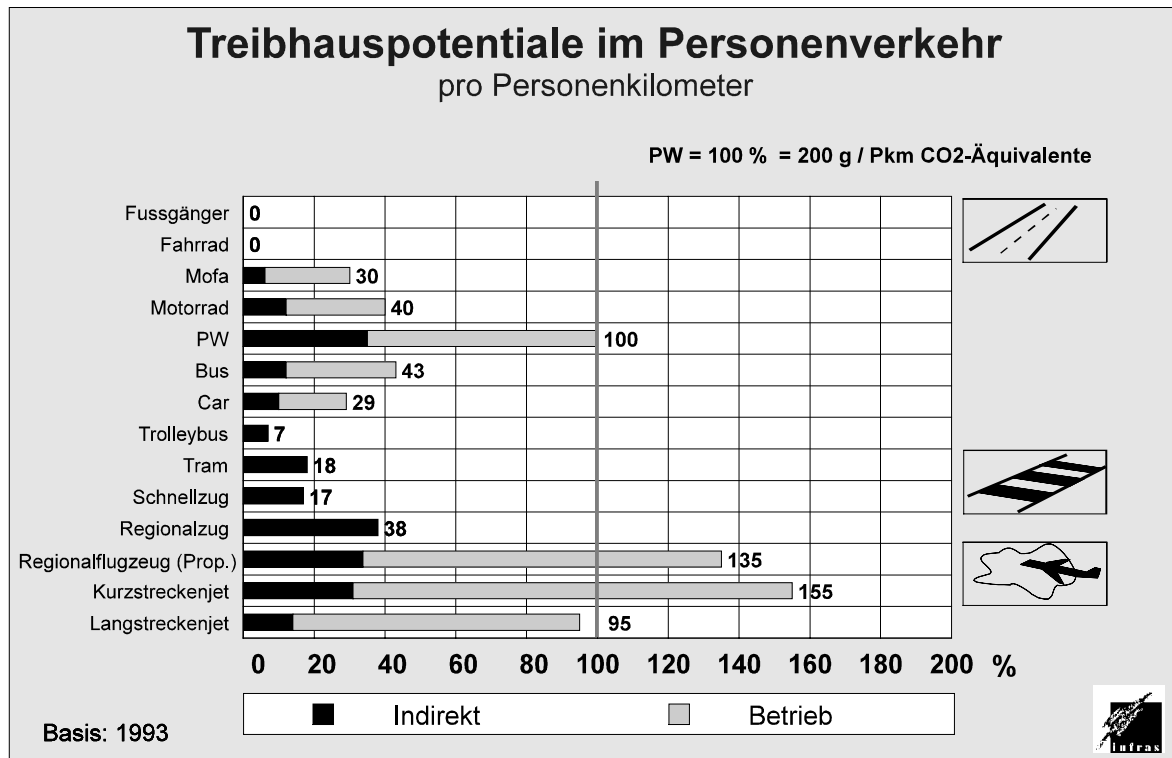
5 Ein Liter Benzin entspricht ungefähr 30 Megajoules.

6 Ein solcher Vergleich ist allerdings nur in einer kurzfristigen Betrachtung zulässig (vgl. Abschnitt 4).

kator für die Verkehrsleistung,⁷ weil Lieferwagen oft hochwertige Güter mit geringem Gewicht transportieren. Das Frachtflugzeug ist etwa dreimal energieintensiver als der LKW. Mehr als doppelt so energiesparsam sind die verschiedenen Bahnangebote.

- Die Umwelteffizienz im **Klimabereich** ist in Figur Z-1 dargestellt. Als Indikator dienen die wichtigsten Klimaemissionen (Kohlendioxid, Methan, Lachgas), die mit CO₂ - Äquivalenten aggregiert werden. Anders als beim Energieverbrauch schneidet die Bahn hier sehr gut ab und emittiert insgesamt 4-5 mal weniger als der Strassenverkehr. Dies vor allem deshalb, weil der Bahnstrom heute in der Schweiz praktisch CO₂-frei hergestellt wird. Nur gerade 2% des SBB-Stroms wird fossil hergestellt. Der grösste Teil (im Ausland ist der fossile Anteil deutlich höher) ist Wasserkraft. Im europäischen Mittel stammen 40-45% der Elektrizität aus fossilen Quellen (Öl, Kohle, Gas).
- Als Indikatoren für die **Luftbelastung** dienen die heute wichtigsten Schadstoffe wie Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Partikel. Der Luftverkehr emittiert am meisten Stickoxide und verursacht dafür vergleichsweise niedrige Emissionen von Kohlenwasserstoffen und Partikeln. Hoch sind die spezifischen Emissionen auch im privaten und öffentlichen Strassenverkehr. Wegen der Dieselmotoren liegt die Stickoxid-Belastung der Busse im heutigen Mittel um 20% höher als diejenige der PW. Dank des umweltfreundlichen Stromproduktionsmixes sind die Luftbelastungen der Bahn bei den Luftschadstoffen 5-10 mal niedriger als im Strassenverkehr und stammen praktisch ausschliesslich aus vor- und nachgelagerten Prozessen. Im Güterverkehr ist die Belastung der Bahn im Vergleich zum LKW noch niedriger und macht nur gerade 2-8% aus. Dank den Mitte der 80er Jahre verschärften Abgasvorschriften haben sich die Umweltindikatoren im Strassenverkehr laufend verbessert, obwohl die Auslastung in derselben Zeitperiode gesunken ist. Beim LKW allerdings hat die sinkende Auslastung dazu geführt, dass die technischen Entwicklungen noch keine signifikante Verbesserung der Umwelteffizienz erzeugt haben.

