

Programm Lebensgrundlage Umwelt  
und ihre Sicherung (BWPLUS)

Zwischenbericht anlässlich des  
Statusseminars des BWPLUS am 9. und 10. März 1999 im  
Forschungszentrum Karlsruhe

**Systematischer Vergleich konkreter Fahrten im Personenverkehr im  
Hinblick auf umwelt- und klimarelevante Wirkungen verschiedener  
Verkehrsmittel**

V. Schmid, M. Wacker  
Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV)  
Universität Stuttgart

I. Kürbis, W. Krewitt, R. Friedrich  
Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER)  
Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: PEF 498001

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des  
Landes Baden-Württemberg gefördert

# **Systematischer Vergleich konkreter Fahrten im Personenverkehr im Hinblick auf umwelt- und klimarelevante Wirkungen verschiedener Verkehrsmittel**

V. Schmid, M. Wacker

Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (ISV-VuV), Universität Stuttgart, PEF 4 98 001

I. Kürbis, W. Krewitt, R. Friedrich

Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart

## **Zusammenfassung**

Die Beurteilung verkehrsplanerischer Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastungen erfolgte in der Vergangenheit anhand pauschaler, auf die Verkehrsleistung bezogener Durchschnittsfaktoren. Gegen die Verwendung dieser Faktoren sprechen einige Einwände, da mit ihnen z.B. unterschiedliche Wegelängen bei einzelnen Verkehrsmitteln, Vor- und Nachläufe mit anderen Verkehrsmitteln und v.a. schwankende Auslastungsgrade nicht berücksichtigt werden.

Deshalb sollen mit einem den berichtenden Instituten zur Verfügung stehenden Instrumentarium die Energieaufwendungen und Emissionen, die bei konkreten Fahrten von einem Ausgangspunkt A zu einem Zielpunkt B mit verschiedenen Verkehrsmitteln entstehen, so exakt wie möglich ermittelt und verglichen werden. Neben den direkten, antriebsbedingten Energieaufwendungen und Emissionen werden auch indirekte Energieaufwendungen und Emissionen für die Energie-, die Infrastruktur- und die Fahrzeuggbereitstellung ermittelt.

Die ausgewählten, konkreten Fahrten stellen für Baden-Württemberg typische Planungsaufgaben dar. So werden Relationen im Berufs- und Ausbildungsverkehr, im Einkaufsverkehr und im Freizeitverkehr untersucht in den Ballungsräumen Stuttgart und Freiburg, im Regionalverkehr zwischen Schorndorf und Stuttgart und im ländlichen Raum zwischen Ravensburg und Friedrichshafen sowie im Donautal bei Tuttlingen.

Das Ziel der Studie ist zu prüfen, ob traditionelle Verkehrsplanungsansätze in Bezug auf einen umweltfreundlichen Modal-Split überdacht werden müssen.

# **A Comprehensive Case-by-Case Study on the Environmental Effects of Various Modes of Passenger Transportation**

V. Schmid, M. Wacker, I. Kürbis, W. Krewitt and R. Friedrich

## **Summary**

An important strategy for reducing energy consumption and harmful emissions involves shifting resources from private to public transportation. The results of the average emission units calculations (based on traffic performance) promise an improvement in the status quo. However, upon closer examination of an individual's transportation demands, these calculations prove faulty in some areas.

In travelling from point A to point B, an individual's energy consumption and emissions will vary based on the choice of means of transportation (different travel distances), pre-trip and post-trip travel (with bimodal transportation), as well as differing vehicle capacity utilization and fluctuating vehicle energy sources.

We take all these aspects into consideration while conducting this study. Additionally, we analyze their effect on primary energy use and emissions (CO, NO<sub>x</sub>, VOC, NMVOC, CH<sub>4</sub>, benzene, particulates, and CO<sub>2</sub>) for different transportation modes. In the course of actual trips, we calculate precisely the energy consumption and emissions. These calculations take not only the operating conditions of the vehicles into account, but also construction and maintenance of the roads and railways, as well as vehicle production, maintenance, and disposal.

Using these new methods, we will be able to examine typical planning problems in Baden-Württemberg more precisely. To this end, we investigate transportation needs during rush-hour, shopping, and leisure traffic. Areas examined include the metropolitan areas Stuttgart and Freiburg, as well as routes within the Stuttgart region, and in the rural areas Ravensburg/Friedrichshafen and Tuttlingen.

