

sowie

der Bedeutung der Meßtechnik im Eisenbahnbetrieb (H. W. Frerk).

Auch der vorliegende Band des Jahrbuchs gewährt dem Leser mit der Rubrik »Weite Welt der Eisenbahn« einen Einblick in das Eisenbahnwesen anderer Länder: Ausführungen über die Finnischen Staatsbahnen (S. Werner), die Schweizer Jungfraubahn (R. Hirni) sowie ein Überblick über 150 Jahre Eisenbahn in England (H. Calmbach) regen zu zahlreichen Vergleichen mit dem deutschen Eisenbahnwesen an.

Zum Abschluß des Jahrbuchs informiert wiederum die »Chronik des Eisenbahnwesens 1974/75«, von H. G. Sparkuhle in bewährter Weise verfaßt, über die wesentlichen Neuerungen im Schienenverkehr aller Erdteile sowie über Neuentwicklungen von Fahrzeugen und Geräten.

Aufgrund der Themenvielfalt dürfte damit auch die 26. Folge des Jahrbuchs für das Eisenbahnwesen einem breiten Fachpublikum Lese- und Informationsstoff bieten.

Dr. Q. Faludi, Neuss

Korp, Dieter, Protokoll einer Erfindung: Der Wankelmotor, 222 Seiten, 182 Abbildungen, Leinen, glanzfolienkaschierter Schutzumschlag, Motorbuch Verlag, Stuttgart 1976, DM 48,-.

Der Wankelmotor ist, wie viele Innovationen, umstritten. Es dürfte aber eine ausgesprochene Seltenheit sein, wenn die schwankende Beurteilung einer Erfindung in den Augen der interessierten Öffentlichkeit tagtäglich ablesbar ist: Der in jüngster Zeit drastisch gesunkene Bör-

senkurs der Audi-NSU-Genußscheine, deren Besitzer an den Einnahmen aus Lizenzverkauf und Lizenznachbauten des Wankelmotors partizipieren, belegt die nach jahrelanger Euphorie eingelehrte Ermüchterung.

Korp zeichnet mit bewundernswertem, klarem Stil die Entwicklungsgeschichte und bisherigen Verwendungen des Kreiskolbenmotors nach. Seine reichlich bebilderte, authentische Untersuchung liest sich dabei streckenweise, wenn es um die gewaltigen Konstruktionsprobleme und die Bemühungen um den Lizenzschutz geht, wie ein Roman. Es ehrt den Autor, daß er nicht nur eine Jubel-Darstellung des Kreiskolbenmotors gibt. Vielmehr werden die Vor- und Nachteile des neuen Konstruktionsprinzips im Vergleich zum Hubkolbenmotor nüchtern aufgezeigt und bewertet. Bei den kritischen Punkten Treibstoffverbrauch und Herstellungskosten, wo die Probleme ursprünglich drastisch verkannt wurden, zeigt Korp allerdings nach dem Motto »dem Ingenieur ist nichts zu schwör« einen nicht ganz überzeugenden Optimismus.

So erstaunt dann auch nicht sein etwas resignierendes Fazit, Kosten-Nutzen-Überlegungen würden u.a. den Erfolg des doch so prächtigen Kreiskolbenmotors verhindern. Vor die Wahl gestellt, den Wankelmotor oder die Ökonomen abzuschaffen, scheint der Ingenieur Korp – allen interdisziplinären Verständigungsversuchen zum Trotz – die zweite Alternative vorzuziehen.

Dennoch kann man all jenen, die ebenfalls der Meinung sind, daß Verkehrswissenschaft nicht ohne das Verständnis technischer Rahmendaten und Entwicklungslinien betrieben werden sollte, das Buch von Korp wärmstens empfehlen.

Dr. K.-H. Lindenlaub, Köln

V. 88-6
V. St. a

Zur direkten Bewertung volkswirtschaftlicher Zusatzkosten in Form gesundheitlicher Schäden durch Abgasimmissionen des Straßenverkehrs

VON DR. RER. POL. ERNST-ALBRECHT MARBURGER, KÖLN

I. Einleitung

Planung und Ausbau der städtischen Verkehrsinfrastruktur müssen in verstärktem Maße neben den üblichen Faktoren auch die möglichen Veränderungen der Umweltbelastung – unter anderem durch Automobilabgase – berücksichtigen. Sofern solche Effekte in Nutzen-Kosten-Untersuchungen einfließen sollen¹⁾, sind sie quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Der Problemstellung völlig entsprechen würde ein Bewertungsansatz, der den durch die Immission bewirkten Belastungssachverhalt direkt als monetär quantifizierte Schäden erfaßt²⁾.

Modellhaft hat diese Vorgehensweise Ridker³⁾ mit seiner »damage function« zu beschreiben versucht:

$$D_i = f_i(\text{CO, CH, NO}_x, \text{Pb, Synergismen} \dots),$$

wobei i die Art des Schadens angibt und D_i als mengenmäßiger, physischer Schaden pro Geschädigter (z. B. in Form von Erwerbsunfähigkeitszeiten) verstanden wird. Für die Spezifizierung dieser Mengenfunktion freilich bestehen erhebliche Schwierigkeiten. Die direkte Vorgehensweise setzt nämlich einen eindeutig festgestellten Ursache-Wirkung-Zusammenhang zwischen dem umweltbelastenden Faktor und dem eingetretenen Schaden voraus. Hier bestehen nach allgemeiner Auffassung auch weiterhin erhebliche Erkenntnislücken⁴⁾, beispielsweise hinsichtlich synergistischer Effekte und der Toxizität

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer.-pol. Ernst-Albrecht Marburger
Escher Straße 227
5000 Köln 60

¹⁾ Zu Begriff und gesetzlicher Institutionalisierung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen vgl. BHO § 7, Abs. 2 und HGrG § 6, Abs. 2 sowie die vorläufigen Verwaltungsvorschriften zu § 7, Abs. 2 der BHO des Bundesministers der Finanzen vom 21. Mai 1973 und die dazu erlassenen Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen, in: Ministerialblatt des Bundesministers der Finanzen und des Bundesministers für Wirtschaft, 24. Jg. (1973) Nr. 13; vgl. auch Hesse, H., Die Kostenwirksamkeitsanalyse, in: Verwaltung und Fortbildung (= Schriften der Bundesakademie für öffentliche Verwaltung, Nr. 3), 1975 sowie Fischer, L., Die kombinierte Anwendung von Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) und Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA) als Instrument zur Beurteilung von Investitionsmaßnahmen nach § 7, Abs. 2 Bundeshaushaltsordnung, in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 47. Jg. (1976), S. 78 ff.

²⁾ Vgl. Willeke, R. und Kentner, W., Die Kosten der Umweltbelastung durch den Verkehrslärm in Stadtgebieten (= Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Nr. 31), Bentheim 1975, S. 28.

³⁾ Vgl. Ridker, R. G., Economic Cost of Air Pollution, Studies in Measurement, New York-London 1967.

⁴⁾ Vgl. Rümmler, Zusammensetzung und Wirkungen verkehrsbedingter Immissionen, Zahlen, Daten und Fakten. Eine Zusammenstellung aus der Literatur und den ersten Ergebnissen aus laufenden Forschungsvorhaben, unveröffentlichtes Vortragsmanuskript vom 23. 12. 1976. Vgl. auch die Zusammenfassung einer Arbeit von Högger, D., Effects of vehicle exhaust gases on human beings, animals and

der einzelnen Schadstoffe unter zeitlichem Aspekt (Kurz- und Langzeitwirkung), ganz abgesehen vom Problem eines operationalen Gesundheitsbegriffs.

Wären diese Schwierigkeiten zu beseitigen, könnte die gewonnene quantitative Schadensfunktion mit Hilfe geeigneter monetärer Bewertungsfaktoren (C_i) in eine Kostenfunktion der Form:

$$K = \sum_{i=1}^n D_i \cdot C_i$$

überführt werden.

Dieses von vielen Verfassern nur für sehr schwer überwindbar gehaltene Problem, das noch um meßtechnische Schwierigkeiten ergänzt werden könnte⁵⁾, hat dazu geführt, daß eine ökonomische Bewertung von Umweltbelastungen durch den Straßenverkehr bislang vorwiegend an den Kosten für Vermeidungsmaßnahmen anknüpft⁶⁾.

Im folgenden soll in methodischer Analogie zu amerikanischen Untersuchungen⁷⁾ eine direkte monetäre Bewertung der gesundheitlichen Schäden durch Kfz-Abgasimmissionen für konkrete Stadtstraßensituationen versucht werden⁸⁾.

