

Evaluierung gängiger Datenmodelle zur Ermittlung verkehrlicher Umweltbelastungen

Mario Schmidt¹, Wolfram K

nörr¹, Andreas Patyk¹, Ulrich Höpfner¹

AbstractThe calculation of transport emissions is a basic step in many environmental analyses, despite the fact that the data base of typical transport operations is very heterogeneous and poor. The results of different software tools vary in an unacceptable range. Aspects like the vehicle size, emission reduction technologies, vehicle load factors and the distribution of the milage on different road categories are mostly neglected or the used data are obsolete. In behalf of the Federal Environmental Agency in Berlin a data and calculation model and the software tool TREMOD were developed within the last few years. They are a comprehensive basis for all energy and emission calculations and forecasts in the transport sector in Germany. The results in form of aggregated emission factors should be used in other analysis tools like LCA software in order to replace inexact data sets.

1. Einleitung

Verkehr und Transportvorgänge spielen eine entscheidende Rolle bei Umweltbilanzen aller Art:

- Bei kommunalen und regionalen Emissionskatastern liefert der Verkehr einen, wenn nicht inzwischen sogar *den* Hauptbeitrag.
- Bei kommunalen Klimaschutzkonzepten müssen die Kohlendioxid-Emissionen des Verkehrs explizit berücksichtigt werden (Fischer et al. 1997), da dort im Gegensatz zu den anderen Sektoren mit Emissionszuwachsen zu rechnen ist.

¹ ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wilckensstr. 3, 69120 Heidelberg, Tel.: 06221-4767-0

- Beim Öko-Audit in Betrieben sollte der Verkehr als wesentlicher Bestandteil unternehmensbezogener Umweltauswirkungen miteinbezogen und in betrieblichen Umweltprogrammen berücksichtigt werden (Schmidt 1998).
- Bei Produktökobilanzen ist die Einbeziehung von Transportvorgängen unverzichtbar für die systemische und prozeßübergreifende Herangehensweise einer Lebensweganalyse (Schmidt/Schorb 1996).
- Für die Festlegung und Evaluierung nationaler und internationaler Vereinbarungen und Rechtsnormen sind Verkehrsemissionsbilanzen erforderlich. Beispielsweise wird seit 1985 der Erfolg der Einführung der Katalysatortechnik verfolgt oder die Realisierbarkeit des NO_x-Protokolls von Sofia für den Verkehrsbereich überprüft.

Bei all diesen Anwendungen stellt sich die gleiche Aufgabe: Da die mit den Transportvorgängen verbundenen Umweltwirkungen sich aus Aufwandsgründen im einzelnen nicht messen oder erheben lassen, müssen sie fast immer modelliert werden. Üblicherweise geht man von typischen Kenngrößen der technischen Transportsysteme aus, z. B. vom Energieverbrauch und vom Abgasverhalten der Fahrzeuge, ermittelt die Verteilung der eingesetzten Fahrzeuge und die Art des Einsatzes und bildet geeignete Berechnungsgrößen, um den Energieverbrauch und die Emissionen des Verkehrs rechnerisch zu bestimmen.

Zu entscheiden ist jedoch, welche Kenngrößen und Werte *typisch* und repräsentativ sind. Während noch Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre für die Erstellung von Verkehrsemissionskatastern im Rahmen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) Emissionsfaktoren per Verordnung bereitgestellt wurden, ändern sich heute die Rahmenbedingungen aufgrund der technischen Innovation und der Anforderungen der umweltrechtlichen Bestimmungen, wie z. B. den EURO-Abgasnormen, ständig. Die entsprechenden Berechnungsgrößen sind einer großen Dynamik unterworfen und lassen sich nicht auf Dauer verordnen. Insbesondere Softwaretools, die über mehrere Jahre hinweg für komplexe Analysen eingesetzt werden, müssen dieser Dynamik Rechnung tragen.

2. Transportvorgänge in LCA

Ein illustratives Beispiel ist die Berücksichtigung von Transportvorgängen in Produktökobilanzen, in sogenannten Life Cycle Assessments (LCA). Jørgensen et al. (1996) haben festgestellt, daß die Transportvorgänge in LCA üblicherweise nicht vernachlässigt werden können. Sie liefern wichtige Beiträge zu der Lebenswegbilanz eines Produktes. Besonders die Emission von Kohlendioxid, Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen haben einen hohen Anteil an Wirkungskategorien wie etwa dem globalen Treibhauseffekt, der Versauerung, der Eutrophierung, dem Smog oder der Humantoxizität.

Gerade für die Produktbilanzierung gehören deshalb die Transportprozesse zum festen Repertoire der Analysen und werden in entsprechenden Softwaretools berücksichtigt. Dabei wird von generischen Transportvorgängen ausgegangen, d.h. man bedient sich standardisierter Datensätze für den Transport mit Lkw, Bahn, Schiff usw. Für die Berechnung der Emissionen und des Energieverbrauchs solcher Transportvorgänge ist die Datenbasis in Form standardisierter Kenngrößen – sogenannter Emissionsfaktoren – von zentraler Bedeutung. Der Emissionsfaktor gibt an, wieviel Gramm eines Schadstoffes emittiert werden, um eine bestimmte Verkehrsdienstleistung zu erbringen. Diese kann z. B. als Fahrleistung (Fahrzeug-km) oder als Transportleistung (Tonnen-km) angegeben werden. Im LCA-Bereich hat sich als Bezugsgröße die Transportleistung etabliert, die das Produkt aus der zu transportierenden Masse und der zu überwindenden Raumdistanz ist.

