BAV

ÖV UND UMWELT
HERAUSFORDERUNGEN UND HANDLUNGSBEDARF

Schlussbericht
Bern / Heidelberg, 31. Mai 2011

Mario Keller, Cuno Bieler, Benjamin Belart (INFRAS)
Wolfram Knörr, Alexander Schacht, Frank Kutzner (IFEU)

7177A_OEV_UMWELT_V5.DOC

IFEU

WILCKENSSTRASSE 3
D-69120 HEIDELBERG
t **+49 6221 4767 0**
f **+49 6221 4767 19**

WWW.IFEU.DE

INFRAS

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN
t **+41 31 370 19 19**
f **+41 31 370 19 10**
BERN@INFRAS.CH

BINZSTRASSE 23
CH-8045 ZÜRICH

WWW.INFRAS.CH

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG 4

1. WORUM GEHT ES 12

2. WAS HEISST „UMWELTBELASTUNG IM VERKEHR“? 13

2.1. WELCHE UMWELT-BEREICHE INTERESSIEREN? 13

2.2. WELCHE VERKEHRSMITTEL WERDEN BETRACHTET? 15

2.3. WELCHE PROZESSE SIND VON BELANG? 16

2.4. WORAUF BEZIEHT SICH DER VERGLEICH? 17

2.5. GRUNDLAGEN 18

3. DAS VERKEHRSMENGENGERÜST DES LANDVERKEHRS 1990-2030 20

4. ENERGIEVERBRAUCH UND CO_2-EMISSIONEN DES VERKEHRS 22

4.1. DER HEUTIGE ZUSTAND 22

4.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG 35

4.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN 44

4.4. HANDLUNGSBEDARF 47

5. LUFTSCHADSTOFFE 50

5.1. DER HEUTIGE ZUSTAND 50

5.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG 51

5.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN 53

5.4. HANDLUNGSBEDARF 54

6. LÄRM UND ERSCHÜTTERUNGEN 55

6.1. DER HEUTIGE ZUSTAND 55

6.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG 58

6.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN 60

6.4. HANDLUNGSBEDARF 64

7. AUSWIRKUNGEN AUF RAUM UND BODEN 67

7.1. DER HEUTIGE ZUSTAND 67

7.1.1. Flächenverbrauch durch Verkehrsanlagen 67

7.1.2. Zersiedelung 69

7.1.3. Landschaftszerschneidung 71

7.1.4. Boden- und Gewässerbelastung 73

7.2. LAUFENDE AKTIVITÄTEN 74

7.3. HANDLUNGSBEDARF 76

8. DIE RHEINSCHIFFFAHRT UND IHRE UMWELTAUSWIRKUNGEN _____ 78
8.1. DIE SCHIFFFAHRT IN DER SCHWEIZ _____ 78
8.2. UMWELTAUSWIRKUNGEN DER RHEINSCHIFFFAHRT _____ 79
8.3. HANDLUNGSBEDARF _____ 84
9. FOLGERUNGEN UND HANDLUNGSBEDARF _____ 85
9.1. EINSCHÄTZUNG DER EINZELNEN UMWELTBEREICHE _____ 85
9.2. HANDLUNGSBEDARF _____ 89
ANNEX _____ 93
ANNEX 1: VERKEHRSMENGENGERÜST _____ 93
ANNEX 2: ENERGIEBEDARF UND CO_2-EMISSIONEN _____ 95
ANNEX 3: EMISSIONEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG _____ 99
ANNEX 4: SCHADSTOFF-EMISSIONEN (NO_X, PM10) _____ 104
ANNEX 5: SCHIFFFAHRT _____ 106
ANNEX 6: MITGLIEDER DER BEGLEITGRUPPE _____ 107
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS _____ 108
LITERATUR _____ 111

ZUSAMMENFASSUNG

Fragestellungen

Eine gute Verkehrsinfrastruktur ist fraglos ein wichtiger Standortfaktor, ebenso, dass der öffentliche Verkehr (ÖV) in der Schweiz dazu einen wichtigen Beitrag liefert. Neben der Sicherstellung einer guten Erschliessung von Städten und Regionen ist insbesondere der Umweltvorteil des ÖV gegenüber andern Verkehrsträgern eine wichtige Begründung für die Förderung durch die öffentliche Hand. Diese Studie geht folgenden Fragen nach:

› Wie ist der Stand der **Umweltvorteile des öffentlichen Verkehrs** (Schiene und Bus) namentlich im Vergleich zum motorisierten Strassenverkehr, dies jeweils im Personen- wie im Güterverkehr?

› Wie sieht die **künftige Entwicklung** in den nächsten rund 20 Jahren aus? Verändern sich die Relationen vor allem aufgrund technischer Fortschritte?

› In welchen Bereichen besteht beim ÖV allenfalls **Handlungsbedarf** auf Seiten des Bundes und/oder der Transportunternehmen, um den Umweltvorteil zu halten oder zu verbessern?

Fokus der Studie

Die Untersuchung beleuchtet folgende **Umweltbereiche**:

› *Primärenergieverbrauch* steht stellvertretend für die Umweltwirkungskategorie „energetischer Ressourcenverbrauch".

› Die *Treibhausgase* (v.a. CO_2-Emissionen) als Indikator für den Klimaeffekt.

› Die Belastung der Luft durch *Schadstoffe*, mit einem Fokus auf Stickoxide und Feinstaub (PM10) als Leit-Indikatoren für die Luftqualität.

› Die *Lärmbelastung*.

› Die *Auswirkungen auf Raum und Boden*: dazu zählen in erster Linie der Flächenbedarf, aber es werden auch weitere Folgewirkungen thematisiert, insbesondere die Zersiedlung, die Landschaftszerschneidung sowie die Belastung des Bodens und von Gewässern.

Die Untersuchung stellt den öffentlichen Verkehr in den Mittelpunkt[1]. Gleichzeitig wird als „Benchmark" der Strassenverkehr herangezogen, welcher zum Teil ähnliche Einsatz- bzw. Distanzbereiche wie der ÖV aufweist. So lässt sich besser einschätzen, wie gross die Umweltvorteile (oder -nachteile) sind, wie weit diese im Verlauf der Zeit Bestand haben oder sich verändern

1 In dieser Untersuchung wird der gesamte Schienengüterverkehr dem ÖV zugerechnet, während der öffentliche Güterverkehr auf der Strasse (z.B. Post) nicht dazu gezählt wird.

und welcher Handlungsbedarf sich daraus ableiten lässt. Diese Vergleiche wollen aber nicht die beiden Verkehrsträger gegeneinander ausspielen, zumal der ÖV in vielen Fällen auf die Strasse angewiesen ist (z.B. Autobusse, die „letzte Meile“ von Bahnfahrten, der kombinierte Güterverkehr). Nicht weiter in den Vergleich einbezogen werden die Luftfahrt, ebenso wenig der Langsamverkehr. Ein Sonderfall ist der Schiffsverkehr (namentlich die Rheinschifffahrt), dem ein eigenes Kapitel gewidmet ist.

Bei der Analyse von Umweltwirkungen spielen mehrere **Prozesse** eine Rolle:
Der *Betrieb* der Fahrzeuge; die *Energiebereitstellung* „vom Bohrloch bis zur Tankstelle“ („Well-to-Tank“); Erstellung, Unterhalt und Entsorgung der *Fahrzeuge*, und Erstellung und Unterhalt der *Verkehrswegeinfrastruktur*. Die ganze Kette ist vor allem für den Energieaspekt sowie die Schadstoffe von Interesse. Die Studie macht dafür denn auch eine Gesamtbetrachtung aller Prozessteile. Für die Beurteilung der zeitlichen Entwicklung wird der Fokus dann auf die (relevantesten) Teile des Betriebs und der Energiebereitstellung gelegt.

Einschätzung der einzelnen Umweltbereiche

Tabelle Z-1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Komponenten der Umweltbelastung durch Verkehr und macht eine qualitative Einordnung ihrer Bedeutung abgeleitet aus der Diskrepanz zwischen einem Wunsch- und Ist-Zustand (z.B. dem Ausmass von Grenzwert-Überschreitungen). Gleichzeitig werden der Stand der Umweltbelastung der verschiedenen Aspekte bei ÖV und Strasse grob beurteilt und die Trends skizziert.

UMWELTBELASTUNG DURCH VERKEHR					
Thema	**Bedeutung**	**Stand ÖV**	**Trend ÖV**	**Stand Strasse**	**Trend Strasse**
Energieverbrauch absolut	●		☹		😐
Energieeffizienz	●		😐		☺
CO_2-Emissionen	●		☹		☺
Luftschadstoff-Emissionen	●		😐		☺
Lärm	●		😐		😐
Erschütterungen	•		😐		😐
Flächenverbrauch	•		😐		😐
Zerschneidung der Landschaft	•		😐		😐
Boden- und Gewässerbelastung	·		😐		😐

Tabelle Z-1 Qualitative Übersicht über Stand und Trends der Umweltbelastung im Verkehr bei Strasse und ÖV. Grün ist eine eher positive, rot eine je nach Intensität der Diskrepanz zwischen Wunsch- und Ist-Zustand unterschiedlich stark negative Beurteilung des entsprechenden Beitrags zur Umweltbelastung. Die Trends werden klassifiziert in „Verbesserung", „keine signifikante Veränderung" oder „tendenzielle Verschlechterung" gegenüber heute.

Zu den einzelnen Komponenten:

Energieverbrauch und –effizienz sind Problemfelder, die vor allem mit Blick auf die Zukunft eine Herausforderung darstellen. Heute beträgt der Anteil des ÖV am Primärenergieverbrauch des Personenverkehrs rund 9% bei 20% Anteil an der Verkehrsleistung (Pkm); der Bahnanteil liegt bei knapp 6% bei 16% Verkehrsanteil. Im Güterverkehr sind es 8.5% Primärenergieverbrauchanteil bei 35% Anteil an der Transportleistung (tkm). Energetisch hat der ÖV heute also klare Vorteile. Aufgrund des erwarteten Nachfragewachstums beim ÖV dürfte der absolute Energieverbrauch gegenüber heute – trotz Zunahme der Effizienz – zunehmen. Die Deckung des zusätzlichen Strombedarfs wird entsprechend zu einer grossen Herausforderung namentlich vor dem Hintergrund der gegenwärtig laufenden Debatte zur Stromproduktion (Akzeptanz der Kernenergie, Diskussion um den Ausstieg aus der Kernenergie, Forcierung der erneuerbaren Energien, Strompreisentwicklung etc.). Bei der Strasse verbleibt der Trend beim Gesamtenergieverbrauch auf hohem Niveau, auch wenn durch Einsatz energieeffizienterer Fahrzeuge der Verkehrsmengenzuwachs überkompensiert werden dürfte, der absolute Energiebedarf gegenüber heute also abnehmen dürfte. Entsprechende Massnahmen (wie etwa CO_2-Zielwerte für Neuwa-

gen) sind eingeleitet. Auch die Elektromobilität könnte langfristig zur Abnahme beitragen, wobei sich aus Versorgungssicht (Stromproduktion) dann analoge Fragen wie beim ÖV auch strassenseitig stellen.

Bei der *CO_2-Belastung* kommt der grosse Vorteil der Bahn zum Tragen, weil sie nicht nur energieeffizienter ist, sondern weil sie in der Schweiz zu gut 75% mit erneuerbarer Energie und damit nahezu klimaneutral unterwegs ist; die übrigen 25% steuert Atomstrom bei, was allein aus Klimasicht ebenfalls vorteilhaft ist. Auch wenn die Bahn mit einem europäischen Durchschnittsstrommix (UCTE) betrieben würde, wäre sie verkehrsleistungsbezogen noch um einen Faktor 3 besser als der motorisierte Individualverkehr. Allerdings fallen auch für die Bahn bei der Herstellung von Fahrzeugen und Infrastruktur entsprechende Emissionen an, diese sind aber – aufgrund der intensiveren Nutzung von Fahrzeugen und Infrastruktur – tiefer als bei der Strasse. Auch Autobusse sind – trotz Verbrennungsmotorantrieb – im Mittel CO_2-mässig um rund 25% vorteilhafter unterwegs als der motorisierte Individualverkehr.

Luftschadstoffe: Durch den grossen Anteil an weitgehend schadstofffreiem Bahnbetrieb sowie aufgrund des hohen Ausrüstungsgrades mit Dieselpartikelfiltern bei den Autobussen schneidet das heutige ÖV-System in der Schweiz sehr gut ab. Aber auch die Schadstoffbelastung durch den Strassenverkehr hat markant abgenommen und wird auch in Zukunft noch weiter abnehmen, so dass die Problematik der verkehrsbedingten Luftschaftstoffe bzw. Luftqualität mittelfristig stark an Bedeutung verlieren wird.

Die *Lärmbelastung* ist ein Problembereich und wird es trendmässig auch mittelfristig bleiben. Tagsüber sind rund 16% der Bevölkerung, nachts rund 10% (trotz Nachtfahrverbot für schwere Lastwagen) übermässigem Strassenverkehrslärm ausgesetzt. Eisenbahnlärm betrifft zwar insgesamt weniger Personen, aber nachts sind doppelt so viele Leute betroffen wie tagsüber, was vor allem auf den lärmigen Güterverkehr zurückzuführen ist. Mittlerweile sind bei der Strasse wie bei der Schiene kostspielige Massnahmenprogramme zur Lärmbekämpfung in der Umsetzung, auch wenn sie gegenüber dem ursprünglichen Sanierungsfahrplan gewisse Verzögerungen aufweisen. Es ist jedoch absehbar, dass auch nach Ablauf der angepassten Sanierungsfristen noch ein namhafter Teil der Bevölkerung durch übermässigen Strassenlärm belastet sein wird, u.a. weil das Verkehrswachstum einen Teil des Sanierungserfolgs wieder wettmachen wird. Bei der Schiene ist das Bild nicht unähnlich. Eine Herausforderung stellt hier insbesondere der lärmige Schienengüterverkehr dar, und hier vor allem der internationale Güterverkehr, der schwerer beeinflussbar ist als der nationale.

Erschütterungen sind vor allem ein Problem des Schienenverkehrs. Diese sind komplexer als Lärm, und zwar sowohl bei der Ermittlung als auch bei der Bekämpfung. Lärmschutzwände

und –fenster bieten dagegen keine Abhilfe. Die Entwicklung und Erprobung von Massnahmen zum Schutz vor Erschütterungen ist zurzeit im Gang, mit einer kurzfristigen Behebung der Problematik kann nicht gerechnet werden.

Bei den *Auswirkungen auf Raum und Boden* ist zu differenzieren:

› Der *Flächenverbrauch durch Verkehrsanlagen* ist einmal ein Mengenproblem. Von den gegen 90'000 ha Verkehrsfläche entfallen 91% auf Strassen, Wege und Parkplätze, 7% auf die Bahn und 2% auf Flugplätze. Die Aussagekraft einer solchen einfachen Zuordnung ist allerdings begrenzt, weil vor allem die Strassen häufig mehrfach genutzt werden, sie dienen z.B. auch dem ÖV wie auch dem Langsamverkehr. Der spezifische Flächenverbrauch des ÖV ist klar geringer bzw. seine spezifische Leistungsfähigkeit (z.B. in Personen pro m^2) grösser als jene von Strassenverkehrsmitteln.

› Die *Zersiedelung* ist eine Folgewirkung des Flächenverbrauchs. Weniger die Zersiedelung per se ist ein Umweltproblem als vielmehr deren verkehrlichen Folgen: der zersiedelungsbedingte Mehrverkehr weist beispielsweise eine hohe Energieintensität auf, weil er in der Regel stark strassenorientiert ist. Eine ÖV-orientierte Siedlungsentwicklung gibt den Haushalten mehr Spielraum zur Nutzung von Langsamverkehr und ÖV, ermöglicht kürzere Wege zu Dienstleistungen, Arbeitsplätzen und Erholungsstätten, reduziert die Abhängigkeit vom Auto und spart nicht nur Energie, sondern auch Transportkosten.

› Die *Landschaftszerschneidung* ist nicht nur eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und führt zu Bearbeitungserschwernissen z.B. für Land- und Forstwirtschaft, sie ist auch ein Umweltproblem. Die starken Barrierewirkungen gefährden die Artenvielfalt. Autobahnen (im Unterschied zu Bahnstrecken) werden aus Sicherheitsgründen eingezäunt, was das Unfallrisiko wesentlich verringert, aber gleichzeitig den Lebensraum einzelner Tierarten zertrennt und die Tierpopulationen noch stärker voneinander isoliert.

› Bezüglich *Boden- und Gewässerbelastung* sind diffus in die Umwelt freigesetzte problematische Stoffe der potenzielle Problembereich. Strassenseitig sind es u.a. der Pneu- und Bremsabrieb, schienenseitig der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, daneben auch Emissionen von Schwermetallen sowie Kohlenwasserstoff-Emissionen. Es bestehen allerdings Kenntnislücken über deren effektives Belastungsausmass, die derzeit durch Grundlagenarbeiten geschlossen werden sollen. Bei Umbauten und Neuanlagen wird dem Aspekt durch einschlägige Regelwerke und Richtlinien (z.B. Umweltberichterstattung, Umweltverträglichkeitsprüfung) gebührend Rechnung getragen.

Folgerungen und Handlungsbedarf

Man kann aus diesen Einschätzungen zwei Folgerungen ableiten:

› Der ÖV hat heute bezüglich vielen Umweltbereichen gewichtige Vorteile im Vergleich zur Strasse (Energieeffizienz, Schadstoffe, Bodenverbauch).

› Die Trends sind aber teilweise gegenläufig: Die Strasse holt tendenziell auf, der ÖV stagniert oder die Situation kann sich gar verschlechtern (u.a. als Folge starken ÖV-Wachstums).

Die *erste Folgerung* legitimiert letztlich die verkehrspolitischen Bestrebungen, den öffentlichen Verkehr zu fördern, da eine Verlagerung von der Strasse zum ÖV – im Personen- wie im Güterverkehr – einen signifikanten Beitrag zu einer effizienteren Ressourcennutzung (Energie, Boden) und zur Reduktion der Umweltbelastung liefert. Umfang und Mittel für eine solche Verlagerung variieren je nach Verkehrsart. Die Förderung des ÖV, sei es durch finanzielle Betriebsbeiträge, sei es durch Kapazitätssteigerungen und / oder durch eine Attraktivierung des Angebots durch Verdichtungen oder Fahrzeiteinsparungen mit entsprechendem Infrastrukturausbau ist eine der verfolgten Stossrichtungen. Aus Umweltoptik anzumerken bleibt allerdings, dass eine Reduktion der Umweltbelastung erst dann resultiert, wenn Verkehr effektiv von der Strasse zum ÖV verlagert wird. Förderungspolitik garantiert dies nicht zwangsläufig, sondern kann dazu führen, dass auch aus Umweltsicht unerwünschter Neuverkehr entsteht. Es ist letztlich entscheidend, wie mit der Mobilitätsnachfrage umgegangen wird. Undifferenzierte Förderungspolitik tendiert dazu, durch falsche Anreize vor allem Mehrverkehr zu generieren. Das gilt für den ÖV wie für die Strasse. Die neu lancierte Diskussion um eine Finanzierung des Verkehrssystems, welche die Kostenwahrheit verstärkt in den Vordergrund rückt und den Nutzern der Infrastrukturen höhere Beiträge abfordert, zielt zumindest in die richtige Richtung, weil sie verursachergerecht ist und tendenziell nachfragedämpfend wirkt.

Die *zweite Folgerung* impliziert, dass die Umweltvorteile des ÖV insbesondere gegenüber dem motorisierten Strassenverkehr tendenziell geringer werden. Dies vor allem weil die Strasse aufholen wird, was per se zu begrüssen ist, da sich so die Gesamtbelastung des Verkehrs reduziert. Für den ÖV ergibt sich daraus aber Handlungsbedarf, soll der Vorteil langfristig gewahrt bleiben. Adressaten sind einerseits der Regulator bzw. Eigner (namentlich der Bund), andererseits die Transport-Unternehmen des öffentlichen Verkehrs. Der Handlungsbedarf variiert je nach Umweltkomponente. Im Vordergrund stehen zwei Bereiche:

› Die *Energie* ist im Schienenverkehr noch effizienter einzusetzen und der Strom ist auch bei weiterem Verkehrswachstum nachhaltig (erneuerbar und klimaneutral) zu produzieren.

› Den *Bahnlärm* (namentlich des Güterverkehrs) ist vor allem an der Quelle mit lärmarmem Rollmaterial weiter zu reduzieren.

Der erkannte **Handlungsbedarf** beim ÖV wird nachfolgend zusammengestellt:

Energieverbrauch und CO_2-Emissionen
› Datenerhebung und Controlling: › Verbesserung der Datenerhebungen und Koordination der statistischen Auswertungen des Energieverbrauchs. › Ermittlung und Publikation von Energie-Kennziffern für Bahnen, Tram, Trolley- und Autobusse, um so ein Benchmarking zwischen den Transportunternehmen zu ermöglichen.
› Strategische Zielsetzungen für Energie und Klima formulieren: › Entwicklung einer Energie- und Klimastrategie für den ÖV (u.a. „CleanTech-Strategie"). › Definition von Zielvorgaben für TU bzgl. Energieverbrauch und CO_2-Emissionen (z.B. im Rahmen von Leistungsvereinbarungen). › Aktive Support-Rolle des BAV: › Unterstützung der TU bei der Evaluation von Massnahmen zur Steigerung der Energie- und Klimaeffizienz im Betriebsmanagement, bei der Weiterentwicklung des Fahrzugparks (Neu- und Umbaufahrzeuge), bei der Produktion erneuerbarer Energie. › Technologiemonitoring.
› Ausarbeitung von Beschaffungskriterien bei der Bestellung von Neufahrzeugen im öffentlichen Verkehr.
› Finanzielle Anreize schaffen zur Förderung der Energieeffizienz, Anpassen Trassenpreissystem, Entwicklung der dafür notwendigen Voraussetzungen.
Schadstoffe
› Bei Autobussen: › Stickoxide: Einführung eines Monitorings zur Stickoxid-Absenkungsproblematik (SCR-Technologie), Unterstützung einschlägiger Untersuchungsprogramme. › Partikel: Problematik insofern gelöst, als die Flotten grossmehrheitlich mit Partikelfiltern ausgerüstet sind. Entwicklung zweckmässiger Verfahren für die Online-Messung von Partikelemissionen zur Prüfung des Filterverhaltens im realen Betrieb.
› Rangierlokomotiven und –traktoren: weitere Ausrüstung mit Partikelfiltern als Teil einer „CleanTech-Strategie".
› ÖV-Statistik aufschlussreicher gestalten (räumliche Differenzierung von Energieverbrauch und Technologien, ggf. nach TU).

Lärm und Erschütterungen
› Entwickeln einer „Lärmstrategie Bahn“ als Richtlinie für diesbezügliche Bundesaktivitäten.
› Umsetzung von Massnahmen an der Infrastruktur mit kurzfristiger Wirkung (Schienenschleifen sowie der Einbau von Schienenschallabsorbern).
› Finanzielle Anreize und Lenkungsmassnahmen schaffen zur Einführung lärmarmen Rollmaterials namentlich im Güterverkehr: › Anpassung des Trassenpreissystems mit Erhöhung der Lärmkomponente. › Direkte finanzielle Förderung durch Finanzierung der Differenzkosten von lärmarmen im Vergleich zu konventionellen Güterwagen.
› Mittelfristig regulatorische Eingriffe / Verbote von lärmintensivem Rollmaterial bzw. Einführung entsprechend verschärfter Emissionsgrenzwerte.
› Forschung und Entwicklung: › Äufnen eines Innovationsfonds. › Grundlagenforschung, pro-aktives Angehen der Fragen um den sog. Schienenbonus.
› Weitere Intensivierung der Arbeiten zum Lärmschutz auf internationaler Ebene mit dem Ziel der Sanierung ausländischer Güterwagen.
› Erschütterungsschutz: Entwickeln / Erproben technischer Massnahmen bei Infrastruktur und Rollmaterial als Basis für die Konkretisierung der Umweltschutzgesetzgebung (Verordnung Erschütterungsschutz).
› Rahmenbedingungen von Seiten Politik: Finanzmittel aus dem FinöV-Verpflichtungskredit zugunsten des Lärmschutzes sichern.
Auswirkungen auf Raum und Boden
› Zersiedlung: explizite Integration als Beurteilungsaspekt bei Ausbaukonzepten.
› Zerschneidung: › Identifikation neuralgischer Punkte („hotspots“), wo die Bahn zur Zerschneidung der Landschaft und von Lebensräumen beiträgt. › Evaluation entsprechender Massnahmen anhand etablierter Checklisten.
› Bodenbelastung: Es besteht kein unmittelbarer Bedarf nach weiteren Massnahmen, vielmehr ist auf die konsequente Umsetzung der bestehenden Regelungen zu achten.
Sonderthema Rheinschifffahrt
› Umweltbezogener Handlungsbedarf bei Luftschadstoffemissionen und zur Abfallbeseitigung ist weitgehend erkannt, neue Bestimmungen sind beschlossen.
› Nutzen des Potenzials bei der techn. Sicherheit bei der Beförderung von flüssigen Stoffen.

1. WORUM GEHT ES

Mobilität gilt als eines der Grundbedürfnisse des Menschen. Sie gilt auch als Rückgrat für Wohlstand. Eine gute Verkehrsinfrastruktur ist denn auch ein wichtiger Standortfaktor, für deren Qualität die Schweiz bekannt ist. Wirtschaft und Tourismus sind auf eine gute Infrastruktur angewiesen. Doch zeichnet sich ab, dass Angebot und Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs (ÖV) zumindest in Spitzenstunden immer stärker ausgelastet sind und an Grenzen stossen. Ein Ende des Wachstums ist momentan nicht absehbar, deshalb stehen weitere Ausbauprogramme an (z.B. ZEB, FABI [ehemals Bahn 2030]). Das bedingt einen bedeutenden finanziellen Einsatz öffentlicher Gelder für Betrieb und Ausbau des öffentlichen Verkehrs, weil ein kostendeckender Betrieb unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht möglich scheint.

Neben der Sicherstellung einer guten Erschliessung von Städten und Regionen ist insbesondere der Umweltvorteil des ÖV gegenüber Strasse und Luftfahrt eine wichtige Begründung für den Einsatz der öffentlichen Hand. Technische Entwicklungen z. B. beim motorisierten Individualverkehr haben den Umweltvorteil in den letzten Jahren möglicherweise vermindert, absehbare weitere Innovationen (wie etwa Elektro-Antrieb) könnten den Umweltvorteil des ÖV in gewissen Bereichen künftig weiter schmälern. Die Frage würde dann akzentuiert, ob die öffentliche Hand auch künftig jährlich grosse Beträge für den ÖV bereitstellen soll und dabei Umweltvorteile geltend machen kann.

Vor diesem Hintergrund geht die vorliegende Studie, deren Erarbeitung von einer Arbeitsgruppe begleitet wurde (vgl. Annex 6), folgenden Fragestellungen nach:

- Wie ist der **Stand der Umweltvorteile des öffentlichen Verkehrs** (Schiene und Bus) namentlich im Vergleich zum motorisierten Strassenverkehr, dies jeweils im Personen- wie im Güterverkehr?
- Wie sieht die **künftige Entwicklung** in den nächsten rund 20 Jahren aus? Verändern sich die Relationen vor allem aufgrund technischer Fortschritte?
- Welche Bereiche können daraus abgeleitet werden, bei denen **Handlungsbedarf** auf Seiten des Bundes und/oder der Transportunternehmen besteht?

2. WAS HEISST „UMWELTBELASTUNG IM VERKEHR“?

2.1. WELCHE UMWELT-BEREICHE INTERESSIEREN?

Die Verkehrsmittel – wie die meisten unserer Aktivitäten – beeinflussen verschiedene Umwelt-Komponenten. Verschiedene Grundlagenarbeiten zu Umweltindikatoren im Verkehr der letzten Jahre haben gezeigt, dass die folgenden Komponenten im Vordergrund stehen, welche auch in dieser Studie genauer beleuchtet werden sollen (Infras 1995, GVF 1997, Frischknecht et.al. 2007, Spielmann et.al. 2008):

› Der **Primärenergieverbrauch** steht stellvertretend für die Umweltwirkungskategorie „energetischer Ressourcenverbrauch“. Er beziffert hauptsächlich den Verbrauch an fossilen Energieträgern, die auf der Erde begrenzt vorhanden sind und mit denen aus diesem Grund sparsam umgegangen werden sollte. Die Rekordpreise für Rohöl in der jüngsten Zeit und die Diskussion um „peak oil“ hat diesen Punkt verstärkt in die öffentliche Diskussion gerückt. Aber auch die Problematik des Stromverbrauchs ist damit angesprochen, einerseits weil die Stromproduktion grundsätzlich vor neuen Herausforderungen steht (Akzeptanz der Kernenergie, Diskussion um den Ausstieg aus der Kernenergie, Forcierung der erneuerbaren Energien, Strompreisentwicklung etc.), andererseits weil der Trend gleichzeitig in diversen Verbrauchssektoren (Prozessenergie, Dienstleistungen, Wärme/Wärmepumpen etc.), aber im Verkehr (Elektromobilität!). in Richtung Stromzunahme zeigt.

› Beim **Treibhauseffekt** treffen Sonnenstrahlen auf die Erde und werden in Wärme umgewandelt. Vom Menschen (anthropogen) zusätzlich verursachte Treibhausgase verhindern die Abstrahlung der Wärme ins Weltall und führen zu einer langsamen Erderwärmung – dem Klimawandel. Damit verbunden sind u.a. die Verschiebung ganzer Vegetationszonen sowie Extremwetterereignisse, welche die Flucht von Millionen von Menschen zur Folge haben (IPCC 2007a). Deshalb und aufgrund seiner hohen volkswirtschaftlichen Kosten (Stern 2006) gilt der Klimawandel heute als grösstes Umweltproblem.

› Die **Belastung der Luft durch Schadstoffe** ist eine der bekannten negativen Folgen namentlich des Strassenverkehrs. Dieser basiert praktisch ausschliesslich auf dem Antrieb mit Verbrennungsmotoren und ist somit einer der wichtigsten Emittenten verschiedener Schadstoffe, während der Schienenverkehr in der Schweiz praktisch ausschliesslich elektrisch und damit sauber, d.h. ohne motorische Schadstoffemissionen, betrieben wird. Schadstoff-Emissionen können allerdings bei der Stromproduktion von Belang sein. Die Schweiz ist hier in der favorablen Lage einer bezüglich Luftschadstoffen „sauberen“ Stromproduktion (SBB-Strommix: rund 75% Wasserkraft und 25% Kernenergie). Die jüngste Vergangenheit zeigt aber deutlich,

dass mit Kernenergie andere Probleme und Risiken verbunden sind, welche im Rahmen dieser Studie nicht weiter behandelt werden. Je nach Entwicklung könnte sich die Situation bezüglich Schadstoff-Emissionen in Zukunft verändern, bedarf also der genaueren Betrachtung. Bei den Schadstoffen fokussieren wir auf zwei Leitschadstoffe als Indikatoren für die Luftqualität: die Stickoxide (NO_x) und den Feinstaub (PM10).

- **Stickoxide** (als Sammelbegriff für Stickstoffdioxid [NO_2] und Stickstoffmonoxid [NO]) können bei übermässigen Konzentrationen Ursache der Erkrankung der Atemwege sein, sie führen aber auch zu vielfältiger Schädigung von Pflanzen und empfindlichen Ökosystemen bei kombinierter Einwirkung mehrerer Schadstoffe und zu einer Überdüngung von Böden und Gewässern. Sie sind auch wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von sauren Niederschlägen, sekundären Aerosolen und – zusammen mit den flüchtigen organischen Verbindungen – Ozon und Sommersmog (BAFU 2008).
- Unter **Feinstaub (oder PM10)** versteht man Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer. Staub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. Es besteht sowohl aus primär emittierten wie aus sekundär gebildeten Komponenten natürlichen und anthropogenen Ursprungs (z.B. Russ, geologisches Material, Abriebspartikel, biologisches Material). Dieses Schadstoffgemisch besteht aus einer Vielzahl von chemischen Verbindungen mit teils Krebs erzeugender Wirkung, es kann auch anderweitig zu schwerwiegenden Auswirkungen auf die Gesundheit führen (Husten, Atemnot, Bronchitis und Asthmaanfällen, Atemwegs- und Herzkreislauf-Erkrankungen) (AefU 2007a, BAFU 2010).

- **Lärm** ist nicht nur lästig, sondern schädigt auch die menschliche Gesundheit (AefU 2007b). Verkehrslärm ist ein lokales und temporäres Phänomen, das zeitlich begrenzt nur in dem Moment auftritt, in dem Fahrzeuge bestimmte Orte passieren. Verkehrslärm verursacht selten Gehörschäden, dazu reichen die Höhe und Dauer der emittierten Schallpegel nicht aus. Doch auch unterhalb dieser Gehör schädigenden Schallpegel wirkt Lärm auf den menschlichen Körper als Stressfaktor und gesundheitsschädigend. Lärmbedingte vegetative Reaktionen wirken sich auf die Herzaktivität, den Blutkreislauf, den Stoffwechsel und die Atemfrequenz aus. Durch Lärm kann es zu Schlafstörungen kommen, die sich u.a. in einer Verringerung der Schlaftiefe, der Schlafdauer und des Schlafrhythmus äussern können – dies auch bei einer scheinbar wahrgenommenen Gewöhnung. Dazu verursacht Verkehrslärm auch psychosoziale Auswirkungen, d.h. subjektiv wahrgenommenen Beeinträchtigungen wie eine verringerte Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit, Kommunikationsstörungen und empfundener Ärger.
  Anders als beim Energieverbrauch oder bei Schadstoffemissionen ist weniger die Emission ein

relevanter Indikator, vielmehr interessiert die Betroffenheit, z.B. in Anzahl Personen, welche durch übermässigen Lärm belastet sind, wobei „übermässig“ sich typischerweise auf überschrittene Richt- oder Grenzwerte beziehen. Deshalb wird das Thema Lärm in einem eigenen Kapitel abgehandelt (Kap. 6).

› Verkehr (ver)braucht auch **Fläche**. Das bezeichnet zum einen die dauerhafte Inanspruchnahme von Fläche und deren *Versiegelung*. Verkehrlich genutzte Fläche geht in aller Regel anderen Zwecken verloren. Die Versiegelung von Verkehrswegen trägt darüber hinaus zum Absinken des Grundwasserspiegels bei, da weniger Regenwasser in Böden einsickern kann, sondern über die angrenzende Kanalisation abgeführt wird. Mit dem Flächenverbrauch ist aber auch die *Zerschneidung oder Trennwirkung* verbunden. Das meint die zerschneidende Wirkung von Verkehrsträgern aufgrund der auf ihnen verkehrenden Fahrzeuge. Während sie im Nahverkehr vor allem zu Verlust von Aufenthaltsqualität für den Menschen führt, trägt sie im Fernverkehr zur Zerschneidung von Lebensräumen für Flora und Fauna bei. Bestimmte Tier- und Pflanzenpopulationen benötigen für eine gesicherte Arterhaltung gewisse Mindestgrößen an zusammenhängendem Lebensraum. Durch dessen Zerschneidung können bestimmte Tierarten in ihrem natürlichen Wanderungsverhalten beeinträchtigt werden. Zudem führt der Siedlungsdruck zum Verlust zusammenhängender Natur- und Kulturflächen. Der Verkehr ist zwar nicht der Hauptverursacher der Zersiedelung; der grösste Flächenverbrauch geht auf die Erstellung von Gebäuden zurück. Die Erschliessung von Siedlungen erhöht aber die Erreichbarkeit der Siedlungsränder und fördert damit indirekt die weitere Ausdehnung des überbauten Raums. Für den Flächenverbrauch, die Trennwirkung und die Zersiedelung gibt es keine wissenschaftliche Methode, um einheitlich die Anteile der jeweiligen Verkehrsmittel an diesen Umweltproblemen zu bestimmen. Deshalb wird hier auf eine Auswertung der Verkehrsmittel verzichtet und nur auf die unterschiedlichen Verkehrsträger (Strasse, Schiene, Luft) eingegangen.
Schliesslich fällt auch die *Belastung des Bodens und von Gewässern* durch den Betrieb von Verkehrsmitteln in Betracht. Wie beim Lärm wird in einem eigenen Kapitel auf die Thematik von Flächenverbrauch und zugehörigen Aspekten eingegangen (Kap. 7).

2.2. WELCHE VERKEHRSMITTEL WERDEN BETRACHTET?

Diese Untersuchung stellt den öffentlichen Verkehr in den Mittelpunkt. Umweltauswirkungen lassen sich aber oft nur schwer in ihrem absoluten Umfang würdigen, deshalb werden hier andere Verkehrsmittel als „Benchmark“ herangezogen. So lässt sich besser einschätzen, wie weit der

ÖV über Umweltvorteile verfügt, wie weit diese Vorteile im Verlauf der Zeit Bestand haben oder sich verändern und welcher Handlungsbedarf sich daraus ableiten lässt.

Naheliegenderweise werden für diesen Vergleich jene Verkehrsmittel herangezogen, mit denen der öffentliche Verkehr am ehesten in unmittelbarem Wettbewerb steht, namentlich was Einsatz- bzw. Distanzbereiche betrifft, d.h. die Strassenverkehrsmittel. Nicht in solche Vergleiche einbezogen wird deshalb der (umweltschonende) Langsamverkehr. Die relative Positionierung des ÖV gegenüber „der Strasse“ will aber die beiden Verkehrsträger nicht gegeneinander ausspielen, zumal der ÖV in vielen Fällen auf die Strasse angewiesen ist. Das gilt offensichtlich für die Autobusse, trifft aber auch für den Schienenverkehr zu, weil die „letzte Meile“ einer Fahrt häufig über die Strasse führt, also auch den Langsamverkehr einschliesst. Augenscheinlich ist das auch beim kombinierten Güterverkehr, wo Strasse und Schiene eng miteinander gekoppelt sind. Trotz dieser Verflechtungen werden – mit Blick auf das Ziel der Studie, Handlungsbedarf beim ÖV zu orten – vereinfachende Vergleiche angestellt, und zwar mit folgender Differenzierung zwischen ÖV und Strassenverkehr:

› Öffentlicher Verkehr
  › Öffentlicher Nahverkehr, differenziert nach Tram, Trolleybus und Autobus
  › Schienenverkehr, differenziert nach Personen- und Güterverkehr
› Strassenverkehr
  › Personenverkehr: Personenwagen, Reisebusse, Motorräder
  › Güterverkehr: Lieferwagen, schwere Nutzfahrzeuge

Auf den Einbezug des **Luftverkehrs** wird verzichtet, da dies vor allem im internationalen Verkehr eine Rolle spielt, der Fokus der Untersuchung aber aufgrund des Handlungsspielraums auf der nationalen Ebene liegt.

› Ein Sonderfall ist der **Schiffsverkehr** (namentlich die Rheinschifffahrt), welcher in einem eigenen Kapitel behandelt wird (Kapitel 8).

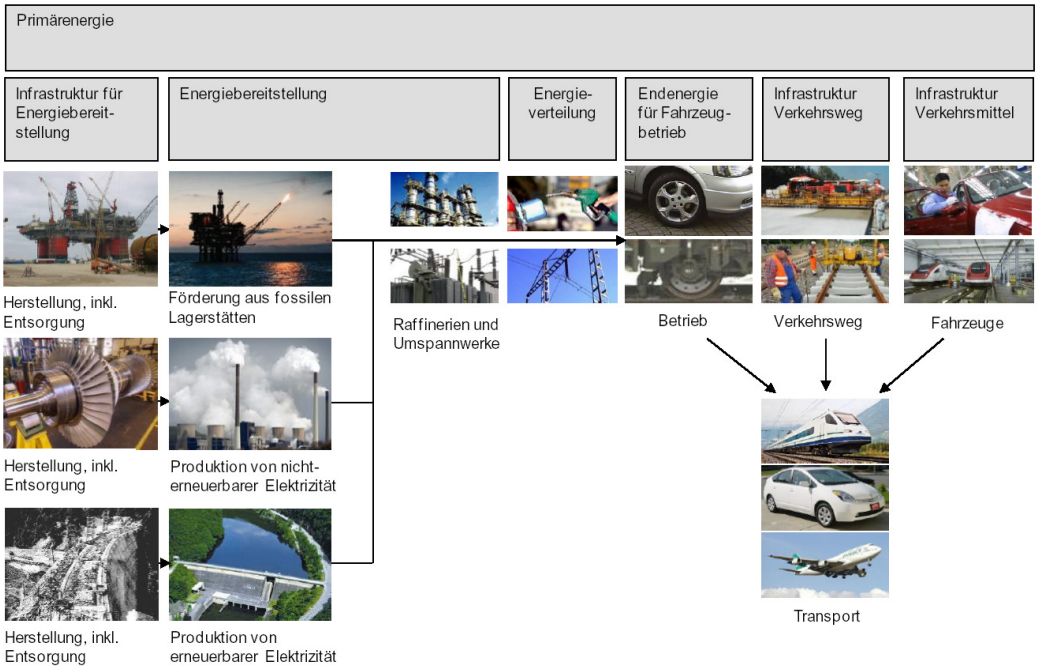
Diese Differenzierung nach Verkehrsmitteln kann nicht konsequent durchgezogen werden. So kann bei der Diskussion von flächenbezogenen Aspekten sinnvollerweise nur nach Verkehrsträgern differenziert werden (Schiene, Strasse), beim Lärm wird zusätzlich nach Personen- bzw. Güterverkehr unterteilt.