Ultimately, this study should spark a debate on traditional planning ideas. Do they truly lead to a reduction in energy consumption and fewer emissions, i.e. does it present the most environmentally-friendly modal split?

# 1 Einleitung

Bei der Verringerung der Umweltbelastungen durch den Personenverkehr durch verkehrsplanerische Maßnahmen gilt als zentrale Strategie die Verlagerung von im motorisierten Individualverkehr erbrachter Verkehrsleistung auf öffentliche Verkehrsmittel. Die Beurteilung der Wirkungen dieser Maßnahmen erfolgte in der Vergangenheit anhand pauschaler, auf die Verkehrsleistung bezogener Durchschnittsfaktoren. Die Ergebnisse dieser Berechnungen vermitteln oftmals ein verzerrtes, nicht wirklichkeitsgetreues Bild, da eine Reihe von Aspekten mit diesen, die durchschnittlichen Verhältnisse beschreibenden Energieverbrauchs- und Emissionsfaktoren, nicht berücksichtigt werden können.

So ist der Besetzungsgrad vor allem im öffentlichen Verkehr zwischen Haupt- und Nebenverkehrszeiten starken Schwankungen unterworfen. Eine konkrete Transportaufgabe (Fahrt) führt bei den einzelnen Verkehrsmitteln zu unterschiedlichen Wegelängen (Umwege). Zudem müssen noch die im öffentlichen Verkehr oftmals notwendigen Vor- und Nachläufe mit anderen Verkehrsmitteln berücksichtigt werden. Die einzelnen Fahrten finden auf der selben Relation zu unterschiedlichen Tageszeiten vor allem im Individualverkehr mit sehr unterschiedlichen Betriebszuständen statt, wenn in der Hauptverkehrszeit z.B. Überlastungen und Stauungen auftreten. Weitere Unterschiede ergeben sich aus der Bereitstellung der Mineralölprodukte und aus der Zusammensetzung des Kraftwerksparks, der der Strombereitstellung im Falle der Elektrotraktion zugrunde liegt. Schließlich besteht noch das Problem des nicht antriebsbedingten Energieaufwands, z.B. für die Produktion, die Instandhaltung und die Entsorgung der Verkehrsmittel und den Bau, den Betrieb und die Unterhaltung der Verkehrswege.

Aufgabe des vorliegenden Projektes ist es, durch eine sehr exakte Abbildung konkreter Transportaufgaben von einem Ausgangsort A zu einem Zielort B einen Vergleich verschiedener Verkehrssysteme hinsichtlich des kumulierten Energieaufwandes und der kumulierten umwelt- und klimarelevanten Emissionen durchzuführen, um einen Beitrag zur Klärung der oben aufgeworfenen Fragen zu liefern.

Hierzu steht den Bearbeitern ein Instrumentarium zur Verfügung, das es erlaubt, sowohl direkte - antriebsbedingte - Energieaufwendungen und Emissionen zu ermitteln, als auch indirekte Energieaufwendungen und Emissionen zu berücksichtigen, wie die Energiebereitstellung, die Fahrzeugbereitstellung und die Infrastrukturbereitstellung. Der Vergleich zwischen den Verkehrsmitteln erfolgt anhand der jeweils für die Fahrt einer Person notwendigen Energieaufwendungen und der damit verbundenen Emissionen.

Die zu untersuchenden konkreten Fahrten sollen für Baden-Württemberg ausgewählte Situationen abbilden. Es werden Fahrten in verschiedenen Räumen (Ballungsraum, ländl. Raum, Regionalverkehr) für verschiedene Transportaufgaben (Berufsverkehr, Einkaufsverkehr, Freizeitverkehr) untersucht. Hierbei werden die tatsächlich auf den einzelnen Relationen vorhandenen Verkehrssysteme unter möglichst realistischer Abbildung der aktuellen Randbedingungen untersucht. In Parametervariationen werden dann für ausgewählte Relationen mögliche zukünftige Situationen und Randbedingungen berücksichtigt, wie z.B. verbesserte Pkw-Antriebskonzepte, andere Schienenfahrzeuge oder höhere Auslastungen der Fahrzeuge.

Als Ergebnis soll überprüft werden, wie stark der Einfluß der genannten Größen ist, wo bei den einzelnen Verkehrssystemen die relevanten Schwachstellen zu lokalisieren sind, und ob ggf. tradierte Planungsvorstellungen bezüglich der umwelt- und klimarelevanten Wirkungen des Verkehrs überdacht werden müssen.