Im folgenden wurden verschiedene Softwaretools bzw. Datenquellen herangezogen, um die dabei verwendeten Emissionsfaktoren miteinander zu vergleichen. Da alle Instrumente das Ziel haben, die Realität der Transportvorgänge abzubilden, sollte man erwarten können, daß die Ergebnisse miteinander vergleichbar sind. Es wurden betrachtet:

- Das Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (**GEMIS**), das vom Öko-Institut im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten erstellt wurde. Es dient der Analyse von Energiebereitstellungssystemen und berücksichtigt von der Primärenergiegewinnung bis zur Nutzenergie alle wesentlichen Prozeßschritte (Fritsche et al. 1994; Fritsche et al. 1997). Im vorliegenden Fall wird von der neuen Version 3.0 ausgegangen.
- Die Ökoinventare von Energiesystemen, die an der ETH Zürich zur Ökobilanzierung von Energiesystemen entwickelt wurde (Suter/Frischknecht 1996). Das Programm **Ecoinvent** und die zugrundeliegende Datenbank ist inzwischen eine wichtige Grundlage für die Ökobilanzierung auch anderer Produkte.
- Das Ökoinventar Transporte, das ebenfalls in der Schweiz von **infras** bereitgestellt wurde, um eine Grundlage für transportrelevante Aspekte bei Ökobilanzen von Produkten oder Vergleichen verschiedener Transportsysteme zu bieten (Maibach et al. 1995). Es ist in erster Linie eine Datenbasis, die aber kompatibel zu dem Ecoinvent-System der ETH ist.
- Das Softwaretool **Umberto**, das der Stoffstromanalyse und Ökobilanzierung dient und vom ifeu-Institut zusammen mit dem Institut für Umweltinformatik Hamburg entwickelt wurde (Schmidt/Häuslein 1997). Es wird mit generischen Datensätzen, auch zum Transportbereich, ausgeliefert. In dem Vergleich wird von den älteren Datensätzen der Version 2.0 ausgegangen. Inzwischen liegt die aktuelle Version 3.0 vor, in die die u. g. Referenzdaten integriert sind.
- Als **Referenz** werden Daten aus der Emissionsmodellierung verwendet, die für das Umweltbundesamt Berlin erstellt wurde und in Kap. 3 ausführlich beschrieben ist.

Als Vergleichsfall wurde ein Lkw-Gütertransport mit einer Leistung von 1 tkm herangezogen. Als Lkw wurde die größte Fahrzeugklasse mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t bzw. > 32 t herangezogen. Es wurde von einer Auslastung des Fahrzeugs von 50 % (infras: 40 %) und – soweit verfügbar – von der EURO-1-Abgasnorm ausgegangen. Betrachtet wurden lediglich die direkten Emissionen in der Betriebsphase. Vorketten wurden vernachlässigt. In Abb. 1 sind die Ergebnisse des Emissionsvergleichs für verschiedene Schadstoffe dargestellt.