2.3. WELCHE PROZESSE SIND VON BELANG?

Die nachstehende Figur zeigt alle umweltrelevanten Prozesse, die in einer Analyse der Umweltwirkung relevant sein können (vgl. Figur 1):

› Der **Betrieb** des Fahrzeugs mit seinen unmittelbaren Auswirkungen.

› Die **Energiebereitstellung** vom „Bohrloch bis zur Tankstelle“ („Well-to-Tank“), einschliesslich Erstellung, Unterhalt und Entsorgung der dazu notwendigen Infrastruktur und der Energieverteilung.
› Erstellung, Unterhalt und Entsorgung der **Fahrzeuge**.
› Erstellung und Unterhalt der **Verkehrswegeinfrastruktur**.



Figur 1 Umweltrelevante Prozesse im Verkehr. Quelle: Mobitool Grundlagenbericht (Mobitool 2010).

Je nach Komponente wird der Fokus unterschiedlich gelegt: Beim Energieverbrauch interessiert neben dem End- auch der Primärenergieverbrauch. Bei den Schadstoffen geht es primär um die Schadstoffe im Betrieb, weil diese die lokalen Immissionen unmittelbar betreffen. Bei beiden Komponenten fügen wir aber ergänzende Gesamtbetrachtungen an, um den Stellenwert der Produktion von Fahrzeugen und der Erstellung der Infrastruktur mit einzubeziehen. Lärm ist in erster Linie verursacht durch den Betrieb, und Flächenverbrauch ist primär von der Infrastruktur abhängig.

2.4. WORAUF BEZIEHT SICH DER VERGLEICH?

Als Einstieg wird zuerst gefragt, wie viel der öffentliche Verkehr heute zur Umweltbelastung beiträgt – und zwar in absoluten Grössen. Dabei werden die gleichen Kenngrössen auch für den Strassenverkehr aufgezeigt, um die absoluten Belastungen miteinander in Beziehung setzen zu

können. Soweit möglich und verfügbar werden dabei auch Zeitreihen dargestellt, und zwar retrospektiv bis 1990 zurück, und prospektiv bis 2030. Damit wird ausgehend von heute (2010) ein Zeitraum von minus 20 Jahren bis plus 20 Jahren aufgespannt. Für die künftige Entwicklung sind selbstredend Annahmen zu treffen, sowohl was die Verkehrsentwicklung und das Wachstum in den einzelnen Segmenten als auch was die Entwicklung der spezifischen Komponenten (z.B. spezifischer Treibstoffverbrauch oder spezifische Schadstoffemission in g pro FzKm) betrifft.

Weil die Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel sehr unterschiedlich sind, wird neben der absoluten Belastung der Fokus auch auf die spezifischen Belastungen gerichtet, ausgedrückt als Belastung pro Verkehrsaktivität (z.B. Schadstoff-Emission pro Personen-Km oder pro Tonnen-Km). Das sind die relevanten Vergleichsparameter, spiegeln sich darin doch die durchschnittlichen verkehrlichen Einsatzbedingungen. Diese sind bei den betrachteten Verkehrsmitteln unterschiedlich: Der „private“ PW fährt dann, wenn der Fahrer es will; Mitfahrten müssen abgesprochen werden. Der „öffentliche“ Verkehr, wie er von Bus und Bahn angeboten wird, hat den Vorteil, dass er die Verkehrsnachfrage zu festen Zeitpunkten bündelt (also eine hohe Auslastung aufweist). Dies kann dem ÖV aber zum Nachteil gereichen, da er Verkehrsdienstleistungen auch zu nachfrageschwachen Zeiten anbieten muss.

Die Umweltwirkungen der realen Verkehrswelt werden letztlich auch durch die konkrete Verkehrs- und Fahrsituation entscheidend mitbestimmt. So ist die Strecke einer Reise zwischen denselben Orten auf der Strasse und der Schiene unterschiedlich. Für den Zu- und Abgang zu Bahnhöfen können verschiedene Verkehrsmittel genutzt werden. Deshalb werden ergänzend auch konkrete Fallbeispiele betrachtet, um den Einfluss verschiedener Parameter zu beleuchten (z.B. die Auslastung der Verkehrsmittel, Strommix, technologische Weiterentwicklung etc.).

2.5. GRUNDLAGEN

Diese Untersuchung orientiert sich so weit als möglich an vorliegenden Grundlagen. In einzelnen Fällen mussten eigene Annahmen getroffen werden, die im Einzelnen im Annex dokumentiert werden. Auch wenn die hier verwendeten und präsentierten Zahlen meistens offiziell verfügbaren Grundlagen entnommen sind, handelt es sich nicht um eigentliche Inventare. Ausgangspunkt ist der heutige Zustand, konkret die Umweltbelastung im Jahr 2010. (Die statistischen Zahlen sind dafür zwar noch nicht verfügbar; entsprechend sind die Daten für „heute“ aus statistischen Angaben für 2007/08/09 hochgerechnet). Davon ausgehend werden dann weitere Projektionen bis 2030 gemacht. Weil das Ziel der Studie darin besteht, Handlungsbedarf zu orten, interessieren primär die Grössenordnung der Belastungen und der Entwicklungstrends als

eine inventarartige Beschreibung. Die in den nachstehenden Kapiteln dargestellten Umweltbelastungen basieren auf folgenden wichtigen Grundlagen:

› Basis für die **Verkehrsmengengerüste** der bisherigen Entwicklung sind die Angaben des BFS (bis 2008, eigene Einschätzungen der Entwicklung bis 2010). Die Erwartungen zur zukünftigen Entwicklung orientieren sich an den UVEK-Verkehr-sperspektiven (ARE 2004, ARE 2006). Namentlich der öffentliche Verkehr hat sich in den letzten Jahren allerdings sehr dynamisch entwickelt so dass die Werte entsprechend angepasst wurden (Einschätzungen durch Infras, die für den Teil Strasssenverkehr bereits im Rahmen der Aktualisierung der Emissionsperspektiven [BAFU 2010a] durchgeführt und publiziert wurden; für den Teil Schienenverkehr orientieren sich die Zahlen an den Ergebnissen, wie sie im Rahmen von Bahn 2030 erarbeitet wurden). Diese aktualisierten Erwartungen zur Entwicklung der Verkehrsmengen bis 2030 bewegen sich aber noch innerhalb des Spektrums der UVEK-Szenarien. Genauere Ausführungen dazu finden sich im Annex 1.

› Die Angaben zu **Emissionen und Energieverbrauch** im Strassenverkehr (Betrieb) stützen sich auf neueste BAFU-Publikationen zu diesem Thema ab, einerseits dem Handbuch für Emissionsfaktoren im Strassenverkehr (BAFU 2010b), andererseits den Emissionsperspektiven bis 2035 für den Strassenverkehr in der Schweiz (BAFU 2010a). Für Angaben zum Schienenverkehr wird Bezug genommen auf die Energieperspektiven des BFE (Infras 2007a), gleichzeitig aber werden einige punktuelle Aktualisierungen in Absprache mit den SBB vorgenommen.

› Die zusätzlichen Angaben zu **Emissionen und Energiebedarf** für Energiebereitstellung sowie Erstellung und Unterhalt von **Fahrzeuge**n und **Verkehrswegeinfrastruktur** orientieren sich an „Mobitool“ (www.mobiltool.ch), einem Emissionsberechnungstool, das sich seinerseits an die Ecoinvent-Datenbank[2] anlehnt. Damit soll zum einen die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit dieser Studie mit Mobitool und Ecoinvent und zum andern mit statistischen Grundlagen gewährleistet werden.

› Angaben zum **Lärm** basieren auf Untersuchungen des BAFU (BAFU 2009a, FOEN 2009) und Angaben des BAV, wobei hier insbesondere auf die Arbeiten im Kontext zum Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen Bezug genommen wird (vgl. Kapitel 6, Lärm).

› Die verwendeten Grundlagen für flächenbezogene Indikatoren werden im Kapitel **Flächenbedarf** (vgl. Kapitel 7) aufgeführt.

2 www.ecoinvent.ch.

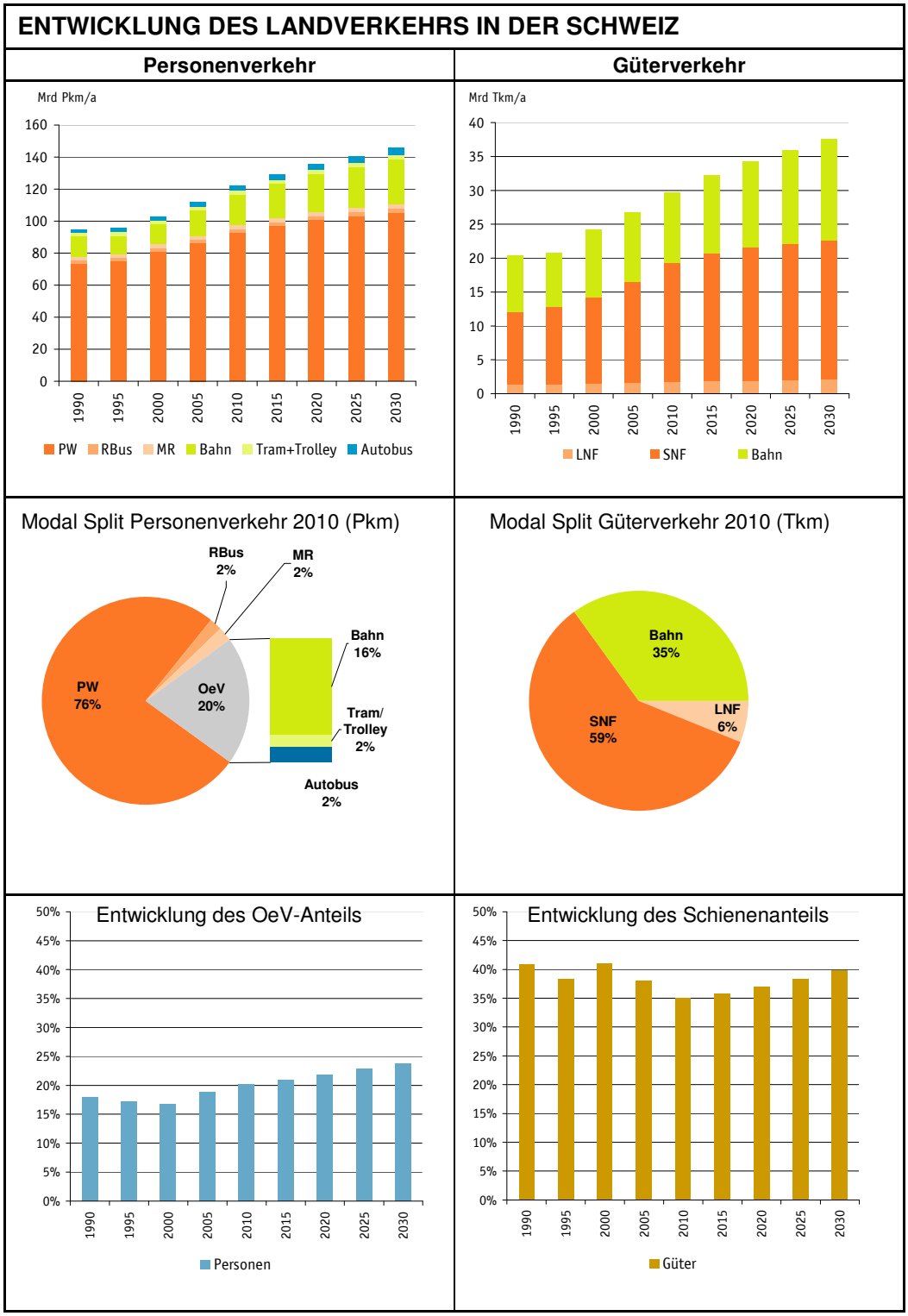
3. DAS VERKEHRSMENGENGERÜST DES LANDVERKEHRS 1990-2030

Die Verkehrssituation heute und in Zukunft

Figur 2 zeigt die bisherige und die erwartete Entwicklung der Verkehrsleistungen (Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer) des Landverkehrs in der Schweiz. Die Werte zur Vergangenheit basieren auf Angaben des Bundesamtes für Statistik (BFS), die Werte zur künftigen Entwicklung orientieren sich an den Verkehrsperspektiven des UVEK (ARE 2004, ARE 2006). Allerdings wurde die Entwicklung der letzten Jahre berücksichtigt. Die Wachstumsraten für die künftige Entwicklung des Strassenverkehrs sind weitgehend deckungsgleich mit den Erwartungen des Basisszenarios der UVEK-Verkehrsperspektiven. Der Personenschienenverkehr hat sich seit 2004 wesentlich dynamischer entwickelt als dies zum Zeitpunkt der Erarbeitung der UVEK-Verkehrsperspektiven erwartet wurde. Das hier unterstellte Wachstum orientiert sich deshalb an den Arbeiten im Kontext von STEP (Strategisches Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur, ehemals Bahn 2030), bewegt sich aber noch im Rahmen der UVEK-Szenarien. Die Angaben lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- Der Personenverkehr hat in den letzten 20 Jahren um rund 30 Prozent zugenommen, der Güterverkehr sogar um 45%.
- Für die nächsten 20 Jahre wird ein weiteres wenn auch verringertes Wachstum erwartet: +20% im Personen- und +27% im Güterverkehr.
- Der Anteil des öffentlichen Verkehrs an der Verkehrsleistung beträgt heute im Personenverkehr rund 20%, jener im Güterverkehr gut 35%[3].
- Im Personenverkehr nahm der Anteil in den 90er Jahren konstant ab, erholte sich aber in den letzten Jahren, u.a. als Folge der Attraktivierung des ÖV-Angebots mit Bahn 2000 1. Etappe. Auch künftig wird eine deutliche Zunahme des ÖV-Anteils erwartet, in der Annahme, dass die absehbaren Kapazitätsengpässe auf der Schiene durch Projekte wie ZEB und STEP behoben werden. Gleichzeitig wird auch auf der Strasse ein anhaltendes Wachstum erwartet, wenn auch unterproportional im Vergleich zur Schiene.
- Im Güterverkehr ging der Anteil der Schiene von über 40% tendenziell zurück und liegt mittlerweile bei gut 35%. Doch auch im Güterverkehr wird davon ausgegangen, dass der Schienenanteil in absehbarer Zeit wieder um rund 5 Prozentpunkte ansteigen wird.

3 Geschätzte Werte für 2010 hochgerechnet auf der Basis von Zahlen 2008 (vgl. Annex 1). Die %-Werte beziehen sich auf den Landverkehr (Strasse und Schiene, ohne Flugverkehr und Schifffahrt); beim Strassengüterverkehr sind die Verkehrsleistungen von schweren und leichten Nutzfahrzeugen eingerechnet.



Figur 2 Entwicklung der Verkehrsleistungen des Landverkehrs in der Schweiz 1990 bis 2030. Quelle: Zahlen bis 2008 gemäss BFS, ab 2008 eigene Hochrechnungen in Anlehnung an die Verkehrsperspektiven des UVEK. Vgl. Erläuterungen und Zahlen in Annex 1.

4. ENERGIEVERBRAUCH UND CO_2-EMISSIONEN DES VERKEHRS

4.1. DER HEUTIGE ZUSTAND

Endenergie vs. Primärenergie, Tank-to-Wheels (TTW) vs. Well-to-Wheels (WTW)

Festzustellen, wie viel Energie heute in den Verkehr und die verschiedenen Verkehrsmittel gesteckt wird, ist nicht trivial. Die statistischen Grundlagen geben Angaben zum Endenergieverbrauch, d.h. was „in den Tank" gefüllt und beim Benutzer direkt als Kostenfaktor spürbar wird, also der Absatz an Benzin oder Diesel. Beim Stromverbrauch beziehen sich die Angaben auf den Verbrauch ab Stromabnehmer oder ab Batterie. Die statistischen Angaben sind meist sehr aggregiert und geben Hinweise auf den Gesamtverbrauch. Möchte man die Verkehrsmittel untereinander vergleichen, ist der Energieverbrauch erst einmal nach Verkehrsmitteln zu disaggregieren, was eine modellhafte Nachbildung erfordert. Im Weiteren interessiert bei diesem Vergleich weniger die Endenergie als vielmehr die Primärenergie, also der Verbrauch einschliesslich jener Energie, welche für Produktion und Verteilung der Energie bis zum Benutzer an der Tankstelle bzw. am Stromabnehmer nötig ist. Der Aufwand für diese Energiebereitstellung (oder „Vorprozesse") variiert je nach Energieart – ob fossile Energie oder Strom – und auch je nach Art der Produktion. Je nach Art (Wasserkraft, Atomstrom oder fossil-thermisch u.a.) kommen unterschiedliche Wirkungsgrade zum Tragen.

Die in diesem Kapitel aufgeführten Daten zum Energieverbrauch im **Strassenverkehr** basieren auf einer modellhaften Berechnung, welche u.a. in BAFU 2010a beschrieben ist. Der (End)energieverbrauch je Fahrzeugkategorie wird ermittelt aus Fzkm * spezifischem Verbrauch, wobei die Fahrleistungen (Fzkm) gemäss BFS verwendet werden und die Angaben zum spezifischen Verbrauch aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1, BAFU 2010b) stammen. Das sind letztlich Laborwerte, die aber näherungsweise das reale Fahrverhalten nachbilden. Für den Verkehrsmittelvergleich muss zudem der Bezug zu den Verkehrsleistungen (Pkm bzw. Tkm) gemäss statistischen Daten (vgl. Kap. 3) gemacht werden, um Angaben in MJ/Pkm bzw. MJ/Tkm zu erhalten. In diesen Angaben sind zwangsläufig Unschärfen eingebaut. So beeinflussen die Annahmen zur Auslastung den Indikator des spezifischen Energieverbrauchs sehr direkt. Auch sind die Angaben zum Gesamtenergieverbrauch des Strassenverkehrs nur Näherungen, weil ein Teil des statistisch ermittelten Treibstoffabsatzes in andere Sektoren geht (Landwirtschaft, Offroad-Sektor wie Baumaschinen, etc.). Überdies kommt der sog. Tanktourismus dazu, der auf rund 10% des Absatzes geschätzt wird (Infras/CEPE 2010).

Beim (End)energieverbrauch des **öffentlichen Verkehrs** interessiert in erster Linie der Strombedarf, dann aber auch der Dieselverbrauch der Autobusse. Verschiedene statistische Grundlagen liefern dazu Angaben, aber auch hier in aggregierter Form, so dass (für diese Arbeit) der Strombedarf auf der Basis eines vereinfachten Hochrechnungsmodells und in Anlehnung an Arbeiten zu den Energieperspektiven (Infras 2007a) ermittelt wird. Wie im Strassenverkehr wird der Energiebedarf berechnet aus Betriebsleistung (in Btkm) * spezif. Verbrauch (in MJ/Btkm). Die Bezugsgrösse (Btkm) musste allerdings geschätzt werden, da sie in den statistischen Grundlagen nicht (mehr) erhoben und publiziert wird. Auch hier muss sie dann in Bezug gesetzt werden zu den übrigen Grössen der Betriebsleistungen (Zug-Km des Personen- und Güterverkehrs) bzw. den entsprechenden Verkehrsleistungen (in Pkm bzw. Tkm). Die Angaben zu den aggregierten Grössen des Stromverbrauchs der Bahnen lassen einige Abgrenzungsfragen offen, so dass die Angabe, wie viel Energie der ÖV insgesamt verbraucht, nur als Näherung geschätzt werden kann. Die ÖV-Statistik ist diesbezüglich in ihrer Aussagekraft beschränkt. So werden lediglich Summenwerte des Energieverbrauchs für die Eisenbahnen, Tram, Trolleybusse und Autobusse genannt. Weitere Differenzierungen (z.B. zwischen KTU und SBB, oder gar nach TU) werden seit rund 10 Jahren nicht mehr publiziert. Auch eine Differenzierung zwischen Personen- und Güterverkehr ist nicht möglich.

Zum Gesamtenergieverbrauch: Die SBB nennen etwa für den SBB-Bahnanteil 2008 einen Stromverbrauch von 1700 GWh, das BFS einen Wert von 2577 GWh (für SBB und KTU inkl. Zahnradbahnen sowie Tram und Trolleybusse). Die Elektrizitätsstatistik des BFE beziffert demgegenüber den Stromverbrauch des ÖV auf 3142 GWh (inkl. Tram, Trolleybussen, Bergbahnen und Skiliften)[4].. Für die vorliegende Arbeit, die ja kein Inventar vorlegen, sondern eine Grössenordnung des Energieverbrauchs angeben möchte, konnten diese Diskrepanzen nicht ausgeräumt werden; sie sind allenfalls auf unterschiedliche Definitionen und Systemabgrenzungen zurückzuführen[5].. Wir unterstellen für 2008 einen Wert von 10.0 PJ (2750 GWh); dieser Wert wird auch als Ausgangspunkt für die künftige Entwicklungsabschätzung verwendet.

Für die Umrechnung von Endenergie (was äquivalent ist zu „Tank-to-Wheels“) in Primärenergie (äquivalent zu „Well-to-Wheels“) werden Angaben aus der Ecoinvent-Datenbank verwendet. Konkret wird für den Stromverbrauch mit SBB-Strommix ein Wert von 6.6 MJ/kWh verwendet, was einem Wirkungsgrad von 54% entspricht, d.h. es verdoppelt den Primärenergiebedarf beinahe im Vergleich zum Endenergiebedarf. Bei den fossilen Treibstoffen fällt gemäss

4 Das würde bedeuten, dass Bergbahnen und Skilifte rund 565 GWh verbrauchen würden, was wenig realistisch scheint (Zegg [2010] beziffert den Traktionsenergiebedarf der Bergbahnen auf rund 100 GWh).

5 Z.B. Bezug ab Stromabnehmer oder ab Unterwerk

Ecoinvent[6] für die Primärenergie ein Wert von 56 MJ/kg Treibstoff an, d.h. pro Liter Benzin sind zusätzlich 0.3 L für die Energiebereitstellung einzurechnen.

Energieverbrauch und CO_2-Emissionen des Verkehrs heute

Die oben skizzierte Datenbasis ergibt einen Bedarf an Endenergie im Verkehr (ohne Flugverkehr und Schifffahrt) für 2010 von rund 205 PJ. Dem entspricht ein Primärenergiebedarf von rund 275 PJ (vgl. Figur 3). Die Umrechnung von End- in Primärenergie hängt namentlich im Strombereich stark von der Art der Stromproduktion ab. Annex 3 macht dazu detailliertere Ausführungen. Gut 80% des Primärenergiebedarfs fallen auf den Personenverkehr, 20% auf den Güterverkehr. Der fossile Anteil liegt bei über 90%.

Auf den öffentlichen Verkehr (Bahnen+Busse) fallen heute im Personenverkehr rund 7% des *Endenergie*bedarfs – bei 20% Anteil am Verkehrsvolumen (ohne Flugverkehr und Schifffahrt). Betrachtet man allein die Bahn, sind es gut 4% Endenergieverbrauch bei rund 16% Verkehrsanteil (vgl. Detail-Zahlen in Annex 2). Der Energieverbrauch des Schienengüterverkehrs liegt bei 6.5% bei 35% Verkehrsanteil.

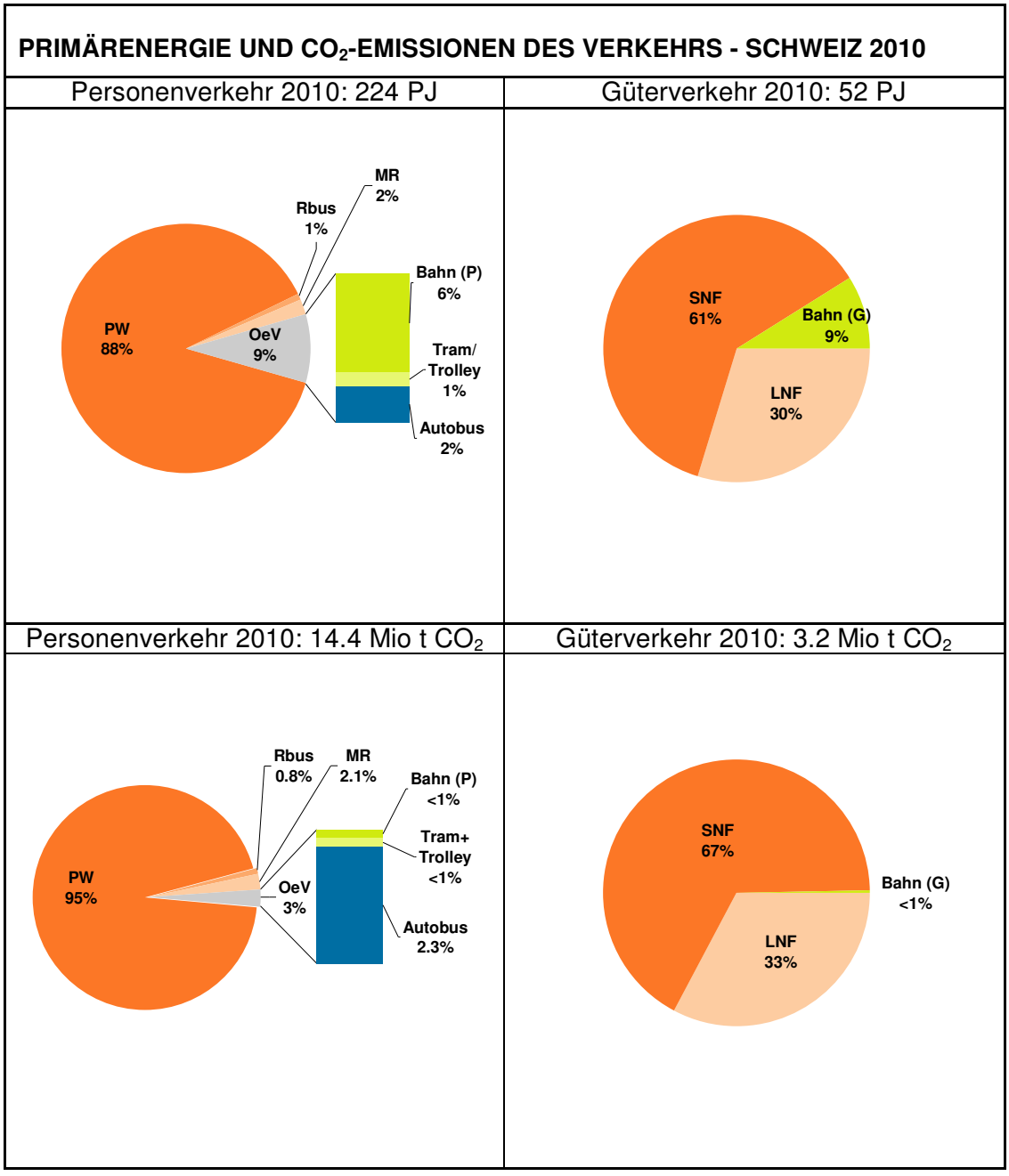
Bezogen auf den *Primärenergie*verbrauch des Personenverkehrs beträgt der Bahnanteil knapp 6% bei 16% Verkehrsanteil (gesamter Personen-ÖV 9% bei 20% Verkehrsanteil), im Güterverkehr sind es 8.5% Primärenergieverbrauchanteil bei 35% Verkehrsanteil[7].

Aus diesen Zahlen ist ableitbar, dass namentlich der schienengebundene Verkehr deutlich effizienter ist als der strassengebundene Verkehr. Das sieht man auch am direkten Vergleich zwischen PW bzw. Lastwagen mit der Schiene (Tabelle 1), woraus sich Verbrauchsvorteile von Faktor zwischen 3 und 4 ergeben. Aus energetischer Sicht ist also – antriebsbedingt – der Schienen-Verkehr klar im Vorteil, wegen der geringeren Reibung von Stahl auf Stahl, dem geringeren Luftwiderstand im Zugverband und auch weil rund 20 bis 40% der Bewegungsenergie beim Bremsen wieder rekuperiert und ins Netz zurückgespiesen werden kann. Dazu schlägt positiv zu Buch, dass der schweizerische Bahnstrom einen grossen Teil an Wasserkraft enthält, welche einen besseren Wirkungsgrad als z.B. Kernkraft oder fossile Kraftwerke aufweist. Deutlich geringer ist dieser Vorteil beim Autobus, der im Mittel nur rund 33% besser abschneidet. Hier ist die Auslastung eine entscheidende Grösse: je nach Einsatz variiert dieser Wert zwangsläufig sehr stark; bekanntlich ist ein leer verkehrender Bus sicher keine Sparmassnahme, aber als Teil

6 Diese Quelle kommt auch in der Verordnung des UVEK über Angaben auf der Energieetikette von neuen Personenwagen (VEE-PW) zur Anwendung.

7 Der kombinierte Güterverkehr ist verkehrsleistungsproportional bei der Strasse bzw. der Schiene subsummiert. Beim Bahngüterverkehr ist in diesen Zahlen lediglich der Stromverbrauch berücksichtigt.

des Systems zuweilen unvermeidlich. Im Mittel ist der Busverkehr aber gleichwohl etwas effizienter als der PW-Verkehr.



Figur 3 Die hier aufgeführten Angaben zum Primärenergiebedarf und zu den CO_2-Emissionen umfassen neben dem direkten Betrieb auch die Vorprozesse zur Strom- und Treibstoffproduktion. Die Zahlen sind deshalb grösser als z.B. die im Kyoto-Inventar ausgewiesenen Zahlen, welche sich am Absatzprinzip (=Endenergie) orientieren. Die Zahlen – differenziert nach Primär- und Endenergie – sind in Annex 2 aufgeführt.

SPEZIF. PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH PRO Pkm BZW. PRO Tkm		
	Personenverkehr	**Güterverkehr**
PW bzw. Lastwagen	2.14 [MJ/Pkm]	1.81 [MJ/Tkm]
Bahn (P bzw. G)	0.70 [MJ/Pkm]	0.50 [MJ/Tkm][8]
Faktor PW/Bahn bzw. LW/Bahn	*Ca. 3*	*Ca. 3.6*
Tram/Trolley	0.72 [MJ/Pkm]	
Faktor PW / Tram-Trolley	*Ca. 3*	
Autobus	1.6 [MJ/Pkm]	
Faktor PW / Autobus	*Ca. 1.33*	

Tabelle 1 Spezifischer Primärenergieverbrauch verschiedener Verkehrsmittel (Zahlen siehe Annex 2).

Diese Faktoren sind Mittelwerte, gültig für den heutigen Zustand. Die Zahlen sind aber als Grössenordnung zu verstehen, da das zugrundeliegende Zahlenmaterial aus verschiedenen Quellen zusammengestellt wurde, die nicht zwingend restlos kohärent sind. Zudem sind diese Faktoren stark von der Auslastung abhängig, und Angaben dazu sind mit einer gewissen Zurückhaltung zu verwenden. Die Aussage, dass die Schiene im Mittel deutlich energieeffizienter ist, wird aber dadurch nicht in Frage gestellt.

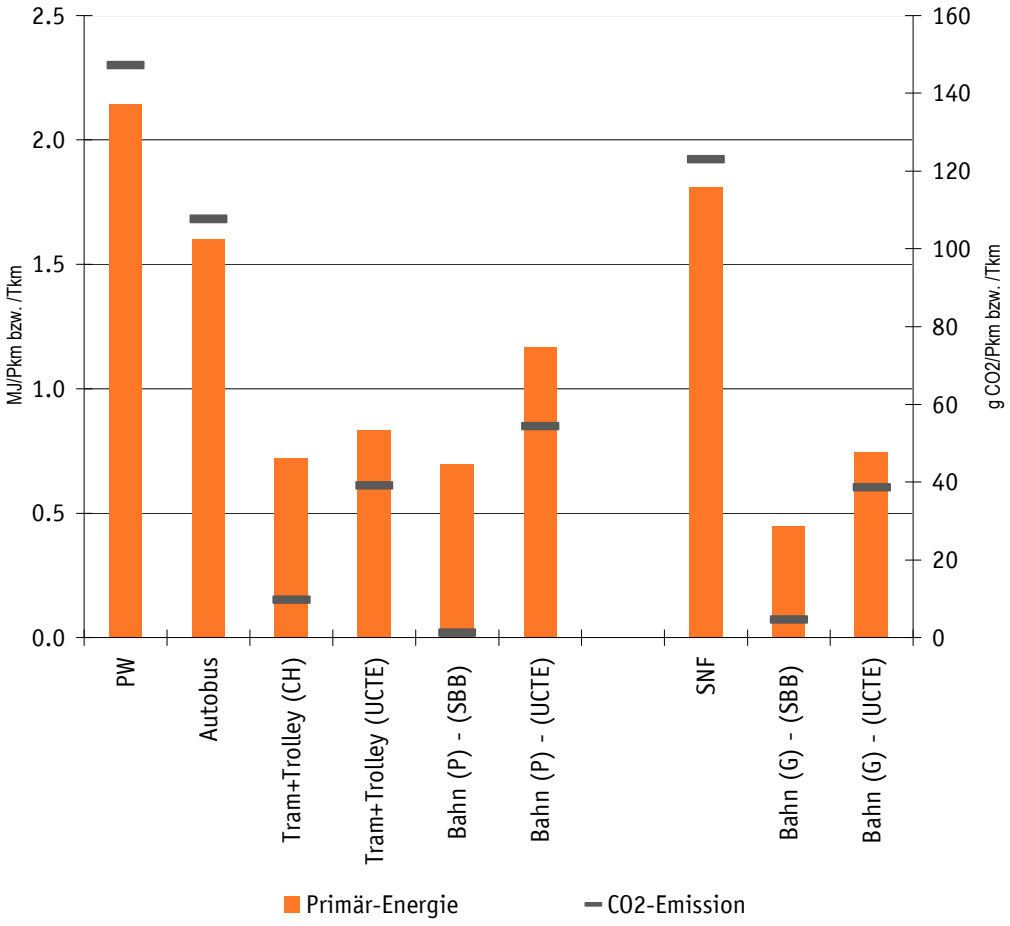
Verkehrsbedingte CO_2-Emissionen

Der Verkehr ist aufgrund des grossen Anteils an fossiler Energie eine namhafte Quelle von Klimagasen. Hier nun kommt der grosse Vorteil der Bahn zum Tragen: nicht nur ist der elektrische Antrieb energieeffizienter, die Schweizer Züge fahren überdies zu gut 75% mit erneuerbarer Energie, die übrigen 25% steuert Atomstrom bei, was zumindest aus Klimasicht ebenfalls vorteilhaft ist. Damit ist die direkte CO_2-Emission der Bahnen nahezu null. Das macht den „Klima"-Vorteil des schweizerischen Bahnsystems aus (vgl. Figur 4).

Würde statt dem schweizerischen Bahnstrom-Mix ein europäischer Durchschnittsmix (der UCTE-Produktionsmix) unterstellt, blieben der Energievorteil wie auch der CO_2-Vorteil noch gewahrt, letzterer würde aber markant reduziert: die Bahn wäre bezüglich Klima-Belastung nur noch um einen Faktor 3 besser.

8 In dieser Zahl für den Bahngüterverkehr ist auch der Dieselverbrauch (rund 12.7 Mio L/a [SBB 2010]) mit berücksichtigt, der zum grösseren Teil für den Rangierbetrieb, aber auch für Bauzüge etc. verwendet wird.. (vgl. Annex 2).

PRIMÄRENERGIE UND CO_2-EMISSIONEN VERSCHIEDENER VERKEHRSMITTEL (pro Pkm bzw. pro Tkm)



Figur 4 Vergleich von Primärenergieverbrauch und CO_2-Emissionen verschiedener Verkehrsmittel. Beim ÖV sind verschiedene Stromproduktionsmixe unterstellt, zum einen der SBB-Strommix (75% Wasserkraft, 25% Atomstrom), zum andern der UCTE-Strommix (54% fossile Energieträger, 29% Atomstrom, 11% Wasserkraft, 6% sonstige erneuerbare Energieträger [2006/2007]) (Zahlen Annex 2).

Energieverbrauch und CO_2-Emissionen unter Einbezug von Fahrzeugen und Infrastruktur

Die bisherigen Ausführungen fokussierten auf den Energiebedarf und CO_2-Emissionen einschliesslich der Energiebereitstellung, weil auf diese Elemente am unmittelbarsten eingewirkt werden kann. Energie muss aber auch eingesetzt werden zur Produktion von Fahrzeugen und Rollmaterial wie auch für den Bau und Unterhalt der ganzen Infrastruktur. Dabei interessieren insbesondere die relativen Verhältnisse der verschiedenen Komponenten.

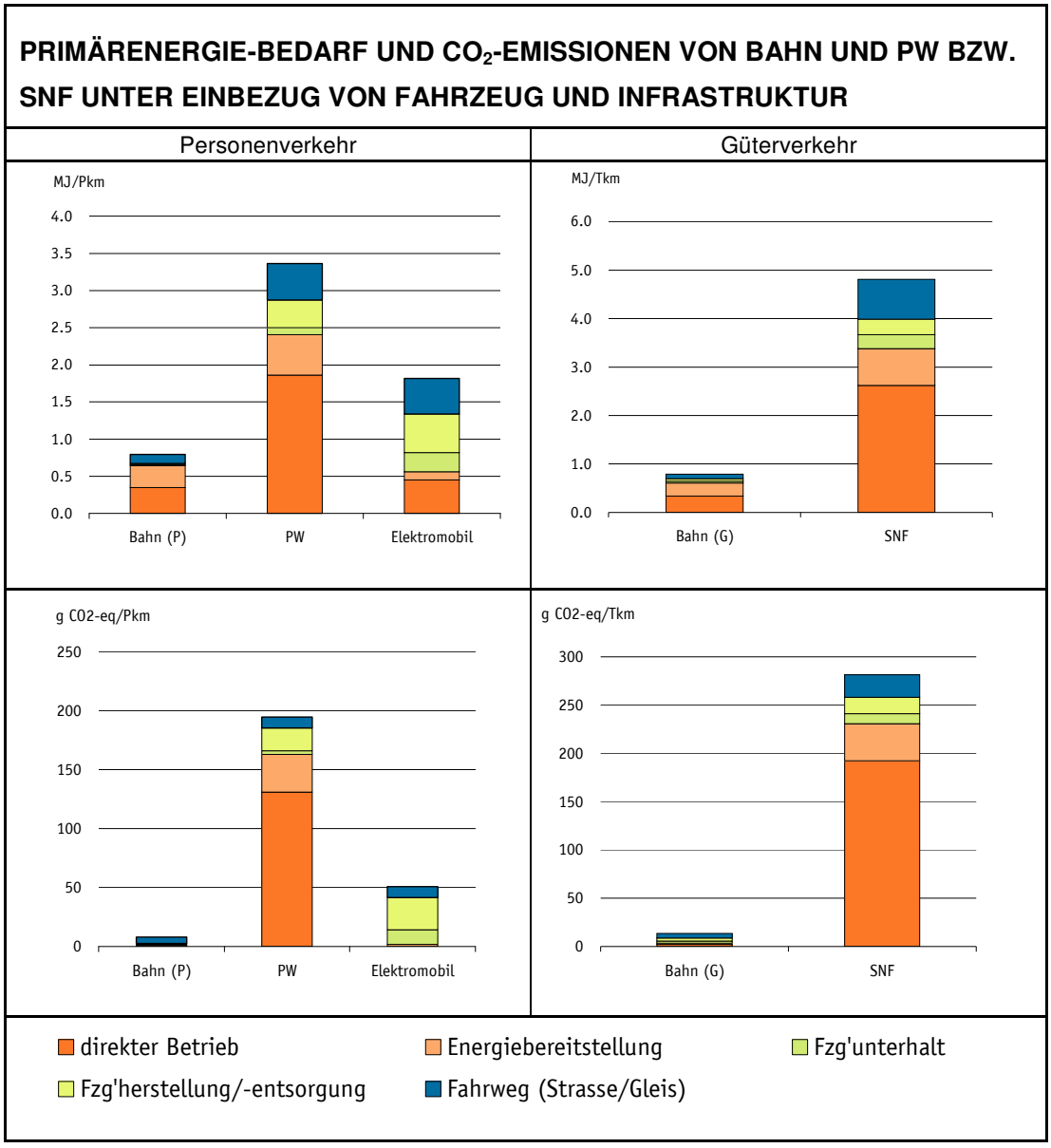
Die quantitativen Angaben wurden dem „Mobitool“ entnommen. Mobitool ist als Internetplattform angelegt (www.mobitool.ch) und primär für Unternehmen zur Bestandsaufnahme und Abschätzung von Minderungspotenzialen der mobilitätsbedingten Emissionen gedacht. Dafür enthält Mobitool die relevanten Emissionsfaktoren der in der Schweiz genutzten Verkehrsmittel in Form eines frei verfügbaren Excel-Tools.