## 2 Untersuchungsfälle

Es werden Fahrten zu den 3 Planungsaufgaben „Verkehr im Ballungsraum“, „Regionalverkehr“ und „Verkehr im ländlichen Raum“ untersucht, und zwar in folgenden Räumen:

- Verkehr im Ballungsraum: Stuttgart, Freiburg
- Regionalverkehr: Region Stuttgart (Schorndorf – Stuttgart)
- Verkehr im ländlichen Raum: Ravensburg/Friedrichshafen, Donautal (Tuttlingen)

Bei den Transportaufgaben bzw. Fahrtzwecken werden folgende Fälle unterschieden, die durch unterschiedliche Zeitpunkte der Hin- und Rückfahrt definiert sind:

- Berufs- und Ausbildungsverkehr (B+A):  
Hinfahrt (Ankunft): 8:00 Uhr  
Rückfahrt (Abfahrt): 16:30 Uhr
- Einkaufsverkehr (E):  
Hinfahrt (Ankunft): 10:00 Uhr  
Rückfahrt (Abfahrt): 12:00 Uhr
- Freizeitverkehr (F):  
Hinfahrt (Ankunft): 19:30 Uhr  
Rückfahrt (Abfahrt): 22:30 Uhr
- Sonntägliche Wochenendaktivität (S):  
Hinfahrt (Ankunft): 11:00 Uhr  
Rückfahrt (Abfahrt): 17:00 Uhr

Es werden folgende Relationen für die jeweiligen Fahrtzwecke festgelegt:

- Stuttgart:  
Hieberstr., Stgt.-Möhringen – Berliner Platz, Stuttgart-Mitte (B+A, E, F)  
Weimarstr., Stgt.-Mitte – Freibad, Stgt.-Möhringen (S)  
Fahrt aus dem Umland in die Kernstadt:  
Buchenwaldstr., Leinfelden – Arnulf-Klett-Platz/Königstr, Stuttgart (B+A, E)
- Freiburg:  
Maria-von-Rudolff-Platz, Freiburg-Rieselfeld – Bertoldsbrunnen, Frbg. (B+A, E, F)  
Maria-von-Rudolff-Platz, Freiburg-Rieselfeld – Schauinsland, Talstation (S)  
Freiburg besitzt ein modernes Stadtbahnsystem mit Niederflurwagen. Der z.Zt. neu im Bau befindliche Stadtteil Rieselfeld zeichnet sich dadurch aus, daß mit der Fertigstellung der ersten Gebäude auch die Stadtbahnerschließung zur Verfügung steht.  
Fahrt aus dem Umland in die Kernstadt:  
Gottenheim – Bertoldsbrunnen, Freiburg (B+A, E)  
Seit einiger Zeit betreiben die Freiburger VAG und die SWEG auf bestehenden auf Freiburg zulaufenden Bahnstrecken mit modernen ADTrans-Regio-Shuttles das Breisgau-S-Bahnbetriebskonzept.
- Ravensburg/Friedrichshafen:  
Mozartweg, Schlier – Wilhelmstr., RV-Mitte (B+A, E, F)  
Mozartweg, Schlier – Sportplatz-Dreiländerring, RV (F)  
Mozartweg, Schlier – Stadtmitte, Friedrichshafen (B+A, E, F)  
Die Gemeinde Schlier ist eine typische „Hinterland“-Gemeinde, in der sich viele Menschen, die in Ravensburg bzw. Friedrichshafen arbeiten, niedergelassen haben. Die Bodensee-Oberschwabenbahn betreibt zwischen Ravensburg und Friedrichshafen die Gaisbockbahn, ein modernes Betriebskonzept mit ADTrans-Regio-Shuttles.
- Donautal (Tuttlingen)  
Gartenstr., Bärenthal – Wilhelmstr., Tuttlingen (B+A, E, F)  
Das Rückgrat des ÖPNV-„Donautalkonzeptes“ des Landkreises Tuttlingen stellt die Unterbrechung mehrerer zuvor durchgehender Buslinien in der Hauptverkehrszeit dar, die nunmehr lediglich Zubringerfahrten zu einem Regio-Shuttle der Hohenzollerischen Landesbahn AG leisten. Die Relation soll deshalb sowohl mit reiner Bus- als auch mit Bus/Zug-Bedienung untersucht werden.