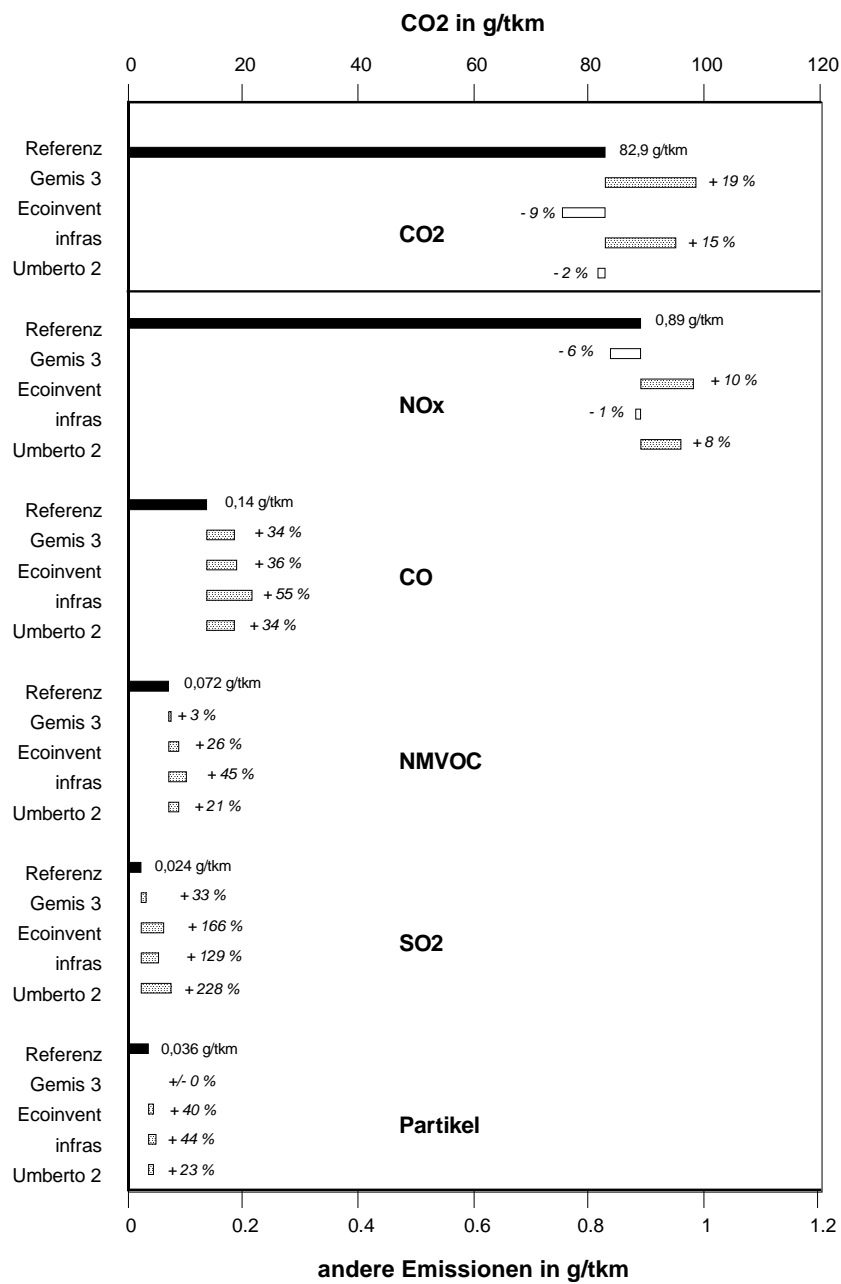


Abb.1: Ergebnisvergleich verschiedener Datenquellen zu den spezifischen Transportemissionen eines Lkw (40 t bzw. > 32 t) mit einer Auslastung von ca. 50 %. Die obere Skala bezieht sich nur auf die CO₂-Emissionen.

Aus Abb. 1 ist ersichtlich, daß – obwohl vergleichbare Transportsysteme betrachtet wurden – sich die spezifischen Emissionen in Gramm pro Tonnen-km merklich unterscheiden. Im Falle von Kohlendioxid liegt der Referenzwert bei ca. 83 g/tkm, die anderen Werte streuen mit Abweichungen zwischen – 9 und + 19 %. Dies ist noch eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für die Stickoxid-Emissionen.

Zu eher großen Abweichungen kommt es jedoch bei den anderen Schadstoffen wie z. B. Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen (NMVOC), Schwefeldioxid oder Partikel. Das neue Update 3.0 von Gemis zeigt noch recht gute Übereinstimmungen mit den Referenzwerten. Die großen Abweichungen bei Schwefeldioxid können auf neueste Minderungen des Schwefelgehaltes im Kraftstoff zurückgeführt werden, die bei der Referenz bereits berücksichtigt sind. Demgegenüber beziehen sich die Datensätze bei Umberto auf den technischen Stand Anfang der 90er Jahre.

Der Vergleich zeigt das Dilemma der Emissionsberechnungen im Verkehrsbereich: Würde man das gleiche Produktsystem mit verschiedenen Datengrundlagen oder Softwaretools berechnen, so erhielte man völlig abweichende Ergebnisse, die sich in Einzelfällen sogar auf das Gesamtergebnis einer Lebenswegbilanz niederschlagen könnten. Für den Anwender der generischen Datensätze bzw. der Softwaretools und erst recht für die „Konsumenten“ der Untersuchungsergebnisse ist nicht nachvollziehbar, welche Eingangsdaten wie belastbar sind. Sie verlassen sich auf die Validität dieser Daten. Jedoch wird bereits bei der Datenbereitstellung in der Regel die Komplexität der Transportsysteme, der Einflußfaktoren und insbesondere die Dynamik in der Emissionsentwicklung vernachlässigt.

3. Das TREMOD-Vorhaben

Die Vielzahl der Anwendungen von Emissionsbilanzen und die zahlreichen Berechnungsmodelle in Deutschland führten auch in anderen Anwendungsbereich zwangsläufig zu unterschiedlichen Ergebnissen und in der Folge zu gesellschaftlichen Kontroversen über verschiedene Entwicklungen oder technische Innovationen im Verkehrsbereich. Ende 1991 wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes ein Vergleich derjenigen Modelle durchgeführt, die zur damaligen Zeit für die Erstellung von Emissionsinventaren des Umwelt- und des Verkehrsressorts wesentlich waren. Die Berechnung mit den Modellen von ifeu, Umweltbundesamt und Prognos Basel erbrachte trotz Abstimmung der Eckdaten unterschiedliche Ergebnisse (Höpfner et al. 1992), die vor allem auf die unterschiedliche modellmäßige Herangehensweise zurückzuführen waren. Dies waren z. B.

- die Annahmen zur jährlichen Umschichtung des Fahrzeugbestandes (Neuzulassungen und Stilllegungen, Überlebenswahrscheinlichkeit),
- die Annahmen zur Fahrleistungshäufigkeit von Fahrzeugen verschiedener Alters-, Größenklassen und Schadstoffminderungskonzepte,

- die Behandlung der sogenannten „Kraftstofflücke“, also der Differenz zwischen dem für ein bestimmtes Bezugsjahr modellmäßig berechneten Kraftstoffverbrauch und dem tatsächlich beobachteten Kraftstoffabsatz in Deutschland.