Mobitool betrachtet die Emissionen der Verkehrsträger unter Einbeziehung der energetischen Vorketten, der Herstellung, des Unterhalts und der Entsorgung der Fahrzeuge und des Fahrwegs. Damit werden alle wesentlichen umweltrelevanten Prozesse für den Transport einbezogen. Basis der Emissionskennzahlen in Mobitool sind im Wesentlichen die entsprechenden Module der Datenbank Ecoinvent, aber auch zahlreiche andere Informationen, die zur Beschreibung der einzelnen Verkehrsmittel erfordlich sind. Der Datensatz ist statisch, d.h. er bezieht sich auf die Situation heute und enthält damit keine Varianten für zukünftige Jahre.

Die Grundlagen, die Mobitool verwendet, unterscheiden sich an einigen Stellen von denen der vorgängig dargestellten Energie- und Emissionsberechnungen, die sich an das Emissionsinventar des BAFU anlehnen und auch als wesentliche Basis für die Bestimmung der Zeitreihen bis 2030 verwendet wurden (vgl. Kapitel 4.2). Eine Abstimmung der unterschiedlichen Annahmen war im Rahmen dieser Studie nicht möglich[9]. Hinzu kommt, dass in Mobitool die zukünftige Perspektive nicht abgebildet wird. Aus diesem Grund kann die Darstellung von Mobitool-Ergebnissen hier nur exemplarisch erfolgen. Trotz dieser Einschränkung zeigen die Resultate in Figur 5 Folgendes:

› Bei der Bahn gehen rund 80% des Energiebedarfs auf das Konto Betrieb – also die Komponenten, die in den bisherigen Kapiteln aufgezeigt wurde. 5% bis 10% sind für die Fahrzeuge aufzuwenden und etwa 12% bis 15% für die Infrastruktur. Bei der Strasse entfallen etwa 55% auf den direkten Betrieb und 16% auf die Energiebereitstellung; der Anteil der Fahrzeuge bzw. der Infrastruktur liegt je bei rund 15%. Es stecken also gegen 30% der Gesamtenergie im Verkehrssystem und werden nur indirekt sichtbar.

9 So enthält beispielsweise die Kategorie „Lastwagen“ bei Mobitool alle Fahrten vom Lieferwagen bis zum schweren Sattelzug und damit auch alle grundsätzlich nicht für den Bahnverkehr geeigneten Transporte, etwa Verteiler- und Serviceverkehre mit Lieferwagen mit ihrem ungünstigen spezifischen Energieverbrauch je Tonnenkilometer.



Figur 5 Gesamter Primärenergieverbrauch unter Einbezug von Rollmaterial bzw. Fahrzeugen und Infrastruktur. Die Figur zeigt mittlere Kenngrössen für einen durchschnittlichen PW bzw. Lastwagen; beim Elektroauto ist ein Betrieb mit Ökostrom sowie ein 1-maliger Batteriewechsel unterstellt (Quelle: Mobitool, www.mobitool.ch; Zahlen in Annex 2).

› Die Bahn nutzt die Infrastruktur und vor allem die Fahrzeuge deutlich intensiver (und länger), weshalb der Energieaufwand der Bahn auch bei diesen Komponenten je Pkm bzw. je Tkm deutlich geringer ist als bei PW und Lastwagen.

› CO_2-seitig ist der Vorteil der Bahn bei der Betriebsenergie augenfällig. Bei der Herstellung von Fahrzeugen und Infrastruktur fallen auch für die Bahn entsprechende Emissionen an, diese sind aber – aufgrund der intensiveren Nutzung – tiefer als bei der Strasse.

› Die Vorteile der Bahn im Zusammenhang mit dem Primärenergiebedarf und den CO_2-Emissionen der Fahrzeugherstellung sowie der Infrastruktur bleiben auch im Vergleich mit Elektroautos bestehen, selbst wenn – wie in Figur 5 dargestellt – beim Elektromobil ein Betrieb mit 100% Ökostrom unterstellt wird. Gewisse Unsicherheiten bzw. Forschungsbedarf bestehen vor allem bei der Frage, welchen Energiebedarf und welche Umweltbelastungen die Herstellung und Entsorgung der Batterien mit sich bringen werden (vgl. dazu weitere Ausführungen in Kapitel 4.2).

Fallbeispiele

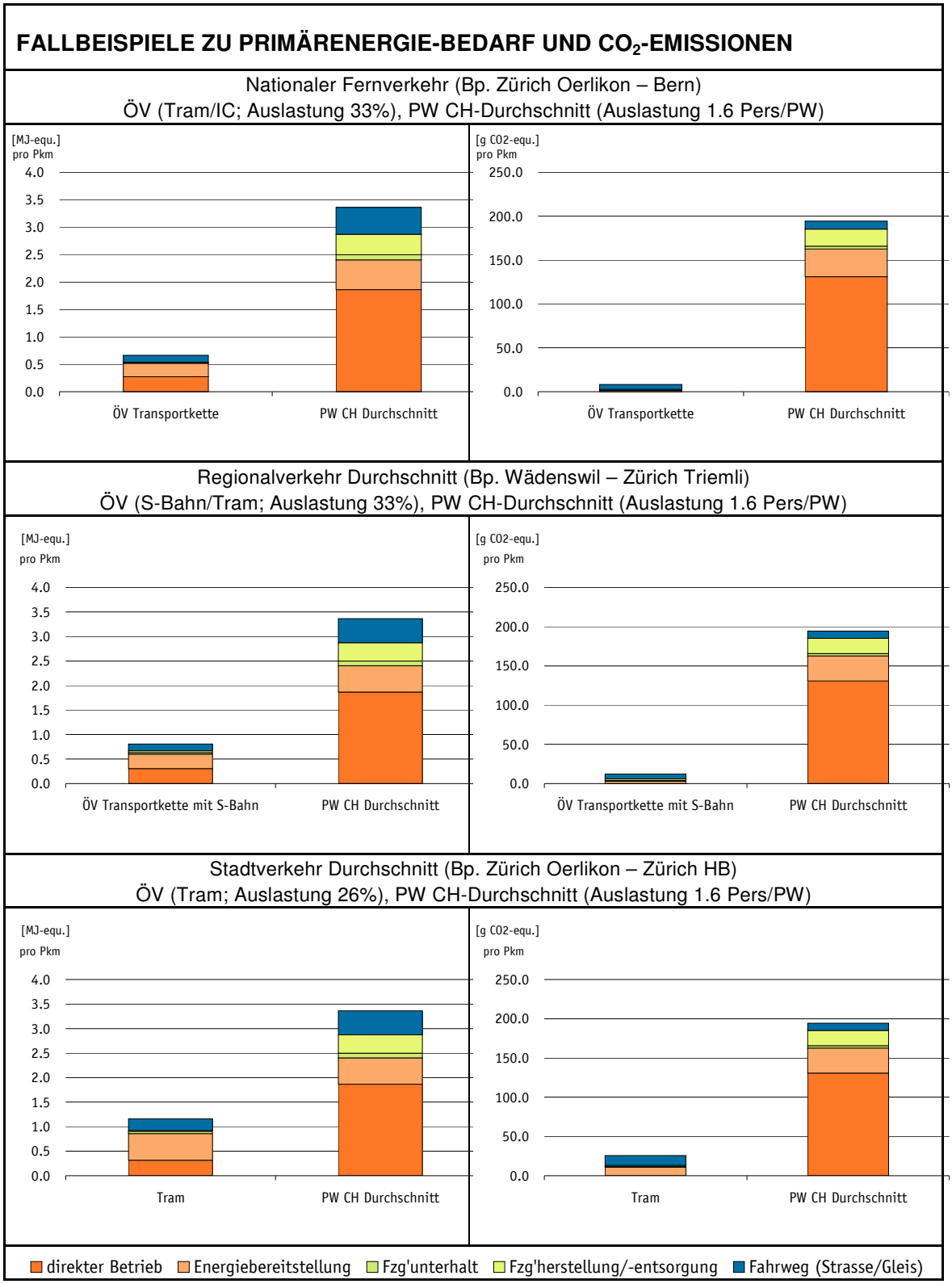
Die bisherigen Ausführungen orientierten sich in der Regel an Durchschnittswerten. Die Umweltbelastung der Verkehrsmittel hängt aber stark von der einzelnen Situation ab. Die folgenden Darstellungen zeigen exemplarisch anhand typischer Fallbeispiele auf, wie gross diese Schwankungen sein können. Sie illustrieren das jeweils anhand des Primärenergieverbrauchs bzw. den CO_2-Emissionen pro Pkm bzw. pro Tkm. Dabei werden alle Komponenten der Prozesskette berücksichtigt (Betrieb, Energiebereitstellung, Herstellung und Unterhalt von Fahrzeugen und Infrastruktur). Die Daten basieren auf dem oben bereits erwähnten Mobitool. Im Weiteren wurde unterstellt, dass die zurückzulegenden Distanzen vom Start- zum Zielort jeweils gleich lang sind, auch wenn es in Einzelfällen durchaus vorkommen kann, dass mit einem Verkehrsmittel längere Umwege gefahren werden müssen (aufgrund der Topografie bzw. der Verkehrsanlagen, die nicht immer parallel verlaufen).

› Figur 6 illustriert die Verhältnisse im Fern-, Regional- und Stadtverkehr. Dabei zeigt sich, dass die Grundmuster sich jeweils ähnlich sind: der ÖV hat in allen Bereichen klare Vorteile, wenn auch je nach Transportkette in unterschiedlichem Ausmass. So variiert beispielsweise der Energieverbrauch im ÖV um rund einen Faktor 2 zwischen Fern- und Ortsverkehr.

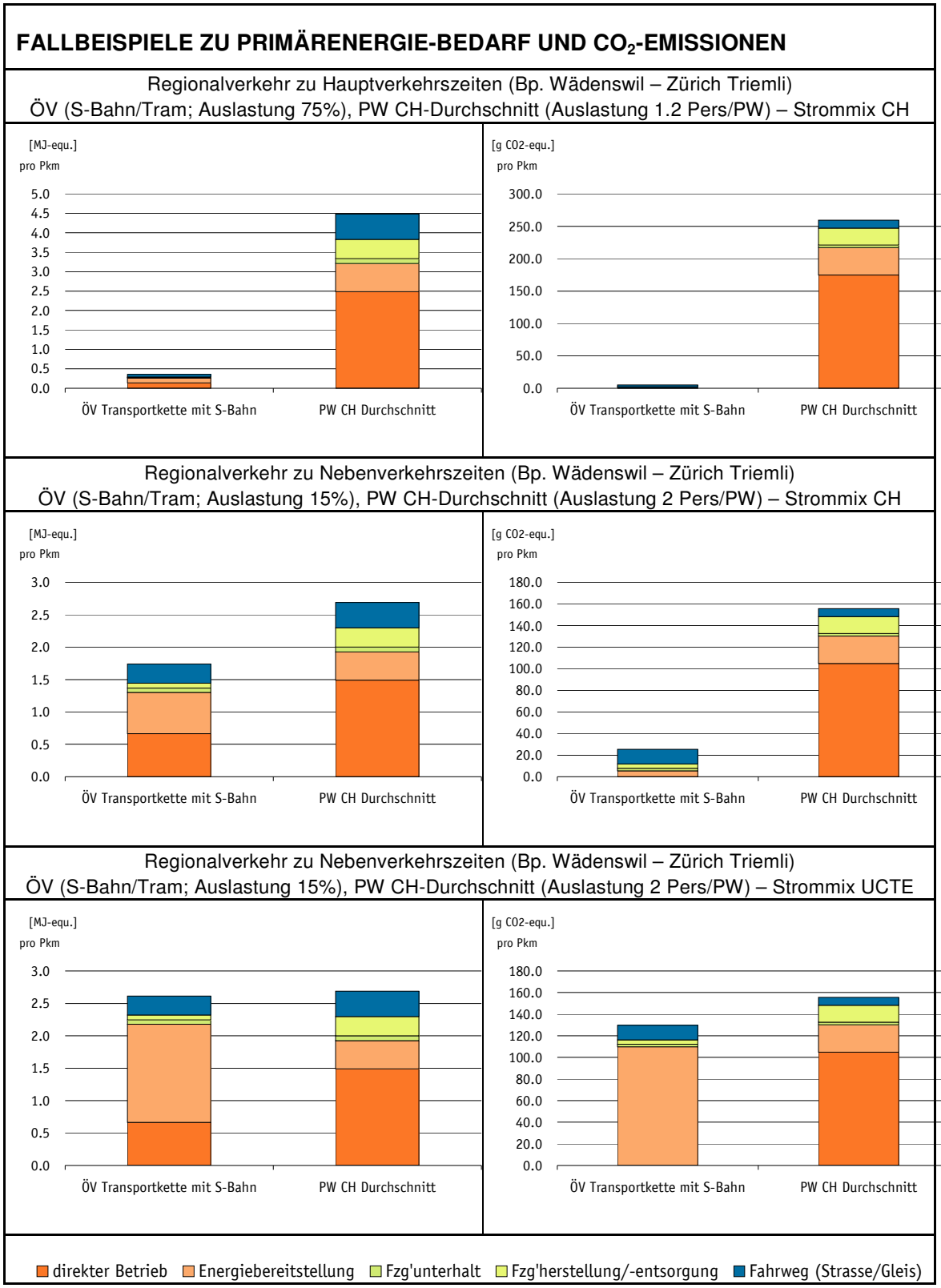
› Dass die Vergleiche ÖV / Strasse entscheidend von den einzelnen Situationen abhängen, zeigt Figur 7 zum Regionalverkehr (Fallbeispiel Wädenswil – Zürich Triemli): in der Hauptverkehrszeit ist der ÖV-Vorteil sehr ausgeprägt, weil die Züge und Trams voll, die PW im Pendlerverkehr aber nur schwach ausgelastet sind (Annahme 1.2 Personen/PW). Das führt dazu, dass der ÖV um einen Faktor 10 oder mehr effizienter ist; noch ausgeprägter ist der Vorteil bei der CO_2-Belastung aufgrund der fast CO_2-freien Stromproduktion. In Nebenverkehrszeiten hingegen bricht der Vorteil drastisch ein, weil dann die Auslastungen beim ÖV stark ab- und beim PW gleichzeitig zunehmen. Würde zusätzlich der Strom nicht CO_2-frei produziert, sondern entsprechend dem UCTE-Produktionsmix, so wären ÖV und PW energetisch und auch CO_2-mässig fast gleichauf.

› Dass der ÖV – in diesem Fall das Tram – auch gegenüber einem Scooter noch im Vorteil ist, zeigt Figur 8. Gleichzeitig illustriert die Figur den Vergleich Autobus vs. PW. Im Durchschnitt ist der Autobus um rund einen Faktor 2 effizienter (auch bei einer mittleren Auslastung von 23%). Fällt aber die Auslastung ab (im Beispiel nur mehr halb so gross gesetzt), so wie es typischerweise in ländlichen Gebieten der Fall ist und wo der Bus die Grundversorgungsfunktion übernimmt, so können sich die Verhältnisse umkehren und der PW wird effizienter.

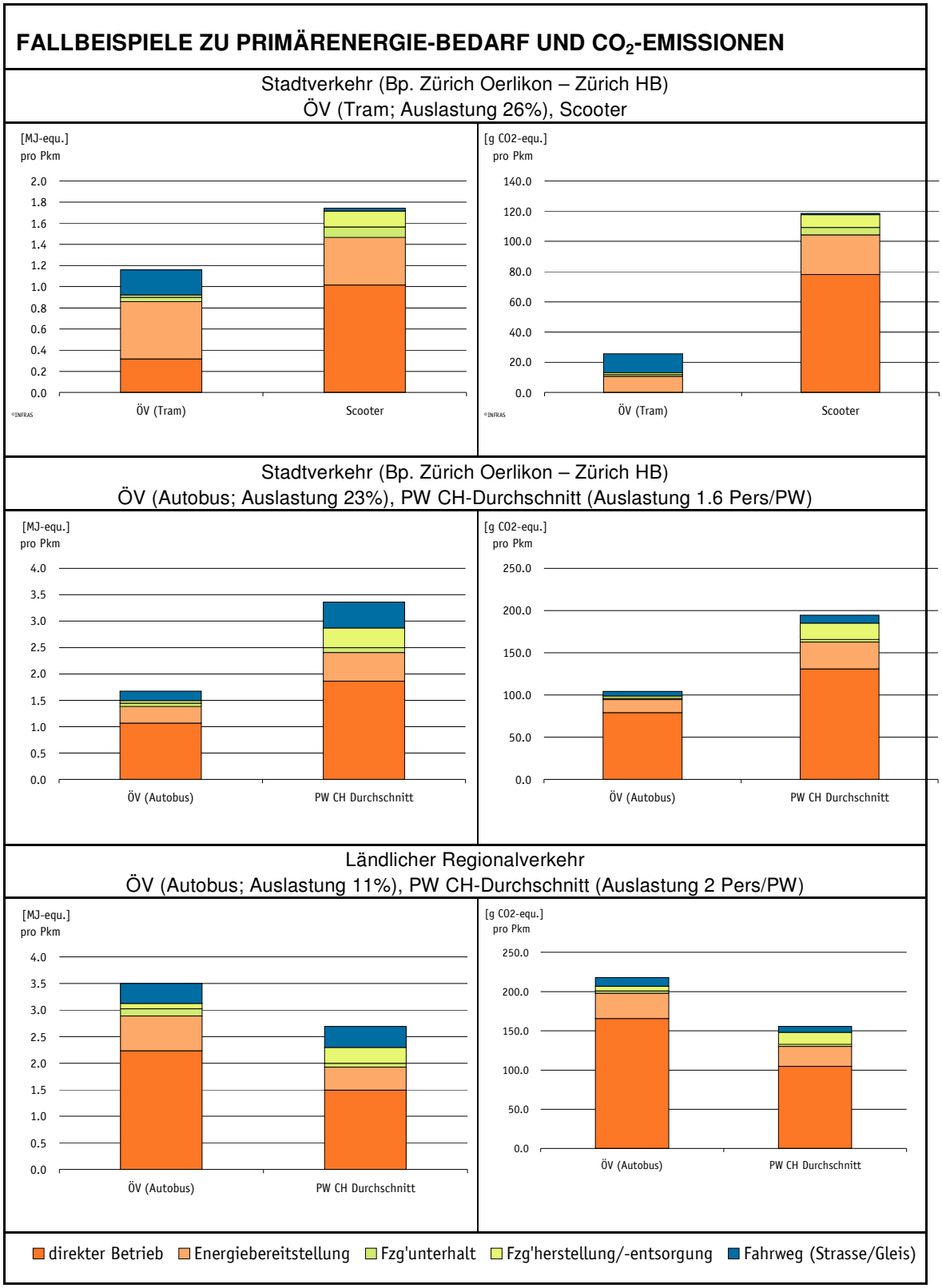
› In Figur 9 schliesslich sind die Relationen des Binnengüterverkehrs illustriert. Hier zeigt sich, dass ein Gut mit der Bahn etwa um rund die Hälfte effizienter und um einen Faktor 3 klimaschonender transportiert werden kann als mit einem Lastwagen – wobei diese Relationen selbstredend wiederum durch die zugrunde gelegten Annahmen bestimmt sind. Eingerechnet ist in diesem Beispiel ein Vor- bzw. Nachlauf von einigen KM mit dem LKW, weil nicht jedes Unternehmen an das Bahnnetz angeschlossen ist und somit auch bei Bahntransporten zusätzliche LW-Km einsetzen muss.



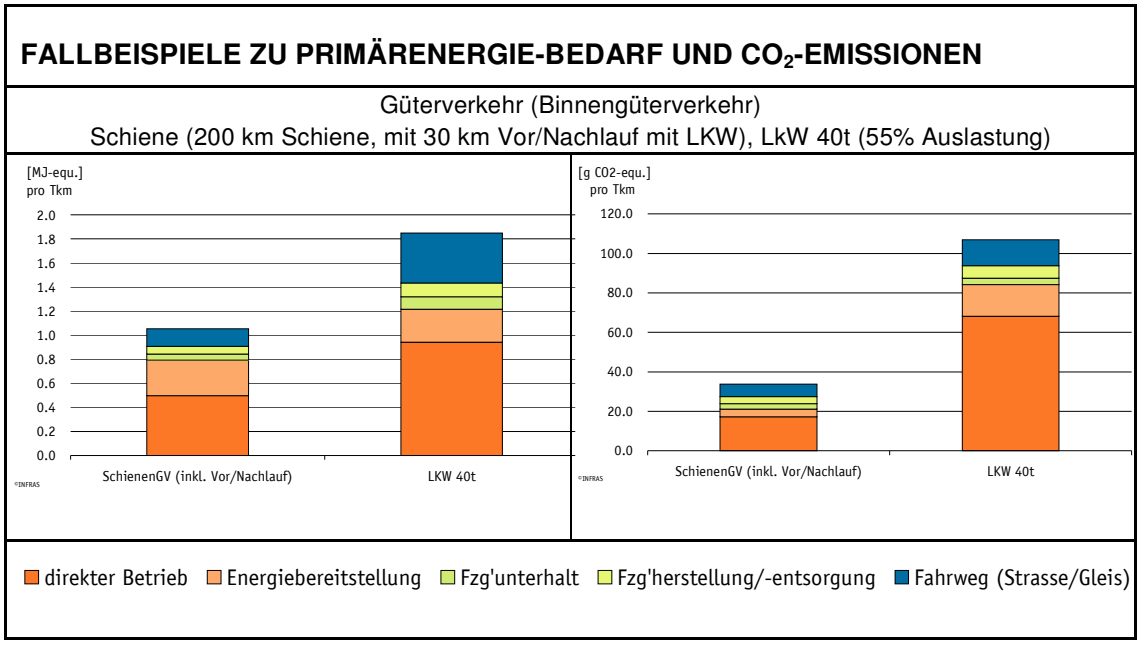
Figur 6 Vergleich von Primärenergieverbrauch und CO_2-Emission verschiedener Fallbeispiele (Fern-, Regional- und Stadtverkehr) (Quelle: Mobitool, www.mobitool.ch).



Figur 7 Vergleich von Primärenergieverbrauch und CO_2-Emission im Regionalverkehr bei unterschiedlichen Auslastungssituationen und Stromproduktionsarten (Quelle: Mobitool, www.mobitool.ch).



Figur 8 Vergleich von Primärenergieverbrauch und CO_2-Emission bei unterschiedlichen Auslastungssituationen im städtischen bzw. ländlichen Verkehr (Quelle: Mobitool, www.mobitool.ch).



Figur 9 Vergleich von Primärenergieverbrauch und CO_2-Emission im Binnengüterverkehr (Quelle: Mobitool, www.mobitool.ch).

4.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Ein Trend-Szenario

Wie könnte die Entwicklung bis 2030 aussehen? Eine mögliche Entwicklung beschreibt das im Folgenden skizzierte Trend-Szenario bis 2030. Bezüglich Verkehrsmengenwachstum beruht es auf den in Kapitel 3 dargestellten Entwicklungen. Bezüglich Energieeffizienz wird unterstellt, dass die PW moderat effizienter werden, d.h. der spezifische Verbrauch der Neuwagen sinkt jährlich um 1.5% bis 2030, so wie es dem langjährigen Mittel der Vergangenheit entspricht[10], für den spezifischen Verbrauch der Lastwagen wird angenommen, dass er auf dem heutigen Niveau verharrt. Bei der Schiene wird von einer moderaten Zunahme der Effizienz von rund 10% ausgegangen; die übrigen Parameter, namentlich Zugsgewichte und Auslastungsgrade, wurden als gleichbleibend unterstellt. Die Vorprozesse erfahren nur unwesentliche Veränderungen (vgl. detailliertere Ausführungen in Annex 3); so wird davon ausgegangen, dass der (zunehmende) Strombedarf weiterhin vorwiegend mittels erneuerbaren Energien gedeckt und damit

10 Im Februar 2002 unterzeichneten die Vereinigung der Schweizer Automobilimporteure (auto-schweiz) und das UVEK eine Zielvereinbarung. Darin verpflichtete sich auto-schweiz auf freiwilliger Basis, den spezifischen Treibstoffverbrauch neuer Personenwagen um durchschnittlich 3% pro Jahr abzusenken. Auf diese Weise sollte der durchschnittliche Treibstoffverbrauch zwischen 2000 und 2008 von 8,4 l/100 km auf 6.4 l/100 km sinken. Faktisch lag der Durchschnittswert aber bei rund -1.5%/a. Der Zielwert 2008 wurde damit deutlich verfehlt.
Erst seit 2008 liegen die Reduktionsraten zwischen 3 und 4%/a und damit im früher anvisierten Bereich.

praktisch klimaneutral produziert werden kann (d.h. rund 75% Wasserkraft, 25% Atomstrom wie heute). Figur 10 zeigt die Ergebnisse, aus denen sich folgende Entwicklungstendenzen ableiten lassen:

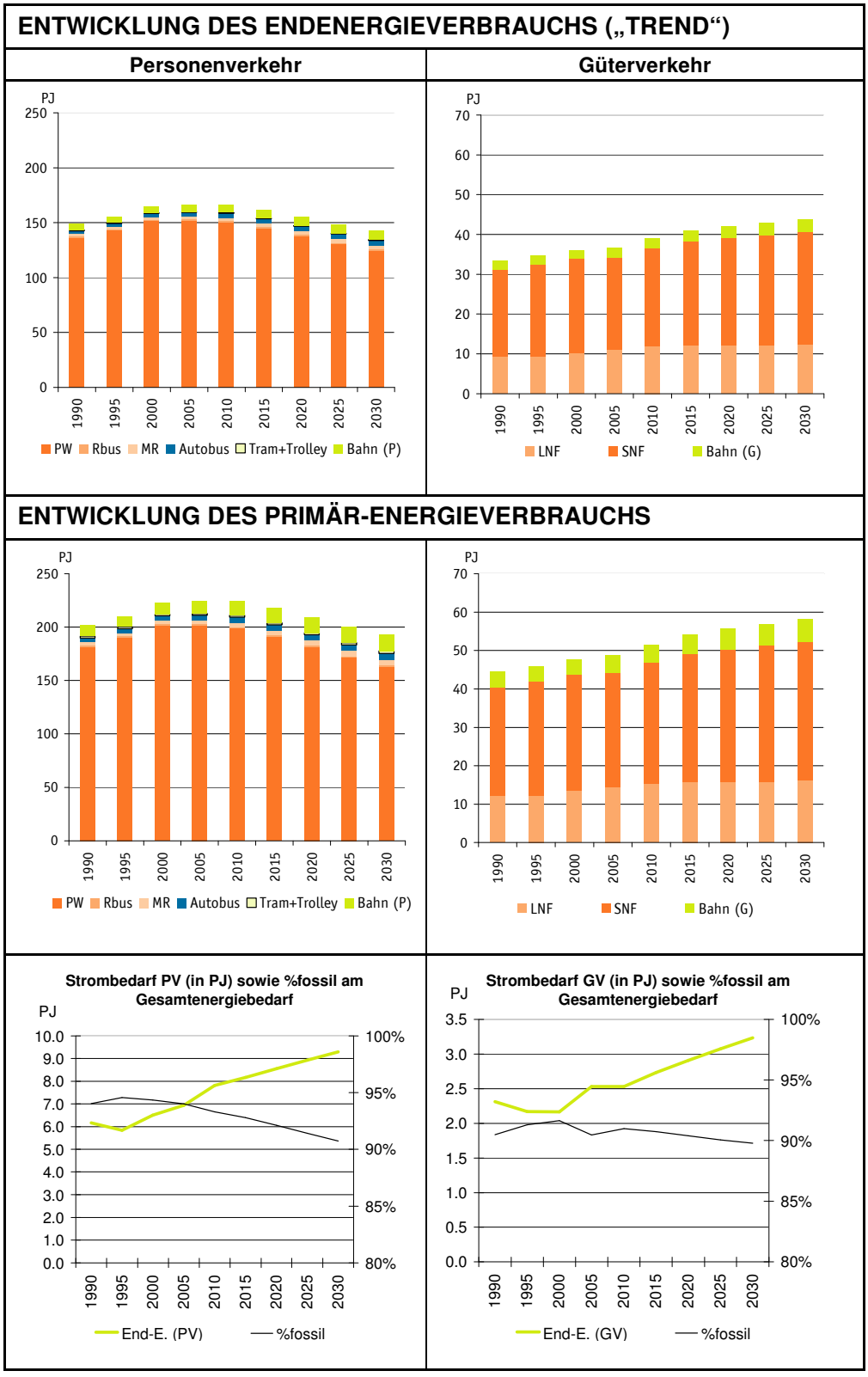
› Der Energieverbrauch im Personenverkehr befindet sich heute auf dem Maximum und wird trotz Wachstum auf Schiene und Strasse insgesamt tendenziell abnehmen.

› Im Güterverkehr ist das noch nicht der Fall. Hier wird der Energieverbrauch insgesamt noch weiter zunehmen.

› Insbesondere wird der Bedarf an Elektrizität weiter ansteigen – bedingt durch das grosse Wachstum im Schienenverkehr für den Transport von Personen wie Gütern (und nicht etwa auf eine starke Zunahme der Elektromobilität auf der Strasse).

› Der fossile Anteil im Verkehr wird zwar etwas zurückgehen, aber er bleibt auf sehr hohem Niveau von rund 90%.

› So betrachtet bleiben die strukturellen Vorteile der Bahn im Wesentlichen bestehen. Das gilt auch für die CO_2-Emissionen – allerdings unter der Voraussetzung, dass der Strombedarf weiterhin mehrheitlich mittels erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.



Figur 10 Entwicklung des Energieverbrauchs im Trend-Szenario (Detailzahlen in Annex 2).

Alternative Entwicklungsmöglichkeiten

Das oben skizzierte Trend-Szenario berücksichtigt verschiedene aktuelle Tendenzen und Erfordernisse nicht, die einen spürbaren Einfluss auf die Entwicklung nehmen können. Mehrere Faktoren sind von Belang:

› Reichen die Massnahmen zur Steigerung der Fahrzeugeffizienz aus? Namentlich bei der Strasse ist der Druck gross, die Fahrzeuge effizienter und klimaverträglicher zu machen.

› Inwieweit können alternative Treibstoffe und Antriebe zur Minderung der Klimagasemissionen beitragen?

› Wie wird der Strom künftig produziert – sei es für die Bahn, sei es für eine allfällige Elektromobilität im Strassenverkehr?

CO_2-Ziele im Strassenverkehr

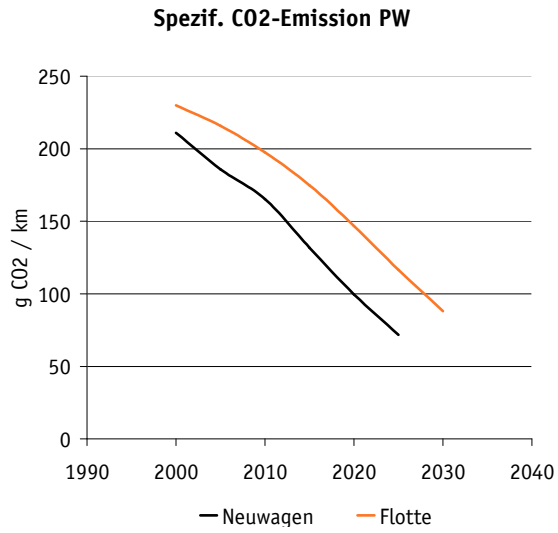
Ein Schwerpunkt der schweizerischen Klimapolitik im Bereich Verkehr zielt auf Effizienzgewinne bei den Fahrzeugen. Im Rahmen der CO_2-Gesetz-Revision sollen u.a. Emissionsziele für Schweizer Neuwagen festgelegt werden. Damit soll eine Nachfolgeregelung für die freiwillige Vereinbarung zwischen auto-schweiz und dem UVEK gefunden werden[11]. So schlägt der Bundesrat vor, dass die Emissionen von Schweizer Neuwagen bis 2015 durchschnittlich auf 130 g CO_2/km – analog zur EU – sinken. Das Ziel soll mittels einer Sanktion bei Überschreitung der Zielvorgabe erreicht werden. Darüber hinaus sehen die Vorschriften der EU vor, dass weitere 10 g/km mit anderen technischen Verbesserungen und erhöhtem Einsatz von nachhaltigen Biotreibstoffen erreicht werden sollen. Weil die mittleren CO_2-Emissionen der PW-Neuzulassungen in der Schweiz höher sind als in der EU[12], bedeutet dies einen steileren Absenkpfad als in der EU. Darüber hinaus wird in der EU mittelfristig (per 2020) ein Ziel von 95 g/km anvisiert. Dass diese Ziele durchaus ambitiös sind, zeigt Figur 11, denn sie bedeuten faktisch etwa eine Halbierung des CO_2-Ausstosses innert rund 20 Jahren.

Die Anstrengungen werden auch andere Fahrzeugkategorien betreffen, namentlich die Lieferwagen. Nach einer sich abzeichnenden Kompromisslösung sollen sie in der EU ab 2020 maximal 147 g CO_2 emittieren, mit verschiedenen Zwischenzielen bis zu diesem Zeitpunkt. Wie weit auch solche Ziele für die schweren Nutzfahrzeuge eingeführt werden ist offen. Jedenfalls wird geprüft, wie der CO_2-Ausstoss dieser Fahrzeuggruppe einheitlich erfasst werden kann.

11 Umsetzung UREK-N-Motion 07.3004, vgl. Botschaft zur Volksinitiative «Für menschenfreundlichere Fahrzeuge» und zu einer Änderung des CO2-Gesetzes, vom 20. Jan. 2010

12 Im Jahr 2008: CH 175 g/km, in der EU 153,5 g/km, im Jahr 2009: CH 167 g/km, in der EU 146 g/km

EFFIZIENZ-ENTWICKLUNG DER PW GEMÄSS ZIELVORGABEN



Figur 11 Effizienzziele bei den PW: Der CO_2-Emission der Neuwagen soll bis 2020 auf 95 g/Fzkm gesenkt werden. Der reale Flottenverbrauch, der etwas über diesen spezifischen Emissionswerten (gemäss Norm-Zyklus) würde mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung ebenfalls deutlich abgesenkt.

Elektromobilität auf der Strasse

Zuweilen wird die Auffassung vertreten, dass die CO_2-Emissionsziele nur erreicht werden können, falls die (energie-effiziente) Elektromobilität auch im Strassenverkehr Einzug hält. Dazu läuft allerdings eine intensive Debatte. Dass die Potenziale bei den Verbrennungsmotoren noch lange nicht ausgereizt sind, zeigen z.B. Prototypen von „1-L-Fahrzeugen“ (VW XL1, präsentiert im Januar 2011). An sich spricht aber durchaus vieles für die Elektromobilität (z.B. Keller 2010, BFE 2010):

› Hohe Effizienz auf Fahrzeugebene[13], insbesondere im Innerortsverkehr (Faktor 4 gegenüber dem heutigen Durchschnittsverbrauch eines PW), was u.a. auch eine Antwort auf „Peak Oil“ liefert,

› Vielfältige Möglichkeiten der Strombereitstellung,

› Möglichkeit, den nötigen Strom aus erneuerbaren Energien zu produzieren,

› Null-Emission am Auspuff und dadurch bessere Luftqualität,

› „Flüsterwagen“ – und dadurch ein Beitrag zu weniger Strassenlärm,

› Das „Tanken“ ist einfach und überall möglich,

[13] Zu berücksichtigen ist allerdings der gegenüber konventionellen Treibstoffen höhere Energiebedarf für die Strombereitstellung. Dieser wiederum ist abhängig vom Erzeugungsmix.

› Potenzial für intelligente Kombinationen Verkehr / Energie („V2G“, vehicle-to-grid[14]),
› Neue Business-Möglichkeiten,
› Standortvorteile Technologie-Entwicklung.

Dem stehen aber entscheidende *Nachteile* und *Hemmnisse* gegenüber, die vor allem gegen eine schnelle Diffusion sprechen:

› Hohe Kosten (vor allem wegen der Batterien),
› Reichweite: limitiert auf 100 – 150 km,
› Verfügbarkeit der Technologie: diese ist derzeit vor allem „angekündigt“, d.h. die Modell-Palette ist noch sehr begrenzt, mit dem Effekt, dass für die Durchdringung des Marktes noch ein grosser Zeitbedarf besteht,
› Die technologische Palette ist breit, es besteht keine Einigkeit in der Branche, wie der Diffusionspfad aussehen wird (Batterie-EV, Plug-In-Hybrids, Range Extenders, Brennstoffzellen-EV).
› Umweltauswirkungen der Batterieherstellung: Es bestehen noch beträchtliche Wissenslücken im Zusammenhang mit den Umweltauswirkungen der Batterieherstellung. Dabei geht es einerseits um den Energieaufwand und die CO_2-Emissionen der Batterieherstellung, andererseits um die Verwendung mineralischer Rohstoffe, insbesondere von sogenannten „seltenen Erden“.
› Je nach Art des eingesetzten Stroms können zusätzliche Umweltbelastungen aus der Elektrizitätserzeugung und Brennstoffgewinnung entstehen, welche für Elektroautos zu einer schlechteren Gesamtumweltbilanz führen als für sparsame Autos mit Verbrennungsmotoren.
› Die Finanzierungsfrage: Je erfolgreicher die Diffusion von Elektromobilen, desto schneller stellt sich die Frage nach der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur, da diese zu einem grossen Teil über die Mineralölsteuer erfolgt. E-Mobile leisten (vorerst) keinen Beitrag dazu, weshalb die Nutzerbeiträge zurückgehen werden, mithin also eine neue Art der Finanzierung gefunden werden muss (Mobility pricing o.ä., vgl. Infrastrukturbericht des Bundesrates 2010).