Als Beispiel für die Auswahl der in den einzelnen Räumen untersuchten Verkehrssysteme werden nachfolgend für die **Planungsaufgabe Regionalverkehr (Schorndorf – Stuttgart)** alle vorgesehenen Fälle aufgelistet:

Wohnort: Rehhaldenweg 37, Schorndorf    Zielort: Berliner Platz, Stuttgart

Fahrtzwecke: B+A (z.B. ISV-VuV); F (z.B. Liederhalle)

- Pkw
- Bus, S-Bahn, Stadtbahn

- Bus, Regionalexpress, Stadtbahn
  - Fahrrad, S-Bahn, Stadtbahn
  - Fahrrad, Regionalexpress, Stadtbahn

Wohnort: Nelkenstr., Rudersberg      Zielort: Berliner Platz, Stuttgart

Fahrtzwecke: B+A (z.B ISV-VuV); F (z.B. Liederhalle)

Die von Rudersberg nach Schorndorf seit einigen Jahren mit neuem Betriebskonzept verkehrende Wieslauftalbahn erreicht Fahrgastzahlen, die die Prognosen um ein mehrfaches übersteigen.

- Pkw
  - Wieslauftalbahn, S-Bahn, Stadtbahn
  - Wieslauftalbahn, Regionalexpress, Stadtbahn
  - Pkw, S-Bahn, Stadtbahn
  - Pkw, Regionalexpress, Stadtbahn

Wohnort: Weimarstr., Stuttgart Zielort: Welzheimer Wald, Rudersberg

Fahrtzwecke: S (z.B. Wandern im Welzheimer Wald)

- Pkw
  - S-Bahn, Regionalbus (Die Wieslauftalbahn verkehrt nur montags bis freitags.)
  - Stadtbahn, Regionalexpress, Regionalbus

### 3 Methodik

### 3.1 Direkte Energieaufwendungen und Emissionen

Als „direkte Energieaufwendungen und Emissionen“ werden die antriebsbedingt direkt am Fahrzeug anfallenden Energieaufwendungen und Emissionen bezeichnet.

Die direkten Energieaufwendungen und Emissionen der Straßenfahrzeuge, d.h. der Pkw und der Omnibusse, werden vom ISV-VuV mit Hilfe des HANDBUCHS FÜR EMISSIONSFAKTOREN DES STRASSENVERKEHRS (HB-EFA) [INFRAS AG, 1995] berechnet. Diese auf CD-ROM verfügbare Datenbank liefert auf der Basis einer Vielzahl von empirischen Versuchen Emissionsfaktoren für eine ganze Reihe von Luftschaadstoffen in Abhängigkeit von der vorhandenen Verkehrssituation, der Längsneigung, des Antriebskonzeptes und des Hubraums. Des weiteren können Kaltstartzuschläge und Verdampfungsemissionen nach Motorabstellen und infolge Tankatmung berücksichtigt werden.

Für die Abbildung der zu untersuchenden Relationen wurden Daten aus der Straßendatenbank des Landesamtes für Straßenwesen, Baden-Württemberg sowie Daten aus eigenen Längen- und Längsneigungsmessungen im nichtklassifizierten Straßennetz und im Stadtgebiet Stuttgart herangezogen. Den so exakt abgebildeten Strecken werden nun je nach untersuchter Tageszeit unterschiedliche, im HB-EFA vordefinierte Verkehrssituationen zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgt anhand von Daten aus einem am ISV-VuV entwickelten Umlegungsmodell [ENGLMANN, F. et al., in Bearb.], sowie aufgrund von eigenen Beobachtungen und Befragungen.

Das HB-EFA weist für das Bezugsjahr 1998 33 sog. Fahrzeugschichten aus, für die für entsprechende Verkehrssituationen Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsfaktoren angegeben werden. Von diesen 33 werden die 16 vom Flottenanteil her größten Schichten in die Berechnungen dieser Studie einbezogen. Mit diesen 16 Schichten können ca. 90% des 1998 auf deutschen Innerorts- und Außerortsstraßen sowie auf Autobahnen unterwegs befindlichen Fahrzeugkollektivs abgedeckt werden. Für diese 16 Schichten werden dann der Energieverbrauch (in g Kraftstoff) und die o.a. Emissionen für die einzelnen Relationen zu den verschiedenen Tageszeiten berechnet. Entsprechend läuft die Berechnung für die Fahrzeuge der zu untersuchenden Buslinien ab.