Diese Probleme und die stark gestiegenen Anforderungen machten eine besser differenzierte und wissenschaftlich fundierte einheitliche Methoden- und Datenbasis erforderlich, um die Ergebnisse von Emissionsberechnungen untereinander vergleichbar zu machen.

Seit 1989 wurden deshalb mehr als 10 öffentliche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Erstellung von Daten zum Emissions- und Fahrverhalten sowie zum Verkehrsaufkommen (Fahrleistung, Verkehrsleistung) in Auftrag gegeben. Mit der PC-Datenbank „Handbuch für die Berechnung von Emissionsfaktoren von Kraftfahrzeugen“ im Auftrag des Umweltbundesamtes und des Schweizer Bundesumweltamtes wurde erstmals die komplexe Datenbasis aufbereitet und einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht (infrast 1995).

Darüber hinaus wurde in einem „Daten- und Rechenmodell“, welches vom ifeu-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde, die zur Zeit verfügbaren Methoden und Daten für die Schadstoffemissionsberechnung in Deutschland in ein fortschreibbares Modell eingebunden (Knörr et al. 1997). Insbesondere wurden dafür

- die umfangreichen verfügbaren Daten aufbereitet, auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft und ergänzt sowie dann in geeigneten Datenstrukturen organisiert;
- die Berechnungsmethoden aktualisiert und entsprechend den Anforderungen differenziert, bzw. neue Methoden entwickelt;
- die Projektion vergangener Entwicklungen unter verschiedenen Randbedingungen in die Zukunft (Szenarien) methodisch abgesichert;
- die Daten und Methoden in sektor- und sachbezogene Module integriert;
- das Softwaretool TREMOD zur Verwaltung und Fortschreibung der Daten und Berechnungsmethoden entwickelt.

Die Datenbasis dieses Modells ist der gleiche Kern wie für die Fortschreibung des o. g. „Handbuches für Emissionsfaktoren“ und wird für die Durchführung anderer Vorhaben verwendet, z. B. der Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen im Rahmen des § 40 Abs. 2 BImSchG auf die Schadstoffemissionen des Verkehrs (Skrzypczyk/Steven 1996), oder für ein Vorhaben unter der Leitung des Wuppertal Instituts, bei dem schwerpunktmäßig die immissionsseitige Bewertung von Kfz-Emissionen vorgenommen wurde (Petersen et al. 1997). Das Softwaretool TREMOD wird inzwischen auch von anderen Institutionen genutzt, z. B. von verschiedenen Bundesministerien, dem Verband der Automobilindustrie, dem Mineralölwirtschaftsverband oder der Deutschen Bahn AG. Dabei wird das Ziel verfolgt, alle Emissionsberechnungen auf eine einheitlich fundierte und aktualisierte Daten- und Methodenbasis zu stellen und Ergebnisse vergleichbar zu machen.