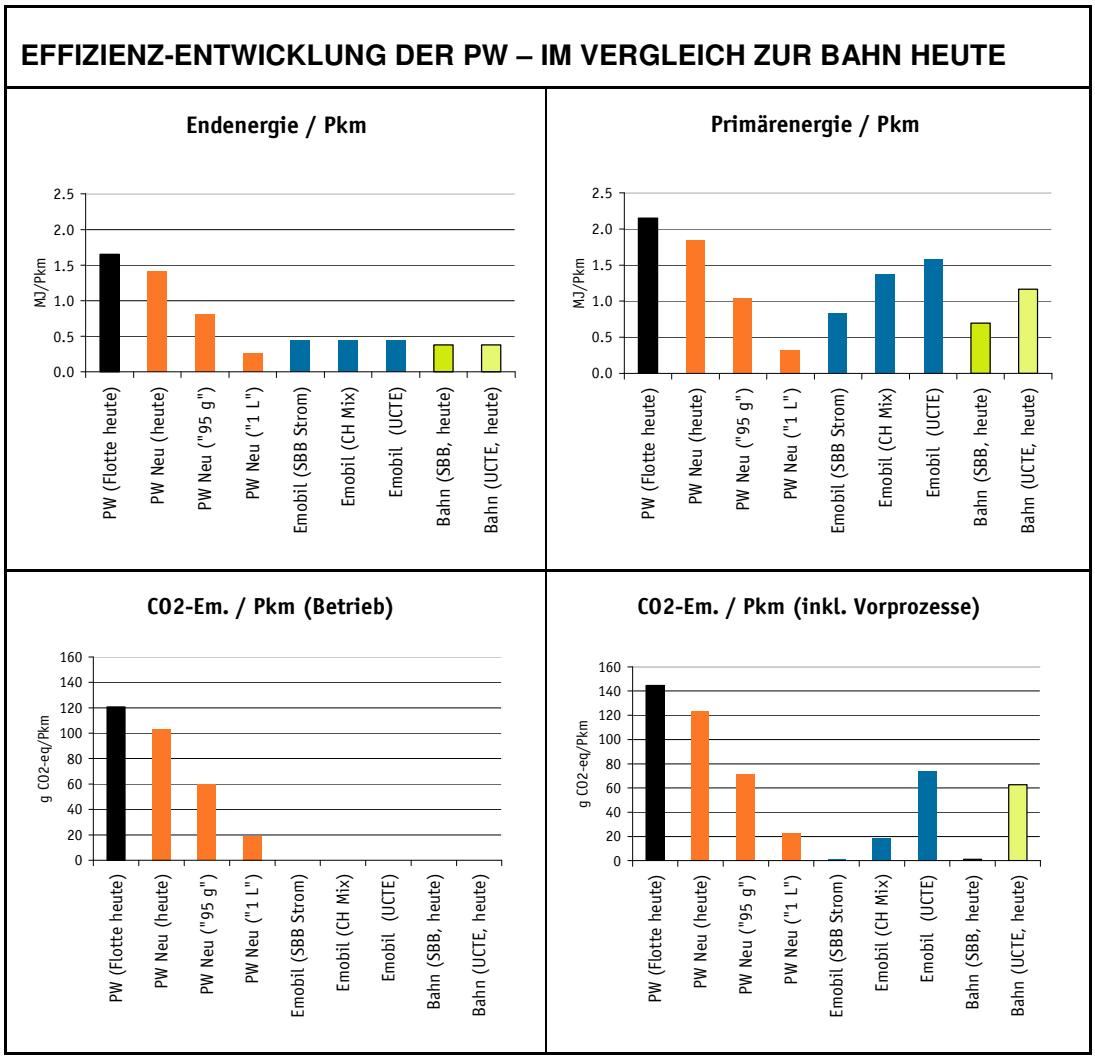
Trotz dieser offenen Fragen ist wohl davon auszugehen, dass Elektromobilität durchaus einen wichtigen Stellenwert einnehmen wird, auch wenn der grosse Systemsprung noch nicht unmittelbar bevorsteht. Für den öffentlichen Verkehr bedeutet das eine klare Herausforderung, weil so „die Strasse“ effizienter werden und so einen der wichtigen Vorteile des ÖV „reduzieren“ wird.

Figur 12 zeigt, wie sich die Effizienz im PW-Bereich entwickeln könnte und so die Bahn vor neue Herausforderungen stellt. Die Figur zeigt einerseits den Endenergie- und den Primärverbrauch, andererseits die spezifische CO_2-Emission pro PKm. Dargestellt sind – ausgehend

14 Konzept zur Speicherung und Abgabe von elektrischem Strom aus dem öffentlichen Stromnetz in Elektroautos, was vor allem bei Zunahme des Anteils an grünem Strom bedeutsam ist.

vom heutigen mittleren PW-Verbrauch – verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten beim PW, welche dem heutigen mittleren Bahn-Stromverbrauch gegenübergestellt werden. Selbstredend prägen die zugrunde liegenden Annahmen die Ergebnisse. Die Darstellung zeigt folgendes:

› Ausgangspunkt ist die bereits oben gemachte Feststellung, dass die Bahn heute um rund einen Faktor 3 bis 4 effizienter ist (bezüglich Endenergie etwa Faktor 4, bezüglich Primärenergie etwa Faktor 3).



Figur 12 Mögliche Effizienzgewinne im PW-Bereich stellen die Bahn vor neue Herausforderungen (vgl. Zahlen in Annex 2).

› Das offizielle Ziel der EU („95 g CO_2/Fzkm per 2020“) wird mittelfristig etwa eine Halbierung des PW-Energieverbrauchs und der entsprechenden CO_2-Emissionen bringen.

› Ein Elektromobil dürfte einen Endenergieverbrauch aufweisen, der im Bereich des mittleren Bahnverbrauchs liegt (Endenergie). Bezüglich Primärenergie und noch mehr bezüglich CO_2-Emissionen ist es dann entscheidend, wie der Strom produziert wird.
› Unterstellt man beispielsweise den konventionellen Versorgungsmix (CH-Mix), bleibt die Bahn im Vorteil, geht man aber bahnseitig z.B. von einer „mittleren europäischen" Produktionsart aus und unterstellt (allenfalls etwas optimistisch), dass die Elektromobilität auf der Strasse nur Einzug hält, wenn der neue Strombedarf aus erneuerbarer Energie produziert wird, so verlöre die Bahn einen entscheidenden Vorteil.
› Selbstverständlich wäre auch das Umgekehrte denkbar – dass der Bahnstrombedarf aus erneuerbarer Energie produziert wird, der Strom für die Elektromobilität aber konventionell (z.B. nach heutigem Versorgungsmix). So bliebe der Vorteil der Bahn gewahrt, zumal hier dem heutigen mittleren Bahnverbrauch der Energieverbrauch eines einzelnen Elektromobils (und nicht der PW-Flottenverbrauch mit einem bestimmten Anteil an Elektromobilen) gegenübergestellt wird.
› Gleichwohl kann man daraus folgern, dass auch bahnseitig eine weitere Energie-Effizienz-Steigerung notwendig sein wird, soll der energiebezogene Umweltvorteil bewahrt werden. Zudem ist ein wichtiges Augenmerk auf die Stromproduktion zu legen, zumal bahnseitig ein Mehrbedarf zu erwarten ist.

Die Produktion der Energie (Treibstoffe, Strom)[15]

› Die Produktion der **Treibstoffe auf Mineralölbasis** ist abhängig von der Herkunft des Rohöls und dem Herstellungsverfahren in den Raffinerien. Gemäss aktuellen Studien, z.B. IEA (2010) werden die Aufwendungen für die Herstellung von Benzin und Diesel zukünftig durch den zunehmenden Anteil unkonventioneller Ressourcen (z.B. Ölsande, extraschweres Heizöl, Kohle- und Erdgasverflüssigung, Ölschiefer) ansteigen. Allerdings sind die Veränderungen bis 2030 noch nicht so dramatisch, dass sie hier relevant wären und gewissermassen eine „Entwarnung" bezüglich bahnseitigem Handlungsbedarf zulassen würden.
› Der zunehmende Anteil an **Biokraftstoffen** kann zu einer relevanten Absenkung der Klimagasemissionen von PW und LW führen. Allerdings ist die Art der eingesetzten Biotreibstoffe mittel- und langfristig und damit deren Emissionen aus den Vorprozessen kaum quantifizierbar. Unterstellt man z.B. einen Anteil von 10% bis 13% Biotreibstoffe[16], welche bei den Kli-

15 vgl. auch Annex 3
16 10% Ethanol, 13% Biodiesel, analog zu Szenarien aus Deutschland.

magasemissionen je eine Reduktion um 60% bringen[17], so reduziert dies netto die Treibhausgase um rund 5% (ist in den Zahlen der künftigen Technologien in Figur 12 so berücksichtigt).

› Wie aus Figur 12 hervorgeht, hat der Energieträgermix für die **Stromerzeugung** einen grossen Einfluss auf die mittleren Energie- und Emissionswerte der Strombereitstellung. Die nachstehende Tabelle zeigt, wie der Primärenergiebedarf bzw. die CO_2-Emissionen für die Produktion des Bahnstroms variieren, wenn der Produktionsmix sich ändert (vgl. Annex 3):

  › Variante 1: Bei der trendmässigen Abschätzung des künftigen Bahnstrombedarfs wurde unterstellt (Figur 10), dass die Bahn in der Lage sein wird, den heutigen Split von rund 75% Wasserkraft und 25% Nuklearstrom beizubehalten, auch wenn der Bedarf um gut 20% zunehmen wird. Der Primärenergiebedarf der Bahn wird demnach im Jahr 2030 rund 21 PJ betragen, welche mit rund 16 kt CO_2-Emissionen verbunden sein werden.:

  › In Variante 2 ist unterstellt, dass der zusätzliche Bedarf an Bahnstrom durch Importe (UCTE-Mix) gedeckt wird. Dadurch wächst der relative Anteil an UCTE auch wenn der heutige Wasserkraft-Anteil absolut betrachtet bestehen bleibt. Dadurch steigen namentich die CO_2-Emissionen an.

  › In Variante 3 wird davon ausgegangen, dass erneuerbare Energien (Wind, Sonne, Biomasse) den zusätzlichen Bedarf an Bahnstrom decken können. Dadurch nehmen die CO_2-Emissionen gegenüber Var. 1 zu, allerdings in sehr beschränktem Ausmass.

  Die Variation zwischen den Varianten ist zwar durchaus bemerkenswert, aber im Vergleich zur Strasse (rund 200 PJ bzw. 13'150 kt CO_2 im Jahr 2030) ist das Niveau sehr tief, vor allem weil in jedem Fall davon ausgegangen wird, dass die heute mit Wasserkraft produzierten Strommengen auch zukünftig im gleichen Umfang verfügbar sein werden.

	Var. 1: SBB Mix heute (74% Hydro, 26% Nuklear)	Var. 2: Mix Import (61% Hydro, 39% UCTE)	Var. 3: Mix Erneuerbar (61% Hydro, 39% erneuerbar)	Zum Vergleich: PW + LW TREND 2030
Primärenergie (PJ)	20.5	19.2	17.2	199
CO2 (in kt)	16	388	61	13'159

Tabelle 2 Primärenergiebedarf der Bahnen und damit verbundene CO_2-Emissionen im Jahr 2030 bei variierendem Produktionsmix für den Bahnstrom (vgl. Grundlagen in Annex 3, Abschnitt Strommix 2030).

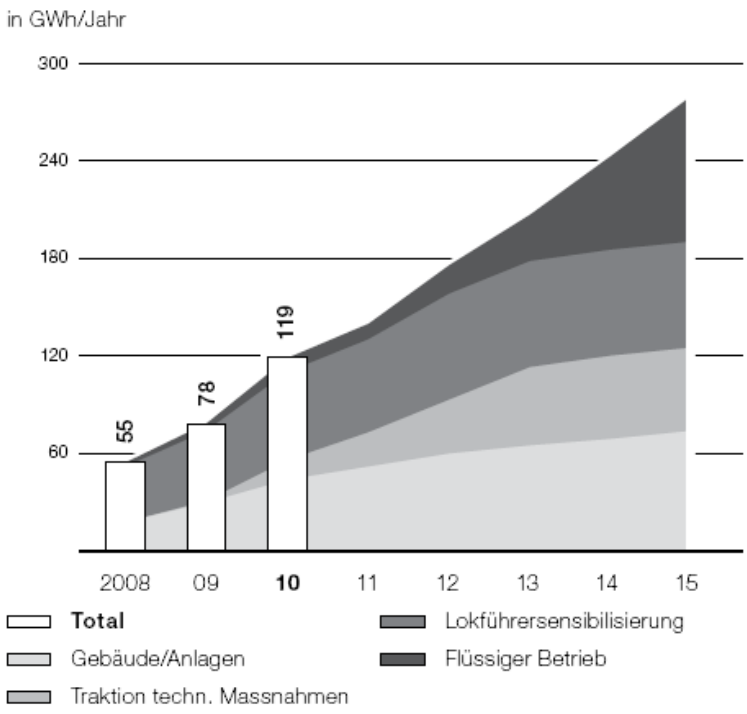
17 Gemäss den Nachhaltigkeitskriterien, die in der Richtlinie zur Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Richtlinie 2009/28/EG [EU 2009]) ab 2018 gefordert werden.

4.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN

Massnahmen im Schienenverkehr

Auch wenn der Energieverbrauchsvergleich vorerst klar zugunsten des öffentlichen Verkehrs ausfällt, bleibt Energie eine knappe Ressource. Energie ist deshalb auch ein Kostenfaktor. Die SBB beispielsweise haben deshalb ein Energiesparprogramm lanciert mit dem Ziel, bis 2015 10% der Energie einzusparen (oder 230 GWh im Vergleich zu 2300 GWh im Jahr 2008, wobei der Anteil der Traktionsenergie rund 1700 GWh ausmacht).

EINSPARWIRKUNG ENERGIESPARPROGRAMM SBB



Figur 13 Einsparwirkung des Energiesparprogramms der SBB (Quelle: Geschäftsbericht SBB, 2010)

Dieses setzt auf vier Pfeiler (Chretien 2009):

› Betriebsführung
  › verbesserter Verkehrsfluss
  › Erhöhung Fahrplanstabilität und Energieeffizienz
› Optimierte Fahrweise der Lokführer
  › optimaler Einsatz elektrischer Bremse

› vorausschauende Fahrweise

› Optimierungen am Rollmaterial

› Verbesserungen am Bestand

› Beschaffungsvorgaben mit besonderem Augenmerk auf Energieeffizienz

› Gebäude und Anlagen

› Zielvereinbarungen

› Projektstandards

› Energiebuchhaltung

Zusätzlich setzt die SBB ein Klimaschutzprogramm um, mit dem die betrieblichen Emissionen bis 2020 um 30% gegenüber 1990 reduziert werden sollen,

Andere Transportunternehmungen engagieren sich ebenfalls im Energiesparen und im Klimaschutz. So zielt die DB etwa auf eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen von 20% bis 2020 mit folgenden Stossrichtungen:

› Effizienzsteigerung und Modernisierung des Fahrzeugparks

› Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien

› Vernetzung und Verlagerung

› Weitere Elektrifizierung des Bahnverkehrs

› Energiesparende Fahrweise

› Auslastungsoptimierung

Massnahmen bei Autobussen

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass der entscheidende energetische und Klima-Vorteil vor allem von Schienenverkehr herrührt. Gleichwohl spielt der Autobus eine wichtige Rolle im ÖV-System, weil er häufig die „letzte Meile“ in der Transportkette darstellt. Auch für sich allein betrachtet ist er im Vergleich zum PW aus Umweltsicht im Vorteil, wie Figur 8 nachweist. Allerdings kann sich das Verhältnis bald einmal drehen, wenn die Auslastung absinkt. Deshalb stellt sich – namentlich vor Ersatzbeschaffungen von Busflotten – immer wieder die Frage, ob bzw. wie die Busflotte effizienter und umweltverträglicher gestaltet werden kann. Weil der Dieselbus derzeit faktisch der Standard ist, lautet die Frage häufig, welchen Beitrag alternative Antriebe leisten können – einerseits aus energetischer und Klima-Sicht, andererseits aus Gründen der Luftreinhaltung, dies namentlich in Städten, wo die Luftqualitätsgrenzwerte noch öfters überschritten werden (vgl. dazu Kapitel 5).

Verschiedene Städte (Bern, Basel, Schaffhausen, St. Gallen, Winterthur, Frauenfeld u.a.) haben in den letzten Jahren die Frage erörtert, welcher Antriebsart im öffentlichen Busverkehr

die Zukunft gehöre und aus ökonomischer und ökologischer Sicht künftig der Vorzug zu geben sei (vgl. Keller und Lebküchner 2008). Dem Dieselbus stehen in der Regel als Alternativen der Trolleybus, der Hybridbus und der Gasbus gegenüber (wobei der Hybridbus weniger eine Alternative zum Dieselbus sondern allenfalls eine Subvariante mit energetischen Vorzügen ist). Ein Vergleich der drei Antriebsarten führt in der Regel zu einer gleichlautenden Aussage:

› Aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht verursacht der Trolleybusbetrieb unter den heutigen Marktbedingungen die höchsten Kosten. Neben den deutlich höheren Fahrzeug-Preisen – ein Gelenk-Trolleybus kostet rund doppelt so viel wie ein Gelenk-Dieselbus – belasten vor allem die Kosten für die Oberleitung die Rechnung. Am günstigsten schneidet selbst mit hohen Treibstoffpreisen der Dieselbus ab. Der Dieselpreis an der Tanksäule müsste bei unverändertem Strompreis auf deutlich über drei Franken pro Liter steigen, damit der Kostenvorteil gegenüber dem Trolleybus wegfällt. Der Betrieb mit Gasbussen liegt kostenmässig etwa in der Mitte. Gasfahrzeuge sind in der Anschaffung etwa 20 Prozent teurer als Dieselbusse. Beim Umstieg auf Gasbusse fallen zusätzlich Kapital- und Betriebskosten für eine Gasbetankungsanlage an.

› Aus ökologischer Sicht belegt der Trolleybus Platz eins. Er fährt mit schweizerischem Strom praktisch CO_2-neutral, stösst keine gesundheitsgefährdenden Schadstoffe aus, verursacht am wenigsten Lärm und schneidet auch bei der Energiebilanz am besten ab. Der Trolleybus benötigt dank besserem Wirkungsgrad des Motors halb soviel Endenergie wie der Dieselbus. Gegenüber dem Gasbus spart der Trolleybus gar zwei Drittel an Energie. Zudem weist Strom hinsichtlich längerfristiger Versorgungssicherheit Vorteile gegenüber Diesel oder Gas auf. Problematisch beim Dieselbus sind nach wie vor die Stickoxide, mindestens solange neue Technologien zur Abgasreinigung bei Stadtbussen noch nicht ihre volle Wirkung entfalten (vgl. Kapitel 5). Diesbezüglich schneidet der Gasverbrennungsmotor besser ab. Punkto Abgaspartikel haben sich dank neuester Motorentechnologien die Unterschiede zwischen Diesel- und Gasbus deutlich verringert.

› Der Dieselbus hat gegenüber der elektrischen Traktion einen grossen Nachteil für das Klima, sofern der Strom aus CO_2-neutraler Produktion stammt. Der Gasbus bringt keine Vorteile, solange Erdgas getankt wird. Der Erdgasbus hat eine ähnliche CO_2-Bilanz wie der Dieselbus: sein höherer Energieverbrauch kompensiert annähernd den positiven Effekt des geringeren Kohlenstoffgehalts von Erdgas. Erst wenn der Gasbus mit vorwiegend aus Abfällen hergestelltem Biogas betankt wird, ist er ökologischer.

› Der Hybridbus erhöht die Energieeffizienz vor allem im städtischen Busverkehr mit häufigen Stop-and-go-Situationen, indem die beim Bremsen anfallende Energie im Fahrzeug gespei-

chert wird (Rekuperation). Gegenüber dem Dieselbus senkt der Hybridantrieb den Treibstoffverbrauch um etwa 20 Prozent. Diese Umweltvorteile haben aber ihren Preis (rund ein Drittel höhere Fahrzeugpreise, evtl. höhere Wartungskosten). Die Entwicklung dieser Technologie ist noch in vollem Gang.

› In noch höherem Mass trifft das auf den Brennstoffzellen-Bus zu. In Kombination mit der Wasserstoff-Technologie wird dieses Konzept zuweilen als Antrieb der Zukunft bezeichnet. Neben prinzipiellen Vorbehalten (Wasserstoff ist keine Primärenergie, sondern ein Energieträger) und sehr hohen Kosten besteht ein grosser technischer Entwicklungsbedarf bis zur Marktreife.

Erfahrungen mit der Evaluation dieser Varianten in verschiedenen Städten (z.B. Infras 2006, Infras 2007b, Infras 2008, Infras 2009) haben gezeigt, dass trotz dieser generell gültigen Einschätzungen die lokalen Umstände eine wichtige Rolle spielen und zu unterschiedlichen Schlüssen führen können. So hat z.B. Basel, wo im öffentlichen Nahverkehr das Tram dominiert, 2006 in einer Volksabstimmung entschieden, den (kleinen) Trolleybusbetrieb vor allem aus Kostengründen zugunsten des Einsatzes von Gasbussen (mit einem substanziellen Anteil an Biogas) aufzugeben. Winterthur hat 2008 beschlossen, weiterhin auf Trolleybusse zu setzten, primär aus ökologischen Gründen und trotz Kostennachteilen gegenüber Dieselbussen. St. Gallen hat sich für den Ersatz mit Dieselbussen entschieden. Frauenfeld hat kürzlich beschlossen, Hybridbusse zu testen, ähnlich wie die Post, welche seit 2010 Hybridbusse in einem Pilot-Projekt einsetzt.

4.4. HANDLUNGSBEDARF

Aufgrund der Ausführungen und Verkehrsmittelvergleiche ist beim ÖV Handlungsbedarf unterschiedlicher Art zu orten:

Datenerhebung und Controlling

Ein regelmässiges Monitoring und Controlling von Energieverbrauch und CO_2 –Emissionen ist wichtig und eine Voraussetzung, um Wirkung und Erfolg von einzelnen Massnahmen zu überprüfen. Möglicherweise sind solche Systeme unternehmensintern verfügbar. Für Aussenstehende ist jedenfalls der Nachvollzug des Energieverbrauchs nicht in transparenter Weise möglich. Die zugänglichen statistischen Grundlagen sind für weiterführende Arbeiten nicht genügend aufschlussreich. Hier besteht Klärungsbedarf. Dazu gehört etwa eine systematische Auswertung von Messwerten (z.B. der SBB, BLS, KTU etc.), Klärung der Differenzen zwischen den verschiedenen statistischen Grundlagen, Längs- und Querschnittsuntersuchungen mit mehrjährigen Datenreihen mit dem Ziel, ein Benchmarking zu ermöglichen, Ermittlung und Publikation von

Energie-Kennziffern bei allen Bahnen im Rahmen der Ermittlung des Energiebedarfs, Koordination der statistischen Auswertungen des Energiebedarfs zwischen BAV/BFS und den Bahnen (SBB, ggf. VöV), ggf. Review der Definitionen (z.B. saubere Ausscheidung zwischen Traktionsenergie und stationärem Verbrauch). Das gilt einerseits für den Schienenverkehr, andererseits für den Tram-, Trolley- und Autobus-Verkehr.

Strategische Zielsetzungen

Als Leitlinie für eine künftige Massnahmenstrategie ist eine Energie- und Klimastrategie zu entwickeln, um der Gefahr zu begegnen, dass der ÖV den energetischen Vorteil gegenüber der Strasse verliert. Dazu gehört u.a. ein Leitbild zur Festlegung von Zielsetzungen für den öffentlichen Verkehr (vgl. dazu "Moving towards Sustainable Mobility: European Rail Sector Strategy 2030 and beyond" (UIC/CER 2010). Auf dieser Basis sind Zielvorgaben abzuleiten zuhanden der Transportunternehmungen (analog den Produktivitätsvorgaben im Rahmen der Leistungsvereinbarung mit den SBB),

Aktive Support-Rolle des BAV

Teil einer Energie- und Klimastrategie ist es auch, eine aktive Rolle mit Blick auf die Umsetzung von Massnahmen zu übernehmen. Die Rolle des BAV wäre eine unterstützende, da die Umsetzung letztlich in den Verantwortungsbereich der TU gehört. Dazu gehört etwa

- die Förderung und Beteiligung an Pilot- und Demonstrationsprojekten zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Bahn, aber auch bei Bus-Projekten,
- Technologiemonitoring,
- Unterstützung der TU bei der Evaluation von Massnahmen zur Steigerung der Energie- und Klimaeffizienz,
  - im Betriebsmanagement,
  - bei der Weiterentwicklung des Fahrzeugparks (Neu- und Umbaufahrzeuge),
  - bei der Produktion erneuerbarer Energie,
- Ausarbeitung von Beschaffungskriterien bei der Bestellung von Neufahrzeugen im öffentlichen Verkehr (in Anlehnung an die Politik in der EU, vgl. EU-Richtlinie für saubere und energieeffiziente Fahrzeuge, Richtlinie 2009/33/EU; oder z.B. die TecRec 100-001-Methodik der SBB [SBB 2011]).

Finanzielle Anreize zur Förderung der Energieeffizienz

Im Vordergrund steht der Einbezug des Energieverbrauchs in das Trassenpreissystem. Zwar berücksichtigt der Mindestpreis bereits heute einen Anteil für den Energieverbrauch (vgl. Eisenbahn-Netzzugangsverordnung, Art. 1). Eine Weiterentwicklung des Trassenpreissystems könnte

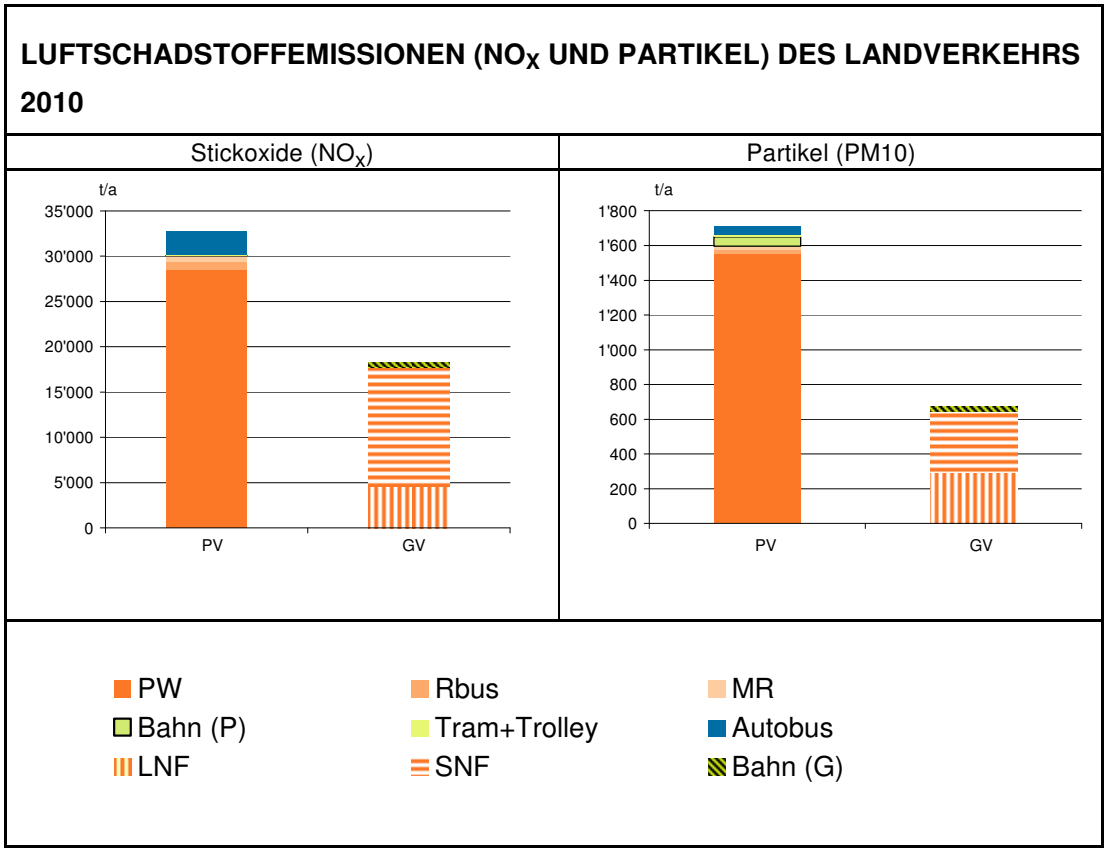
jedoch eine Abrechnung nach effektivem Verbrauch umfassen. Das setzte allerdings voraus, dass der effektive Energieverbrauch pro Zug gemessen und verrechnet wird (was derzeit nicht der Fall ist). Dazu müssten entsprechende Messinstrumente entwickelt und beschafft werden. Eine pragmatische (kostengünstigere) Zwischenstufe könnte eine gegenüber heute weitergehende Differenzierung nach Fahrzeugtypen und Zugsgattungen sein, weil verschiedene Zugsgattungen typischerweise unterschiedlich hohe Energieverbräuche haben. So könnten Anreize in Richtung Energieeffizienz gesetzt werden.

5. LUFTSCHADSTOFFE

5.1. DER HEUTIGE ZUSTAND

Die Luftverschmutzung hat negative Auswirkungen auf den Menschen, auf Ökosysteme, auf Gebäude, Materialien und das Klima. Beim Menschen führt sie zu Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und gemäss BAFU/BFS (2009) zu rund 3000 bis 4000 vorzeitigen Todesfällen pro Jahr. Empfindliche Ökosysteme werden durch Stickstoffverbindungen überdüngt oder versauern. Die Ozonbelastung kann in der Landwirtschaft je nach Kultur und Witterungsbedingungen zu markanten Ernteeinbussen führen. Zudem entstehen auch Schäden an Materialien und Gebäuden. Gemäss ARE/BAFU (2008) betragen die durch den Verkehr verursachten Gesundheitskosten und Gebäudeschäden rund 2.3 Milliarden Franken (Jahr 2005). Rund 6% davon fallen auf den Schienenverkehr.

Ursache dieser Belastungen sind die in die Luft ausgestossenen Schadstoff-Emissionen, Wichtigste Schadstoffe der Belastung durch Verkehr sind die Stickoxid- (NO_x) und Partikel-Emissionen (PM). Der Hauptteil der Schadstoffemissionen im Verkehr stammt aus den Verbrennungsmotoren der Fahrzeuge des Strassenverkehrs. Der Anteil des öffentlichen Verkehrs ist deshalb, gemessen an der Gesamtemission des Landverkehrs, wenig bedeutend. Figur 14 zeigt die entsprechenden Emissionen einschliesslich der Emissionen, die bei der Produktion der Energie bzw. des Stroms anfallen. Der Anteil des ÖV stammt einerseits aus den Emissionen für die Stromproduktion (0.2% der NO_x-Emissionen, 3.6% der PM10-Emissionen im Jahr 2010), andererseits vom strasssengebundenen ÖV (Autobusse: 5.2% der NO_x-Emissionen, 2.1% der PM10-Emissionen). Dazu kommen noch 1.1% der NO_x-Emissionen sowie 0.4% PM10 aus dem Rangierbetrieb (BAFU 2008c). Insgesamt fallen also 6.5% der Stickoxide bzw. 6.1% der Partikel-Emissionen (PM10) auf den ÖV. Diese Angaben gelten für das Jahr 2010.



Figur 14 Stickoxid- und Partikel-Emissionen 2010 inkl. Vorprozesse zur Bereitstellung der Energie (Quellen: Betriebsemissionen BAFU 2010a, Vorprozessemissionen: Ecoinvent; Zahlen in Annex 4).

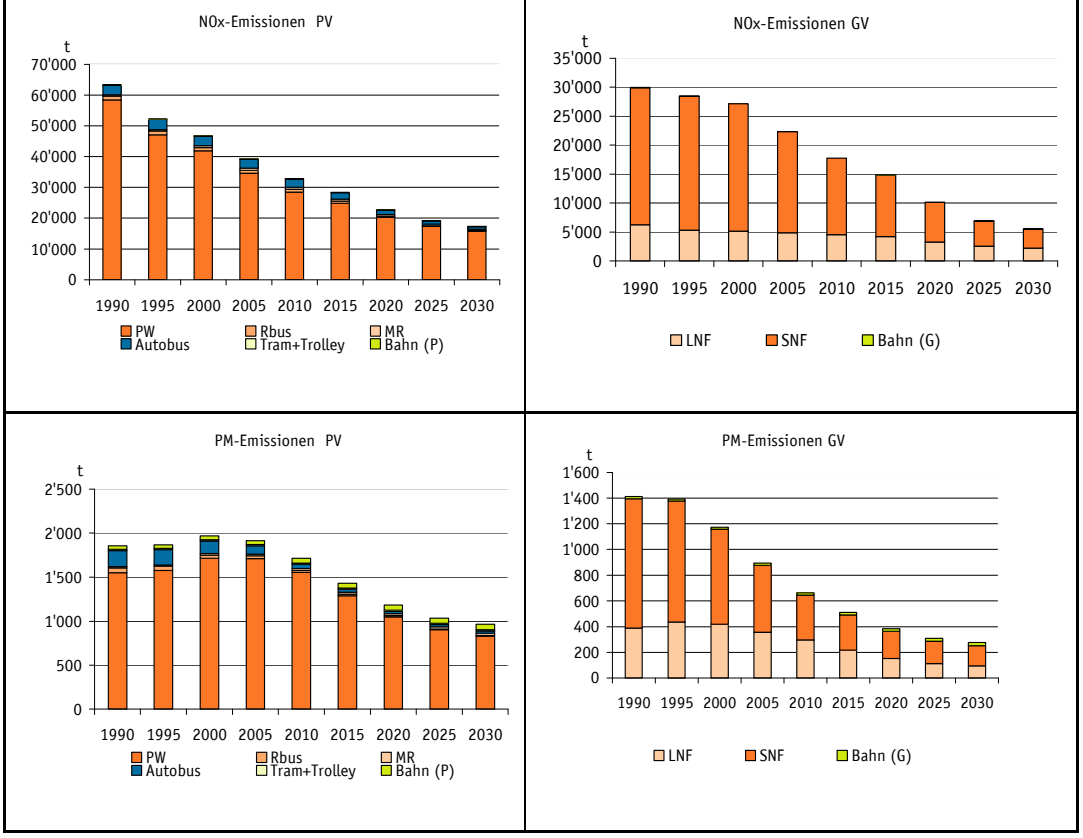
5.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Figur 15 zeigt die zeitliche Entwicklung der Schadstoffemissionen von Personen- und Güterverkehr, illustriert am Beispiel der beiden Leit-Indikatoren, den Stickoxid- (NO_x) und den Partikel-Emissionen (PM). Die wichtigsten Feststellungen dazu sind:

› .Die Entwicklung der Schadstoffbelastung namentlich durch den Strassenverkehr hat bereits bisher markant abgenommen und wird auch in Zukunft noch deutlich abnehmen. Bewirkt wurde diese positive Entwicklung letztlich durch gesetzliche Vorschriften (Emissionsgrenzwerte), die bei den leichten Motorwagen zu Beginn der 80-er Jahre, bei den schweren Motorwagen etwas verzögert gegen Ende der 80-er Jahre eingeführt wurden und für namhafte Absenkungen gesorgt haben. Figur 16 zeigt exemplarisch die Entwicklung der Grenzwerte für NO_x und PM10 der schweren Motorwagen, die auch für Autobusse gültig sind. Die derzeit gültige Stufe Euro-V hat bereits namhafte Reduktionen gebracht, die nächste absehbare Emissionsgrenzwertstufe Euro-VI (verbindlich ab 2014) sollte nochmals eine markante Absenkung bringen.

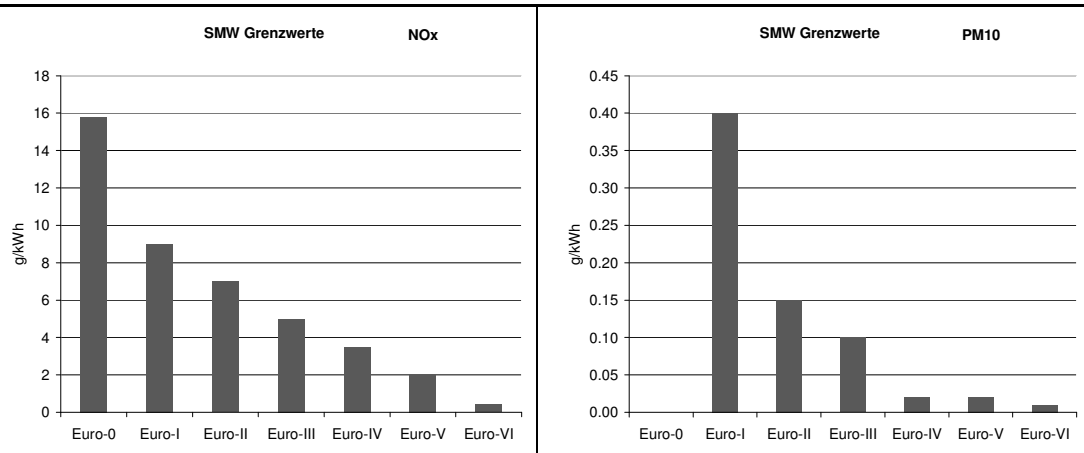
ENTWICKLUNG DER SCHADSTOFF-BELASTUNG (NO_X UND PARTIKEL PM10) INFOLGE BETRIEB UND ENERGIE-BEREITSTELLUNG

Personenverkehr	Güterverkehr



Figur 15 Schadstoffemissionen des Verkehrs (NO_X und PM10) einschliesslich jener Emissionen, die bei der Energiebereitstellung (Treibstoffe, Strom) in die Luft ausgestossen werden. Bei PM10 sind lediglich die Abgasemissionen berücksichtigt. Vgl. Zahlen in Annex 4.

ENTWICKLUNG DER GRENZWERTE NO_X UND PM10 DER SCHWEREN MOTORWAGEN



Figur 16 Entwicklung von NO_Xund PM10-Abgas-Grenzwerten bei Schweren Motorwagen (SMW).

5.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN

Die lufthygienische Belastung durch den ÖV ist allenfalls in Städten ein Problem – dies wegen den Autobussen, welche sowohl vergleichsweise hohe NO_x- wie auch PM10-Emissionen ausstossen. Mittlerweile sind allerdings die meisten ÖV-Busse mit Partikel-Filtern ausgestattet (Schätzung BAFU: ca. 90%). Dies ist u.a. ein Effekt finanzieller Anreize, weil die Rückerstattung der Mineralölsteuer an die Auflage gebunden ist, dass die Busse entsprechend ausgerüstet sind· Bezüglich der Partikel-Problematik besteht deshalb von Seiten ÖV kein unmittelbarer Handlungsbedarf mehr.

Bezüglich Stickoxiden mag hingegen eine spezielle Problematik darin zu erkennen sein, dass die Wirksamkeit der neuen Antriebstechnologien (ab Euro-IV), die sog. SCR-Technologie, im innerstädtischen Bereich nicht im erwarteten Umfang zum Tragen kommt, so dass die NO_x-Emissionen der neuen Fahrzeuge teilweise sogar höher liegen als die der Vorgänger-Modelle. Es wird zu beobachten (und ggf. zu prüfen) sein, wie weit die neuen Fahrzeuge (ab Euro-VI) auch in der „realen Welt“ (und nicht nur im Typenprüfzyklus) die Emissionen abzusenken vermögen. Wieviel Schadstoffe die Autobusse in den städtischen Gebieten, bzw. wieviel im ländlichen Raum emittieren, lässt sich aus den öffentlich verfügbaren Angaben der ÖV-Statistik bestenfalls näherungsweise abschätzen. Diese differenziert grob zwischen Orts- und Regionalverkehr, die Differenzierung basiert allerdings auf Abgeltungskriterien und weniger auf funktionalen Charakteristika. Demnach werden 32% der 247 Mio Buskm (2008) und 38% der rund 3 Mrd. Pkm

dem Ortsverkehr zugewiesen. Diese Zahlen sind allerdings wenig aufschlussreich, da die räumliche Differenzierung sich nur auf Buskm und Pkm bezieht; es wird beispielsweise nicht ersichtlich, wieviel Energie in die verschiedenen Bereiche geht oder wie sich die knapp 5000 Busse oder deren Fahrleistung nach Euro-Stufen verteilen. Weil seit rund 10 Jahren keine transportunternehmens-spezifischen Kenngrössen mehr veröffentlicht werden, ist ein entsprechendes Benchmarking (auch durch die TU selber, um sich selbst innerhalb der Branche zu positionieren) nicht mehr möglich.

5.4. HANDLUNGSBEDARF

Als Handlungsbedarf lassen sich folgende Punkte identifizieren:

- Spezifischer Handlungsbedarf besteht aus lufthygienischer Sicht darin, das Abgas-Verhalten der Busse neuester Bauarten zu überwachen. Das kann etwa durch die Beteiligung an einschlägigen internationalen Messprogrammen erfolgen. Dazu gehört auch die Entwicklung zweckmässiger Verfahren für die Online-Messung von Partikelemissionen im realen Betrieb.
- Die ÖV-Statistik sollte aufschlussreicher gestaltet werden. So sollten Energieverbrauch und auch die eingesetzten Technologien räumlich und ggf. nach TU differenziert werden.
- Bei der SBB sind mittlerweile rund 58% der Diesellokomotiven und –traktoren (entspricht 72% der installierten Leistung) mit Partikelfilter ausgerüstet (SBB 2010). Dies ist international gesehen bereits ein Spitzenwert, eine weitere Anhebung dieser Anteile ist gleichwohl Teil einer „CleanTech-Strategie“ der Unternehmen des öffentlichen Verkehrs.
- Eine Effizienz-Strategie im Schienenverkehr (vgl. Kapitel 4.4) hat indirekt auch positive Effekte auf die Luftbelastung, da letztlich auch die Stromproduktion mit Schadstoffemissionen in die Luft gekoppelt ist.