Die Berechnungen für die direkten Energieaufwendungen und Emissionen (bei Dieseltraktion) der Schienenfahrzeuge werden vom Institut für Schienenfahrzeuge und maschinelle Bahnanlagen der Universität Hannover mit Hilfe eines dort entwickelten Simulationsmodells berechnet. Als Eingangsdaten dienen Streckendaten aus der Streckendatenbank der Deutschen Bahn AG und Höhenpläne der Stuttgarter Straßenbahnen, der Freiburger Verkehrs AG sowie der Wieslauftalbahn sowie technische Fahrzeugkennwerte der jeweils eingesetzten Schienenfahrzeuge. Haltestellenscharfe Fahrgastzahlen werden sowohl bei der Modellberechnung als auch bei der Umlegung des Energieaufwands und der Emissionen auf die einzelnen Fahrgäste verwendet. Auf den zu untersuchenden Strecken der Stuttgarter Straßenbahnen wurden Onboard- Messungen des benötigten Energieaufwandes durchgeführt, die zur Überprüfung der am Modell ermittelten Werte mit herangezogen werden sollen.

## 3.2 Indirekte Energieaufwendungen und Emissionen

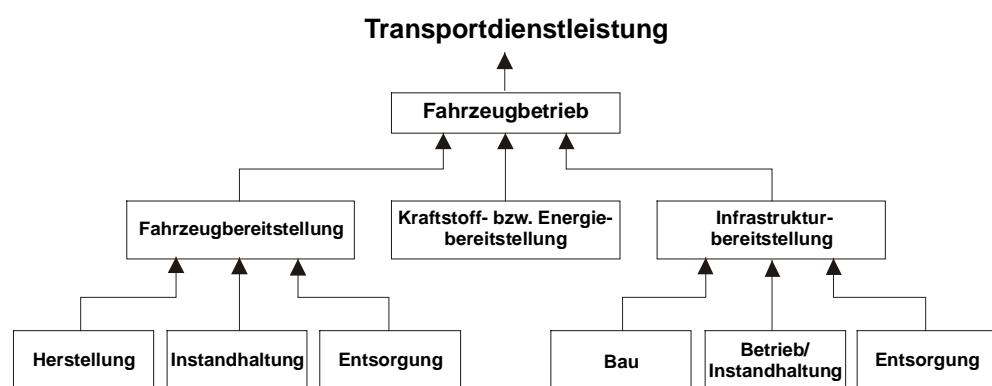
### 3.2.1 Einführung

Die mit der Erfüllung einer Transportaufgabe verbundenen kumulierten Energieaufwände und Emissionen werden basierend auf der Methodik der Ökobilanzierung ermittelt. Hierfür wird im wesentlichen das Instrument der Prozeßkettenanalyse verwendet, womit ausgehend vom

Endprodukt bzw. der Dienstleistung über ein Netzwerk der vorgelagerten Prozeßstufen die jeweiligen Energie- und Stoffströme systematisch erfaßt werden. Ergänzend zur Prozeßkettenanalyse wird das in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verwendete und um die Bilanzierung von Energie- und Stoffströmen erweiterte Verfahren der Input-Output-Analyse verwendet. Die Verknüpfung der mit Prozeßkette erfaßten Energie- und Stoffströme mit den entsprechenden Sachbilanzdaten der ÖKOINVENTARE FÜR ENERGIESYSTEME [FRISCHKNECHT R. et al., 1996] ermöglicht somit die mit einer Transportaufgabe verbundenen kumulierten Emissionen und den kumulierten Energieaufwand zu ermitteln.

Ziel der Bilanzierung ist eine möglichst vollständige Erfassung der einem Produkt oder einer Dienstleistung anzulastenden Umweltwirkungen, um einen konsistenten Vergleich der Transportaufgaben zu ermöglichen. Als Sachbilanzgrößen werden in dieser Studie der kumulierte Energieaufwand und die kumulierten umwelt- und klimarelevanten Emissionen CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, NMVOC, CH<sub>4</sub>, Benzol und Partikel betrachtet. Die funktionale Einheit wird für die vorliegende Bilanzierung als das Erbringen der Transportdienstleistung einer Person für definierte Relationen und Fahrzwecke (Transportaufgabe) beschrieben und gewährleistet als Bezugsbasis die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Für die Bereitstellung einer Transportdienstleistung als Produkt des Prozesses Fahrzeugbetrieb sind neben dem Einsatz der Betriebsenergie auch Aufwendungen im Zusammenhang mit der Infrastruktur- und Fahrzeugnutzung notwendig. Diese sogenannten indirekten Aufwendungen bilden jeweils ein eigenes Prozeßnetzwerk und sind **Abbildung 3-1** vereinfacht dargestellt ist.