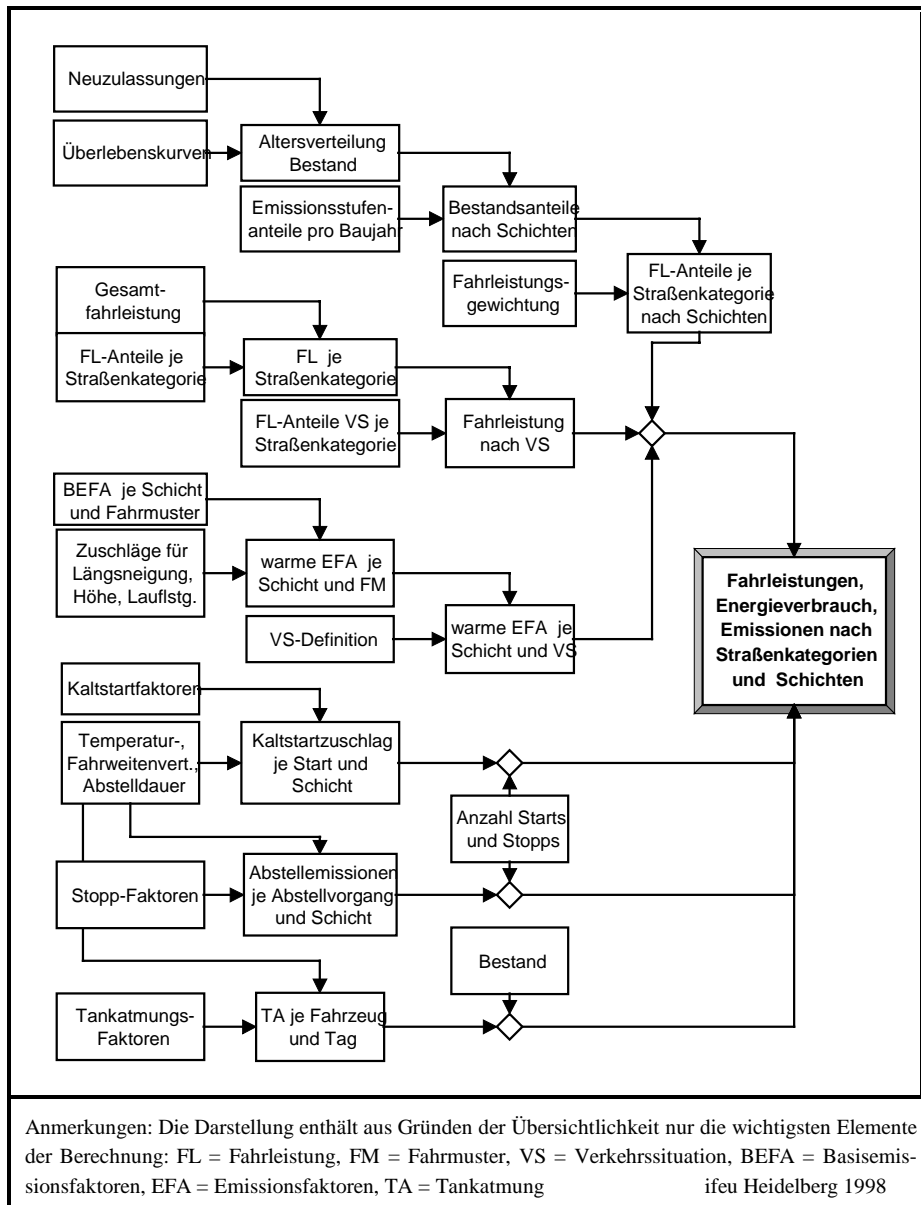


Abb. 2: TREMOD-Berechnungsschema für den Pkw-Verkehr (Knörr et al. 1997)

In TREMOD werden alle in Deutschland betriebenen Personenverkehrsmittel (Pkw, motorisierte Zweiräder, Busse, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) und Güterverkehrsmittel (Lkw und Zugmaschinen, Bahnen, Schiffe, Flugzeuge) sowie der sonstige Kfz-Verkehr ab dem Basisjahr 1980 in Jahresschritten erfaßt. Die Basisdaten reichen von

Fahr-, Verkehrsleistungen und Auslastungsgraden über die technischen Eigenschaften der Fahrzeugbestände bis hin zu den spezifischen Energieverbräuchen und den Emissionsfaktoren. Mit TREMOD werden sowohl der Energieverbrauch und die direkten Emissionen des Fahrzeugbetriebs einschließlich Verdunstungsemissionen u.ä. bilanziert, als auch die der zur Energiebereitstellung erforderlichen vorgelagerten Prozeßkette (Raffinerie, Kraftwerke etc.).

Abb. 2 zeigt den *prinzipiellen* Ablauf mit den wichtigsten Eingangsdaten, Zwischen- und Endergebnissen für den Pkw-Verkehr. Für die übrigen Fahrzeugkategorien ist die Struktur prinzipiell identisch, wobei einige Elemente aufgrund von Datenlücken (z. B. Kaltstart, Verdunstung bei motorisierten Zweirädern) bzw. geringerer Bedeutung des Problems (Verdunstungsemissionen bei Dieselfahrzeugen) nicht besetzt sind. Dieser Ablauf gilt für jedes Bezugsjahr, für jeden Betrachtungsraum und für jedes Szenario, für die die erforderlichen Eingangsdaten vorliegen. Eine Besonderheit von TREMOD ist, daß es nicht nur ex post bilanziert, sondern mittels Szenarienbildung und unter Berücksichtigung gesetzlicher Bestimmungen und aktueller Trendentwicklungen auch zukünftige Energieverbrauchs- und Emissionsentwicklungen prognostizieren kann. Es können somit Zeitreihen von 1980 bis max. 2020 erstellt werden. Ein Beispiel sind die Stickoxid-Emissionen des innerörtlichen Straßenverkehrs in Abb. 3.

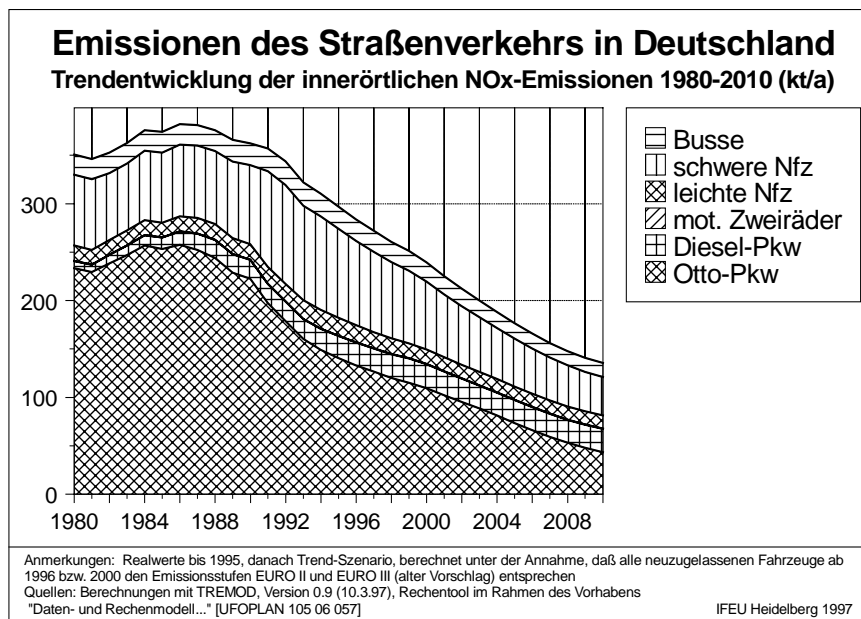


Abb. 3: Beispiel für Ergebnisse aus dem Daten- und Rechenmodell TREMOD, in diesem Fall die Stickoxid-Emissionen des innerörtlichen Straßenverkehr von 1980 bis 1995 (ex post) und als Prognose von 1996 bis 2010.