6. LÄRM UND ERSCHÜTTERUNGEN

6.1. DER HEUTIGE ZUSTAND

Wenn Schall als unangenehm und störend empfunden wird, bezeichnet man ihn als Lärm. In der Schweiz fühlen sich rund 1.3 Millionen Menschen durch Lärm gestört (BAFU 2009a). Auch wenn als grösstes Problem die Lärmbelastung durch den Strassenverkehr empfunden wird, ist Lärm eines der grösseren ungelösten Umweltprobleme des Schienenverkehrs.

Tagsüber sind rund 16% aller Schweizerinnen und Schweizer schädlichem oder lästigem **Strassen**verkehrslärm ausgesetzt, nachts sinkt diese Zahl auf rund 10% (700 000 Personen), was vor allem auf das Nachtfahrverbot für schwere Lastwagen zurückzuführen ist. Anders beim **Schienen**verkehr: hier sind nachts doppelt so viele Personen (145'000 Personen) von Eisenbahnlärm betroffen wie tagsüber (75'000 Personen, Figur 18), was vor allem auf den lärmigen Güterverkehr zurückzuführen ist[18]. Zahlenmässig sind das zwar weniger Betroffene als bei der Strasse, doch ist die Zahl noch immer beträchtlich. Im Gegensatz zum Strassenlärm tritt der Eisenbahnlärm entlang schmaler Lärmkorridore auf. Von der Landesfläche sind 15 km^2 am Tag und 31 km^2 nachts von Eisenbahnlärm belastet.

Wendet man die (strengeren) Empfehlungen der WHO[19] an, erhöht sich die Anzahl der am Tag übermässig lärmbelasteten Personen auf fast 4 Millionen beziehungsweise auf rund 3,1 Millionen nachts (BAFU 2009a).

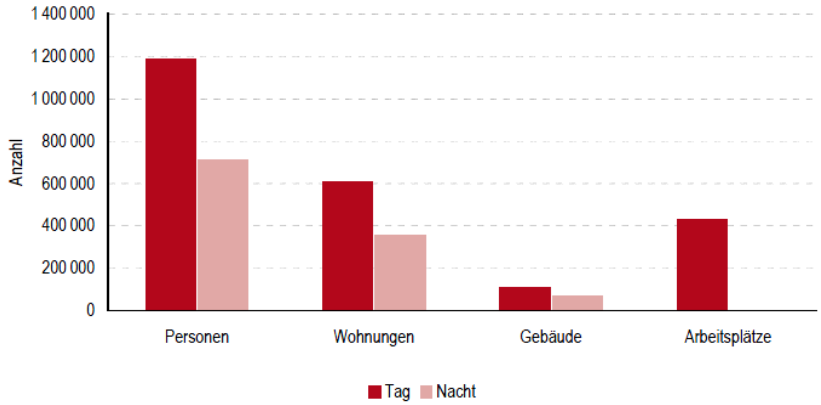
Übermässiger und chronischer Lärm sowie Erschütterungen sind nicht nur lästig, sie können auch krank machen. Folgen davon können Schlafstörungen oder Bluthochdruck sein, möglich ist gar ein erhöhtes Todesrisiko durch einen Herzinfarkt. Dass man sich an Lärm gewöhne, ist falsch. Unser Nervensystem reagiert unbewusst auf Lärm und bewirkt die Ausschüttung von Stresshormonen, insbesondere nachts. Lärm verursacht zudem Einbussen für die Volkswirtschaft: Liegenschaften verlieren an Wert, Gebiete an Attraktivität, wodurch sich die Zusammensetzung der Wohnbevölkerung verändert: wer es sich leisten kann, zieht an einen ruhigeren Ort. Insgesamt werden die externen Kosten allein durch Strassen- und Eisenbahnlärm auf rund 1,2 Milliarde Franken pro Jahr geschätzt, 90 % der Kosten sind auf Wertverluste von Liegenschaften zurückzuführen, 10 % auf Gesundheitsschäden. Auf die Eisenbahn entfallen rund 130 Mio Franken pro Jahr (ARE/BAFU 2008). Europaweit betrachtet spielt bei den externen Kosten der

18 Gemäss BAV (http://www.bav.admin.ch) waren vor Beginn der Lärmsanierung rund 265 000 Personen von lästigem oder schädlichem Bahnlärm betroffen.

19 Die Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation WHO für Lärmbelastungsgrenzwerte für Menschen betragen 55 dB(A) am Tag und 45 dB(A) in der Nacht.

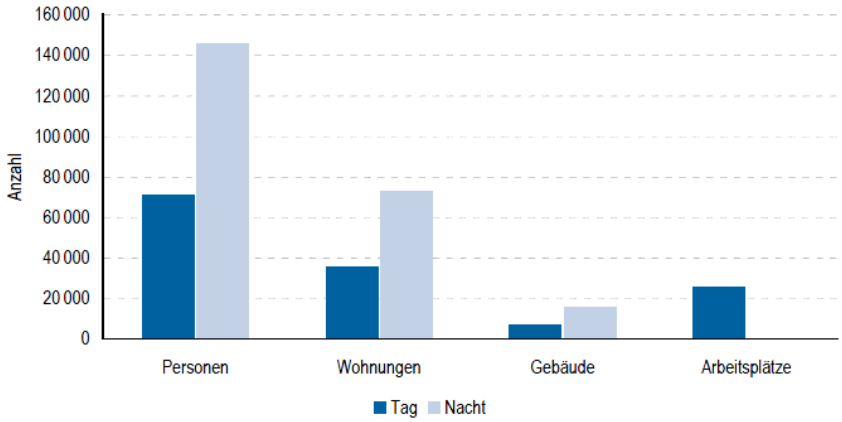
Lärm der Eisenbahn mit einem Anteil von 17 % eine vergleichsweise bedeutende Rolle (Infras 2004).

BETROFFENHEIT DURCH STRASSENVERKEHRSLÄRM



Figur 17 Durch übermässigen Strassenverkehrslärm betroffene Personen bzw. Anzahl Wohnungen bzw. Gebäude bzw. Arbeitsplätze (Quelle: BAFU 2009a).

BETROFFENHEIT DURCH EISENBAHNLÄRM



Figur 18 Durch übermässigen Eisenbahnlärm betroffene Personen bzw. Anzahl Wohnungen bzw. Gebäude bzw. Arbeitsplätze (Quelle: BAFU 2009a).

Gesetzliche Grundlagen

Die wichtigsten rechtlichen Grundlagen zum Schutz der Bevölkerung vor lästigem oder schädlichem Lärm sowie für Massnahmen zur Lärmbekämpfung in der Schweiz sind das Umweltschutzgesetz (USG, ab 1985) sowie die Lärmschutzverordnung (LSV, ab 1997)[20]. Darin sind für die wichtigsten Lärmverursacher wie Schiene, Strasse, Flugplätze, Schiessanlagen sowie Industrie- und Gewerbeanlagen Lärmbelastungsgrenzwerte festgelegt. Lärm ist zudem soweit zu begrenzen, wie dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist. Erste Priorität des Lärmschutzrechtes ist das Verhindern oder Vermindern von Lärmemissionen an der Quelle. Wenn der Lärm an der Quelle nicht zu verhindern ist, kann er auf dem Ausbreitungsweg verhindert werden, namentlich durch Lärmschutzwände oder –wälle. Sind Emissionsbegrenzungen bei verbleibenden übermässigen Immissionen sowohl an der Quelle als auch auf dem Ausbreitungsweg unverhältnismässig, kann die zuständige Behörde den betroffenen öffentlichen oder konzessionierten Anlagen (z.B. Schienenstrecken) Erleichterungen erteilen – allerdings mit der Folge, dass der betroffenen Bevölkerung ersatzweise Schallschutzmassnahmen (z.B. Schallschutzfenster) finanziert werden müssen.

Sonderfall Erschütterungen

Erschütterungen sind – neben Lärm – eine weitere Belastungsart, bei der der Schienenverkehr eine wesentliche Rolle spielt. So wird geschätzt, dass die Bahn mit 80% die Hauptquelle unerwünschter Vibrationen ist (BAFU 2008b). Diese machen denn auch vielen Bahnanwohnern zu schaffen. Nach Schätzungen des BAFU sind rund 40’000 Personen übermässigen Erschütterungen ausgesetzt (BR 2005), davon sind etwa 30'000 Personen der Belastungsart des Zugsverkehrs zuzuordnen. Die erschütterungsbedingten Belästigungen fallen auch deshalb immer mehr ins Gewicht, weil die Züge durch zunehmend dichter besiedeltes Gebiet fahren. Zudem schaffen Lärmschutzwände und -fenster gegen andere Geräuschimmissionen Abhilfe, woduch der abgestrahlte Körperschall dominanter werden kann. Erschütterungen durch den Strassenverkehr stellen seltener ein Problem dar (EMPA 2009), hier sind allenfalls die Bauphasen problematisch.

Erschütterungsphänomene sind komplexer als Lärm, und zwar sowohl bei der Ermittlung als auch bei der Bekämpfung. Ein vorbeifahrender Zug verursacht Schwingungen, die sich durch den Boden bis ins Gebäuden fortpflanzen. Je nach Stärke dieser Schwingungen geraten Wände oder Decken und auch Gegenstände ins Zittern. Erschütterungen werden einerseits direkt am Körper durch direkte oder indirekte Berührung mit den schwingenden Raumbegrenzungen

20 Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV), SR 814.41

wahrgenommen. Im Weiteren regen diese auch die Luft an und werden als hörbares grollendes Geräusch wahrgenommen (abgestrahlter Körperschall, kurz: Körperschall). Im Einzelfall spielt eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle, so etwa das Schwingungsverhalten eines Gebäudes bis hin zur Höhe des Grundwasserspiegels (BAFU 2008b).

6.2. DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Die künftige Entwicklung beim Lärm ist stark geprägt durch die Massnahmen zur Lärmbekämpfung. Bei neuen Anlagen muss der Lärm bereits bei deren Inbetriebnahme begrenzt werden. Bei bestehenden Anlagen hingegen räumte die LSV (seit 1987) eine Sanierungsfrist von 15 Jahren ein. Theoretisch müssten demnach die Sanierungen bis 2002 erfolgt sein. Die Sanierung der Eisenbahnen wie auch der Strassen wurde vorwiegend aus finanziellen Gründen erst mit Verzögerung angegangen. Lärmschutz hatte angesichts beschränkt verfügbarer finanzieller Mittel nicht erste Priorität. Das machte eine Erstreckung der Sanierungsfristen (bis 2015 bei Schiene und Autobahnen bzw. 2018 bei den übrigen Strassen) notwendig.

› Strassenverkehr

- › Die Gesamtkosten für die Lärmsanierung der Schweizer Strassen bis zum Sanierungsende betragen rund 4 Milliarden Franken, davon entfallen rund 50 % auf die Nationalstrassen. Bis Ende 2008 wurde rund 1.1 Mrd. CHF investiert, Massnahmen für rund 1.6 Mrd. CHF sind in Projektierung oder Ausführung, und Sanierungsprojekte für rund 1.3 Mrd. CHF sind erst noch anzugehen (G+P 2009).
- › Eine Umfrage des BAFU bei den Vollzugsbehörden zeigt, dass die Lärmsanierung fortschreitet, aber das Sanierungstempo deutlich erhöht werden muss, um den Lärmschutz an Strassen fristgerecht zu realisieren.
- › Bisher wurden etwa 80 % der Mittel für Lärmschutzwände und Überdeckungen eingesetzt, die restlichen Mittel hauptsächlich für Ersatzmassnahmen am Gebäude (Schallschutzfenster). Massnahmen an der Quelle wurden bisher nur in geringem Masse eingesetzt.
- › Es ist allerdings absehbar, dass auch nach Ablauf der Sanierungsfristen noch ein namhafter Teil der Bevölkerung durch übermässigen Strassenlärm belastet sein wird, u.a. weil das Verkehrswachstum einen Teil des Sanierungserfolgs wieder wettmachen wird.

› Eisenbahnen

- › Dank den Volksentscheiden zur Modernisierung der Bahn und zur Finanzierung des öffentlichen Verkehrs vom Herbst 1998 (FinöV-Vorlage) konnte die Lärmsanierung der Ei-

senbahnen angegangen werden. Dazu hat das eidgenössische Parlament am 24. März 2000 das Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen verabschiedet.

› Ziel der Lärmsanierung ist es, für mindestens zwei Drittel der von übermässigem Lärm betroffenen Anwohner die Belastung primär mit Massnahmen am Rollmaterial und an der Infrastruktur (bisher mit Lärmschutzwänden) soweit zu reduzieren, dass die Immissionsgrenzwerte eingehalten sind. Wo dies nicht möglich ist, werden – in letzter Priorität – Massnahmen an Gebäuden vorgesehen (Schallschutzfenster), damit die Bahnanwohner wenigstens im Innern der Gebäude vor übermässigem Lärm geschützt sind.

› Für die Lärmsanierung der Eisenbahnen stehen aus dem FinöV-Fonds rund 1.85 Mia. CHF zur Verfügung. Gemäss Endkostenprognose kann der angestrebte Lärmschutz mit rund 550 Mio. Franken geringeren Kosten (Preisstand 1998) erreicht werden. Diese Einsparungen ergeben sich vor allem durch verkleinerte Wagenflotten mit entsprechend verringertem Sanierungsbedarf sowie günstigere Umbaulösungen bei den Güterwagen. Am gesetzlich anvisierten Schutzziel soll es aber keine Abstriche abgeben.

› Im Rahmen der Beratungen der ZEB-Vorlage (Botschaft zur Gesamtschau FinöV, vom 17. Okt. 2007) hat das Parlament im Frühjahr 2009 beschlossen, diese eingesparten Mittel nicht „umzuwidmen“ und für Infrastrukturbauten einzusetzen, sondern weiterhin für den ursprünglichen Zweck des Lärmschutzes vorzuhalten. Über die Verwendung dieser nicht beanspruchten Mittel wird das Parlament im Rahmen der Vorlage einer separaten Gesetzesrevision mutmasslich im Verlaufe 2012 entscheiden können.

› Gemäss dem letzten Standbericht zur Lärmsanierung der Eisenbahnen (BAV 2009a) kann das im Bundesgesetz über die Lärmsanierung geforderte Schutzziel knapp nicht erreicht werden. Laut Lärmprognose für das Jahr 2015 (Emissionsplan) würden ohne Schutzmassnahmen rund 265’000 Personen mit Lärm über dem Grenzwert leben. Die Rollmaterialsanierung im Bereich Personenverkehr ist weitgehend abgeschlossen, die Sanierung der Güterwagen der SBB ebenfalls (per Ende 2010), Sanierungen bei privaten Güterwagenhaltern sind angelaufen. Daneben wurden bis Ende 2009 rund 124 km (von total geplanten 285 km) Lärmschutzwände fertig gestellt und rund 14'000 Schallsschutzfenster eingebaut. Bis Projektende wird mit weiteren 70'000 Schallsschutzfenstern gerechnet.

› Der letzte BAV-Monitoring-Bericht (BAV 2009b) stellt fest, dass bei den Personenzügen die mittleren Vorbeifahrtspegel aufgrund des neuen und sanierten Rollmaterials seit 2003 klar gesunken sind, aber dass bei Güterzügen eine vergleichbare Entwicklung erst ansatzweise erkennbar ist, auch wenn die sanierten Güterwagen die Sanierungswerte einhalten. Hauptursache sind die (überwiegend ausländischen) Güterwagen, welche noch mit lärmi-

gen Graugussbremsen ausgestattet sind. Auf der Nord-Süd-Achse ist denn auch der Anteil der noch nicht sanierten Güterwagen denn auch deutlich grösser als auf der Ost-West-Achse, was die Wirkung der nationalen Bemühungen zum Lärmschutz einschränkt.

› Wie in Kap. 3 ausgeführt ist mit einem markanten weiteren Verkehrswachstum auf der Schiene zu rechnen. Der Eisenbahnlärm wird also in Zukunft ohne zusätzliche Massnahmen noch zunehmen. In der derzeit gültigen Berechnungsbasis (Emissionsplan für das Jahr 2015) ist dies noch nicht eingerechnet, allerdings sind in den Projekten, welche den Ausbau der Schieneninfrastruktur vorsehen (z.B. ZEB, FABI), Gelder für die Realisierung zusätzlicher Lärmschutzmassnahmen vorgesehen. Ueberdies rechnet das BFS auch mit einem markanten Anstieg der Bevölkerung (rund +12%). Je nach Verteilung der Bevölkerung im Raum kann die Zahl lärmgeplagter Personen noch weiter zu nehmen, sofern das Wachstum entlang der Verkehrsachsen stattfindet.

› Lärmbekämpfung wird deshalb (auch) im Schienenverkehr längerfristig eine Herausforderung bleiben.

6.3. LAUFENDE AKTIVITÄTEN

Massnahmen zur Lärmreduktion im Schienenverkehr

Wirkungsseitig kann man verschiedene Massnahmentypen unterscheiden:

› Lärmbekämpfung an der *Quelle* ist am wirkungsvollsten. Dabei lässt sich unterscheiden zwischen Massnahmen am Fahrzeug (Rad) oder der Infrastruktur (Gleis).

› Lärm kann auch auf dem *Ausbreitungsweg* gemindert werden (Lärmschutzwände), diese Massnahme ist aber nur punktuell wirksam.

› Wo diese Massnahmen nicht ausreichen oder nicht umsetzbar sind, müssen im Sinne einer Ersatzmassnahme Schallschutzmassnahmen an Gebäuden (insb. *Schallschutzfenster*) realisiert werden.

› Schliesslich gilt auch beim Lärm das Vorsorgeprinzip: der Lärmproblematik kann auch durch eine weitsichtige Raumplanung, eine durchdachte Abstimmung von Wohn- und Arbeitsgebieten, durch die Lenkung von Verkehrsströmen, aber auch den Bau geeigneter Verkehrsinfrastrukturen begegnet werden.

Das laufende Lärmsanierungsprogramm der Eisenbahnen schöpft die Möglichkeiten der Minderung durch „second-best“-Massnahmen wie Lärmschutzwände und Schallschutzfenster weitgehend aus. Massnahmen an der Quelle werden deshalb künftig in den Vordergrund kommen. Dies ist die Folgerung einer Arbeitsgruppe (BAV, BAFU), welche derzeit mögliche Massnahmen zur

Weiterführung und Optimierung der laufenden Lärmsanierung der Eisenbahnen diskutiert. Die Massnahmen an der Quelle zielen auf die Reduktion der Schallemissionen des Rad / Schiene-Systems[21]. Das kann einerseits durch Massnahmen am Fahrzeug (bzw. am Rad und Bremssystem) erfolgen, andererseits an der Infrastruktur selber (akustisches Schienenschleifen, Schienenschallabsorber, Beseitigung von Schienenstössen u.a.). Infrastruktur-Massnahmen haben den Vorteil, dass sie am Ort des Einbaus rasch wirksam werden, sie erzeugen aber Folgekosten für den Infrastrukturbetreiber (betrieblicher Mehraufwand, Unterhalt). Bei den Massnahmen beim Rollmaterial steht die „Flüsterbremse" im Vordergrund. Systeme mit Kunststoff-Bremssohlen („K-Sohle") rauen die Räder weniger stark auf als Graugussbremsen und reduzieren den Lärm um ca. 8 – 13 dB. Noch wirksamer – und darauf zielen die Vorstellungen „besonders lärmarmes Rollmaterial" – sind neue Drehgestelle mit Scheibenbremsen für Güterwagen; diese haben im Rahmen von Gesamtsystemoptimierungen eine noch grössere Wirksamkeit, weil die Radflächen nicht mehr beeinträchtigt werden. Neben Lärmreduktion haben sie auch weitere Vorteile: geringerer Energieverbrauch, schonen die Infrastruktur, sind potenziell leichter, erlauben höhere Geschwindigkeiten und erhöhen so die Konkurrenzfähigkeit. Sie verursachen aber für den Betreiber nennenswerte Zusatzkosten[22] bei der Beschaffung, denen heute praktisch kein monetärer Nutzen gegenüber steht.

Infrastruktur- und Rollmaterial-Massnahmen sind allerdings nicht unabhängig voneinander: Infrastrukturmassnahmen wie Schienenschleifen werden erst wirksam, wenn das Rollmaterial saniert ist, da sonst die Lärmreduktion durch das lärmige Rollmaterial unterlaufen wird. Die nachstehende Figur zeigt illustrativ die kombinierte Wirksamkeit des Schienenschleifens und der akustischen Verbesserung des Rollmaterials am Beispiel der Strecke Bern-Thun:

› Ausgehend von einer typischen realen Situation mit markantem Grauguss-gebremstem Güterverkehrsanteil reduziert das Schienenschleifen den Lärm um lediglich ca. 1 dB. Der Ersatz der Grauguss gebremsten Güterwagen durch Güterwagen mit K-Sohlen reduziert die Lärmbelastung auf dieser Strecke um 4 dB.

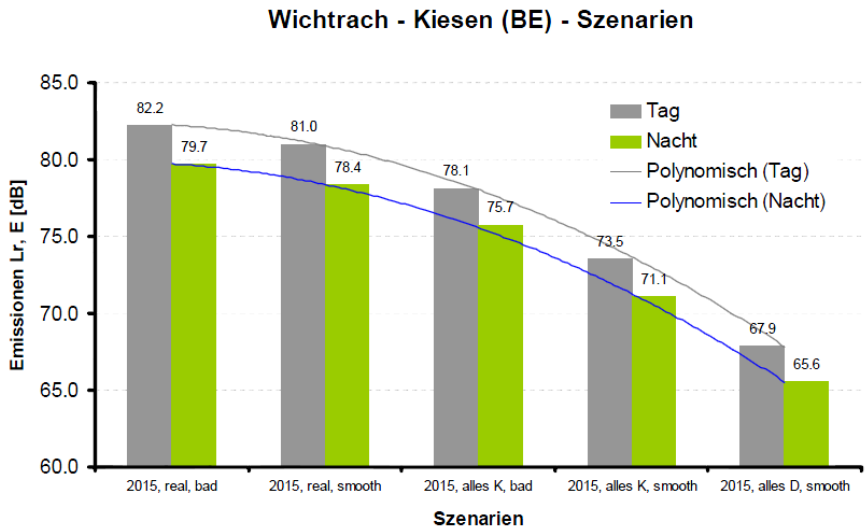
› Wird zusätzlich die Schiene geschliffen, reduziert sich die Lärmbelastung um gesamthaft 9 dB. Würden statt der K-Sohle-Bremse auch die Drehgestelle von Güterwagen mit Scheibenbrem-

21 Ursache für die erhöhten Lärmessionen ist die sog. Riffelbildung (wellenförmige Unregelmässigkeiten auf Schiene und Radlauffläche als Folge des Schwingungsverhaltens der Gleise. Diese „Riffel" führen zu höheren Schallemissionen und auch zu erhöhtem Verschleiss. Die Riffelbildung wird entscheidend durch die Art der Bremsen beeinflusst. Die bei Güterwagen noch üblichen Grauguss-Klotzbremsen drücken direkt auf die Radfläche, was die Verriffelung verstärkt, da sie die Radlaufflächen aufrauen. „K-Sohlen" drücken zwar auch auf die Laufflächen, rauen aber die Räder weniger stark auf.

22 - Kosten für den Einbau von K-Sohlen pro Waggon ca. 4500 € (gemäss www.allianz-pro-schiene.de).
- Durchschnittliche Kosten für die Lärmsanierung bei Güterwagen ca. 22'000 CHF/Waggon

sen ausgerüstet, kann der Lärmgegenüber heute an dieser Strecke bei gleichem Verkehr um ca. 14 dB reduziert werden.

LÄRM-REDUKTION VERSCHIEDENER MASSNAHMEN-KOMBINATIONEN



Figur 19 Verschiedene Massnahmen-Kombinationen für einen wirksamen Lärmschutz. Infrastrukturmassnahmen werden erst voll wirksam nach Sanierung des Rollmaterials. Kombiniert kann der Lärmpegel um rund 14 dB reduziert werden (Quelle: SonRail-Berechnungen, BAFU et.al. 2010).

Auf internationaler Ebene wird in Pilotversuchen auch die Entwicklung von sog. LL-Sohlen vorangetrieben. Diese erzeugen dieselbe glatte Radlauffläche (und damit tiefere Rollgeräusche) wie K-Sohlen, haben als zusätzlichen Vorteil aber die gleichen Bremseigenschaften wie herkömmliche Graugussklötze. Damit ist ein einfacher 1:1-Ersatz ohne Anpassungen der Bremshydraulik möglich, was die Umrüstkosten senkt.

Technische Lösungen sind demnach absehbar. Das Hauptproblem liegt in der Umsetzung. Auch wenn seit 2006 in Europa neue Güterwaggons für den grenzüberschreitenden Verkehr mit Flüsterbremsen ausgerüstet werden müssen (vgl. EU-Richtlinie TSI Noise [2005]), wird aufgrund der langen Lebensdauer von Güterwaggons von z.T. über 30 Jahren deren Durchsetzung im Markt noch auf sich warten lassen. Die Hauptherausforderung wird deshalb darin bestehen, die bestehenden technischen Möglichkeiten auszuschöpfen und voranzutreiben.

Exkurs „Schienenbonus“

Die Schienen-Lärmimmissionen enthalten einen Abschlag in Höhe von 5 dB(A) zugunsten des Schienenverkehrs. Dieser sog. Schienenbonus wird damit gerechtfertigt, dass der Schienenlärm gegenüber Strassenverkehrslärm um 5 dB(A) weniger lästig sei. Dieser Bonus, der auch in andern Ländern existiert, wurde in jüngster Zeit in Frage gestellt. Die Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung (EKLB) kam in ihren Stellungnahmen vom 24. Mai 2006 und vom 28. September 2007 (zuhanden des Bundesverwaltungsgerichts) zum Schluss, es gebe keine hinreichend gefestigten wissenschaftlichen Erkenntnisse, um eine störungsgerechte Beurteilung auf andere Grundlagen zu stützen als auf Anhang 4 LSV. Diese Auffassung wurde vom BAFU geteilt. Im ergänzenden Fachbericht vom 4. September 2009 kam die EKLB – gestützt auf die (noch nicht veröffentlichte) Vorstudie "Überprüfung der IGW für Lärm" vom 12. August 2009 – allerdings zum Ergebnis, aufgrund zahlreicher wissenschaftlicher Hinweise bestehe der Verdacht, dass die Immissionsgrenzwerte für Lärm in ihrer heutigen Form und Höhe den Schutz der Bevölkerung vor lästigem und schädlichem Lärm nicht mehr ausreichend sicherstellen könnten. Die EKLB empfiehlt daher dem BAFU, die empirischen Grundlagen zur Lärmwirkung auf die Schweizer Bevölkerung zu aktualisieren und gestützt darauf die Immissionsgrenzwerte einer Überprüfung zu unterziehen sowie anschliessend gegebenenfalls dem UVEK Empfehlungen für deren Neufestsetzung zu unterbreiten[23]. Es ist unschwer zu prognostizieren, dass eine allfällige Aufgabe des Schienenbonus gravierende Konsequenzen hätte in dem Sinne, als der Sanierungsbedarf massiv ansteigen würde.

Massnahmen zur Lärmreduktion bei Trams

Auch bei Trams ist Lärmbelastung ein Thema. Das laute und unangenehme „Quietschen“ oder „Kreischen“ der Trams tritt vor allem in Kurven mit kleinen Radien auf, weil in einer Kurve der Weg des inneren und des äusseren Rades nicht gleich lang ist. Zudem gleiten die Räder leicht quer zur Schiene. Ausserdem werden die Schienen abgenutzt und uneben, was zu einer Erhöhung des Emissionspegels um bis zu 15 dB(A) führen kann.

Gegen Tramlärm kann mit verschiedenen Massnahmen vorgegangen werden: regelmässige Bearbeitung der Räder, seitliche Abdeckung der Räder, Auskleidung des Wagenbodens mit schallabsorbierendem Material, Schleifen der Schienen zur Verhinderung der Riffelbildung, schallabsorbierende Trassees aus Schotter, Rasen oder Absorptionsplatten auf der festen Fahr-

23 Vgl. Bundesgerichtsurteil vom 22.12.2010 btr. "Vorläufiges" Betriebsreglement für den Flughafen Zürich, Ziffer 5.3.2.

bahn zur Verminderung von Reflexionen, (elektronisch gesteuerten) Einsatz von Schmiermitteln an neuralgischen Punkten. Am erfolgreichsten dürften Massnahmen bei Neufahrzeugen bzw. am Ersatz von Rädern sein (radial einstellende Räder, Einzelradaufhängung).

Alle diese Massnahmen erhöhen selbstredend die Kosten (Investitions- und/oder Betriebskosten.

Massnahmen zur Bekämpfung der Erschütterungen

Neben betrieblichen Massnahmen zur Bekämpfung der Erschütterungen gibt es verschiedene technische Massnahmen beim Fahrweg und beim Rollmaterial. Gleisseitig werden verschiedene Dämpfungssysteme bereits eingesetzt bzw. erprobt. Stossdämpfende Schichten unter dem Schotter (Unterschottermatten), zwischen Bahnschwelle und Schotter (Schwellenbesohlungen) oder zwischen Schiene und Befestigungsplatte (Schienenzwischenlagen) reduzieren sowohl den Körperschall wie auch Erschütterungen. In besonderen Situationen, z.B. bei Weichen, kann die Ausbreitung von Erschütterungen mit in den Untergrund eingeführten Absorbern (Bodenschlitz) reduziert werden. Die Wirksamkeit dieser Massnahmen ist aber noch nicht abschliessend untersucht, zudem sind einige von ihnen mit erheblichen Kosten verbunden, die eine netzweite Anwendung als fragwürdig erscheinen lassen. In Tunnels hingegen besteht mit Feder-Masse-Systeme ein wirksamer Schutz vor der Ausbreitung von Schwingungen in angrenzende Gebäude. Weitere Möglichkeiten zur Reduktion eröffnen sich beim Rollmaterial, wo die Konstruktion des Drehgestells sowie der Radunterhalt einen entscheidenden Einfluss auf die Erzeugung von Erschütterungen haben.

Auf rechtlicher Seite verlangt das USG eine Regelung der Begrenzung der Erschütterungen. Ein Verordnungsentwurf zur Konkretisierung des USG zum Schutz vor Erschütterungen (VSE) liegt seit einigen Jahren ein vor. Dieser befindet sich nach wie vor in der internen Vernehmlassung. Seine Umsetzung hängt wesentlich von der Verfügbarkeit wirksamer Massnahmen und ihrer Finanzierbarkeit ab. Da die Entwicklung und Erprobung von Massnahmen zum Schutz vor Erschütterungen zurzeit noch in Gang ist, lässt sich zum heutigen Zeitpunkt keine zuverlässige Prognose für die mittel- oder auch längerfristige Erschütterungsbelastung stellen.

6.4. HANDLUNGSBEDARF

Im Bereich Schienenlärm besteht Handlungsbedarf. Das laufende Projekt Lärmsanierung der Eisenbahnen wird kurzfristig zwar die dringlichsten Problempunkte beheben, für ein Drittel der lärmgeplagten Bahnanwohner bleibt die Situation aber unbefriedigend. Will die Bahn ihren Ruf

als umweltschonendes Verkehrsmittel halten, sind weitergehende Massnahmen zwingend, zumal die schweizerische Verkehrspolitik darauf ausgelegt ist, den Anteil des Schienenverkehrs sowohl im Personen- wie im Güterverkehr zu steigern. Das Lärmproblem bleibt dadurch längerfristig bestehen. Es steht eine Palette von Massnahmen zur Verfügung:

- Umsetzung von Massnahmen an der Infrastruktur mit kurzfristiger Wirkung, namentlich das (akustische) Schienenschleifen sowie der Einbau von Schienenschallabsorbern.
- Finanzielle Anreize und Lenkungsmassnahmen zur Einführung lärmarmen Rollmaterials namentlich im Güterverkehr. Das kann über verschiedene Massnahmen erfolgen:
  - Anpassung des Trassenpreissystems durch Erhöhung der Lärmkomponente, so dass lärmarmes Rollmaterial weniger stark belastet wird und so die Betreiber zumindest teilweise für ihre höheren Kosten entschädigt. Als Bonus/Malus-System kann das ertragsneutral ausgestaltet werden und ist damit aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Es entspricht überdies dem Verursacherprinzip. Offene Fragen z.B. zur Einhaltung des gemäss Landverkehrsabkommen geforderten Diskriminierungsverbotes sind dabei zu klären.
  - Direkte finanzielle Förderung durch Finanzierung der Differenzkosten von lärmarmen im Vergleich zu konventionellen Güterwagen z.B. über einen Zeitraum von 5 Jahren. Damit wird einerseits die Marktdurchdringung direkt stimuliert, andererseits auch die Produktinnovation gefördert.
- Regulatorische Eingriffe, durch Verbote von lärmintensivem Rollmaterial (Graugusssohle) bzw. durch Einführung verschärfter Emissionsgrenzwerte ab einem bestimmten Zeitpunkt, mit zeitgerechter Vorankündigung, um den Betreibern die Möglichkeit zu geben, sich darauf einzustellen.
- Forschung und Entwicklung:
  - Äufnen eines Innovationsfonds zur Förderung von Pilot- und Demo-Projekten, z.B. durch Bereitstellung von Demo-Zügen mit lärmoptimiertem Rollmaterial.
  - Unterstützung der Grundlagenforschung zur Verbesserung der Kenntnisse im Bereich der Lärmbekämpfung, aber auch im sozioökonomischen Bereich, um pro-aktiv die Fragen um den sog. Schienenbonus anzugehen.
- Weitere Intensivierung der Arbeiten zum Lärmschutz auf internationaler Ebene mit dem Ziel der Sanierung ausländischer Güterwagen.
- Handlungsbedarf besteht auch beim Erschütterungsschutz, wo die Konkretisierung des USG in einer Verordnung noch nicht in Kraft ist. Als Grundlage dafür sind technische Massnahmen bei Infrastruktur und Rollmaterial zu entwickeln und zu erproben.

Eine Konkretisierung dieser Massnahmenpalette könnte im Rahmen einer neu zu lancierenden „Lärmstrategie Bahn 2030“ erfolgen – flankierend zum „strategischen Entwicklungsprogramm Bahn 2030“, das sich mit der Weiterentwicklung der Bahninfrastruktur befasst. Neben der Klärung verschiedener offener Fragen wäre darin auch der Emissionsplan 2015 zu aktualisieren bzw. weiter zu entwickeln (z.B. als Controlling-Instrument für die Festlegung zulässiger Emissionen). Voraussetzung dafür ist allerdings ein positiver Entscheid des Parlaments im Sinne, dass die verbleibenden Mittel aus dem FinöV-Verpflichtungskredit für den Lärmschutz gebunden bleiben.

7. AUSWIRKUNGEN AUF RAUM UND BODEN

Bei den Auswirkungen auf Boden und Raum lassen sich verschiedene Aspekte unterscheiden:

› Der unmittelbare Flächenverbrauch durch die Verkehrsanlagen,

› Die Zersiedelung als Folgewirkung,

› Die Zerschneidung der Landschaft,

› Die Boden- und Gewässerbelastung.

7.1. DER HEUTIGE ZUSTAND

7.1.1. FLÄCHENVERBRAUCH DURCH VERKEHRSANLAGEN

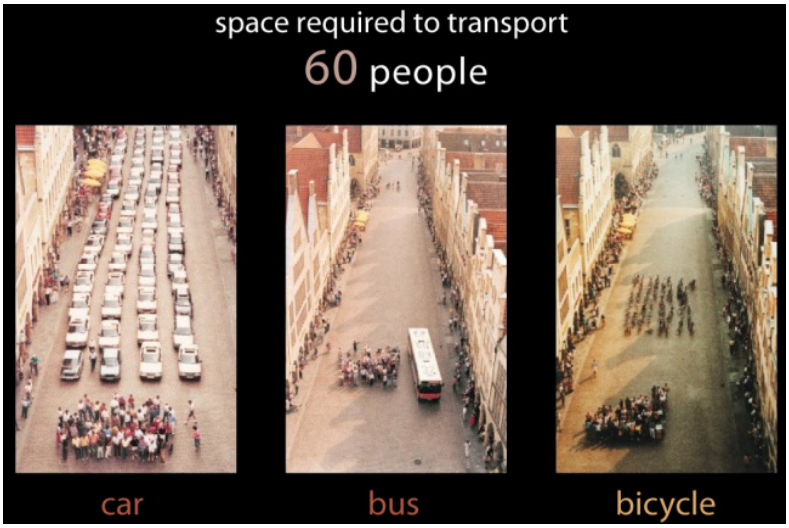
Die gesamte Verkehrsfläche in der Schweiz beträgt gegen 90'000 ha[24]. Diese Fläche macht mehr als ein Drittel der gesamten Schweizer Siedlungsfläche aus, oder 2.1% der Landesfläche. Diese Zahl von nur gerade 2.1 % der gesamten Landesfläche für alle Verkehrsträger scheint bescheiden. Pro Einwohner sind das aber rund 120 m^2. Für das Wohnen benötigen beispielsweise die Stadtzürcher 54 m^2 pro Person (gemessen in Bruttogeschossfläche). Die Wohnfläche lässt sich zudem besser „stapeln“, während das mit der Verkehrsfläche nur in Einzelfällen (z.B. Parkhäuser) möglich ist.

Gemäss den Zahlen der Arealstatistik fällt auf die Bahn ein Anteil von rund 7% des verkehrlichen Flächenbedarfs, auf die Strassen und Wege 91% und 2% auf Flugplätze. Setzt man dies in Relation zur Verkehrsleistung (und setzt vereinfachend 1 Pkm und 1 Tkm gleich[25]), so ist der spezifische Flächenverbrauch der Bahn 3 bis 4 mal kleiner. Eine einfache Zuordnung des Flächenbedarfs zu den Verkehrsträgern ist in seiner Aussagekraft allerdings begrenzt, weil ja die Strassen häufig nicht nur den PW und Lastwagen sondern oft auch dem Langsamverkehr dienen, auch durch den öffentlichen Verkehr genutzt werden (z.B. Autobusse, oder als „letzte Meile“ für Bahnfahrten) oder selber auch Lebensraum sind (z.B. Begegnungszonen, Wohnstrassen). Allerdings ist wohl unstrittig, dass der spezifische Flächenverbrauch des ÖV geringer bzw. seine spezifische Leistungsfähigkeit (z.B. in Personen pro m2) grösser ist als jener von Strassenverkehrsmitteln, wie auch ein bildlicher Verkehrsmittelvergleich zeigt (Figur 20).

24 Geschätzter Wert. Gemäss Arealstatistik (BFS 2005, Anhang 4) betrug dieser Wert im Zeitraum 1992/97 82'182 ha (einschliesslich Parkplätzen im Umfang von 4'358 ha). Er hat seit der Erhebungsperiode 1979/85 um 5% zugenommen. Es ist anzunehmen, dass die Verkehrsfläche auch in den letzten rund 15 Jahren weiter angestiegen ist. Allein das Autobahnstreckennetz nahm im Zeitraum 1995-2009 um 17% zu.