**Abbildung 3-1** Hauptprozesse einer Transportdienstleistung

Für die Bilanzierung der konkreten Transportaufgaben werden so weit möglich die lokalen Verhältnisse berücksichtigt, um die differierenden Material- und Energieaufwendungen aufgrund der örtlichen Einflußgrößen wie Fahrzeugtyp, Regelquerschnitt, sowie Strecken- u. Fahrgastauslastung möglichst exakt zu erfassen.

### **3.2.2 Kraftstoff- und Energiebereitstellung**

Bei den antriebsbedingten Emissionen sind neben den direkten Emissionen, die lokal am Fahrzeug entstehen, auch indirekte Emissionen und Energieaufwendungen zu berücksichtigen. Dies betrifft die Kraftstoffbereitstellung für Pkw bzw. Dieseltraktionen und die Bereitstellung elektrischer Energie für elektrifizierte Bahnsysteme.

Da mit der Bereitstellung von elektrischer Energie aufgrund des lokal differierenden Energieträgereinsatzes unterschiedlich hohe Emissionen verbunden sind, wird bei den elektrifizierten Bahnsystemen der jeweilige Strom-Mix berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Sensitivität der Ergebnisse mit der Variation des Strom-Mix analysiert.

Mittels der Emissionen aus der Bereitstellung einer Kilowattstunde elektrischer Energie bzw. eines Liters Kraftstoff und den zuvor berechneten Energieverbräuchen pro Fahrzeug werden unter Berücksichtigung der spezifischen Auslastung die indirekten antriebsbedingten Effekte für den Transport einer Person berechnet.

### **3.2.3 Fahrzeugbereitstellung**

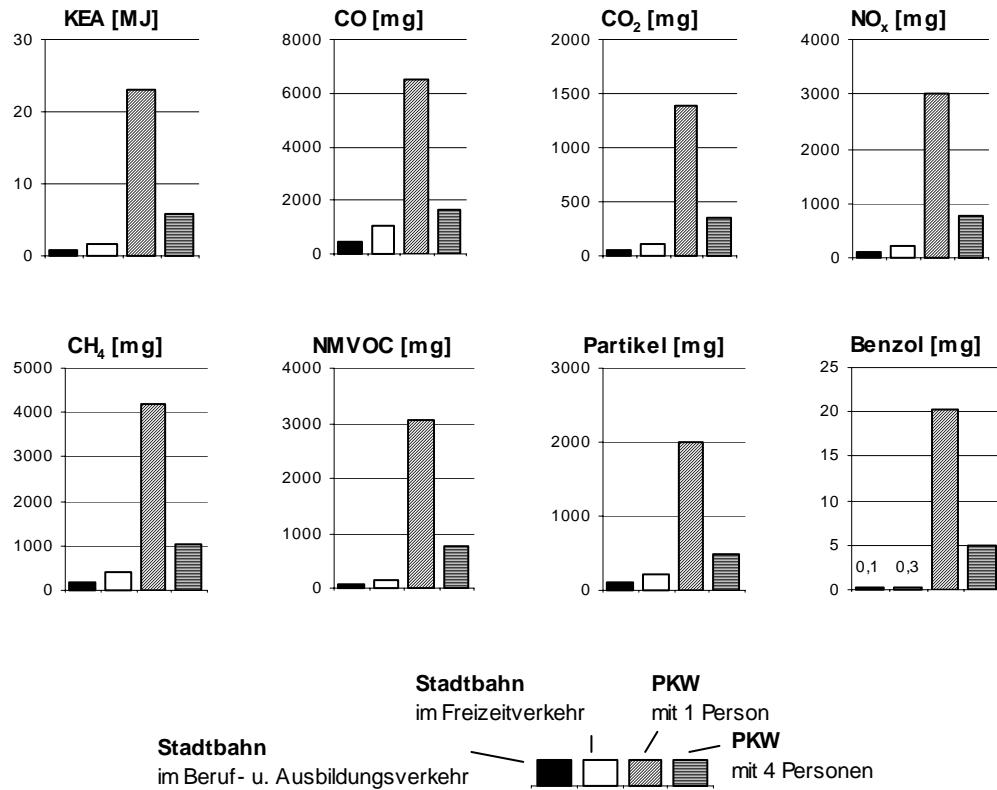
Die im Personenverkehr genutzten Fahrzeuge zeigen systembedingt deutliche Unterschiede in ihrer Größe und Materialzusammensetzung. Darüber hinaus werden die mit der Fahrzeugbereitstellung verbundenen Aufwendungen maßgeblich von dem Fahrzeugtyp und der damit erbrachten Lebensfahrleistung beeinflusst.