⁷ Hier werden die Grenzen der Aussagekraft der Indikatoren sichtbar: Das Gewicht der Güter ist nur ein möglicher Indikator. Eine differenziertere Betrachtung müsste auch andere Kriterien wie Volumen, Güterart und -qualität berücksichtigen. Allerdings liegen dazu nur wenig verlässliche Informationen vor.



Figur Z-1: Spezifische Klimaemissionen im Personen- und Güterverkehr der Schweiz
 Heutiger Durchschnitt, berücksichtigt sind sowohl die direkten (im Betrieb erzeugten) als auch die indirekten Emissionen (Energieherstellung, Herstellung und Entsorgung der Verkehrsmittel und der Infrastruktur) 1993

- Regionalzüge verursachen pro Person einen 5 mal grösseren **Lärmteppich** als ein PW. Verantwortlich dafür sind die teilweise schlechten Auslastungen und das überalterte Rollmaterial. Würden in einem bestimmten Zeitabschnitt lauter Regionalzüge eine Schienentrasse auslasten, würde ein Raum (Lärmteppich) von über 5 ha mit über 60 dB(A) beschallt. Diese Belastung darf in Wohngebieten gemäss Lärmschutzverordnung nicht überschritten werden. Im Güterverkehr allerdings ist die Bahn um 20-40% leiser als die Strasse. Der Luftverkehr verursacht vor allem im Kurzstreckenverkehr eine hohe Lärmbelastung. Kurzstreckenjets sind im Mittel etwa doppelt so laut wie Turboprop-Maschinen und damit auch etwas lauter als der PW.
- Je grösser und schlechter ausgelastet ein Verkehrsmittel ist, desto höher ist die spezifische **Flächenbelastung**. Massgebend ist die versiegelte Fläche. Andererseits: Je mehr Verkehr auf einer gegebenen Infrastruktur verkehrt, desto geringer ist die Flächenbelastung. Weil vor allem die Nebenlinien der Bahn (in dünn besiedelten Gebieten, in Randstunden) relativ schlecht ausgelastet sind, ist die Bahn im Vergleich zum Strassenverkehr relativ flächenintensiv. Die Regionalzüge (ohne S-Bahn) beispielsweise sind im Mittel gar flächenintensiver als die PW.
- Der Verkehr verursacht noch **weitere Umweltbelastungen**, die nur teilweise in Zahlen gefasst werden können. In letzter Zeit konnten vor allem die Schwermetalle (v.a. Blei) deutlich reduziert werden. Kritisch sind in Zukunft einzelne Stoffe, deren Menge im Zusammenhang mit dem Einsatz von Katalysatoren ansteigt, wie Lachgas oder Ammoniak. Ebenfalls eine Zunahme wird für die Belastung von Cadmium aufgrund der Herstellung von Mischgut für Strassen erwartet.
- Die Zahl der schweren **Unfälle** ist in letzter Zeit deutlich zurückgegangen, obwohl die Unfallzahl während den letzten 20 Jahren trotz der Verkehrszunahme praktisch konstant geblieben ist. Trotzdem ist der private Strassenverkehr (sowohl Personen- als auch Güterverkehr) immer noch mit Abstand der gefährlichste Verkehrsträger. Die Unfallrate der Bahn ist - etwa im Schnellzugsverkehr - ca. 3 mal niedriger. Am sichersten ist der öffentliche Strassenverkehr. Das Unfallrisiko ist ca. 5 mal niedriger als im privaten Strassenverkehr.
- Betrachtet man die Umweltindikatoren im **Zeitablauf**, so fällt auf, dass zwar ein Grossteil der Belastungen eine sinkende Tendenz aufweist. Nur gerade die Luftbelastung und die Unfälle mit getöteten und verletzten Personen weisen allerdings über die letzten zwanzig Jahre eine signifikante Verbesserung auf. Bei den anderen Belastungen hat die verschlechterte Auslastung einen Teil der positiven Entwicklung wieder kompensiert.
- Figur Z-2 zeigt den Vergleich Schiene-Strasse: Obwohl der Umweltvorteil in den Bereichen Energie, Klima und Luftbelastung⁸ unbestritten ist, wird sichtbar, dass die

⁸ Dieser Umweltvorteil kommt vor allem durch den günstigen Strommix der Bahn zustande.