25 So betrachtet fallen auf den Strassenverkehr rund 80% der Verkehrsleistung, auf die Bahn rund 20%, vgl. Annex 1.

FLÄCHENBEDARF VON STÄDTISCHEN VERKEHRSMITTELN

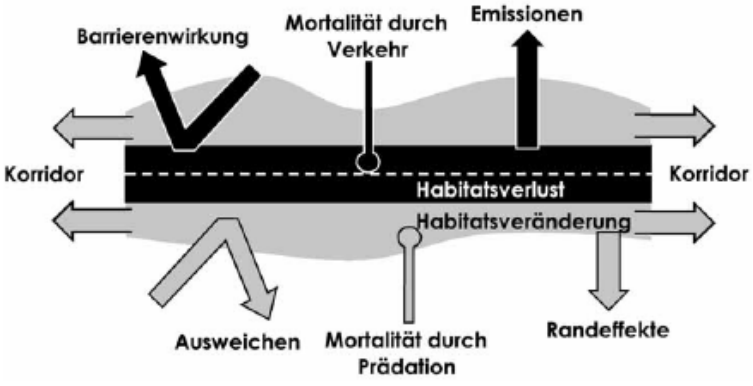


Figur 20 Flächenbedarf innerörtlicher Verkehrsmittel

Wirkungen

Die oben erwähnte Zahl von 2.1% beinhaltet nur die effektiv verbaute Fläche. Die Wirkungen des Verkehrs auf die Umwelt hingegen reichen deutlich über die eigentlichen Fahrbahnen hinaus. Figur 21 fasst die wichtigsten dieser Effekte zusammen:

FLÄCHENVERBRAUCH UND SEINE WIRKUNGEN



Figur 21 Verkehrsträger zerstören und verändern Lebensräume, sie stellen Ausbreitungsbarrieren dar, sie erhöhen die Mortalität durch Verkehr und Prädation (Tod durch Raubtiere) und führen durch Emissionen und Randeffekte zu Störungen. Zusätzlich leiten Böschungen Tiere in ihren Bewegungen (Korridore). (nach: VAN DER ZANDE et al. 1980, zit. in Oggier et. al. 2001)

Während der direkte Flächenbedarf deutlich erkennbar ist, sind die verschiedenen Auswirkungen durch indirekten Flächenbedarf diffuser. Dabei ist es schwierig, diese Effekte zu separieren z.B. zwischen Bahn und Strasse, da häufig Überlagerungen der Effekte entstehen. Die wichtigsten Auswirkungen sind:

› Zerschneidung von Lebensräumen und Schutzgebieten mit Barrierewirkung und mit Folgen insbesondere für die Tierwelt, Rückgang und Verlust von Tierpopulationen durch Habitatverlust und der Lebensraumvielfalt; im weiteren die Mortalität (Unfälle).
› Zerreissen von gewachsenen ökologischen und kulturellen Zusammenhängen zwischen räumlich verbundenen Bereichen der Landschaft, z.B. das Zerteilen von Lebensräumen, damit auch Zerschneidung land- und forstwirtschaftlicher Flächen, Bearbeitungserschwernis und damit Ertragsminderung,
› Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, des Landschaftserlebnisses und Verlust von Erholungswert und Erholungsqualität.
› Beitrag zur Zersiedelung.
› Spezifische Bodenbelastungen sowie in der Folge die Belastung namentlich von Gewässern.
› Bodenversiegelung. Versiegelter Boden ist vom Kreislauf aus Bodenbildung, Grundwasserversickerung, Pflanzenwachstum abgeschnitten, weil auf versiegelten Flächen kein Wasser gespeichert wird.

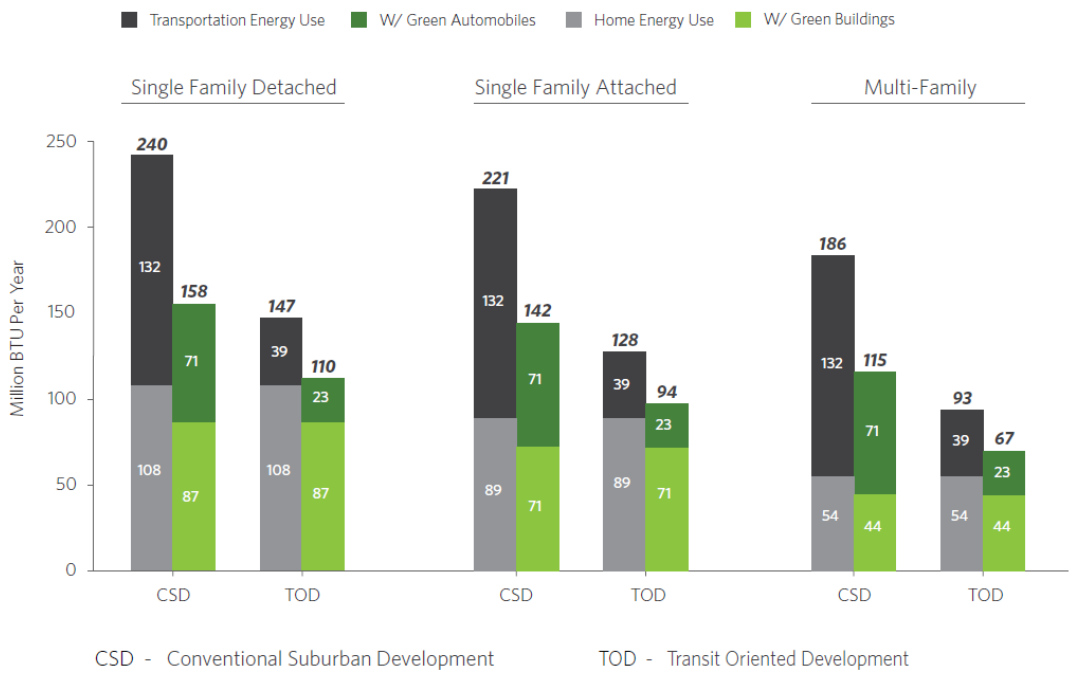
7.1.2. ZERSIEDELUNG

Eine Folgewirkung des Flächenverbrauchs ist die Zersiedelung. Allerdings ist weniger die Zersiedelung per se das Umweltproblem, vielmehr ist die Zersiedelung einer der wichtigen Treiber für mehr Mobilität. Dadurch nehmen die Umweltbelastungen, wie etwa Energieverbrauch, Schadstoffbelastungen, Lärm etc. zu. Dieser zersiedelungsbedingte Mehrverkehr weist eine hohe Energieintensität auf, weil er in der Regel stark strassenorientiert ist. Es wäre auch zu kostenintensiv, dispers besiedelte Gebiete flächendeckend mit attraktiven ÖV-Angeboten zu erschliessen. So betrachtet ist das Verhindern der Zersiedelung ein wichtiger Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung. Bereits die „Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002“ des Bundesrats verfolgte u.a. das Ziel, „die Siedlungsfläche pro Kopf auf dem heutigen Stand von rund 400 m^2 zu stabilisieren“, da ein ungeordnetes Wachstum der Siedlungsgebiete zur Zersiedelung der Landschaft führt und eine Ressourcen schonende Organisation des Verkehrs gefährdet.

Zwischen Siedlung und Verkehr bestehen enge Zusammenhänge: je dichter die Besiedlung, desto grösser der ÖV-Anteil und desto geringer der Energieverbrauch für Transport, aber auch der Energieverbrauch für die Gebäude. Figur 22 zeigt diesen Konnex anhand von Daten aus den

USA. Demnach vermag ein „TOD“ (transit oriented development), also eine auf den ÖV ausgerichtete Entwicklung den Energieverbrauch für Verkehr um markante 70% zu reduzieren. Diese US-Daten können kaum unbesehen auf Schweizer Verhältnisse übertragen werden, die Aussage dürfte jedoch dieselbe sein: Dichte Besiedlungsmuster geben den Haushalten mehr Spielraum zur Nutzung von Langsamverkehr und ÖV, ermöglichen kürzere Wege zu Dienstleistungen, Arbeitsplätzen und Erholungsstätten, reduzieren die Abhängigkeit vom Auto und sparen nicht nur Energie, sondern auch Transportkosten.

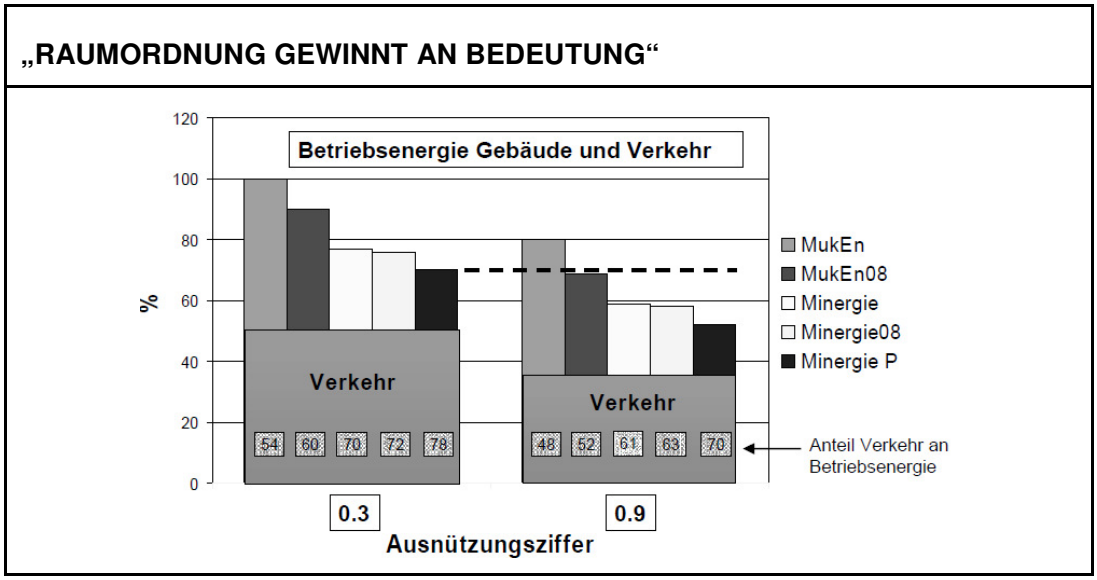
ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ENERGIEVERBRAUCH UND SIEDLUNGSMUSTERN



Figur 22 Eine ÖV-orientierte Entwicklung vermag den Energieverbrauch für Verkehr um markante 70% zu reduzieren (Quelle: US-Daten, Rose 2011)

Auch in der Schweiz zeigt sich, dass die Bedeutung der Raumordnung zunimmt. Anhand von Daten aus dem Zürcher Oberland hat Kunz (2009) die Relationen des Energiebedarfs für Verkehr und Gebäude aufgezeigt (Figur 23). Je grösser die Anstrengungen zur Energiereduktion im Gebäudebereich (Minergie!), desto grösser wird der relative Anteil der Energie für die Mobilität. Damit steigt der Druck, auch bei der Mobilität den Energieverbrauch zu senken. Die Grafik

zeigt auch, dass der Energieverbrauch für Mobilität bei höheren Besiedlungsdichten (d.h. höheren Ausnützungsziffern) deutlich geringer ist.



Figur 23 Je grösser die Anstrengungen zur Energiereduktion im Gebäudebereich, desto grösser wird der relative Anteil der Energie für die Mobilität – und damit der Druck, auch dort den Hebel anzusetzen. Höhere Besidelungsdichten führen dabei zu einer signifikanten Reduktion (Quelle: Kunz 2009)

7.1.3. LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG

Die Landschaftszerschneidung ist bereits seit einigen Jahren als ein Umweltproblem erkannt (Oggier et.al. 2001, BFS 2007). Die Zerschneidung von Lebensräumen und Schutzgebieten hat u.a. starke Barrierewirkungen und gefährdet eine nachhaltige Artensicherung. Gleichzeitig gehören Verkehrsachsen zunehmend auch zum „Lebensraum” von Wildtieren und werden zu gefährlichen Flächen in ihren Streif- oder Wohngebieten. Autobahnen (im Unterschied zu Bahnstrecken) werden deshalb eingezäunt, was das Unfallrisiko wesentlich verringert, aber gleichzeitig die Tierpopulationen noch stärker voneinander isoliert.

Das Landschaftskonzept Schweiz von 1998 legt die folgenden Ziele fest: „Die Trennwirkung neuer und bestehender Verkehrsanlagen minimieren“ und „Bauten, Infrastrukturen und andere Anlagen auf das notwendige Minimum beschränken, zusammenfassen und zusammenhängende Lebensräume schaffen.“ Das „Leitbild Landschaft 2020“ aus dem Jahr 2003 gibt Zielwerte zur Landschaftszerschneidung an: „Unzerschnittene Areale der Grösse 50 km^2 und grösser sind vollumfänglich zu erhalten (keine Strassen der Kategorien 1 und 2). … Landschaftskammern von mindestens 5 km^2, die frei von Bauten und Anlagen sind, bleiben erhal-

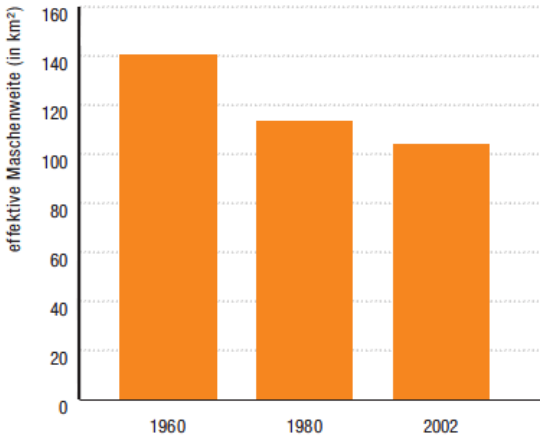
ten.“ Der Sachplan Verkehr aus dem Jahr 2006 setzte sich das allgemeine Ziel, Landschaften vor Beeinträchtigungen durch Verkehrsinfrastrukturen zu schützen. Der Bericht „Landschaftszerschneidung Schweiz“ aus dem Jahr 2007 hat festgestellt, dass die Massnahmen rascher und wirkungsvoller umgesetzt werden müssen, um eine Fortsetzung der Landschaftszerschneidung zu vermindern.

Um den Grad der Landschaftszerschneidung zu messen, wurde die Messgrösse „effektive Maschenweite“ entwickelt (Jäger 2000, BFS 2007). Sie drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass zwei zufällig ausgewählte Punkte in einem Gebiet verbunden sind, d.h. nicht durch Barrieren wie Verkehrswege oder Siedlungen getrennt sind. Je mehr Trennelemente die Landschaft zerschneiden, desto geringer wird diese Verbindungswahrscheinlichkeit und damit die effektive Maschenweite. Entsprechend nimmt auch die Möglichkeit ab, dass Tiere oder Menschen sich frei in der Landschaft bewegen können, ohne solchen Barrieren zu begegnen, und ebenso sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass Tiere einer Art einander in einer Landschaft finden können.

LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG



(Rüdtligen-Alchenflüh / BE)

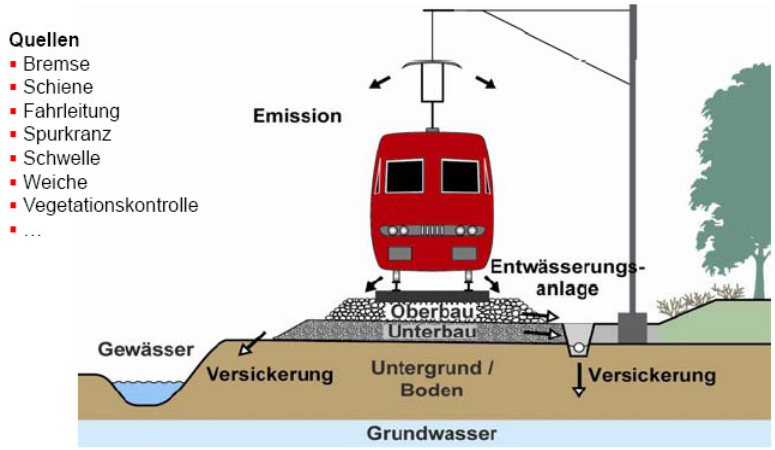


Figur 24 Zerschneidungsgrad, dargestellt als effektive Maschenweite, welche die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, dass zwei zufällig gewählte Punkte in einem Gebiet verbunden und nicht durch Barrieren wie Siedlungen oder Verkehrswege getrennt sind (nach Roth et. al. 2010, Zustand der Landschaft). Dieser Indikator hat seit den 60er Jahren konstant verschlechtert. Das Bild links ist allerdings ein Zwischenstand aus der Bauphase: mittlerweile verkehrt die Bahn auf diesem Abschnitt im Tunnel.

7.1.4. BODEN- UND GEWÄSSERBELASTUNG

Der potenzielle Problembereich sind hier diffus in die Umwelt freigesetzte problematische Stoffe, die ggf. ihren Weg in die Gewässer finden. Grundsätzlich muss laut Gewässerschutzverordnung verschmutztes Gleisabwasser behandelt oder in die Schmutzwasser-Kanalisation eingeleitet werden[26]. Andererseits gilt nach der Gewässerschutzverordnung das Gleisabwasser als in der Regel nicht verschmutzt, wenn langfristig sichergestellt ist, dass auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verzichtet wird (was bei Neubauten eher die Regel ist) oder wenn Pflanzenschutzmittel bei der Versickerung durch eine mikrobiell aktive Bodenschicht ausreichend zurückgehalten und abgebaut werden.

VERSCHMUTZUNG DES GLEISABWASSERS



Figur 25 Die Verschmutzung des Gleisabwassers ist ein potenzieller Problembereich, bei dem der Kenntnisstand noch ungenügend, dessen Aufarbeitung aber derzeit im Gange ist (nach Burkhardt et.al. 2005).

Die Datensituation in diesem Bereich ist vergleichsweise schwach. Eine erste Untersuchung zur Belastung des Bodens datiert aus den frühen 90er Jahren (BUWAL 1992). Sie registrierte erhöhte Schwermetallgehalte von Blei, Cadmium und Zink im Nahbereich der Schienen, aber nur bei Kupfer eine leichte Überschreitung des Richtwertes. Eine weitere Untersuchung mit Schwerpunkt auf Belastung der Gewässer wurde im Jahr 2005 durch die EAWAG durchgeführt (Burkhardt et.al. 2005). Die Resultate dienten dazu, anhand von worst case-Szenarien eine Risikobetrachtung durchzuführen. Dabei zeigte sich, dass für den Grossteil des Netzes nicht mit kritischen Belastungen des Grundwassers zu rechnen ist. Für die Beurteilung des Risikos an ausge-

26 Vgl. auch BAFU 2002,. BAFU 2006

wählten Orten, wo potenziell hohe Einträge stattfinden (z.B. Rangiervorgänge, Bremsaktivitäten, geringe Verdünnung im Vorfluter, Belastungsspitzen am Ende von Trockenperioden) ist eine weiterführende Untersuchung unter Beteiligung von EAWAG, SBB, BAV und BAFU im Gang.

Nach heutigem Kenntnisstand ist zu vermuten, dass für die Gewässer der Einsatz der Pflanzenschutzmittel den primären Problembereich darstellt (Glyphosat u.a.). Mengenmässig wird in der Landwirtschaft jedoch wesentlich mehr verbraucht. Allerdings ist die Rückhaltekapazität des Bodens deutlich höher als diejenige des Schotters. Dieser Problembereich bedarf einer adäquaten Lösung, namentlich welche Verfahren der Entwässerung einzusetzen und ggf. zu verbessern sind. Anzumerken bleibt, dass das Entwässerungsproblem auch bei der Strasse ein nicht-triviales Problem darstellt (sog. SABAs). Weitere potenzielle Problembereiche der Schiene sind die Emissionen von Schwermetallen (v.a. beträchtliche Mengen durch Abrieb beim Bremsen, Schienen-, Rad- und Fahrleitungsabrieb, aber auch durch Korrosion von Masten, Brücken oder Perronüberdachungen) wie auch Kohlenwasserstoff-Emissionen (Schmiermitteleinsatz für Weichen, Imprägnieren von Holzschwellen mit Teerölen u.a.). Auch dazu werden aus der laufenden Studie weitere Erkenntnisse erwartet.

7.2. LAUFENDE AKTIVITÄTEN

Massnahmen gegen den Flächenverbrauch und die Zersiedlung

Flächennutzung und Flächenverbrauch sind letztlich ein Spiegelbild der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung. Der Flächenbedarf für Verkehrsanlagen leitet sich vor allem ab aus der Siedlungsentwicklung, welche ihrerseits die räumliche Entkopplung von Wohn- und Arbeitsplatz, von Produktion und Verbrauch reflektiert. Gekoppelt mit höheren Einkommen, höheren Ansprüchen an Wohnen und Wohnumfeld (Wohnfläche je Einwohner, „Wohnen im Grünen“) und strukturellem Wandel (z.B. hin zu einer mobilen Dienstleistungsgesellschaft und abnehmender Bedeutung der Agrarproduktion) führt dies zu grösserer räumlicher Mobilität und erhöhtem Verkehrsaufkommen (einschliesslich und vor allem Freizeitverkehr).

Massnahmen gegen Flächenverbrauch und Zersiedlung sind deshalb deutlich komplexer als beispielsweise der Erlass rein technischer Massnahmen, die auf eine einzelne Umweltkomponente fokussieren. Sie sind typischerweise nicht „eindimensional“, sie gehen vielmehr über eine isolierte Verkehrsbetrachtung hinaus, sie sind einzubetten in raum- und verkehrspolitische Rahmenkonzepte und bedürfen grundsätzlicher politischer Weichenstellungen.

Auf Seite der Raumplanung werden seit einiger Zeit neben den etablierten Massnahmen und Vorkehrungen neue und namentlich fiskalische Instrumente zur Flächennutzung diskutiert, um die Flächeninanspruchnahme besser zu lenken (ARE/BAFU 2010). Parallel dazu stehen auf verkehrlicher Seite u.a. die Bemühungen, der Kostenwahrheit vermehrt zum Durchbruch zu verhelfen und dadurch auf das weitere Verkehrswachstum zumindest dämpfend einzuwirken.

Ein attraktives und leistungsfähiges ÖV-System spielt in diesem Kontext zweifellos eine wesentliche Rolle, da es eine Voraussetzung bildet für die Umsetzung einer auf den ÖV ausgerichteten Siedlungspolitik. Wie eine solche integrierte Strategie Raum / Verkehr auszugestalten ist, kann nicht Aufgabe dieser Studie sein, sondern ist Inhalt anderer Dokumente (z.B. Raumkonzept Schweiz [ARE 2011], Vorlagen zum Ausbau der Bahninfrastruktur [BR 2011b]).

Massnahmen gegen die Landschaftszerschneidung

Der Bericht „Landschaftszerschneidung Schweiz“ (2007) nennt eine Reihe von Massnahmen, deren Ansatzpunkte allerdings eher bei der Strasse als bei der Schiene liegen. Gleichwohl sind einige der Massnahmen sehr wohl auch bei der Schiene relevant, so dass diese als Checkliste gelten kann:

- Im Bereich der Verkehrs- und Siedlungsplanung
  - Wildtierkorridore erhalten und wiederherstellen durch Massnahmen wie Tunnels, Querungshilfen wie Grünbrücken, Unterführungen oder Hochlegen des Verkehrsweges auf Ständer.
  - Bündelung von Verkehrswegen, insbesondere Bau neuer Bahnstrecken möglichst entlang bestehender Achsen, wie es z.B. im Fall der Neubaustrecke Mattstetten-Rothrist umgesetzt wurde.
  - „Oasenkonzept“: Bezeichnen von für die Erholung geeigneten Gebieten («Oasen») und die Ortschaften vom überörtlichen Verkehr freihalten, Zusammenführen (des Strassenverkehrs) auf wenige Achsen in deutlicher Entfernung von den Ortschaften, Anbinden der Orte durch Stichstrassen.
  - Siedlungsbegrenzung und Siedlungsentwicklung nach innen durch Massnahmen vor allem auf lokaler Ebene, um dem Auftrag nach haushälterischem Umgang mit dem Boden nachzukommen und wertvolle und für die Erholung wichtige Gebiete sowie Landwirtschaftsflächen zu erhalten. Dazu zählen Massnahmen wie die Nutzung von Industriebrachen, bauliche Verdichtungen, kompakte Bauweisen in der bestehenden Bauzone, qualitative Aufwertungen von Quartieren etc.
- Massnahmen auf strategischer Ebene

› Nationale Strategie zur „Defragmentierung“ oder „Entschneidung“, etwa indem der Indikator „Zerschneidung“ in die bestehenden Instrumenten (z.B. Landschaftskonzept) integriert wird und den Bundesstellen verbindlich aufzeigt, welche Massnahmen wo und mit welchen Mitteln umzusetzen sind. Zweckmässig und eine Voraussetzung dafür wäre eine entsprechende Dokumentation.
› Langfristige Raumordnungs- und Verkehrspolitik: Massnahmen in diesem Bereich sollen letztlich zu einer sparsamen, geordneten Bodennutzung führen, die Zersiedelung und Landschaftszerschneidung zu reduzieren. Das Anliegen an dieser Stelle ist es, eben diesen Aspekt der Landschaftszerschneidung bei der Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastrukturen explizit mit in Betracht zu ziehen.

Massnahmen gegen Boden- und Gewässerbelastung

Zur Boden- und Gewässerbelastung durch den Schienenverkehr bestehen diverse Kenntnislücken, die es vorerst zu schliessen gilt. Eine entsprechende Untersuchung unter Beteiligung von EAWAG, SBB, BAV und BAFU ist bereits im Gang. Diese sollte auch Grundlagen und Erkenntnisse zu bahnbedingten Belastungen durch Schwermetalle und Kohlenwasserstoffe liefern.

Dem Aspekt Umwelt wird beim Bau neuer Anlagen gemäss dem Vorsorgeprinzip einerseits durch die Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) Rechnung getragen. Dazu gibt es entsprechende Regelwerke, namentlich das UVP-Handbuch (BAFU 2009b)[27]). Andererseits gibt es für nicht UVP-pflichtige Anlagen eine einschlägige Checkliste (BAFU/BAV 2010). Weitere Regelwerke sind die VSS Norm 640 581/2/3[28] sowie die Norm 640 610b zur Umweltbaubegleitung (UBB, vgl. auch der BAFU-Bericht zur Umweltbaubegleitung, BAFU 2007). Durch diese Regelwerke ist der Aspekt Umwelt genügend abgedeckt so dass hier kein weiterer Handlungsbedarf zu erkennen ist.

7.3. HANDLUNGSBEDARF

Letztlich bedarf es einer integrierten Strategie der Entwicklung von Raum und Verkehr um den Flächenverbrauch und die Zersiedlung einzudämmen. Eine solche Forderung geht über eine verkehrsträgerisolierte Betrachtung hinaus. Deshalb besteht Handlungsbedarf vor allem hinsichtlich einer gesamtverkehrlichen Weiterentwicklung des Verkehrssystems. Der ÖV seiner-

27 Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung (Art. 10b Abs. 2 USG und Art. 10 Abs. 1 UVPV)
28 Norm SN 640 581 "Erdbau, Boden - Grundlagen".
* – Norm SN 640 582 "Erdbau, Boden - Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes".
* – Norm SN 640 583 "Erdbau, Boden - Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme".

seits sollte bei seinen eigenen Ausbau-Plänen diesen räumlichen Aspekten und den Folgewirkungen einen gebührenden Stellenwert beimessen. Die Kenntnisse dieser Zusammenhänge sind beschränkt. Vertiefte empirische Analysen der räumlichen Folgeeffekte von ÖV-Projekten des Fern- wie des Regionalverkehrs sind deshalb angezeigt, um zu verhindern, dass der ÖV-Ausbau nicht (auch) in erster Linie zur weiteren Zersiedlung beiträgt.

Ein weiterer spezifischerer Handlungsbedarf lässt sich vor allem mit Blick auf die Zerschneidungsproblematik formulieren:

› Zerschneidungseffekte durch die Schiene sind heute wenig bekannt. Deshalb sind solche erst einmal zu eruieren, indem der Indikator „Maschenweite“ spezifisch für das Schienensystem ermittelt wird, mit dem Ziel, neuralgische Punkte zu identifizieren und mögliche Massnahmen dafür zu evaluieren. Die nötigen Grundlagen und Tools (auf Hektar-Ebene) für die Identifikation von „hotspots“ sind vorhanden; Ansatzpunkte und Checklisten für Massnahmen dazu ebenfalls (BFS 2007, BAFU 2010c).

› Weiter soll der Aspekt der Landschaftszerschneidung bei der Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastrukturen explizit mit in Betracht gezogen werden.

8. DIE RHEINSCHIFFFAHRT UND IHRE UMWELTAUSWIRKUNGEN

8.1. DIE SCHIFFFAHRT IN DER SCHWEIZ

Trotz der kontinentaleuropäischen Binnenlage der Schweiz ohne Meeranstoss ist die Schifffahrt als Transportmittel nicht unbedeutend. Mit einer Hochseeflotte von über 30 Schiffen werden strategische Interessen der wirtschaftlichen Landesversorgung abgesichert. Aufgrund des nationalen Fokus dieser Studie wird die internationale **Hochseeschifffahrt** aber nicht weiter behandelt. Im Inland selbst sind die **Rheinschifffahrt** und die **Binnenschifffahrt** von Bedeutung.

Rheinschifffahrt

Mit dem Rhein verfügt die Schweiz über eine direkte Verbindung zu den Weltmeeren. Der Fluss und die Basler Häfen sind für den Aussenhandel der Schweizerischen Volkswirtschaft von grosser Bedeutung. Rund ein Zehntel der jährlichen Einfuhren erreichen das Land über diesen Weg. 2010 waren dies 5.54 Mio. Tonnen (Schweizerische Rheinhäfen 2011). Aufgrund des bislang vorherrschenden Umschlags von Massengütern wie Erd- und Mineralölprodukten, chemischen Erzeugnissen und Agrarprodukten wird an den Häfen traditionell mehr ein- denn ausgeführt. 2010 standen den Importen Ausfuhren von 0.98 Mio. Tonnen gegenüber. In den letzten Jahren hat der Anteil der Container am Gesamt-Umschlag stetig zugenommen. Da mit Containern hauptsächlich Stückgüter befördert werden, ist das Verhältnis zwischen Ein- und Ausfuhren in diesem Segment bedeutend ausgeglichener.

Binnenschifffahrt

Die Personenschifffahrt in der Schweiz ist aufgrund der zahlreichen Seen und Flüssen ebenfalls nicht unbedeutend. Auf den meisten grösseren Schweizer Seen verkehren (teilweise saisonal) Kursschiffe, auf den grössten Seen auch Autofähren. Für die Leistungsfähigkeit des Gesamtverkehrssystems sind diese Angebote jedoch von untergeordneter Bedeutung. Sie dienen vorwiegend dem Freizeit- und Tourismusverkehr. Die im Jahr 2008 von den Personenschiffen geleisteten 190.6 Mio. Pkm entsprechen 0.79% der im gleichen Jahr im gesamten öffentlichen Personenverkehr zurückgelegten Leistung.

Die Lastschifffahrt auf Seen und Flüssen beschränkt sich fast ausschliesslich auf die Beförderung von Sand, Kies und Steinbruchmaterialien. 2006 wurden diesbezüglich Mengen von 3.5 Mio. Tonnen verschifft (Bundesrat 2009). Die Transportdistanzen sind jedoch nur kurz, weshalb die Umweltrelevanz dieses Schifffahrtsbereich als gering einzustufen ist.

Der Dieselölverbrauch von Fahrgast-, Fähr- und Lastschiffen in der Schweiz (ohne Rheinschifffahrt) im Jahr 2005 belief sich gemäss Modellrechnungen auf 15'570 Tonnen (BAFU 2008c). Gemessen am Diesel-Gesamtverbrauch von 1.71 Mio. Tonnen sind dies weniger als 1%.

Aus den obigen Ausführungen wird ersichtlich, dass die Binnenschifffahrt umwelt- und verkehrspolitisch von untergeordneter Bedeutung ist. Deshalb werden nachfolgend lediglich die Umweltauswirkungen der Rheinschifffahrt beleuchtet.

8.2. UMWELTAUSWIRKUNGEN DER RHEINSCHIFFFAHRT

Energieverbrauch

Im Energieverbrauch liegt eine grosse Stärke der wasserseitigen Beförderung namentlich gegenüber der Strasse. Aufgrund der hohen Beförderungskapazität weisen Schiffe einen sehr tiefen spezifischen Treibstoffverbrauch auf.

Das nachfolgende Diagramm (Figur 26) zeigt den Primärenergieverbrauch eines Binnenfrachters für den Transport einer Frachttonne auf der Strecke Rotterdam-Basel (832 km) im Vergleich mit den konkurrierenden Verkehrsträgern Bahn und Strasse (704 km). Für die Berechnung wurden spezifische Verbrauchsfaktoren aus Mobitool (2010 / www.mobitool.ch) verwendet. Unterschieden werden der direkte Verbrauch durch den Fahrzeugbetrieb, der Verbrauch durch die Energiebereitstellung und ein indirekter Verbrauch durch dem Fahrbetrieb vor- und nachgelagerte Prozesse (Fahrzeugherstellung, -unterhalt und -entsorgung, Infrastrukturbau, -unterhalt und -entsorgung). Für die Berechnung von Emissionen ist die Logik dieselbe.

Der Primärenergieverbrauch von Schiff und Bahn bewegt sich in einem ähnlichen Rahmen. Der Vorteil gegenüber dem Strassentransport ist sehr deutlich: Die Einsparung beträgt mehr als die Hälfte.

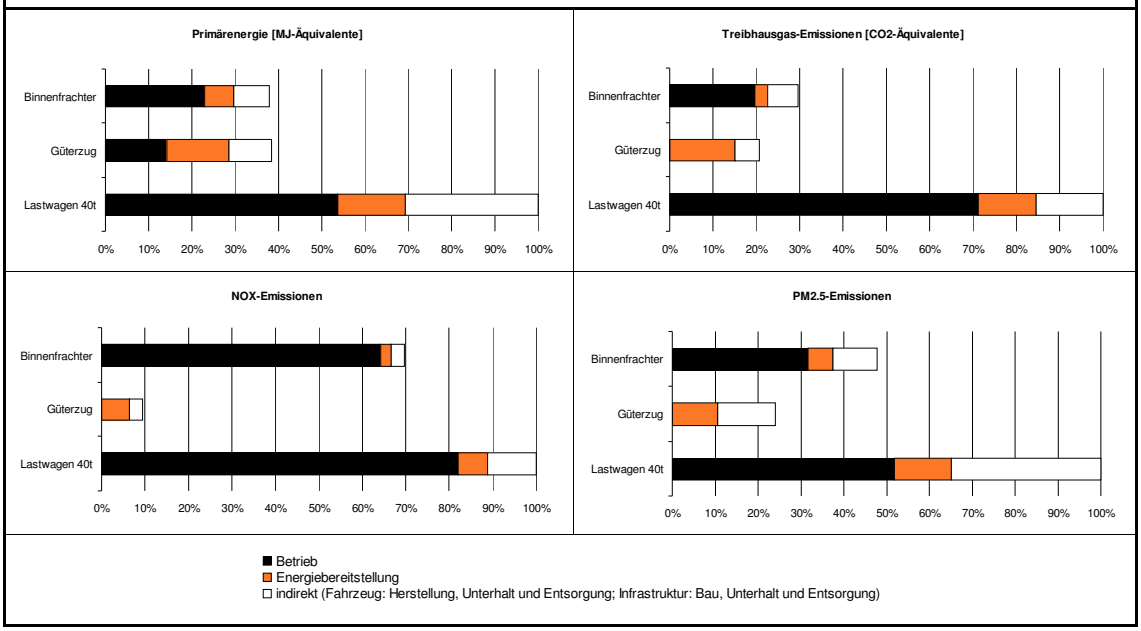
Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emissionen

Auch bei den Treibhausgas-Emissionen ist das Bild vergleichbar. Die Emissionen von Binnenschiff und Bahn sind gegenüber dem Strassentransport bedeutend tiefer. Bei der Bahn zeigt sich, dass die indirekten Emissionen der Energiebereitstellung entscheidend sind. Je nach angenommenem Strommix variiert die Differenz gegenüber Schiff und Strasse.

Bei den Stickoxid-Emissionen zeigt sich ein anderes Bild. Die Emissionen der Schifffahrt sind um ein Vielfaches höher als die der Bahn. Zwar erreicht auch hier der Strassentransport die

höchsten Werte, der Unterschied zur Schifffahrt ist aber bedeutend geringer. Sowohl Strasse als auch Schiff sind hier gegenüber der Bahn klar im Nachteil.

UMWELTBELASTUNG DER RHEINSCHIFFFAHRT IM VERGLEICH ZU BAHN UND STRASSE



Figur 26 Spezifischer Energieverbrauch, Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emissionen der Rheinschifffahrt im Vergleich mit den konkurrierenden Verkehrsträgern (Lastwagen = 100%); Berechnung mit Emissionsfaktoren von Mobitool 2010 / www.mobitool.ch; Lastwagen: Emissionsklasse EURO-3; Bahnstrom: UCTE-Mix; die Emissionsfaktoren für Binnenschiffe stützen sich auf Spielmann et al. 2007 ab und stellen Durchschnittswerte dar; die Entsorgung des Binnenschiffs ist nicht berücksichtigt.

Bei den Feinstaub-Emissionen sind zwischen allen Transportmitteln klare Unterschiede erkennbar. Hinsichtlich der genauen relativen Verhältnisse sind jedoch Fragezeichen anzubringen. Verwendet man alternative Emissionsfaktoren (Spielmann et.al. 2008), betragen die Emissionen von Bahn und Schiff nur etwa 20% der Emissionen aus dem Strassentransport. Möglicherweise sind in diesen Emissionsfaktoren bereits die Grenzwerte der ZKR-Richtlinienstufe II berücksichtigt (siehe unten). Aus der Quelle ist dies nicht ersichtlich.

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Rheinschifffahrt mit geringen spezifischen Werten für Primärenergieverbrauch und Treibhausgas-Emissionen im verkehrsmittelübergreifenden Vergleich gut abschneidet. Bei den Luftschadstoffen, insbesondere den Stickoxid-Emissionen, ist Verbesserungsbedarf erkennbar. Zur Reglementierung ist seit 2002 die Richtlinie der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) in Kraft. Seit dem 1. Juli 2007 gelten verschärfte Emissionsgrenzwerte (ZKR-Stufe II) für neu in Verkehr gesetzte Schiffe. Die Stick-

oxid-Emissionsgrenzwerte wurden um etwa 30% gesenkt, die Feinstaub-Emissionsgrenzwerte um teilweise über 50%. Insofern sind die oben abgebildeten Verhältnisse etwas zu relativieren.

Auf EU-Ebene regelt die Richtlinie 2004/26 die Gas- und Partikel-Emissionen von Binnenschiffsmotoren. Derzeit gilt die Stufe IIIA. Die entsprechenden Emissionsgrenzwerte sind in etwa mit den Werten in ZKR-Stufe II vergleichbar. Zurzeit laufen die Arbeiten für die Einführung einer weiteren Grenzwertstufe. Im Interesse einer Vereinheitlichung hat die ZKR in Zusammenarbeit mit der EU-Kommission einen gemeinsamen Vorschlag entwickelt. Der ursprüngliche Vorschlag sah vor, 2012 Stufe III (nach Zählschema ZKR) und etwa 2016 Stufe IV einzuführen. Wie der aktuelle Zeitplan aussieht, ist unklar. Grundsätzlich wird der Stufe IV eine grössere Bedeutung zugemessen, da sie längerfristig Bestand haben soll und entsprechend stärkere Reduktionen vorsieht, insbesondere bei Stickoxid- und Feinstaub-Emissionen (Pauli 2008).

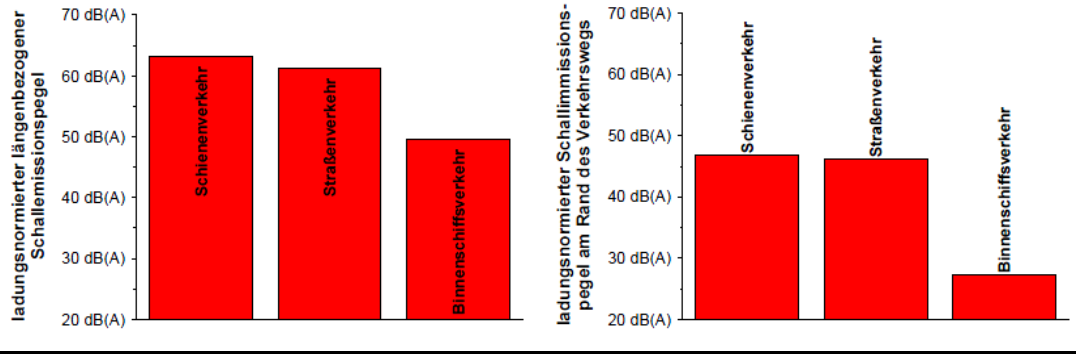
ZKR-EMISSIONSGRENZWERTE FÜR BINNENSCHIFFE			
Stufe	**Datum**	**NO_x [g/kWh]**	**PM [g/kWh]**
ZKR I	2003	8.0-9.2	0.54-0.85
ZKR II	2007	6.0-11.0	0.2-0.8
ZKR III	2012 (?)	4.0-6.6	0.11-0.2
ZKR IV	2016 (?)	0.4	0.025

Tabelle 3 ZKR-Emissionsgrenzwerte für Binnenschiffe; die Werte für die Stufen III und IV widerspiegeln den Vorschlag der ZKR-Mitgliedsstaaten (Quelle: Pauli 2008)

Lärm

Gegenüber dem Schienen- und Strassentransport ist der ladungsnormierte Schallemissionspegel des Binnenschiffverkehrs um mehr als 10 dB leiser (PLANCO Consulting 2007). Die im Vergleich zu Strassen und Bahngleisen meist deutlich grössere Breite von Wasserstrassen führt zusätzlich dazu, dass die Lärmimmissionen am Rand des Verkehrswegs bereits deutlich vermindert sind. Die Lärmemissionen und –immissionen der Binnenschifffahrt sind deshalb im Vergleich zu Strassenverkehr und Bahn von untergeordneter Bedeutung.

LÄRMEFFEKTE DER BINNENSCHIFFFAHRT

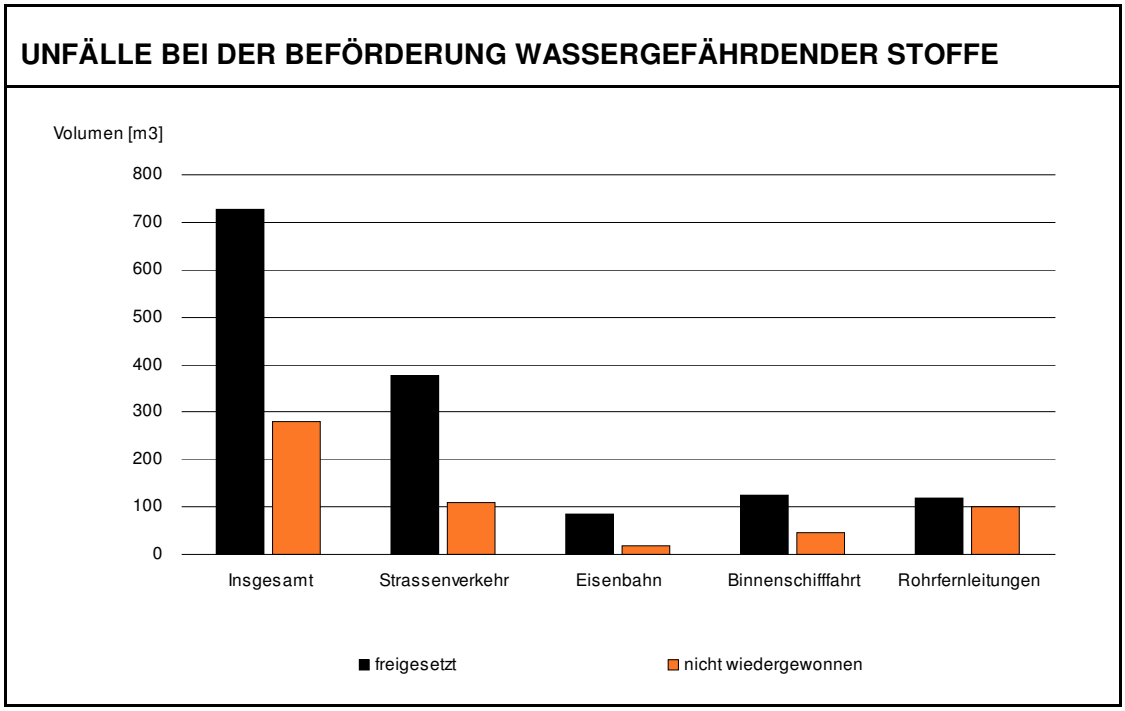


Figur 27 Ladungsnormierter längenbezogener Schallemissionspegel und ladungsnormierter Schallimmissionspegel am Rand des Verkehrsträgers (PLANCO Consulting 2007)

Gewässerverunreinigung

Ein altbekanntes Problem der Schifffahrt ist die Verunreinigung von Gewässern. Als erste Quelle kommen Schiffsabfälle in Frage. Darunter fallen häusliche Abwässer, Hausmüll, sogenanntes Bilgenwasser (= ölhaltiges Wasser, das sich am tiefsten Punkt des Schiffsinnern sammelt) sowie weitere Abfälle und Abwässer aus Betrieb und Unterhalt. Im Abfallübereinkommen der ZKR, welches 1996 verabschiedet und 2009 in Kraft gesetzt wurde, ist die Sammlung und Entsorgung von solchen Schiffsabfällen geregelt. Das Übereinkommen verbietet jegliche Einbringung bzw. Einleitung von Schiffsabfällen in die Gewässer. Stattdessen müssen diese gesammelt und an entsprechenden Abgabestellen in den Häfen entsorgt werden. Da die Einhaltung dieser Gesetze nur punktuell überprüft und Zuwiderhandlungen schnell nicht mehr zurückverfolgt werden können, sind keine Zahlen zum Ausmass der damit verbundenen Gewässerbelastung verfügbar.

Eine zweite Quelle für Gewässerverunreinigungen sind die Transportgüter selbst. Neben den Verunreinigungen beim Laden und Löschen der Schiffe können insbesondere die Umweltauswirkungen von Havarien enorm sein. Aus Ermangelung an Zahlen für die Schweiz sind nachfolgend die in Deutschland freigesetzten Volumen von wassergefährdenden Stoffen getrennt nach Verkehrsmittel aufgeführt. Bedenkt man, dass die Transportleistungen im Binnenschiffsverkehr unter denen der Bahn und der Strasse liegen, so ist die Bilanz für die Binnenschifffahrt getrübt. Der Transport per Bahn ist deutlich sicherer.



Figur 28 Unfälle bei der Beförderung wassergefährdender Stoffe in Deutschland 2009; der Wert des nicht wiedergewonnenen Volumens in der Binnenschiffahrt ist geschätzt entsprechend dem Anteil der Binnenschiffahrt am gesamten im Schiffsverkehr freigesetzten Volumen (Statistisches Bundesamt 2010)

Landschaftszerschneidung, Flächenverbrauch und Beeinträchtigung von Biotopen

Da es sich bei vielen Wasserstrassen um natürliche Gewässer handelt, kann von einer eigentlichen Landschaftszerschneidung und von Flächenverbrauch nur bei künstlich angelegten Kanälen und Hafenanlagen sowie den dazugehörigen Verkehrsanlagen gesprochen werden. Aufgrund der geringen Netzdichte in der Schweiz und Europa sind diese Zerschneidungs- und Flächenverbrauchseffekte relativ zum Strassen- und Bahnverkehr sehr gering (PLANCO Consulting 2007). Zudem bleiben die Wasserstrassen als Lebensraum für Pflanzen und Tiere sowie für andere Nutzungen (Fischerei, Freizeit/Wassersport, Energiegewinnung) grundsätzlich erhalten.

Einige ökologische Beeinträchtigungen sind dennoch von Bedeutung. Gravierende Eingriffe in wertvolle Ökosysteme mit nachhaltiger Wirkung erfolgten durch die Kanalisierung / Begradigung von Flüssen. In diesem Bereich hat in den letzten Jahren aber ein gewisses Umdenken stattgefunden. Ein Hindernis für Fische stellen Staustufen dar. Zusätzlich bewirkt die damit einhergehende Absenkung der Fliessgeschwindigkeit in den betroffenen Flussabschnitten ein Habitatsverlust für Fischarten mit Vorliebe für schnell fliessende Gewässer.

8.3. HANDLUNGSBEDARF

Die neuen Bestimmungen der ZKR zu Luftschadstoffemissionen und zur Abfallbeseitigung zeigen, dass der vorrangige umweltbezogene Handlungsbedarf in der Rheinschifffahrt erkannt und die Branche in den letzten Jahren entsprechende Hausaufgaben gemacht hat. Der Bundesrat schreibt denn auch dem ZKR-Regelwerk Vorbildcharakter zu (Bundesrat 2009). Trotzdem ist er der Ansicht, dass die Rheinschifffahrt ihre Regelwerke zum Umweltschutz weiter verbessern muss, um dem Image als umweltfreundliches Transportmittel gerecht zu werden. Besonders im Bereich der technischen Sicherheit besteht noch zusätzliches Potenzial. Bei der Beförderungssicherheit von flüssigen Stoffen ist diesbezüglich mit der gesetzlich vorgeschriebenen Doppelhülle bei Tankern ab 2018 eine Verbesserung absehbar.

Im Wettbewerb mit den anderen Güterverkehrsträgern steht die relativ liberal aufgestellte Binnenschifffahrt enorm unter Kostendruck. Insofern profitiert die Binnenschifffahrt vom Trend im Verkehrsbereich in Richtung Kostenwahrheit. Der Bund unterstützt die Rheinschifffahrt indirekt im Sinne der Verlagerungspolitik mit Betriebsabgeltungen für den kombinierten Verkehr auf der Schiene ab und zu den Rheinhäfen. Zudem werden Investitionshilfen an Infrastrukturanlagen im kombinierten Verkehr gewährt. Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Umweltauswirkungen der Rheinschifffahrt scheinen diese Unterstützungsmassnahmen gerechtfertigt.

9. FOLGERUNGEN UND HANDLUNGSBEDARF

9.1. EINSCHÄTZUNG DER EINZELNEN UMWELTBEREICHE

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die vorgängig beschriebenen Umwelt-Komponenten und macht eine qualitative Einordnung ihrer Bedeutung abgeleitet aus der Diskrepanz zwischen einem Wunsch- und Ist-Zustand (z.B. dem Ausmass von Grenzwert-Überschreitungen). Gleichzeitig werden der Stand der Umweltbelastung der verschiedenen Aspekte bei ÖV und Strasse grob beurteilt und die absehbaren Trends skizziert. Diese Bewertungen basieren auf den detaillierten Ausführungen der Kapitel 4 bis 7, eine gewisse Subjektivität in der Einschätzung insbesondere der relativen Bedeutung lässt sich aber nicht vermeiden. Die darin gemachte Gegenüberstellung von ÖV und Strasse zielt nicht darauf ab, die beiden Verkehrsträger gegeneinander auszuspielen, zumal der ÖV in vielen Fällen auf die Strasse angewiesen ist und ohne Strasse auch nicht funktionieren würde. Ein wesensgerechter Einsatz der beiden Verkehrsträger und die Betonung deren Komplementarität ist denn auch ein altes Postulat. Gleichwohl hilft eine solche Gegenüberstellung, um den Handlungsbedarf beim ÖV zu orten.

UMWELTBELASTUNG DURCH VERKEHR					
Thema	**Bedeutung**	**Stand ÖV**	**Trend ÖV**	**Stand Strasse**	**Trend Strasse**
Energieverbrauch absolut	●		☹		😐
Energieeffizienz	●		😐		☺
CO_2-Emissionen	●		☹		☺
Luftschadstoff-Emissionen	●		😐		☺
Lärm	●		😐		😐
Erschütterungen	●		😐		😐
Flächenverbrauch	●		😐		😐
Zerschneidung der Landschaft	●		😐		😐
Boden- und Gewässerbelastung	•		😐		😐

Tabelle 4 Qualitative Übersicht über Stand und Trends der Umweltbelastung im Verkehr bei Strasse und ÖV. Grün ist eine eher positive, rot eine je nach Intensität der Diskrepanz zwischen Wunsch- und Ist-Zustand unterschiedlich stark negative Beurteilung des entsprechenden Beitrags zur Umweltbelastung. Die Trends werden klassifiziert in „Verbesserung“, „keine signifikante Veränderung“ oder „tendenzielle Verschlechterung“ gegenüber heute.

Energie

Energieverbrauch und –effizienz sind Problemfelder, die vor allem mit Blick auf die Zukunft eine Herausforderung darstellen. Heute beträgt der Anteil des ÖV am Primärenergieverbrauch des Personenverkehrs rund 9% bei 20% Anteil an der Verkehrsleistung (Pkm); der Bahnanteil liegt bei knapp 6% bei 16% Verkehrsanteil. Im Güterverkehr sind es 8.5% Primärenergieverbrauchanteil bei 35% Anteil an der Transportleistung (tkm). Energetisch hat der ÖV heute also klare Vorteile. Aufgrund des erwarteten Nachfragewachstums beim ÖV dürfte der absolute Energieverbrauch gegenüber heute – trotz Zunahme der Effizienz – zunehmen. Die Deckung des zusätzlichen Strombedarfs wird entsprechend zu einer grossen Herausforderung namentlich vor dem Hintergrund der gegenwärtig laufenden Debatte zur Stromproduktion (Akzeptanz der Kernenergie, Diskussion um den Ausstieg aus der Kernenergie, Forcierung der erneuerbaren Energien, Strompreisentwicklung etc.). Bei der Strasse verbleibt der Trend beim Gesamtenergieverbrauch auf hohem Niveau, auch wenn durch Einsatz energieeffizienterer Fahrzeuge der Verkehrsmengenzuwachs überkompensiert werden dürfte, der absolute Energiebedarf gegenüber heute also abnehmen dürfte. Entsprechende Massnahmen (wie etwa CO_2-Zielwerte für Neuwagen) sind eingeleitet. Auch die Elektromobilität könnte langfristig zur Abnahme beitragen, wobei sich aus Versorgungssicht (Stromproduktion) dann analoge Fragen wie beim ÖV auch strassenseitig stellen.

CO_2-Belastung

Bei der CO_2-Belastung kommt der grosse Vorteil der Bahn zum Tragen, weil sie nicht nur energieeffizienter ist, sondern weil sie in der Schweiz zu gut 75% mit erneuerbarer Energie und damit nahezu klimaneutral unterwegs ist; die übrigen 25% steuert Atomstrom bei, was allein aus Klimasicht ebenfalls vorteilhaft ist. Auch wenn die Bahn mit einem europäischen Durchschnittsstrommix (UCTE) betrieben würde, wäre sie verkehrsleistungsbezogen noch um einen Faktor 3 besser als der motorisierte Individualverkehr. Allerdings fallen auch für die Bahn bei der Herstellung von Fahrzeugen und Infrastruktur entsprechende Emissionen an, diese sind aber – aufgrund der intensiveren Nutzung von Fahrzeugen und Infrastruktur – tiefer als bei der Strasse. Auch Autobusse sind – trotz Verbrennungsmotorantrieb – im Mittel CO_2-mässig um rund 25% vorteilhafter unterwegs als der motorisierte Individualverkehr.

Luftschadstoffe

Durch den grossen Anteil an weitgehend schadstofffreiem Bahnbetrieb sowie aufgrund des hohen Ausrüstungsgrades mit Dieselpartikelfiltern bei den Autobussen schneidet das heutige ÖV-

System in der Schweiz sehr gut ab. Aber auch die Schadstoffbelastung durch den Strassenverkehr hat markant abgenommen und wird auch in Zukunft noch weiter abnehmen, so dass die Problematik der verkehrsbedingten Luftschaftstoffe bzw. Luftqualität mittelfristig stark an Bedeutung verlieren wird.

Lärm

Die Lärmbelastung ist ein Problembereich und wird es trendmässig auch mittelfristig bleiben. Tagsüber sind rund 16% der Bevölkerung, nachts rund 10% (trotz Nachtfahrverbot für schwere Lastwagen) übermässigem Strassenverkehrslärm ausgesetzt. Eisenbahnlärm betrifft zwar insgesamt weniger Personen, aber nachts sind doppelt so viele Leute betroffen wie tagsüber, was vor allem auf den lärmigen Güterverkehr zurückzuführen ist. Mittlerweile sind bei der Strasse wie bei der Schiene kostspielige Massnahmenprogramme zur Lärmbekämpfung in der Umsetzung, auch wenn sie gegenüber dem ursprünglichen Sanierungsfahrplan gewisse Verzögerungen aufweisen. Es ist jedoch absehbar, dass auch nach Ablauf der angepassten Sanierungsfristen noch ein namhafter Teil der Bevölkerung durch übermässigen Strassenlärm belastet sein wird, u.a. weil das Verkehrswachstum einen Teil des Sanierungserfolgs wieder wettmachen wird. Bei der Schiene ist das Bild nicht unähnlich. Eine Herausforderung stellt hier insbesondere der lärmige Schienengüterverkehr dar, und hier vor allem der internationale Güterverkehr, der schwerer beeinflussbar ist als der nationale.

Erschütterungen

Erschütterungen sind vor allem ein Problem des Schienenverkehrs. Erschütterungsphänomene sind komplexer als Lärm, und zwar sowohl bei der Ermittlung als auch bei der Bekämpfung. Lärmschutzwände und –fenster bieten dagegen keine Abhilfe. Die Entwicklung und Erprobung von Massnahmen zum Schutz vor Erschütterungen ist zurzeit im Gang, mit einer kurzfristigen Behebung der Problematik kann nicht gerechnet werden.

Auswirkungen auf Raum und Boden

› Der **Flächenverbrauch durch Verkehrsanlagen** ist einmal ein Mengenproblem. Von den gegen 90'000 ha Verkehrsfläche entfallen 91% auf Strassen, Wege und Parkplätze, 7% auf die Bahn und 2% auf Flugplätze. Die Aussagekraft einer solchen einfachen Zuordnung ist allerdings begrenzt, weil vor allem die Strassen häufig mehrfach genutzt werden, sie dienen z.B. auch dem ÖV wie auch dem Langsamverkehr. Der spezifische Flächenverbrauch des ÖV ist

klar geringer bzw. seine spezifische Leistungsfähigkeit (z.B. in Personen pro m^2) grösser als jener von Strassenverkehrsmitteln.

› Die **Zersiedelung** ist eine Folgewirkung des Flächenverbrauchs. Weniger die Zersiedelung per se ist ein Umweltproblem als vielmehr deren verkehrlichen Folgen: der zersiedelungsbedingte Mehrverkehr weist beispielsweise eine hohe Energieintensität auf, weil er in der Regel stark strassenorientiert ist. Eine ÖV-orientierte Siedlungsentwicklung gibt den Haushalten mehr Spielraum zur Nutzung von Langsamverkehr und ÖV, ermöglicht kürzere Wege zu Dienstleistungen, Arbeitsplätzen und Erholungsstätten, reduziert die Abhängigkeit vom Auto und spart nicht nur Energie, sondern auch Transportkosten.

› Die **Landschaftszerschneidung** ist nicht nur eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und führt zu Bearbeitungserschwernissen z.B. für Land- und Forstwirtschaft, sie ist auch ein Umweltproblem. Die starken Barrierewirkungen gefährden die Artenvielfalt. Autobahnen (im Unterschied zu Bahnstrecken) werden aus Sicherheitsgründen eingezäunt, was das Unfallrisiko wesentlich verringert, aber gleichzeitig den Lebensraum einzelner Tierarten zertrennt und die Tierpopulationen noch stärker voneinander isoliert.

› Bezüglich **Boden- und Gewässerbelastung** sind diffus in die Umwelt freigesetzte problematische Stoffe der potenzielle Problembereich. Strassenseitig sind es u.a. der Pneu- und Bremsabrieb, schienenseitig der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, daneben auch Emissionen von Schwermetallen sowie Kohlenwasserstoff-Emissionen. Es bestehen allerdings Kenntnislücken über deren effektives Belastungsausmass, die derzeit durch Grundlagenarbeiten geschlossen werden sollen. Bei Umbauten und Neuanlagen wird dem Aspekt durch einschlägige Regelwerke und Richtlinien (z.B. Umweltberichterstattung, Umweltverträglichkeitsprüfung) gebührend Rechnung getragen.

Man kann aus diesen Einschätzungen zwei Folgerungen ableiten:

› Der ÖV hat heute bezüglich vielen Umweltbereichen gewichtige Vorteile im Vergleich zur Strasse (Energieeffizienz, Schadstoffe, Bodenverbauch).

› Die Trends sind aber teilweise gegenläufig: Die Strasse holt tendenziell auf, der ÖV stagniert oder die Situation kann sich gar verschlechtern (u.a. als Folge starken ÖV-Wachstums).

Die erste Folgerung legitimiert letztlich die verkehrspolitischen Bestrebungen, den öffentlichen Verkehr zu fördern, da eine Verlagerung von der Strasse zum ÖV – im Personen- wie im Güterverkehr – einen signifikanten Beitrag zu einer effizienteren Ressourcennutzung (Energie, Boden) und zur Reduktion der Umweltbelastung liefert. Umfang und Mittel für eine solche Verla-

gerung variieren je nach Verkehrsart. Die Förderung des ÖV, sei es durch finanzielle Betriebsbeiträge, sei es durch Kapazitätssteigerungen und / oder durch eine Attraktivierung des Angebots durch Verdichtungen oder Fahrzeiteinsparungen mit entsprechendem Infrastrukturausbau ist eine der verfolgten Stossrichtungen. Aus Umweltoptik anzumerken bleibt allerdings, dass eine Reduktion der Umweltbelastung erst dann resultiert, wenn Verkehr effektiv von der Strasse zum ÖV verlagert wird. Förderungspolitik garantiert dies nicht zwangsläufig, sondern kann dazu führen, dass auch aus Umweltsicht unerwünschter Neuverkehr entsteht. Bahn 2000 1. Etappe (B21) etwa gilt als Erfolgsstory, die dem öffentlichen Verkehr zu namhaften Zuwächsen verholfen hat. Gemäss der Evaluationsstudie zu B21 (Infras 2006) sind etwas mehr als die Hälfte der Nachfragesteigerungen strukturell bedingt, d.h. auf Bevölkerungs-, Einkommens- und allgemeine Mobilitätsverhaltensentwicklungen zurückzuführen; etwas weniger als die Hälfte der Nachfragesteigerung kann auf Angebotseffekte zurückgeführt werden. Der Angebotseffekt seinerseits unterteilt sich gemäss Modellrechnungen auf rund zwei Drittel Neuverkehr und ein Drittel Umsteigeeffekte Strasse -> Schiene. Auch künftige Konzepte wie ZEB (Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur, [BR 2007]) und STEP (Strategisches Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur, [BR 2011b]) gehen nicht davon aus, dass sehr grosse Entlastungen der Umwelt durch Verlagerungen entstehen. In der Botschaft zu ZEB wurde beispielsweise der Verlagerungs- bzw. Entlastungseffekt mit rund 0.6% der PWkm auf der Strasse veranschlagt (BR 2007, S. 7726, Tab. 4). Dahinter verbirgt sich letztlich ein Grundproblem, wie mit der Mobilitätsnachfrage umgegangen werden soll. Undifferenzierte Förderungspolitik tendiert dazu, durch falsche Anreize vor allem Mehrverkehr zu generieren. Das gilt für den ÖV wie für die Strasse. Die neu lancierte Diskussion um eine Finanzierung des Verkehrssystems, welche die Kostenwahrheit verstärkt in den Vordergrund rückt und den Nutzern der Infrastrukturen höhere Beiträge abfordert, zielt zumindest in die richtige Richtung, weil sie verursachergerecht ist und tendenziell nachfragedämpfend wirkt (vgl. BR 2011a, BR 2011b).

9.2. HANDLUNGSBEDARF

Die zweite Folgerung bedeutet, dass die Umweltvorteile des ÖV zwar nicht in Gefahr sind gänzlich zu verschwinden, doch ist absehbar, dass sie insbesondere gegenüber dem motorisierten Strassenverkehr geringer werden. Dies vor allem weil die Strasse aufholen wird, was per se ja sehr zu begrüssen ist, denn so reduziert sich die Gesamtbelastung des Verkehrs spürbar. Für den ÖV stehen damit aber Hausaufgaben bevor., soll der Vorteil langfristig gewahrt bleiben. Adressaten sind einerseits der Regulator bzw. Eigner (namentlich der Bund), andererseits die Trans-

port-Unternehmen des öffentlichen Verkehrs. Der Handlungsbedarf variiert je nach Umweltkomponente. Vor allem zwei Bereiche stehen für den ÖV im Vordergrund:

› Die **Energie** ist im Schienenverkehr noch effizienter einzusetzen und der Strom ist auch bei weiterem Verkehrswachstum nachhaltig (erneuerbar und klimaneutral) zu produzieren.

› Den **Bahnlärm** (namentlich des Güterverkehrs) ist vor allem an der Quelle mit lärmarmem Rollmaterial weiter zu reduzieren.

Der Handlungsbedarf wurde in den vorgängigen Kapiteln detailliert ausgeleuchtet, wir fassen ihn im Folgenden summarisch zusammen.

Energieverbrauch und CO_2-Emissionen

› Datenerhebung und Controlling:
  › Verbesserung der Datenerhebungen und Koordination der statistischen Auswertungen des Energieverbrauchs.
  › Ermittlung und Publikation von Energie-Kennziffern für Bahnen, Tram, Trolley- und Autobusse, um so ein Benchmarking zwischen den Transportunternehmen zu ermöglichen.

› Strategische Zielsetzungen für Energie und Klima formulieren:
  › Entwicklung einer Energie- und Klimastrategie für den ÖV (u.a. „CleanTech-Strategie“).
  › Definition von Zielvorgaben für TU bzgl. Energieverbrauch und CO_2-Emissionen (z.B. im Rahmen von Leistungsvereinbarungen).
  › Aktive Support-Rolle des BAV:
    › Unterstützung der TU bei der Evaluation von Massnahmen zur Steigerung der Energie- und Klimaeffizienz im Betriebsmanagement, bei der Weiterentwicklung des Fahrzugparks (Neu- und Umbaufahrzeuge), bei der Produktion erneuerbarer Energie.
    › Technologiemonitoring.

› Ausarbeitung von Beschaffungskriterien bei der Bestellung von Neufahrzeugen im öffentlichen Verkehr.

› Finanzielle Anreize schaffen zur Förderung der Energieeffizienz, Anpassen des Trassenpreissystems, Entwicklung der dafür notwendigen Voraussetzungen.

Schadstoffe

› Bei Autobussen:
  › Stickoxide: Einführung eines Monitorings zur Stickoxid-Absenkungsproblematik (SCR-Technologie), Unterstützung einschlägiger Untersuchungsprogramme.

  - Partikel: Problematik insofern gelöst, als die Flotten grossmehrheitlich mit Partikelfiltern ausgerüstet sind. Entwicklung zweckmässiger Verfahren für die Online-Messung von Partikelemissionen zur Prüfung des Filterverhaltens im realen Betrieb.
- Rangierlokomotiven und –traktoren: weitere Ausrüstung mit Partikelfiltern als Teil einer „CleanTech-Strategie“.
- ÖV-Statistik aufschlussreicher gestalten (räumliche Differenzierung von Energieverbrauch und Technologien, ggf. nach TU).

Lärm und Erschütterungen

- Entwickeln einer „Lärmstrategie Bahn“. als Richtlinie für diesbezügliche Bundesaktivitäten.
- Umsetzung von Massnahmen an der Infrastruktur mit kurzfristiger Wirkung (Schienenschleifen sowie der Einbau von Schienenschallabsorbern).
- Finanzielle Anreize und Lenkungsmassnahmen schaffen zur Einführung lärmarmen Rollmaterials namentlich im Güterverkehr:
  - Anpassung des Trassenpreissystems mit Erhöhung der Lärmkomponente.
  - Direkte finanzielle Förderung durch Finanzierung der Differenzkosten von lärmarmen im Vergleich zu konventionellen Güterwagen.
- Mittelfristig regulatorische Eingriffe / Verbote von lärmintensivem Rollmaterial bzw. Einführung entsprechend verschärfter Emissionsgrenzwerte.
- Forschung und Entwicklung:
  - Äufnen eines Innovationsfonds.
  - Unterstützung der Grundlagenforschung, pro-aktives Angehen der Fragen um den sog. Schienenbonus.
- Weitere Intensivierung der Arbeiten zum Lärmschutz auf internationaler Ebene mit dem Ziel der Sanierung ausländischer Güterwagen.
- Erschütterungsschutz: Entwickeln und Erproben technischer Massnahmen bei Infrastruktur und Rollmaterial als Basis für die Konkretisierung der Umweltschutzgesetzgebung (Verordnung Erschütterungsschutz).
- Rahmenbedingungen von Seiten Politik: Finanzmittel aus dem FinöV-Verpflichtungskredit zugunsten des Lärmschutzes sichern.

Auswirkungen auf Raum und Boden

- Zersiedlung: explizite Integration als Beurteilungsaspekt bei Ausbaukonzepten.

› Zerschneidung:
  › Identifikation neuralgischer Punkte („hotspots“), wo die Bahn zur Zerschneidung der Landschaft und von Lebensräumen beiträgt.
  › Evaluation entsprechender Massnahmen anhand etablierter Checklisten.
› Bodenbelastung: Hier besteht kein unmittelbarer Bedarf nach weiteren Massnahmen, da einschlägige Aktivitäten bereits initialisiert (BAV/SBB/BAFU) sind. Beim Bau neuer Anlagen sind die Regelwerke ausreichend. Es ist jedoch auf deren konsequente Anwendung und Umsetzung zu achten.

Sonderthema Rheinschifffahrt

› Umweltbezogener Handlungsbedarf bei Luftschadstoffemissionen und zur Abfallbeseitigung ist weitgehend erkannt, neue Bestimmungen sind beschlossen.
› Zusätzliches Potenzial besteht im Bereich der technischen Sicherheit, Verbesserung ist mittelfristig absehbar (Beförderungssicherheit von flüssigen Stoffen).

ANNEX

ANNEX 1: VERKEHRSMENGENGERÜST

Verkehrsleistungen des Personen- und Güterverkehrs im Landverkehr Schweiz

› Angaben bis 2008 gemäss statistischen Grundlagen des BFS (soweit verfügbar, in Einzelfällen extrapoliert, z.B. für 1990)[29]

› Angaben bis 2010 extrapoliert (durch Infras) anhand von einzelnen Angaben zu 2009 des BFS soweit verfügbar bzw. Einschätzungen für die Entwicklung im Jahr 2010

› Entwicklung bis 2030: Die Angaben orientieren sich an den Verkehrsperspektiven des UVEK (ARE 2004, ARE 2006). Allerdings wurden die jüngsten Entwicklungen der letzten Jahre berücksichtigt. So basieren die Angaben im Strassenverkehr auf BAFU 2010a; die Wachstumsraten ab 2008 sind weitgehend deckungsgleich mit den Erwartungen des Basisszenarios der UVEK-Verkehrsperspektiven. Der Personenschienenverkehr hat sich hingegen seit 2004 wesentlich dynamischer entwickelt als dies zum Zeitpunkt der Erarbeitung der UVEK-Verkehrsperspektiven erwartet wurde. Das hier unterstellte Wachstum orientiert sich deshalb an den Erwartungen, wie sie im Rahmen von Bahn 2030 erarbeitet wurden. Diese bewegen sich noch immer im Rahmen der UVEK-Verkehrsperspektiven, gehen aber an den oberen Rand der damaligen Erwartungen; dies korrespondiert mit einer jüngsten Aktualisierung des ARE (ARE 2010).

Personenverkehr

Mio Pkm/a	1990	1995	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
PW	73'272	74'859	81'061	86'083	90'019	92'486	96'880	100'840	103'155	105'432
RBus	2'285	2'327	2'087	2'235	2'410	2'522	2'475	2'435	2'418	2'412
MR	2'287	1'970	2'440	2'366	2'542	2'588	2'707	2'831	2'960	3'096
Bahn	12'678	11'713	12'600	16'144	18'028	19'066	21'161	23'255	25'350	27'445
Tram+Trolley	2'205	2'314	2'168	2'180	2'455	2'463	2'528	2'659	2'790	2'921
Autobus	2'162	2'388	2'404	2'737	2'927	3'035	3'321	3'627	3'954	4'305
	1990	1995	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Summe P MIV	77'844	79'156	85'588	90'684	94'971	97'596	102'061	106'105	108'534	110'940
Summe P OeV	17'044	16'415	17'172	21'061	23'410	24'564	27'010	29'541	32'094	34'670
Summe P	94'888	95'570	102'760	111'744	118'381	122'161	129'071	135'646	140'628	145'610
% OeV	18.0%	17.2%	16.7%	18.8%	19.8%	20.1%	20.9%	21.8%	22.8%	23.8%

29 Beim PW-Verkehr stützen sich die Angaben auf BAFU 2010a.

Güterverkehr

Mio Tkm/a	1990	1995	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	1'300	1'373	1'489	1'650	1'764	1'804	1'870	1'919	1'975	2'040
SNF	10'796	11'420	12'781	14'860	16'867	17'481	18'844	19'663	20'199	20'616
Bahn	8'345	7'979	9'937	10'149	10'980	10'400	11'543	12'686	13'830	14'973
	1990	1995	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Summe Strasse	12'096	12'793	14'270	16'510	18'631	19'285	20'714	21'582	22'174	22'656
Summe Bahn	8'345	7'979	9'937	10'149	10'980	10'400	11'543	12'686	13'830	14'973
Summe G	20'441	20'772	24'207	26'659	29'611	29'685	32'257	34'269	36'004	37'629
% Schiene	40.8%	38.4%	41.0%	38.1%	37.1%	35.0%	35.8%	37.0%	38.4%	39.8%

ANNEX 2: ENERGIEBEDARF UND CO_2-EMISSIONEN

Energieverbrauch des Personen- und Güterverkehrs – Trend-Szenario

Direkter Energieverbrauch (PJ)

Personen-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
PW	136.29	142.81	151.67	151.78	150.11	144.88	137.89	130.53	124.24
Rbus	1.28	1.29	1.12	1.19	1.33	1.30	1.29	1.28	1.28
MR	2.26	2.13	2.49	2.81	3.23	3.38	3.48	3.61	3.75
Autobus	2.82	3.13	3.16	3.52	3.78	3.92	4.09	4.28	4.49
Tram+Trolley	0.60	0.60	0.57	0.58	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70
Bahn (P)	5.56	5.23	5.93	6.36	7.23	7.55	7.91	8.26	8.59
Total PV	148.80	155.18	164.94	166.24	166.26	161.65	155.31	148.63	143.05
Güter-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	9.29	9.38	10.28	11.03	11.83	12.15	12.14	12.22	12.47
SNF	21.90	23.03	23.59	23.21	24.59	26.08	26.99	27.61	28.10
Bahn (G)	2.31	2.17	2.17	2.53	2.53	2.74	2.91	3.08	3.24
Total GV	33.51	34.58	36.04	36.77	38.95	40.96	42.04	42.91	43.81
Total PV+GV	182.3	189.8	201.0	203.0	205.2	202.6	197.3	191.5	186.9

Primärenergieverbrauch (mit SBB-Stromproduktion) (PJ)

Personen-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
PW	181.25	189.88	201.55	201.20	198.35	190.87	181.21	171.29	162.94
Rbus	1.64	1.65	1.44	1.53	1.71	1.68	1.66	1.65	1.65
MR	3.01	2.83	3.32	3.75	4.30	4.50	4.64	4.81	5.00
Autobus	3.63	4.03	4.06	4.52	4.86	5.04	5.26	5.51	5.77
Tram+Trolley	1.82	1.83	1.72	1.78	1.78	1.87	1.96	2.05	2.14
Bahn (P)	10.22	9.61	10.90	11.69	13.27	13.86	14.53	15.17	15.78
Total PV	201.57	209.83	223.00	224.47	224.27	217.82	209.25	200.48	193.27
%fossil	94%	95%	94%	94%	93%	93%	92%	91%	91%
Güter-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	12.24	12.33	13.45	14.35	15.34	15.72	15.68	15.78	16.10
SNF	28.17	29.62	30.35	29.86	31.63	33.54	34.72	35.52	36.15
Bahn (G)	4.25	3.99	3.98	4.65	4.65	5.03	5.35	5.65	5.94
Total GV	44.66	45.94	47.78	48.86	51.62	54.29	55.75	56.95	58.19
Total PV+GV	246.2	255.8	270.8	273.3	275.9	272.1	265.0	257.4	251.5
%fossil	90.5%	91.3%	91.7%	90.5%	91.0%	90.7%	90.4%	90.1%	89.8%

Strombedarf (in PJ)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
End-E. (PV)	6.2	5.8	6.5	6.9	7.8	8.2	8.6	8.9	9.3
End-E. (GV)	2.3	2.2	2.2	2.5	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2
Total End-E.	8.5	8.0	8.7	9.5	10.3	10.9	11.5	12.0	12.5
Primär-E. (PV)	12.0	11.4	12.6	13.5	15.1	15.7	16.5	17.2	17.9
Primär-E. (GV)	4.3	4.0	4.0	4.7	4.6	5.0	5.3	5.7	5.9
Total Primär-E.	16.3	15.4	16.6	18.1	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9

Spezif. Verbrauch - Betrieb+Vorprozess (Strommix SBB)

MJ/Pkm	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
PW	2.47	2.54	2.49	2.34	2.14	1.97	1.80	1.66	1.55
Rbus	0.72	0.71	0.69	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
MR	1.31	1.44	1.36	1.58	1.66	1.66	1.64	1.62	1.62
Autobus	1.68	1.69	1.69	1.65	1.60	1.52	1.45	1.39	1.34
Tram+Trolley	0.82	0.79	0.80	0.82	0.72	0.74	0.74	0.73	0.73
Bahn (P)	0.81	0.82	0.87	0.72	0.70	0.66	0.62	0.60	0.57
MJ/Tkm	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	9.42	8.98	9.03	8.70	8.51	8.41	8.17	7.99	7.89
SNF	2.61	2.59	2.37	2.01	1.81	1.78	1.77	1.76	1.75
Bahn (G)	0.51	0.50	0.40	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40

Sonderaspekt Bahn und Dieselverbrauch

Der Schienenverkehr in der Schweiz erfolgt praktisch ausschliesslich mit elektrischer Traktion. Daneben werden auch gut 12 Mio L Diesel (vor allem im Rangierbetrieb, zudem für Bauzüge etc.) verbraucht. Wenn man diesen Anteil vereinfachend dem Güterverkehr zuschlägt, so macht das gut 12% des Stromverbrauchs des Bahngüterverkehrs aus.

Dem erwähnten Dieselverbrauch entsprechen rund 40 kt CO_2-Emissionen pro Jahr. Die gesamten CO_2-Emissionen des Schienengüterverkehrs betragen somit rund 48 kt CO_2/a (einschliesslich der rund 8 kt CO_2-Emissionen bei der Stromproduktion für den Schienengüterverkehr). Im Vergleich zum Strassengüterverkehr (mit rund 3200 kt CO_2/a) ist dieser Anteil sehr gering.

Energiebedarf im Bahngüterverkehr inkl. Diesel (2009)		
Endenergiebedarf Bahn Diesel (v.a. Rangieren)	12.7	Mio l Diesel
Endenergiebedarf Bahn Diesel (v.a. Rangieren)	0.45	PJ
Primärenergiebedarf Bahn Diesel (v.a. Rangieren)	0.58	PJ
Zum Vergleich:		
Primärenergiebedarf Bahn Strom (Güterverkehr)	4.65	PJ
total Primärenergiebedarf Bahn (GV, Strom+Diesel)	5.23	PJ
Verkehrsleistung Bahn (GV)	10'400	Mio tkm/a
spezifischer Primärenergieverbrauch Bahn (GV, Strom+Diesel)	0.50	MJ/tkm

CO2-Emissionen des Güterverkehrs inkl. Diesel		
Bedingt durch Strom (SBB-Strommix)	8.5	kt CO2/a
Bedingt durch Dieselverbrauch	39.6	kt CO2/a
total	48.1	kt CO2/a
spezif. CO2-Emission pro tkm	4.62	g CO2/tkm

CO_2-Emissionen des Personen- und Güterverkehrs – Trend-Szenario

Direkte CO2-Emissionen (in Mio. t/a)

Personen-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
PW	10.07	10.55	11.20	11.21	11.08	10.69	10.17	9.62	9.16
Rbus	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
MR	0.17	0.16	0.18	0.21	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28
Autobus	0.21	0.23	0.23	0.26	0.27	0.28	0.30	0.31	0.32
Tram+Trolley	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bahn (P)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total PV	10.54	11.03	11.70	11.76	11.69	11.32	10.81	10.29	9.85
Güter-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	0.69	0.69	0.76	0.81	0.87	0.89	0.89	0.90	0.92
SNF	1.61	1.70	1.74	1.71	1.81	1.92	1.99	2.03	2.07
Bahn (G)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total GV	2.30	2.39	2.49	2.52	2.68	2.81	2.88	2.93	2.99
Total PV+GV	12.8	13.4	14.2	14.3	14.4	14.1	13.7	13.2	12.8

Gesamte CO2-Emissionen (inkl. Energiebereitstellung) in Mio t/a

Personen-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
PW	12.48	13.07	13.87	13.84	13.62	13.09	12.41	11.73	11.15
Rbus	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11
MR	0.21	0.20	0.23	0.26	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34
Autobus	0.25	0.27	0.28	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37	0.39
Tram+Trolley	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Bahn (P)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
Total PV	13.09	13.70	14.52	14.55	14.41	13.90	13.25	12.59	12.05
%fossil	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Güter-V.	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LNF	0.84	0.85	0.92	0.98	1.05	1.07	1.07	1.07	1.10
SNF	1.92	2.01	2.06	2.03	2.15	2.28	2.36	2.42	2.46
Bahn (G)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total GV	2.76	2.87	2.99	3.02	3.21	3.36	3.44	3.50	3.57
Total PV+GV	15.9	16.6	17.5	17.6	17.6	17.3	16.7	16.1	15.6
%fossil	99.7%	99.7%	99.8%	99.7%	99.7%	99.7%	99.7%	99.7%	99.7%

Spezifische Energieverbräuche und CO_2-Emissionen (Figur 4)

	Primär-Energie (SBB)	Primär-Energie (UCTE)	CO2-Emission (SBB)	CO2-Emission (UCTE)
	MJ/Pkm bzw. /Tkm	MJ/Pkm bzw. /Tkm	g CO2/Pkm bzw. /Tkm	g CO2/Pkm bzw. /Tkm
PW	2.14	2.14	147	147
Autobus	1.60	1.60	108	108
Tram+Trolley	0.72	0.83	10	39
Bahn (P)	0.70	1.17	1.3	54
SNF	1.81	1.81	123.0	123.0
Bahn (G) inkl. Diesel (Rangieren)	0.45	0.75	4.6	38.7

Spezfische Energieverbräuche und CO_2-Emissionen (Figur 12)

Energieverbrauch		PW (Flotte heute)	PW Neu (heute)	PW Neu ("95 g")	PW Neu ("1 L")	Emobil (SBB Strom)	Emobil (CH Mix)	Emobil (UCTE)	Bahn (SBB, heute)	Bahn (UCTE, heute)
Auslastung	P/PW	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60		
Betrieb	MJ/Fzkm	2.65	2.26	1.30	0.41	0.72	0.72	0.72		
Betrieb	MJ/Pkm	1.65	1.41	0.81	0.26	0.45	0.45	0.45	0.38	0.38
Vorprozess	MJ/Fzkm	0.79	0.68	0.37	0.12	0.60	1.47	1.81		
Vorprozess	MJ/Pkm	0.50	0.42	0.23	0.07	0.38	0.92	1.13	0.32	0.79
Total (Primärenergie)	MJ/Fzkm	3.44	2.94	1.67	0.53	1.32	2.19	2.53		
Total (Primärenergie)	MJ/Pkm	2.15	1.84	1.05	0.33	0.83	1.37	1.58	0.70	1.17
CO2-Emission										
Betrieb	g CO2-eq/Fzkm	193	165	95	30	0	0	0		
Betrieb	g CO2-eq/Pkm	121	103	59	19	0	0	0	0	0
Vorprozess	g CO2-eq/Fzkm	38	33	19	6	2.4	29.7	118.9		
Vorprozess	g CO2-eq/Pkm	24	20	12	4	1.5	18.6	74.3	1.3	62.6
Total	g CO2-eq/Fzkm	231	198	114	36	2.4	29.7	118.9		
Total	g CO2-eq/Pkm	145	124	71	22	1.5	18.6	74.3	1.3	62.6

Spezifische Primärenergieverbräuche und CO_2-Emissionen 2010

(Figur 5), www.mobitool.ch

		Betrieb	Energie-bereitstellung	Fahrzeug-unterhalt	Fahrzeug-herstellung	Fahrweg	Summe
Bahn (P)	[MJ-equ.]/Pkm	0.35	0.29	0.012	0.02	0.12	0.79
PW	[MJ-equ.]/Pkm	1.86	0.54	0.094	0.37	0.49	3.36
Bahn (G)	[MJ-equ.]/Tkm	0.34	0.27	0.04	0.05	0.09	0.79
SNF	[MJ-equ.]/Tkm	2.62	0.76	0.28	0.32	0.82	4.81
Bahn (P)	[g CO2-equ.]/Pkm	0.0	1.2	0.5	0.8	5.3	7.9
PW	[g CO2-equ.]/Pkm	130.9	31.7	3.3	19.4	9.4	194.6
Bahn (G)	[g CO2-equ.]/Tkm	2.2	1.0	2.5	2.8	4.9	13.5
SNF	[g CO2-equ.]/Tkm	192.2	38.4	10.5	16.9	23.2	281.3

ANNEX 3: EMISSIONEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG

Überblick

Die Klimagas- und Schadstoffemissionen der Verkehrsmittel in der Schweiz sind zu einem hohen Anteil abhängig von der Art der Stromerzeugung sowie den Aufwendungen für die Bereitstellung der Kraftstoffe. Bis zum Jahr 2030 sind Veränderungen zu erwarten, die durch politische Zielsetzungen (z.B. Förderung regenerativer Energieträger oder alternativer Antriebe wie Elektromobilität) aber auch durch die Verfügbarkeit von Ressourcen und - eng damit verbunden - die Preisentwicklung beeinflusst wird.

Im Rahmen dieser Untersuchung beschränken wir uns auf die wichtigsten Energieträger, die im Jahr 2030 im Strassen- und Schienenverkehr nach jetziger Kenntnis relevant sein dürften. Dies sind:

› die konventionellen Kraftstoffe Benzin und Diesel,
› Biokraftstoffe, die den konventionellen Kraftstoffen beigemischt werden (Biodiesel, Ethanol),
› Elektrizität für die Bahn (SBB-Strommix in verschiedenen Varianten),
› Offentlicher Strommix für Elektro-PW
› UCTE-Mix für Elektro-PW und als möglicher Bestandteil des Bahnstrommixes.

Konventionelle Kraftstoffe

Die Emissionskennzahlen für die energetische Vorkette der konventionellen Kraftstoffe Benzin und Diesel werden für die heutige Sitaition aus [Ecoinvent 2009] genommen.

Zur Abschätzung der zukünftigen Prozessemissionen bei den konventionellen Kraftstoffen orientieren wir uns am „New Policy Scenario“ des aktuellen „World Energy Outlook 2010“ der Internationalen Energie Agentur [IEA 2010]. Das Szenario unterstellt, dass die Zusagen der Staaten aus der Kopenhagenkonferenz „zurückhaltend (cautious)“ umgesetzt werden. Die relevanten Annahmen für das „New Policy Scenario“ im Bereich der konventionellen Mineralöle sind:

› Kein Peak Oil vor 2035
› Unkonventionelle Öle (z.B. Ölsande Kanada, extraschweres Heizöl, Kohle- und Erdgasverflüssigung, Ölschiefer) nehmen zu: Anteil 2035 10% gegenüber <3% in 2009. Nach IEA liegen die CO_2-Emissionen für unkonventionelles Erdöl über die gesamte Kette (WTW) um 5-15% höher (hier Kanadische Ölsande) als für konventionelles Erdöl.

› Für die Herstellung der Kraftstoffe aus den konventionellen Quellen werden in der Studie keine Änderungen der Umweltkennzahlen der Kraftstoffbereitstellung, etwa durch aufwendigere Produktionsverfahren oder Verschiebung der Herkunft der Kraftstoffe bis 2035 explizit beschrieben.

Legt man diese Annahmen zugrunde, ergibt sich für Benzin und Diesel eine Erhöhung der Klimagasemissionen aus der Energiebereitstellung von höchstens 5% und damit etwa 1% über die gesamte Kette. Dieser Wert ist also vernachlässigbar.

BioKraftstoffe

In der EU wird die Einführung von Biokraftstoffen geregelt durch die „Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ (2009/28/EG vom 23. April 2009, [EU 2009]). Darin wird folgendes festgeschrieben:

„Jeder Mitgliedsstaat gewährleistet, dass sein Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10% seines Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor entspricht“ (Artikel 3, Absatz 4).

Ausserdem werden Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe formuliert (Artikel 17, Absatz 2). Diese legen Mindestraten für die Minderung der Treibhausgasemissionen fest, die die durch die Verwendung von Biokraftstoffen erzielt werden muss. Das sind:

› vor dem 01.01.2017: -35%
› ab dem 01.01.2017: -50%
› ab dem 01.01.2018: -60% für alle Biokraftstoffe, aus neuen Produktionsanlagen mit Produktionsaufnahme ab dem 01.01.2017.

Im Trend-Szenario 2030 werden diese Annahmen wie folgt übernommen.

› Anteil Biokraftstoffe: Ethanol an Benzin: 10%, Biodiesel and Diesel: 13%, annalog den Szenarien für Deutschland [IFEU 2009]
› Treibhausgasminderung Biokraftstoffe -60% gegenüber dem jeweiligen konventionellen Kraftstoff.

Die Minderung der Treibhausgasemissionen durch die Beimischung der Biokraftstoffe beträgt dannn über die gesamte Prozesskette -5%. Diese Annahmen wurden im Kapitel 0in Figur 12 für die Kategorien PW-Neu sowie in Tabelle 2unterstellt.

Strommix heute

Die Kennzahlen für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen des heutigen Strommixes werden direkt aus Ecoinvent [Ecoinvent 200x] übernommen. Es handelt sich um:

› den SBB-Mix,

› den öffentlichen Strommix der Schweiz und

› den UCTE-Mix.

Der CH-Mix und UCTE-Mix verstehen sich als Werte auf Niederspannungsebene, die für die Nutzung von Elektromobilen verwendet wird. Diese Werte werden in Kapitel 0in Figur 12 verwendet.

Spezifische Verbrauchs- und Emissionsfaktoren der Stromproduktion heute			
	SBB Mix	CH-Mix	UCTE-Mix
Primärenergie (MJ/kWh)	6,6	11,0	12,7
CO_2eq-Emissionen (kg/kWh)	0,012	0,137	0,595
Quelle Ecoinvent 2009			

Tabelle 5

Strommix 2030

Zur Abschätzung einer möglichen Bandbreite der Treibhausgasemissionen des Bahnverkehrs im Jahr 2030 werden verschiedene mögliche Strommixvarianten angenommen. Grundlage ist die Annahme, dass der Strombedarf der Eisenbahn gegenüber heute um 21% ansteigt (vgl. Kapitel 0). Diese zusätzliche Strommenge ist also zusätzlich zur heute benötigten Strommenge bereit zu stellen. Dazu werden drei Varianten definiert:

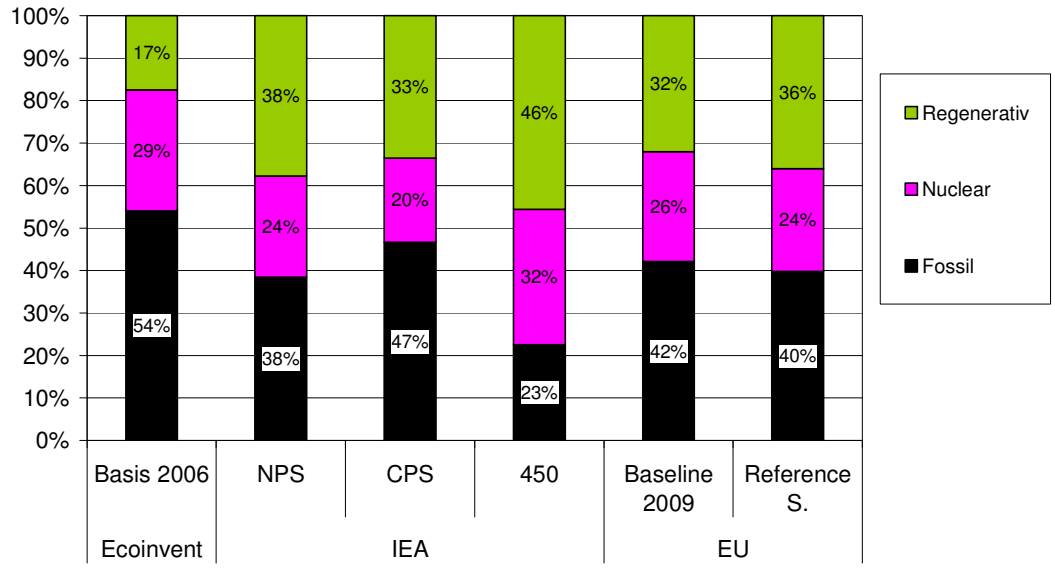
› **SBB-Mix heute:** Der heutige SBB-Mix bleibt unverändert bestehen (74% Wasserkraft, 26% Kernenergie)

› **Mix Import:** Der heute mit Kernenergie erzeugte und der zusätzlich benötigte Strom wird aus dem UCTE-Mix bereit gestellt, die Stromerzeugung aus Wasserkraft bleibt absolut konstant. Der Anteil der Wasserkraft am Mix sinkt dadurch auf 61%, der UCTE-Anteil liegt dann bei 39%.

› **Mix Erneuerbar:** Der heute mit Kernenergie erzeugte und der zusätzlch benötigte Strom wird aus regenerativen Energieträgern gewonnen, die Stromerzeugung aus Wasserkraft bleibt absolut konstant. Damit liegt der Anteil der Wasserkraft wie in der Variante „Mix Import“ bei 61%, die restlichen 39% teilen sich in gleichen Mengen auf Solar- und Windenergie sowie Biomasse auf.

Die Kennzahlen für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für Wasser-, und Kernkraft sowie die übrigen regenerativen Energieträger werden direkt aus Ecoinvent [Ecoinvent 2009] übernommen. Damit wird keine Änderung in der Stromproduktion bei diesen Energieträgern angenommen, dies im Unterschied zum UCTE-Mix, dessen Zusammensetzung sich bis 2030 ändern wird. Aktuell können dazu zwei Studien herangezogen werden: zum einen der „World Energy Outlook 2010“ der IEA [IEA 2010], zum anderen eine Veröffentlichung der EU-Kommission, DG Enery [EU 2010]. Beide Arbeiten liefern Abschätzungen zum Strommix der EU 27 in verschiedene Szenarien bis 2030 (EU) bzw. 2035 (IEA). Diese Angaben können näherungsweise für den UCTE-Mix 2030 angesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt die Annahmen für den Strommix in den verschiedenen Szenarien

UCTE-MIX (ECOINVENT) UND SZENARIEN FÜR 2030



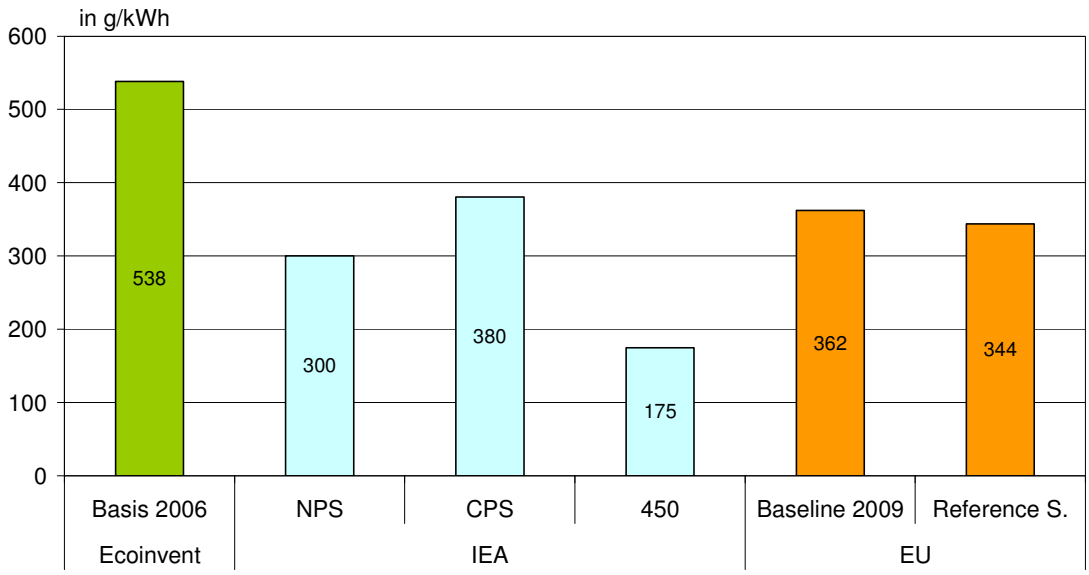
Erläuterungen: UCTE Basisjahr 2006 aus Ecoinvent. IEA: NPS: New Policy Scenario (=Reference), CPS: Current Policy Scenario, 450: 450 PPM Scenario

Figur 29

Der spezifische Primärenergieverbrauch und die Emissionsfaktoren für die Bereitstellung des Stroms aus dem UCTE-Mix 2030 wird mit den energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren aus Ecoinvent berechnet. Hierbei wird angenommen, dass sich die Gesamteffizienz der Stromerzeugungskette um 10% verbessert. Die Emissionsfaktoren je Energieträger werden gegenüber den

Basiswerten von Ecoinvent nicht verändert. Die folgende Abbildung zeigt die resultierenden Emissionsfaktoren für das Treibhauspotenzial.

CO_2-ÄQUIVALENTE FÜR DEN UCTE-MIX IN VERSCHIEDENEN SZENARIEN



Erläuterungen: UCTE Basisjahr 2006 aus Ecoinvent. IEA: NPS: New Policy Scenario (=Reference), CPS: Current Policy Scenario, 450: 450 PPM Scenario

Figur 30

Man sieht, dass die Ergebnisse für die niedrigste und höchste Variante um mehr als den Faktor Zwei auseinander liegen. Das von der IEA als Referenzvariante bezeichnete New Policy Scenario liegt zwischen den Extremwerten und um ca. 45% niedriger als heute. Diese Werte werden in dieser Studie verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die spezifischen Kennzahlen der Bahnstromproduktion für die drei Varianten.

Spezifische Verbrauchs- und Emissionsfaktoren der Bahnstromproduktion im Jahr 2030			
	Var. 1 SBB Mix heute	Var. 2 Mix Import	Var. 3 Mix erneuerbar
Primärenergie (MJ/kWh)	6,2	5,8	5,2
CO_2eq-Emissionen (kg/kWh)	0,005	0,118	0,018
Anmerkung: die hier verwendeten Werte beinhalten die Aufwendungen für die Infrastruktur des Verteilnetzes nicht (dies im Unterschied zu den Werten „heutige Stromproduktion"; Tabelle 5) Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Ecoinvent 2009			

Tabelle 6

ANNEX 4: SCHADSTOFF-EMISSIONEN (NO_X, PM10)

Schadstoff-Emissionen aus Betrieb und Vorprozessen (Energiebereitstellung)

Quellen:

› Strassenverkehr Teil Betrieb: gemäss BAFU 2010a, Teil Vorprozesse auf Basis Ecoinvent.

› Bahnverkehr: Emissionen für Strombereitstellung auf Basis Ecoinvent.

PS: Emissionen infolge Diesel-Bahnverkehr (v.a. Rangierverkehr) sind in den nachstehenden Tabellen nicht enthalten: im Jahr 2010 536 t NO_X (=1.1% der Gesamtemissionen) bzw. 9 t PM10 (=0.4%) [BAFU 2008c, Tab. 58].

NOx-Emissionen (in t/a)

Betrieb		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	50'284	38'609	32'927	25'664	19'783	16'496	12'344	9'914	8'706
	Rbus	1'238	1'191	987	920	792	595	335	176	110
	MR	297	342	423	490	481	455	377	322	289
	Autobus	2'948	3'155	2'996	2'826	2'434	1'942	1'248	774	533
	Tram+Trolley	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bahn (P)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total P	54'768	43'297	37'332	29'900	23'491	19'489	14'303	11'186	9'638
	LNF	5'747	4'785	4'566	4'282	3'914	3'533	2'630	1'927	1'542
	SNF	22'459	21'877	20'721	16'201	11'886	9'220	5'396	2'821	1'800
	Bahn (G)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total G	28'205	26'661	25'288	20'483	15'800	12'753	8'025	4'748	3'343
	Total Betrieb	82'973	69'958	62'620	50'383	39'290	32'242	22'328	15'934	12'980
Vorprozesse		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	8'082	8'462	8'971	8'906	8'709	8'320	7'850	7'394	7'023
	Rbus	68	68	59	63	70	69	68	68	68
	MR	135	127	149	168	193	202	208	215	224
	Autobus	149	166	167	186	195	201	209	219	229
	Tram+Trolley	44	44	42	43	43	45	48	50	52
	Bahn (P)	43	41	46	50	56	59	62	65	67
	Total P	8'521	8'908	9'434	9'416	9'267	8'896	8'445	8'011	7'663
	LNF	534	535	578	609	644	657	654	656	669
	SNF	1'160	1'220	1'250	1'229	1'302	1'381	1'429	1'462	1'488
	Bahn (G)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total G	1'694	1'755	1'827	1'838	1'947	2'038	2'083	2'119	2'157
	Total Vorproz.	10'215	10'663	11'261	11'254	11'214	10'934	10'528	10'129	9'820
Betrieb+Vorprozesse		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	58'366	47'071	41'897	34'569	28'492	24'816	20'193	17'309	15'729
	Rbus	1'306	1'259	1'046	983	863	664	403	244	178
	MR	432	469	572	658	674	657	584	537	513
	Autobus	3'097	3'321	3'163	3'013	2'629	2'143	1'457	993	762
	Tram+Trolley	44	44	42	43	43	45	48	50	52
	Bahn (P)	43	41	46	50	56	59	62	65	67
	Total P	63'289	52'205	46'767	39'316	32'758	28'385	22'748	19'197	17'301
	LNF	6'281	5'320	5'144	4'891	4'559	4'190	3'283	2'583	2'211
	SNF	23'619	23'096	21'971	17'430	13'188	10'601	6'825	4'284	3'289
	Bahn (G)	18	17	17	20	20	21	23	24	25
	Total G	29'918	28'433	27'132	22'341	17'766	14'813	10'131	6'891	5'525
	Total B+V	93'206	80'638	73'899	61'657	50'524	43'198	32'879	26'087	22'826

PM10-Emissionen (in t/a) (Abgas-Emissionen, ohne Abrieb-Emissionen)

Betrieb		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	680	664	750	762	633	418	234	138	106
	Rbus	49	44	33	25	15	9	4	2	1
	MR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autobus	165	159	127	78	31	16	7	4	3
	Tram+Trolley	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bahn (P)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total P	894	867	910	865	680	443	246	143	110
	LNF	333	381	360	296	233	153	88	49	29
	SNF	894	822	618	399	222	141	71	31	15
	Bahn (G)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total G	1'227	1'203	978	695	455	294	160	80	44
	Total Betrieb	2'121	2'070	1'888	1'560	1'135	737	406	224	153
Vorprozesse		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	870	911	964	950	921	872	816	766	726
	Rbus	7	7	6	6	7	7	7	7	7
	MR	15	14	16	18	21	22	22	23	24
	Autobus	14	16	16	18	19	19	20	21	22
	Tram+Trolley	14	14	14	14	14	15	15	16	17
	Bahn (P)	40	38	43	46	52	54	57	60	62
	Total P	960	999	1'058	1'053	1'033	989	938	892	857
	LNF	56	56	59	61	64	65	64	64	66
	SNF	112	118	121	119	126	134	138	142	144
	Bahn (G)	17	16	16	18	18	20	21	22	23
	Total G	185	189	196	199	209	219	224	228	233
	Total Vorproz.	1'145	1'188	1'254	1'251	1'242	1'207	1'162	1'121	1'090
Betrieb+Vorprozesse		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PW	1'550	1'575	1'714	1'713	1'554	1'290	1'051	904	832
	Rbus	56	51	38	31	22	16	11	8	8
	MR	15	14	16	18	21	22	22	23	24
	Autobus	180	175	143	96	50	35	27	25	25
	Tram+Trolley	14	14	14	14	14	15	15	16	17
	Bahn (P)	40	38	43	46	52	54	57	60	62
	Total P	1'855	1'866	1'969	1'917	1'713	1'432	1'184	1'036	967
	LNF	389	436	419	357	297	218	153	114	94
	SNF	1'006	940	739	518	348	275	210	173	159
	Bahn (G)	17	16	16	18	18	20	21	22	23
	Total G	1'412	1'392	1'174	894	664	512	384	309	277
	Total B+V	3'266	3'258	3'142	2'811	2'377	1'944	1'568	1'344	1'244

ANNEX 5: SCHIFFFAHRT

	Einheit	direkter Betrieb	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung	Fahrzeugunterhalt	Fahrzeugherstellung / -entsorgung	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen)	indirekt	Distanz Rotterdam - Basel [km]	**Betrieb**	**Energiebereitstellung**	**indirekt**	**total**
Primärenergie												
Lastwagen 40t (EURO3)	MJ/tkm	1.097487	0.318271	0.102606	0.112421	0.413953	0.628979	704	**772.6**	**224.1**	**442.8**	**1439.5**
Güterzug (UCTE-Mix)	MJ/tkm	0.290645	0.293440	0.038066	0.048357	0.114734	0.201156	704	**204.6**	**206.6**	**141.6**	**552.8**
Binnenfrachter	MJ/tkm	0.398229	0.115486	0.003843	0.013946	0.124507	0.142295	832	**331.3**	**96.1**	**118.4**	**545.8**
Treibhausgas-Emissionen												
Lastwagen 40t (EURO3)	kg/tkm	0.131446	0.024858	0.004556	0.009104	0.014730	0.028390	704	**92.5**	**17.5**	**20.0**	**130.0**
Güterzug (UCTE-Mix)	kg/tkm	0.000000	0.027878	0.002559	0.002819	0.004996	0.010373	704	**0.0**	**19.6**	**7.3**	**26.9**
Binnenfrachter	kg/tkm	0.030636	0.004797	0.000133	0.000858	0.009886	0.010877	832	**25.5**	**4.0**	**9.0**	**38.5**
Stickoxid-Emissionen												
Lastwagen 40t (EURO3)	kg/tkm	7.09E-04	5.85E-05	5.68E-06	1.29E-05	7.77E-05	9.62E-05	704	**5.0E-01**	**4.1E-02**	**6.8E-02**	**6.1E-01**
Güterzug (UCTE-Mix)	kg/tkm	0.00E+00	5.62E-05	2.97E-06	5.63E-06	1.73E-05	2.59E-05	704	**0.0E+00**	**4.0E-02**	**1.8E-02**	**5.8E-02**
Binnenfrachter	kg/tkm	4.70E-04	1.67E-05	3.58E-07	1.65E-06	1.97E-05	2.17E-05	832	**3.9E-01**	**1.4E-02**	**1.8E-02**	**4.2E-01**
Feinstaub-Emissionen												
Lastwagen 40t (EURO3)	kg/tkm	1.68E-05	4.32E-06	8.71E-07	2.83E-06	7.57E-06	1.13E-05	704	**1.2E-02**	**3.0E-03**	**7.9E-03**	**2.3E-02**
Güterzug (UCTE-Mix)	kg/tkm	0.00E+00	3.46E-06	3.36E-07	1.97E-06	2.02E-06	4.33E-06	704	**0.0E+00**	**2.4E-03**	**3.0E-03**	**5.5E-03**
Binnenfrachter	kg/tkm	8.68E-06	1.61E-06	2.53E-08	4.77E-07	2.30E-06	2.80E-06	832	**7.2E-03**	**1.3E-03**	**2.3E-03**	**1.1E-02**

ANNEX 6: MITGLIEDER DER BEGLEITGRUPPE

Ammann Markus, BAV

Bolleter Thomas, BAV (Leitung) [ab 3. Feb. 2011]

Breuer Petra, BAV (Leitung) [bis 2. Feb. 2011]

Chrétien Rémy, SBB (BahnUmwelt-Center)

Felber Hans-Ulrich, BAV

Gisler Peter, BAV

Häberli Jörg, ASTRA

Ochsner Doris, BAFU

Scherrer Hermann, BFE

vom Bern Julie, BAV

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU / BUWAL	Bundesamt für Umwelt (ehemals Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
Btkm	Brutto-Tonnen-Km
CER	Community of the European Railways
CH_4	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO_2	Kohlendioxid
d	Tag
dB	Dezibel
DB	Deutsche Bahn
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
EAWAG	Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs
EKLB	Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung
EMPA	Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs
Euro-0/1/2/3/4/5/6	Europäische Emissionsstandards für leichte Motorfahrzeuge
Euro-0/I/II/III/IV/V/VI	Europäische Emissionsstandards für schwere Motorfahrzeuge
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FABI	Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur
FinöV-Fonds	Fonds, aus dem NEAT, die BAHN 2000, Lärmsanierung und Hochgeschwindigkeitsanschlüsse finanziert werden
Fzkm	Fahrzeug-Kilometer
GEST	Gesamtenergiestatistik
GV	Güterverkehr
GWh	Gigawattstunde
HC (VOC)	Kohlenwasserstoffe

IEA	Internationale Energie-Agentur
IGW	Immissionsgrenzwert
KTU	Konzessionierte Transportunternehmen
kWh	Kilowattstunde
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug, Lieferwagen
LSV	Lärmschutzverordnung
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MJ	Mega-Joule
MR	Motorräder
MuKEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
NO_x	Stickoxide (Summe aus NO_2 und NO)
N_2O	Lachgas
Ntkm	Netto-Tonnen-Km
ÖV	öffentlicher Verkehr
PF	Partikel-Filter
PJ	Peta-Joule
PM, PM10	Partikel-Emissionen (Feinstaub)
PV	Personenverkehr
Pkm	Personen-Kilometer (Mass für Verkehrsleistung im Personenverkehr)
PW	Personenwagen
RBus	Reisebus, Autocar
SABA	Strassenabwasserbehandlungsanlagen
SCR	Selective Catalytic Reduction (NO_x-Reduktions-Technologie)
SNF	Schweres Nutzfahrzeug, Lastwagen, schweres (Strassen-)Güterfahrzeug
SO_2	Schwefeldioxid
STEP	Strategisches Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur
t/a	Tonnen pro Jahr
TOD	Transit oriented development (ÖV-orientierte Nutzungsplanung)
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI Noise)
TTW	tank-to-wheel (vom Tank bis zum Rad; entspricht Endenergie)
Tkm	Tonnen-Kilometer (Mass für Verkehrsleistung im Güterverkehr)
UBB	Umweltbegleitplanung
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

UIC	International Union of Railways
USG	Umweltschutzgesetz
UVEK	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VEE-PW	Verordnung über Angaben auf der Energieetikette von neuen Personenwagen
VLE	Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
V2G	vehicle to grid, Konzept zur Speicherung und Abgabe von elektrischem Strom aus dem öffentlichen Stromnetz in Elektroautos
WTW	well to wheel (von der Quelle bis zum Rad; entspricht Primärenergie)
ZEB	Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur
ZKR	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

LITERATUR

AefU 2007a: Aerzte für Umweltschutz, Feinstaub-Dokumentation, 2007, www.aefu.ch

AefU 2007b: Aerzte für Umweltschutz, Ruhe tut gut! Lärm und Gesundheit, Oekoskop 1/07, www.aefu.ch

ARE 2004: Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030; Bundesamt für Raumentwicklung, 2004

ARE 2006: Perspektieven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030; Bundesamt für Raumentwicklung 2006

ARE/BAFU 2008: Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern Mai 2008

ARE 2010: Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2010), Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Referenzzustand 2030, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern 2010

ARE 2011: Raumkonzept Schweiz, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern Jan.2011

BAFU 2002: Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen (Wegleitung), Herausgegeben vom BAFU, Vollzug Umwelt, Bern 2002

BAFU 2006: Wesentliche Änderung einer bestehenden Eisenbahnanlage im Sinne der Gewässerschutzverordnung (Vollzugshilfe), herausgegeben von BAFU/BAV, 13.10.2006

BAFU 2007: Umweltbaubegleitung mit integrierter Erfolgskontrolle. Einbindung in den Bau und Betrieb eines Vorhabens. Autoren: Umwelt-Wissen Nr. 0736. Bundesamt für Umwelt, Bern. 79 p.

BAFU 2008a: Stickoxide im Blickfeld, Faktenblatt, www.bafu.ch, 17. Sept. 2008

BAFU 2008b: Erschütterungsschutz kommt in Fahrt, Umwelt 2/08, S. 50

BAFU 2008c: Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980-2020. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2009a: Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Reihe Umwelt-Zustand 09/07, Bern, 2009

BAFU 2009b: UVP-Handbuch. Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung. Umwelt-Vollzug Nr. 0923, Bern. 156 S.

BAFU/BFS 2009: Umwelt Schweiz 2009, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Bern und Neuchâtel 2009, 72 Seiten.

BAFU 2010a: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021

BAFU 2010b: Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr, HB-EFA, Version 3.1. Bundesamt für Umwelt, Bern 2010

BAFU 2010c: Zustand der Landschaft in der Schweiz. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1010. Autoren: Roth U., Schwick Ch., Spichtig F., Bundesamt für Umwelt, Bern: 64 S.

BAFU 2010d: SonRAIL, Projektdokumentation, BAFU/EMPA/Prose/TU Berlin/LCC; 7. Oktober 2010

BAV 2009a: Lärmsanierung der Eisenbahnen, Standbericht 2009, www.bav.admin.ch

BAV 2009b: Monitoring Eisenbahnlärm, Jahresbericht 2009, BAV Infrastruktur, Sektion Grossprojekte, Bern 2009

BFE 2008: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2008, Bundesamt für Energie, Bern 2009

BFE 2010: Faktenblatt zu elektrisch angetriebenen Personenwagen, 16. Juni 2010, Link: http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/19494.pdf

BFS 2005: Arealstatistik Schweiz, Zahlen – Fakten – Analysen, Neuenburg 2005

BFS 2007: Landschaftszerschneidung Schweiz, Zerschneidungsanalyse 1885–2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung, Kurzfassung, Neuchâtel 2007

BR 2005: Bericht des Bundesrates über Stand und Perspektiven der Lärmbekämpfung in der Schweiz vom 26. Oktober 2005, Bern.

BR 2007: Botschaft zur Gesamtschau FinöV, Bericht des Bundesrates vom 17. Oktober 2007

BR 2009: Bericht über die Schifffahrtspolitik der Schweiz, Bericht des Bundesrates vom 14. Oktober 2009, Bern.

BR 2010: Zukunft der nationalen Infrastrukturnetze in der Schweiz, Bericht des Bundesrates vom 17. September 2010, Bern.

BR 2011a: Bundesrat will Finanzierung der Bahninfrastruktur langfristig sichern, Medienmitteilung 20.1.2011, Bern.

BR 2011b: Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur (FABI, Gegenentwurf zur Volksinitiative „Für den öffentlichen Verkehr“), Erläuternder Bericht für das Vernehmlassungsverfahren, vom 30. März 2011

Burckhardt et.al. 2005: Burkhardt, M., Rossi, L., Chèvre, N., Boller, M., Gächter, F., Knabl, S., Kuppelwieser, H. (2005) Gewässerschutz an Bahnanlagen - Emittierte Stoffe im Normalbetrieb der SBB sowie Grundlagen zu deren Umweltverhalten. Forschungsbericht für die Schweizerischen Bundesbahnen, das Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Umwelt, Dübendorf, S. 120.

BUWAL 1992: A. Desaules (FAC), Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Bern-Liebefeld: Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt, "Boden", Nr. 185, Bern 1992

Chretien 2009: Chretien R. SBB, Wie steigert der öffentliche Verkehr die Energieeffizienz? – Möglichkeiten und Grenzen bei der Eisenbahn, Vortrag Verkehrstag Bern, 28.8.2009

CUB 2001: Conrad U. Brunner, Energieverbrauch im Schienenverkehr, Kurzstudie im Auftrag BFE, Jan.. 2001

DB 2009: Nachhaltigkeitsbericht 2009; http://www.deutschebahn.com/site/nachhaltigkeitsbericht__2009/de/start.html

Ecoinvent 2009: Ecoinvent data v2.1. Final reports ecoinvent data v2.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009, Link: www.ecoinvent.org

EMPA 2009: Impacts of vehicles with infrastructure and the environment – as measured by Footprint measuring systems, Editors: Rayner Mayer, Lily Poulikakos, Andy Lees,. October 2009

EU 2009: RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. Amtsblatt der Europäischen Union L 140/17, 5.6.2009

EU 2010: EU energy trends to 2030 — UPDATE 2009. EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Energy in collaboration with Climate Action DG and Mobility and Transport DG, prepared by the Institute of Communication and Computer Systems of the National Technical University of Athens (ICCS-NTUA), E3M-Lab, Greece. Luxembourg 2010

FOEN 2009: SonBase – The GIS Noise Database of Switzerland. Technical bases. Environmental studies no. 0908. Federal Office for the Environment, Bern: 61 pp.

Frischknecht et.al. 2007: Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hischier R., Hellweg S., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. Overview and Methodology. Final report ecoinvent data v2.0, No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH

G+P 2009: Sanierung Strassenlärm, Umfrage nach Art. 20 LSV, Dezember 2008; im Auftrag BAFU, Bericht A3207 / 27. Juli 2009

GVF 1997: Umweltindikatoren Verkehr – Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel. Ausgeführt durch Infras im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen, GVF-Bericht 97/1, Bern 1997

IEA 2010: World Energy Outlook 2010, Nov. 2010

IFEU 2010: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD, Version 5). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3707 45 101. Heidelberg, 26.03.2010

INFRAS 1995: Ökoinventar Transporte. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Infras AG. Zürich

INFRAS 2004: External Costs of Transport – Update Study, 2004, Zürich/Karlsruhe

INFRAS 2006a: Diesel-, Gas- oder Trolleybus? Im Auftrag Wirtschafts- und Sozialdepartement des Kantons Basel-Stadt, Schlussbericht vom 20. Februar 2006.

INFRAS 2006b: Evaluation Bahn 2000, 1. Etappe, Im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr, Schlussbericht vom 14. Dez. 2006

INFRAS 2007a: Der Energieverbrauch des Verkehrs 1990 – 2035, Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten „BIP hoch", „Preise hoch" und „Klima wärmer", im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Jan. 2007.

INFRAS 2007b: Zukunft des Trolleybusbetriebs, im Auftrag VBSH, Schlussbericht vom 27. März 2007.

INFRAS 2008: Die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL, Erfahrungsbericht, im Auftrag von BERNMOBIL und Bundesamt für Energie, Sept. 2008.

INFRAS 2009: Erneuerung Stadtbusflotte Frauenfeld, Oktober 2009

INFRAS / CEPE 2010: Tanktourismus, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und der Erdölvereinigung, Mai 2010.

Jaeger, J. 2000: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. – Landscape Ecology 15(2): 115–130

Jaeger et.al. 2007: Jaeger, J., Bertiller, R., Schwick, C. (2007): Landschaftszerschneidung Schweiz: Zerschneidungsanalyse 1885–2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung. Kurzfassung. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel. 36 Seiten.

Keller und Lebküchner 2009: Der Trolleybus zwischen Endstation und Renaissance, NZZ 24. Juni 2008

Keller 2010: Elektromobilität – Einbindung in das Verkehrssystem der Schweiz, SES-Tagung Stadt – Energie – Verkehr, 18. Juni 2010, Zürich

Kunz 2009: Auch die Siedlungsstruktur zählt für die Energiebilanz!, Vortrag Verkehrstag Bern, 28.8.2009

Mobitool 2010: mobitool – Grundlagenbericht – Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren. Bern, Februar 2010. Link: www.mobitool.ch

Oggier et.al. 2001: Oggier, P., Righetti, A., Bonnard, L. (Eds., 2001): Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrs-infrastrukturen COST 341. Umwelt-Wissen Nr. 0714 (2. aktualisierte Auflage der BUWAL-Schriftenreihe Umwelt Nr. 332). Bundesamt für Umwelt; Bundesamt für Raumentwicklung; Bundesamt für Verkehr; Bundesamt für Strassen. Bern, 101 S.

Pauli G. 2008: Die Entwicklung der Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt, Binnenschifffahrt - ZfB, Nr. 9, September 2008.

PLANCO Consulting GmbH und Bundesanstalt für Gewässerkunde 2007: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Strasse, Schiene und Wasserstraße. Schlussbericht, Essen.

Rose 2011: Jonathan Rose Companies LLC, Location Efficiency and Housing Type – Boiling it Down to BTUs, 2011**,** Link: http://newurbannetwork.com/sites/default/files/location_efficiency_BTU.pdf

SBB 2010: Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2010

SBB 2011: Energy Efficiency and Procurement – Case Study SBB, Vortrag von M. Halder, SBB-Bahn-Umwelt-Center am UIC Workshop «Energy Efficiency and Procurement», 30.03.2011

Schweizerische Rheinhäfen 2011: Jahresbulletin 2010, [http://port-of-switzerland.ch/site/index.php?option=com_content&view=article&id=1267:jahresbulletin-2010&catid=33:neuigkeiten&Itemid=72].

Spielmann et. al. 2008: Umweltindikatoren im Verkehr. Vergleich der Verkehrsmittel anhand CO_2-Emissionen, Energieaufwand und übriger Umweltauswirkungen, Verlag Rüegger, Zürich/Chur, 74 S.

Spielmann M., C. Bauer, R. Dones und R. Tuchschmid 2007: Transport Services, ecoinvent Report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Statistisches Bundesamt 2010: Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen 2009, Fachserie 19, Reihe 2.3, Wiesbaden.

TSI NOISE 2005: Commission decision of 23 December 2005 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem “rolling stock– noise” of the trans-European conventional rail system (notified under document number C(2005) 5666).

UIC/CER 2010: Moving towards Sustainable Mobility: European Rail Sector Strategy 2030 and beyond, Dec. 2010

Zegg 2010: Energiemanagement Bergbahnen, Präsentation DACH-Tagung 21.10.2010, Interlaken (http://www.seilbahnen.org/dcs/users/174/Energiemanagement_Roland_Zegg_d.pdf)