Die größten Differenzen sind im Vergleich des privaten Pkw mit öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bahn oder Bus zu erwarten. So erreichen Pkw bei einer 10-jährigen Nutzung durchschnittlich 150.000 Fzkm, während Stadtbahnfahrzeuge bei einer mittleren Nutzungsdauer von 30 Jahren 2.700.000 Fzkm erreichen. Ein weiterer wichtiger Aspekt stellt die Fahrgastauslastung dar, die insbesondere im öffentlichen Personenverkehr zu entscheidenden Unterschieden hinsichtlich der Aufwendungen pro Person führt.

In der Studie werden der kumulierte Energieaufwand und die kumulierten Emissionen für die Fahrzeugbereitstellung während des Lebensweges eines Fahrzeuges über die spezifische Lebensfahrleistung auf die Basis eines Fahrzeugkilometers linear verteilt. Mittels Fahrgastauslastung und Streckenlänge der definierten Transportaufgaben kann einer Person eine anteilige Aufwendung der Fahrzeugbereitstellung zugerechnet werden.

Die einer Person hinsichtlich der Fahrzeugbereitstellung anzulastende Umweltwirkung ist in Abbildung 3-2 beispielhaft für die Relation aus einem typischen Stuttgarter Wohnquartier (Möhringen) bis in die Innenstadt zum Berliner Platz für den Fahrtzweck Berufs- und Ausbildungsverkehr sowie abendlicher Freizeitverkehr dargestellt. Als Verkehrsmittel werden ein

56 t schweres Stadtbahnfahrzeug mit einem Platzangebot für max. 240 Fahrgäste sowie einer Lebenslaufleistung von 2.700.000 Fzkm und ein typischer Pkw von 1 t mit max. 5 Sitzplätzen und 150.000 Fzkm Lebenslaufleistung verglichen.



**Abbildung 3-2:** Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Emissionen der Fahrzeuggbereitstellung für den Transport einer Person von Stuttgart- Möhringen zum Berliner Platz.  
Ein Vergleich zwischen Pkw und Stadtbahnfahrzeug mit unterschiedlicher Fahrgastauslastung.

Für diese Relation zeigt sich, daß die durch die Stadtbahnbereitstellung verursachten und einer Person anzulastenden Aufwendungen über alle Sachbilanzgrößen selbst im schwach ausgelasteten Freizeitverkehr gegenüber einem mit 4 Personen besetzten Pkw geringer sind.

### 3.2.4 Infrastrukturbereitstellung

Bau, Betrieb und Instandhaltung von Verkehrsinfrastruktur anlagen erfordern große Materialbewegungen und Materialeinsätze. Damit verbunden sind ein entsprechend großer Energieaufwand sowie daraus resultierende Emissionen. Die Höhe des Energieaufwandes und der Emissionen im Zusammenhang mit dem Bau, Betrieb und der Instandhaltung der Verkehrsinfrastruktur hängt u.a. von dem betrachteten Verkehrssystem, der Bauweise der Verkehrswege sowie insbesondere von der Streckenbelastung ab. Somit ergeben sich bei der Betrachtung konkreter Strecken zum Teil erhebliche Abweichungen gegenüber Durchschnittswerten.

Die Berechnung der Aufwendungen orientiert sich daher an den konkret betrachteten Strecken.

Hinsichtlich der Schienen- und Straßeninfrastruktur umfaßt der Bilanzrahmen dieser Studie die entsprechenden Anlagenaggregate Erdbau, Oberbau, Kunstbauten, Streckenausrüstung wie Fahrleitung u. Signal-/ Kommunikationsanlagen während der drei Phasen Bau, Betrieb/ Instandhaltung und Entsorgung. Darüber hinaus wird systembedingt für den Individualverkehr die Abstellnotwendigkeit mit der Zurechnung eines Stellplatzes sowie für den öffentlichen Verkehr der Einbezug der infrastrukturellen Einrichtung für erforderliche Ein-, Um- und Aussteigevorgänge berücksichtigt. Über den Lebensweg des Verkehrsweges der Material- und Energieträgereinsatz wird dann für die einzelnen Aggregate der Straßenverkehrs- bzw. Schienenwege ermittelt und linear über deren durchschnittliche Nutzungsdauer abgeschrieben.