Strasse aufgeholt hat. Die Lärmbelastung etwa kann als eigentlicher Pferdefuss der Bahn betrachtet werden.

Vergleich Schiene - Strasse

Personenverkehr, Schiene = 1

		Nur Betrieb	Betrieb & Bereitstellung Energie	Gesamtbelastung (inkl. Rollmaterial & Infrastruktur)
Energie	1 :	7	5	1.7
CO2	1 :		70	4
NOx	1 :		140	4
Lärm	1 :	0.4	0.4	0.4
Fläche	1 :		45	0.7
Unfälle	1:	10		

Lesebeispiel: Im direkten Betriebsprozess benötigt ein Personenwagen 7 mal so viel Energie wie ein Personenzug. Bei Berücksichtigung aller indirekten Belastungen, verringert sich der ökologische Vorteil der Bahn auf einen Faktor 2.

Vergleich Schiene - Strasse

Güterverkehr, Schiene = 1

		Nur Betrieb	Betrieb & Bereitstellung Energie	Gesamtbelastung (inkl. Rollmaterial & Infrastruktur)
Energie	1 :	8	5	2.5
CO2	1 :	78	40	5
NOx	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 8 mal so viel Energie wie ein durchschnittlicher Güterzug. Wenn aber die indirekten Belastungen mitberücksichtigt werden, braucht der Lastwagen noch 2.5 mal mehr Energie.

Figur Z-2: Umweltindikatoren von Schiene und Strasse im Vergleich

Die Figur unterscheidet einerseits die direkt fahrleistungsabhängigen Belastungen (Betrieb und Energiebereitstellung), andererseits die indirekten Belastungen infolge der Herstellung und Entsorgung von Rollmaterial und Infrastruktur.

3. Potentiale für die Zukunft

Der Vergleich der aktuellen durchschnittlichen Umwelteffizienz der einzelnen Verkehrsmittel sagt zwar etwas aus über den heutigen Zustand. Die verschiedenen Entwicklungspotentiale und die unterschiedliche Zusammensetzung der einzelnen Verkehrsmittel kommen allerdings nicht zum Ausdruck. Dazu ist ein differenzierterer Blick in die Zukunft notwendig.

- Bei den **Personenwagen** ist das Potential vor allem beim Energieverbrauch und bei der Luftbelastung gross. Das gilt sowohl für die Motoren als auch für den Treibstoff. Es ist kaum zu erwarten, dass die gängigen Konzepte (Otto- und Dieselmotor) in Zukunft verdrängt werden. Mit der zu erwartenden EU-weiten Verschärfung der Abgasvorschriften (EURO 3 und 4 für die Zeiträume 2000/2005) sinkt dennoch die heute kritische Belastung der Partikel. Insgesamt liegt das Reduktionspotential bei den Luftschadstoffen bei ca. 80-90%. Grössere Potentiale im Energieverbrauch können erst ausgeschöpft werden, wenn auch die Grösse und das Gewicht der Fahrzeuge abnimmt. Dies ist allerdings abhängig von anderen Faktoren, die das Verhalten beim Autokauf mitbestimmen. In letzter Zeit wurden die technischen Potentiale laufend kompensiert durch den Kauf von grösseren Fahrzeugen, so dass der Durchschnittsverbrauch von gut 9 Litern während der letzten Jahre etwa stabil geblieben ist. Weitere grosse Potentiale liegen bei der Auslastung. Würde die heutige durchschnittliche Auslastung von 1.6 Personen auf 2 Personen erhöht, würden die Umweltindikatoren um 20% sinken.
- Bei den **schweren Nutzfahrzeugen** liegt das grösste Verbesserungspotential eindeutig bei den Luftschadstoffen. Gegen 90% können dabei die Emissionen gegenüber heute verringert werden. Im Zentrum steht der Einsatz von Abgasrückführungsanlagen und Diesel-Katalysatoren. Eher teurer ist die Reduktion der Partikel mit Hilfe eines Partikelfilters. Ein solcher kostet heute zwischen 5'000 und 7'000 Franken. Mit Hilfe von verbesserten Treibstoffen (z.B. Einsatz von schwefelarmem Diesel) kann die Wirkung massiv gesteigert werden. Ein für die Schweiz wichtiger Vergleich ist jener zwischen LKW mit einem Gesamtgewicht (inkl. Nutzlast) von **28 Tonnen** und solchen mit **40 Tonnen**. Dieser Vergleich ist vor allem dort interessant, wo die Fahrzeuge mit schweren Gütern ausgelastet werden, insbesondere im Alpentransit. Der direkte Vergleich zeigt, dass zwar ein 40-Tonnen-LKW bei gleicher Auslastung insgesamt eine um ca. 15% höhere Luftbelastung aufweist. Bei einer durchschnittlichen Auslastung von ca. 40% hingegen schneidet der 40 Tonnen-LKW dank der höheren Nutzlast um 25% besser ab. Zahlen über die Auslastung ausländischer LKW liegen allerdings nur für den Alpentransit vor. Dort liegt die Auslastung deutlich über diesem Schwellenwert. Mit knapp 17 Tonnen liegt die Auslastung am Brenner und

am Mont Blanc (40 Tonnen-Regime) bei gegen 70%, während sie in der Schweiz (28 Tonnen-Regime) nur 6.2 Tonnen (oder ca. 35%) beträgt.⁹

- Dank der stationären Flotten-Versorgung können im **öffentlichen Strassenverkehr** alternative Treibstoffe relativ kostengünstig eingesetzt werden. Eine relativ günstige Kosten-Nutzen-Bilanz weisen gasbetriebene Fahrzeuge aus. Gegenüber einem Dieselsbus können insbesondere die Luftschadstoffe um 70-90% gesenkt werden. Eher schlechter als beim Diesel ist allerdings die Energiebilanz.
- Auch bei der **Bahn** sind grosse Potentiale vorhanden. Sie liegen in erster Linie im Lärmbereich, wo mit dem Einsatz von neuartigem Bremsmaterial (v.a. Scheibenbremsen) die heutige Lärmbelastung mehr als halbiert werden kann. Auf der anderen Seite gibt es im Schienenverkehr auch Bereiche, die sich in Zukunft verschlechtern könnten. Es ist absehbar, dass der zukünftige Strombedarf kaum mehr derart umweltgünstig abgedeckt werden kann. Zu erwarten ist, dass vermehrt fossile Energieträger (z.B. Gas-Kombi-Kraftwerke) für die Produktion des zusätzlichen Bedarfs eingesetzt werden. Entsprechend verschlechtert sich die Bilanz beim CO₂ und bei den Luftschadstoffen. Setzt man für die Produktion des Stromes anstelle des schweizerischen Mixes einen internationalen Mix ein (sog. UCPTE-Mix mit einem Anteil von fossilen Energieträgern von ca. 50%), so steigen die fahrleistungsabhängigen Umweltbelastungen (Betrieb und Energiebereitstellung) stark an. Weil die Strasse dank technischen Fortschritten im Abgasbereich ihre NO_x-Emissionen drastisch senken kann, verschwindet auf längere Frist dieser Umweltvorteil der Bahn. Im Klimabereich allerdings dürfte die Bahn trotz ungünstigerem Strommix auch in Zukunft um einen Faktor 4-5 besser abschneiden, wenn Anstrengungen zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs unternommen werden.
Die zukünftigen Hochgeschwindigkeitstechnologien könnten allerdings eine gegenläufige Wirkung erzeugen, weil die höheren Geschwindigkeiten einerseits höhere Betriebsenergien erfordern, andererseits für die Infrastruktur vermehrt grosse Räder mit zunehmendem Tunnelanteil erforderlich sind.¹⁰
- Der **Luftverkehr** hat in den letzten 20 Jahren grössere technische Verbesserungen in allen Umweltbereichen erzielen können. Diese Entwicklung dürfte sich in Zukunft verlangsamen. Trotzdem sind weitere Verbesserungen insbesondere bei den Luftschadstoffemissionen zu erwarten. Eine Verbesserung der Energiebilanz im Luftverkehr ist vor allem durch organisatorische Massnahmen (Optimierung der Flugrouten) noch möglich.

⁹ Neben der geringeren Kapazität der LKW ist die hohe Zahl der Leerfahrten ein wichtiger Grund für die tiefere Auslastung. Diese kommt dadurch zustande, dass viele LKW voll beladen eine ausländische Route von Norden nach Süden wählen, während der Rückweg ohne Fracht durch die Schweiz auch dank der geringeren Gebühren günstiger ist.

¹⁰ Dies zeigt beispielsweise die Planung des Hochgeschwindigkeitsnetzes in Europa (in der Schweiz Bahn 2000 und NEAT).

4. Optimaler Einsatz der Verkehrsmittel

Ein umwelteffizienter Einsatz der Verkehrsmittel in den einzelnen Verkehrssegmenten kann mit Hilfe von Umweltindikatoren transparent bewertet werden. Allerdings ist es notwendig, die einzelnen Randbedingungen für die verschiedenen Entscheide sehr genau zu hinterfragen, um keine Fehlschlüsse zu ziehen. Sehr wichtig ist dabei die Frage, welche Umweltbelastungen wann zu berücksichtigen sind:

- Für einen Verkehrsmittel-Entscheid massgebend sind dann die fahrleistungsabhängigen Belastungen (die direkte Belastung im Betrieb sowie die Herstellung der Energie, bei der Bahn die Stromproduktion). Wenn wir uns auf einen kleinen Raum (z.B. Stadtgebiet) beschränken, wo vor allem die lokale Umweltbelastung ins Gewicht fällt, dann kann auch die Herstellung der Energie vernachlässigt werden. Infolge des fixen Fahrplans ist die Belastung beim öffentlichen Verkehr Null. Eine solche Betrachtungsweise ist allerdings kürzerfristig ausgerichtet.
- Bei einer längerfristigen Betrachtungsweise sind alle Umweltbelastungen, auch die indirekten Belastungen (Herstellung des Rollmaterials und Infrastruktur), einzubeziehen. Dahinter steckt die Annahme, dass jede zusätzliche Verkehrsnachfrage früher oder später dazu führt, dass auch neue Fahrzeuge und Infrastrukturen eingesetzt werden müssen, die dann zusätzliche indirekte Umweltbelastungen erzeugen.
- Solange die vorhandenen Kapazitäten der Verkehrsmittel nicht ausgelastet sind, sind nur die direkt durch eine zusätzliche Fahrt entstehenden Umweltbelastungen zu berücksichtigen.

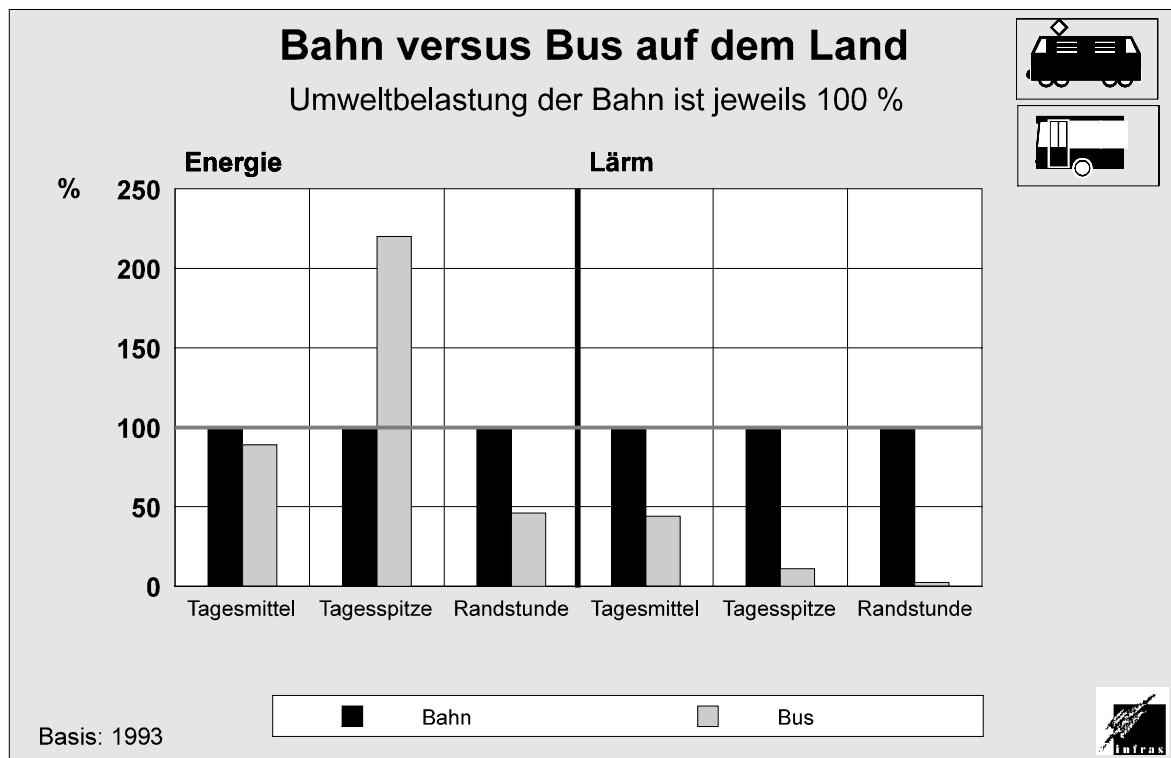
Interessant ist der Vergleich der Umwelteffizienz für einzelne Verkehrssegmente. So kann auch den verschiedenen Besonderheiten und Potentialen Rechnung getragen werden:

a) Personenverkehr

- Im **städtischen Verkehr** spielen die lokalen Immissionen eine zentrale Rolle. Hier kommen die Stärken des öffentlichen Verkehrs besonders zum Vorschein, vor allem auch die sehr effiziente Nutzung der knappen Fläche dank der relativ hohen Auslastung in den Spitzenzeiten. Auch moderne und leichte PW's weisen eine schlechtere Umweltbilanz auf, weil der schienengebundene Verkehr im Stadtgebiet keine Luftschadstoffemissionen emittiert. Ein Problem ist der relativ hohe Schadstoffausstoss der Dieselbusse, der nur mit neuen Technologien (Partikelfilter) spürbar gesenkt werden kann. Ein moderner PW beispielsweise emittiert auch in der Spitzenstunde pro Person weniger als die Hälfte an Stickoxiden als ein moderner Dieselbus. Alternative Transportketten wie Park + Ride bringen im städtischen Verkehr nur sehr geringe zusätzliche Umweltvorteile.
- Im **Geschäftsreiseverkehr** spielt vor allem der Zeitbedarf und der Komfort eine wichtige Rolle. Deshalb weist der Flugverkehr immer grössere Marktanteile auf. Trotz

des schlechteren internationalen Strommixes ist die Bahn mindestens 50% umweltgünstiger als das Geschäftsauto oder das Flugzeug. Preislich allerdings zahlt sich dieser Vorteil vor allem für Reisen in den benachbarten Norden nicht aus.

- Im **Ferienreiseverkehr** ist der PW dann deutlich schlechter als der Zug, wenn nur wenige Personen im Auto sitzen. Der Schwellenwert liegt etwa bei 3.5 Personen. In diesem Verkehrssegment sind in den letzten Jahren grosse Wachstumsraten zu verzeichnen. Insbesondere der Flugreiseverkehr hat dank günstigen Preisen stark zugenommen. Dass für weitere Strecken nur das Flugzeug als Verkehrsmittel in Frage kommt, ist einleuchtend. Aus Umweltsicht zu hinterfragen ist daher weniger das zu wählende Verkehrsmittel als das Ziel der Reise. Der Gesamtenergieverbrauch schlägt nämlich enorm zu Buche, vor allem bei Flugreisen. Bezogen auf eine Person ist beispielsweise der Energieverbrauch einer Flugreise in die Karibik fast 70 mal höher als der tägliche Durchschnittsverbrauch pro Kopf in der Schweiz.
- Bei **Randstundenangeboten** führen die tiefen Auslastungen im öffentlichen Verkehr dazu, dass die Umwelteffizienz gegenüber dem Privatverkehr relativ schlecht ausfallen kann. Das trifft insbesondere für die Luftbelastung zu, wenn Busse eingesetzt werden. Um besser als mit einem durchschnittlichen PW abzuschneiden, müssten im Mittel 15-20 Personen in einem Bus sitzen. Solche Auslastungen werden in Randstunden nicht erreicht. Berücksichtigt man allerdings, dass das Busangebot auch dazu dient, eine durchgehende ÖV-Transportkette anzubieten, die das Umsteigen vom PW erleichtert, kann die Gesamtbilanz auch bei tiefen Auslastungen positiv werden. Noch günstiger ist Park + Ride an Regionalbahnhöfen.
- Im **ländlichen Verkehr** werden häufig Busangebote dem bestehenden Bahnangebot als Alternative gegenübergestellt. Während die Schadstoff- und CO₂-Emissionen klar für die Bahn sprechen, ändert sich die Bilanz beim Energieverbrauch und beim Lärm. Neben der Umweltbilanz spielen die Kosten eine wesentliche Rolle. Diese sind für Busangebote bis zu 30-50% günstiger.

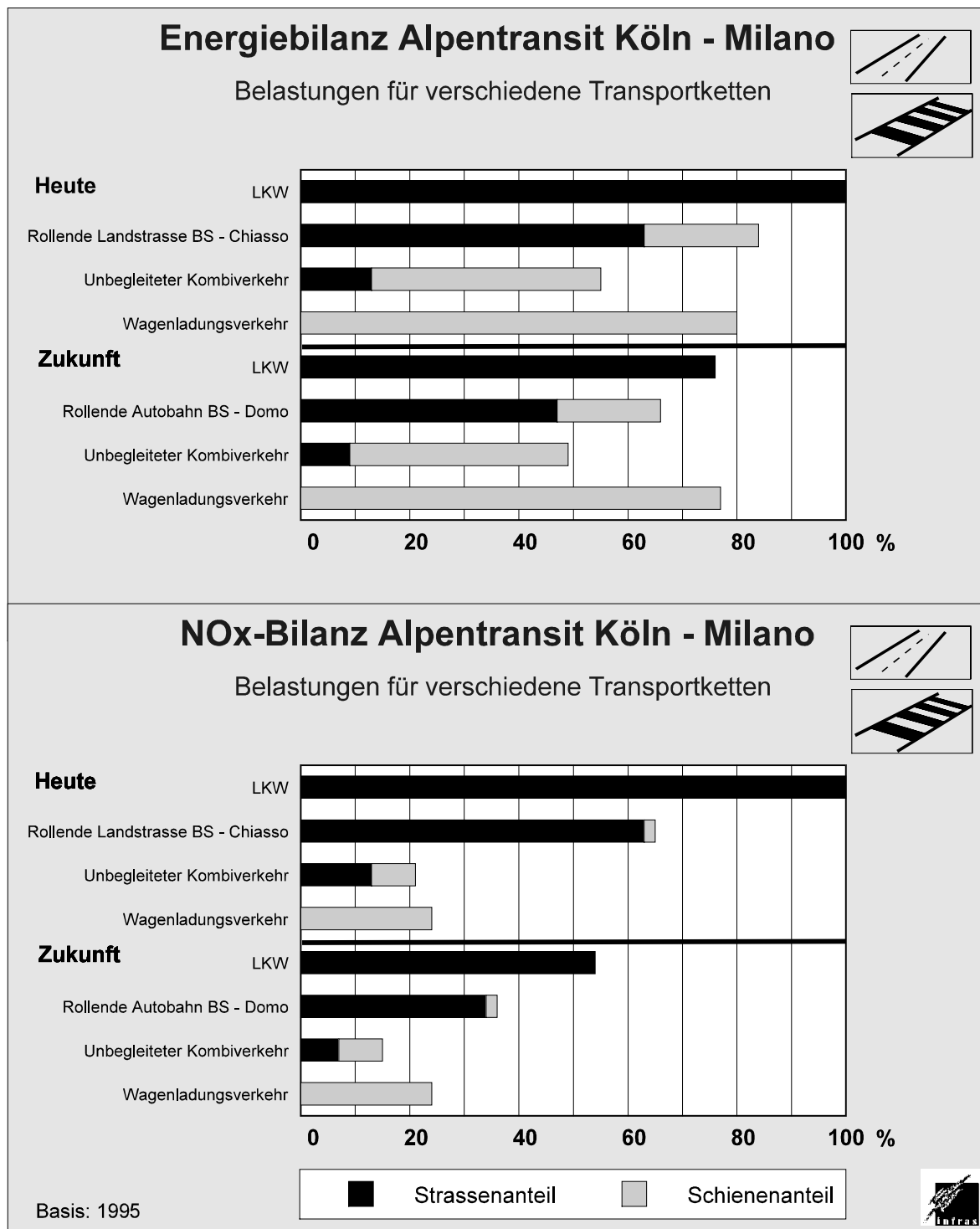


Figur Z-3: Bahn und Bus im Vergleich: Solange das Bahnangebot mit wenigen Bussen abgewickelt werden kann, ist der Bus im Energie- und Lärmbereich mit der Bahn konkurrenzfähig.

b) Güterverkehr

- Im städtischen Güterverkehr können **City-Logistik**-Projekte die Umwelteffizienz der Güterversorgung spürbar verbessern. Eine effiziente Transportkette mit Bahn und Umlad auf umweltfreundliche Last- oder Lieferwagen weist gegenüber der Anlieferung mit einem heute durchschnittlichen LKW nur einen Drittel des Energieverbrauchs und 10% der Luftschadstoffemissionen auf.
- Im **Binnengüterverkehr** ist der Bahn-Einzelwagenladungsverkehr aus Umweltsicht dann konkurrenzlos, wenn es darum geht, bereits vorhandene Anschlussgleise effizient zu nutzen. Die CO₂-Emissionen machen bei heutigem Strommix pro transportierte Tonne nur 3% derjenigen eines durchschnittlichen LKW aus. Nur geringfügig besser als beim LKW ist allerdings die Lärmbilanz, vor allem wenn alte Güterwagen eingesetzt werden. Eine sinnvolle Alternative zum LKW sind auch Kombiverkehrs-Angebote, sofern die Umschlaganlagen möglichst flächensparend sind und auf bestehenden Bahnarealen abgewickelt werden können. Sie sind etwa 3 mal umweltgünstiger als der LKW-Einsatz.
- Im **Alpentransit** werden die Rahmenbedingungen in Zukunft verändert. Die NEAT soll die Wettbewerbsfähigkeit der Bahn erhöhen. Gleichzeitig soll mit der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe und der Alpentransitabgabe sichergestellt wer-

den, dass - trotz einer allfälligen Ablösung der geltenden 28 Tonnen-Limite - die Umsetzung des Alpenschutzartikels sichergestellt werden kann. Grosse Hoffnungen werden auf den kombinierten Verkehr gesetzt. Kürzerfristig soll vor allem ein hochqualitatives Angebot einer Rollenden Autobahn durch die projektierten Basistunnel eingesetzt werden. Unterstellt man, dass ein solches Angebot in Zukunft nur mit Strom abgedeckt wird, der vermehrt fossile Energieträger beansprucht, so sind bei einem Vergleich mit einem modernen LKW mit guter Auslastung die Luftbelastung und die CO₂-Emissionen etwa halb so hoch. Bei der Energiebilanz allerdings kann der LKW leicht besser als eine hochwertige Rollende Autobahn abschneiden. Auch bei einem Vergleich ganzer Transportketten im Alpentransit wird deutlich, dass der LKW in Zukunft seine Bilanz deutlich verbessern kann. Bahnseitig umweltgünstiger als die Rollende Autobahn sind vor allem unbegleitete Kombiverkehre, die nur die Ladung, nicht aber das Transportfahrzeug transportieren. Dabei fällt der Umlad am Terminal vor allem bei grösseren Distanzen umweltseitig nicht ins Gewicht. Der Anteil des Umlads etwa liegt bei einer typischen transalpinen Strecke (z.B. Köln-Milano), wie ihn die HUPAC heute betreibt, bei weniger als 2%.



Figur Z-4: Transporte zwischen Köln und Milano im Alpentransit: Verschiedene Transportketten im Vergleich, heute und in Zukunft

Heute: Strasse: 28 T-Limit, EURO II-Abgasnorm
 Schiene: SBB-Mix Schweiz, UCPT- Mix-Ausland

Zukunft: Strasse: 40 T-Limit, EURO III-Abgasnorm
 Schiene: SBB-Mix Schweiz, UCPT- Mix-Ausland

(Dargestellt sind die Gesambelastungen inkl. der indirekten Belastungen.)

5. Folgerungen für eine ökologische Verkehrspolitik

Folgende verkehrs- und umweltpolitische Stossrichtungen können die Umwelteffizienz der einzelnen Verkehrsmittel steigern:

- Technische Potentiale ausschöpfen (z.B. mit Verbrauchs- oder Abgasvorschriften)
- Kapazitäten besser nutzen (Auslastung steigern)
- Umweltfreundlicher fahren (z.B. sanfte Fahrweise mit niedrigerem Tempo)
- Umsteigen auf umweltfreundliche Verkehrsmittel (öffentlicher Verkehr)

Das beschlossene und geplante verkehrspolitische Instrumentarium in der Schweiz trägt diesen Stossrichtungen Rechnung. Technisch orientierte Vorschriften (z.B. die Abgasvorschriften oder die vorgesehene Senkung der Treibstoffverbräuche der Neuwagen) verbessern die Umwelteffizienz allerdings in erster Linie punktuell, auf einen Umweltbereich bezogen. Demgegenüber wirken preisorientierte Massnahmen breiter. Eine Erhöhung des Benzinpreises führt nicht nur dazu, dass energiesparsamer gefahren wird, sondern erhöht auch die Anreize, energiesparsamere Fahrzeuge zu kaufen oder auf öffentliche Verkehrsmittel umzusteigen. So wird indirekt auch die Umwelteffizienz des öffentlichen Verkehrs erhöht, indem die Auslastung gesteigert und so die Investitionen umwelteffizienter genutzt werden. Eine solche Strategie verfolgt gegenwärtig die Verkehrspolitik im Alpen-transit, wo mit NEAT, leistungsabhängiger Schwerverkehrsabgabe und Alpentransitabgabe die zur Verfügung gestellten Kapazitäten maximal ausgenutzt werden sollen.

Mit den Umweltindikatoren - wie sie in dieser Publikation angewendet worden sind - kann die spezifische Umwelteffizienz der einzelnen Verkehrsmittel dargestellt werden. Eine gesteigerte Umwelteffizienz allein genügt allerdings nicht, um die Umweltbelastung nachhaltig zu senken. Letzten Endes massgebend ist die **Gesamtbelastung**. Trotz einer starken Reduktion der Luftschadstoffemissionen laufen wir beispielsweise Gefahr, dass der positive Effekt (vor allem dank Katalysator-Einsatz) durch das anhaltende Verkehrswachstum wieder kompensiert wird. Eine umweltorientierte Verkehrspolitik muss sich deshalb auch mit dem längerfristigen Verkehrswachstum auseinandersetzen.