4. Aktualisierte Emissionsfaktoren für Transporte in LCA

Mit dem Daten- und Rechenmodell sind auch detaillierte Berechnungen der Emissionsfaktoren möglich, wie sie für die Fragestellung in Kap. 2 erforderlich sind. Die dort zitierten Referenzwerte wurden mit TREMOD zum Basisjahr 1996 errechnet. Eine ausführliche Liste ist in Tab. 1 dargestellt, wobei dort auch die sogenannte Vorkette ausgewiesen ist. Die Vorkette dient zur Bereitstellung des Dieselkraftstoffes und ist ihrerseits mit Primärenergieeinsatz und zusätzlichen Emissionen verbunden. Umfangreiche Daten, auch zu anderen Lkw-Größenklassen und anderen Transportsystemen sowie verschiedenen Bezugsjahren sind in Borken et al. (1998) veröffentlicht. Sie sind Grundlage für generische Datensätze, die in der aktuellen Version 3.0 des Ökobilanz-Softwaretools Umberto enthalten sind.

Tab.1: Auf tkm bezogene Energieverbrauchs- und Emissionsfaktoren für einen Lkw. Berechnungen mit TREMOD (Borken et al. 1998)

Lkw mit zulässigem Gesamtgewicht 40 t, 50 % Auslastung, Bezugsjahr 1996				
Energieeinsatz	direkt	Einheit	incl. Vorkette	Einheit
Dieselmkraftstoff	26.1	g/tkm		
Erdöl			1.2225	MJ/tkm
Erdgas			0.0141	MJ/tkm
Steinkohle			0.0043	MJ/tkm
Braunkohle			0.0034	MJ/tkm
Uran			0.0034	MJ/tkm
Wasserkraft			0.0005	MJ/tkm
Schadstoffemission	direkt	Einheit	incl. Vorkette	Einheit
CO ₂	82.9	g/tkm	92.3	g/tkm
NO _x	0.892	g/tkm	0.913	g/tkm
CO	0.140	g/tkm	0.145	g/tkm
NMVOG	72.3	mg/tkm	88.6	mg/tkm
Partikel	36.0	mg/tkm	36.8	mg/tkm
SO ₂	23.5	mg/tkm	65.5	mg/tkm
N ₂ O	8.66	mg/tkm	8.96	mg/tkm
Formaldehyd	6.0	mg/tkm	6.1	mg/tkm
CH ₄	1.78	mg/tkm	17.4	mg/tkm
Benzol	1.4	mg/tkm	1.5	mg/tkm
NH ₃	0.52	mg/tkm	0.53	mg/tkm
HCl	0.026	mg/tkm	0.14	mg/tkm
Benzo(a)pyren	202	ng/tkm	206	ng/tkm
TCDD-Tox. Äquiv.	0.0016	ng/tkm	0.0050	ng/tkm

5. Variabilität der Transportemissionen

Trotz der verbesserten Datengrundlage bleibt das Problem bestehen, daß z. B. bei einer Produktökobilanz detaillierte Angaben über die Transportvorgänge des zu untersuchenden Systems getroffen werden müssen: Wie weit wird ein Gut transportiert, welches Verkehrsmittel bzw. welche Fahrzeugklasse wird eingesetzt, wie groß ist die Fahrzeugauslastung, welches Bezugsjahr wird gewählt, auf welchen Straßen bzw. in welchen Fahrzuständen erfolgt der Transport?

Der Energieverbrauch und die Emissionen werden – bei Einsatz desselben Fahrzeugs – linear von der Transportentfernung abhängen. Es stellt sich aber zusätzlich die Frage, wie sensibel die Ergebnisse auf die Auswahl der anderen Rahmenbedingungen reagieren. Viele dieser Rahmenbedingungen, z. B. die Verteilung einer Fahrstrecke auf verschiedene Straßentypen oder der Auslastungsgrad der Fahrzeuge, sind in Untersuchungen selten bekannt und müssen geschätzt werden.

In Abb. 4 sind Kurvenscharen mit den spezifischen Stickoxidemissionen verschiedener Lkw-Transporte aufgetragen. Dabei wurde nach Lkw-Auslastungsgrad (von 10 bis 100 %), der Fahrzeugklasse mit zulässigem Gesamtgewicht (von 7,5 t bis > 32 t) und dem Straßentyp (Innerorts, Außerorts und Autobahn) unterschieden. Die Ergebnisse stammen aus TREMOD-Berechnungen.