Für die Straßeninfrastruktur sind die Aufwendungen entsprechend der unterschiedlichen Belastung des Straßenoberbaus durch Fahrzeuge einem Pkw zuzuordnen. Auf der Basis der Methodik zur Bestimmung der Wegekosten für den Straßenverkehr werden mittels des streckenspezifischen durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommens und der Fahrzeugart die Emissionen und Energieaufwendungen für einen Pkw ermittelt. Mit diesem Zuweisungsschlüssel wird der Mehrbelastung der Infrastruktur durch Lkw Rechnung getragen. Demnach werden einem auf Bundesstraßen verkehrenden Lkw um den Faktor 7 höhere Aufwendungen im Vergleich zu einem Pkw zugeordnet.

Für eine Bahnstrecke werden die jährlichen Material- und Energieträgeraufwendungen mit Hilfe der spezifischen Streckenbelastung einer einzelnen Zugfahrt zugeordnet. Hiermit kommt die Beanspruchung der Schienenwege durch das Gesamtgewicht eines Zuges zum Ausdruck. Die einer einzelnen Zugfahrt zugeordneten Aufwendungen sind daher proportional zum Zuggewicht. Anschließend können die aus der Infrastruktur resultierenden Aufwendungen pro Zugfahrt mittels der vom Fahrtzweck abhängigen Fahrgastauslastung dem Transport einer Person zugeordnet werden.

Für die Infrastrukturbereitstellung eines Stadtbahnsystems bedeutet dies zum Beispiel, daß die auf der Strecke eingesetzten Regelquerschnitte bilanziert und über die entsprechende Strecken- und Fahrgastauslastung als Aufwendungen dem Transport einer Person zugerechnet werden. Mit diesem Ansatz können lokale streckenspezifische Parameter berücksichtigt werden. Auf dem mit hohen infrastrukturellen Aufwendungen verbundenen innerstädtischen Tunnelstreckennetz sind beispielsweise die durch den Transport einer Person anzulastenden Aufwendungen nicht unmittelbar höher. Eine entsprechend starke Strecken- und Fahrgastauslastung auf diesem Abschnitt kann Effekte der material- und energieintensiven Infrastruktureinrichtung bei der Betrachtung von Aufwendungen pro Person kompensieren.

## 4 Ausblick

Erste Ergebnisse zeigen, daß insbesondere der örtliche Strom-Mix und die betrieblichen Kennwerte zu Strecken- und Fahrgastauslastung die wichtigsten Faktoren bei der umweltrelevanten Betrachtung von Transportdienstleistungen sind. Über diese lokalspezifischen Verhältnisse hinausgehend, können mittels der zukunftsweisenden Variation und Analyse der entscheidenden Faktoren übertragbare Aussagen zu verkehrsplanerischen Maßnahmen hinsichtlich der Verringerung der Umweltbelastung im Personenverkehr getroffen werden.

Mit Abschluß der Berechnungen stellen die Bearbeiter eine Beurteilungsbasis zur Verfügung, mit der nicht nur die spezifischen Möglichkeiten und Grenzen der Verkehrsmittel hinsichtlich ihrer umweltrelevanten Einflüsse abgeschätzt, sondern auch die lokalen Einflüsse, die für die konkrete ortsabhängige Bewertung wichtig sind, identifiziert werden.

Im Rahmen der Parametervariation sind für die Stuttgarter S-Bahnrelation Berechnungen mit dem demnächst eingesetzten S-Bahnfahrzeug ET 423 geplant. Im Individualverkehr soll als Ausblick auf die technische Entwicklung ein GKat/EURO3-Fahrzeug in die Berechnung mit einbezogen werden, das in der Abbildung des IST-Zustandes noch nicht berücksichtigt wird.

## 5 Literatur

Englmann, F., G. Heimerl, G. Kaule u.a.: Wege zu einer umweltverträglichen Mobilität - am Beispiel der Region Stuttgart, Forschungsvorhaben im Auftrag des Landes Baden-Württemberg und des Verbands Region Stuttgart. (in Bearbeitung)

Frischknecht R. et al.: Ökoinventare für Energiesysteme, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Auflage, ETH Zürich, 1996.

INFRAS AG, Umweltbundesamt Berlin (Hrsg.): Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Berlin, 1995.