II. Methode, Mengengerüst und Bewertungsfaktoren

1. Das Modell

Ausgangspunkt sind die schon zitierten Arbeiten von *Ridker*. Er hatte die ökonomischen Folgen der Erkrankungen der Atmungsorgane für die USA im Jahre 1958 auf etwa 2 Mrd. Dollar geschätzt⁹⁾. Die Schäden wurden dabei mit Hilfe des Ertragswertprinzips (Schätzung des potentiellen Sozialproduktbeitrags des Geschädigten) geschätzt und um medizinische Behandlungskosten ergänzt. Aus umfangreichen epidemiologischen Regressionsanalysen über Stadt-Land-Vergleiche von Lungenkrebstodesfällen und Todesfällen durch andere Atmungsorganerkrankungen leitete *Ridker* die Hypothese ab, daß etwa

clans, in: Study on the evaluation of the cost/effectiveness ratio of anti pollution systems installed on cars, ed. by Committee of Common Market Automobile Constructors (CCMC) 1975, S. 15 ff. und die Zusammenfassung einer Arbeit von *Lahmann, E.*, Damage cost by pollution of the atmosphere from motor vehicle, in: Study on the Evaluation . . . a.a.O., S. 31 ff.

⁵⁾ Beispielsweise steht immer noch aus, die im Abgas enthaltenen vielfältigen Kohlenwasserstoffe mit unterschiedlichen Giftigkeiten im einzelnen zu erfassen.

⁶⁾ Vgl. *Kentner, W.*, Planung und Auslastung der Verkehrsinfrastruktur in Ballungsräumen (= Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Nr. 29), Düsseldorf 1972; *Willeke, R.* und *Kentner, W.*, Die Kosten der Umweltbelastung . . . , a.a.O.; *Marburger E. A.*, Die ökonomische Beurteilung der städtischen Umweltbelastung durch Automobilabgase – Methoden und Quantifizierungsversuche (= Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Nr. 30), Düsseldorf 1975; Anleitung für die standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des ÖPNV und Hinweise zum Rahmenvertrag (= Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 51), Bonn-Bad Godesberg 1976.

⁷⁾ RECAT-Report, Cumulative Regulatory Effects on the Cost of Automotive Transportation (RECAT) (= Final Report of the ad hoc Committee. Prepared for the Office of Science and Technology), o. O. 28. 2. 1972.

⁸⁾ Der Ansatz wurde zuerst in einem Gutachten für den Bundesminister für Verkehr aufgegriffen. Vgl. dazu *Willeke, R.*, *Marburger, E. A.*, *Herion, E.*, Die Berücksichtigung von Umweltbelastungen bei der Planung städtischer Verkehrsinvestitionen mit Hilfe von Kosten-Nutzen-Analysen und Kosten-Wirksamkeitsanalysen, unveröffentlichtes Gutachten 1974. Der vorliegende Beitrag versucht eine anwendungsbezogene Weiterentwicklung der Methodik und eine Aktualisierung des Datenmaterials.

⁹⁾ Die in diesem Kapitel angegebenen Zahlenwerte dienen nur der Verdeutlichung des Rechengangs. Es werden später entsprechend aktualisierte Werte für die Bundesrepublik Deutschland ermittelt.

20% dieses Schadens (400 Mio. Dollar) der Luftverunreinigung in Form von SO_2 sowie Rauch- und Schwebeteilchen zuzuschreiben seien.

*Lave/Seskin*¹⁰⁾ knüpfen methodisch an die Arbeiten von *Ridker* (epidemiologische Regressionsanalyse) an, schreiben von den gleichen Krankheiten der Luftverschmutzung allerdings 50% zu und machen diese darüber hinaus für 15% der übrigen Krebserkrankungen verantwortlich. Für die USA errechnet sich unter diesen Voraussetzungen für 1963 ein ökonomischer Schadensbetrag durch die globale Luftverschmutzung (SO_2 , Staub) in Höhe von 4,16 Mrd. Dollar¹¹⁾.

Dieser Betrag entspricht 0,7% des 1963er Bruttosozialprodukts der Vereinigten Staaten. Bei gleichem relativem Anteil am Bruttosozialprodukt würde das für 1968 Gesundheitsschäden durch SO_2 und Staub/Schwebeteilchen in Höhe von 6,06 Mrd. Dollar bedeuten¹²⁾. Für die weiteren methodischen Überlegungen liegt damit eine Schlüsselgröße vor, über deren Bezug zur betrachteten Gesamtemission eine Bewertung der hier interessierenden straßenverkehrsspezifischen Schadstoffe CO , CH und NO_x ¹³⁾ und in geringem Umfang auch SO_2 möglich wird und zwar mit Hilfe sogenannter relativer Toxizitätsfaktoren, die die unterschiedliche Schädlichkeit der Einzelkomponenten angeben. Diese Faktoren weisen auch heute noch erhebliche Spannweiten auf¹⁴⁾. Für den vorliegenden Beitrag sollen die Toxizitätsfaktoren benutzt werden, die sich aus dem Verhältnis der Kurzzeitemissionsgrenzwerte der Schadstoffe zueinander ermitteln lassen, wie sie gegenwärtig in der Bundesrepublik angewendet werden und in der TA-Luft¹⁵⁾ festgelegt sind. Für die Kohlenwasserstoffe wird ein amerikanischer Faktor benutzt, der für die Gruppe der Kohlenwasserstoffe mit Ausnahme von Methan angegeben ist¹⁶⁾.

Die Aussage der Toxizitätsfaktoren, daß z. B. SO_2 als einhalbmal so schädlich wie etwa Staub angesehen wird, erlaubt eine Zusammenfassung der gewichteten mengenmäßigen

Tabelle 1:

Kurzzeit-Immissionsgrenzwerte und daraus abgeleitete Toxizitätsfaktoren

	Kurzzeit-Immissionsgrenzwerte in mg/m^3	Toxizitätsfaktoren
SO_2	0,40	75
CO	30,00	1
CH	0,29	103
NO	0,60	50
Staub	0,20	150

¹⁰⁾ Vgl. *Lave, L. B.*, *Seskin, E. P.*, Air Pollution and Human Health, in: Science, Vol. 169 (1970), S. 723 ff.

¹¹⁾ *Barrett, L. B.* and *Waddell, Th. E.*, The cost of airpollution damages, a status report, in: RECAT-Report, Cumulative . . . , a.a.O., S. I-J 10.

¹²⁾ *Ebenda*, S. I-J 10.

¹³⁾ Bei der späteren Bewertung wird nur NO berücksichtigt, das mehr als 90% der NO_x -Emission ausmacht. Vgl. *Platzmann, E.*, *Waldeyer, H.*, *Hassel, D.*, Abgasemissionen und Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen mit Otto-Motor in der Bundesrepublik Deutschland (= Vortragsmanuskript anlässlich des FISITA-Kongresses, Mai 1976 in Tokio), S. 11.

¹⁴⁾ RECAT-Report, Cumulative . . . , a.a.O., S. 27; Vgl. auch The report by the federal task force on motor vehicle goals beyond 1980, Washington September 1976, S. 10-1 ff.

¹⁵⁾ Vgl. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft (1. DImSchVwV), 1. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 28. August 1974 (GMBl. S. 426).

¹⁶⁾ Vgl. die Zusammenfassung der Arbeit von *Högger, D.*, Effects of vehicle . . . , a.a.O., S. 23.

Emission beider Schadstoffe¹⁷⁾, auf die dann der geschätzte Gesamtschaden bezogen werden kann. Man erhält dann einen Schadensbetrag pro gewichteter t Emission. Mit diesem sogenannten Proportionalitätsfaktor können dann alle anderen, nach demselben Verfahren vergleichbar gemachten Emissionsmengen bewertet werden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Möglichkeit, an den im Unterschied zur Immission wesentlich einfacher zu erfassenden Schadstoffemissionen anknüpfen zu können. Dies gilt selbst bei größeren Variationen straßenverkehrlicher Parameter. Freilich muß noch einmal betont werden, daß die Aussagefähigkeit der auf diesem Wege gewonnenen Ergebnisse von der Qualität der Hypothese hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen globaler Luftverunreinigung und Gesundheitsschäden abhängig ist.

2. Die Ermittlung von Proportionalitätsfaktoren für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1975

a) Die relevanten Schadstoffemissionen

Die in dieser Arbeit übernommenen Hypothesen hinsichtlich der Schädigung durch Luftverunreinigung benutzen als Luftverunreinigungsindikator Schwefeloxide sowie Staub- und Schwebeteilchen. Zunächst müssen also deren Gesamtemissionsmengen für die Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden. Für 1969 wurden

4 Mio. t Gesamtstaub
und 4 Mio. t SO₂

geschätzt. Diese im Materialienband zum Umweltprogramm der Bundesregierung¹⁸⁾ ausgewiesenen Zahlen wurden im 1974-er Gutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen übernommen¹⁹⁾. Nach Auskunft des Umweltbundesamtes werden entsprechende neue Zahlen erst nach Redaktionsschluß vorgelegt. Es kann jedoch nach Mitteilung des Umweltbundesamtes bei den hier betroffenen Emissionsarten von einer gewissen Verminderung ausgegangen werden, die allerdings noch nicht quantifiziert wurde. Es wird hier die Hypothese gewagt, für 1975 mit 3 Mio. t Staub und 3,5 Mio. t SO₂ zu rechnen.

b) Das Mengengerüst zur Erfassung der Gesundheitsschäden

Als geeignete Mengengrößen für die ökonomische Bewertung von Gesundheitsschäden sind Daten über Erwerbszeiteinbußen und die Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen und Hilfsmitteln anzusehen. Es wird daher ein Mengengerüst aus ausgefallenen Arbeitstagen und -jahren (bei Invalidität), Krankheitstagen, Krankenhaustagen und ambulanten Behandlungsfällen aufgestellt²⁰⁾.