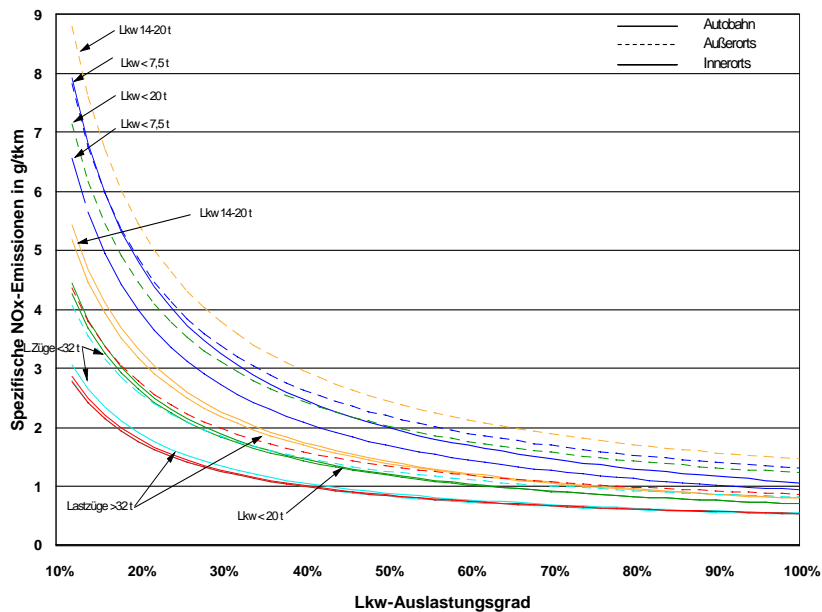


Abb. 4: Spezifische Stickoxidemissionen in g/tkm bei Variation der Lkw-Größenklasse, des Typs der benutzten Straßen und des Lkw-Auslastungsgrades. Bezugsjahr 1996.

Dabei zeigen sich erhebliche Abweichungen: Am stärksten variieren die Ergebnisse mit der Auswahl der Lkw-Größenklasse. Bei einer 50 %igen Auslastung beträgt die Abweichung des NO_x -Emissionsfaktors von einem Lkw > 32 t zu einem Lkw $< 7,5$ t bis zu 130 %. Der Grund liegt in dem unterschiedlichen Nutzlast-zu-Gesamtlast-Verhältnis der Fahrzeuge, das für große Lkw am günstigsten ausfällt. Der Unterschied zwischen einer 60 %igen und 30 %igen Auslastung liegt bei gleichem Fahrzeug ungefähr bei einem Faktor 1,8. Demgegenüber variieren die Emissionen bei unterschiedlichen Straßentypen nur um max. 30-60 %.

Allein durch falsche Annahmen über die Transportvorgänge werden also die Emissionen um ein Mehrfaches falsch errechnet. Dazu kommt die zeitliche Dynamik in den Emissionsfaktoren. In Abb. 5 ist dargestellt, wie sich die Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugbestände in den nächsten 15 Jahren voraussichtlich entwickeln werden. Dabei wurde die derzeit absehbare Entwicklung bei den Abgasvorschriften zugrundegelegt. Bis zum Jahr 2010 wird die Kurvenschar in dem Diagramm nach unten verschoben, und sie wird insgesamt schmaler. Die Emissionsfaktoren werden sich innerhalb der 15 Jahre größenordnungsmäßig halbieren.

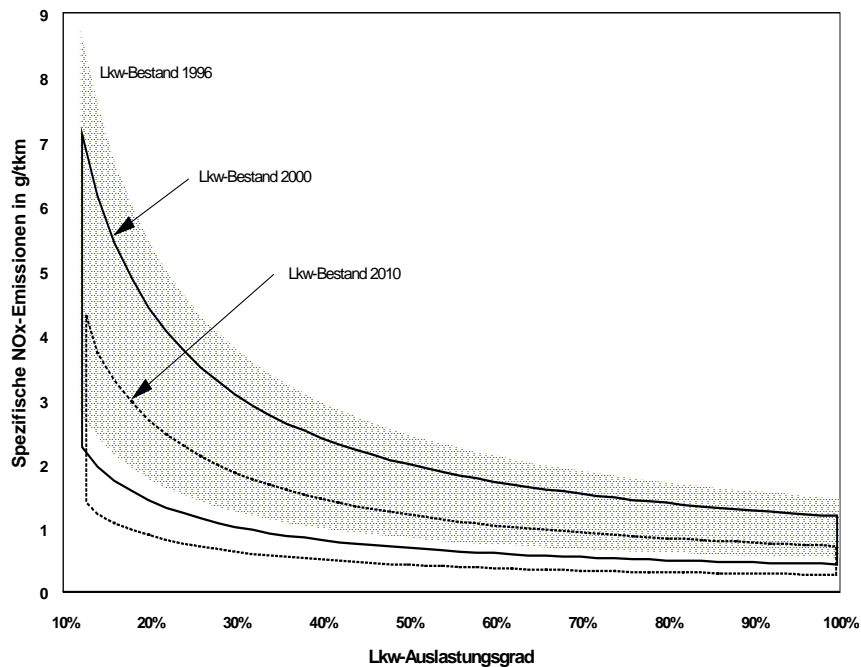


Abb. 5: Spezifische Stickoxidemissionen in g/tkm bei Zugrundelage der Fahrzeugbestände in den Jahren 1996, 2000 und 2010 mit den jeweils gültigen Abgasvorschriften.