¹⁷⁾ Beispiel: Bei 33 t SO₂ und einem Toxizitätsfaktor von 75 ergeben sich 2475 t gewichteter Emission. Hinzu kommen 28 t Staub. Bei einem Toxizitätsfaktor von 150 sind das 4200 t gewichtete Emission. Diese »gleichnamig« gemachte Emission kann nun zu 6675 t Gesamtemission zusammengefaßt werden.

¹⁸⁾ Vgl. Materialienband zum Umweltprogramm der Bundesregierung (= Schriftenreihe des Bundesministers des Innern, Nr. 1), o. O. 1971, S. 204.

¹⁹⁾ Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Umweltgutachten 1974 (= Bundestagsdrucksache 7/2802 vom 14. 11. 1974), S. 23.

²⁰⁾ Obwohl *Lave/Seskin* auch 15 % der gesamten Krebsmortalität und 25 % der Lungenkrebsmortalität der Luftverunreinigung zurechnen, soll von einer Erfassung von Todesfällen in dem vorliegenden Beitrag aus folgenden Gründen abgesehen werden: Der volkswirtschaftliche Verlust durch vorzeitigen Tod infolge externer Faktoren (z. B. Unfall, Luftverschmutzung usw.) wird bislang fast ausschließlich für Verkehrstote diskutiert. Weil es bei einer ökonomischen Bewertung dieser Schadensfolge um den gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsverlust in Form von Produktionsausfällen (Ertragswertprinzip) geht, spielt das Alter der Getöteten eine wesentliche Rolle. Hier nun unterscheiden sich Unfalltote und an

Als geeignete empirische Basis für die Erfassung der vorübergehenden Beeinträchtigungen liegt eine vom Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung herausgegebene Statistik vor²¹⁾. Für die Erfassung der dauernden Erwerbszeiteinbußen in Form von Berufs- und Erwerbsunfähigkeit steht mit der Statistik der deutschen Rentenversicherungen der Arbeiter und Angestellten²²⁾ gut gegliedertes Zahlenmaterial zur Verfügung.

Zu der Statistik der gesetzlichen Krankenkassen über Arbeitsunfähigkeitstage und fälle sind einige Anmerkungen zu machen:

- Die letzte zur Verfügung stehende Ausgabe dieser Statistik von Ende 1973 enthält Zahlenmaterial nur bis 1969. Allerdings ist dieser time-lag nach Auskunft des Bundesministeriums für Arbeit kein schwerer Mangel. Die in der Statistik erfaßten Daten sind langfristig so konstant, daß das Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung beabsichtigt, diese Statistik nur noch in sehr großen Zeitabständen zu erstellen.
- Weiterhin handelt es sich um eine von den gesetzlichen Krankenkassen mit Ausnahme der Ersatzkassen freiwillig erstellte Statistik. Die privat Versicherten sind nicht erfaßt. Die Freiwilligkeit hat zur Folge, daß sich nicht alle Kassen beteiligen und daß die Zahl der beteiligten Krankenkassen – wenn auch geringfügig – schwankt (1958: 1093, 1967: 1019 und 1969: 1028 Kassen).
- Die Statistik umfaßt einen heterogenen Personenkreis, der zu unterschiedlichen Anteilen repräsentiert wird. Neben den Pflichtmitgliedern mit sofortigem Anspruch auf Barleistungen der Kassen (die zu etwa 75 % erfaßt sind) gibt es eine Gruppe von Pflichtmitgliedern ohne diesen Anspruch (erfaßte Quote: 31 %). Letztere gehören zu dem Personenkreis mit Anspruch auf Lohn- oder Gehaltsfortzahlung im Krankheitsfalle. Da seit dem 1. 1. 1970 diese Lohnfortzahlung für alle Arbeitnehmer gilt, wäre eine solche Aufspaltung der Pflichtmitglieder heute nicht mehr erforderlich.
- Neben diesen beiden Gruppen berücksichtigt die Statistik noch freiwillige Mitglieder (erfaßte Quote 1967: 40 % und 1969: 31 %) und pflichtversicherte Rentner (erfaßte Quote 72 %). Hinzu kommen die Angehörigen sämtlicher Gruppen.
- Um den mit der Erstellung der Statistik erforderlichen Aufwand für die freiwillig mitarbeitenden Krankenkassen in vertretbarem Rahmen zu halten, gehen die

den hier behandelten Krankheiten Gestorbene erheblich. Während für 1973 das Durchschnittsalter des bei einem Kfz-Unfall Getöteten etwa bei 40 Jahren liegt (vgl. Statistisches Jahrbuch 1976, S. 86 f.), ergibt sich für die zweite Gruppe ein Durchschnittsalter von etwa 66 Jahren. Dies gilt gleichfalls für die durch böstartige Neubildungen Getöteten (von der theoretischen Möglichkeit, daß gerade die an Krebs infolge von Luftverunreinigung Verstorbenen weit unter dem Durchschnitt liegen, soll abgesehen werden. Hiergegen spricht im übrigen auch der bekannte Zusammenhang von Krebssterblichkeit und Lebensalter). Das Alter liegt also jenseits der »normalen« Berufstätigkeit. Von in der Literatur für diesen Fall vorgeschlagenen Ersatzlösungen in Form indirekter Indikatoren wie privater Nutzungs- oder Konsumwert der Altersgruppe jenseits des Erwerbsalters soll hier abgesehen werden, nicht zuletzt, um eine methodisch übereinstimmende Bewertung der weiter unten folgenden Erfassung der Produktionsausfälle durch Berufs- und Erwerbsunfähigkeit zu gewährleisten. Gleichwohl sollte man bei der Interpretation der Ergebnisse diesen Sachverhalt berücksichtigen, denn wenn ein Zusammenhang zwischen Luftverunreinigung und gesundheitlicher Beeinträchtigung besteht, beeinflußt dies sicher auch die Mortalität.

²¹⁾ Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.), Statistik der gesetzlichen Krankenkassen über Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage nach Krankheitsarten. (Jeweilige Jg.).

²²⁾ Der Rentenzugang und der Rentenwegfall im Jahre 1975, die Rentenbestände und Rentenzahlungen, die Beitragserstattungen und die Beitragszahlungen zur Krankenversicherung der Rentner in den Jahren 1972 bis 1975 in der Rentenversicherung der Arbeiter und der Rentenversicherung der Angestellten, hrsg. vom Verband Deutscher Rentenversicherungsträger, Frankfurt/Main 1976.

Kassen nach den »Regeln des Stichprobenverfahrens«²³⁾ vor. Die so ermittelten Daten können demnach als repräsentativ gelten. Sie werden linear entsprechend den repräsentierten Anteilen auf 100% fortgeschrieben. Es sind dann ca. 70% aller Versicherten erfaßt²⁴⁾.

Daneben sind jedoch 20% der Bevölkerung in Ersatzkassen und etwa 10% in privaten Krankenkassen versichert²⁵⁾. (Trotz geringfügiger Verschiebungen kann unterstellt werden, daß sich diese Anteile kurzfristig nicht wesentlich verändern). Leider existiert für diese beiden Gruppen eine vergleichbare Krankheitsartenstatistik nicht. Es ist deshalb zu überprüfen, ob ein proportionaler Schluß von den gesetzlichen Versicherten (70%) auf alle Versicherten vertretbar ist²⁶⁾. Die Frage wird hier bejaht: Ein wesentliches Kriterium dafür ist die Übertragbarkeit des Krankenstandes, also die Frage, ob die Mitglieder der Ersatzkassen und privat Versicherten dem Umfang nach von Krankheiten gleich oder zumindest ähnlich betroffen sind wie die Mitglieder der gesetzlichen Krankenkassen, die die Krankheitsartenstatistik umfaßt. Zwischen den Ersatzkassen und den übrigen gesetzlichen Krankenkassen besteht hier fast kein Unterschied. So ergab sich z. B. für Dezember 1968 folgender Krankenstand:

Mitglieder der Ersatzkassen = 3,9%
Mitglieder der übrigen gesetzlichen Krankenkassen = 3,8%²⁷⁾.

Unterschiede des Krankenstandes in den einzelnen Krankheitsarten bringen diese Zahlen freilich nicht zum Ausdruck.

Darüber hinaus wird die Prämisse gesetzt, daß sich der umweltrelevante Lebensraum (Teilnahme am Verkehr, Freizeit usw.) wie auch die Arbeitsplatzbedingungen aller Versicherten spürbar angeglichen haben. Schließlich wird der Zusammenhang zwischen Krankheit und globaler Luftverunreinigung methodisch über die Gesamtexposition ermittelt: *Ridker et al.* korrelieren globale Luftverunreinigungsdaten mit globalen Krankheitsdaten ohne Berücksichtigung spezifischer Arbeitsplatzexpositionen und regionaler Differenzierungen. Es erscheint daher durchaus gerechtfertigt, die in der Statistik der Arbeitsunfähigkeits- und Krankenhaustage repräsentierten 70% auf 100% der Versicherten proportional hochzurechnen.

- Für die Pflichtmitglieder mit sofortigem Anspruch auf Barleistungen werden die Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage sowie die darin enthaltenen Krankenhaustage und -tage erfaßt, für die Pflichtmitglieder ohne sofortigen Anspruch auf Barleistungen der Kasse, die freiwilligen Mitglieder und die pflichtversicherten Rentner jedoch nur die Krankenhaustage und -tage, weil im Lohnfortzahlungsfall Arbeitsunfähigkeits-tage ohne Krankenhausaufenthalt nicht in die Statistik der Kassen gelangen. Für das Ergebnis bedeutet dies, daß ein durchaus gewichtiger Teil der ökonomischen

²³⁾ Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung . . . , a.a.O., S. 3.

²⁴⁾ Nahezu 100% der Bevölkerung in der Bundesrepublik gehören einer Krankenversicherung an. Vgl. Der Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.), Gesundheitsbericht, Bonn 1971, S. 68.

²⁵⁾ Ebenda, S. 68; Vgl. auch: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.), Arbeits- und sozialstatistische Mitteilungen, 21. Jg., Bonn 1970 sowie: Verband der privaten Krankenversicherung e. V., Die private Krankenversicherung im Jahre 1976, Köln 1977, S. 35.

²⁶⁾ Der Einfachheit halber werden später die ermittelten Wertansätze und nicht das Mengengerüst hochgerechnet (ergebnisunabhängig). Die Notwendigkeit der Fortschreibung wurde trotzdem an dieser Stelle erwähnt.

²⁷⁾ Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.), Arbeits- und sozialstatistische Mitteilungen, a.a.O.

Einbußen nicht erfaßt werden kann. Eine Statistik nach 1970 (generelle Lohnfortzahlung) würde diesen Fehler verkleinern. Auch für die Angehörigen aller Gruppen werden keine Arbeitsunfähigkeitsäquivalente berücksichtigt²⁸⁾.

- Schließlich ist zu berücksichtigen, daß die Statistik natürlicherweise nur den »erfaßten« Krankenstand (Arztbesuch, Krankmeldung) enthält. Fälle, in denen Personen zwar infolge von Luftverunreinigung erkrankten oder belastet waren, aber nicht zum Arzt gingen oder sich nicht krank meldeten, sind nicht berücksichtigt.

Die betrachteten Krankheitsarten stimmen im wesentlichen mit den in den Regressionsanalysen von *Ridker* bzw. *Lave/Seskin* zur Hypothesenbildung verwendeten überein. Folgende Krankheitsarten sind zu berücksichtigen: Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane, Neubildungen (Tumore), Krankheiten der Atmungsorgane außer bösartigen Neubildungen, außer Tbc und außer Asthma Bronchiale (Lungenasthma), Tuberkulose der Atmungsorgane, Asthma Bronchiale.

Geringfügige Abweichungen zwischen dieser und der Krankheitsartenabgrenzung von *Ridker et al.* können in Kauf genommen werden. Obwohl *Lave/Seskin* auf den Zusammenhang zwischen Luftverunreinigung und »cardiovascular disease« hinweisen, sollen Herzerkrankungen außer wegen der schlechten Vergleichbarkeit des Datenmaterials (die deutsche Krankheitsartenstatistik weist verschiedene Herzerkrankungen aus) auch aufgrund der schwachen Basis des ursächlichen Zusammenhangs unberücksichtigt bleiben: »We caution the reader that the evidence relating cardiovascular disease to air pollution is less comprehensive than that linking bronchitis and lung cancer to air pollution«²⁹⁾.

Das Mengengerüst aus Arbeitsunfähigkeits- und Krankenhaustagen, aus Krankheitsfällen für die Berücksichtigung der ambulanten Kosten sowie aus Berufs- und Erwerbsunfähigkeitsjahren ist in den folgenden Tabellen 2, 3, 4 dargestellt:

Tabelle 2:

Summe der Arbeitsunfähigkeitstage und Krankenhaustage in der Bundesrepublik Deutschland 1969 (100%) — (Für die spätere Bewertung werden 2 Gruppen gebildet)

Krankheitsart	Statistisch erfaßte Arbeitsunfähigkeitstage	Krankenhaustage
Tbc der Atmungsorgane	2 286 926	321 518
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	505 030	840 279
Asthma Bronchiale	1 227 588	858 470
Übrige Atmungsorganerkrankungen	54 153 386	10 304 338
Summe	58 172 930	12 324 695
Bösartige Neubildungen insgesamt	4 744 263	8 458 492

²⁸⁾ Das Problem der nicht berücksichtigten Hausarbeit bleibt in der vorliegenden Untersuchung ausgeklammert. Neuere Überlegungen dazu werden angestellt bei *Willeke, R., Jäger, W., Lindenlaub, K. H.*, Nutzen-Kosten-Untersuchungen von Verkehrssicherheitsmaßnahmen (= Schriftenreihe der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. [FAT], Nr. 5), Frankfurt/Main 1977, S. 125 ff.

²⁹⁾ *Lave, B., and Seskin, E. R.*, Air Pollution . . . , a.a.O., S. 727.

Tabelle 3:

Krankheitsfälle in der Bundesrepublik Deutschland in Abhängigkeit von der Krankheitsart 1969³⁰⁾

Krankheitsart	Krankheitsfälle
Tbc der Atmungsorgane	17 445
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	22 410
Asthma Bronchiale	51 445
Übrige Atmungsorganerkrankungen	4 199 105
Summe	4 290 405
Bösartige Neubildungen insgesamt	313 998

Tabelle 4:

Der Zugang an jeweiligen Renten (Statistisch zu 100%^o erfaßt) in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1975^{*)} in absoluten Zahlen

Krankheitsart	Arbeiter			
	Berufsunfähigkeit		Erwerbsunfähigkeit	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	71	6	1379	151
Bösartige Neubildungen insgesamt	359	352	4843	7203
Asthma Bronchiale	117	50	468	356
Übrige Atmungsorganerkrankungen	1392	367	6774	2212
	Angestellte			
	Berufsunfähigkeit		Erwerbsunfähigkeit	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	40	1	315	89
Bösartige Neubildungen insgesamt	180	247	1439	4500
Asthma Bronchiale	31	21	136	223
Übrige Atmungsorganerkrankungen	200	59	1094	737

^{*)} Über die Invalidität infolge von Tbc der Atmungsorgane stehen keine Daten zur Verfügung.

³⁰⁾ Diese Statistik kann wegen ihres Bezuges zur Arbeitsunfähigkeitsstatistik nicht aktualisiert werden. Vergleichbare neuere Angaben liegen nur für andere (meldepflichtige) Krankheitsarten vor. Vgl. Statistisches Jahrbuch 1976, S. 81.

c) Bewertung des Mengengerüsts

— Die Arbeitsunfähigkeit wird mit dem Nettosozialprodukt zu Faktorkosten (= Volkseinkommen) je Erwerbstätigen, bezogen auf den Arbeitstag, bewertet. Dieser Ansatz wird noch am ehesten dem Charakter des volkswirtschaftlichen Produktionsprozesses als Kombination der Faktoren gerecht.

Das Volkseinkommen je durchschnittlich Erwerbstätigen betrug in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1975 31 305,— DM³¹⁾. Bei 252 Arbeitstagen pro Jahr ergibt sich pro Tag ein Betrag von 124,23 DM.

Das Ergebnis der Bewertung ist in der folgenden Tabelle 5 dargestellt:

Tabelle 5: Bewertung der Arbeitsunfähigkeitstage

Krankheitsart	Arbeitsunfähigkeitstage	Bewertungsfaktor in DM	Wert in Mio. DM
Tbc der Atmungsorgane	2 286 926	124,23	284,0
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	505 030	124,23	62,7
Asthma Bronchiale	1 227 588	124,23	152,5
Übrige Atmungsorganerkrankungen	54 153 386	124,23	6727,5
Summe	58 172 930	124,23	7226,8
Bösartige Neubildungen insgesamt	4 744 263	124,23	589,4

— Die Krankenhaustage von Beschäftigten und Nichtbeschäftigten werden mit den stationären Behandlungskosten bewertet. Geeigneter Indikator ist hier der Tagespflegesatz der allgemeinen Pflegeklasse, auf die die überwiegende Zahl von Krankenhauspflegetagen entfällt, der seit dem 3. 5. 1973 auch die Kosten aller »medizinisch notwendigen Leistungen« enthält³²⁾. Er betrug nach Angaben der Deutschen Krankenhausgesellschaft 1974/75 = 149,50 DM und 1975/76 = 145,— DM³³⁾.

Der Krankenhaustag soll hier mit 150,— DM bewertet werden.

Die folgende Tabelle 6 gibt das Bewertungsergebnis wieder:

Tabelle 6: Bewertung der Krankenhaustage

Krankheitsart	Krankenhaustage	Bewertungsfaktor in DM	Wert in Mio. DM
Tbc der Atmungsorgane	321 518	150,—	48,2
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	840 279	150,—	126,0
Asthma Bronchiale	858 470	150,—	128,8
Übrige Atmungsorganerkrankungen	10 304 338	150,—	1545,7
Summe	12 324 695	150,—	1848,7
Bösartige Neubildungen insgesamt	8 458 492	150,—	1268,8

³¹⁾ Statistisches Jahrbuch 1976, S. 522.

³²⁾ Vgl. Verordnung zur Regelung der Krankenhauspfllegesätze Bundespflegesatzverordnung (BpflV).

³³⁾ Verband der privaten Krankenversicherung e. V., Die private Krankenversicherung im Jahre 1976, a.a.O., S. 67.

— Jeder Krankheitsfall wird auch mit ambulanten Kosten belastet. Statistische Angaben über Wert und Zahl der ambulanten Konsultationen für Unfallverletzte stehen nicht zur Verfügung. Nach Auskunft der Kassenärztlichen Bundesvereinigung vom 19. 7. 1977 betragen die liquidationsfähigen Arztkosten eines ambulanten Falles pro Quartal im Jahre 1976 = 46,— DM. Hinzu kommen Kosten für Medikamente und andere Heilmittel. Es sollen pro Krankheitsfall für ambulante Kosten 80,— DM angesetzt werden.

Die Tabelle 7 stellt die Beträge für die einzelnen Krankheitsarten zusammen:

Tabelle 7: *Ambulante Behandlungskosten*

Krankheitsart	Krankheitsfälle	Bewertungsfaktor in DM	Wert in Mio. DM
Tbc der Atmungsorgane	17 445	80,—	1,4
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	22 410	80,—	1,8
Asthma Bronchiale	51 445	80,—	4,1
Übrige Atmungsorganerkrankungen	4 199 105	80,—	335,9
Summe	4 290 405	80,—	343,2
Bösartige Neubildungen insgesamt	313 998	80,—	25,1

— Schließlich sind auch die langfristigen ökonomischen Folgen in Form von Produktionsausfällen durch Berufs- und Erwerbsunfähigkeit zu bewerten. Das Mengengerüst in Tabelle 4 wird dazu durch Angaben über das Zugangsalter der Rentenbezieher ergänzt. Bewertet wird der volkswirtschaftliche Verlust vom Rentenbeginn bis zum normalen Ruhestandsalter (Männer 65 Jahre, Frauen 60 Jahre). Wird z. B. ein 50-jähriger Mann erwerbs- oder berufsunfähig, wird sein Produktionsausfall für 15 Jahre geschätzt. Bewertungsfaktor ist das prognostizierte, auf 1975 diskontierte Volkseinkommen je Beschäftigten³⁴⁾³⁵⁾. Die ermittelten Kostenbeträge werden voll dem Jahr des Rentenbeginns zugerechnet. Dies ist insofern unbefriedigend, als sich der Übergang zur Berufs- bzw. Erwerbsunfähigkeit nicht abrupt vollzieht, sondern Endpunkt eines über Jahre laufenden kumulativen Prozesses ist. Auch Ursachenfaktoren in den Jahren X—i führen schließlich zur Berufs- oder Erwerbsunfähigkeit im Jahre X. Über die zeitliche Verteilung dieses Prozesses sind aber keine plausiblen Annahmen möglich. Dieser Mangel wird bei längerfristiger Betrachtung allerdings dadurch gemindert, daß dem Jahr X + 1 auch kein Anteil aus dem Jahre X zugerechnet wird. Für die Bewertung ist schließlich noch zu berücksichtigen, daß der Produktionsausfall durch Berufs- bzw. Erwerbsunfähigkeit unterschiedlich ist. Versicherungsrechtlich bedeutet Berufsunfähigkeit, daß die berufliche Tätigkeit maximal bis »unterhalbschichtig« ausgeführt werden darf, demgegenüber darf bei Erwerbs-

³⁴⁾ Es wurde eine jährliche Steigerung von 7% unterstellt. Dies ist die niedrigste Zuwachsrate der Jahre 1970—1975.

³⁵⁾ Als Diskontsatz wurden 3% gewählt. Zur Diskussion über die Wahl des richtigen Zinssatzes vgl. neuerlich Willeke, R., Jäger, W., Lindenlaub, K. H., Kosten-Nutzen-Untersuchungen . . ., a.a.O., S. 56 ff.

unfähigkeit maximal $\frac{1}{5}$ des normalen Einkommens erzielt werden. Entsprechend höher ist hier also bei unterstellter 20%-iger Beschäftigung der Produktionsausfall. Über den tatsächlichen Beschäftigungsgrad der Berufs- und Erwerbsunfähigen werden keine Daten erhoben, hier sind demnach plausible Annahmen zu treffen. Erste Einflußgröße für den Beschäftigungsumfang wird die jeweilige Konjunkturlage sein. Es wird hier die Hypothese getroffen, daß es zumindest die Erwerbsunfähigen, die lediglich bis zu 20% ihrer Arbeitsleistung anbieten können, in der Regel schwer haben werden, eine Beschäftigung zu finden. Die Erwerbsunfähigkeit wird deshalb als vollständiger Produktionsausfall bewertet. Schwieriger ist eine Annahme für den Beschäftigungsumfang der Berufsunfähigen. Daß alle Berufsunfähigen ihr Arbeitsangebot bis zur Maximalgrenze (49%) ausschöpfen können, erscheint unwahrscheinlich. Es wird deshalb ein durchschnittlicher Beschäftigungsgrad von 30% unterstellt, was einem ökonomischem Verlust von 70% entspricht.

In der folgenden Tabelle 8 ist das Ergebnis dieser Bewertung für das Jahr 1975 dargestellt (siehe Seiten 206/207):

d) *Die Proportionalitätsfaktoren für die Bundesrepublik im Jahre 1975*

Mit den am Anfang genannten Hypothesen über den mengenmäßigen Anteil der globalen Luftverunreinigungen an den Gesundheitsschäden lassen sich nun ohne Schwierigkeiten auch deren monetäre Äquivalente bestimmen. *Ridker* hatte 20% aller Gesundheitsschäden der Atmungsorgane der SO₂- und Staubluftverunreinigung zugeordnet. Im vorliegenden Beispiel wären das 2747,1 Mio. DM für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1975. *Lave/Seskin* ermittelten für die gleiche Krankheitsgruppe einen 50%-igen Anteil. Der entsprechende monetäre Wert für die Bundesrepublik in 1975 ist dann 6867,9 Mio. DM. Hinzu kommen bei *Lave/Seskin* noch 15% der Gesundheitsschäden der übrigen Krebsarten (ohne die der Atmungsorgane, die im ersten Wert enthalten sind). Hierfür errechnet sich ein Betrag von 1261,7 Mio. DM. Die Werte von *Ridker* einerseits (= 2747,1 Mio. DM, Alternative I) und *Lave/Seskin* andererseits (= 8129,6 Mio. DM, Alternative II) sollen parallel verwendet werden, um die große Spannweite der Grundhypothese deutlich zu machen.

Durch Bezug dieser Schadenswerte auf die gewichteten Emissionstonnen von SO₂ und Staub werden abschließend die gesuchten Proportionalitätsfaktoren (= DM-Betrag pro Tonne gewichteter Emission) ermittelt, die zur Bewertung der straßenverkehrsspezifischen Abgaskomponenten CO, CH, NO, SO₂ erforderlich sind. Als Gewichte werden die aus den Immissionsgrenzwerten der TA-Luft ermittelten Toxizitätsfaktoren für SO₂ (= 75) und für Staub (= 150) angewendet, die zu einer globalen Gesamtemission aus diesen beiden Bestandteilen von 712,5 Mio. t für das Jahr 1975 führen.

Demnach errechnen sich folgende Proportionalitätsfaktoren:

$$\text{Alternative I} = \frac{2747,1}{712,5} = 3,86 \text{ DM/t gewichteter Emission,}$$

$$\text{Alternative II} = \frac{8129,6}{712,5} = 11,40 \text{ DM/t gewichteter Emission.}$$

Mit diesen Werten können nun die auf analoge Weise gewichteten Emissionen anderer Schadstoffe bewertet werden.

	Arbeiter					
	Berufsunfähigkeit (70% Produktionsausfall)					
	Männer			Frauen		
	Zahl Renten	Laufzeit	Wert in Mio. DM	Zahl Renten	Laufzeit	Wert in Mio. DM
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	71	10 J	20,9	6	3 J	
Bösartige Neubildungen insgesamt	359	11 J	117,4	352	8 J	
Asthma Bronchiale	117	15 J	55,6	50	8 J	
Übrige Atmungsorganerkrankungen	1392	8 J	321,3	367	3 J	
	Angestellte					
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane	40	9 J	10,5	1	16 J	
Bösartige Neubildungen insgesamt	180	10 J	52,9	247	9 J	
Asthma Bronchiale	31	9 J	8,1	21	8 J	
Übrige Atmungsorganerkrankungen	200	5 J	29,0	59	1 J	

Tabelle 8: Bewertung der Berufs- und Erwerbsunfähigkeit

In der Summe stellen sich die verschiedenen Kostenkomponenten folgendermaßen dar (vgl. Tabelle 9):

Tabelle 9:

Summe der Kosten über alle Kostenarten nach Krankheitsarten in der Bundesrepublik Deutschland 1975

Krankheitsart	Kostenart	Arbeitsunfähigkeitstage in Mio. DM	Krankenhaustage in Mio. DM	Ambulante Kosten in Mio. DM	Berufs- und Erwerbsunfähigkeit in Mio. DM	Summe in Mio. DM
Tbc der Atmungsorgane		284,0	48,2	1,4	—*)	333,6
Bösartige Neubildungen der Atmungsorgane		62,7	126,0	1,8	781,6	972,1
Asthma Bronchiale		152,5	128,8	4,1	433,6	719,0
Übrige Atmungsorganerkrankungen		6727,5	1545,7	335,9	3101,8	11710,9
Summe		7226,7	1848,7	343,2	4317,0	13735,7
Bösartige Neubildungen insgesamt		589,4	1268,8	25,1	7499,8	9383,1
Bösartige Neubildungen ohne die der Atmungsorgane		526,7	1142,8	23,3	6718,2	8411,0

*) Keine Angaben verfügbar.

	Arbeiter					
	Erwerbsunfähigkeit (100% Produktionsausfall)					
	Männer			Frauen		
	Wert in Mio. DM	Zahl Renten	Laufzeit	Wert in Mio. DM	Zahl Renten	Laufzeit
	0,6	1379	10 J	578,7	151	6 J
	81,2	4843	13 J	2760,1	7203	7 J
	11,5	468	10 J	196,4	356	4 J
	34,1	6774	8 J	2233,5	2212	1 J
	Angestellte					
	0,5	315	8 J	103,9	89	8 J
	64,6	1439	11 J	672,4	4500	9 J
	4,8	136	9 J	50,8	223	5 J
	2,6	1094	7 J	314,3	737	3 J

III. Die monetäre Schadenserfassung für einen konkreten innerstädtischen Straßenabschnitt: Ein Anwendungsbeispiel

Die bisherigen Überlegungen basieren auf einer Hypothese über den Zusammenhang zwischen globaler Luftverschmutzung durch zwei Emissionsarten (SO₂ und Staub) und gesundheitlichen Schäden ohne Berücksichtigung regionaler Differenzierungen. Werden nun für diesen Fall Gesundheitsschäden festgestellt, kann man wohl davon ausgehen, daß darüber hinaus auch Schäden durch lokal massiert vorhandene Luftverunreinigungs-komponenten auftreten, deren Höhe sich über die Schädlichkeitsrelationen (Toxizitätsfaktoren) der Schadstoffe zueinander ermitteln läßt. Im folgenden werden auf diesem Wege beispielhaft monetäre Werte von Gesundheitsschäden durch straßenverkehrs-spezifische Abgaskomponenten (CO, CH, NO, SO₂) auf einem konkreten Straßenabschnitt der Kölner Innenstadt ermittelt. Die Emissionsmengen können den Untersuchungen des TÜV-Rheinland entnommen werden³⁶⁾.

Weil das citynähere Teilstück wegen der größeren Verkehrsdichte auch größere Emissionen aufweist, wird die insgesamt 4,5 km lange Strecke in zwei Teilstrecken von 1,98 km (Teilstrecke a) und 2,52 km (Teilstrecke b) Länge aufgeteilt.

³⁶⁾ Vgl. Technischer Überwachungs-Verein Rheinland e. V., Analyse der Zusammenhänge zwischen Verkehrsaufkommen, Verkehrszusammensetzung und Umfang der Abgasbelastung (= Teilstudie III. 1.1 der Untersuchung der Umweltbelastung und Umweltschädigung durch den Straßenverkehr in Stadtgebieten (Lärm und Abgase), Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn und der Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel), 1973. Die Emissionen werden durch Verknüpfung von spezifischen Emissionsfaktoren für das Einzelfahrzeug mit verkehrsspezifischen Parametern des konkreten Straßenabschnitts ermittelt (vgl. Kap. IV.). Die den Emissionswerten dieser Arbeit zugrundeliegenden spezifischen Emissionsfaktoren wurden vom TÜV Rheinland erstmalig 1970 für einen repräsentativen Querschnitt von im Verkehr befindlichen Pkw bestimmt. Eine Fortschreibung auf die Basis 1975 ist in Arbeit, aber noch nicht abgeschlossen. Erstmals berichtet wurde darüber auf dem FISITA-Kongreß im Mai 1976 in Tokio. Vgl. Pfaffmann, E., Waldeyer, H., Hassel, D., Abgasemissionen . . . , a.a.O. Die Ergebnisse der Rollenprüfstandtests der ersten 34 Fahrzeuge lassen tendenziell

1. Die CO-Belastung

Die spezifische CO-Belastung der Strecke betrug im Jahre 1971 auf dem Teilstück

a = 150–200 t CO pro Jahr und km
und b = 300–737 t CO pro Jahr und km.

Für die Gesamtstrecke sind dies

a = 297 – 396 t/a
und b = 756 – 1857 t/a
Summe = 1053 – 2253 t/a.

Aus Vereinfachungsgründen soll nur mit den Klassenmitten (= 1653 t/a) weitergerechnet werden³⁷⁾. Da die Giftigkeit der übrigen Schadstoffe auf CO bezogen wurde³⁸⁾ – die relative Toxizität für CO wird = 1 gesetzt – brauchen die CO-Tonnen nicht gewichtet zu werden. Eine unmittelbare Anwendung der Proportionalitätsfaktoren (= DM-Betrag pro gewichteter Tonne Schadstoff) ist möglich. Für die beiden Bewertungsalternativen 3,86 DM/t und 11,40 DM/t errechneten sich für die CO-Emission auf diesem Straßenstück folgende Gesundheitsschäden pro Jahr:

Alternative I = 6 381,- DM
Alternative II = 18 844,- DM

2. Die CH-Belastung

Für das gleiche Teilstück sind folgende CH-Emissionen zu bewerten:

Teilstück a = 17,35 t CH/a
Teilstück b = 47,00 t CH/a
Summe = 64,35 t CH/a.

Diese CH-Emissionen müssen nun mit dem Toxizitätsfaktor (= 103) gewichtet werden. Das ergibt die unspezifizierte Schadstoffmenge von 6628 t/a.

Bewertet mit den Proportionalitätsfaktoren errechnen sich Gesundheitsschäden in Höhe von:

Alternative I = 25 584,- DM und
Alternative II = 75 559,- DM.

erkennen, daß seit 1970 im Bereich niedriger Geschwindigkeiten, etwa bis zur mittleren Fahrgeschwindigkeit des gesetzlich institutionalisierten und deshalb den Herstellern als Orientierung dienenden europäischen Fahrzyklus (= 19 km/h) für CO und CH eine fühlbare Emissionsverbesserung eingetreten ist (im wesentlichen durch entsprechende Abmagerung des Kraftstoff-Luft-Gemisches). Gleichzeitig erhöhen sich aber schon in diesem Geschwindigkeitsbereich die NO_x-Werte beträchtlich. Der CO-Wert liegt jenseits der 30 km/h auch über dem 1970er Vergleichswert, während die CH-Emission ständig unter den 70er Werten bleibt, so daß insgesamt ein Vergleich der 1975er Emissionssituation mit der in 1970 nicht möglich ist. Daß sich die Emissionen insgesamt erheblich in die eine oder andere Richtung verändert hätten, ist aber bei aller Vorsicht kaum anzunehmen. Die nicht mögliche Aktualisierung der auf den spezifischen Emissionsfaktoren des Jahres 1970 basierenden Emissionen für den betrachteten Straßenabschnitt erscheint für die Beispielsrechnung vertretbar.

³⁷⁾ Der Beispielcharakter der Rechnung läßt dies zu. An sich steht dieser Durchschnittsbildung entgegen, daß dem gemittelten Emissionswert rechnerisch ein Modus (= durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit) zugeordnet würde, der den tatsächlichen Stadtverkehrsparametern nicht entspricht.

³⁸⁾ Vgl. dazu die Ausführungen über die Ermittlung der Toxizitätsfaktoren.

3. Die NO-Belastung

Folgende NO-Emissionen treten auf:

Teilstück a = 10,5 t NO/a
Teilstück b = 17,0 t NO/a
Summe = 27,5 t NO/a.

Bei einem Toxizitätsfaktor von 50 errechnen sich als gewichtete Emissionen 1375 t/a

Das ergibt folgende Gesundheitsschäden pro Jahr:

Alternative I = 5 308,- DM
Alternative II = 15 675,- DM.

4. Die verkehrsspezifische SO₂-Belastung

Der Vollständigkeit halber sei trotz geringer Mengen auch SO₂ aufgeführt:

Teilstück a = 2,22 t SO₂/a
Teilstück b₁³⁹⁾ = 0,32 t SO₂/a
Teilstück b₂ = 3,40 t SO₂/a
Summe = 5,94 t SO₂/a.

Das ergibt (Toxizitätsfaktor 75) 445,5 t gewichtete Emission, die zu Gesundheitsschäden in Höhe von

Alternative I = 1720,- DM und
Alternative II = 5079,- DM führt.

Nach dem gleichen Verfahren lassen sich auch die Blei- und Rußemissionen des Kraftverkehrs bewerten. Die hier mit Ausnahme für den CH-Immissionsgrenzwert benutzte TA-Luft gibt aber keine Grenzwerte für Ruß und Blei an, es soll deshalb hier auf eine Bewertung dieser beiden Schadstoffkomponenten verzichtet werden.

5. Ergebnis der Bewertung

In einem letzten Schritt schließlich können die monetisierten Gesundheitsschäden einzelner Schadstoffe zum Gesamtschaden durch straßenverkehrsspezifische Abgaskomponenten für einen konkreten Straßenabschnitt zusammengefaßt werden. Im vorliegenden Beispiel errechnet sich ein Betrag pro Jahr in Höhe von:

Alternative I = 38 993,- DM
Alternative II = 115 193,- DM.

IV. Die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Lösungsansatzes

Sollen bei der Planung städtischer Verkehrsinvestitionen auch Umwelteffekte berücksichtigt werden, müssen diese zunächst der Investition zuzurechnen sein. Bei der hier vorgestellten Vorgehensweise, die an der Emission anknüpft, ist dies möglich, sofern der Effekt der Investition auf die Verkehrsmenge bestimmbar ist, die seinerseits den Schluß auf die proportional veränderte Emission zuläßt, die dann nach dem obigen Verfahren

³⁹⁾ Teilstück b ist hier unterschiedlich belastet.

bewertet werden kann. Die Aussage der proportionalen Emissionsveränderung muß allerdings ergänzt werden. Die Verkehrsmenge reicht als Parameter für die Bestimmung der Emissionsänderung nur solange aus, wie das jeweilige Fahrverhalten (= Fahrzustand) trotz veränderter Verkehrsmenge gleich bleibt. Zum Verständnis ist hier ein kurzer Exkurs erforderlich. Das Fahrverhalten läßt sich mit Hilfe sogenannter Fahrzyklen⁴⁰⁾ beschreiben, die eine Abfolge verschiedener Phasen (Stand, Beschleunigung, konstante Geschwindigkeit, Verzögerung) umfassen und sich durch eine bestimmte mittlere Fahrgeschwindigkeit auszeichnen. Je nach Anteil der verschiedenen Phasen ergeben sich unterschiedliche mittlere Fahrgeschwindigkeiten für die einzelnen Fahrzyklen. Um die Vielfalt einzuschränken, wird ein Bereich von durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten verschiedener Fahrzyklen durch eine mittlere Geschwindigkeit repräsentiert. Man spricht dann von einem Fahrmodus. Für jeden Fahrmodus weisen die Fahrzeuge eine durchschnittliche Emission pro Zeiteinheit auf, die durch den sogenannten spezifischen Emissionsfaktor gekennzeichnet wird. Außer vom Fahrzustand hängt die spezifische Emission darüber hinaus von fahrzeugspezifischen Parametern ab. Hier sind neben dem motorischen Verbrennungsverfahren (Otto, Diesel) die Art der Gemischaufbereitung (Vergaser, Einspritzung), Verdichtungsverhältnis, Hubraum, Form des Brennraums und Wartungszustand zu nennen⁴¹⁾.

Die Gesamtemission eines Schadstoffes x ($= E_x$) auf einer Linienquelle (= Straßenabschnitt) läßt sich dann folgendermaßen bestimmen:

$$E_x = \frac{\text{Verkehrsmenge} \times \text{Länge der Quelle}}{\text{Durchschnittliche Geschwindigkeit}} \cdot e_x$$

Berücksichtigt man die Dimensionen der einzelnen Faktoren, ergibt sich:

$$E_x = \frac{\text{Kfz/h} \cdot \text{km}}{\text{km/h}} \cdot (\text{kg/Kfz} \cdot \text{h}) \\ = \text{Kfz/h} \cdot \text{km} \cdot (\text{kg/Kfz} \cdot \text{km})$$

Sofern e_x in kg/km angegeben wird, ist die Länge der Quelle = 1 und man erhält

$$E_x = \text{Kfz/h} \cdot e_x \text{ (kg/Kfz} \cdot \text{km)}$$

Es zeigt sich, daß sich E_x nur dann um den gleichen Prozentsatz wie die Kfz-Menge ändert, wenn e_x konstant bleibt. Ändert sich auch e_x , genügt es zur Ermittlung des Investitionseffekts auf die Umweltsituation nicht mehr, nur die Änderung der absoluten Verkehrsmenge zu berücksichtigen, es ist dann auch die veränderte spezifische Emission zu erfassen.

Hierzu müssen veränderte Fahrzustände, repräsentiert durch die mittlere Fahrgeschwindigkeit, erfaßt werden, darüber hinaus auch technische Veränderungen am Fahrzeug

⁴⁰⁾ Vgl. *Plafmann, E.*, Neue Versuchsanlage des TÜV Rheinland zur Ermittlung der Kraftfahrzeug-Emissionen im Rahmen eines Emissionskatasters, in: Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen und ihre Bedeutung für die Luftreinhaltung, Kolloquium des Technischen Überwachungsvereins Rheinland e. V. am 23. 7. 1970 (= Schriftenreihe für Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in der Industrie, TÜV-Akademie Rheinland [Hrsg.], Heft 2), Köln 1971, S. 31 ff.

⁴¹⁾ Einzelheiten zu den fahrzeugspezifischen Kenngrößen finden sich bei *May, H.* und *Plafmann, E.*, Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen in Großstädten und industriellen Ballungsgebieten (= Schriftenreihe Umweltschutz des Technischen Überwachungsvereins [TÜV] Rheinland e. V., *Kuhlmann, H.* [Hrsg.], Band 3, Köln 1973, S. 68). Inzwischen werden weitere Einflußfaktoren der Emissionen untersucht. Vgl. dazu *Plafmann, E.*, *Waldeyer, A.*, *Hassel, D.*, Abgasemissionen . . . , a.a.O.

selbst bzw. die veränderte Zusammensetzung des Verkehrsstroms (z. B. mehr Dieselfahrzeuge, mehr Elektrofahrzeuge oder abgasverbesserte Fahrzeuge). Die Veränderung des Fahrzustands läßt sich theoretisch mit Hilfe von Geschwindigkeits-Durchfluß-Funktionen oder empirisch durch Geschwindigkeitsmessungen feststellen. Der Einfluß veränderter fahrzeugspezifischer Kenngrößen auf die Emission ist durch Rollenprüfstandtests zu ermitteln. Das bedeutet auch, daß sich der abgasseitige Fortschritt bei Fahrzeug- bzw. Antriebstechnik über den spezifischen Emissionsfaktor in die Emissions-erfassung und -bewertung integrieren läßt. Da alle drei Einflüsse auf die Gesamtemission (Verkehrsmenge, Fahrzustand, fahrzeugspezifische Kenngrößen) berücksichtigt werden können und nicht von lokalen Besonderheiten abhängen, kann die vorgeschlagene Bewertungsmethode ein breites Fragenspektrum abdecken. Dies würde sich selbst dann nicht ändern, wenn anstelle der Emission direkt die Immission berücksichtigt werden könnte, weil auch sie sich in Abhängigkeit von der Verkehrsmenge beschreiben läßt.

Außer den Veränderungen bei Verkehrsmenge, Fahrzustand und fahrzeugspezifischen Kenngrößen müssen auch die durch Verkehrsinfrastrukturinvestitionen auftretenden Verlagerungen erfaßt werden. Sie sind sowohl im Hinblick auf den Verkehrsweg wie auch im Hinblick auf das Verkehrsmittel möglich. Hier genügt der Hinweis, daß es methodisch und empirisch möglich ist, die verkehrsmäßige Belastung der Teilstrecken unterschiedlicher Netzvarianten unter Berücksichtigung des Individual- wie des öffentlichen Verkehrs sehr genau zu bestimmen⁴²⁾.

Dabei werden die Verkehrsströme eines bestimmten Zeitpunkts (z. B. zum Zeitpunkt des Planungsziels) auf die einzelnen Netzvarianten umgelegt. Solchen Umlegungsmodellen liegen stochastische Simulationen beispielsweise über die Wahl der zeitgünstigsten Wege zugrunde⁴³⁾. Ergebnis eines Umlegungsverfahrens sind die Belastungswerte jedes einzelnen Streckenabschnitts der untersuchten Netzvariante. Auch von dieser Seite stehen dem oben vorgestellten Bewertungsverfahren keine Schwierigkeiten entgegen. Im Gegenteil – die bei diesem Verfahren mögliche starke Disaggregation der Umweltbelastung auf einzelne Straßenabschnitte und kritische Punkte gestattet eine exakte Berücksichtigung von Umwelteffekten durch städtische Verkehrswegeinvestitionen.

Schließlich muß noch auf den sich eventuell durch Verkehrsinfrastrukturinvestitionen ändernden modal-split hingewiesen werden. Gerade für die Luftverunreinigung kommt dem erhöhte Bedeutung zu, wird doch vielfach übersehen, daß bei einer Substitution von Individualverkehr durch beispielsweise elektrisch betriebenen öffentlichen Nahverkehr die gesamte Umweltbelastung nicht auf Null sinkt, sondern zunächst eine – wahrscheinlich allerdings positive – Verlagerung vom Auspuff zum stromerzeugenden Elektrizitätswerk stattfindet. Das Bewertungsverfahren kann dieses Problem berücksichtigen, sofern die spezifischen Emissionen in bezug auf den Ausnutzungsgrad der eingesetzten Primärenergie für eine identische Verkehrsleistung (z. B. Personen-km) unter Stadtverkehrsbedingungen auch anderer Verkehrsmittel bekannt sind. Hier treten gegenwärtig (vom Bewertungsverfahren allerdings unabhängig) unüberwindbare Schwierigkeiten auf, insbesondere wegen der räumlich weit auseinanderfallenden »Standorte« von Energieerzeugung und -verbrauch⁴⁴⁾.

⁴²⁾ Vgl. die Fülle von Generalverkehrsplänen für Städte oder Regionen.

⁴³⁾ Vgl. etwa Stadt Köln (Hrsg.) Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse zum Generalverkehrsplan, Köln 1973, S. 12 f.

⁴⁴⁾ Vgl. *Willeke, R.*, *Marburger, E. A.*, *Herion, E.*, Die Berücksichtigung von Umweltbelastungen . . . , a.a.O., S. 226 ff.

Abschließend sei noch einmal betont, daß der wesentliche Vorteil des vorgestellten Bewertungsverfahrens in seiner Anknüpfung an die leicht und exakt zu erfassenden Abgasemissionen liegt. Zur Ermittlung einer wesentlichen Bewertungskomponente — der Proportionalitätsfaktoren — ist das Verfahren allerdings auf eine plausible Aussage über den Zusammenhang zwischen *globaler Luftverschmutzung* und gesundheitlicher Schädigung angewiesen.

Summary

Hitherto the consideration of traffic depending environment effects (such as noise- and exhaust-gas immissions) referred exclusively to the avoidable costs, when traffic infrastructure measures were judged. With regard to locally limited innerurban investments it is put a ceiling on this method because a sector referred association of avoidable costs for improvements on vehicles (contrary perhaps to noise protection by improved windows) is not possible. In the present article it is tried, by in literature regressionanalytically won hypotheses on the relation between global atmospheric pollution, sanitary damages and the relative toxicity of damaging materials to seize on direct monetarily sanitary damages which are conditioned by traffic immissions. By modal- and route splitting variations this method allows also to take in consideration environment effects, because it refers to emissions which are easily to seize on. The efficiency of the proposal is exemplified at hand of a concret road-section.

Résumé

En jugeant les mesures infrastructurelles du trafic on a jusqu'à présent tenu compte des effets de l'environnement dépendant du trafic routiers (tels que les immissions de bruit et des gaz d'échappement) uniquement du point de vue des coûts évitables. A l'égard d'investissements urbains internes bornés localement on ne peut appliquer cette procédure que jusqu'à un certain point, étant donné l'impossibilité de coordonner, restreint à un secteur partiel, les coûts évitables se référant à des améliorations des véhicules (contrairement p.e. à la protection contre le bruit par des fenêtres perfectionnées). Dans l'article présent l'auteur fait l'essai de déterminer immédiatement du point de vue monétaire les préjudices sanitaires effectués par des immissions routières en se servant des hypothèses gagnées dans la littérature par des analyses de régression en ce qui concerne les connexités existant entre la pollution globale de l'air et les préjudices sanitaires et la toxicité relative des matières dommageables. Cette procédure permet de tenir compte également des effets d'environnement par des variations du splitting modal et routier, parce qu'elle part d'émissions facilement à déterminer. La capacité de la proposition est démontrée au moyen d'un tronçon concret d'une route.

v.st.a

Motorisierung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960-1974

VON DR.-ING. JOACHIM WESTPHAL, HANNOVER

1. Einführung

Die Verkehrsverhältnisse auf den Straßen der Großstädte und Verdichtungsräume sind — hervorgerufen durch die starke Motorisierung breiter Bevölkerungsschichten und den nicht beliebig vermehrbaren Verkehrsraum — vor allem in den Spitzenzeiten des Berufs- und Ausflugsverkehrs schwierig. Im Berufsverkehr treten Probleme nicht nur bei der Abwicklung des fließenden Verkehrs, sondern auch bei der Bewältigung des parkplatzsuchenden und parkenden motorisierten Verkehrs auf.

Eine wesentliche Ursache für diese bekannten Gegebenheiten in den Großstädten und Verdichtungsräumen ist in dem enormen Anwachsen der Motorisierung während der zurückliegenden 25 Jahre zu suchen. Die Trennung der Wohn- und Arbeitsstätten und damit die ausgeprägten Pendlerströme sowie die infolge der starken Motorisierung wachsende Mobilität der Bevölkerung stehen zueinander in enger Wechselbeziehung.

Es erscheint daher wichtig, als Teilaspekt dieses Problemkreises die Motorisierungsentwicklung in den Großstädten und Verdichtungsräumen über einen längeren Zeitraum hinweg zu analysieren und Tendenzen aufzuzeigen. Wegen des zu großen Aufwandes konnten in der vorliegenden Studie jedoch nicht die Verdichtungsräume als jeweils geschlossene räumliche Einheiten untersucht werden, so aufschlußreich dies sicher gewesen wäre. Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind daher die Großstädte der Bundesrepublik Deutschland mit Berlin (West) während des 15 jährigen Zeitraums zwischen 1960 und 1974. Diese Großstädte weisen eine Wohnbevölkerung von jeweils mindestens 100 000 Einwohnern auf. Im Untersuchungszeitraum stieg die Zahl der Großstädte von 52 im Jahre 1960 auf 61 im Jahre 1974.

Die Zahlenangaben, die der Untersuchung zugrunde liegen, entstammen amtlichen Statistiken des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden^{1) 2)} und des Kraftfahrt-Bundesamtes Flensburg³⁾. Für die Wohnbevölkerung wurde — mit Ausnahme der Jahre 1961 und 1970, in denen Volks- und Berufszählungen stattfanden — als Stichtag jeweils der 30. 6.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Joachim Westphal
Baudirektor im Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft und Verkehr
Friedrichswall 1
3000 Hannover 1

- 1) Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie A: Bevölkerung und Kultur, Reihe 1: Gebiet und Bevölkerung, I. Bevölkerungsstand und -entwicklung 1960-1974. Stuttgart und Mainz 1961-1975.
- 2) Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie A: Bevölkerung und Kultur, Reihe 1: Gebiet und Bevölkerung, III. Bevölkerung der kreisfreien Städte und Landkreise 1960-1974. Stuttgart und Mainz 1961-1975.
- 3) Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1960-1974. Bonn-Bad Godesberg 1961-1975.