6. Schlußfolgerungen

Der breite Einsatz von Softwaretools und die öffentliche Bereitstellung von diversen Datenbanken darf nicht über das Problem hinwegtäuschen, daß es im Transportbereich zu falsch berechneten Emissionen aufgrund veralteter oder ungenauer Eingangsdaten und aufgrund des unreflektierten Einsatzes der Daten kommen kann. Die Vielfalt an Datenquellen erweist sich für ungeübte Anwender eher als Nachteil; die Gefahr, nicht mehr aktuelle Daten zu verwenden oder die Daten falsch einzusetzen, ist verhältnismäßig hoch.

Umso wichtiger ist es, daß sich die einschlägigen Datenquellen und Softwaretools an dem für das Umweltbundesamt aufgebauten Bestand an fundierten und validierten Energieverbrauchs- und Emissionsdaten für den Verkehr orientieren und neueste Faktoren auf der Basis des Modells TREMOD einsetzen. Dieses Modell hat sich in den vergangenen Jahren in Deutschland bewährt. Vergleiche zwischen Emissionsberechnungen und Immissionsmessungen zeigen gute Übereinstimmungen (Lambrecht et al. 1997). Das Modell kann deshalb zurecht als neuer Standard der Verkehrsemissionsmodellierung angesehen werden.

Besonders wichtig ist, daß bei der Weiterverwendung dieser Daten auch die dynamische Entwicklung der Emissionen im Verkehr berücksichtigt wird und stets aktualisierte Emissionsfaktoren verwendet werden. Dies ist eine wichtige Aufgabe für die Anbieter von öffentlich zugänglichen Datenbanken oder Softwaretools, wie dies z. B. GEMIS, Ecoinvent oder Umberto darstellen.

Weiterhin sollte man von den Anbietern solcher „weiterverarbeiteter“ Daten verlangen, daß die Herkunft der Daten genau dokumentiert ist und die sinnvolle Anwendung der Daten erklärt wird. Damit kann die falsche Verwendung der Daten durch Anwender eingeschränkt werden. Werden Analysen (z. B. LCAs) erstellt, bei denen der Transport einen umweltrelevanten Beitrag liefern, so sollte von den Anwendern zusätzlich abverlangt werden, daß mit einer Variation der Parameter geprüft wird, wie stabil die Ergebnisse gegenüber Ungenauigkeiten bei den getroffenen Annahmen sind.

Literaturverzeichnis

- Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G. (1998): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz mobiler Maschinen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Braunschweig/Wiesbaden
- Fischer, A., Kallen, C. (Hrsg.) (1997): Klimaschutz in Kommunen. Leitfaden zur Erarbeitung und Umsetzung kommunaler Klimaschutzkonzepte. Berlin
- Fritsche, U. et al. (1994): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Version 2.1: Aktualisierter und erweiterter Endbericht. Im Auftrag des Hessischen Ministe-

- riums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. Darmstadt/Freiburg/Berlin/Kassel
- Fritsche, U. et al. (1997): Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 3.0. Ein Computer-Instrument zur Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. Darmstadt/Freiburg/Berlin
- Höpfner, U. et al. (1992): Vergleich verschiedener Emissionsmodelle: Verkehrsbedingte Stickstoffoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen in Westdeutschland 1988 und 2000 - Kurze Darstellung der Situation in Deutschland - Zwischenbilanz für 1998. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Heidelberg
- infrass (1995): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. CD-ROM Version 1.1. Im Auftrag des UBA und des BUWAL. Bern
- Jørgensen, A-M. M. et al. (1996): Transportation in LCA. A Comparative Evaluation of the Importance of Transport in Four LCAs. In: International Journal of Life Cycle Assessment Vol. 1 No. 4, 218-220
- Knörr, W. et al. (1997): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan Nr. 10506057. Heidelberg
- Lambrecht, U. (1997): Emissionen und Immissionen des Straßenverkehrs. Analyse und Vergleich der zeitlichen Entwicklung an ausgewählten Standorten. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Heidelberg
- Maibach, M. et al. (1995): Ökoinventar Transporte. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Infrass AG. Zürich
- Petersen, R. et al. (1997): Aktionsprogramm und Maßnahmenplan Ozon: Modellinstrumentarium zur immissionsseitigen Bewertung von Kfz-Emissionen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan-Nr. 10402812/02
- Schmidt, M., Schorb, A. (1996): Ökobilanzen – Zahlenbasen für den betrieblichen Umweltschutz. Spektrum der Wissenschaft. Mai 1996. 94-101
- Schmidt, M., Häuslein, A. (1997): Ökobilanzierung mit Computerunterstützung. Berlin/ Heidelberg/ New York
- Schmidt, M. (1998): Erfassung des standortbezogenen Verkehrs im Rahmen eines betrieblichen Öko-Audits und Ansätze für umweltschonende Logistik und Verkehrsvermeidung im Umweltmanagementsystem. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan Nr. 20506089. Heidelberg (In Vorbereitung)
- Skrzypczyk, E., Steven, H. (1996): MOBILEV – Maßnahmenorientiertes Berechnungsinstrumentarium für die lokalen Schadstoffemissionen des Kraftfahrzeugverkehrs. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Ufoplan-Nr. 105 06 044. Aachen
- Suter, P., Frischknecht, R. (1996): Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich