

Strassenforschung

Auswirkungen des Strassenschwerverkehrs

Bericht einer OECD-Strassenforschungsgruppe

Dezember 1982

**Publié en français sous le titre:
EFFETS DES VEHICULES LOURDS DE MARCHANDISES/OCDE, Paris 1983**

**Published in English under the title:
IMPACTS OF HEAVY FREIGHT VEHICLES/OECD, Paris 1983**

Übersetzung: Mit Genehmigung des Direktors für Information der OECD vom 9. Januar 1981

Übersetzer:

Thomas Mertl: Kapitel II-VI

Erhard Stocker: Kapitel I u. VII-XII

Ch. Erik Huber: Textgestaltung, Redaktion und Lay-out

Herausgeber: Bundesamt für Strassenbau (ASB), CH-3003 Bern, 1991

Vorwort

Die OECD

Gemäss Artikel 1 des am 14. Dezember 1960 in Paris unterzeichneten und am 30. September 1961 in Kraft getretenen Übereinkommens fördert die Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) eine Politik, die darauf ausgerichtet ist:

- in den Mitgliedstaaten unter Wahrung der finanziellen Stabilität eine optimale Wirtschaftsentwicklung und Beschäftigung sowie einen steigenden Lebensstandard zu erreichen und dadurch zur Entwicklung der Weltwirtschaft beizutragen;
- in den Mitglied- und Nichtmitgliedstaaten, die in wirtschaftlicher Entwicklung begriffen sind, zu einem gesunden wirtschaftlichen Wachstum beizutragen;
- im Einklang mit internationalen Verpflichtungen auf multilateraler und nichtdiskriminierender Grundlage zur Ausweitung des Welthandels beizutragen.

Die Unterzeichnerstaaten des Übereinkommens über die OECD sind Belgien, Dänemark, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kanada, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Türkei, Vereinigtes Königreich Grossbritannien und Nordirland und Vereinigte Staaten. Folgende Staaten traten dem Übereinkommen später bei (Hinterlegungsdaten der Beitrittsurkunden): Japan (28. April 1964), Finnland (28. Januar 1969, Australien (7. Juni 1971) und Neuseeland (29. Mai 1973).

Die Sozialistische Föderative Republik Jugoslawien ist an bestimmten Tätigkeiten der OECD beteiligt (Übereinkommen vom 28. Oktober 1961).

Das Strassenforschungsprogramm

Das Programm der Strassenbauforschung umfasst zwei Hauptbereiche:

- die Förderung der internationalen Zusammenarbeit in den Bereichen Strassenbau, Verkehrssicherheit und Strassenverkehr, die Koordination der Forschungsmittel, über welche die Mitgliedstaaten verfügen und die wissenschaftliche Interpretation der Ergebnisse der gemeinsamen Untersuchungen;
- die Internationale Dokumentation der Strassenbauforschung, ein gemeinsames Schema zur Sicherstellung des systematischen Austausches der Fachliteratur und der laufenden Forschungsprogramme der Mitgliedstaaten.

Das aktuelle Programm hat vor allem zum Ziel, die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen zu definieren, welche die Regierungen der Mitgliedstaaten benötigen, um ihre Entscheidungen in den dringendsten Fragen des Strassenbaus treffen zu können:

- Planung, Entwurf, Bau und Unterhalt der Strasseninfrastruktur unter Berücksichtigung der künftigen Entwicklung und der wirtschaftlichen, sozialen und technischen Erfordernisse;
- Entwicklung, Organisation und Durchführung von gemeinsamen Gesamtstrategien zur Hebung der Verkehrssicherheit;
- Schaffung und Verbesserung von Systemen zur Verkehrsregelung und -signalisierung, innerorts und ausserorts, mit dem Ziel, den Betrieb der Strassen optimal zu gestalten und dem Benutzer verbesserte Dienstleistungen anzubieten;
- Entwicklung und Förderung von integrierten Transportstrategien für städtische und ländliche Bereiche unter Berücksichtigung der ökonomischen, sozialen und energetischen Anforderungen und der Umweltbedingungen.

Übersicht

Die Forschungsgruppe "Auswirkungen des Schwerverkehrs" ist im Jahre 1980 geschaffen worden, um den gegenwärtigen Stand der Forschung zu überprüfen und die wichtigsten methodischen und analytischen Ansätze zu ermitteln, welche in den Mitgliedsländern angewendet werden, um die Auswirkungen des Schwerverkehrs zu überprüfen. 16 Mitgliedsländer und vier staatliche internationale Organisationen oder Berufsorganisationen haben zu dieser Untersuchung beigetragen. In der Einführung werden die Aufgaben der Gruppe ausführlich dargelegt sowie die wichtigsten Tendenzen und Probleme beschrieben. Im zweiten Kapitel werden die wichtigsten politischen, wissenschaftlichen und technisch-wissenschaftlichen Aspekte hervorgestrichen. Das dritte Kapitel überprüft, gestützt auf auserwählte statistische Angaben den Stellenwert und die Rolle der Schwerverfahrzeuge auf nationaler und internationaler Ebene. In Kapitel vier bis acht werden die Auswirkungen dieser Fahrzeuge in den Bereichen Verkehr, Sicherheit, Strassenoberbauten, Brücken und Umwelt behandelt. Kapitel neun befasst sich mit verschiedenen Arten der Fahrzeugnutzung sowie mit Energiefragen. In Kapitel zehn wird versucht, die Kosten aller dieser Auswirkungen zu ermitteln. Kapitel elf beschäftigt sich mit der Struktur, dem Inhalt und den Ergebnissen der systemanalytischen Studien, die in den Mitgliedsländern durchgeführt wurden. In Kapitel zwölf schliesslich werden die ausführlichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen der Gruppe aufgeführt. Das Ziel dieses Berichtes besteht darin, den politischen Entscheidungsträgern, Verwaltungsbeamten und Forschern eine Zusammenfassung der jüngsten Ergebnisse der Schwerverkehrsforschung zu geben.

Einführung

Im vorliegenden Bericht über die Auswirkungen des Schwerverkehrs hat eine Forschungsgruppe erstmals alle mit dem OECD-Strassenforschungsprogramm zusammenhängenden Wirkungsbereiche in Anspruch genommen: Bau und Unterhalt von Strassen, Verkehr und Sicherheit, Verkehrswirtschaft. Ebenso wurde auf die Fahrzeugtechnik Bezug genommen.

Dem Bericht war somit ein hohes Ziel gesetzt, das aber dank des Engagements, das die beteiligten Sachverständigen der Erfüllung ihres Auftrages entgegenbrachten, vollumfänglich erreicht worden ist.

Der Zweck dieses Berichtes ist erfüllt, wenn er all jenen, die auf dem weiten Gebiet des Schwerverkehrs Verantwortung tragen, als Nachschlagwerk dient. Zu erwähnen ist auch, dass zwischen den Sachverständigen bezüglich der Schlussfolgerungen ihres Berichtes in weitem Ausmasse übereinstimmende Meinungen herrschten. Diesem Punkt kommt darum Bedeutung zu, weil die unterschiedlichen Interessen der verschiedenen betroffenen Wirtschaftssubjekte zwar zu Konfliktsituationen führen können, die Objektivität des wissenschaftlichen Vorgehens aber zum Erfolg von Verhandlungen beiträgt.

Michel Frybourg
Präsident der Gruppe

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	2
	Die OECD	2
	Das Strassenforschungsprogramm	2
	Übersicht	3
	Einführung	4
I. Kapitel	Einführung	5
I.1	Allgemeines	5
I.2	Aufgabenstellung	6
I.3	Tendenzen und Probleme	7
	Verweis	8
II. Kapitel	Politik und wissenschaftliche sowie technisch-wissenschaftliche Aspekte; Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft	9
II.1	Allgemeines	9
II.2	Politische Aspekte	9
II.2.1	Japan	9
II.2.2	Australien	10
II.2.3	Vereinigte Staaten von Amerika (USA)	11
II.2.4	Europa	12
II.3	Die grossen Forschungsprogramme	14
II.3.1	Forschungsprogramme über Fahrbahnen und Strassenstruktur	14
II.3.2	Forschungsprogramme über Fahrzeuge	15
II.3.3	Systembezogene Programme	15
II.4	Technisch-wirtschaftliche Betrachtungsweise	16
III. Kapitel	Bedeutung und Rolle des Strassengüterverkehrs auf nationaler und internationaler Ebene	18
III.1	Zweck und Gliederung	18
III.2	Begriffe und Definitionen	18
III.3	Vorschriften und Bestimmungen	18
III.4	LKW- und andere Transportarten	19
III.5	LKW - Zusammensetzung der nationalen Fahrzeugparks	20
III.6	Statistiken über den Umfang des Strassengüterverkehrs	20
III.7	Tendenzen im Strassengüterverkehr und LKW-Verwendung	20
	Tabellen und Figuren	22ff
	Verweise	
IV. Kapitel	Auswirkungen auf den Strassenverkehr	30
IV.1	Einleitung	30
IV.2	Bedeutung des Nutzfahrzeugverkehrs	30
IV.3	Strassenleistungsfähigkeit und PKW-Äquivalente der LKW's	31
IV.3.1	Das "Highway Capacity Manual"	31
IV.3.2	Neuere Normen und Forschungstätigkeiten	32
IV.4	Das Verhältnis Geschwindigkeit-Verkehrsmenge bei LKW's	33
IV.5	Kriechspuren und Spurnutzung	35
IV.6	Kreuzungen und Verkehrsstockungen in Städten	36
IV.7	LKW-Geschwindigkeiten	38
	Tabellen und Figuren	40ff
	Verweise	
V.	Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit	49
V.1	Allgemeines	49
V.2	Verwicklung schwerer LKW's in Unfälle	49
V.2.1	Notwendigkeit der Datengenauigkeit	49
V.2.2	Probleme bei Datenanalysen und internationalen Vergleichen	49
V.2.3	Ergebnisse einer von der Gruppe durchgeführten internationalen Umfrage	50
V.3	Ursachen und Schwere von Unfällen und die Rolle der schweren LKW's	51
V.3.1	Mängel und Unzulänglichkeiten der Fahrzeuge	51
V.3.2	Das Problem der Kippsicherheit	52
V.3.3	Schwere Kollisionen	53
V.4	Prioritäre Bereiche der Forschung über die LKW-Sicherheit	53
V.4.1	Stabilität	53
V.4.2	Bremsen	55
V.4.3	Technische Kontrolle und Fahrzeugprüfung	55
V.4.4	Der Fahrer	56
V.4.5	Weitere Bereiche der Sicherheitsforschung	56
	Tabellen und Figuren	58ff
	Verweise	

VI. Kapitel	Wirkungen auf die Fahrbahn	60
VI.1	Einleitung	60
VI.2	Fahrbahnkonstruktion und Fahrbahnunterhalt	60
VI.2.1	Fahrbahnkonstruktion	60
VI.2.2	Verstärkung und Unterhalt der Fahrbahn	61
VI.2.3	Vergleich der in den verschiedenen Mitgliedstaaten gebräuchlichen Fahrbahnstrukturen unter verschiedenen Bedingungen des Schwerverkehrs	62
VI.3	Fahrzeugcharakteristik und deren Einfluss auf die Fahrbahn	63
VI.3.1	Wichtigste Fahrzeugcharakteristiken welche die Fahrbahn beeinflussen	63
VI.3.2	Achsgewicht und -art - Ergebnisse einer AASHO-Untersuchung	64
VI.3.3	Single- und Doppelpneus, Breitreifen	64
VI.3.4	Achsgруппierungen	64
VI.3.5	Auflagedruck der Bereifung	65
VI.3.6	Aufhängungssystem	65
VI.4	Wirkungen der Konfiguration der Fahrzeuge	68
VI.4.1	Berechnungsmethode	68
VI.4.2	Beispiele	68
VI.5	Zukünftige Forschungsbedürfnisse und Anwendung von Grossversuchsanlagen	69
VI.5.1	Situation heute	69
VI.5.2	Mittelfristige realistische Forschungsziele	70
VI.5.3	Vorrichtung für die Durchführung von Versuchen in naturgetreuer Grösse	70
VI.5.4	Möglichkeiten und Kosten einer Zusammenarbeit	71
	Anhang: Versuchsvorrichtungen naturgetreuer Grösse in den Mitgliedstaaten der OECD	72
	Tabellen und Figuren	75ff
	Verweise	
VII. Kapitel	Auswirkungen auf Strassenbrücken	83
VII.1	Einführung	83
VII.2	Bemessungsnormen und Belastbarkeit	83
VII.2.1	Belastungsschemen	84
VII.2.2	Tatsächliche Belastung	85
VII.3	Klassifizierung von Brücken	86
VII.3.1	Klassifizierungsmethoden	87
VII.3.2	Ermüdungen	87
VII.4	Die Folgen der Erhöhung von Schwerfahrzeuggewichten	88
VII.4.1	Studien verschiedener Länder	88
VII.4.2	Zusammenfassung	89
VII.5	Notwendigkeit von Forschungsarbeiten (3,2)	90
	Tabellen und Figuren	92ff
	Verweise	
VIII. Kapitel	Auswirkungen auf die Umwelt	96
VIII.1	Einleitung	96
VIII.2	Lärmemissionen	96
VIII.2.1	Messungen und Indizes	96
VIII.2.2	Auswirkungen des Fahrzeuggewichts und der Fahrzeugart	97
VIII.2.3	Auswirkungen der Fahrgeschwindigkeit	97
VIII.2.4	Einfluss der Reifenart und der Oberflächentextur	98
VIII.2.5	Lärmarme Lastwagen	98
VIII.3	Bodenerschütterungen	100
VIII.4	Luftverschmutzung und Geruchsemissionen	101
VIII.5	Soziale und psychische Auswirkungen	102
	Tabellen und Figuren	105ff
	Verweise	
IX. Kapitel	Fahrzeugnutzung und Energiefragen	108
IX.1	Nutzungsarten	108
IX.1.1	Verwendung von Lastfahrzeugen nach Gewichtsklassen	108
IX.1.2	Beispiele üblicher Nutzungsarten (UK)	108
IX.1.3	Anpassung der Fahrzeugeigenschaften an die Bedürfnisse	109
IX.2	Produktivitätsindikatoren	110
IX.2.1	Besondere Produktivitätsparameter	111
IX.2.2	Allgemeine Indikatoren	112
IX.3	Das Problem der Überladungen	113
IX.3.1	Detaillierte Untersuchungen	113
IX.3.2	Ergebnisse aus anderen Ländern	115
IX.4	Treibstoffverbrauch	116
IX.4.1	Berechnungsmethoden und Modelle	117
IX.4.2	Hauptergebnisse	118
IX.4.3	Treibstoffverbrauch und Fahrzeugkonstruktion	121
	Tabellen und Figuren	123ff

X. Kapitel	Kostenberechnung	129
X.1	Analyse der gesamten Betriebskosten	129
X.1.1	Komponenten der Betriebskosten	129
X.1.2	Die wichtigsten Ergebnisse	129
X.1.3	Kostenparameter	130
X.2	Infrastrukturkosten	132
X.2.1	Die verschiedenen theoretischen Besteuerungssysteme	133
X.2.2	Die Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Infrastrukturkosten	133
X.2.3	Verteilung der anrechenbaren Ausgaben auf die einzelnen Fahrzeugkategorien	138
X.3	Soziale Kosten	141
X.3.1	Die Sicherheits-Risiko-Kosten von schweren Motorfahrzeugen	141
X.3.2	Die Kosten der Auswirkungen schwerer Motorfahrzeuge auf die Umwelt	143
X.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	144
	Tabellen und Figuren	146ff
	Verweise	
XI. Kapitel	Jüngste Systemanalysen: Ihre Ansätze und Ergebnisse	149
XI.1	Grundsätze und Problembereiche	149
XI.2	Analysemethoden	150
XI.3	Modal-Split-Analysen	151
XI.4	Probleme bei der Messung und der Bewertung verschiedener Parameter	152
XI.5	Ergebnisse der nationalen Studien	153
XI.5.1	Die deutsche Studie	153
XI.5.2	Die amerikanische Studie	154
XI.5.3	Die australische Studie	155
XI.5.4	Die britischen Studien	157
XI.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	158
	Tabellen und Figuren	160ff
	Verweise	
XII. Kapitel	Zusammenfassung, Schlussbetrachtung, Empfehlungen	161
XII.1	Ausgangslage	161
XII.2	Der Auftrag der Forschungsgruppe	161
XII.3	Allgemeine Tendenzen und Angaben	162
XII.4	Auswirkungen auf den Strassenverkehr	162
XII.5	Wirkungen auf die Strassensicherheit	163
XII.6	Wirkungen auf die Fahrbahn	166
XII.7	Auswirkungen auf Strassenbrücken	167
XII.8	Auswirkungen auf die Umwelt	168
XII.9	Fahrzeugnutzung und Energiefragen	169
XII.10	Kostenberechnungen	170
XII.11	Systemanalysen	172
XII.12	Schlussbetrachtungen	174
	Tabelle	175

Liste der Gruppenmitglieder

Internationale staatliche Organisationen

Beobachter

Liste der Publikationen im Bereich Strassenforschung

I. Kapitel

Einführung

I.1 Allgemeines

Der Schwerverkehr nimmt im Binnenverkehrsmarkt eine beherrschende Stellung ein und hat heute in dieser Beziehung den Schienenverkehr übertroffen. Sein Marktanteil wird immer grösser und jedermann kennt seine hohe Bedeutung für die Wirtschaft. Bei diesem Verkehrsträger handelt es sich um ein nicht-einheitliches System in dem Sinne, dass ihm verschiedene Wirtschaftssubjekte zugrundeliegen: Transportunternehmer, Verkehrsbehörden und Fahrzeughersteller. Den staatlichen Behörden kommt eine gewichtige Rolle zu, da sie für viele Bereiche zuständig sind, so für die Planung und Verwaltung der Verkehrsinfrastrukturen, die Organisation des Verkehrsmarktes und die Ausgestaltung und Anwendung von Fahrzeugvorschriften. Dazu kommt, dass die staatliche Einflussnahme auf verschiedenen Ebenen erfolgen kann: auf regionaler Ebene in föderalistischen Staaten, auf nationaler Ebene in zentralverwalteten Ländern, auf internationaler Ebene in einheitlichen Wirtschaftsräumen wie den Europäischen Gemeinschaften.

Der OECD-Lenkungsausschuss für Strassenforschung ist sich seit längerer Zeit bewusst, dass er mit den wissenschaftlichen Arbeiten der an diesem Programm beteiligten Forschungszentren wesentlich dazu beitragen kann, etwas mehr Transparenz in dieses System zu bringen. Im Jahre 1977 versammelten sich an einem Symposium über Lastkraftwagen und deren Auswirkungen Fachleute aus den mit dem Schwerverkehr zusammenhängenden Bereichen Strassenbau, Verkehr und Sicherheit, Umwelt und Verkehrswirtschaft. Aus diesem Symposium ging die Notwendigkeit hervor, eine gemeinsame Sprache zu finden, die nicht nur den verschiedenen Spezialisten mit ihren unterschiedlichen Fachsprachen, sondern auch den zuständigen Beamten und Politikern zugänglich ist, um somit all jene, die zu Leistungsverbesserungen im Bereich des Schwerverkehrs beitragen, vermehrt an den neusten Erkenntnissen auf diesem Gebiet teilhaben zu lassen. Diese Notwendigkeit einer Gesamtbetrachtungsweise wird im Begriff "technisch-wirtschaftliches Modell" zum Ausdruck gebracht, einer zwar etwas abstrahierenden Darstellung der Wirklichkeit, die aber unerlässlich ist, wenn das System unter Einbezug aller Wechselwirkungen betrachtet werden soll.

Damit wurde für diesen Bericht ein hohes Ziel gesetzt, soll er doch alle wesentlichen Elemente der Strassenforschung enthalten. Dabei galt es

- erstens, den Bericht nicht mit einer blossen Anhäufung von Daten zu überladen, ohne dabei zu versuchen, den Leser aus seinem angestammten Fach- oder Interessengebiet herauszuführen, denn auf diese Weise wären nur die Spezialisten angesprochen worden;
- zweitens, nicht einen allzu engagierten Bericht zu erstellen, bei dem der wissenschaftlich-technische Aspekt vernachlässigt und ein zu starker Akzent auf die Ausarbeitung von Modellen gelegt worden wäre, die ja nie vollständig neutral sein können - dies hätte dazu führen können, politische Ausrichtungen unter dem Mantel der Objektivität erscheinen zu lassen.

Deshalb war die Forschungsgruppe um eine streng getrennte Darstellung der verschiedenen Auswirkungen und eine zurückhaltende Anwendung der mit "Systemanalyse" bezeichneten Methode bemüht und zog es vor, mögliche Szenarien anstelle eines "Optimum optimorum" vorzulegen, das mit dem heutigen Wissensstand wohl schwerlich hätte bestimmt werden können. Wenn mit diesem Bericht eine kleine Erweiterung des Gesichtsfelds erreicht werden kann, ist bereits ein Schritt getan, denn eine erschöpfende Behandlung dieser Thematik ist praktisch unmöglich.

1.2 Aufgabenstellung

Der Auftrag der Forschungsgruppe lautete wie folgt:

Ausgangslage

Das Strassenforschungssymposium 1977 über Lastkraftwagen und deren Auswirkungen legte den Akzent auf eine Reihe von vorrangigen Themen, die für die Mitgliedstaaten von Interesse sind. Die Mitgliedsländer sind sich über die Notwendigkeit einig, die verfügbaren Methoden zur Ermittlung der Energie- und Wirtschaftsfaktoren sowie der Auswirkungen des Schwerverkehrs auf Verkehrssicherheit, Umwelt und Infrastrukturen eingehend zu prüfen. Besonders die Entwicklung im Energiebereich und die neueren Bestrebungen und Tendenzen nach immer grösseren und schwereren Lastkraftwagen, sowie die ständigen Neuüberprüfungen der tatsächlichen Auswirkungen der Achslasten unter den vorherrschenden klimatischen Bedingungen und die im Strassen- und Brückenbau angewandte Technik haben die Bedeutung und Notwendigkeit einer Zusammenarbeit bei der Ermittlung der verschiedenen Bestimmungsgrössen technischer und ökologischer Natur gezeigt.

Nebst der Ermittlung der Produktions- und Personalkosten, die direkt mit dem Verkehrssystem zusammenhängen, muss auch den externen Auswirkungen insbesondere auf die Verkehrssicherheit und auf die Umwelt Rechnung getragen werden. Der Energieverbrauch durch den gesamten Schwerverkehr hat in letzter Zeit Anlass zu zahlreichen Untersuchungen gegeben. Zur Zeit ist es noch nicht möglich, eine technisch-wirtschaftliche Gesamtmethodik zu entwickeln, welche die folgenden Bereiche einschliesst:

- Fahrzeugeigenschaften;
- Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems in bezug auf Kosten und Treibstoffverbrauch;
- Auswirkungen auf Strassenoberbauten, Umwelt und Sicherheit.

Hingegen ist es von grosser Bedeutung und durchaus möglich, eine Bestandesaufnahme über bestehende Daten und Forschungsergebnisse in bezug auf die verschiedenen Teilbereiche des Schwerverkehrsproblems zu machen, so beispielsweise über:

- die Methoden zur Ermittlung der Betriebskosten und des Treibstoffverbrauchs für verschiedene Lastwagentypen;
- die Methoden zur Abschätzung von Umweltbeeinflussungen, insbesondere Lärmbelastung;
- Angaben bezüglich der Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Strasseninfrastruktur.

Um die laufenden und geplanten Studien auf nationaler Ebene sowie die zwischenstaatlichen Diskussionen voranzutreiben, müssen die bereits abgeschlossenen und laufenden Forschungsarbeiten überprüft und die wesentlichen forschungsmethodischen und analytischen Verfahren identifiziert werden. Unter Berücksichtigung früherer und/oder laufender Arbeiten anderer internationaler Organisationen (EG-Kommission, EG, Europäische Verkehrsministerkonferenz) können folgende Aufgaben vordringlich behandelt werden:

1. Auflistung der vorhandenen Klassifizierungen von Lastwagen und Vorschlag für eine wissenschaftliche Grundlage zur Herbeiführung gemeinsamer Definitionen;
2. Ein Überblick über die Methoden, die zur Ermittlung der Betriebskosten für Fahrzeuge verschiedener Gewichtsklassen und Abmessungen angewandt werden;
3. Eine Gesamtschau der neuesten Informationen über die Auswirkungen der nach Ausführungsart und Gewicht verschiedenen Lastfahrzeugklassen (sowohl in bezug auf deren Achslasten als auch auf deren Gesamtgewicht), sowie über die Schäden an und die nutzbare Lebensdauer von Strassenoberbauten; Sammeln von Informationen über Achslastverteilungen und deren Häufigkeit auf den nationalen Strassennetzen; Angaben darüber, in welchem Ausmass Strassenschäden auf Achslasten sowie auf die verschiedenen Arten von Fahrzeugaufhängungen zurückgeführt werden können, und soweit als möglich, Entwicklung einer Methode, anhand der festgestellt werden kann, in welchem Masse sich Änderungen von Vorschriften über Höchstabmessungen und -gewichte von Schwerfahrzeugen auf die Investitions- und Unterhaltskosten eines bestimmten Strassennetzes auswirken;
4. Untersuchung der bestehenden Schwerfahrzeugtypen hinsichtlich deren Auswirkungen auf die Umwelt (einschliesslich Lärmbelastung, Luftverschmutzung, Erschütterungen, psychische und visuelle Belastungen);

5. Auflistung von Informationen über Strassenverkehrsunfälle mit Lastwagen;
6. Überprüfung der vorhandenen Methoden zur Ermittlung der Gesamtauswirkungen von Lastfahrzeugen verschiedener Typen und Gewichte auf den Energieverbrauch sowie der Folgen bei einer Änderung der gesetzlich höchstzulässigen Fahrzeugabmessungen und -gewichte. Dabei muss sowohl den direkten als auch den indirekten Auswirkungen (z.B. dem Energieeinsatz für die Erneuerung und den Unterhalt von Autobahnen etc.) Rechnung getragen werden;
7. Zusammenfassung der Methoden, die für eine Analyse der Fahrzeugbetriebskosten, der Strassenkosten, der Umwelt- und Verkehrssicherheitskosten angewandt werden können;
8. Zusammenfassung der Methoden, welche benutzt werden können, um festzustellen, in welchem Masse die Strassenkosten den verschiedenen Fahrzeugtypen zugeschrieben werden können.

Bei allen erwähnten Punkten muss auch den Auswirkungen der unterschiedlichen Strassenbedingungen und den Auswirkungen verschiedener Fahrzeugabmessungen auf den Verkehr Rechnung getragen werden.

1.3 Tendenzen und Probleme

Die Gewichte und Abmessungen von Nutzfahrzeugen unterliegen Vorschriften und Regelungen, die einer besseren zwischenstaatlichen Harmonisierung bedürfen, dies vor allem zu einer Zeit, in der der grenzüberschreitende Handel stärker zunimmt als die Bruttoinlandprodukte.

Es besteht in allen Ländern die Tendenz, den Lastfahrzeugpark vermehrt mit Fahrzeugen mit Höchstabmessungen und -gewichten auszurüsten. Der Grund hierfür ist wirtschaftlicher Natur: für ein gegebenes Strassennetz werden mit einer Heraufsetzung der Gesamtgewichtslimite die Kosten für eine beförderte Nutzlasttonne geringer; dasselbe gilt für die Energiekosten pro beförderter Nutzlasttonne. Die Transportunternehmer sind daher - in der Absicht, internationale Container (40 Kubikfuss - 30,5t) befördern zu können - ständig um eine Heraufsetzung der höchstzulässigen Fahrzeuggesamtgewichte bestrebt. Diese Forderung nach einer Erhöhung der Güterbeförderungsmenge im Strassenverkehr bedarf aber einer weiteren Rechtfertigung, da z.Zt. die durchschnittliche Dichte der beförderten Güter im Abnehmen ist. So könnte mit einer blossen Heraufsetzung der zulässigen Höchstabmessungen ohne eine gleichzeitige Heraufsetzung der zulässigen Höchstgewichte der gegenwärtige Ausnutzungsgrad nicht beibehalten werden, wodurch nur unwesentliche Energieeinsparungen realisiert werden könnten. Ausserdem haben diese Tendenzen und Forderungen in bezug auf grössere und schwerere Lastfahrzeuge Auswirkungen auf:

- die Bemessung und den Unterhalt von Strassenoberbauten und Brücken und demzufolge auf die Infrastrukturkosten;
- das Verkehrssystem-Management und die Verkehrssicherheit;
- die Umweltbelastungen quantitativer und qualitativer Art, wie sie von der Bevölkerung empfunden werden.

Eine Konzentration auf rein qualitative Werte führt zu keinen schlüssigen Ergebnissen. Deshalb müssen diese Auswirkungen nicht nur für den gegenwärtigen Zeitpunkt, sondern auch auf weitere Sicht quantifiziert werden, denn eine Regelung kann "historische Zwänge einleiten", während die technologische Entwicklung unter gewissen sozialen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die für eine Mobilisierung des technologischen Potentials förderlich sind, rasch voranschreiten kann.

So können auf dem Gebiete der Verkehrssicherheit und der Lärmbelastung durch den Schwerverkehr noch bedeutende Fortschritte erzielt werden. Die Rate der Todesfälle, die bei Strassenunfällen mit Lastwagen verursacht werden, kann innerhalb der nächsten zehn Jahre um mindestens ein Drittel reduziert werden. Mit dem verstärkten Aufkommen von Prototypen lärmarmen Fahrzeuge könnten die Lärmemissionen der grössten Lastfahrzeuge auf 80 dB (A) herabgesetzt werden.

Schliesslich können mit der gegenwärtigen Entwicklung von Tridemachsen mit Breitfelgen-Einzelrädern wahrscheinlich Fahrzeugtypen hervorgebracht werden, die künftige Debatten über Höchstachsbelastungen etwas entschärfen werden.

Die Überprüfung des Schwerverkehrssystems muss mit einer eingehenden Betrachtung der Arbeitsbedingungen für Lastwagenfahrer und der Treibstoffkosten einhergehen. Wie sich die Verkehrsnachfrage entwickeln wird und in welchem Masse das Strassennetz optimiert werden kann, wird davon abhängen, ob in Zukunft Produktivitätssteigerungen oder Kostenreduzierungen möglich sind oder nicht. Diesbezüglich herrscht noch grosse Ungewissheit. So sind die Löhne und vor allem die effektiven Arbeitszeiten von Land zu Land sehr unterschiedlich. Wenn eine Anpassung dieses Verkehrssystems an künftige wirtschaftliche Verhältnisse ermöglicht werden soll, muss es angesichts der genannten Unsicherheitsfaktoren hohe Flexibilität an den Tag legen.

Die Festlegung von Rechtsvorschriften und deren künftige Ausgestaltung ist mit einer Vielzahl von Kompromissen verbunden. Zwar wurden auf einigen Gebieten schon Fortschritte erzielt, die Gesamtproblematik aber besteht noch immer und wird auch kaum je völlig gelöst werden können, da die einzelnen Länder trotz den Nachteilen, die einer unterschiedlichen Regelung in bezug auf den grenzüberschreitenden Güter- und Lastwagenverkehr anhaften, im Gesetzgebungsbereich eigene Wege verfolgen wollen.

Im Zusammenhang mit Personenwagen wurde schon von einem "World car" gesprochen; wäre für Europa oder weltweit ebenfalls ein genormter, höchstzulässiger LKW-Typ vorstellbar? Wahrscheinlich nur teilweise, denn der technische Fortschritt macht zwar vor keiner Grenze halt, doch ist allein durch das Bestehen verschiedener Länder eine Vielfalt von geographischen, historischen, wirtschaftlichen und kulturellen Umfeldern und damit von unterschiedlichen Kriterien gegeben. Indessen sind auch die wissenschaftlichen Grundlagen für Beschlussfassungen universell, und wenn es den Wissenschaftlern gelänge, sich über ihre eigenen Kreise hinaus auch bei den zuständigen Behörden, die ihre Entscheide auf diese wissenschaftlichen Arbeiten abstützen, verständlich zu machen, so wäre ein grosser Schritt zur Verbesserung dieses komplexen Systems getan.

Möge dieser Bericht ein kleiner Schritt in diese Richtung sein.

Verweis

1. OECD, Road Research, Heavy freight vehicles and their effects. Symposium. Reports - 3 volumes. OECD, Paris, 1977

II. Kapitel

Politik und wissenschaftliche sowie technisch-wissenschaftliche Aspekte; Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft

II.1 Allgemeines

Die Welt der Wissenschaft sollte die sozialen Erfordernisse in Betracht ziehen und die Besorgnisse der politischen Entscheidungsträger berücksichtigen, deren Aufgabe darin besteht, die Bedürfnisse der Bürger in konkrete Taten umzusetzen. Diese Öffnung der Forschung ist zwar lebensnotwendig, jedoch schwer zu verwirklichen, da sie Aktion und Retroaktion impliziert.

Aktion: Sie erstreckt sich von der Grundlagenforschung bis hin zur Anwendung, wobei sie eine Erweiterung des Wissensstandes herbeiführt, um die wirtschaftliche und soziale Entwicklung zu fördern.

Retroaktion: Sie ermöglicht es dem Wissenschaftler, seine Aktivitäten unter Berücksichtigung der politischen Zielsetzungen zu orientieren.

Die Gruppe hat beide Verfahren angewendet. Dabei beschränkte sie sich nicht nur auf die Ermittlung des Wissensstandes - eine Aufgabe, mit der sich Forschungsgruppen normalerweise befassen - sondern strebte auch an, ein klares Bild der politischen Zielsetzungen zu erhalten. Daher wurde für jede wichtige Wirtschaftsregion der OECD ein Gruppenvertreter ernannt mit dem Auftrag, über solche Zielsetzungen der in der jeweiligen Region befindlichen Länder einen möglichst kurzen Bericht zu verfassen. Nachstehend sind die eingegangenen Berichte aus Japan, Australien, den Vereinigten Staaten von Amerika (in der Folge USA) und Europa wiedergegeben. Die Gruppe betrachtet sie als Tatsachenberichte. Dabei wertet sie die jeweiligen Zielsetzungen nicht, zieht diese jedoch bei ihrer Arbeit in Betracht.

Am anderen Ende der "Aktion-Wissen-Kette" schien es angebracht, sich auf die wichtigsten Forschungsprogramme zu beziehen, die mit dem Thema dieses Berichtes direkt in einem Zusammenhang stehen. Die Betrachtungsweise von drei Seiten erlaubt es, die Wechselbeziehungen zwischen Forschern und politisch-wirtschaftlich Verantwortlichen besser hervorzuheben und dadurch auch die Gliederung dieses im wesentlichen technisch-ökonomischen Berichtes, der sich am Kreuzweg zwischen Wissenschaft und Gesellschaft befindet, einfacher darzustellen.

II.2 Politische Aspekte

Die Gesellschaft

II.2.1 Japan

Geltende Bestimmungen betreffend den LKW-Verkehr

Da Japan nur in begrenztem Umfang Erfahrungen über moderne Methoden der Strassenausbesserung verfügt, ist das Leistungsniveau von Strassen und Brücken angesichts des steigenden Verkehrsvolumens im allgemeinen niedrig. Dem LKW-Verkehr mussten daher viele Einschränkungen auferlegt werden. Um den Fahrbahnbelag zu schützen und zusätzliche Gefahren für den Verkehr zu vermeiden, dürfen Fahrzeuge, deren Breite, Länge und Achslast und/oder Gesamtgewicht eine bestimmte zulässige Höchstgrenze überschreiten, nicht verkehren. Wenn allerdings der Einsatz eines solchen Fahrzeuges aufgrund sperriger Güter oder wegen der Beschaffenheit des Fahrzeuges selbst unvermeidlich erscheint, erteilt die für die Strassen zuständige Verwaltung eine Sondererlaubnis. In dieser sind die einzuschlagende Route und zahlreiche weitere Auflagen über z.B. die Geschwindigkeit und die zulässige Belastung von Brücken genau vermerkt. Dank einem 1975 in Betrieb genommenen EDV-System, an dessen Netz das ganze Land angeschlossen ist, werden solche Sondererlaubnisse sehr schnell erteilt.

Künftige politische Probleme

Um der künftigen Tendenz zu immer grösseren LKW's gerecht zu werden, die auf die Rationalisierung und Internationalisierung des Strassengüterverkehrs sowie auf fortschreitende Nutzung von Containern zurückzuführen ist, wurden 1973 spezielle technische Normen festgelegt. Diese erlauben die Zulassung grösserer Lasten, da sie gleichzeitig den Bau von Brücken besserer Qualität auf bestimmten Hauptrouten vorsehen. Auf derart ausgebauten Strassen können fünfachsig Sattelschlepper mit einem Gesamtgewicht von 45t sowie dreiachsige LKW's mit einem Gesamtgewicht von 25t verkehren.

Zu solchen Strassen werden nur Routen bestimmt, auf denen normalerweise Containerlastenzüge und andere schwere LKW's verkehren, z.B. Küstenstrassen, nationale Schnellstrassen und Fernverkehrsstrassen. Manche dieser Strassen befinden sich zwar bereits im Bau, wobei das Land noch viel Zeit und grosse Mittel investieren muss, bevor es über ein das Land überdeckendes Netz verfügt.

II.2.2 Australien

In Australien sind für die Reglementierung des Strassenverkehrs einschliesslich des Schwerverkehrs in erster Linie die Regierungen der einzelnen Bundesstaaten und Territorien zuständig. Die Bundesregierung bemüht sich allerdings aktiv, die von den einzelnen Staaten und Territorien erlassenen Bestimmungen nach Möglichkeit zu vereinheitlichen. Diese Aufgabe erfüllt das "Australian Transport Advisory Council" (ATAC), dem die für Verkehr und Strassen zuständigen Minister von Bund, Gliedstaaten und Territorien angehören. Das ATAC erarbeitete Vorschriften für die Kfz-Sicherheit, einen Entwurf für Bestimmungen bezüglich des Kfz-Baus, der Kfz-Ausstattung und den Kfz-Leistungsnormen sowie die australische Strassenverkehrsordnung (National Road Traffic Code). Dank der Annahme dieser Bestimmungen durch die Regierungen der Bundesstaaten und der Territorien, welche auch für deren Vollzug verantwortlich sind, verfügt nun Australien über eine einigermaßen einheitliche Regelung. Weitere politische Probleme hat das ATAC mit den schweren LKW's. So prüfen gegenwärtig ATAC-Berater Fragen der LKW-Sicherheit einschliesslich der Probleme rund um die Geschwindigkeiten und der Betriebssicherheit.

Im Jahre 1980 hat das ATAC einen australischen Kodex betreffend die Beförderung gefährlicher Güter auf Strasse und Schiene verabschiedet. Dieser Kodex findet mit zunehmendem Erfolg im ganzen Land Anwendung.

Ferner erreichte das ATAC die "prinzipielle" Zustimmung zu einem Entwurf von Bestimmungen über eine einheitliche Haftpflicht der Spediteure und erarbeitete die Vorlage eines für alle Bundesstaaten und Territorien einheitlichen Rahmengesetzes. Queensland ist der einzige Bundesstaat, dessen Verkehrsgesetzgebung auf diesen Richtlinien beruht.

Sowohl die Bundesregierung als auch die Regierungen der einzelnen Staaten veröffentlichen Informationsmaterial über die Möglichkeiten der Kraftstoff einsparungen im Strassengüterverkehr.

Kürzlich hat das ATAC die Bestimmungen über die Einschränkung von Gewicht und Ausmass einschliesslich der Achslast bei schweren LKW's revidiert. Dabei stützt es sich auf eine eingehende Untersuchung zu diesem Thema, die von der "National Association of Australian State Road Authorities" durchgeführt wurde.

Von der wirtschaftlichen Reglementierung des Strassengüterverkehrs in Australien sind nur wenige Vorschriften in Kraft verblieben. In den fünfziger Jahren hat der Oberste Gerichtshof Australiens entschieden, dass die wirtschaftliche Reglementierung des Strassengüterverkehrs gegen Art. 92 der australischen Verfassung verstösst. In den letzten Jahren zeichnete sich zudem auch im innerstaatlichen Strassengüterverkehr eine Tendenz hin zu einer Lockerung der einschlägigen Bestimmungen ab. Die Bundesstaaten sind auch nach wie vor ermächtigt, aus Sicherheitsgründen über die Einsatzgebiete und Betriebsmöglichkeiten von LKW's zu entscheiden, deren Ausmasse und Gewicht die zulässige Limite überschreiten.

II.2.3 Vereinigte Staaten von Amerika

Die Verantwortung für die Festlegung von Gewicht und Ausmassen der in den USA verkehrenden LKW's ist zwischen der Bundesregierung und den Regierungen der 50 Gliedstaaten aufgeteilt. Die von Bundesbehörden erlassenen Bestimmungen gelten z.Zt. nur für das "Interstate Highway System". Ihr Zweck besteht darin, die Bundesinvestitionen für Autobahnen und Brücken zu schützen und den zwischenstaatlichen Handelsverkehr zu erleichtern. Diese Kompetenzteilung zwischen Bundesbehörden und den Behörden der einzelnen Staaten hat voneinander abweichende Vorschriften betreffend die zulässigen Limiten von Gewicht und Abmessungen von LKW's zur Folge. Sie variieren so von Staat zu Staat. Die Politik der Bundesregierung betreffend das LKW-Gewicht und die Abmessungen muss widersprüchliche und manchmal unvereinbare Ziele mitberücksichtigen, die wie folgt aufgelistet werden können:

1. Vereinheitlichung zur Erleichterung des zwischenstaatlichen Handels;
2. Leistungssteigerung im Strassengüterverkehr;
3. Instandhaltung von Fahrbahnen und Brücken auf Autobahnen;
4. Erhöhung der Sicherheit der Autobahnbenutzer;
5. Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt;
6. Je nach Bedarf Stabilisierung der Eisenbahnmärkte zur Sicherung der Rentabilität.

Die Herabsetzung der Frachtkosten ist nach wie vor ein wichtiges Ziel. Eine Erhöhung der Nutzlast der LKW's durch die Vergrösserung der Abmessungen und des zulässigen Gesamtgewichtes kann die Rentabilität des Strassengüterverkehrs erheblich steigern, wobei die Transportkosten pro Einheit stark sinken. Ausserdem würde man dadurch auch Kraftstoff sparen. Diese Vorteile würden aber wahrscheinlich zu einer verstärkten Abnutzung der Fahrbahnen und der Brücken führen. Gegenwärtig kommen immer mehr Zweifel an der Fähigkeit der Bundesregierung auf, genügend Mittel für die Instandstellung und die Sicherung der Leistungsfähigkeit der US-Autobahnen bereitzustellen. Die durch den Zuwachs schwerer LKW's verursachte stärkere Abnutzung der Autobahnen muss einer eingehenden Prüfung unterzogen werden, bevor man über neue Bestimmungen bezüglich Grösse und Abmessungen entscheidet. Ausserdem scheinen schwere LKW's in den USA häufiger in Verkehrsunfälle verwickelt zu sein, insbesondere solche mit Todesfolgen.

Es ist nötig, die Ursachen des Phänomens zu klären und gleichzeitig festzustellen, welche Massnahmen zu ergreifen sind, um die Verkehrssicherheit in bezug auf schwere LKW's zu erhöhen.

Die Aufrechterhaltung eines leistungsfähigen und rentablen Bahngüterverkehrs gilt als nationale Priorität. Auf einigen wenigen, jedoch wichtigen Märkten besteht die Möglichkeit der direkten Konkurrenz zwischen Strasse und Schiene. Bei der Formulierung einer Politik, die auf eine Kostensenkung im Strassengüterverkehr durch Zulassung schwererer und grösserer LKW's abzielt, muss man auch das nationale Ziel der Erhaltung und Stärkung bestimmter Eisenbahnmärkte in Betracht ziehen und vermeiden, dass die Bundesbehörden Schritte unternehmen, welche die Rentabilität der Eisenbahnen verringern könnten.

Eine vom Verkehrsministerium durchgeführte Studie über LKW-Grösse und -Gewicht, die kürzlich abgeschlossen und dem Kongress unterbreitet wurde, sollte ihren Beitrag zur nationalen Debatte über die Frage leisten, ob und in welcher Form die vom Bund festgelegte Limite bezüglich LKW-Gewicht und LKW-Grösse geändert werden sollte und wie eine gerechte Verteilung der durch die Autobahnbenutzer zu zahlenden Gebühren erreicht werden kann, indem bei jeder Fahrzeugkategorie in die Gebühr eine angemessene Beteiligung an den Unterhaltskosten eingeschlossen wird. Wenn man sich auf der politischen Ebene einig ist, dass man sich die Rentabilitätssteigerung durch die Zulassung grösserer LKW's zunutze machen soll, muss man Massnahmen zur Minimierung nachteiliger Auswirkungen ergreifen und Gebühren einführen, welche den verschiedenen Kategorien der Autobahnbenutzer gerecht wird.

II.2.4 Europa

Europäische Gemeinschaften

Die verkehrspolitischen Zielsetzungen des Römer Vertrages umfassen die stufenweise Einführung eines EG-Verkehrssystems, das auf einheitlichen Prinzipien beruhen soll, die den Anforderungen eines Wirtschaftsbündnisses und der Gesellschaft bei möglichst niedrigen Kosten zulasten der Allgemeinheit gerecht werden. Die diesbezüglichen Massnahmen müssen zwangsläufig die EG-Politik in den Bereichen Steuerwesen, Soziales, regionale Angelegenheiten, Industrie, Umwelt und Energie in Betracht ziehen.

Die Hauptfaktoren, welche die EG-Aktivitäten in dieser Angelegenheit beeinflussen, sind das Bedürfnis nach Freizügigkeit des Verkehrs innerhalb der zehn Mitgliedstaaten und nach einer Angleichung der Wettbewerbsbedingungen auf dem Verkehrsmarkt gepaart mit dem raschen Wachstum des internationalen Güterverkehrs. In bezug auf schwere LKW's hat man sich insbesondere auf die folgenden Aspekte konzentriert.

a) Bauweise der Fahrzeuge

Im Zusammenhang mit einer gemeinsamen Verkehrspolitik erwies es sich als erforderlich, Limiten für Gewicht, Abmessungen und andere technische Eigenschaften bestimmter Fahrzeugtypen festzulegen, um ihren Einsatz in allen Mitgliedstaaten zu ermöglichen und dadurch zur Angleichung der Wettbewerbsbedingungen der Transportunternehmer beizutragen. Darüber hinaus dient die Festlegung solcher Limiten dazu, mit Hilfe von Zulassungsverfahren gemäss Fahrzeugtypen die Entwicklung eines homogenen LKW-Marktes zu fördern. Der Ministerrat befasst sich gerade mit nach diesen Grundsätzen formulierten Vorschlägen. Man hielt es auch für wünschenswert, die Kraftfahrzeuge den neuesten technischen Erkenntnissen betreffend Lärmpegel, Abgase sowie bezüglich Lenk- und Bremssysteme anzupassen.

b) Verkehrssicherheit

Die Verwirklichung einer gemeinsamen Verkehrspolitik erfordert unter anderem auch, dass bestimmte Fahrzeuge unter optimalen Sicherheitsbedingungen im EG-Raum verkehren können. Daher beschloss der Rat Ende 1976 eine erste Massnahme betreffend die technische Prüfung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern. Eine zweite Bestimmung bezog sich ebenfalls auf die Verkehrssicherheit sowie auf die Arbeitsbedingungen der Fahrer und betraf die Installierung und Verwendung des Fahrtenschreibers. Im Dezember 1980 verabschiedete der Rat Richtlinien bezüglich der Einführung eines EG-Führerscheins, die per Januar 1983 erfolgen soll. Diese Massnahme ist allerdings nicht nur auf die Kategorie der LKW's beschränkt.

Schliesslich haben sich mehrere EG-Institutionen für ein gemeinsames Vorgehen in bezug auf die Beförderung gefährlicher und radioaktiver Stoffe sowie auf Geschwindigkeitsbeschränkungen ausgesprochen.

c) Energie

Die EG-Kommission ist sich voll bewusst, dass es notwendig ist, Schritte zur Senkung des Kraftstoffverbrauches zu unternehmen. Sie verfolgt mit grosser Aufmerksamkeit die auf diesem Gebiet betriebenen Forschungstätigkeiten. Im Rahmen des COST-Projektes ist sie an drei Forschungsprogrammen beteiligt; eines davon befasst sich im wesentlichen mit der Verwendung von Ersatzkraftstoffen für Kfz, die zwei anderen haben die Entwicklung neuer Fahrzeugtypen wie z.B. Bi-modus-Trolleybusse und Elektromobile zum Inhalt.

d) Kostenverteilung

Eines der Grundprinzipien der Verkehrspolitik besteht darin, dass die Kosten aufgrund der grossen Schäden, welche die Strassen und andere Verkehrsinfrastruktur erleiden, von den Verkehrsteilnehmern zu bestreiten sind. Der Rat gab seine prinzipielle Zustimmung zu einem ersten Vorschlag betreffend die Neuberechnung der nationalen Gebühren für Nutzfahrzeuge. Gewiss wer-

den weitere Vorschläge folgen, die namentlich den Einbezug der externen Kosten (Staus und Umweltschäden) in das Kostenberechnungsschema verlangen. Allerdings dürften solche Vorschläge - hauptsächlich aufgrund des Mangels an konkreten Forschungsergebnissen in diesem Bereich - nur schwer durchsetzbar sein.

Europäische Verkehrsministerkonferenz

Die EVMK, in der 19 europäische Staaten vertreten sind, hat laut ihrer Gründungsurkunde unter anderem die Aufgabe, "alle notwendigen Massnahmen zu treffen, um den Binnenverkehr von internationaler Bedeutung in Europa sowohl im allgemeinen als auch im regionalen Rahmen maximal zu nutzen und möglichst zweckmässig zu fördern". In diesem Zusammenhang hat die EVMK mehrere Vorstösse unternommen, die sich mehr oder weniger auf den Gütertransport mittels schwerer LKW's beziehen.

a) Erleichterung im internationalen Strassengüterverkehr

Die Konferenz hat sich das allgemeine Ziel gesteckt, dafür zu sorgen, dass im internationalen Güterverkehr jegliche Hilfe gewährt wird, um den Anforderungen des Handels gerecht zu werden, dies unter Berücksichtigung der vorhandenen intermodalen Dienstleistungen. Daher hat der Ministerrat der EVMK mehrere Resolutionen über den Strassenverkehr verabschiedet. Es sind dies:

- Liberalisierung der verschiedenen Kategorien des internationalen Strassenverkehrs mit Aufhebung jeglicher Kontingentierung und - in bestimmten Fällen wie Grenzverkehr, Transporte auf eigene Rechnung, Postverkehr - ohne Genehmigungspflicht;
- Einführung eines multilateralen Kontingents für den internationalen Strassengüterverkehr (560 Genehmigungen im Jahre 1981);
- Organisation und Verbesserung des Gütertransitverkehrs: Prinzip der Nichtdiskriminierung der internationalen Frachtführer aufgrund ihrer Staatsangehörigkeit und ihres Steuersystems; stufenweiser Abbau der bestehenden Einschränkungen; wirtschaftspolitische und technische Aspekte einer europäischen Transitpolitik;
- Privilegien für Strassenfahrzeuge, die kombinierte Transportsysteme (Huckepackverkehr, Ro-Ro-Schiffe) benutzen;
- Abbau von Hindernissen für den internationalen Strassengüterverkehr an Staatsgrenzen und Organisation an Zollämtern;
- Vereinfachung der juristischen und administrativen Verfahren betreffend zusammengesetzte Fahrzeuge, deren Einheiten (Zugmaschine, Anhänger, Sattelschlepper) aus verschiedenen Ländern stammen.

b) Verkehrssicherheit

Abgesehen von einer ganzen Reihe von Massnahmen, welche die EVMK ergriffen oder unterstützt hat und die sich sowohl auf schwere LKW's wie auch auf andere Verkehrsteilnehmer beziehen, hat die Kommission in ihren Empfehlungen über Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie über Fahrtdauer, Ruhepausen und Arbeitsbedingungen der Berufsfahrer die spezifischen Sicherheitsprobleme des Schwerverkehrs einer speziellen Betrachtung unterzogen.

c) Energie

Diese Frage wurde in den letzten Jahren durch verschiedene EVMK-Organen behandelt. Der Ministerrat hat zwei Berichte über dieses Thema verabschiedet und betont, dass die Situation im Energiebereich gegen das Prinzip, wonach dem Benutzer die freie Wahl des Verkehrsmittels zusteht, nicht verstossen dürfe. Im Zusammenhang mit möglichen Wegen zu einer Verringerung des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich unterstrichen die Minister die Bedeutung, die sie der Einwirkung auf die Preise, der Investitionslenkung und einer Kursänderung der Verkehrspolitik infolge energetischer Erfordernisse beimessen.

d) Verteilung der Infrastrukturkosten

Der Zweck dieses Unterfangens, das in enger Zusammenarbeit mit der EG-Kommission durchgeführt wird, besteht darin, im Hinblick auf die Verteilung der Infrastrukturkosten als Rahmen eines erweiterten Europas - natürlich jenes der EVMK - zuhanden der Mitglieder gemeinsame Regeln und Prinzipien festzulegen. Es handelt sich insbesondere darum, ein gerechtes System auszuarbeiten, das zur Angleichung der intra- und intermodalen Wettbewerbsbedingungen wirksam beitragen und gleichzeitig die Abgabenmodalitäten regeln würde.

In der ersten Phase des Projektes, die in einem vom Ministerrat 1981 verabschiedeten Bericht beschrieben ist, wurden bereits mehrere Beiträge zur Evaluation der sog. "internen" Kosten und deren Deckung durch die Benutzer, insbesondere im Bereich des Strassengüterverkehrs, geleistet.

Die zweite Phase ist gegenwärtig noch im Gange. Sie bezieht sich u.a. auf die Ermittlung und Abschätzung der externen Kosten sowie auf Probleme infolge von Störungen der Gleichgewichtslage, die namentlich im internationalen Verkehr bei der Deckung der Infrastrukturkosten in bestimmten Ländern im Hinblick auf deren Einnahmen aus verschiedenen Abgabensystemen auftreten können.

II.3 Die grossen Forschungsprogramme

Die Wissenschaft

Die grossen Forschungsprogramme befassen sich sowohl mit Fahrbahnen als auch mit Fahrzeugen. Die ersten fallen in den traditionellen Bereich "Strassenforschung". Der Vollständigkeit halber müssen auch die angestrebten Bemühungen erwähnt werden, welche die Kfz-Industrie im Bereich der schweren LKW's unternimmt, dies mit dem Ziel, die negativen Auswirkungen solcher Fahrzeuge wie Aggressivität, Lärm, Luftverschmutzung, Gefährdung der Sicherheit und Energieverbrauch zu verringern.

Im folgenden werden also der Reihe nach sowohl von Strassenforschungslabors als auch von der Kfz-Industrie durchgeführte Untersuchungen besprochen, um einerseits ihre Wechselbeziehung besser zur Geltung zu bringen und andererseits künftige Möglichkeiten herauszustellen, koordinierte Aktionen zu Themen durchzuführen, die nicht vorankommen können, solange die Fahrzeuge, die Fahrbahnen und die Verkehrsbedingungen nicht als ein komplexes Ganzes betrachtet werden, das es jedoch zu optimieren gilt.

II.3.1 Forschungsprogramme über Fahrbahnen und Strassenstruktur

Aufgrund der grossen Zahl solcher Programme können im vorliegenden Bericht nicht alle erwähnt werden.

Ohne auf die Bedeutung der AASHO-Versuche einzugehen, die in der Strassenverkehrsforschung eine Wende herbeigeführt haben, soll hier im speziellen auf den Umfang der kürzlich errichteten Versuchsanlagen hingewiesen werden. Ihre ausführliche Beschreibung findet der Leser im Abschnitt "Zukünftige Forschungsbedürfnisse und Anwendung von Grossversuchsanlagen" (Kap. VI.5).

Insgesamt elf Staaten geben an, über Grossversuchsanlagen mit ovalen oder geraden Pisten und verschiedenen Belastungssystemen (Lastplatten, spezielle Geräte oder wirkliche LKW's) zu verfügen.

Diese Versuchsanlagen dienen selbstverständlich zur Verbesserung der Fahrbahngestaltung und zur Untersuchung der Eigenschaften verschiedener Materialien, aber auch zur Bestimmung der Ermüdungsgrenze und genaueren Feststellung der Belastungsparameter. Auf diese Weise kann man eine operationellere Betrachtungsweise des Begriffs der "Aggressivität" gegenüber Fahrbahnen erlangen, was unerlässlich ist, wenn man die Wechselbeziehung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn besser erfassen will. Die Vielfalt der Versuchsverfahren, die sich auch kombinieren

lassen, was die erforderliche Überprüfung von verschiedenen Gesichtspunkten aus erlaubt, macht es möglich, neue und leistungsfähigere Fahrbahnverhaltensmodelle als bisher zu entwickeln.

Angesichts der gegenwärtigen wirtschaftlichen Schwierigkeiten besteht kaum Aussicht auf eine Wiederholung der AASHO-Strassentests. Es ist daher wichtig, aus den bei der Entwicklung der Versuchsanlagen erreichten Fortschritten sowie aus den Möglichkeiten der koordinierten Versuchsprogramme maximalen Nutzen zu ziehen.

Das Ziel sollte in der Standardisierung der verschiedenen Versuchsverfahren bestehen, um die Bemühungen koordinieren und die Forschungsergebnisse besser auswerten zu können.

II.3.2 Forschungsprogramme über Fahrzeuge

Die Notwendigkeit, die Betriebskosten zu senken und den Verbrauch von Mineralölprodukten zu reduzieren sowie technologische Fortschritte und internationale Konkurrenz haben der industriellen Forschung einen starken Auftrieb verliehen. Hersteller von Kraftfahrzeugen, Ersatzteilen und Reifen haben bedeutende Forschungsprogramme in Angriff genommen, die in einigen Fällen in Zusammenarbeit mit universitären oder staatlichen Forschungsinstitutionen und mit staatlicher Subventionierung durchgeführt werden.

So wurden im Bereich der Medizinalforschung grosse Bemühungen unternommen, die Auswirkungen der Luftverschmutzung durch Dieselmotoren - unter besonderer Berücksichtigung von Russ - zu erforschen.

In Grossbritannien hat man mit Hilfe eines anspruchsvollen Programms zu demonstrieren versucht, wie die Lärmimmissionen der LKW's reduziert werden können.

Das französische Programm "Virages" bezweckt den Bau des optimalen "maxicode"-Sattelschleppers und beruht auf einer Synthese der Forschungsergebnisse von bereits abgeschlossenen, noch laufenden oder erst geplanten Projekten. Ziele des Programms sind die Senkung des Kraftstoffverbrauchs, die Erhöhung der Sicherheit, die Reduktion des Lärms, die Verminderung der Luftverschmutzung durch Abgase und die Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Fahrers.

Solche Forschungstätigkeiten sind von grosser Tragweite, da in Voruntersuchungen klare Verbesserungsmöglichkeiten festgestellt wurden und bezüglich der Senkung der Betriebskosten mit erheblichen Fortschritten zu rechnen ist. Sämtliche Expertenberichte, insbesondere "Rapport Armitage", kommen zum Schluss, dass die Eigenschaften der LKW's durch koordinierte Bemühungen in den Bereichen Forschung und Reglementierung verbessert werden können. Ersatzteil- und Reifenhersteller nehmen an diesen Innovationsbemühungen ebenfalls teil.

Die internationale Zusammenarbeit ist sowohl in der industriellen als auch in der Strassenforschung möglich und wünschenswert. So bestehen im Falle der PKW's multinationale Kooperationsprogramme betreffend Luftverschmutzung und Sicherheit, die mit der gesunden Rivalität zwischen einzelnen Firmen keineswegs unvereinbar sind. Man darf jedoch nicht mehr zulassen, dass Transportunternehmer von den Erfolgen bei der Senkung der Betriebskosten ungehörig profitieren. Entsprechende Bestimmungen sollten gewährleisten, dass der Nutzen des technischen Fortschritts gerecht verteilt wird. Institutionen, welche die zwischenbetriebliche Zusammenarbeit fördern, sollten ihre Aktivitäten auf die LKW's ausdehnen, da es sich dabei um die gleiche Problematik handelt wie bei den PKW's.

II.3.3 Systembezogene Programme

Da die Internationale Zusammenarbeit zwischen den Institutionen der Strassenforschung und den Industriebetrieben bereits besteht, gibt es wohl kaum einen Grund, weshalb nicht auch ein gemeinsames Programm unter Beteiligung staatlicher und privatwirtschaftlicher Laboratorien unternommen werden könnte, das sich mit Themen aus dem Bereich der Wechselbeziehung Fahrzeug-Fahrbahn befassen würde.

Es liegt auf der Hand, dass der Begriff der Aggressivität nicht eingehend untersucht werden kann, solange man sich über das Verhalten des Komplexes Fahrbahn-Reifen-Federung-Fahrgestell nicht besser im klaren ist.

Beim Aggregat Fahrzeug-Fahrbahn handelt es sich bereits um ein komplexes physikalisches System. Wie würde es aber wohl aussehen, wenn man noch organisatorische Variablen wie etwa Flottenzusammensetzung und -management, Kostenverteilung - insbesondere im Bereich der Infrastruktur - aufgrund angemessener Tarife und Gebühren, Beeinflussung der Moduswahl, Möglichkeit des kombinierten Transportes usw. einbeziehen würde?

Die organisatorische Innovation ist zweifellos genauso wichtig wie die technologische. Um diese zu fördern sind anspornende und regulierende Massnahmen erforderlich. Daher ist die wirtschaftliche Forschung zur Abklärung der Auswahlmöglichkeiten notwendig.

In einigen Ländern, insbesondere in den USA, sind bedeutsame Untersuchungen im Gange. Nähere Angaben hierzu findet der Leser in Kapitel XI, das sich mit den möglichen Szenarien befasst. Es liegt auf der Hand, dass man sämtliche Mittel der Wirtschaftswissenschaft benötigt, um mit diesen Problemen fertig zu werden. Die Bedeutung der Aufgabe rechtfertigt solche Anstrengungen.

II.4 Technisch-wirtschaftliche Betrachtungsweise

Die Technologie

Die Optimierung eines komplexen Systems oder einfach die Demonstration starker Wechselbeziehungen, deren Existenz die Behörden nicht ignorieren können, impliziert die Anerkennung der Gültigkeit der technisch-wirtschaftlichen Modelle. Das Ingenieurwesen als solches ist sektoral: Tief- und Maschinenbau haben beide ihre eigene Sprache; Handbücher über den Strassenbau stehen gewöhnlich nicht in den Bücherregalen der KFZ-Ingenieure und die Entstehungsgeschichte eines neuen KFZ-Modells ist ein Prozess, der nicht zum Rüstzeug eines Strassenbauingenieurs gehört. Doch während das Ingenieurwesen sektoral ist, ist die Wirtschaft universell. Der Zwang der beschränkten Ressourcen gilt für alle. Das kann ein Ingenieur nicht ignorieren. Die technisch-wirtschaftlichen Modelle sind gerade dazu bestimmt, eine gemeinsame Sprache zu bilden, die es erlaubt, die Wechselbeziehungen und die Retroaktion des Systems abzuklären. Wenn ein Land eine neue Massnahme, z.B. eine Besteuerungsänderung, beschliesst (wie in Frankreich, wo das System der Besteuerung pro Achse zur Entwicklung von Sattelschleppern mit Tridem-Achsen führte), muss zunächst Klarheit darüber bestehen, dass ein solcher fiskalischer Vorstoss im allgemeinen Interesse ist. Dies kann nur ein Steuersystem gewährleisten, das auf einem korrekten technisch-wirtschaftlichen Modell beruht.

Das technisch-wirtschaftliche Vorgehen gründet auf der Methode der Systemanalyse. Bei diesem Verfahren werden die Auswirkungen der möglichen Optionen aufgrund von Messungen beurteilt, die mit Hilfe von Simulationen durchgeführt werden. Dabei werden gerade jene technisch-wissenschaftlichen Modelle verwendet, welche die technische Forschung entwickelt hat, wobei die Abwägung der verschiedenen Kriterien, die man in Betracht zu ziehen hat, den politischen Entscheidungsträgern überlassen wird.

Die Auswirkungen der schweren LKW's wurden also gemäss der bereits traditionellen Gliederung in folgende Kategorien eingeteilt:

- Auswirkungen auf den Verkehr: Kapitel IV
- Auswirkungen auf die Sicherheit: Kapitel V
- Auswirkungen auf die Fahrbahnen: Kapitel VI
- Auswirkungen auf die Brücken: Kapitel VII
- Auswirkungen auf die Umwelt: Kapitel VIII

Der Aufbau des vorliegenden Berichtes ist klar. Zunächst beschreibt er ausführlich Bedeutung und Rolle der LKW's (Kap. III), dann untersucht er die verschiedenen Auswirkungen (Kap. IV-VIII) und versucht anschliessend deren ungefähre Kosten einzuschätzen (Kap. X). Zuvor wurden die

energetischen Auswirkungen des Betriebes von Fahrzeugen untersucht (Kap. IX). Der Bericht schliesst mit der Darstellung der möglichen Szenarien (Kap. XI) und mit einer Reihe von Schlussfolgerungen und Empfehlungen (Kap. XII).

Dieser Syntheseversuch, der den ganzen Bereich der Strassenforschung mit ihren drei wichtigsten Komponenten (Strassenbau, Strassennutzung, Verkehr) behandelt, rechtfertigt sich durch die Rolle, welche der Strassengüterverkehr in der wirtschaftlichen Entwicklung aufgrund seiner Förderung des Handels spielt. Eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems ist ein wichtiger Faktor der Krisenmanagementpolitik, die verschiedene Regierungen in die Wege zu leiten suchen. In der Mehrheit unserer Länder sind die WTG-Programme (WTG = Wissen, Technologie, Gesellschaft) in Angriff genommen worden. Die Gesellschaft braucht ein leistungsfähiges Strassenverkehrssystem. Die Wissenschaft hat hinsichtlich Fahrbahngestaltung und Verständnis der Fahrzeugdynamik grosse Fortschritte erzielt und kann nun die Technologie zu weiteren wesentlichen Fortschritten führen, wenn es ihr gelingt, den Verbrauch der Mineralölprodukte zu reduzieren, die Sicherheit zu erhöhen, die Umweltbelastung zu vermindern und die Kosten zu senken.

III. Kapitel

Bedeutung und Rolle des Strassengüterverkehrs auf nationaler und internationaler Ebene

III.1 Zweck und Gliederung

Dieses Kapitel beschreibt die allgemeine Situation der Mitgliedstaaten der OECD hinsichtlich der schweren LKW's. Allgemeine Angaben wie Grösse und Zusammensetzung des Fahrzeugparks, beförderte Güter, Achslasten sowie Reglementierung und technische Einschränkungen sind notwendig, um die wirtschaftliche Bedeutung solcher Fahrzeuge zu verstehen und deren Auswirkungen auf den Verkehr, die Sicherheit, die Umwelt und die Strasseninfrastruktur - insbesondere Fahrbahnen und Brücken - zu beurteilen.

Bekanntlich weisen Definitionen, Klassifizierungen sowie die Art und Weise der Berichterstattung trotz beträchtlichen Bemühungen um eine Vereinheitlichung der grundlegenden Statistiken über Fahrzeuge, Verkehr und Transport von Land zu Land und manchmal auch innerhalb eines Landes erhebliche Unterschiede auf. Internationale Vergleiche sind nur bei einer beschränkten Anzahl von Faktoren möglich. Die in diesem Kapitel zusammengetragenen statistischen Angaben dienen also hauptsächlich dazu, die Grössenordnung und die Rolle des LKW-Parks in den einzelnen Ländern aufzuzeigen.

Die Abschnitte III.2 und III.3 geben eine kurze Übersicht über einige Definitionen, Vorschriften und Bestimmungen betreffend LKW's und andere Transportmittel. Die Abschnitte III.5 bis III.7 schliesslich befassen sich mit der Zusammensetzung der LKW-Parks sowie mit dem Frachtvolumen und den tatsächlichen Achslasten.

III.2 Begriffe und Definitionen

Der Begriff "LKW" kann unterschiedlich definiert werden. Im allgemeinen geht man dabei von der Nutzlast oder vom Gesamtgewicht des Fahrzeuges aus. Im vorliegenden Bericht gelten Fahrzeuge mit einer Nutzlast von über 1500 kg und einem Gesamtgewicht von über 3,5 t als "LKW".

Zur Bezeichnung von LKW's werden in der Literatur verschiedene Fachausdrücke verwendet, welche Unterschiede in bezug auf das technische Konzept, die Bauweise, den Einsatzbereich, die Nutzlast etc. aufzeigen. Einige sind in Tabelle III.1 aufgeführt.

Nutzlast: höchstes zulässiges Gewicht der Fracht.

Gesamtgewicht: das Gewicht eines Einzelfahrzeuges oder aller Bestandteile einer Kombination einschliesslich der Ladung.

Lastwagen: Kraftfahrzeug, das ausschliesslich oder hauptsächlich zum Gütertransport bestimmt ist.

Zugmaschine: Kraftfahrzeug, das ausschliesslich oder hauptsächlich dazu bestimmt ist, andere Strassenfahrzeuge zu ziehen.

Anhänger: Strassenfahrzeug, das dazu bestimmt ist, von einem Kraftfahrzeug gezogen zu werden. Es trägt sein Eigengewicht und das seiner Last auf eigenen Rädern.

Landwirtschaftliche Anhänger sind nicht berücksichtigt.

Sattelanhänger: Anhänger ohne Vorderachse, der so an die Zugmaschine gekoppelt ist, dass dieser z.T. auf dieser aufliegt und so ein wesentlicher Teil der Ladung des Anhängers von der Zugmaschine getragen wird.

III.3 Vorschriften und Bestimmungen

Aus zahlreichen Gründen, z.B. Verkehrsfluss, Sicherheit, geometrische Gestaltung von Strassen und Brücken sowie Einschränkungen im Hinblick auf die Konkurrenz zwischen verschiedenen Transportarten, sind spezifische Vorschriften und Bestimmungen ausgearbeitet worden, um Grösse und Gewicht der LKW's zu begrenzen sowie deren Betrieb und Verwendung zu kontrollieren. In letzter Zeit beeinflussen Umweltschutzbestimmungen, insbesondere jene über Lärm und

Verschmutzung sowohl die Bauweise als auch die Betriebsbedienung von LKW's, dies vor allem in städtischen Gebieten. Mit diesem Aspekt befasst sich Kapitel VIII.

Die Tabellen III.2 (höchstzulässige Lasten und Gewichte) und III.3 (LKW-Masse) zeigen die definierten technischen Limiten auf. Zu beachten ist, dass es sich bei den Werten in Tabelle III.2 um Obergrenzen handelt. Die zulässigen Höchstlasten für jede einzelne Tandem- und Tridemachse sind in der Regel in jedem einzelnen Land definiert, variieren jedoch von Land zu Land. Was das Gesamtgewicht betrifft, so gilt es auch die Auswirkungen der Zahl der Achsen und deren Abstände, die Länge des Fahrzeuges sowie die Bremskraft zu berücksichtigen. Hingewiesen sei ferner auf regionale Unterschiede in bestimmten Ländern, wie z.B. in den USA. Erwähnenswert ist auch, dass es in einigen Ländern keine Bestimmungen über die zulässige Belastung von Einzelrädern und Tridemachsen gibt.

Die Zahlen in der Tabelle III.3 geben die unter "normalen" Bedingungen geltenden Limiten an. Genauso wie bei den Gewichtsbeschränkungen gibt es auch hier einige Ausnahmen. So ist in Dänemark bei Stroh- und Heutransporten auf öffentlichen Strassen eine maximale Breite von 3,3 m (statt 2,5 m) zulässig. Die Tabelle III.4 gibt Auskunft über die in verschiedenen Ländern gültigen Geschwindigkeitsbeschränkungen für LKW's.

III.4 LKW- und andere Transportarten

In Tabelle III. 5 sind Angaben über den Bestand an verschiedenen Kraftfahrzeugtypen in einigen Mitgliedstaaten zusammengestellt. Der Anteil der auf der Strasse transportierten Güter am gesamten Güterverkehr eines Landes hängt von verschiedenen in diesem Land herrschenden Bedingungen ab, wie etwa Grösse und Zustand des Strassennetzes, die Art der zu transportierenden Güter, geographische Gegebenheiten, Servicequalität und Preisniveau der konkurrierenden Transportarten wie Eisenbahn, Pipeline und Schifffahrtswege. Es ist wichtig, die Bedingungen für eine Konkurrenz mit anderen Transportarten, einschliesslich Gebühren, Besteuerung und Reglementierung, zu berücksichtigen. Man kann also erwarten, dass ein Vergleich der Statistiken über die Zusammensetzung der nationalen Kraftfahrzeugparks und der Transportvolumen starke Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern zutage treten lässt.

Tabelle III.6 orientiert über die relative Bedeutung der wichtigsten Transportgüterarten im internationalen Verkehr. Sie gibt den Anteil der jeweiligen Transportart am Gesamtgewicht der transportierten Güter bzw. die Gesamtzahl der geleisteten Tonnenkilometer wieder. Bei einem Vergleich der Angaben sieht man, dass der gewichtsmässige Anteil des Strassengüterverkehrs in den europäischen Ländern mit Ausnahme der Niederlande und Belgiens (Schifffahrt) verhältnismässig konstant sind, während die Tonnenkilometer-Anteile von Land zu Land stärker variieren.

Am Beispiel Grossbritanniens illustriert die Tabelle III.7 die fundamentale Rolle des Strassengüterverkehrs in der britischen Wirtschaft. So werden praktisch alle Lebensmittel, Getränke, Tabakerzeugnisse, rund 90% der Baumaterialien, die chemischen Produkte und Düngemittel sowie 80% des Stahls, des Eisens und anderer Metalle auf der Strasse transportiert. Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine amerikanische Studie betreffend die einzelnen Erzeugniskategorien, die kürzlich vom Verkehrsministerium und der Transportabteilung des Landwirtschaftsministeriums durchgeführt worden ist. Sie ergab, dass viele Güter, die für die US-Wirtschaft von vitaler Bedeutung sind, auf Lastkraftwagen angewiesen sind.

In den USA beträgt der Anteil der Strasse an den im interurbanen Verkehr geleisteten Tonnenmeilen bloss 23% (insgesamt liegt dieser Wert jedoch viel höher), während sich der gewichtsmässige Anteil auf 37% beläuft. Die grosse Entfernung zwischen den einzelnen Städten in den USA, vor allem im Westen, wirken sich bei bestimmten Produkten zweifellos zugunsten der Bahn und insbesondere der Pipeline aus. Dennoch sind 1977 zwei Drittel der Gesamtausgaben für den interurbanen Gütertransport in den Strassenverkehr geflossen. Dies ist auf die Art und Weise der auf der Strasse beförderten Güter zurückzuführen - es sind Produkte mit einem hohen Zeitwert, die einer sehr hohen Dienstleistungsqualität bedürfen.

Die Figur III.1 illustriert die Bedeutung der LKW's. Am Beispiel Schwedens wird die Korrelation zwischen dem Volumen der Industrieprodukte und dem Strassengüterverkehr dargestellt.

III.5 LKW - Zusammensetzung der nationalen Fahrzeugparks

Die Angaben über den nationalen Lastkraftwagenpark (siehe auch Tabelle III.5) und neue Zulassungen sind bei der Mehrheit der Länder nach Gesamtgewicht und/oder Nutzlast gegliedert. Tabelle III.8 gibt Auskunft über die Verteilung der Nutzlastkapazitäten innerhalb bestimmter Länder. Neben Angaben über Nutzlast und Gesamtgewicht der Fahrzeuge werden in den meisten Ländern auch Statistiken mit anderen Parametern erstellt, die sich auf die Situation und Beschaffenheit ihres jeweiligen LKW-Bestandes beziehen, z.B. Kilometerstand, wichtigster Verwendungszweck, Baujahr, Karosserietyp etc.

III. 6 Statistiken über den Umfang des Strassengüterverkehrs

Das transportierte Volumen kann man in "beförderte Tonnen" oder in "geleistete Tonnenkilometer" ausdrücken. Die Statistiken werden sowohl auf nationaler als auch auf lokal-punktueller Ebene erstellt. Beim letzteren handelt es sich um Angaben über einen speziellen Teil oder Abschnitt des Strassennetzes. Solche Statistiken dienen zur Beurteilung der lokalen Auswirkungen der LKW's, z.B. Fahrbahnbeschädigungen auf bestimmten Strassenabschnitten.

In manchen Ländern werden diese Statistiken in mehrere Kategorien gegliedert und nach einem oder mehreren Aspekten klassifiziert. Solche Kategorisierungen illustriert die Tabelle III.9, die ausführliche Angaben über den Güterverkehr in Grossbritannien liefert.

Es ist schwierig, nationale Statistiken, z.B. über transportierte Güter, miteinander zu vergleichen, da die Intervalle zwischen den Gewichtskategorien nach unterschiedlichen Massstäben definiert werden. In den wenigen Fällen, in denen die Angaben verfügbar sind, kompliziert sich die Situation dadurch, dass die Zahlen im allgemeinen getrennt entweder die Nutzlast oder das Gesamtgewicht oder das Gewicht der Ladung, nicht aber alle drei Faktoren gleichzeitig angeben.

Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen zurückgelegter Distanz und Umfang transportierter Güter stellt Fig. III.2 eine typische Situation dar. Die meisten Gütertransporte sind kurz, doch die Transportaktivität (Tonnenkilometer) ist stärker auf längeren Distanzen. Diese Umstände bringt das Diagramm zum Ausdruck, das ebenfalls die Anteile der verschiedenen Betriebsarten aufzeigt.

III.7 Tendenzen im Strassengüterverkehr und LKW-Verwendung

Der Strassenverkehr hat seinen Anteil am Frachtmarkt im Laufe der Zeit beträchtlich erhöht. Der LKW-Gütertransport nimmt ständig zu. Die LKW-Parks der Mitgliedstaaten umfassen immer mehr grössere Einheiten, da man durch Vergrösserung der Nutzlast eine höhere Rentabilität anstrebt.

Die Bedeutung grösserer LKW's ist in den meisten Mitgliedländern ganz klar. In Grossbritannien und Italien machen schwere Lastwagen nur 4% des gesamten LKW-Parks aus. Auf sie entfallen jedoch 40% der auf der Strasse und 30% der insgesamt geleisteten Tonnenkilometer. Laut THORSEN & WIGAN (5) verläuft die Entwicklung auch in Australien zugunsten schwerer Lastwagen. Während den letzten 20 Jahren hat sich der Anteil der "starren" LKW's am Strassentransportmarkt ständig verkleinert. Die Gelenk-LKW's hingegen konnten ihren Anteil an den im Strassenverkehr geleisteten Tonnenkilometern von 47% im Jahre 1963 auf 58% (1971) bzw. 66% (1976) erhöhen.

In Frankreich ist der LKW-Park zwischen 1965 und 1974 jährlich um durchschnittlich 2,2% angestiegen. Wie aus der Tabelle III.10 hervorgeht, erhöhte sich die durchschnittliche Zuwachsrate in den Jahren 1975 bis 1979 auf 2,9%, während sie bei den LKW's mit einer Nutzlast von über drei Tonnen sogar 3,3% betrug. Die höchste Zuwachsrate wurde in der obersten "Gewichtsklasse", d.h. bei LKW's mit einer Nutzlast von mehr als 17 Tonnen, verzeichnet.

Laut den Angaben, welche die Gruppe aus Grossbritannien erhalten hat, beträgt das durchschnittliche Gewicht der registrierten Lastwagen elf Tonnen, während sich der Mittelwert der im

Strassengüterverkehr geleisteten Tonnenmeilen auf ein 25-Tonnen-Fahrzeug bezieht. Australien stellt in seinem Bericht "eine deutliche Zunahme der ... Sechssachs-Gelenkfahrzeuge sowie eine Abnahme der ... Vierachs-Gelenkfahrzeuge" fest. Kurz, die schwereren Nutzfahrzeuge werden immer schwerer.

Tabelle III.1
Vereinfachte Darstellung einiger Fahrzeugzusammensetzungsarten

Lastwagen mit Gesamtbetriebsgewicht (festes Fahrzeug) > 3,5 t			
Zugfahrzeug			
Sattelschlepper (Zugfahrzeug + Auflieger)			
Lastzug (Lastwagen oder Zugfahrzeug + 1 zusätzlicher Anhänger)			
Einzelachse			
Doppelachse			
Tridemachse			

Tabelle III.2

Maximale Belastung/Maximales Gewicht

Die aufgeführten Werte entsprechen den jeweilig oberen Grenzwerten unter speziellen Konditionen

Land	Achsgewicht (t)		Radbelastung (t)	Gesamtfahrzeuggewicht (t)				
	Einzelrad	Doppelrad		Schwer-LKW	3-Achser	4-Achser	5-Achser	LKW, Zugfahrzeug Sattelzug
Australien	5,4	8,5	10/16,5 1) 15/18 1)	14/22			38	38
Österreich	10		16	16/22	38	38	38	38
Belgien	13		20	19/26	38	38	38	40
Dänemark	10		16	18/24	28	38	44	44
Frankreich	13		21	19/26	38	38	38	38
Deutschland	10		16	16/22	26	32/36 6)	38	38
Griechenland	13		20	19/26	29	38	38	38
Italien	12		19	18/24	30	40	44	44
Japan	10		20	20	*	*	*	34
Niederlande	10		18	20/30	50	50	50	50
Spanien	13		21		33	38	38	
Schweden	10		16					51,4
Schweiz	10 (12) 4)		18 (20) 4)	16/25/28 5)	26	28	28	28
UK	10,16		20,32 **	16,26 24,38	24,38	32,5	32,5	32,5
USA 3)	4,5-5,4 8,2-10,9		14,5-19,9 N/A	13,6-19,9 14,5-20,9	21,8-23,6	28,1-29,9	33,2-67,1	33,2-55,1

* Abhängig vom grössten Achsabstand

** Grosser Achsabstand

1) Einzelrad/Doppelrad

2) 2-Achser/3-Achser

3) Die Grenzwerte werden von den einzelnen Staaten erstellt; die Ziffern entsprechen jeweils dem unteren und oberen Grenzwert.

4) Eine Toleranz von 2 Tonnen ist zulässig, wenn dabei das Gesamtgewicht eingehalten wird.

5) 2-Achser/3-Achser/4-Achser

6) Achsabstand kleiner als 2,0m

Tabelle III.3
Zulässige Höhe, Breite und Länge (3)

Land	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)		
			LKW 2/3-Achser	Zumaschine + Auflieger	Zugfahrzeug + Sattelzug
Australien	4,3	2,5	11,0	17,0	17,0
Österreich	4,0	2,5	12,0	16,0	18,0
Belgien	4,0	2,5	11,0	15,5	18,0
Dänemark	4,0	2,5	12,0	15,5	18,0
Frankreich		2,5	11,0	15,5	18,0
Deutschland	4,0	2,5	12,0	15,0	18,0
Griechenland	4,0	2,5	12,0	15,0	18,0
Italien	4,0	2,5	12,0	15,5	18,0
Japan	3,8	2,5	*	*	*
Niederlande	4,0	2,5	11,0	15,5	18,0
Spanien	4,0	2,5	11,0/12,0	16,5	16,5
Schweden		2,6		24,0	24,0
Schweiz	4,0	2,3-2)		16,0	18,0
UK	4,0	2,5	11,0	15,0	18,0
USA 1)	4,1	2,4	10,7-18,3	16,8-25,9	16,8-25,9

* Nach Einzelfall, normal 15,5m

1) In den USA wird die zulässige Länge von den einzelnen Bundesstaaten festgelegt; aufgeführt sind die Höchst- resp. die Niedrigstlimite.

2) 2,5m auf Hauptstrassen und in städtischen Gebieten.

Tabelle III.4
Maximale Höchstgeschwindigkeit (km/h) für LKW's in den Mitgliedstaaten
 (Chambre syndicale des Constructeurs d'automobiles, Juli 1979)

Land	Urbaner Bereich	in ländlichen Gebieten	
		Autobahnen	Andere
Österreich	50	70-80	60-70
Australien	60	80	80
Belgien	60	90	60
Kanada	50	100	70
Dänemark	60	70	70
Frankreich	50	80-90	60-80
Deutschland	50	80	60
Griechenland	40	60	60
Irland	48		55-65
Italien	50	80	60
Japan	60	100	60
Niederlande	50	80	60
Spanien	60	100	70-80
Schweden	50	70-90	70
Schweiz	60	80	60-80
UK	48	65-96	50-65
USA	40-48	88	88

Bemerkungen:

Dies ist eine vereinfachte Darstellung der in jedem Land gültigen Regelung. Die angeführten Geschwindigkeitsbegrenzungen beziehen sich auf den schwersten LKW-Typ (bis 3,5 t, bis 5 t, bis 7,5 t), je nach der jeweils gültigen Definition des Begriffs "ländliche Gebiete". Die niedrigsten Werte beziehen sich auf Sattelschlepper und/oder auf Lastzüge, oder aber auf die unteren Klassen von Landstrassen.

Figur III.1

Vierteljährliche Entwicklung der Industrieproduktion
und des Strassengüterverkehrs, Schweden, 1972 - 1979

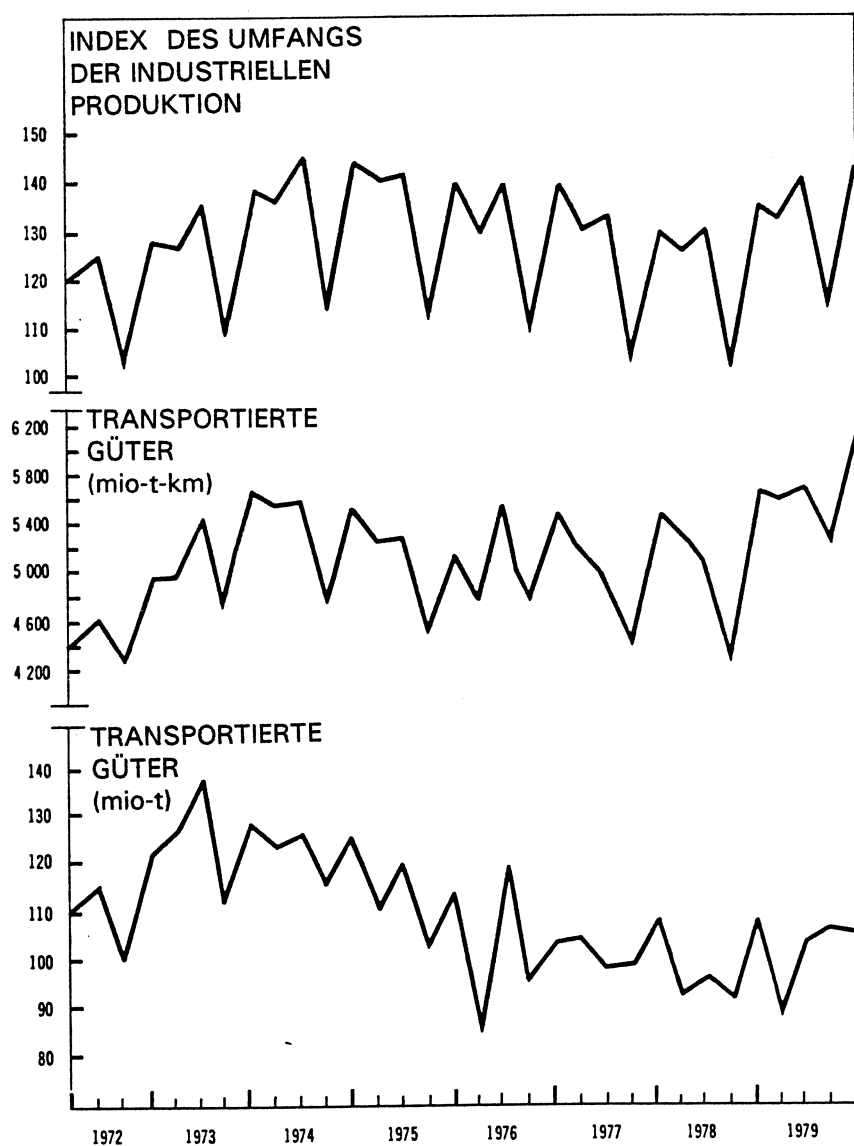


Tabelle III.5

Anzahl der registrierten Fahrzeuge (in Tsd.)
ohne Mopeds und Mofas (1)

Land	Personen- wagen	Busse	LKW's ¹⁾	LKW's mit Nutzlast über 1,5 t	Sattel- schlepper	Lastzüge
Australien/1979	5657	37	421		43	
Österreich/1979	2139	9	172	77	152 ²⁾	
Belgien/1979	3077	17	209 ⁴⁾	108	27	19
Dänemark/1979	1423	7	259	72	9	107
Frankreich/1978	17400	41	2332	570	124	51
BRD/1979	22535	68	1236	678	61	241
Griechenland/79	839	16	351			
Italien/1978	16240	52	1411			
Japan/1979	22667	229	13335			
Niederlande/78	4100	10	288	113	34	37
Spanien/1979	7058	42	1216	520	31	14
Schweden/1979	2868	13	174	80	5	228
Schweiz/1979	2154	11	161	68		54
UK/1979	14926	113	1827			
USA/1979	120128	521	24348			

1) Als Lastwagen registrierte Fahrzeuge

2) Sattelanhänger + Anhänger

3) Zugmaschinen für Sattelanhänger sind in der Rubrik "LKW" eingeschlossen

4) Zugmaschinen nicht eingeschlossen

Tabelle III.6

Relativer Anteil (in %) der wichtigsten Transportarten
am innerstaatlichen Güterverkehr (1)

Land	Transportierte Güter in Tonnen				Tonnenkilometer			
	Bahn	Strasse	Schiff- fahrts- wege	Oel- Pipe- lines	Bahn	Strasse	Schiff- fahrts- wege	Oel- Pipe- lines
Australien/1976	22.2	76.0		1.8	55.3	35.5		9.0
Belgien/1979	5.4	84.7	6.2	3.7	8.4	72.8	12.3	6.5
Frankreich/1978	12.6	76.4	5.2	5.8	33.9	44.0	5.7	16.4
BRD/1979	10.3	79.3	7.5	2.9	26.0	48.0	19.8	6.2
Italien/1978	3.0	91.0		6.0	14.9	75.2	0.1	9.8
Japan/1979	3.1	88.2	8.6		9.8	39.1	51.1	
Niederlande/76	2.7	51.2	39.6	6.4	4.9	30.1	55.9	9.0
Spanien/1979					10.2	87.1		2.7
Schweden/1979	12.8	87.2			42.6	57.4		
Schweiz/1979	13.1	78.6	4.2	4.0	50.6	39.2	1.1	9.0
UK/1976	9.8	84.5	0.3	2.9	14.5	67.3	0.1	4.0
USA */1976	28.0	37.4	12.4	17.7	36.2	23.0	16.9	23.7

*) Die fehlenden 4,5% entfallen auf die Küstenschifffahrt und den Luftverkehr.

Tabelle III.7

Tonnenmeilen nach Produktionskategorie und Transportart
Grossbritannien, 1967/1968 - 1979 (4)

Produkt	1967 / 1968				1979			
	Tonnen- meilen (in Mrd.)	Strasse in %	Bahn in %	Pipe- line in %	Tonnen- meilen	Strasse in %	Bahn in %	Pipe- line in %
Nahrungsmittel, Getränke, Tabak	11.0	93	7		15.9	98	2	
Baumaterial, Bauholz uam.	14.0	90	10		14.5	88	12	
Kohle, Koks	8.8	28	72		6.1	31	69	
Rohöl, Benzin Mineralölprod.	4.9	40	29	31	11.1	29	14	57
Düngemittel und chemische Pro- dukte	4.0	83	17		5.9	90	10	
Eisen, Stahl und andere Metalle	8.0	67	33		8.1	78	22	
andere	13.8	91	9		20.8	91	9	
Total der Produkte	64.6	75	23	2	82.4	78	14	8

Tabelle III.8

Anzahl Fahrzeuge (in Tsd.) pro Nutzlast-Kategorie (KG) (1979)
(Die Zahl in Klammern gibt die relative Verteilung an) (1)

Country	Trucks							Semi-trailers			Trailers			
	< 1 500	1 500- 2 999	3 000- 4 999	5 000- 6 999	7 000- 9 999	≥ 10 000	Total	< 10 000	≥ 10 000	Total	< 5 000	5 000- 9 999	≥ 10 000	Total
Australia ¹⁾		189 (54)		113 (32)		50 (14)	352 (100)	5 (12)	38 (88)	43 (100)				
Austria	95 (55)	20 (12)	15 (9)	12 (7)	23 (13)	7 (4)	172 (100)				103 (68)	23 (15)	26 (17)	152 (100)
Belgium	102 (49)	38 (18)	20 (9)	17 (8)	16 (8)	16 (3)	209 (100)	1 (4)	25 (96)	26 (100)	13 (68)	2 (10)	4 (21)	19 (99)
Denmark	186 (72)	34 (13)	8 (3)	13 (5)	10 (4)	8 (3)	259 (100)	-	8 (100)	8 (100)	98 (92)	3 (3)	5 (5)	106 (100)
France (1978)	1 761 (75)	295 (13)	73 (3)	63 (3)	48 (2)	92 (4)	2 332 (100)	9 (7)	115 (93)	124 (100)	32 (63)	6 (12)	13 (25)	51 (100)
Germany, Fed. Rep.	559 (45)	247 (20)	186 (15)	63 (5)	124 (10)	57 (5)	1 236 (100)	9 (15)	52 (85)	61 (100)	106 (44)	47 (20)	88 (37)	241 (101)
Greece (1978)	184 (70)	29 (11)	19 (7)	11 (4)	8 (3)	14 (5)	265 (100)							
Netherlands (1978)	175 ²⁾ (61)	38 ³⁾ (13)	17 (6)	17 (6)	26 (9)	15 (5)	288 (100)	1 (3)	33 (97)	34 (100)	24 (65)	2 (5)	11 (30)	37 (100)
Spain	696 (55)	295 (23)	63 (5)	49 (4)	49 (4)	109 (9)	1 261 (100)	1 (3)	30 (97)	31 (100)	7 (50)	5 (36)	2 (14)	14 (100)
Sweden	94 (54)	21 (12)	10 (6)	10 (6)	17 (10)	22 (12)	174 (100)	-	4 (100)	4 (100)	205 (90)	5 (2)	18 (8)	228 (100)
Switzerland	93 (58)	25 (16)	7 (4)	10 (6)	22 (14)	4 (2)	161 ⁴⁾ (100)	-	-	-	36 (67)	10 (19)	8 (15)	54 ⁵⁾ (101)
United Kingdom			268 (53)			238 (47)	506 (100)	4 (4)	106 (96)	110 (100)				
United States	21 432 (84)	1 506 (6)	151 (1)	94 (1)	594 (2)	1 060 (4)	25 408 (98)							

1) verwendete Intervalle: (i) bis 4 t; (ii) 4 t - 8 t; (iii) über 8 t; (iv) 8 t - 12 t; (v) über 12 t

2) bis 1999 kg

3) 2000 kg - 2999 kg

4) verwendete Intervalle: (i) bis 5,5 t; (ii) 5,501 t - 8 t; (iii) über 8,001 t

Tabelle III.9

Güterverkehr (in Mia. Tonnenkilometern, gegliedert nach
Gesamtgewicht und Typ des Fahrzeuges und nach
Betriebsart (Grossbritannien (UK) 1978

Gesamtgewicht		LKW Betriebsart		Gelenk-LKW Betriebsart		Total LKW Betriebsart		Total LKW, Be- triebs art
über (Tonnen)	unter (Tonnen)	öffent.	privat	öffent.	privat	öffent.	privat	
	3,5	0,3	2.4			0.3	2.4	2.7
3.5	5.5	0.1	0.3			0.1	0.3	0.3
3.5	8.5	0.4	1.8			0.4	1.8	2.2
3.5	11.0	0.7	1.5			0.7	1.5	2.2
11.0	16.0	2.5	3.5		0.1	2.6	3.6	6.1
16.0	20.0	5.4	5.1	0.4	0.5	5.8	5.6	11.4
20.0	24.0	1.3	1.2	0.3	0.4	1.5	1.5	3.1
24.0	28.0	4.1	4.1	1.0	1.2	5.1	5.4	10.4
28.0		4.2	2.7	40.7	13.5	44.3	16.3	60.5
Nicht bekannt				0.1		0.1		0.1
total		18.9	22.6	41.8	15.7	60.7	38.3	99.1

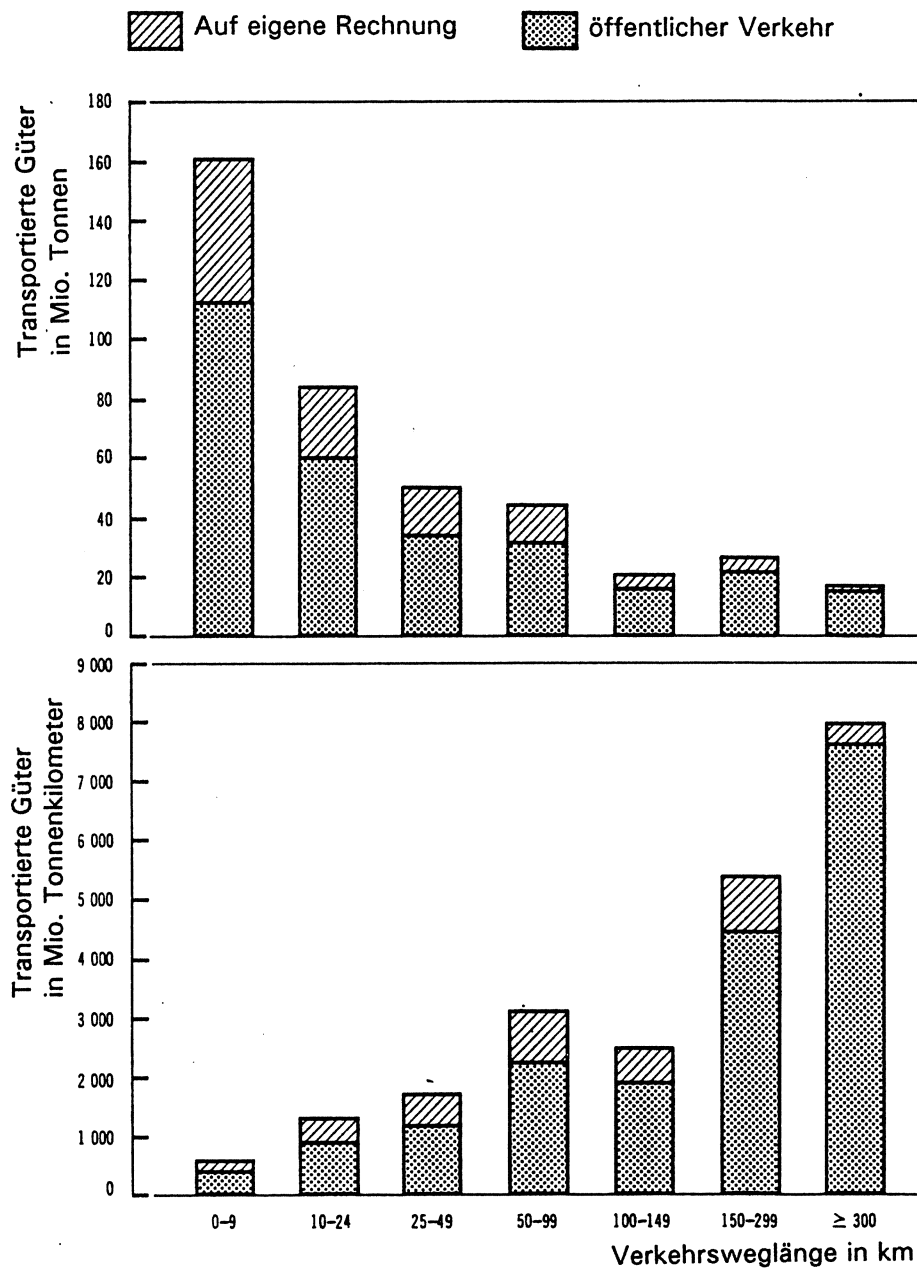
Tabelle III.10

Jährliche Zunahme der LKW's mit einer Nutzlast
von über 3 t und Fahrzeugkilometer (Frankreich)

Nutzlast-Kategorie (t)	Anteil in Prozenten (1979)		Zunahme der Fahr- zeug-km Jahresdurchschnitt 1975 - 1979 (%)
	am LKW-Park	an Fahrzeug-km	
3.0 - 4.5	16.5	9.6	3.4
4.5 - 6.5	16.0	12.8	2.8
6.5 - 9.0	12.4	10.2	4.6
9.0 - 13.0	23.6	24.1	- 0.8
13.0 - 17.0	7.9	8.1	4.4
mehr als 17.0	23.6	35.1	6.1

Figur III.2

Umfang des LKW-Güterverkehrs nach
zurückgelegten Distanzen (Schweden, 1979)



References:

1. UNITED NATIONS. Annual Bulletin of Transport Statistics for Europe. New York, 1979.
2. WESTERN HIGHWAY INSTITUTE. Drive traction characteristics of trucks and truck combinations. United States, 1976.
3. UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL. National Regulations Governing Weights and Dimensions of Vehicles. 1976.
4. ARMITAGE, A. Report of the inquiry into lorries, people and the environment. HMSO, London, 1980.
5. THORESEN, T. and WIGAN, M. Vehicle population dynamics: tracing, forecasting and assessing changing population characteristics. Proc. 10th ARRB Conf. 1980.

IV. Kapitel

Auswirkungen auf den Strassenverkehr

IV.1 Einleitung

Aufgrund der in Kapitel III behandelten LKW-Problematik kann man mehrere spezifische, dem Strassenverkehrssystem inhärente Wirkungen identifizieren. Die Kenntnis dieser Wirkungen ist wesentlich für das Verständnis der Funktionen und Unzulänglichkeiten von Stadt- und Landstrassennetzen und für die Erarbeitung wirkungsvoller Massnahmen, um die Geschwindigkeit und/oder die Qualität der Verkehrsleistung auf dem gewünschten Niveau aufrechterhalten zu können.

Damit man sich eine Vorstellung von der Bedeutung des Schwerverkehrs machen kann, sind in Abschnitt IV.1 Angaben über den Anteil der LKW's am gesamten Verkehr zusammengestellt. Die folgenden Abschnitte IV.2 und IV.3 befassen sich mit den Aspekten der Strassenleistungsfähigkeit, insbesondere mit PKW-Äquivalenten der LKW's unter verschiedenen Verkehrs- und Infrastrukturbedingungen, sowie mit den Auswirkungen der LKW's auf den Verkehrsablauf. Der gegenwärtige Wissensstand auf diesem Gebiet in den Mitgliedstaaten beruht hauptsächlich auf amerikanischen Forschungsergebnissen und Versuchen aus den fünfziger und sechziger Jahren. Neuere Forschungsergebnisse, so geht aus den der Gruppe unterbreiteten nationalen Berichten hervor, sind ziemlich begrenzt vorhanden.

IV.2 Bedeutung des Nutzfahrzeugverkehrs

Wie wir im vorhergehenden Kapitel festgestellt haben, beruhen die nationalen Statistiken auf verschiedenen Definitionen des Begriffs Kraftfahrzeug und des Begriffs der Kraftfahrzeugkategorien, was die Ermittlung des effektiven Anteils der LKW's im internationalen Massstab erschwert. Die nachstehenden Angaben beziehen sich also im allgemeinen auf "leichte" und "schwere" LKW's, d.h. auf alle Nutzfahrzeuge schlechthin. Dies ist zwar im Hinblick auf den Zweck der vorliegenden Untersuchung bedauerlich. Schliesslich ist jedoch die Beurteilung der Auswirkungen des Schwerverkehrs auf den Verkehrsfluss und die Geschwindigkeiten und die sich daraus ergebenden Einflüsse auf die geometrische Form der Strasse für die in diesem Kapitel dargelegte Verkehrsplanung relevant. Die hier angegebenen Zahlen sollen ausreichen, um einige wichtige Fragen im Zusammenhang mit LKW's in den Vordergrund zu stellen.

In der Gliederung nach Bedeutung (2) repräsentieren die LKW's in den OECD-Mitgliedstaaten rund 20% des gesamten Verkehrsaufkommens (20 bis 30% auf Autobahnen und 10 bis 20% auf den Hauptstrassen). Dabei bestehen zwischen den einzelnen Ländern und Regionen desselben Landes erhebliche Unterschiede. Die Zunahme des Schwerverkehrs im Verhältnis zum übrigen Strassenverkehr und die geschätzte jährliche Zunahme der Fahrzeugkilometer betragen in den verschiedenen berücksichtigten Ländern zwischen 1 bis 6% (3). Die Tendenz zur Zunahme des Schwerverkehrs illustrieren die Ergebnisse einer auf österreichischen Strassen durchgeführten Verkehrszählung (vgl. Abb. IV.1).

Die Aufteilung dieses Verkehrs auf das Strassensystem unterscheidet sich erheblich von jener anderer Fahrzeuge; dies verdeutlicht Tabelle IV.1, in der repräsentative Informationen aus den der Gruppe unterbreiteten nationalen Berichten sowie die Ergebnisse einer in den beteiligten Ländern durchgeführten Umfrage zusammengestellt sind. Österreich stellt einen Sonderfall dar, da es aufgrund seiner geografischen Lage in Europa einen sehr hohen Prozentsatz an Transitverkehr aufweist; bei den LKW's beträgt der Wochendurchschnitt des täglichen Verkehrs 1500 bis 5500 auf Autobahnen und 1000 bis 3400 auf Hauptstrassen. Dies vergleiche man mit dem entsprechenden Mittelwert in Australien, der sich auf Strassen der "Klasse 1" auf 130 beläuft.

In den meisten Mitgliedstaaten ist die gleiche Tendenz festzustellen: der Anteil der Lastkraftwagen, insbesondere der schweren LKW's, ist auf Strassen höherer Ordnung grösser als auf anderen Strassen. Nachfolgend einige Beispiele:

- laut dem Australienbericht übersteigt der LKW-Anteil oft 40%;
- in Grossbritannien wickeln sich 23% des gesamten Schwerverkehrs auf Autobahnen ab. Beim verbleibenden Strassenverkehr beträgt dieser Anteil lediglich 9%;
- in den USA entfallen auf Gelenk-LKW's gerade 4,3% der Fahrzeugkilometer (Vehicle Miles Travelled, VMT). Dennoch leisten sie 16,7% der Fahrten auf den Fernstrassen des "Interstate"-Netzes und 6,7% des Verkehrs auf anderen grossen Verbindungsstrassen, doch nur 0,15% auf kleineren Lokal- oder Landstrassen. In den Jahren 1978 und 1979 wurden in den USA 43% der von den LKW's zurückgelegten VMT auf dem "Interstate"-Netz (1% des nationalen Strassennetzes) geleistet, während der Anteil des gesamten Kraftfahrzeugverkehrs auf diesem Strassensystem nur 19,1% betrug.

IV.3 Strassenleistungsfähigkeit und PKW-Äquivalente der LKW's

Wegen ihrer Grösse würden die LKW's selbst dann, wenn sie in allen übrigen Belangen den anderen Kfz's glichen, die Strassenleistungsfähigkeit reduzieren, weil sie einfach mehr Platz brauchen. Selbstverständlich bestehen neben der Grösse noch viele weitere Unterschiede: so ist das Geschwindigkeitsverhalten der LKW's anders als bei anderen Fahrzeugen. Aufgrund ihres Kraft-Gewicht-Verhältnisses haben sie auch ein ganz anderes Beschleunigungsvermögen, z.B. bereiten ihnen Steigungen mehr Schwierigkeiten. Ihre Präsenz führt bei anderen Autofahrern zu Verhaltensänderungen. Ihre Leistungen und Auswirkungen variieren auch infolge von Strassengestaltung, Fahrspurbreite und -zahl, Verkehrszusammensetzung und -verhältnissen, Kreuzungen und anderen Faktoren. In städtischen Gebieten behindern und verzögern die LKW's den Verkehr nicht nur aufgrund ihrer Grösse und schwachen Leistung, sondern auch durch Stationierung zwecks Auf- resp. Abladens. Andererseits muss man aber auch zugeben, dass Stockungen im allgemeinen im Stadtverkehr sowie undiszipliniertes Verhalten und unerlaubtes Parken wiederum den LKW-Verkehr behindern.

IV.3.1 Das "Highway Capacity Manual"

Das "United States Highway Capacity Manual" (HCM) von 1965 (1) ist nach wie vor die bisher umfassendste Untersuchung über Strassenleistungsfähigkeit, Verkehrsregelung, Leistungsgrad und Verkehrsstockung einschliesslich der Auswirkungen der LKW's. Neuere internationale Studien wurden durch die AIPCR (7) sowie die OECD (zweispurige Strassen)(8) und (Leistungsfähigkeit von Kreuzungen)(9) durchgeführt.

Bei der Ermittlung von Verkehrsaufkommen und Leistungsfähigkeit betrachten Verkehrsingenieure die LKW's gewöhnlich als Äquivalente einer bestimmten Zahl von PKW's. Das HCM definiert dieses Äquivalent als "Anzahl der PKW's, die ein LKW im Verkehr ersetzt". Die im OECD-Bericht (8) vorgeschlagene Definition lautet: "Anzahl der PKW's, deren Einbeziehung in den Verkehrsfluss den gleichen Geschwindigkeitsabfall des übrigen Verkehrs bewirken würde wie ein LKW".

Als Variablen, welche die Auswirkungen der LKW's auf die Leistungsfähigkeit am stärksten beeinflussen, bezeichnet die HCM ihre Geschwindigkeit (insbesondere an Steigungen) sowie ihren Prozentsatz am gesamten Verkehr. Sowohl die HCM-Verfasser als auch die Gruppe sind sich bewusst, dass es einer übermässigen Vereinfachung eines komplexen Phänomens gleich käme, wenn man zur Ermittlung der Auswirkungen der LKW's auf die Leistungsfähigkeit nur einige wenige Faktoren berücksichtigen würde. Auf der anderen Seite sind allgemeine Faktoren insofern wertvoll, als sie es wenigstens erlauben, sich ein Bild von der Grössenordnung des Problems zu machen. Für approximative Globalanalysen errechnete das HCM als LKW-Äquivalente auf zweispurigen Landstrassen bei Verkehrsleistungsgrad "B" (stetiger Fluss) folgende Werte für PKW-Einheiten (Passenger Car Unit, PCU): 2,0 in flachem Gelände, 5,0 in gewelltem Gelände und 10,0 in bergigem Gelände. Auf mehrspurigen Strassen betragen die Werte 2,0, 4,0 und 8,0. Wie sich ergab, liegt der PCU-Wert bei niedrigen Geschwindigkeiten sehr hoch und steigt in der Regel bei schwachem Leistungsgrad, wenn ein Überholen eines langsam fahrenden LKW's nur schwer oder gar nicht möglich wird.

IV.3.2 Neuere Normen und Forschungstätigkeiten

Neue Forschungstätigkeiten auf diesem Gebiet sind begrenzt. In den USA wird das HCM zwecks Ergänzung einer neuen Untersuchung über die Kostenverteilung (Cost Allocation Study) derzeit aktualisiert; die neue Ausgabe soll 1985 erscheinen.

Einige Informationen neueren Datums liefern auch Australien, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Italien, Kanada, die Niederlande, Österreich, Schweden, die Schweiz und die USA. Allerdings handelt es sich dabei um fragmentarische Angaben. Die OECD-Sondergruppe für die Leistungsfähigkeit von Hauptstrassen arbeitet gegenwärtig an einer umfassenden Studie, die sich mit dem derzeitigen Stand des Wissens von der Leistungsfähigkeit beschäftigt; ihr Bericht soll 1983 vorliegen.

Man kann den allgemeinen Schluss ziehen, dass die im HCM für LKW's postulierten PCU-Werte möglicherweise die Auswirkungen der Nutzfahrzeuge bis zu einem gewissen Grad überschätzen, wenn diese als PKW-Einheiten betrachtet werden.

In bezug auf "flaches" Gelände kann man die der Gruppe übermittelten Angaben wie folgt zusammenfassen:

- die neue US-Forschung schlägt für Strassen mit Steigungen von bis zu 1 % und einer Länge von 400 m als PCU-Wert 2,0 vor (10);
- in den Niederlanden verwendet man 2,0 für LKW's und 3,0 für Lastzüge;
- die Schweiz (11) arbeitet mit 2,0 für Gelände mit Steigungen von bis zu 2 %, dies für alle Strassen- und LKW-Typen.
- in Frankreich wurde 1980 ein Modell (48) zur Evaluierung der Auswirkungen von LKW's auf die Verkehrsstärke entwickelt. Aufgrund einer Verkehrszählung auf einer starkt frequentierten Stadtautobahn hat man einen dreispurigen Strassenabschnitt bei wechselnder Verkehrszusammensetzung folgende Gleichung aufgestellt:

$$Q = \frac{654 T_e^{-0.041 T}}{1 + 1,17p}$$

wo: Q = gesamte Verkehrsmenge in Fz/Tag
 T = Nutzungsrate (in %)
 p = LKW-Anteil (in %)

Aus dieser Gleichung ergibt sich, dass ein durchschnittlicher LKW 2,17 PCU entspricht. Es wird angegeben, dass diese Zahl von der Verkehrsstärke unabhängig ist und sich genauso auf die ganze Fahrbahn als auch auf die einzelnen Spuren bezieht;

- in Grossbritannien (12) ermittelte man auf der Autobahn M4 (mit einigen Unterschieden zwischen Aussen- und Innenspuren) folgende PCU-Werte: 1,1 für Lieferwagen, 1,6 für Omnibusse, 2,0 für Lastkraftwagen, 2,9 für Gelenkfahrzeuge;
- in Kanada (13) wurden hauptsächlich im Stadtverkehr bei mittlerer und hoher LKW-Frequenz für leichte Lastkraftwagen 1,25 bzw. 1,5 PCU errechnet. Für schwere LKW's (2 Hinterachsen) betrugen diese Werte 1,75 und 2,0 und für Sattelschlepper 2,5 bzw. 3,0;
- gemäss den bundesdeutschen Richtlinien für Leistungsfähigkeit (14) schwankt der PCU-Wert (je nach Entwurfsgeschwindigkeit, Kurven, LKW-Anzahl usw.) um 2,0; diese Werte beziehen sich auf verschiedene Typen zweispuriger Strassen sowie auf Autobahnen mit 2x2 oder 3x3 Fahrstreifen (46, 47) (die PCU ändern sich auch gemäss drei gegebenen Hügeligkeitskategorien);
- eine im Südwesten Australiens durchgeführte Studie (15) ergab für Steigungen von bis zu 2 % auf zweispurigen Strassen folgende PCU-Werte: zweiachsige, vierräderige LKW's 1,0, dreiachsige LKW's 1,7, vierachsige LKW's 2,0, Lastzüge 3,0.

Was "stärkere" Steigungen betrifft, so scheint es, dass die im HCM angegebenen Werte einmal mehr die Auswirkungen der LKW's überschätzen (vgl. hierzu Tabelle 10/10 im HCM, die je nach Leistungsgrad, Steigung und deren Länge einen Höchstwert von 108 PCU angibt).

Laut dem US-Bericht ist die Motorleistung der Lastwagen im US-Park im Laufe der vergangenen zwanzig Jahre ständig gestiegen. Dadurch hat sich die Steigfähigkeit der LKW's im allgemeinen verbessert. Angesichts dieser Tatsache sowie der sich in den USA abzeichnenden Tendenzen zur Reduzierung der PKW-Grösse und -Leistung dürften sowohl ältere als auch neuere Forschungstätigkeiten die PCU-Werte für Steigungen für Fahrzeuge überschätzen, die in etwa 5 Jahren verkehren werden.

Die Schweiz (17) gibt für 5 LKW-Kategorien in Steigungen von 2 bis 6 PCU-Werte von 2,0 bis 8,0 und in Steigungen von über 6% einen PCU-Wert von 10,0 an. In Österreich (18) ergaben sich 2 bis 12 PCU. Allerdings zeigt eine neuere Untersuchung (19) eine stärkere Abhängigkeit von Steigungen auf. Entsprechende Angaben (Stand 1979) über amerikanische Autostrassen (10) sind in der Tabelle IV.2 zusammengetragen.

Die Tabellen IV.3a-c umfassen die neuesten (1981) amerikanischen Angaben über PCU-Werte für 14 Fahrzeugkategorien auf Stadtautobahnen und Durchgangsstrassen sowie Fernstrassen bei verschiedenen Leistungsgraden.

IV.4 Das Verhältnis Geschwindigkeit-Verkehrsmenge bei LKW's

Einige Untersuchungen konzentrieren sich nach wie vor auf die Auswirkungen des LKW-Anteils auf die Verkehrsmenge unter Berücksichtigung bestimmter Aspekte des Fahrverhaltens, wobei Steigungen als wichtiger Faktor gelten.

Tabelle IV.2, die sich auf amerikanische Autostrassen bezieht, zeigt, dass das PCU-Äquivalent sinkt, wenn der LKW-Anteil an der Verkehrsmenge steigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die LKW's in diesem Falle auf der rechten Spur zu konzentrieren beginnen, was zur Kolonnenbildung führt. Die Tabelle bezieht sich auf ein Gewicht-Leistungs-Verhältnis von 250-350 Pfund/PS, was in den USA üblich zu sein scheint.

In der Bundesrepublik hingegen ermittelte KEUDEL (20) bei wechselnder Verkehrsmenge folgende PCU-Werte: 1,0 bis 4,0 auf Autobahnen und 9 bis 4,5 auf Bundesstrassen. Auf Autobahnen steigen die PCU-Werte bei zunehmender Verkehrsmenge, während sie auf Bundesstrassen sinken.

Italienische Forscher wiesen nach, dass die Geschwindigkeitsschwankungen mit dem LKW-Prozentsatz zunehmen. Ihre auf einem Autobahnabschnitt mit einer Steigung von 3,5% durchgeführte Untersuchung ergab, dass sich die Fahrer bei einem LKW-Anteil von 5% genau so verhalten als verkehrten überhaupt keine Lastwagen. Allerdings kann sich das Fahrverhalten rasch ändern; bei einem LKW-Anteil von 10% treten erhebliche Veränderungen auf, und bei einem solchen von 15% waren sich die Fahrer der LKW-Präsenz im Verkehrsstrom bereits stark bewusst.

Australischen Angaben zufolge (21), die während eines längeren LKW-Fahrerstreiks zusammengetragen wurden, fahren PKW's langsamer, wenn praktisch keine LKW's verkehren. Dies wird dem Umstand zugeschrieben, dass LKW's wegen ihrer Grösse und Aggressivität die PKW-Lenker dazu bewegen, schneller als beabsichtigt zu fahren. Allerdings mögen auch andere Gründe eine Rolle spielen.

Zur Berechnung der durchschnittlichen Verkehrsgeschwindigkeit V (in km/h) wurde in Frankreich folgende Formel postuliert:

$$V = (1-p) \frac{l_1}{c} f(\tau) + p \frac{l_2}{c} f(\tau)$$

l_1, l_2	=	Länge von PKW's bzw. LKW's, verlängert um 2 m, um die Messbandlänge zu berücksichtigen
c	=	PCU-Äquivalent
p	=	LKW-Anteil in %
τ	=	Verkehrsstärke in %
f	=	eine Funktion, definiert durch $Q/\tau = f(\tau)$
Q	=	gesamte Verkehrsmenge (Fz/Tag)

In einer umfassenden Experimentalstudie, die ebenfalls in Frankreich durchgeführt wurde (50), wurden Formeln zur Berechnung von Fahrzeiten aufgestellt; so ergeben sich bei freiem Fluss auf zweispurigen Strassen folgende Gleichungen:

$$T_1 = a + bQ_1 + cQ_2 + dQ_1^3 + eQ_1^2Q_2$$

$$T_2 = f + (T_1 - a), \text{ where}$$

T_1 = journey time of light vehicles in h/km

T_2 = journey time of heavy vehicles (payload ≥ 50 kN) in h/km

a = parameter for zero flow

b, c, d, e, f = coefficients depending on cross section, gradient (defined as the sum of difference in level) and visibility (based on an aggregate function of sight distances).

Tabelle IV.4 bezieht sich auf eine 7 m breite Strasse. (Die Ergebnisse hängen von Schwankungen der Menge leichter Fahrzeuge ab. Der nationale Koeffizient beträgt 14,69; je höher dieser Wert liegt, um so schwächer sind die Schwankungen.)

IV.5 Kriechspuren und Spurnutzung

IV.5.1 Kriechspuren

Eine übliche Lösung von Problemen wie Überholen, Geschwindigkeitsrückgang bei LKW's an Steigungen, Fahrzeitverlängerung bei Unfallgefahr ist die Einführung von Kriechspuren für Schwerverfahrzeuge. Bei der Beurteilung, ob ein Bedürfnis nach einer solchen Zusatzspur besteht oder nicht, werden in der Regel insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt: die LKW-Geschwindigkeit an Steigungen, den LKW-Anteil an der Verkehrsmenge, den LKW-Anteil bei Kriechspuren auf zweispurigen Strassen sowie die Auswirkungen und die wirtschaftliche Evaluation der verschiedenen Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, hat im internationalen Massstab Mc Callum (22) untersucht. Er entwickelte ein auf experimentellen Ergebnissen beruhendes Modell, das Zeit, Kraftstoffverbrauch und Unfälle als Hauptfaktoren betrachtet und ebenfalls Steigungen, Abschnittslänge, Fahrzeiten, Anfahrtsgeschwindigkeit, Verkehrsstärke, Überholverhalten vor der Kriechspur etc. berücksichtigt.

Den nationalen Beiträgen zuhanden der Gruppe kann man folgende Informationen entnehmen:

- Australische Forschungstätigkeiten (23) identifizieren die Verkehrsmenge und das Gelände als bedeutende Faktoren. Wie man ferner feststellte, "wirkt sich die Länge der Steigungen auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis kaum aus. Der prozentuale Anteil der schweren LKW's hat weniger Bedeutung als erwartet".
- In der Bundesrepublik überprüft man die Notwendigkeit der Einführung eines zusätzlichen Fahrstreifens als Kriechspur durch den Vergleich eines Entfernungs-Zeit-Diagramms mit Entwurfsgeschwindigkeit des entsprechenden Strassenabschnittes.
- In den Niederlanden werden bei der Beurteilung, ob eine Kriechspur eingeführt werden soll oder nicht, zwei Grundkriterien verwendet: Geschwindigkeitsabfall und Leistungsfähigkeit. Ersteres wird in Betracht gezogen, wenn Nutzfahrzeuge infolge einer Steigung einen Geschwindigkeitsabfall um 20 km/h verzeichnen.
- In Österreich (24) benutzt man zur Berechnung der Geschwindigkeit des langsameren Verkehrs einen Standard-LKW. Anhand der PKW- und LKW-Verkehrsmenge und des Steigungsgrades lassen sich Entwurfsdiagramme anfertigen. Sichtweiten werden ebenfalls berücksichtigt.
- In den USA verwendet man im allgemeinen nur das Kriterium des Geschwindigkeitsabfalles. Abb. IV.2 (25) zeigt das benutzte Verhältnis der Geschwindigkeitsabnahme. Beträgt der Geschwindigkeitsabfall bei LKW's 10m/h (= 16 km/h), ist eine Kriechspur als Sicherheitsmassnahme zur Kompensierung von Geschwindigkeitsschwankungen gerechtfertigt. [Bei einem Geschwindigkeitsabfall von 15 m/h (= 24 km/h) ist die Unfallrate bei LKW's doppelt so hoch wie bei einem Abfall von 10 m/h.]

Einige neuere Daten zum Problem des Überholens hat Australien geliefert: TROUTBECK (26 und 27) beobachtete das Überholverhalten in Abhängigkeit von der LKW-Länge. Er stellte fest, dass ein PKW beim Überholen eines 16m langen LKW's 18% mehr Zeit benötigt als beim Überholen eines nur 5m langen Fahrzeugs. Bei einem 20m langen LKW geht man von einer 5% längeren Überholzeit aus. Ein PKW braucht also 24% mehr Zeit als beim Überholen eines 5m langen LKW's, bevor er in die eigene Spur zurückkehren kann.

IV.5.2 Spurnutzung und LKW-Spuren

Die Dynamik der LKW's im Verkehr auf Strassen mit mehr als zwei Fahrstreifen ist weniger bekannt. Abb. IV.3 (28) zeigt, dass die Nutzung der Aussenspuren (in Grossbritannien links) durch Nutzfahrzeuge auf Strassen mit je zwei Fahrstreifen in der Richtung bis zu einer Menge von 6000 Fahrzeugen pro Tag linear ist. Bei Erreichen dieser Zahl sinkt sie jedoch langsam von 97% auf 94%. Auf einer Strasse mit mehr als zwei Fahrstreifen in beiden Richtungen ist die Spurnutzung der

LKW's weniger konstant. Wie die Abbildung zeigt, sinkt die Nutzung der Aussenspur durch Nutzfahrzeuge auf einer Strasse mit je drei Fahrstreifen zunächst auf 1000 bis 3000 Nutzfahrzeuge pro Tag und wird dann beinahe linear bis zu 9500 Nutzfahrzeugen pro Tag, womit sie rund 72% beträgt. Bei mehr als 9500 Nutzfahrzeugen pro Tag, so vermerkt der britische Beitrag weiter, sind die Daten unzureichend. Wie man allerdings aus den verfügbaren Angaben schliessen kann, wird die Aussenspur bei mehr als 9500 Fahrzeugen pro Tag gesättigt, was zur Folge hat, dass bedeutend mehr Fahrzeuge in die mittlere Spur wechseln.

Obwohl das LKW-Verhalten im Verkehrsstrom auf mehrspurigen Autobahnen weniger konstant ist als auf zweispurigen Strassen, ist ihr Überholverhalten dennoch besser vorauszusehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Nutzfahrzeug die Spur wechselt, um ein anderes Fahrzeug zu überholen, ist im Falle einer dreispurigen Autobahn beinahe linear im Verhältnis zur Anzahl der Nutzfahrzeuge pro Tag. Auf zweispurigen Autobahnen ist das Überholverhalten der LKW's allerdings weniger regelmässig.

Die britischen Feststellungen werden von in den USA erzielten Ergebnissen bestätigt. Der amerikanische Beitrag kommt zum Schluss, dass auf Autobahnen das PCU-Äquivalent pro jeden zusätzlichen LKW sinkt. Genauso wie in Grossbritannien konzentrieren sich die LKW's im allgemeinen auf der (hier rechts liegenden) Aussenspur. Durch die Kolonnenbildung werden die Auswirkungen zusätzlicher Lastwagen reduziert.

In manchen amerikanischen Städten sind dem Schwerverkehr auf Schnellstrassen besondere Lastwagenspuren zugewiesen. In der Regel handelt es sich um die beiden ganz rechts befindlichen Fahrstreifen. Es ist nicht bekannt, ob dies andere Vorteile als gewisse Erleichterungen für die PKW's bietet. Laut einer unvollständigen Untersuchung (29) ist dies nicht der Fall. Eine frühere Studie kam zum Schluss, dass dem Schwerverkehr vorbehaltene Fahrspuren nur "beschränkte Anwendbarkeit" hätten, dies aus folgenden Gründen: a) Schwierigkeiten bei ihrer Durchsetzung; b) Verschiedenartigkeit der LKW-Routen; c) die Notwendigkeit, entlang vieler Strassen über Zufahrtsmöglichkeiten zum Aufladen ausserhalb der Spitzenzeiten zu verfügen (30). Laut dieser Untersuchung können dem Schwerverkehr vorbehaltene Fahrstreifen - insbesondere in Form von Autobahnzubringern, wie sie gelegentlich in Kalifornien vorkommen - unter bestimmten Umständen gerechtfertigt sein.

IV.6 Kreuzungen und Verkehrsstockungen in Städten

Tabelle IV.5 zeigt die PCU-Äquivalente der LKW's an Kreuzungen in verschiedenen Ländern [(18) und nationale Beiträge]. In den USA betriebene Forschungstätigkeiten (31) dokumentieren die Auswirkungen der LKW's auf Verkehrsstockungen an Kreuzungen mit Lichtsignalsteuerung. Wie man festgestellt hat, braucht ein PKW durchschnittlich 39,6 Sekunden, um "ein Lichtsignal zu passieren, wenn ihm in der Schlange kein LKW vorausfährt und 49 Sekunden, wenn sich ein LKW vor ihm befindet". Laut französischen Schätzungen entspricht ein schwerer Lastwagen in städtischen Gebieten 3 PCU.

Allerdings läuft die Umrechnung in PCU-Äquivalente auf eine Vereinfachung der Beziehung zwischen Schwerverfahrzeugen und Verkehrsstockung in Städten hinaus. Bereits die Erwähnung dieses Problems ruft oft Vorstellungen enger Strassen hervor, die durch dichten Verkehr, der etwa zur Hälfte aus Lastwagen besteht, hoffnungslos verstopft sind. Wie jedoch der niederländische Beitrag feststellt, ist der LKW-Verkehr während den Spitzenzeiten verhältnismässig schwach. Sein Einfluss auf Stockungen in Hauptverkehrsadern während den Spitzenzeiten kann "im Vergleich zum Einfluss der PKW's als nebensächlich bezeichnet" werden.

Ähnliche Feststellungen finden sich auch im amerikanischen Beitrag. Zur Zeit des stärksten LKW-Verkehrs in den Zentren amerikanischer Städte (Central Business District, CBD) bilden die LKW's rund 15% des gesamten Verkehrsaufkommens. Während der Spitzenzeiten hingegen beträgt der LKW-Anteil am Verkehr in den CBD nur 5 bis 8%. Ausserdem entwickeln sich die CBD immer mehr zu Dienstleistungszentren mit Hauptsitzen von Unternehmen und anderen Verwaltungsfunktionen, so dass hier der Anteil des LKW-Verkehrs ohnehin sinkt. Genauso wie in ländlichen Gebieten sind die LKW's auf Strassen höherer Ordnung übervertreten. In den USA werden 48% der von Kombinationslastwagen in städtischen Gebieten gefahrenen Kilometer auf dem

"Interstate"-Netz zurückgelegt, verglichen mit 19% des gesamten in Städten erreichten Kilometerstandes bei anderen Fahrzeugen.

Verkehrsstaus und -verzögerungen kann man einteilen in solche, deren Ursache in ungleichmässigen Geschwindigkeiten der verschiedenen Fahrzeugkategorien (LKW und PKW) liegen und in solche, die durch Manövrieren, Parken sowie Auf- und Abladen entstehen. Im letzteren Fall werden die Verzögerungen sowohl durch Nutzfahrzeuge als auch durch den allgemeinen Verkehr verursacht. Es scheint, dass derartige Verzögerungen in den Mitgliedstaaten bisher nur wenig untersucht worden sind. Über einige Erfahrungen berichtet (3).

In Grossbritannien (43) wurden durch Nutzfahrzeuge verursachte Verzögerungen mit Hilfe eines Gelenkfahrzeuges gemessen. Hierfür wurden Fahrten auf Strassen verschiedenster Art vorgenommen. Bei Schwerlastwagen betrug der Verzögerungskoeffizient innerorts 0,2 - 1,0 Min./Fz.km (ausserorts 0,15 - 3,0 Min./Fz.km). [Angesichts der üblichen Zeitwerte wurden die Kosten der Verzögerung der übrigen Fahrzeuge durch ein einziges Nutzfahrzeug mit einem Gesamtgewicht von weniger als 16t, welches innerorts eine durchschnittliche Jahresdistanz absolvierte, auf 150 bis 300 Pfund pro Jahr geschätzt.] Auch in Frankreich (44) wurden Daten gesammelt, um die Auswirkungen von Verkehrsstauungen zu ermitteln. In Paris wurde eine Verkehrsverzögerung von 0,24 Min./Fz.km festgestellt. [Unter der Voraussetzung, dass 300'000 km zurückgelegt wurden und die Verzögerungskosten 0,30 FFr./km betragen, wurden die in Paris durch ungleichmässige Fahrgeschwindigkeiten verursachten Staukosten auf rund 90 Mio FFr. pro Jahr geschätzt.]

Laut britischen Schätzungen (45) schwankt die durch das Manövrieren zwecks Auf- und Abladens verursachte Verzögerung zwischen 0 bis 4 Fahrzeugstunden pro 10-Stunden-Tag und Strassenkilometer. Die durch das eigentliche Parkieren während des Auf- und Abladens verursachte Verzögerung bewegt sich zwischen 3 bis 10 Fahrzeugstunden pro Tag und Strassenkilometer.

Eine im Grossraum Paris durchgeführte Untersuchung (44) zeigte, dass rund 40% der Stationierungen zwecks Auf- und Abladen zu Verkehrsstörungen führen. Die Dauer des Parkens am Strassenrand zwecks Auf- und Abladens sowie die Häufigkeit der Stationierung in der ersten und zweiten Reihe sahen wie folgt aus:

Parkierungsdauer	Parkierungsdauer in %	
	erste Reihe	zweite Reihe
< 5 Minuten	17	30
5 - 10 Minuten	15	17
10- 20 Minuten	20	23
20- 30 Minuten	13	10
> 30 Minuten	35	20

Wie man sieht, waren 17% der in der ersten Reihe parkierten Nutzfahrzeuge weniger als 5 Minuten stationiert, genauso wie 30% der Parkierenden in der zweiten Reihe.

Mit Hilfe dieser Zahlen (und bestimmter Ausnahmen) wurde errechnet, dass die Behinderung anderer Fahrzeuge durchschnittlich 4 bis 5 Minuten pro Parkierungsminute eines Nutzfahrzeuges beträgt. Diese Verzögerung ist beträchtlich grösser als die in Grossbritannien ermittelte Zeit. Dieser Unterschied wird mit engeren Strassen sowie mit der Häufigkeit des Parkens in der zweiten Reihe und im Parkverbot erklärt. (Zum Schluss wurde geschätzt, dass die Gesamtkosten der Verzögerungen, die durch Auf- und Abladen entstehen, in Paris pro Jahr rund 40 bis 96 Mio FFr. betragen dürften.)

Mit den Parkproblemen hat man sich auch in den USA beschäftigt. HABIB (32) kam zum Schluss, dass Parken an einer Blockecke oder in deren Nähe in zweiter Reihe auf Verkehrsstockungen einen starken Einfluss ausübt, während das Parken in der Blockmitte verhältnismässig wenig Auswirkungen zeitigt. Das Parken von LKW's in der zweiten Reihe lässt sich aufgrund ihrer Fahrten zwecks Nutzung benachbarter Plätze sowie des Platzangebotes für LKW's am Strassenrand evaluieren. Aufgrund dieser Feststellungen wird eine Planlösung empfohlen: die Errichtung be-

stimmter Unternehmenstypen, die häufige Warenlieferungen erfordern, soll eingeschränkt werden. Das Problem liegt nun selbstverständlich darin, dass es sich dabei oft um Unternehmen handelt, deren Erfolg oder Misserfolg für Entscheidungen betreffend Mikrolokation von beträchtlicher Bedeutung sind. Es sind also auch andere als verkehrspolitische Fragen involviert (33).

Das Problemfahrzeug schlechthin ist jedoch sehr oft nicht der LKW, sondern vielmehr der PKW, wie dies Erfahrungen im New Yorker Stadtteil Garment District deutlich aufzeigen. Hier war der Mangel an Parkplätzen derart gross, dass LKW's oft in der zweiten oder sogar in der dritten Reihe parken mussten. Die New Yorker Stadtverwaltung erkannte jedoch die Bedeutung für die lokale Wirtschaft und verbannte die PKW's aus dem ganzen Stadtteil. Sämtliche Strassen und Plätze sind nun ausschliesslich Lastkraftwagen vorbehalten (35,36).

Die Strategien des Parkens in Städten sind in (34) behandelt.

IV.7 LKW-Geschwindigkeiten

Über die Jahre hat sich die durchschnittliche LKW-Geschwindigkeit in den meisten Mitgliedländern trotz Geschwindigkeitsbegrenzungen (vgl. Tabelle III.4) erhöht. Solche Begrenzungen werden oft nicht respektiert. Im folgenden einige Beispiele:

- Australien (39). Die Befolgung der Geschwindigkeitsbegrenzungen bringt erhebliche Geschwindigkeitsschwankungen mit sich. Wie Tabelle IV.6 zeigt, überschreiten die LKW's die auf "Tempo-100-Strassen" für sie gültige Geschwindigkeitslimite von 65 km/h sehr häufig. Wird die Geschwindigkeitsbeschränkung für LKW's auf 80 km/h festgesetzt, überschreiten rund 40% aller LKW's diese Limite. Etwa 10% fahren mit 90 km/h, 5% gar mit 100 km/h, während 50% der PKW's schneller als 100 km/h fahren. Ähnlich verhält es sich auch auf städtischen "Tempo-100-Strassen", wo jedoch nur 1% aller LKW's 90 km/h und eine geringfügige Anzahl 100 km/h überschreiten. Als die unübliche Geschwindigkeitsbegrenzung für LKW's auf 80 km/h heraufgesetzt wurde, erhöhte sich die durchschnittliche LKW-Geschwindigkeit um 6 km/h, während die Geschwindigkeiten der PKW's keine wesentliche Änderung erfuhren. Es ist anzunehmen, dass die Geschwindigkeitsschwankungen etwas abgenommen haben.
- Österreich. Die in ländlichen Gebieten vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit wird von 50% der LKW's (40% auf Hauptstrassen) überschritten. Auf 20% der ländlichen Hauptstrassen überschreiten 15% der LKW's die Geschwindigkeitslimite um 5 km/h, dies auf 10% genannter Strassen.
- Frankreich (49). Auf Autobahnen, Nationalstrassen und stark frequentierten "Departementsstrassen" mit einer Gesamtlänge von 65'000 km werden vierteljährlich Geschwindigkeitskontrollen durchgeführt, welche zu Studienzwecken und nicht als Falle für Verkehrssünder dienen. Über die im Jahre 1979 ermittelten Werte informiert Tabelle IV.7.
- Irland (Tabelle IV.8) (38) vor und nach der Einführung der generellen Geschwindigkeitsbegrenzung auf 55 m/h. Obwohl der Prozentsatz der mit über 60 m/h fahrenden PKW's wesentlich sank und auch die durchschnittliche PKW-Geschwindigkeit um etwa 1 m/h zurückging, erhöhten sich sowohl die durchschnittliche LKW-Geschwindigkeit (um 0,7 m/h) als auch der Prozentsatz der mit über 60 m/h fahrenden LKW's. Die grösste aus der Tabelle ersichtliche Änderung ist indessen in der Standardabweichung bei PKW's und insbesondere bei den LKW's eingetroffen.
- Niederlande (Tabelle IV.9). Auf Strassen höherer Ordnung ist die Einhaltung der Geschwindigkeitsbeschränkungen durch LKW's ziemlich gering und scheint Geschwindigkeitsschwankungen zu fördern. Auf Autobahnen fahren LKW's regelmässig um etwa 20 km/h langsamer als PKW's. Auf anderen wichtigen Nationalstrassen und Nebenstrassen beträgt dieser Unterschied 10 bis 15 km/h.

- Schweden (Tabelle IV.10) (38). Im Sommer 1979 wurden zeitweise Geschwindigkeitsbegrenzungen eingeführt. Die Messung (M1) wurde vor der Inkraftsetzung dieser Massnahmen vorgenommen, während die Messungen (M2 und M3) einen bzw. zwei Monate danach, resp. die Messung (M4) kurz vor Ende des Versuches vorgenommen wurde. Während bei (M2) die Beschränkungen offenbar eingehalten wurden, war bei (M3) eine Zunahme der Geschwindigkeitsschwankungen zu verzeichnen. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten (V) lagen bei PKW's stets höher als bei LKW's, die ihrerseits immer eine höhere Geschwindigkeit als Zugmaschinen mit Anhängern aufwiesen.

Laut anderen schwedischen Angaben (40) begünstigt die LKW-Präsenz starke Geschwindigkeitsschwankungen. Diese scheinen, wie auch aus den niederländischen Angaben hervorgeht, auf Strassen höherer Ordnung weiter zu steigen. Allerdings erwähnt der US-Beitrag eine begrenzte Untersuchung von 1974, die zum Schluss kam, dass sich das Verhalten der LKW's gegenüber der generellen Geschwindigkeitsbeschränkung auf 55 m/h von jenem der PKW's nicht wesentlich unterscheidet. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Geschwindigkeitsschwankungen zumindest bei einem Vergleich der schnellsten LKW's mit den schnellsten PKW's von geringer Bedeutung sind.

- Schweiz (Tabelle IV.11)[siehe Anhang zu diesem Kapitel]

Figur IV.1

Die Veränderung des Anteils des Güterschwerverkehrs
am Gesamtverkehrsaufkommen in den
Jahren zwischen 1975 und 1979

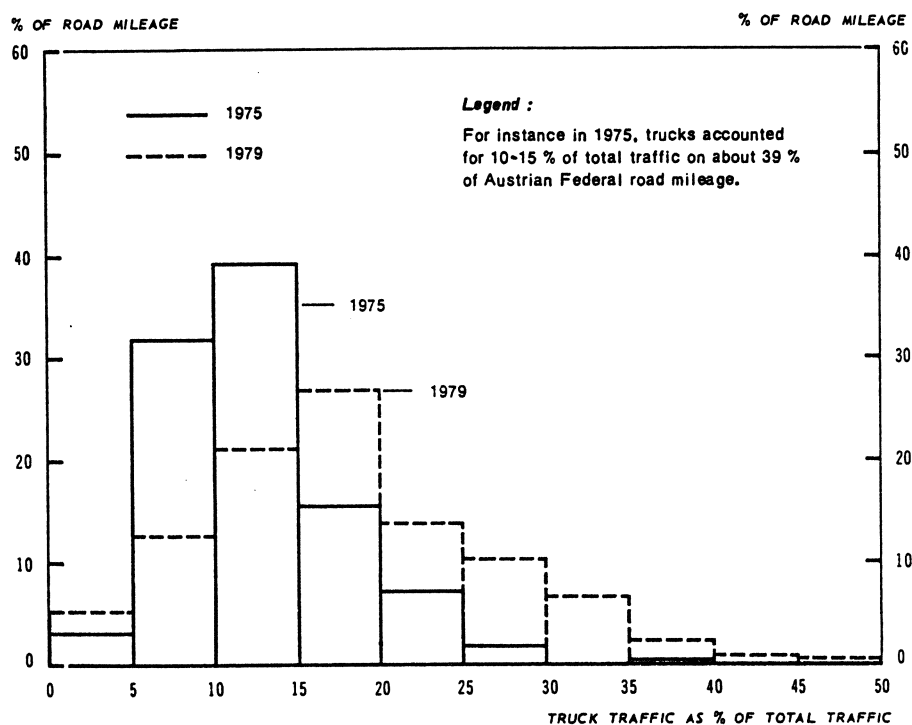


Tabelle IV.1

Einige repräsentative Daten über Güterverkehrsfahrzeuge in Prozenten und deren Anteil am Total des Verkehrs auf verschiedenen Strassenklassen in den OECD -Ländern (*)

Land	Autobahnen	Hauptstrassen	andere
Österreich	19 - 30	15 - 26	12 - 26
Belgien	18 - 20	13**	13**
Kanada	8 - 18	8 - 24	4 - 50
Dänemark	16		
Frankreich	17	13	
Deutschland	14 - 16	9 - 11	6 - 10
	(bis 35)	(bis 19)	(bis 16)
UK	12 - 18	9	5 - 7
Italien	bis 35	bis 25	bis 25
Japan	bis 35	bis 25	bis 25
Niederlande	20		
Spanien	13 - 25	18	12
Schweiz	7 15	bis 20	bis 10

* Die Definition bezüglich Güterverkehrsfahrzeuge und Strassenklassen variiert von Land zu Land. Leichte LKW's und Lieferwagen sind generell gesehen nicht eingeschlossen.

** Gemeinsam gültig.

Tabelle IV.2

PCU-Äquivalent - Anteil der LKW's auf
amerikanischen Autobahnen
1979 (10)

Gefälle in %	Länge in Miles *	PCU															
		4-spurige Autobahnen (2 Spuren je Richtung)								6- oder mehrspurige Autobahnen (3 oder mehr Spuren je Richtung)							
		Prozentanteil LKW's															
		2	4	5	6	8	10	15	20	2	4	5	6	8	10	15	20
0	All	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	0- $\frac{1}{4}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	$\frac{3}{4}$ -1	5	4	4	4	3	3	3	3	5	4	4	4	3	3	3	3
	1-1- $\frac{1}{2}$	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	4	4	4	3	3
	> 1- $\frac{1}{2}$	7	5	5	5	4	4	4	3	7	5	5	5	4	4	3	3
2	0- $\frac{1}{4}$	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	7	6	6	5	4	4	4	4	7	5	5	5	4	4	4	4
	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	6	6	6	5	5	4	4	4	8	6	6	5	5	4	4	4
	$\frac{3}{4}$ -1	8	6	6	6	5	5	5	5	8	6	6	6	5	5	5	5
	1-1- $\frac{1}{2}$	9	7	7	7	6	6	5	5	9	7	7	6	5	5	5	5
	> 1- $\frac{1}{2}$	10	7	7	7	6	6	5	5	10	7	7	6	5	5	5	5
3	0- $\frac{1}{4}$	6	5	5	5	4	4	4	3	6	5	5	5	4	4	4	3
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	9	7	7	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	12	8	8	7	6	6	6	6	10	8	7	6	5	5	5	5
	$\frac{3}{4}$ -1	13	9	9	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	> 1	14	10	10	9	8	8	7	7	12	9	9	8	7	7	7	7
4	0- $\frac{1}{4}$	7	5	5	5	4	4	4	4	7	6	6	5	4	4	3	3
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	12	8	8	7	6	6	6	6	10	8	7	6	5	5	5	5
	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	13	9	9	8	7	7	7	7	11	9	9	8	7	6	6	6
	$\frac{3}{4}$ -1	15	10	10	9	8	8	8	8	12	10	10	9	8	7	7	7
	> 1	17	12	12	1	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8
5	0- $\frac{1}{4}$	8	6	6	6	5	5	5	5	8	7	7	6	5	5	5	5
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	13	9	9	8	7	7	7	7	11	8	8	7	6	6	6	6
	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	20	15	15	14	11	11	11	11	14	11	11	10	9	9	9	9
	> $\frac{3}{4}$	22	17	17	16	13	13	13	13	17	14	14	13	12	11	11	11
6	0- $\frac{1}{4}$	9	7	7	7	6	6	6	6	10	7	7	6	5	5	5	5
	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$	17	12	12	11	9	9	9	9	13	10	10	9	8	8	8	8
	> $\frac{1}{2}$	28	22	22	21	18	18	18	18	20	17	17	16	15	14	14	14

*) Wenn die Länge des Gefälls an der Klassengrenze liegt, benützt man immer die Klasse mit der grösseren Länge

Tabelle IV.3a

Empfohlene PCU-Werte für Agglomerations-Autobahnen

Art des Fahrzeug	Spurvolumen in VPH				
	0/599	600/99	1000/1499	1500/1799	1800/2000
Automobile alle Typen	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
U/P/V	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Motorfahr- räder	0.5	0.7	0.7	0.8	1.0
S.U. TRK 2X6	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5
S.U. TRK > 2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.6
Autobusse	1.2	1.2	1.4	1.8	1.8
Zugfahrzeuge	1.1	1.2	1.4	1.7	2.0

Quelle: "Urban Freeway Truck Characteristics, Task A Report-Passenger Car Equivalents" by Seguin, Crowley and Zweig, Institute for Research, June 1981."

Tabelle IV.3b

Zusammenfassung der Werte für Agglomerationshauptstrassen

Art der Fahrzeuge	Grad der Service B*	Grad der Service D**	In Inter-sektionen
Automobile, gross (15 Fuss und mehr) LKW's 2 Achsen, 4 Räder Nichtkommerzielle Kamionettes	1.0	1.1	1.1
Automobile, klein	1.0	1.0	1.0
Autobusse	1.2	1.3	1.7
LKW's, 2 Achsen, 6 Räder	1.2	1.2	1.5
LKW's, 3 Achsen, oder mehr	1.3	1.3	1.8
3-Achs-Gelenkfahrzeuge	1.3	1.4	2.1
Gelenkfahrzeuge 2S2 - 4 Achsen Gelenkfahrzeuge 4 Achsen - verschiedene Typen	1.3	1.5	2.3
Gelenkfahrzeuge 2S2 - 5 Achsen Gelenkfahrzeuge 5 Achsen und andere Typen Gelenkfahrzeuge 6 Achsen <	1.4	1.5	2.5
Freizeitfahrzeuge, 4 und 6 Räder Camper, Mobilhomes, Wohnwagen	1.1	1.2	1.4

Quelle: "Passenger Car Equivalents on Urban Arterial Roads" by PRC Voorhees, Nov. 1981

* Grad der Service B hat eine V/C Ratio von 0,6 bis 0,7; Geschwindigkeiten 25-30 mph; %

** Grad der Service D hat eine V/C Ratio von 0,8 bis 0,9; Geschwindigkeiten 15-20 mph; %

Tabelle IV.3c

UVP -Werte für 2-Spurstrassen, 2-fach in jeder Richtung, USA 1981

Fahrzeugart	Grad des Gefälles in Prozenten					Leichtes Gefälle (2-4%)					Starkes Gefälle (5-7%)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	1.0	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0	1.0	1.0	1.0*	1.0*
2	1.0	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0	1.0	1.0	1.0*	1.0*
3	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4	1.1	1.1	1.1*	1.4*	1.6*	1.2	1.9	2.0*	2.0*	2.0*	1.8	1.8*	2.0*	2.3*	2.5*
5	1.1	1.0	1.0	1.0*	1.0*	1.0	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1	1.0	1.0	1.0*	1.0*
6	1.2	1.3	1.1	1.4*	1.6*	1.2	1.1	1.2*	1.4*	1.6*	1.3	1.5	2.0*	2.3*	2.5*
7	1.1	1.3	1.2*	1.5*	1.6*	1.5	1.4	1.5*	1.5*	1.6*	1.6	1.7	2.5	2.7*	3.0*
8	1.2	1.3	1.2*	1.5*	1.6*	1.7	1.6*	1.6*	1.8*	2.0*	1.1	1.9	2.5*	2.7*	3.0*
9	1.4	1.0	1.2*	1.6*	2.0*	1.5*	1.6*	1.8*	2.0*	2.2*	1.3*	1.5	2.0*	2.7*	3.0*
10	1.1	1.0	1.2*	1.6*	2.0*	1.5*	1.6	1.8*	2.0*	2.3*	1.5*	1.5*	2.0*	2.7*	3.0*
11	1.1	1.0	1.0	1.5*	2.0*	1.5	1.9	2.0*	2.0*	2.3*	1.6	1.5	2.0*	2.7*	3.0*
12	1.2	1.1	1.2*	1.5*	2.0*	1.5*	1.8*	2.0*	2.0*	2.3*	1.5	2.6	2.7*	2.8*	3.0*
13	1.3	1.7	1.8*	1.9*	2.0*	1.7	1.8*	2.0*	2.0*	2.3*	1.6	1.8	2.0*	2.5*	3.0*
14	1.1	1.0	1.2*	1.4*	1.6*	2.1	2.1*	2.0*	2.0*	2.0*	1.3	1.4	1.5	1.5*	1.5*

* entspricht einem angenommenen UVP-Wert

1. Automobile, Standard
2. Kompaktfahrzeuge
3. Motorfahräder
4. Autobusse (städtische Busse, Schul- und Transibusse)
5. LKW, 2-Achser, 4 Räder (Pick-up, Vans, Lieferwagen)
6. LKW, 2-Achser, 6 Räder
7. LKW, 3-Achser, oder mehr
8. Gelenkfahrzeuge, 3-Achser (2S-1, 2-1)
9. Gelenkfahrzeuge, 4-Achser, (2S-2)
10. Weitere Gelenkfahrzeuge, 4-Achser (3-1, 2-2, 3S-1, 2S-1-1)
11. Gelenkfahrzeuge, 5-Achser (3S-2)
12. Weitere Gelenkfahrzeuge, 5-Achser (2S-3, 3-2, 2S1-2, 2-3)
13. Gelenkfahrzeuge, 6-Achser oder mehr (3-3, 2S2-2)
14. Freizeitfahrzeuge (RV's, Auto und Wohnwagen, Motorhome.

Volumen-Umfang	
Maximales Verkehrsvolumen in beiden Richtungen	Umfang
400	A
900	B
1400	C
1700	D
2000	E
Überkapazität	F

Tabelle IV.4

Fahrzeiten (sec./km) unter verschiedenen Bedingungen in Frankreich
 Strassenbreite 7 m
 (erste Spur; Fahrzeug für leichte Motorfahrzeuge (LM);
 zweite Spur; schwere Motorfahrzeuge (SM))

Total Verkehrsaufkommen Fahrzeug/Tag	5000			10'000			15'000			20'000		
% LKW	5	15	25	5	15	25	5	15	25	5	15	25
Gefälle = 4 % LM	52,3	52,9	53,5	61,1	61,6	62,2	84,2	80,5	77,5	152	132	113
Sicht = 0,8 % SM	65,4	66,4	67,5	70,7	72,5	74,4	79,7	80,9	82,8	101	97	95,7
Gefälle = 0 % LM	44,1	44,2	44,3	48,3	47,8	47,4	66,7	61,6	57,4	131	109	90
Sicht = 0,8 % SM	48,2	48,5	48,7	50,1	50,4	50,7	55,8	54,7	54,1	74,2	67,6	63,2

Tabelle IV.5

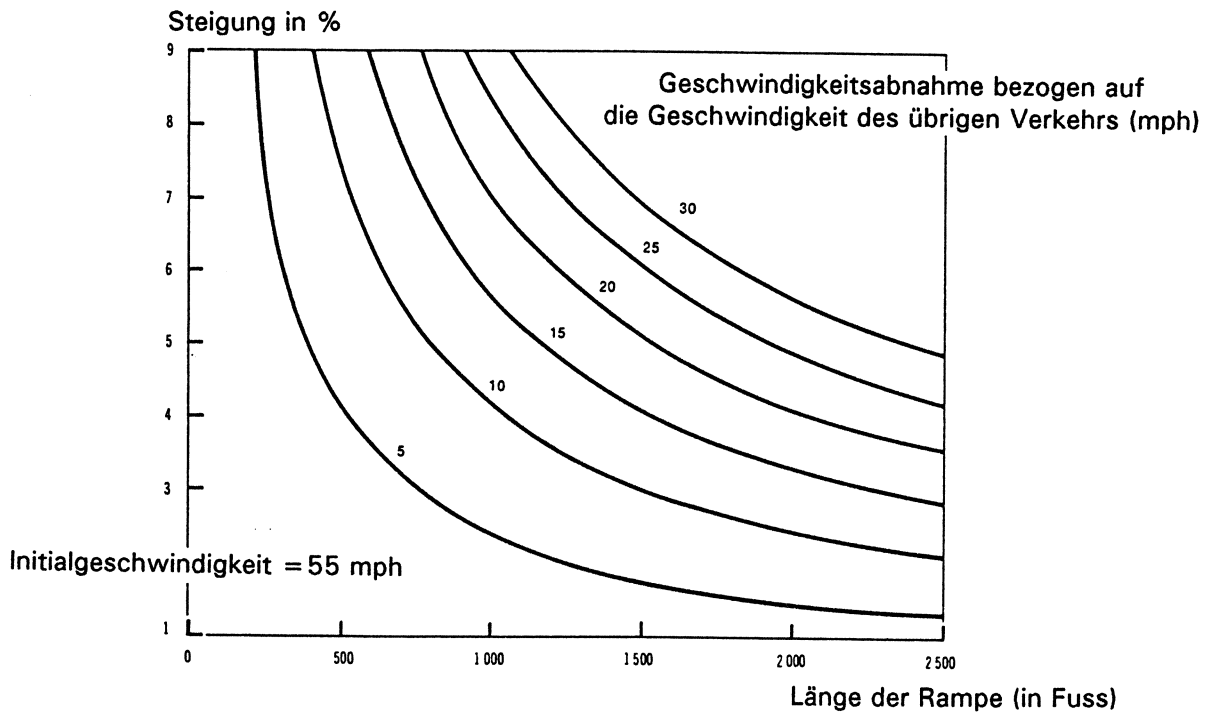
PCU-Werte für in einigen Staaten gebräuchliche LKW's an Kreuzungen
 (OECD, 1974)

Land	Equivalent für schwere LKW's
Australien	2.0
Österreich	2.0 - 3.5
Frankreich	1.5 - 5.0 d)
Deutschland b)	2.0
Japan	1.75
Niederlande	2.0 - 3.0
Norwegen b)	1.2 - 6.0
Spanien	2.0
Schweiz b)	2.0 - 10.0 c)
UK a)	1.75 - 3.0
USA	2.0

- a) Der Wert bezieht sich auf den Zweck; der tiefere Wert bezieht sich auf die Verkehrssignalisation, der höhere Wert auf ländliche Gegenden;
- b) Kurven und Gefälle beeinflussen die Werte von Frankreich, Deutschland, Norwegen und der Schweiz;
- c) der Bericht der Schweiz umfasst weiter: 1.65 (stop), 1.85 (start), 2.48 (40 m nach der Stopplinie);
- d) flaches Gelände: 2 - 3; Gefälle: 1,5 - 5.0

Figur IV.2

Kritische Rampenlänge bei der Konzeption von Fahrbahnen
für langsame Fahrzeuge in den USA (25)
(LKW 300 lb/hp, Initialgeschwindigkeit 55 mph/88 km/h)



Figur IV.3

Verteilung des LKW-Verkehrs pro Fahrspur im UK (28)

Prozentualer Anteil der Nutzfahrzeuge
je Fahrrihtung

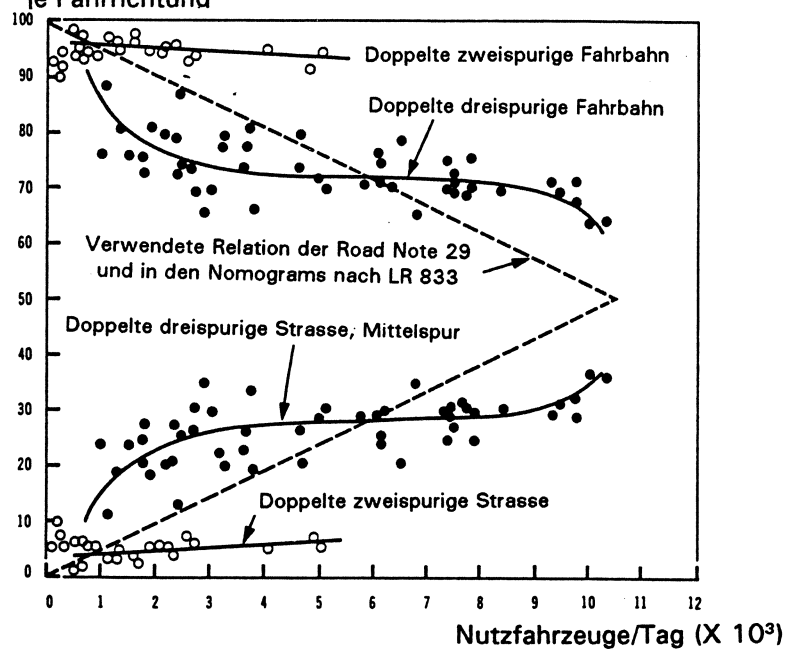


Tabelle IV.6

Einhaltung der Geschwindigkeiten durch
Automobile und LKW's in Australien (39)

Typ der kontrollierten Strasse	Geschwindigkeitsüber- schreitungen in %			Geschwindigkeitsüberschreitungen in %					
				80 km/h		90 km/h		100 km/h	
	*	**	***	**	***	**	***	**	***
Rural Victoria Geschwindigkeitslimite: PV: 100 km/h; LKW 65 km/h	37	90	92	37	44	8	11	1	1
Urban Victoria Geschwindigkeitslimite: PV: 100 km/h; LKW 65 km/h	12	74	76	22	25	1	2	-	-
Urban Victoria Geschwindigkeitslimite: PV: 75 km/h; LKW 65 km/h	28	19	10	-	-	-	-	-	-
Urban Victoria Geschwindigkeitslimite:	73	82	70	-	-	-	-	-	-
Rural New Sth. Wales Geschwindigkeitslimite:	50	27	37	27	37	5	16	2	4

*) PKW (Personenwagen)

**) LKW (Lastwagen)

***) Lastzüge

Tabelle IV.7

Ergebnisse der Geschwindigkeitskontrollen bei LKW's in Frankreich, 1979

Art der Strasse	Überland- Autobahnen	Agglomera- tions autobahnen	National- strassen	Agglomerationsstrassen	
				<5000 h	5-20000 h
festgestellte Durchschnitts- geschwindigkeit in km/h	77,6	72,4	64,7	49,4	36,9
% der Überschreitung der Geschwindigkeitslimiten	20,1	12,1	24,3	29,8	15,5
% der Überschreitung der Geschwindigkeitslimiten von mehr als + 10 km/h	7,7	3,6	8,0	11,0	5,6

Tabelle IV.8

Ergebnisse der Geschwindigkeiten in Irland 1978-1979

	1978	1979
PV-Geschwindigkeit		
Mittlere Geschwindigkeit	50.7 mph	49.8 mph
Standardüberschreitung	8.8 mph	10.0 mph
% Überschreitung der 60 mph-Limite	16.0 mph	11.7 mph
LKW-Geschwindigkeit		
Mittlere Geschwindigkeit	41.7 mph	42.4 mph
Standardüberschreitung	7,5 mph	10.6 mph
% Überschreitung der 60 mph-Limite	0.9 mph	2.0 mph

Tabelle IV.9

Typische Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen in den Niederlanden

	LKW			Lastzüge		
	max. Limite	% Limiten- überschrei- tung	V 85 *	max. Limite	% Limiten- überschrei- tung	V 85 *
Autobahnen	80	70	95	80	70	95
Hauptstrassen	80	50	95	80	60	95
Strassen verschie- dener Kategorien *	80	30	85	60	95	85

* Geschwindigkeiten zu Spitzenzeiten (85%)

** Starke Abweichungen von den übrigen Gegebenheiten

Tabelle IV.10

Ergebnisse schwedischer Geschwindigkeitsmessungen
im Sommer 1979 (37)

Schwere LKW's; höchste zulässige Geschwindigkeit 90 oder 70 km/h

Strassen- typ *	v	M 1 SD	n	v	M2 SD	n	v	M3 SD	n	v	M4 SD	n
A**	91.7	11.6	1349	89.5	9.7	1247	83.7	10.3	1348	90.1	10.7	1267
B**	87.4	11.6	1090	86.1	9.6	900	85.6	9.7	1045			
C**	83.4	11.3	802	83.8	9.5	726	83.3	9.1	774			

Schwere LKW's, höchste zulässige Geschwindigkeit 70 km/h

Strassen- typ	v	M 1 SD	n	v	M2 SD	n	v	M3 SD	n	v	M 4 SD	n
A	83.8	8.8	3261	82.5	7.0	2778	81.0	7.0	2620	82.3	6.9	3238
B	83.2	11.7	2163	81.9	9.4	1786	81.0	8.4	1522			
C	80.3	10.5	2129	80.8	7.8	1965	78.6	7.4	1562			

(Für jeden Strassentyp und jede Periode: durchschnittliche Geschwindigkeit (v) in km/h;
Standardabweichung (SD) in km/h; Zahl der Fahrzeuge (n); M1, M2, M3, M4 = 1
.Messperiode, 2. Messperiode, 3. Messperiode, 4. Messperiode.

- * Strassentyp A = Autobahn
 B = Autobahn mit einer Breite > 12 m
 C = Autobahn mit einer Breite > 12 m

- ** Auf Strassen des Typs A betreffen die Zahlen LKW's ohne Anhänger und Busse. Höchste zulässige Geschwindigkeit 90 km/h. Auf Strassen des Typs B und C betreffen die Zahlen Busse mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h und LKW's ohne Anhänger mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h.

Tabelle IV.11

Geschwindigkeitsmessungen auf fünf schweizerischen
Autobahnen mit einem Verkehrsvolumen von 750 - 1000 Fahrzeugen pro Stunde, 1980

Höchstgeschwindigkeit für PW's: 130 km/h; für LKW's 80 km/h

Durchschnittsgeschwindigkeit $V_{50\%}$ (50-percentile) - km/h			
Personenwagen (PKW)		Lastwagen (LKW) > 3,5 Tonnen	
linke Spur	rechte Spur	linke Spur	rechte Spur
129	108	97	82

References:

1. HIGHWAY RESEARCH BOARD. Highway capacity manual 1965. HRB special report 87. Washington 1965.
2. OECD, Road Research. Evaluation of load carrying capacity of road bridges. OECD, Paris, 1979.
3. OECD, Road Research. Management of urban freight distribution. Derestricted document, OECD, Paris, 1980.
4. OESTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT. Strassenverkehrszählung 1975, Landesstrassen, Bundesstrassen. Beiträge zur österreichischen Statistik. Heft 460, Vienna, 1977 and Heft 543, Vienna, 1979.
5. KFV. Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen und Verkehrszählungen 1979, Vienna. (unpublished).
6. FRY, AT, EASTON, GR, KER, IR, STEVENSON, JMcL and WEBBER, JR. A study of the economics of road vehicle limits: summary and recommendations. NAASRA ERLV Study Team Report R3. 1975.
7. PIARC. Reports of Technical Committee on Urban Roads and Traffic and Safety to the XIIth - XVIth World Congresses. Paris, 1964-1979.
8. OECD, Road Research. Two-lane rural roads: design and traffic flow. OECD, Paris, 1972.
9. OECD, Road Research. Capacity of at-grade intersections. OECD, Paris, 1974.
10. LINZER, M, ROESS, P, MCSHANE, R. Effect of trucks, buses and recreational vehicles on freeway capacity and service volume. Transportation Research Record, 699, Washington, 1979.
11. FEDERAL DEPARTMENT OF TRANSPORT, COMMUNICATIONS AND ENERGY. Swiss integral concept of transport. Report by a Federal Commission. Berne, December 1977/April 1979.
12. BRANSTON, D. Some factors affecting the capacity of a motorway. Traffic Engineering and Control, June 1977. London, 1977.
13. UNIVERSITY OF ALBERTA and CITY OF EDMONTON. Saturation flow manual. Edmonton, 1980.
14. FG. Richtlinien für die Anlage von Landstrassen RAL. Querschnitte RAL-Q. Cologne, 1974.
15. BOTH, GJ and BAYLEY, C. Evaluation procedures for rural road and structure projects. Proceedings Eighth Australian Road Research Board Conference, 1976.
16. MESSER, CJ. Analytical framework for evaluating capacity and level of service for two-lane, two-way rural roads. Texas Transportation Institute, December 1980.
17. MEIER, F. Gesamtverkehrskonzeption Schweiz, "GVR-CH", Umrechnungs- und umlegungsmodell für den Güterverkehr. Strasse und Verkehr 3/1977, Zurich 1977.
18. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN IM OEIIV. Richtlinien und Vorschriften für den Strassenbau, (RVS), Band 1A, Chapter 3.47. Bundesministerium für Bauten und Technik, Vienna, 1975.
19. JAKSCH, W. Das Geschwindigkeitsverhalten von LKW in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern. Diplomarbeit Institut f. Verkehrsplanung TU-Wien, Vienna, 1981.
20. KEUDEL, X. Möglichkeiten zur Beschreibung eines Qualitätsgefüges im Verkehrsablauf. Diss. Uni. Stuttgart, 1974.
21. PEARSON-KIRK, D, EASTON, GR and ROSS, D. Commercial vehicle surveys in New South Wales. Proc. 10th ARRB Conf. 1980.
22. MC CALLUM, DG. The economic evaluation of crawler lanes. In: OECD Symposium on Geometric Road Design Standards. OECD, Road Research, Paris, 1977.
23. ROBINSON, GK. Use of a traffic simulation model to formulate a climbing lane warrant. Australian Road Research Board Internal Report AIR 290-1. Melbourne, 1980.
24. FIOLIC, R. Langsamfahrspuren auf Steigungen. Bundesministerium für Bauten und Technik, Strassenforschung, Heft 57, Vienna, 1976.
25. HOLMAN, JF. & Co., Inc. A policy on geometric design of highways and stresses. Review Draft No. 2. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1979.
26. TROUTBECK, RJ. The effects of long vehicles in the traffic stream - regression analysis. Australian Road Research Board Internal Report AIR 197-12, Melbourne, 1978.
27. TROUTBECK, RJ. Overtaking design sight distances and barrier line warrants. Australian Road Research Board Internal Report AIR 197-10, Melbourne, 1979.
28. CURRER, EWH and O'CONNOR, MGD. Commercial traffic: its estimated damaging effect 1945-2005. TRRL Lab. Report 910, Crowthorne, 1979.

29. SMITH, W and ass. Effect on lane placement of truck traffic on freeway flow characteristics. Georgia Highway Department, Atlanta, 1971.
30. LEVINSON, S and CONRAD, PE. Bus and truck roadway systems and truck travel restrictions. Prepared for US DOT (HRS-40) by Wilbur Smith and Associates, February 1975.
31. YURYSTA, H and MICHAEL, L. Effect of commercial vehicles on delay at intersections. Transportation Research Record 601, Washington, 1976.
32. HABIB, A. Curbside pickup and delivery operations and arterial traffic impacts. (Final Report of contract DOT-FH-9373). Federal Highway Administration, USDOT, Washington. (To be published).
33. CROWLEY, KW and HABIB, PA. Urban goods movement space allocation guidelines: final report. Office of University Research, Department of Transportation, Washington, 1977.
34. OECD, Road Research. Evaluation of urban parking systems. OECD, Paris, 1980.
35. NEW YORK CITY TRANSPORTATION ADMINISTRATION. Manhattan Garment Centre - urban goods movement study - Phase I. Final report. New York, NYCTA, June 1976.
36. NEW YORK CITY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Manhattan Garment Centre - urban goods movement study - Phase II. Final report. New York City Department of Transportation, New York, December 1979.
37. OBERG, G. The influence on speed and fuel consumption of changed speed limits. In: OECD Symposium on The Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use. Dublin, October 1981.
38. HEARNE, R. Car and truck speeds related to road traffic accidents in the Irish national road system. In: OECD Symposium on The Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use. Dublin, October 1981.
39. THOMPSON, JE and FRY, AT. Major findings of a study of heavy vehicle speed and operational safety in Victoria. Proc. 10th ARRB Conference 1980.
40. NILSSON, G. The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. In: OECD Symposium on The Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use. Dublin, October 1981.
41. OECD, Road Research Seminar on Road Traffic Information. TRRL, Crowthorne, 23rd - 25th September 1980. Summary report to be published.
42. OECD, Road Research. International Symposium on The Effects of Speed Limits on Traffic Accidents and Transport Energy Use. Proceedings published by An Foras Forbartha. Dublin, 6th - 8th October 1981.
43. PRODHOE, J and ZAMMITT, T. Journeys made by an articulated goods vehicle and delays to other traffic. TRRL SR 307, Crowthorne, 1977.
44. CERLIC. Etude du coût social des transports de marchandises dans Paris. Paris, 1973.
45. CHRISTIE, AW et al. Urban freight distribution: studies of operation in shopping streets at Newbury and Camberley. TRRL LR 603, Crowthorne, 1973.
46. BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN. Verkehrszählungen. Volumes 21 and 23. Cologne, 1981.
47. TRAPP, KH. Der Einfluss von Zusatzfahrstreifen auf den Verkehrsablauf an Steigungsstrecken zweispuriger Landstrassen und Entwicklung eines Bemessungsverfahrens für Strassen nach den Kriterien Verkehrsqualität und Wirtschaftlichkeit. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 304, Bonn/Bad Godesberg, 1980.
48. COHEN, S. Effet des poids lourds sur la capacité des autoroutes urbaines. IRT, Arcueil, October 1980.
49. MINISTERE DES TRANSPORTS. Evaluation des vitesses pratiquées, du port de la ceinture et du port du casque pour les deux-roues. Resultats 1978-1979. Paris, 1980.
50. DETERNE, J et al. Temps de parcours des véhicules sur itinéraires interurbaines. Rapport technique, résultats. Ministère des Transports, Paris, 1978.

V. Kapitel

Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit

V.1 Allgemeines

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Problem der Verkehrssicherheit im Zusammenhang mit schweren Lastwagen. Als Grundlage dienten Informationen, welche die Gruppe aus den ihr unterbreiteten nationalen Beiträgen entnommen hat.

Es scheint leider so, dass nur wenige Länder über Angaben betreffend LKW-Unfälle in irgend einer Form verfügen, die eine direkte Verwertung im integrierten Prozess der Verkehrsplanung ermöglichen würden. Eine sowohl nationale als auch internationale eingehende Untersuchung des Problems der LKW-Verkehrssicherheit ist schwierig, weil elementare Unfalldaten fehlen oder nicht kohärent sind und ihre Kategorisierung in bezug auf schwere Lastwagen mit jener anderer Verkehrsstatistiken oft unvereinbar ist. Noch schwieriger zu erhalten sind Informationen über die Unfallkosten. Die zu diesem Thema eingegangenen Angaben sind in Kapitel X zusammengefasst.

Die Forschungstätigkeiten über die Sicherheit schwerer Fahrzeuge werden in zahlreichen Ländern betrieben, dies sowohl von privatwirtschaftlichen als auch von staatlichen, resp. öffentlichen Institutionen. Die Gruppe hat versucht, die meisten kürzlich abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsprojekte in diesem Bereich zusammenzufassen (Kapitel V.3 und V.4). Es scheint, dass man erneut daran interessiert ist, die Sicherheit durch die Überprüfung einer ganzen Reihe bau- und betriebstechnischer Eigenschaften der schweren Lastwagen zu erhöhen.

V.2 Verwicklung schwerer Lastwagen in Unfälle

V.2.1 Notwendigkeit der Datengenauigkeit

Will man den Anforderungen der Verkehrssicherheit in einer systematischen Untersuchung des Strassengüterverkehrs richtig Rechnung tragen, muss man einigermaßen genaue Angaben über die Wahrscheinlichkeit von Nutzfahrzeugunfällen zur Verfügung haben. Eine realistische Forderung ist etwa die, dass die Unfälle nach repräsentativen Fahrzeugkategorien (z.B. Lastkraftwagen, Gelenkfahrzeuge, Lastzüge) und Strassenkategorien (z.B. Innerortsstrassen, Ausserortsstrassen, Bundesstrassen, Autobahnen etc.) sowie nach vorgängig bestimmten Stufen der Verkehrsstärke gegliedert werden.

Die Schätzung der Unfallrate (d.h. der durchschnittlichen Anzahl der Unfälle bezogen auf eine bestimmte Bezugsdistanz) anhand von Unfallberichten, Verkehrszählungen sowie Fahrt- und/oder Transportstatistiken ist in konzeptueller Hinsicht ein leicht zu lösendes Problem. Im Falle von Schwerlastwagen ergeben sich jedoch einige spezielle praktische Schwierigkeiten, stammen doch die Angaben oft von verschiedenen Organisationen und Behörden, zwischen denen hinsichtlich der Datendefinition und der Datenerfassungsmethoden keine Koordination besteht. In vielen Ländern ist diese Aufgabe daher noch gar nicht oder nur in sehr beschränktem Umfang in Angriff genommen worden.

V.2.2 Probleme bei Datenanalysen und internationalen Vergleichen

Die Mitglieder der Gruppe waren bemüht, die besten verfügbaren Daten zusammenzutragen, um die generelle Beteiligung von schweren Lastwagen an Unfällen beschreiben zu können. Tabelle V.1 zeigt diese in einer Zusammenfassung. Als gemeinsamer Nenner dienen Todesopfer und tödliche Unfälle; Verletzte und Unfälle mit Verletzten konnten dabei nicht berücksichtigt werden, weil die Definitionen und Erfolgsmethoden von Land zu Land viel zu grosse Unterschiede aufweisen. Dies ist bedauerlich. Es ist zu hoffen, dass in naher Zukunft nationale und internationale Bemühungen unternommen werden, um diesen Mangel zu beheben.

Es ist anzunehmen, dass die Erfassung und die Statistiken der Unfälle mit Todesfolge in allen Mitgliedstaaten quasi vollständig sind. Obwohl die Definition des "Unfalls mit Todesfolge" von Land zu Land variiert (in den meisten Ländern gilt ein Verkehrstoter auch dann noch als solcher, wenn

er innerhalb von 30 Tagen nach dem Unfall an dessen Folgen verstirbt; in einigen Ländern dagegen liegt die Frist bei 3, 6 oder 7 Tagen oder gar bei 24 Stunden], können die Angaben über Verkehrstote mit Hilfe der EG-Korrekturkoeffizienten angepasst werden, was wiederum internationale Vergleiche erlaubt.

Wie in Kap. III bereits erwähnt, bestehen zwischen den in den einzelnen Ländern gebräuchlichen Definitionen betreffend Nutzfahrzeuge und deren Kategorien ziemlich grosse Unterschiede. Selbst innerhalb desselben Landes können die Fahrzeugkategorien in den Unfallstatistiken und die Kfz-Register variieren, so dass es beinahe unmöglich ist, bei bestimmten Fahrzeugkategorien die Unfallbeteiligungsrate zu berechnen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass nur selten zuverlässige Schätzungen des Verkehrsaufkommens erhältlich sind, wenn ja, beruhen diese wiederum oft auf anderen Kfz-Kategorisierungen.

V.2.3 Ergebnisse einer von der Gruppe durchgeführten internationalen Umfrage

Zunächst muss betont werden, dass es sich bei einem grossen Teil der in der Tabelle V.1 erwähnten LKW's nicht um "schwere" LKW's, sondern vielmehr um kleine, leichte Nutzfahrzeuge handelt, welche für den Zweck der vorliegenden Untersuchung eine sehr beschränkte Bedeutung haben. In den meisten amtlichen Unfallstatistiken sind sie jedoch von den "echten" schweren LKW's nur schwer zu trennen.

Die Tabelle beruht auf Angaben aus dem Kalenderjahr 1978 oder 1979 als gemeinsame Berichtsperiode. In bestimmten Ländern wurde nämlich in den darauffolgenden Jahren ein erheblicher Rückgang der Unfallbeteiligungsrate der schweren Lastwagen festgestellt. In anderen Ländern jedoch mag diese Tendenz eine weniger günstige Entwicklung genommen haben.

Die meisten, jedoch nicht alle, in der Tabelle aufgeführten Staaten verfügen über Statistiken über die Todesopfer, aus denen hervorgeht, ob schwere Lastwagen beteiligt waren. Diese Zahlen illustrieren den relativ hohen Sicherheitsgrad, den diese Verkehrsteilnehmergruppe im Vergleich zu anderen Gruppen geniesst. Einige wenige Länder scheinen separate Statistiken über die Zahl der Verkehrstoten unter Beteiligung von LKW's zu führen. Daraus wird jedoch klar ersichtlich, dass solche Unfälle für andere Verkehrsteilnehmer mit hohen Risiken verbunden sind.

Auch der Begriff "Unfallbeteiligung" an sich wird unterschiedlich interpretiert. Im engeren Sinn dürfte es bedeuten, dass das betreffende Fahrzeug und/oder seine Insassen infolge des Unfalls Schaden erlitten haben. Im weiteren Sinne besagt er, dass das Fahrzeug - durch seine Präsenz oder sein Manövrieren - einer der Faktoren war, die den Unfall verursachten. Derartige Unterschiede in der Definition des Begriffs können nach niederländischen Schätzungen in der Unfallbeteiligungsrate zu Schwankungen von 5 bis 10% führen.

Da die amtlichen Statistiken über die LKW-Beteiligung an tödlichen Unfällen u.a. unvollständig sind, ist es nicht überraschend, dass die entsprechenden Angaben betreffend die verschiedenen Schwer-Lastwagen-Kategorien rar sind. Daraus kann entnommen werden, dass die Unfallstatistiken betreffend die schweren Lastwagen ohne eine entsprechende Schätzung deren Verkehrsanteil nicht sonderlich nützlich sind und sogar zu Missdeutungen führen könnten. Selbst die auffallendsten Unterschiede bezüglich der Unfallzahlen zwischen den einzelnen Fahrzeugkategorien haben schliesslich wenig Aussagekraft, wenn sie das Ergebnis proportionaler Unterschiede bezüglich der Verkehrsanteile dieser Kategorien sind.

Die Unterschiede zwischen Fahrzeugkategorien, die sich bei der Gliederung der Unfallsituationen sowie der Art und des Anteils der beteiligten Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge ergeben, können selbst dann, wenn man den Verkehrsanteil nicht kennt, neue und nützliche Einblicke ergeben, vorausgesetzt, dass Verkehrszusammensetzung und Verkehrsbedingungen für alle verglichenen Fahrzeugtypen gleich sind. Während diese Bedingung auf nationaler Ebene erfüllt werden mag, erweist sie sich bei jedem Versuch im internationalen Vergleich als Hindernis.

Trotz der oben erwähnten Vorbehalte ist es aufschlussreich, sich die in den Rubriken e - p der Tabelle V.1 aufgeführten Raten der Beteiligung an Unfällen mit Todesfolge näher anzusehen.

Trotz der zahlreichen Lücken kommt klar und eindeutig zum Ausdruck, dass die Raten von Strassentypen und Fahrzeugkategorien voneinander abhängig sind.

Ferner geht aus den Angaben hervor, dass die Schwankungen bei den Fahrzeugtypen oder -kategorien zwischen einzelnen Ländern genau so stark sein mögen wie die Schwankungen innerhalb eines Landes. Dies spiegelt die Bedeutung und den grundlegenden Einfluss der nationalen Unterschiede auf die Verkehrszusammensetzung und -bedingungen wider.

Die Tabelle wurde von Australien mit Zahlenmaterial aus dem Bundesstaat Victoria ergänzt, laut dem die Raten der tödlichen Unfälle für Kompakt- und schwere Gelenklastwagen 1976 pro 100 Mio km 4,0 bzw. 10,4 betrugen.

Frankreich hat neben den in Tabelle V.1 aufgeführten Zahlen auch noch die Raten der tödlichen Unfälle angegeben, die sich auf Kompakt-LKW's mit einem Gesamtgewicht von mehr oder und weniger als 10 t beziehen. Diese Zahlen sind in Tabelle V.2 zusammengestellt.

Aus den Zahlen in den Tabellen V.1 und V.2 geht klar hervor, dass die Rate der tödlichen Unfälle bei grösserem Gesamtgewicht steigt, wenn man die zurückgelegten Distanzen als Berechnungsgrundlage nimmt. Man weiss jedoch nicht, wie sich dieser Wert verändern würde, wenn man als Massgabe der Aktivität die effektive Nutzlast-Distanz (z.B. Tonnenkilometer) verwenden würde. Obwohl die Bedeutung von Daten dieser Art für jede Bemühung um die Ausarbeitung eines einheitlichen langfristigen Plans für den Strassengüterverkehr auf nationaler Ebene auf der Hand zu liegen scheint, kommen sie in keiner Studie vor, auf welche sich diese Studie stützt. Es ist zudem wahrscheinlich, dass sie gar nicht existieren, dies unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Informationen über die von der einen oder anderen LKW-Kategorie zurückgelegten Distanzen selten sind.

V.3 Ursachen und Schwere von Unfällen und die Rolle der schweren Lastwagen.

V.3.1 Mängel und Unzulänglichkeiten der Fahrzeuge

Eine eingehende, 1974 bis 1975 in Frankreich durchgeführte Untersuchung des Einflusses technischer Mängel von Kraftfahrzeugen auf Unfälle mit LKW-Beteiligung ergab, dass schlechte Lenkbarkeit bei Ausweichmanövern in 25% und blockierende Räder in 23% der 1073 untersuchten Unfälle eine Rolle spielten. Die nachstehende Liste gibt Auskunft über die Häufigkeit der unfallverursachenden Faktoren bei Kraftfahrzeugen:

- schwacher Kippwiderstand	4,7%
- schlechtes Kurvenverhalten	3,2%
- schwache Querstabilität der Bremsen	4,5%
- ungenügende Bremskraft	2,9%
- defekte Bremsen	0,8%
- schwache Blinkerleuchten	2,6%
- keine Rückstrahlstreifen am Heck	2,0%
- schwache Rücklichter	0,7%
- beschränkte Sicht nach hinten in unmittelbarer Umgebung	4,7%

Die französische Studie macht keinen Unterschied zwischen technischen Defekten im engeren Sinne (vorschriftswidriger Zustand) und technischen Unzulänglichkeiten, die auf die gegenwärtige LKW-Bauweise zurückzuführen sind. Sie gibt aber einen Überblick über die Gebiete, in denen durch bessere Planung und Gestaltung sowie neue Konstruktionsprinzipien im Bereiche der primären und sekundären Sicherheit wesentliche Fortschritte erzielt werden können.

Die vom britischen "Transport & Road Research Laboratory" [TRRL] über das gleiche Thema betriebenen Forschungstätigkeiten (26) ergaben die folgende Reihenfolge der Mängel bei schweren und leichten LKW's, die Ursache für Unfälle mit Verletzten waren: mechanische Defekte (6%), Bremsen (3%) und Reifen (3%). Eine zweite vom gleichen Institut durchgeführte Untersuchung von 740 Unfällen mit Todesfolgen, in welche schwere Lastwagen verwickelt waren,

zeigte, dass technische Mängel in 5% der Fälle zu den Ursachen gehörten. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch eine australische Studie (7).

Eine vom Amt für Sicherheit im Strassenverkehr (Bureau of Motor Carrier Safety) des amerikanischen Verkehrsministeriums durchgeführte Studie (27), in deren Rahmen 497 Unfälle "von ungewöhnlicher Schwere" und mit Nutzfahrzeugbeteiligung untersucht wurden, ergab, dass bei 13% aller Unfälle, die von einem schweren Lastwagen verursacht wurden, technische Mängel mit Ursache waren. Man kann diese 13% wie folgt aufteilen: Vorderreifenpanne 5%, mechanische Defekte 3%, Schwierigkeiten mit dem Anhänger und Drehgelenkpannen 2%, Defekte an den Druckluftbremsen 2% und "andere Ursachen" 1%. Wie die Autoren allerdings einräumten, kann man aus ihrer Untersuchung aufgrund der Auswahl der Unfälle keine allgemein und statistisch gültigen Schlüsse ziehen.

Eine vom gleichen Institut herausgegebene Publikation (28) zeigt auf, dass 5,5% der in den USA im zwischenstaatlichen Verkehr registrierten Unfälle mit LKW-Beteiligung mit technischen Defekten im Zusammenhang stehen, von denen Bremsen, Reifen und Räder sowie "sonstiges" je einen Drittel ausmachen.

Die zitierten Quellen sind zwar nicht direkt miteinander vergleichbar, ihre Nebeneinanderstellung erlaubt es aber, das Ausmass des Problems der technischen Defekte als Ursache von Unfällen mit LKW-Beteiligung zu beurteilen.

V.3.2 *Das Problem der Kippsicherheit*

Wie die französische Studie (17) berichtet, kippten in 7,9% der untersuchten Fälle der am Unfall beteiligten schweren Lastwagen. Man schätzt, dass über die Hälfte der Fälle auf die bei vielen LKW's festgestellte ungenügenden Kippsicherheit zurückzuführen ist. Knapp 60% dieser Zwischenfälle ereigneten sich bei Unfällen ohne Kollision, von denen sie aber beinahe zwei Drittel ausmachten.

Laut dem oben erwähnten TRRL-Bericht (26) machten Kippunfälle im Jahre 1974 in Grossbritannien 3 bis 4% aller LKW-Unfälle mit Verletzten aus, wobei erneut in 60% der Fälle nur ein Fahrzeug involviert war.

Von den tödlichen Verkehrsunfällen mit LKW-Beteiligung, die sich 1976 in Grossbritannien ereigneten, wurden 6% von einem umgekippten LKW verursacht. An der Hälfte dieser Unfälle war nur ein Fahrzeug beteiligt (16).

Australien hat der Gruppe berichtet, dass umgekippte LKW's in 9 (=4%) der 1977 in New South Wales registrierten Unfälle mit LKW-Beteiligung die "Hauptursache" waren. Die Zahl von Kippunfällen, die sich infolge einer primären Kollision ereigneten, wird nicht genannt.

Die ebenfalls obengenannte Statistik von 1978 über "Unfälle im Strassenverkehr in den USA" (28) zeigt, dass Kippunfälle ohne Zusammenstoss 9% aller Unfälle (einschliesslich grosser Unfälle mit nur materiellem Schaden) ausmachten. Ausserdem waren sie bei 4% die Todesursache der Opfer.

Das "Fatal Accident Reporting System" (FARS), das der "US-National Highway Traffic Safety Administration" untersteht, hat 3673 tödliche Unfälle registriert, an denen 3774 "kombinierte" Fahrzeuge (d.h. Zugmaschine + Anhänger) beteiligt waren. Rund 15% von diesen kippten bei den bezüglichen Unfällen. Von den insgesamt 4390 Todesopfern dieser Unfälle waren mindestens 11% LKW-Insassen. Bei diesen Zahlen handelt es sich um Schätzungen anhand der in (39) publizierten Angaben.

Wie schon bei den Kfz-Defekten sind auch die verschiedenen nationalen Statistiken, die Kippunfälle von schweren Lastwagen betreffen, infolge der unterschiedlichen Fahrzeugbestände und Betriebsbedingungen nicht direkt miteinander vergleichbar. In 5 bis 10% aller Unfälle mit Beteiligung von schweren Lastwagen führt deren schwache Querstabilität dazu, dass sie umkippen.

Dies ist auch eine der Hauptursachen für die schweren Verletzungen der Insassen. Sie verursacht dabei immer hohen materiellen Schaden.

V.3.3 Schwere Kollisionen

Die Zahl und die Arten der Kollisionen mit Beteiligung von schweren Lastwagen sind weitgehend durch die relative Zahl der anderen Strassenbenützer und durch die Verteilung der von den schweren Lastwagen geleisteten Kilometerleistungen auf die verschiedenen Strassentypen bestimmt. Es wäre daher wenig sinnvoll, zwischen Gliederungen solcher Unfälle und ihrer Art internationale Vergleiche anzustellen. Es gibt allerdings einen globalen Faktor, der für die Auswirkungen von schweren Lastwagen auf die Sicherheit von entscheidender Bedeutung ist, so ihr Dominieren über alle anderen Strassenbenützer aufgrund ihrer Masse, strukturelle Starrheit und Aggressivität. Bei einem Zusammenstoss mit einem LKW ist daher das andere beteiligte Fahrzeug, z.B. ein PKW, einer viel stärkeren Geschwindigkeitsänderung ausgesetzt als der LKW. Ausserdem befinden sich die Strukturelemente der schweren Lastwagen in der gleichen Höhe wie die weniger widerstandsfähigen Strukturelemente der anderen am Unfall beteiligten Fahrzeuge, und die Unterschiede bezüglich der Starrheit bewirken, dass die freigesetzte Energie bei der Zerstörung der schwächeren Struktur mehrheitlich verlorengeht.

Nimmt man als einfaches Beispiel den Zusammenstoss zwischen einem LKW mit einem Minimalgewicht (3 t ohne Ladung) und einem 1 t PKW, wobei die beiden Fahrzeuge nach dem Aufprall in Berührung bleiben, wird die Geschwindigkeitsänderung bei PKW's drei Viertel der Endgeschwindigkeit betragen. Im anderen Extremfall, wenn der LKW 32 t wiegt, wird die Geschwindigkeitsänderung beim PKW 97% der Endgeschwindigkeit betragen. Unterschiede in der Masse der schweren Lastwagen haben also geringe Auswirkungen auf die beteiligten PKW's. Leider kann man nichts tun, um dieses Grundgesetz der Physik zu ändern (16).

Deutsche Forscher haben kürzlich die Ergebnisse eines Vergleichs zwischen PKW-PKW- und PKW-LKW-Kollisionen veröffentlicht (30). Diese Zahlen, die auf deutschen Statistiken (1974) beruhen, illustrieren das Problem sehr gut und haben dank ihrer Genauigkeit eine quasi-allgemeine Gültigkeit. Die wichtigste Angabe ist die Quote der Unfalltoten, d.h. die Zahl der Toten pro 100 Unfälle. Der Vergleich zeigt, dass die Mortalität bei den PKW-LKW-Kollisionen höher ist als bei PKW-PKW-Kollisionen, nämlich

6mal höher bei Frontalkollisionen (23,6:3,8)
 15mal höher bei seitlichen Kollisionen (9,5:0,6)
 80mal höher bei Auffahrunfällen (25,4:0,3)

Als Auffahrunfall versteht man in diesem Vergleich das Aufprallen eines PKW's auf die Rückseite eines LKW's. Die Zahlen in Klammern geben die tatsächliche Mortalität in den sechs möglichen Kombinationen an, die den deutschen Unfallstatistiken zu entnehmen sind.

Die obenerwähnten Zahlen, die wahrscheinlich von Land zu Land wenig variieren, veranschaulichen die Notwendigkeit, in erster Linie PKW-LKW-Kollisionen vorzubeugen, sehr gut, etwa durch Erhöhung ihrer Bremskraft und Manövrierbarkeit und Verbesserung ihrer Sichtbarkeit bei schlechten Lichtverhältnissen. Zweitens gilt es die Schwere der Kollision einzuschränken, indem man die LKW-Struktur und das Gestell in angebrachter Weise modifiziert.

V.4 Prioritäre Bereiche der Forschung über die LKW-Sicherheit

V.4.1 Stabilität

In Grossbritannien (1,4) und in den USA (2) wurden praktische Kippstabilitätsversuche mit Gelenk-LKWs durchgeführt. Bestimmte Tankwagentypen haben eine besondere Kipptendenz, die kürzlich in den USA anhand von Versuchen untersucht wurde [vgl. (3)]. Dabei wurde festgestellt, dass Kippbedingungen bereits bei einer Seitenbeschleunigung von 0,2 - 0,3 g erreicht werden können, die bei "normalem" Fahren keine Seltenheit sind und dass das abnormale, kritische Schleuderverhalten, d.h. wenn sich das Fahrzeug quer stellt (jack-knifing phenomenon), bereits gut unter der Kippgrenze beobachtet werden kann.

Australische Forschungstätigkeiten haben ergeben, dass Umkippen und Schleudern in bezug auf Tankwagen eines der Hauptprobleme ist, und dass die Hälfte der Unfälle mit Gelenk-Tankwagen der australischen Mineralölindustrien in diese Kategorie fällt. In Australien wird gegenwärtig eine umfassende Untersuchung über die Seitenstabilität der Gelenk-LKW's durchgeführt, wobei man sich insbesondere auf die Auswirkungen der Federung und des Drehgelenks konzentriert, das den Sattelanhänger mit der Zugmaschine verbindet.

Gegenwärtige Forschungstätigkeiten in den USA konzentrieren sich darauf, Simulatoren für LKW-Manövrierungen zu validieren und zu verbessern, indem man die tatsächliche LKW-Dynamik beobachtet und testet. Ausserdem erachtete man die Unfallforschung als nötige Ergänzung der Untersuchung der Kfz-Dynamik, um feststellen zu können, bis zu welchem Grade es wirkliche Sicherheitsprobleme gibt. In Zukunft dürften diese Forschungstätigkeiten auch die Integration und Ausbildung von Fahrern als wesentliche Elemente jedes umfassenden Programms einschliessen, die Sicherheitsprobleme im Zusammenhang mit der LKW-Instabilität zu lösen.

Kombinierte LKW's, die aus Zugmaschine, Sattelanhänger und Anhänger bestehen, sind nur in einigen wenigen OECD-Ländern zugelassen, zu denen auch die USA gehören. Angesichts der zahlreichen Probleme mit der dynamischen Stabilität bei der einfachen Kombination von Zugmaschine und Sattelanhänger würde man erwarten, dass die LKW's mit Doppelanhänger infolge der zweiten Gelenkverbindung, erhöhter Achsenzahl und zusätzlichen Federungselementen eine grössere Wahrscheinlichkeit von Brems- oder Raddefekten, offensichtlich schlechtere Eigenschaften aufweisen würden. Man hat Bemühungen unternommen, um die Auswirkungen dieser Probleme zu quantifizieren. Einen Überblick über die diesbezügliche Literatur findet man im Bericht, welcher kürzlich vom Highway Safety Research Institute veröffentlicht wurde (46).

Dieser Bericht bestätigt ferner frühere Feststellungen, wonach zwischen Einzel- und Doppel-LKW's hinsichtlich der globalen Unfallquote Unterschiede bestehen. Der Anteil der Doppel-LKW's an Unfällen ohne Kollision und solche die des Nachts vorkommen, ist viel höher als jener der Einzel-LKW's. Vorhandene Angaben betreffend das Unfallrisiko sind nicht genau genug, um sie direkt mit den Unfalldaten zu kombinieren, die zum Ziel haben, den Einfluss von Faktoren wie Strassenkategorie, Tageszeit und Kfz-Gewicht mit der Unfallquote zu quantifizieren. In Zukunft wird man sich bemühen müssen, nach Wegen zu suchen, diese Faktoren anhand des Verfügbaren anstelle der idealen Angaben zu untersuchen.

Frankreich berichtet über die erfolgreiche Anwendung eines Simulationsmodells zur Untersuchung der statisch-dynamischen Stabilität einer Zugmaschine-Sattelaufleger-Anhänger-Kombination. Wie die Untersuchung ergab, ist es dank entsprechenden in diesem Modell erprobten Modifikationen möglich, die Kipplimite dieses LKW-Typs auf über 0,5 g Seitenbeschleunigung zu erhöhen (8).

Ein in (5) beschriebenes dänisches Simulationsmodell hat es ermöglicht, die statisch-dynamischen, sowie einige dynamische Eigenschaften von LKW's und kombinierten Fahrzeugen (ausser Tankwagen) zu evaluieren, die in Dänemark verkehren.

Einige Ergebnisse neuester deutscher Forschungstätigkeit über LKW-Stabilitätsprobleme betreffend "Wank- und Kippeigenschaften von Sattelschleppern bei Kurvenfahrt und auf unebener Fahrbahn" findet man in (32) und den Problemkreis "gefährliche Fahrzustände bei Nutzfahrzeugen" in (33).

Die erstgenannte Quelle enthält einige Ergebnisse, die bei detaillierten und präzisen Computersimulationen kritischer Manöver mit Zugmaschinen-Sattelschlepper-Anhänger-Kombinationen, in denen die Eingabe der Richtungskontrolle durch die eingeschlagene Bahn bestimmt ist und die Federungseigenschaften die Wirkungen von Merkmalen nicht-linearer Elastizität widerspiegeln. Man weist auf die Kippgefahren infolge auch kleinster Unebenheiten von Strassendecken hin und empfiehlt an solchen Fahrzeugen individuell kalibrierte Warngeräte anzubringen, damit der Fahrer rechtzeitig reagieren kann, wenn sich die Fahreigenschaften gegen die Kipplimite hin bewegen.

Auch in Schweden wurden Computermodelle zur Simulierung der Manövrierfähigkeit von LKW-Kombinationen bei konstanter Geschwindigkeit entwickelt (34). Diese Modelle werden zu bestimmten Zwecken verwendet, namentlich zur Ausarbeitung von Vorlagen bezüglich der Leistungsanforderungen an die Stabilität beim Schleudern, bei Kipplimiten und Ausschwenkungen bei Fahrzeugkombinationen. Die Modelle können als Instrumente dienen, mit deren Hilfe Fahrzeugkombinationen im Hinblick auf ihre Genehmigung und Zulassung geprüft werden können, wobei man sich nur auf die verifizierten technischen Angaben zu den einzelnen Fahrzeugen stützt und keine eigentliche Kontrolle und Prüfung erforderlich sind.

V.4.2 Bremsen

Einen Überblick über die jüngsten Forschungstätigkeiten zum Thema Bremsen geben die Quellen (34) bis (40), die sich mit Themen wie Computersimulation, Bremsschwingungen, Antiblockiersystem, Bremsenkompatibilität zwischen Sattelzugmaschinen und -anhängern sowie Scheibenbremsen für schwere Lastwagen befassen.

Australische Forschungsergebnisse (6) und (9) über die tatsächlichen Bremswege von PKW's und LKW's in ihrer heutigen Art deuten an, dass der Unterschied bezüglich der Geschwindigkeitsbegrenzung zwischen LKW und PKW 15 bis 20 km/h betragen sollte, wenn man die Gefahr von Auffahrunfällen in dichtem Verkehr reduzieren will.

Ein britischer Bericht (10) bringt Ergebnisse von auf Strassen durchgeführten Grossversuchen mit Bremssystemen zur Verhinderung der Schleudergefahr. Diese Versuche, bei denen Lastsensoren mit Antiblockiersystemen verglichen wurden, haben ergeben, dass der Unterschied zwischen den beiden Systemen im Hinblick auf Unfälle gering ist, dass jedoch beide Systeme normalen Bremsen überlegen sind.

Versuche mit Gelenk-LKW's mit einem Gesamtgewicht von 32,5 bis 44 t ergaben wertvolle Angaben über ihre Bremsleistung und Kippstabilität im Vergleich zu Gelenkfahrzeugen mit einem Gesamtgewicht von weniger als 32,5 t (4).

In den USA verwendete man Computersimulationen von Antiblockiersystemen dazu, Methoden zur Verbesserung der manchmal ungenügenden maximalen Bremsleistung dieser Systeme zu evaluieren (11). Besondere Aufmerksamkeit schenkt man dem Leistungsabfall, der auf Kipp-schwingungen zurückzuführen ist, die beim Bremsen auftreten können.

Bremsprobleme auf langen Gefällstrecken sind das Thema einer amerikanischen Untersuchung, die Neigungen nach ihrem Grad klassifiziert und den Fahrern die jeweilige Höchstgeschwindigkeit je nach Fahrzeuggewicht angibt (13).

Zusätzliche Bremsvorrichtungen und Motorbremsen sind als Hilfssysteme zu betrachten, welche bei längerem Bremsen dienen. Die Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung dieser beiden Systeme können einer TRRL-Broschüre entnommen werden (14).

V.4.3 Technische Kontrolle und Fahrzeugprüfung

Über mögliche neuere Aktivitäten in diesem Forschungsgebiet hat die Gruppe nur wenig Informationen gefunden. Es scheint allerdings, dass viele Untersuchungen durchgeführt werden, die jedoch informeller Art sind (49) und selten veröffentlicht werden.

Über die Notwendigkeit und Bedeutung obligatorischer technischer Kontrollen von LKW's berichtet Australien (15). In einer bestimmten Studie einer Region in New South Wales wurden 572 LKW's überprüft. Über ein Drittel der kontrollierten Fahrzeuge wiesen grössere technische Defekte auf, die ihre Betriebssicherheit in Frage stellten. Ein weiteres Fünftel hatte kleinere Defekte. Dabei waren defekte Bremsen die am häufigsten vorkommenden Schäden (60%).

Bei Verkehrskontrollen, die 1977 durch das amerikanische Bureau of Motor Carrier Safety bei auf dem Interstate-Netz verkehrenden LKW's durchführte (31), wurden bei einem Drittel der 18'421 überprüften Fahrzeuge grössere technische Mängel festgestellt, worauf sie ausser Betrieb gesetzt

wurden. Über 50% dieser Fahrzeuge hatten defekte Bremsen, die rund 49% der grösseren Defekte ausmachten.

V.4.4 *Der Fahrer*

Die Arbeitsbedingungen der LKW-Fahrer und die Abhängigkeit des Unfallrisikos von der Arbeitszeit wurden kürzlich in Frankreich untersucht (19). Wie man festgestellt hat, hängt das Unfallrisiko eng mit der Fahrtdauer, der Transportart (lange oder kürzere Entfernungen) und der Tageszeit zusammen.

Ähnliche Untersuchungen wurden auch in Australien durchgeführt (18). Dabei zeigte es sich, dass das Unfallrisiko für Fahrer, die über 55 Stunden pro Woche unterwegs sind, beinahe doppelt so hoch ist, wie für jene, die weniger als 45 Stunden pro Woche fahren.

Diese Feststellungen widersprechen einer 1968 in Grossbritannien durchgeführten Analyse. Ein eingehendes Studium der damals vorhandenen Literatur brachte praktisch keinen Beweis für die Existenz einer positiven Wechselbeziehung zwischen Arbeitsdauer und Unfallbeteiligung oder Änderung des Fahrverhaltens zutage, die zu einer Erhöhung des Risikos führen könnten (20).

Mit diesem Thema haben sich in letzter Zeit auch RÜTER und andere Mitarbeiter vom Institut Battelle (BRD) befasst. Ihre Forschungsergebnisse wurden in (41) und (42) publiziert und an der 1980 in Paris abgehaltenen EVMK-Tagung über die "Arbeitsbedingungen der Berufsfahrer" in Form von Leitsätzen und Schlussfolgerungen vorgelegt. Sie sind in den Diskussionen eingeschlossen (43). An der Tagung wurde hervorgehoben, dass es im grossen und ganzen keinen Beweis gibt, dass Vorschriften einen grossen Einfluss auf das Fahrverhalten haben, was insbesondere auf die Befolgung der Vorschriften über Arbeitszeit und Ruhepausen zutrifft. Wie man ferner feststellte, arbeiten die Fahrer oft bis zur Grenze der körperlichen Belastbarkeit und weit über der Limite, welche die Verkehrssicherheit erfordert. Man muss allerdings betonen, dass es nur wenige zuverlässige Beweise gibt. Die obengenannte französische Studie (18) ist ein Einzelfall. Man müsste über mehr wissenschaftlich verwertbares Material verfügen, um diese Schlussfolgerungen quantifizieren und verallgemeinern zu können.

V.4.5 *Weitere Bereiche der Sicherheitsforschung*

Spritzwasserreduktion

Auf nassen Strassen verursachen LKW's Schmutz- und Wasserspritzer, was nicht nur umweltbelastend ist, sondern auch Risiken für die anderen Strassenbenützer mit sich bringt [siehe auch (49)], deren Umfang äusserst schwer einzuschätzen ist. Doch steht ausser Zweifel, dass dies die Verantwortung der LKW's für Unfälle weit über den Prozentsatz der Unfälle hinaus erweitert, an denen sie direkt beteiligt sind.

Solche Spritzer kann man mit Hilfe poröser Strassendecken und durch die Ausrüstung der LKW's mit entsprechenden Kotflügeln reduzieren. Wie die Ergebnisse einer schwedischen Untersuchung (44) zeigen, können richtig entworfene Spritzwasserschutzvorrichtungen, die Sichtbehinderung bei anderen Strassenbenützern verursachen können, so um 25% bis 30% reduziert werden. Zu ähnlichen Schlüssen gelangte man in den USA (21) und in anderen Staaten bei Versuchen mit geeigneten Spritzschutzlappen.

In (47) findet man eine Zusammenfassung neuester Ergebnisse amerikanischer Forschungstätigkeiten über an Sattelschleppern angebrachte Vorrichtungen zur Reduktion des Spritzwassers. Diese Quelle macht auch auf den engen Zusammenhang aufmerksam, der zwischen Vorrichtungen zur Reduzierung des aerodynamischen Luftwiderstandes und jenen zur Reduzierung des Spritzwassers besteht. Diese sind bei jeder Kosten-Nutzen-Analyse ein wichtiger Aspekt. Ferner bedient sie sich einer Methodologie mit dem Ziel, die Rangliste einer Auswahl von Verfahren zur Neutralisierung von Spritzwasser zu stellen.

Auffahrunfälle und Auffahrschutz

Jüngste italienische Forschungstätigkeiten haben ergeben, dass es sich bei 15% aller Unfälle auf italienischen Autobahnen um Auffahrunfälle zwischen LKW's und anderen Fahrzeugen handelt, dass rund 40% der auf Autobahnen getöteten Personen bei solchen Unfällen gestorben sind. Bei Dunkelheit wird das Problem grösser.

Mehrere amerikanische Studien zum gleichen Thema ergaben ähnliche Ergebnisse (23, 24, 25). Extrapoliert man die Ergebnisse der in zwei Bundesstaaten durchgeführten detaillierten Studien, kommt man zum Schluss, dass in den USA Auffahrunfälle rund 10% aller tödlichen Unfälle mit LKW-Beteiligung ausmachen, dass diese Art von Unfällen nachts erheblich über dem Durchschnitt liegt. Seitliche Kollisionen mit Todesopfern kommen beinahe ebenso häufig vor wie Auffahrunfälle.

Sowohl die italienischen als auch die amerikanischen Berichte empfehlen eine Verbesserung der aktiven und passiven LKW-Beleuchtung, um sie für andere Strassenbenützer besser sichtbar zu machen. Ferner empfiehlt man den Herstellern von LKW's und Anhängern, alle Fahrzeugtypen mit einem integrierten Auffahrschutz auszustatten (25). Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass einfache Auffahrschutzvorrichtungen bei hohen Geschwindigkeiten im Moment des Aufpralles (über 50 km/h) wirkungslos sind. Spezielle Auffahrschutzvorrichtungen die nicht schwerer als die einfachen unwirksamen Modelle (unter 22 kg) waren, erwiesen sich bei Crashtests als fähig zu verhindern, dass das Gestell eines LKW's in den Fahrgastraum eines PKW eindringt, wenn dieser mit einer Endgeschwindigkeit von 55 km/h auffährt (48).

Auffahrschutzvorrichtungen sind laut einer australischen Untersuchung (22) gegen Auffahrunfälle wirksam, wenn sich diese bei niedrigen Geschwindigkeiten (relative Geschwindigkeit) ereignen. In bestimmten Regionen Australiens sind Auffahrschutzvorrichtungen obligatorisch.

Die obenerwähnte Untersuchung über LKW-Unfälle mit Todesopfern in Grossbritannien (16) zeigt, dass 5% davon Auffahrunfälle sind. Sie befürwortet daher die Verwendung von Auffahrschutzvorrichtungen.

Seitenschutz

In Frankreich könnte die Verwendung von Seitenschutzvorrichtungen alljährlich den Tod von 150 bis 200 Strassenbenützern verhindern. Dies entspricht rund 6% der jedes Jahr bei LKW-Unfällen registrierten Verkehrstoten. Die entsprechenden Zahlen für Grossbritannien lauten 54 Tote weniger von 840 (1976), was 6,4% entspricht (16). Niederländischen Schätzungen (45) zufolge hätten 1976 Seitenschutzvorrichtungen rund 28 getöteten Strassenbenützern das Leben gerettet, was erneut rund 6% der bei LKW-Unfällen registrierten Verkehrstoten entspricht.

Tabelle V.1

LKW-Beteiligung an Verkehrsunfällen

a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)	l)	m)	n)	o)	p)
Land	Definition der Gütertransporter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Österreich	Gütertransporter PTC > 3,5 t	1979	98000	1.901	...	...	32	249	...	...	...	...	...	...	...
Belgien	Gütertransporter CU > 1,5 t	1978	118000	2.589 ¹	234	9,0	27	11,5	211 ²	...	...	...	...	...	...
Kanada (Ontario)	Gütertransporter PTC > 4,5 t	1979	k.A.	1.560	213	13,7	40	14,1	161	...	...	...	...	...	...
Dänemark	Gütertransporter PTC > 3,0 t	1978 + 1979	85000	1.579	401	25,4	21	5,2	368	9,8 ¹	...	...	...	8,0 ¹	13,2 ¹
Frankreich	Gütertransporter PTC > 3,5 t	1979	470000	12.197	2.202	18,1	290	13,2	...	...	4,1 ²	6,5 ³	...	7,7 ³	9,8 ³
BRD	Gütertransporter exkl. landwirtschaftliche Fahrzeuge	1979	1.462.000	13.222	...	...	397	...	2.106	7,6	...	...	...	...	6,5 ¹
Griechenland	Gütertransporter auf der Strasse	1979	362.000	1.994	...	...	...	...	442 ¹	...	...	...	...	...	...
Italien	Gütertransporter > 1 t Nutzlast	1976	657.000	9.511	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Irland	Gütertransporter PTC > 3,5 t	1978 + 1979	82.000	1.242	258	20,8	38	15,1	229	3,4	...	...	...	...	...
Niederlande	Gütertransporter PTC > 3,5 t	1978	130.000	2.294	437	19,0	21	4,8	386	10,3	...	...	...	9,8	11,3
Japan	Gütertransporter > 3,0 t	1979	1.214.000	8.461	...	...	...	...	...	...	3,9 ²	...	...	...	...
Schweiz	Gütertransporter und Busse exkl. landwirtsch. Fahrz.	1979	172.000	1.288	267	21,0	52	19,5	253	6,7	...	...	...	...	...
Schweden	Gütertransporter PTC > 3,5	1978 + 1979	113.000 ¹	1.960	339	17,3	29	8,6	360	4,5	...	...	...	...	8,0 ²
UK	Gütertransporter Leergewicht > 1,5	1978	550.000 ¹	6.631	1.066	15,6	92	8,6	1.063	4,9	1,6	5,8	6,1	4,7 ²	6,8 ²
USA	Gütertransporter PTC > 12,0 t	1979	1.434.000	43.673	5.4788	12,5	1.087	19,8	4.231 ²	3,8 ²	2,2 ²	4,5 ²	2,9 ²	...	3,8 ²

- 1 Referenzperiode
 2 Zahl der bezüglichen Fahrzeuge
 3 Anzahl der Verkehrstoten in genannter Periode
 4 Anzahl Tote mit Beteiligung von LKW's
 5 f in % von e
 6 Anzahl Tote in LKW's
 7 h in % von f
 8 Zahl der an Unfällen mit Todesfolge involvierte LKW's
 (9-14) Involvierte LKW's per 100 Mio. Fahrzeugkilometer
 9 Alle Strassen
 10 Autobahnen
 11 Überlandstrassen
 12 Agglomerationsstrassen
 13 LKW
 14 Lastenzüge

Anmerkungen:

- Kanada: 1. Todesfolge im Folgejahr nach dem Unfall
 Dänemark: 1. Mittel 1976 - 1979 für LKW's mit PTC > 6 t
 Frankreich: 1. Todesfolge in den folgenden 6 Tagen nach dem Unfall
 2. Mittel 1974 - 1975
 3. Nationalstrassen; Mittel 1974 - 1975)
 Deutschland: 1. exklusive Lastzüge
 Griechenland: 1. per 1978; Tote an einem bestimmten Tag
 Italien: 1. Todesfolge in den folgenden 7 Tagen nach dem Unfall
 Japan: 1. Todesfolge in den folgenden 6 Tagen nach dem Unfall
 2. Mittel 1978 - 1979
 Schweden: 1. Einschliesslich LKW's mit PTC < 12 t
 2. Das Ergebnis 1975 basiert auf 100 "Implikationen"
 UK: 1. inkl. 490'000 LKW's mit PTC < 3,5 t
 2. 1976 für LKW's mit PTC < 3,0 t
 USA: 1. 1977
 2. 1978 für "kombinierte Fahrzeuge"
 Belgien: 1. Todesfolge in den folgenden 30 Tagen nach dem Unfall
 2. inkl. ausländisch registrierte LKW's

Tabelle V.2

Anzahl Unfälle mit Todesfolge unter Beteiligung von
LKW's auf französischen Autobahnen und Nationalstrassen
1974 - 1975

	Gefahrene Distanzen (10 ⁸ km)	Tote	
		Total	pro 10 ⁸ km
PTC < 10 t Autobahnen	25.8	275	10.6
Autostrassen	4.6	16	3.5
PTC > 10 t Autobahnen	42.7	774	18.1
Autostrassen	7.5	69	9.2

References

1. KEMP, RN et.al. Articulated vehicle roll stability: methods of assessment and effects of vehicle characteristics. Lab. Rep. 788. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, 1978.
2. ERWIN, R. Tractor-semi-trailer yaw stability during cornering. Ann Arbor, University of Michigan, 1980.
3. WINKLER, C. Stability of double-bottom tankers. Ann Arbor, University of Michigan, 1980.
4. DEPARTMENT OF TRANSPORT (United Kingdom). Comparative trials of articulated goods vehicles between 32.5 and 44 tonnes gross weight. United Kingdom Department of Transport, 1979.
5. CARLSEN, H. Tunge køretøjers dynamiske stabilitet /The dynamic stability of heavy vehicles/. Copenhagen, Laboratory of Energetics, Technical University of Denmark, 1979.
6. MACKAY, JG. Heavy commercial vehicle speed and operational safety study. Vehicle braking task report. Road Safety and Traffic Authority, Victoria, 1978.
7. COWLEY, JE. Heavy commercial vehicle speed and operational safety study. Accident analysis task report. Road Safety and Traffic Authority, Victoria, 1978.
8. FAVERO, JL. et.al. Le problème du renversement des poids lourds /The roll-over problem of heavy vehicles/. In: ONSER, Bulletin no. 47, pp. 33-183. Organisme National de Sécurité Routière, Accueil, 1979.
9. THOMPSON, JC and FRY, AT. Major findings of a study of heavy vehicle speed and operational safety in Victoria. In: Australian Road Research Board (ed) - Proceedings of the 10th ARRB conference. Australian Road Research Board, 1980.
10. WILKINS, HA. Accidents to articulated vehicles fitted with load sensing or anti-locking brakes to counteract jack-knifing. Supplementary Report 222, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1977.
11. MACADAM, C. A study of the anti-skid braking performance of a commercial vehicle. University of Michigan, Ann Arbor, 1980.
12. FANCHER, P. Pitching and bouncing dynamics during anti-lock braking of heavy trucks. University of Michigan, Ann Arbor, 1980.
13. JOHNSON, WA et.al. Feasibility of a grade severity rating system. United States Federal Highway Administration, Washington, 1979.
14. TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY: Electromagnetic retarders and exhaust brakes. Leaflet no. 606. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1976.
15. COMMISSION OF INQUIRY INTO NSW ROAD FREIGHT INDUSTRY. Second report on rationalisation, costs charges, licencing, safety, environment, industry organisation, training. Vol. IV - text. Commission of Inquiry into NSW Road Freight Industry, New South Wales, 1980.
16. RILEY, BS and BATES, AJ. Fatal accidents in Great Britain in 1976 involving heavy goods vehicles. Supplementary Report 586. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1980.
17. FAVERO, JL. Sécurité et conception des poids lourds /Safety and design of heavy vehicles/. In: ONSER, Bulletin no. 47, pp. 1-31. Organisme national de Sécurité Routière, Accueil, 1979.
18. LINKLATER, DR. Fatigue and long distance truck drivers. In: Australian Road Research Board (ed) - Proceedings of the 10th ARRB conference. Australian Road Research Board, 1980.
19. DREY, A. Question de temps ou les conditions de travail des conducteurs routiers et la sécurité routière. Voies, 1979.
20. RUFFEL SMITH HP. Fatigue in the drivers of heavy commercial vehicles. TN 358 (unpublished). Road Research Laboratories, Crowthorne, 1968.
21. WEIR, DH. Reduction of adverse aerodynamic effects of large trucks. United States Federal Highway Administration, Washington, DC, 1978.
22. SIMONS, DA and GILLIES, N. Guards on trucks to prevent car underride. Report no. 6/77. New South Wales, Traffic Accident Research Unit, 1977.
23. MINAHAN, DJ and O'DAY, J. Car-truck fatal accidents in Michigan and Texas. University of Michigan, Highway Safety Research Institute, 1977.
24. GREEN, P et.al. Accidents and the nighttime conspicuity of trucks. University of Michigan, Highway Safety Research Institute, Ann Arbor, 1979.
25. MINAHAN, DJ and O'DAY J. Comparison of Michigan fatal and non-fatal car-into-truck accidents. University of Michigan, Highway Safety Research Institute, Ann Arbor, 1979.

26. NEILSON, ID et.al. Accidents involving heavy goods vehicles in Great Britain: frequencies and design aspects. Supplementary Report 470. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1979.
27. BUREAU OF MOTOR CARRIER SAFETY. Analysis and summary of accident investigations 1973-76. United States Department of Transportation, Bureau of Motor Carrier Safety, Washington DC, 1976.
28. BUREAU OF MOTOR CARRIER SAFETY. Accidents of motor carriers of property 1978. United States Department of Transportation, Bureau of Motor Carrier Safety, Washington DC, 1980.
29. O'DAY, J et.al. Combination Vehicles: five-year accident experience. University of Michigan, Highway Safety Research Institute, Ann Arbor.
30. APPEL, H et.al. Prioritäten für Massnahmen zur Ausseren Sicherheit von Lastkraftwagen /Priorities of measures to improve the external safety of heavy goods vehicles/. In: TECHNISCHE ÜBERWACHUNGS-VEREIN RHEINLAND, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit im Fuhrpark, Chapter 7. Verlag TÜV Rheinland, Cologne, 1979.
31. BUREAU OF MOTOR CARRIER SAFETY. BMCS roadside safety inspections 1976-1977. United States Department of Transportation, Bureau of Motor Carrier Safety, Washington DC, 1978.
32. SHÖNFELD, KH. Die Wank- und Kippeigenschaften von Sattelkraftfahrzeugen bei Kurvenfahrt und auf unebener Fahrbahn /The roll and overturning properties of semi-trailer trucks in curve driving and on uneven road surfaces/. Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik, no. 256.
33. GAUSS, F. Gefährliche Fahrzustände bei Nutzkraftfahrzeugen. /Dangerous driving conditions for goods vehicles/. Zentralblatt für Unfalluntersuchung, 4. 1980.
34. NORDSTRÖM, O and NORDMARK, S. Tunga fordonskombinationers manöveregenskaper vid konstant hastighet. Slutrapport /Handling characteristics of heavy vehicle combinations at constant speed - final report/. Report no. 234. National Road and Traffic Research Institute, S-58101 Linköping, Sweden.
35. UFFELMANN, F. Rechnerische Simulation des Fahrverhaltes von Lastzügen in Extremen Bremsituationen /Computer simulation of driving characteristics of articulated goods vehicles in extreme braking situations/. Automobil-Industrie, 4, 1978.
36. HELMS, H and THESENVITZ, M. Bremsschwingungen von Lastkraftwagen /Braking oscillations of goods vehicles/. Automobil-Industrie, 1, 1980.
37. PIEPER, R. Anti-Blockier-System (ABS) für Nutzfahrzeuge; Stand der Entwicklung /Anti-locking braking systems for goods vehicles; state of the development/. Zentralblatt für Unfalluntersuchung, 4, 1980.
38. KRÜGEL, M and HOFFMANN, H. Bremsen- Kompatibilität zwischen Sattelzugmaschinen und -anhängern /Brake compatibility between trailer tractors and semi-trailers/. Automobiltechnische Zeitschrift, 5, 1978.
39. ALWESWERTH, R. Anordnung von Blockierverhinderern bei Sattelkraftfahrzeugen - eine Simulationsrechnung /Rulemaking on anti-locking devices on tractor-semi-trailer trucks - a simulation computation/. Automobiltechnische Zeitschrift, 5, 1978.
40. SCHMIDT, H and WEILER, R. Scheibenbremsen für Omnibusse und Nutzfahrzeuge /Disc brakes for busses and goods vehicles/. Automobiltechnische Zeitschrift, 9, 1977 and 12, 1977.
41. RÜTER, G et.al. Beziehungen zwischen Arbeitsbedingungen von Lkw- und Busfahrern, ihrer Ermüdung und der Sicherheit im Strassenverkehr /Relations between working conditions of HGV and bus drivers, their fatigue and safety in road traffic/. Batelle-Institut, Frankfurt a.M., 1975.
42. RÜTER, G et.al. Fallstudien zur Erholungswirkung des Schlafes von Lkw-Fahrern in Lkw-Schlafkabinen /Case studies of the recreative effect of HGV-drivers' rests in HGV sleeper-cabins/. Batelle-Institut, Frankfurt a.M., 1977.
43. EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT. Report of the 53rd round table on transport economics. The working conditions of professional drivers: effects on productivity and road safety. European Conference of Ministers of Transport, Paris, 1981.
44. SANDBERG, U. Efficiency of spray protectors. Tests 1979. Report no. 199A. National Road and Traffic Research Institute, Linköping, Sweden, 1980.
45. STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID (SWOV). Afscherming van de zijkant van vrachtauto's /Guarding the sides of heavy goods vehicles/. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, SWOV, Voorburg, 1976.
46. CHIRACHAVALA, T and O'DAY, J. A comparison of accident characteristics and rates for combination vehicles with one or two trailers. University of Michigan, Ann Arbor, 1981.
47. WEIR, DH. Truck splash and spray - some recent results. SAE Technical Paper Series no. 800529. Society of Automotive Engineers, Inc., 400 Commonwealth Dr., Warrendale, Penn., 1980.
48. RICHTIE, D. The underride question. Commercial Car Journal, pp. 95-100, August 1978.
49. TECHNISCHE ÜBERWACHUNGSVEREIN RHEINLAND. Wie sicher ist Ihr Lkw? Verlag TÜV Rheinland, 1977.

Kapitel VI

Wirkungen auf die Fahrbahn

VI.1 Einleitung

Die Lebensdauer der Fahrbahnen ist eine der grössten Tätigkeitsbereiche der Ingenieure im Bereiche Brücken- und Strassenbau (Tiefbauingenieure). Aus diesem Grund hat die Forschungstätigkeit in diesem Bereich in den Mitgliedstaaten der OECD prioritäre Bedeutung. Rationale Methoden bezüglich der Wirkung auf die Fahrbahn, welche in verschiedenen Staaten erarbeitet wurden, konnten aufgrund der Schwierigkeiten der analytische Evaluation des Einflusses von Lastwagen auf die Fahrbahn in der Praxis nicht vollumfänglich übernommen werden. Das verbreitetste Schadenmoment-Kriterium ist das in den AASHO-Versuchen angewandte, beziehen sie sich doch auf sehr spezielle Bedingungen, wie Art des Materials und Umweltcharakteristiken.

In der Vergangenheit wurden die Phänomene bezüglich der Ermüdungserscheinungen von den zuständigen Behörden in einem gewissen Masse unterschätzt. Die stets wachsende Zahl von Schwer- und Lastfahrzeugen zwang aber immer mehr dazu, die Gesamtheit der Probleme zu prüfen und auch den Standard, die Verstärkung und den Unterhalt verstärkt zu überdenken. In den letzten Jahren ging die Strassenbauforschung vermehrt in die Richtung der Voraussehbarkeit von Ermüdungserscheinungen und von Schäden, speziell im Lichte von direktem analytischem Wissen über deren Charakteristiken und den Umfang der durch Lastwagen hervorgerufenen Schäden, dies im Zusammenhang mit ihrer jeweiligen Konfiguration und den jeweiligen Charakteristiken, Gewicht und dynamischen Wirkungen.

Dieses Kapitel ist in vier Unterkapitel unterteilt.

1. Kurze Übersicht über die Strassenbaumethoden, deren Unterhalt und Dauerhaftigkeit (Kapitel VI.2). Hierbei verweisen wir auf bezügliche spezielle Literatur und Kataloge nationaler Ausformung, da es den Rahmen dieses Berichtes bei weitem sprengen würde, wenn man hier eine vertiefte Untersuchung vorzunehmen versuchen würde. Dieser Teil vergleicht auch die Strukturen in den verschiedenen Staaten bezüglich den einzelnen Einteilungsstufen des Schwerverkehrs.
2. Zusammenstellung der wichtigsten Forschungstätigkeit bezüglich des Effektes der wichtigsten Charakteristiken des Schwerverkehrs und ihren Einfluss auf die Fahrbahn (Kapitel VI.3).
3. Eine vergleichende Synopse über die wichtigsten vom Schwerverkehr hervorgerufenen Schadenwirkungen auf der Grundlage der am häufigsten vorkommenden Fahrzeuge unter Berücksichtigung der Fahrzeugbreite, der Gewichtsverteilung auf die Achsen und/oder Achsgruppierungen (Kapitel VI.4).
4. Bilanz der noch vorzunehmenden Forschungstätigkeiten und die zugänglichen vollständigen Versuchsdispositive der Mitgliedstaaten (VI.5).

VI.2 Fahrbahnkonstruktion und Fahrbahnunterhalt

VI.2.1 Fahrbahnkonstruktion

Die Fahrbahnkonstruktion beinhaltet die Definition der Schichten und ihrer Dicke, dies auf der Grundlage der physikalischen und mechanischen Charakteristik der gebrauchten Materialien und des Unterbaues, der klimatischen Bedingungen, des Gewichtes und der Zahl des kurzfristig und langfristig zu erwartenden Lastwagenverkehrs.

Es ist auch zu unterstreichen, dass die Wahl der Lebensdauer einer Fahrbahn ein politischer und wirtschaftlicher Entscheid ist und so einer der wichtigsten Faktoren der Fahrbahnkonstruktion ist.

Man unterscheidet zwei grosse Kategorien bezüglich der Methode der Fahrbahnkonstruktion: die Empirische und die Rationelle. Die erste stützt sich auf globale Evaluationen resultierend aus statistischen Beobachtungen des Fahrbahnverhaltens. Die zweite, eine Methode, die sich in den letzten Jahren stark entwickelt hat, stützt sich auf die mathematische Analyse des Druckes und der Deformation in bezug zur Funktion der Fahrbahn und der benützten Materialien.

Die zweite Kategorie schliesst die Methode der Elastizität und die Methode der Viscoelastizität mit ein. Die Methode der Elastizität kann als weniger vollständig angesehen werden, wenn sie mit der Methode der Viscoelastizität verglichen wird, dies speziell, wenn die plastischen Deformationen nicht berücksichtigt werden. Andererseits ist die Methode der Viscoelastizität in vielen Ländern noch in der Versuchsphase.

Für die Kalkulation wurden verschiedene Parameter verwendet. Sie reichen von der mechanischen Charakteristik der Fahrbahnmischung, in Laborversuchen oder in situ ermittelt, bis hin zur Verkehrszusammensetzung, Gewicht und Umweltbedingungen. Das Hauptproblem liegt darin, die Qualität der häufig angewandten Trägerschichten festzustellen, dies mit dem Ziel, die Ergebnisse der Studien in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht besser zu nutzen.

Die Dimensionierung einer Fahrbahn gründet in der Relation zwischen Tragfähigkeit des Unterbaus, den mechanischen Charakteristiken der oberen Schichten und den zu erwartenden Verkehr während der gewählten Lebensdauer der Fahrbahn.

Die Methoden zur Ermittlung der Tragfähigkeit, z.B. durch die CBR-Methode sind die folgenden:

- Extrapolation der Massnahmen in situ oder durch Beobachtung vorhandener Fahrbahnen,
- Analyse der Ergebnisse von Laborversuchen,
- Annahmen auf der Grundlage der sols-Klassifikationskriterien und deren charakteristischen Parameter.

Die ungebundenen Materialien werden durch die Granulometrie und die Dichte ausgedrückt. Man berechnet Elastizitätsmodulus mit der Formel des CBR-Wertes oder durch "Platloading"-Tests. Die gebundenen Materialien werden in Labortests evaluiert (Modulus, Fluktation, Ermüdungsresistenz).

Der Verkehr wird generell in kumulativen Zahlen der Standardachszahlen ESA ausgedrückt.

Generell wird die Dichte der verschiedenen Schichten aufgrund der Ergebnisse der erarbeiteten Dimensionierungsmethoden errechnet.

VI.2.2 *Verstärkung und Unterhalt der Fahrbahn*

Welche der gewählten Strukturen und der Methoden der Dimensionierung auch immer Anwendung finden, ist die Abnutzung der Fahrbahnen während der Benützung als Ergebnis verschiedener Faktoren zu sehen, im speziellen des Schwerverkehrs. Unter den weiteren Parametern sind Konstruktionsmängel, klimatische Bedingungen, Alterung des Materials u.a.m. zu subsummieren.

Zudem kann die Zunahme des Schwerverkehrs, das Überladen, heisse Sommer oder ein kalter Winter die Beschleunigung von Fahrbahnschäden bewirken oder gar zur Ruinierung der Fahrbahn führen, was wiederum zu umfassenden Reparatur-, Verstärkungs- oder Rekonstruktionsarbeiten führt.

Die hauptsächlichlichen Beschädigungen, welche Reparaturarbeiten notwendig machen, sind Spuren und Risse (4,5,6,7). Es ist zudem sehr schwer vorauszusehen, wo und wann diese Schadenergebnisse eintreten.

Die Gefahr der Spurrinnen für die Sicherheit und die Dauerhaftigkeit der Strukturen sind wohlbekannt. Spezielle Techniken sind nötig um die Spurrinnentiefe zu beschränken oder ein Übergreifen auf die unteren Fahrbahnschichten zu verhindern.

Risse beeinträchtigen die Fahrsicherheit bis zu einem gewissen Grad nicht, wobei sichergestellt sein muss, dass diese sich in kalten oder feuchten Jahreszeiten nicht verstärken. Regen und Vereisung sind verschärfende Einwirkungen, die zu einer Verstärkung der Rissbildung auch auf andere Fahrbahnteile führen können und so die Schadendimension vergrössern. Um der Rissbildung zu begegnen, werden verschiedene Techniken angewandt. Die modernste Technik ist die Wiederverwendung von Strassenbaumaterialien (8).

Es ist heute allgemein anerkannt, dass der Unterhalt einer der wichtigsten und zugleich komplexesten Teile ist, so dass in den kommenden Jahren sowohl grosse technische als auch umfassende wirtschaftliche Forschungsanstrengungen nötig sein werden. Der Unterhalt kann nicht als abstrakter Teil angesehen werden. Er muss im Kontext zum Strassenbau im allgemeinen betrachtet werden. Speziell berücksichtigt werden muss die wirtschaftliche Seite, wobei es unabdingbar ist, dass die nötigen Mittel zur Verfügung gestellt werden.

In Frankreich z.B. wurde ein Präventionsprogramm bezüglich des Strassenunterhalts für Nationalstrassen etabliert. Das Ziel ist ein Zweifaches: einerseits die Anpassung der Fahrbahnen an den zunehmenden Schwerverkehr, andererseits die Wiederherstellung der Fahrbahnen nach Feststellung kritischer Teile. Ein Guide Technique für den präventiven Unterhalt von Fahrbahnen wurde 1979 publiziert (9). Darin werden Methoden der Fahrbahnkontrollen (visuelle Kontrolle, Massnahmen mittels Apparaten mit grosser Reichweite), die Quantifizierung der Schäden umschrieben und definiert entsprechend den Zustandsindikatoren der Fahrbahn, den Eingriffsmöglichkeiten und den nötigen und geeigneten Unterhaltsarbeiten. Der Guide erlaubt es so, Eingriffe auf der Grundlage der effektiven festgestellten Notwendigkeit vorzunehmen.

Bezüglich der Verstärkung der Fahrbahnen kann an dieser Stelle auf den OECD-Bericht von 1976 verwiesen werden (10). Verstärkungen sind notwendig aufgrund von strukturellen Fehlern oder Schwächen. Sie können entweder durch zusätzliche Verstärkung der Fahrbahn oder durch Ursachenbeseitigung vorgenommen werden. Hierin ist auch die Zunahme des Schwerverkehrs zu berücksichtigen. Der Bericht (10) zeigt Feststellungsmethoden einschliesslich der erhältlichen Unterhaltsausrüstung. Sie verweist auch auf Strassenverstärkungsmethoden und berücksichtigt zudem die finanziellen Auswirkungen. Er verweist auch auf den State-of-the-art der Methoden der Verstärkungsmassnahmen.

Zur Zeit wird verstärkt im Bereiche der Technik und Wirtschaftlichkeit des Strassenbaus geforscht. In diesen Bereich fallen die Erarbeitung von Methoden bezüglich eines globalen Fahrbahnmanagement-Systems, welches den Bau, den Unterhalt, die Verstärkung und die Rekonstruktion umfasst. Dabei werden die Forschungsergebnisse und die effektiven Erfahrungen der sechziger und siebziger Jahre bezüglich des Schwerverkehrs verglichen. Diese Fragen werden in den Kapiteln VI.3, sowie in den wirtschaftlichen Analysen der Kapitel X und XI vorgestellt.

VI.2.3 Vergleich der in den verschiedenen Mitgliedstaaten gebräuchlichen Fahrbahnstrukturen unter verschiedenen Bedingungen des Schwerverkehrs.

Um einen Vergleich der Praktiken der verschiedenen Staaten zu ermöglichen, werden im folgenden Beispiele von neu erstellten Strassen und deren Unterhalt verglichen; die Verstärkung von unfesten Fahrbahnen wird ebenfalls diskutiert. Die Informationen erhielten wir mittels eines an die Gruppenmitglieder abgegebenen Fragebogens.

Konzeption neuer Fahrbahnen

Der in Fig. VI.1 dargestellte Standardquerschnitt neuer Fahrbahnen hat einen CBR-Wert von 10% und ist für 50, 250 oder 1'250 Lastwagen täglich auf stark befahrenen Strassen vorgesehen. Hierzu sind folgende Anmerkungen zu machen:

1. Die dänischen und japanischen Strukturen sind dünner als die anderer Staaten. Ursache für dieses Faktum ist die kürzere Lebensdauer der Strassenoberfläche (10 statt 20 Jahre).
2. In Grossbritannien findet eine relativ dicke Oberfläche Anwendung, dies auch bei Fahrbahnen für leichtere Fahrzeuge. Die Basis ist dagegen dünner.
3. Die Dicke der Bitumenschicht ist in den meisten Ländern für die gleiche Achslast vergleichbar (10 t), d.h. je stärker der Schwerverkehr um so eher sind die Werte vergleichbar. Weiter, ohne Rückschluss auf das Achsgewicht, beträgt die Dicke der bituminösen Schicht 20 bis 25 cm bei 1'250 Lastwagen pro Tag, 15 bis 20 cm für 250 Lastwagen pro Tag.

Unterhalt der Fahrbahnstrukturen

Analysen bezüglich Fahrbahnstrukturen in verschiedenen Ländern sind sehr komplex und delikat, wirken doch verschiedene Parameter auf die Charakteristiken ein (Frequenz, Art der Unterhaltsarbeiten).

1. Für Fahrbahnen mit hohen Frequenzen sind Belagsüberzüge ausgeschlossen (1'250 Fahrzeuge pro Tag). Der Unterhalt steht im Zusammenhang mit einer Erneuerung in Zeitetappen von rund 10 Jahren.
2. Die Dauerhaftigkeit der Fahrbahnoberfläche liegt zwischen 4 und 8 Jahren je nach Land und Verkehrsvolumen.
3. Es ist von Nutzen, die verschiedenen Unterhaltssequenzen für den Unterhaltsbedarf zu subsummieren. Fig. VI.3 enthält den Indikator basierend auf der jährlich notwendigen Dicke der bituminösen Trägerschicht, die zur Erhaltung der strukturellen Qualität der Fahrbahn nötig ist. Spezielle Unterhaltsarbeiten sind in der Fig. nicht berücksichtigt.

Verstärkung beschädigter Fahrbahnen

In der im Anhang zu diesem Kapitel aufgeführten Figur werden die zwei typischen Fälle aufgeführt.

Gesamthaft gesehen bestehen keine grossen Unterschiede zwischen Fahrbahndimensionierung und deren Unterhalt; bezüglich des Unterhalts und der Schäden hat das maximal zulässige Achsgewicht einen viel gewichtigeren Einfluss.

VI.3 Fahrzeugcharakteristik und deren Einfluss auf die Fahrbahn

VI.3.1 Wichtigste Fahrzeugcharakteristiken welche die Fahrbahn beeinflussen

Die wichtigsten hier beeinflussten Auswirkungen betreffen strukturelle Schäden, die den Hauptteil bezüglich der Lebensdauer einer Fahrbahn ausmachen. Weitere Einflüsse werden nicht untersucht, können diese auch durch alle anderen Fahrzeugtypen entstehen.

Analysen bezüglich der Auswirkungen schwerer Fahrzeuge auf die Fahrbahn weisen auf die Tatsache hin, dass die wachsende Zahl der charakteristischen Parameter stetig an Gewicht zunimmt. Bisher ging man davon aus, dass das Achsgewicht der Parameter sei. Untersuchungen über einige Jahre haben jedoch die Wichtigkeit der folgenden Parameter aufgezeigt.

- Art der Achsen (Zahl der Räder; Reifentyp);
- Achsgruppierung;
- Auflagedruck der Reifen;
- Aufhängung

Jeder dieser Parameter für sich kann einen mehr oder weniger signifikanten Einfluss auf die Fahrbahn haben. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist es möglich signifikante Veränderungen der Auswirkungen festzustellen, dies sowohl bezüglich der Lebensdauer der Fahrbahn, als auch bezüglich der Effizienz des Strassentransports im allgemeinen.

Es ist auch wichtig, zwischen Ergebnissen aus theoretischen Untersuchungen und solchen aus aktuellen Experimenten zu unterscheiden. Wichtige theoretische Ergebnisse liegen vor; Langzeituntersuchungen dagegen sind noch nicht vorhanden. Aus diesem Grund nutzen die meisten Länder Daten aus AASHO-Tests, den teuersten Untersuchungen aus den USA der fünfziger Jahre. Einerseits ergibt die Nutzung dieser Daten Gewähr für eine Einheitlichkeit, erlaubt aber kaum eine Berücksichtigung weiterer Daten.

Die meisten der hier oder an anderer Stelle aufgeführten Punkte beziehen sich auf bewegliche und halb-feste Fahrbahnen (oder "gemischte", je nach Definition). Fahrbahnen aus festem Bau-

stoff wie Zement wurden weniger eingehend untersucht, machen sie doch in den meisten Staaten einen sehr kleinen Teil am Strassennetz aus. Zudem steht ihre Lebensdauer in einem engen Zusammenhang mit konstruktiven Eigenschaften wie Art des Grundes, Drainage und Zusammensetzung des Schwerverkehrs.

VI.3.2 Achsgewicht und -art - Ergebnisse einer AASHO-Untersuchung

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus der AASHO-Untersuchung ist der Vergleichs-Koeffizient der Achsarten, der Single-Achse einerseits, der Doppelachse andererseits (Siehe Fig. VI.5 und Fig. VI.2). Als Referenzachse wählte man den Single-Typ mit 18 kips (8.16 Tonnen; 82.8 kN). Der Vergleichsfaktor (d.h. Schadenfaktor) ist mit Bezug auf die Referenzachse mit grosser Genauigkeit definiert durch das Gesetz der 4. Potenz (Definition siehe Anhang zu diesem Kapitel).

Ausgehend von den Informationen in Fig. VI.5 und illustriert im Diagramm VI.2 kann festgestellt werden, dass der Gleichungsfaktor für Tandems mit 20 kips (2X10 kips) auf 0,15 ansteigt, verglichen mit 2X0,8 für zwei Single-Achsen von 10 kips (Siehe hierzu Fig. VI.5). Die Differenz zwischen dem Tandemachsenfaktor und der Verdoppelung des Faktors bei Single-Achsen bei mittleren Lastwagen geht aus der Tabelle hervor und ist in Kolonne 8 ersichtlich. Dem Ergebnis kann entnommen werden, dass für einen gegebenen Schadenfaktor Fahrzeuge mit Single-Achsen mit 6 kips möglich sind.

Weitere Ergebnisse

Nutzt man weitere mathematische Kalkulationsmodelle (wie "elastic multi-layer models" basierend auf der Burmister-Theorie), ist es möglich die Äquivalenz-Faktoren der Lebensdauer der Fahrbahn auf der Grundlage des Gesetzes der Materialermüdung von Fahrbahnmaterial und Deformationen oder Überbelastung der Fahrbahnschichten zu errechnen.

Diese Modelle haben verschiedene Staaten dazu bewogen, das Gesetz der 4. Potenz des AASHO-Tests hinsichtlich der Achsgewichte (Single-, Breitreifen, Doppelreifen; siehe VI.3.4), des Auflagedruckes (abhängig vom Achstyp; siehe VI.3.5) zu überdenken. Die Auswirkungen all dieser Parameter variiert je nach der Art der Fahrbahnstruktur. Es wurde festgestellt, dass das Gesetz der vierten Potenz variieren kann:

- im Fall von beweglichem Grund zwischen 3 und 4;
und
- im Fall von halbfestem oder festem Fahrbahnen zwischen 8 und 12.

VI.3.3 Single- und Doppelpneus, Breitreifen

Die Auswirkungen können Fig. VI.6 entnommen werden, in welcher die italienischen Ergebnisse für bewegliche Fahrbahnen mit der Referenz von Achsen mit Doppelpneus von 120 kN angenommen werden. Das Gesetz der 4. Potenz der AASHO findet dabei nur Anwendung bei Zwillingsrädern. Für Single-Räder (Normalbreite und Breitreifen) findet das AASHO-Gesetz keine Anwendung. Zudem zeigen die Ergebnisse der italienischen Analyse, dass die Beschädigungskraft von Einzelradachsen und Einzelachsen mit Breitreifen in der Tat erheblich grösser ist als es mittels dem AASHO-Gesetz angenommen wurde.

Bezüglich des Vergleichskoeffizienten von 0,33 erhält man mit Zwillingsrädern mit 93 kN, Einzelrädern mit 70 kN, Breitreifen mit 80 kN die gleiche Aggressivität. Man stellte auch fest, dass der Bezug von Einzelradachsen und Zwillingsrädern bei 0,75 (70 kN/92 kN) liegt. Dies wird durch die Ergebnisse anderer Staaten unterstrichen, so z.B. den australischen (0,64), den belgischen (0,77), den französischen (0,70), den deutschen (0,90) und den amerikanischen (0,62).

VI.3.4 Achsgruppierung

Wie der Tafel VI.5 und Fig. VI.2 entnommen werden kann, unterscheidet sich der Effekt der Tandemachse von der kumulativen Wirkung der zwei Achsen, die die Tandemachse ausmachen.

Dieses Problem war Anlass zu Untersuchungen. Das Phänomen kann wie folgt umschrieben werden. Wenn zwei Achsen einander nahe montiert sind, überlagern sich die Sinuskurven der

Deformation im Verhältnis zu jeder Einzelachse. Der Effekt der ersten Tandemachse wird durch die folgende Achse kompensiert, welche einen Teil der Antriebsdeformation verursacht. Die von der zweiten Achse hervorgerufenen Deformationen sind dabei geringer als diejenigen, welche durch eine Einzelachse mit gleichem Gewicht hervorgerufen werden. Die Verstärkung dieses Effektes entstammt nicht einzig dem Abstand der zwei Achsen. Er ist auch von der Struktur der Fahrbahn, der Visco-Elastizität des Materials, von der Fahrgeschwindigkeit und vom Umweltklima abhängig.

Die Auswirkungen der Tandemachsen werden in neueren mathematischen Evaluationen bestätigt. Es ist wichtig festzustellen, dass die Belastung durch Tandemachsen denselben Equivalenzfaktor haben wie Single-Achsen. Bei den mit Zwillingsrädern ausgerüsteten Achsen ergeben sich die im Anhang zu diesem Kapitel angeführten und von den nationalen Vorschriften vorgeschriebenen Werte.

Entsprechend der italienischen Untersuchung (11) ist die Ratio von 1.87 auf 1.66 für asymmetrisch geladenen Tandemachsen reduziert, wenn eine Achse 60% der Last trägt. Die Ratio ist weiter auf 1.44 reduziert, wenn die Tandemachsen mit Breitreifung ausgerüstet sind. Schliesslich beträgt die Ratio 1.5, wenn eine der beiden Achsen mit Zwillingsrädern, die zweite Achse aber mit Singlebreifung ausgerüstet ist.

Die obengenannten Daten beziehen sich auf Fahrzeuge mit einer Achsbreite zwischen 1.35 m und 1.50 m.

Weiter wurden Studien erstellt, welche die Auswirkungen von Tridemachsen untersuchen. Im Anhang werden die Ratios für doppelbereifte Tridemachsen der verschiedenen Länder aufgeführt (basierend auf den nationalen Vorschriften, falls solche vorhanden sind).

VI.3.5 Auflagedruck der Bereifung

Der Auflagedruck ist der Quotient der Belastung der Reifen und dadurch der Fahrbahnoberfläche. Dieser variiert je nach Reifendruck. Für einen gegebenen Reifentyp und eine gegebene Reifenbelastung wird ein bestimmter Reifendruck vom Reifenhersteller empfohlen. Der Fahrbahnoberflächendruck liegt dabei vielfach unter diesem Wert. In den Mitgliedländern ist man der Ansicht, dass der Auflagedruck auf die Fahrbahnoberfläche einen grösseren Einfluss hat, als auf die unteren Schichten derselben, dies im Gegensatz zum Einfluss des Achsgewichtes, das seinerseits verstärkten Einfluss auf die tieferen Schichten der Fahrbahn hat. Es gibt zudem nur wenige Vorschriften betreffend den Reifendruck. Die vorhandenen Vorschriften zielen zudem mehr in Richtung Verkehrssicherheit als in Richtung Verhinderung von Fahrbahnschäden. Dies erklärt, weshalb der Auflagedruck vorallem bei der Konstruktion der Fahrbahnoberfläche Gewicht hat.

Auf der anderen Seite zeigen australische Untersuchungen einen Bezug zwischen Reifenunterdruck und der Wirkung der Aufhängung der Fahrzeuge. Bei fünf Tandemachsaufhängungen von sieben ergaben sich bei reduziertem Unterdruck eine Abnahme des dynamischen Gewichtes. Diese Frage wird im folgenden Teil behandelt.

VI.3.6 Aufhängungssystem

Die Aufhängung hat insofern Einfluss auf Fahrbahnschäden als sie momentane und unvorhersehbare Gewichtsverschiebungen hervorruft. Forscher und Hersteller sind sich darin einig, dass die Schäden geringer sind, verglichen mit denjenigen die durch geometrische Charakteristiken und der Achslasten der Fahrzeuge hervorgerufen werden. Die Fliehkraft der statischen Last aufgrund des dynamischen Effektes sind klar lokalisierte Phänomene verbunden mit Oberflächenschäden oder Konstruktionsfehler. Vielfach wird die Gewichtsverschiebung als dynamischen Effekt des "impact factors" umschrieben, d.h. der Ratio zwischen dynamischer und statischer Ladung.

Es wird auch angenommen, dass der dynamische Effekt der Aufhängung bei hohen Geschwindigkeiten bemerkenswert ist. Speziell bei beschädigten Fahrbahnoberflächen ist der dynamische Effekt einiger Aufhängungsarten auch bei normalen Geschwindigkeiten und allen Arten von Fahrbahnoberflächen feststellbar.

Australische Untersuchungen

a) Der dynamische Gewichtskoeffizient

Die interessantesten Untersuchungen in diesem Bereich wurden in Australien erarbeitet. Tests von neun verschiedenen Aufhängungstypen (12) zeigten, dass der dynamische Gewichtskoeffizient stark abhängt von:

- a) Art der Aufhängung
- b) Geschwindigkeit
- d) Zustand der Strassenoberfläche.

Der dynamische Gewichtskoeffizient (s) ist in seiner Art der Koeffizient der Variation und wird errechnet mittels:

$$s = s/z$$

wo s und z die relative Standardabweichung und der Kraft dynamischen Abweichung des Rades ausmachen.

In der australischen Studie (12) wurden die Aufhängungssysteme in Funktion zum Wert des dynamischen Gewichtskoeffizienten und der Geschwindigkeit untersucht.

D_i Diese Kategorie - bezeichnet als Schwerlastwagen und schwere Zugmaschinen - umfassen die allradbetriebenen Tandemachsen. Sie sind bei Schwerlastwagen in Australien die am weitest verbreitete Art, ist bei diesen doch die Zugmaschine vom Lastträger teil getrennt (Sattelschlepper).

T_i Diese Gruppe - Trailer-Typ genannt - umfasst alle Trailer-Aufhängungen, einschliesslich der Typen Tandem und Tridem, mit Blattfedern, mit Luftfederung.

Die Fahrbahnoberfläche wurde mit "weich", "mittel" und "roh" klassiert. Die signifikanten Werte des dynamischen Gewichtskoeffizienten einschliesslich der Geschwindigkeit zwischen 40 und 80 km/h sind in der Tabelle VI.7 im Anhang zu diesem Kapitel aufgeführt.

b) Die dynamische Schadenwirkung

Ein Bericht von Eisenmann, Deutschland (13), wurde anlässlich des Seminars der OECD im Jahre 1977 über Schwerverkehr und ihre Auswirkungen vorgestellt. Dieser folgte dem Bericht Sweetman (12), der das folgende Modell der Berechnung des dynamischen Gewichtskoeffizienten vorstellte.

Die Schäden () aus dynamischem Gewicht liegen zwischen 150% (maximum, mit schlimmster Aufhängung, schadhafter Fahrbahn, 80 km/h) und 102% (minimum, mit bester Aufhängung, glatter Fahrbahn, 80 km/h), wenn diese mit der statischen Masse der Achse verglichen wird.

Auf der Grundlage dieser Formel kann die dynamische Belastung mit der vergleichbaren Zunahme der statischen Last verglichen werden. Dies wurde in Deutschland gemacht, als der Einflussfaktor der Strassenbelastung in der folgenden Formel umschrieben wurde. Formel und Fig. VI.7 sind im Anhang aufgeführt.

c) Diskussion über Aufhängungscharakteristiken

Fig. VI.4 (Anhang zu diesem Kapitel) zeigt neun Aufhängungstypen und deren dynamischen Gewichtskoeffizienten. Die verschiedenen Aufhängungsarten variieren in einem solchen Ausmass bezüglich des Ortes und der Art der Aufhängung, des Dämpfungsfaktors etc., dass weitere Studien in diesem Sektor von nöten sind.

Ein Bezug kann hergestellt werden. Die Referenz bezieht sich auf eine Aufhängungsart mit klar besseren Leistungen. Es handelt sich um die angetriebene Tandemachsaufhängung (Typ D3)) mit relativ weichen Torsionsstäben verbunden mit hydraulischen Stossdämpfern. Durch diesen Typ erreicht man einen halb so grossen dynamischen Gewichtskoeffizienten als mit den stark verbreiteten Typen in schweren Zugmaschinen. Bei den "walking beam"-Aufhängungen konnte der

dynamische Gewichtskoeffizient um 20% reduziert werden, wenn die Härte um 10% reduziert wird.

Weitere Studien

Basierend auf einer Studie britischer Hersteller schloss man, dass die dynamische Wirkung in einer ersten Phase progressiv mit der Geschwindigkeit zunimmt, jedoch über 60km/h zu asymptotischen Werten hin tendiert. Diese Wirkung ist, wie oben erwähnt, von der australischen Studie nicht bestätigt worden.

Die Ansichten sind bezüglich der Steifheit der Aufhängung verschieden. Die britischen Hersteller halten fest, dass die Abweichung der Steifheit wenig Einfluss auf den "impact-factor" haben, halten einige deutsche Untersuchungen dagegen, dass bei einer normalen Frequenz (1 bis 3 Hz) eine Reduktion der Steifheit der primären Aufhängung drastische Verschiebung der dynamischen Last bewirken können. Während die britischen Experten daran festhalten, dass Dämpfer keine grosse Wirkung auf die dynamische Last haben, dies zumindest zu Beginn der Vibrationen; die deutschen Experten dagegen festhalten, dass die Wirkung der dynamischen Last grösser sind, als defekte Dämpfer, so kann die Divergenz wohl mit der unterschiedlichen Effektivität der Dämpfer in den beiden Fällen erklärt werden. Weiter ist festzuhalten, dass die Stossdämpfung abhängig ist von u.a. der Bereifung, und der Aufhängung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass einfache Regeln zur Evaluation der Qualität von Aufhängungen missverständlich sein können. Achsgruppenaufhängungen (Tandem oder Tridem) sind komplex. Zudem ist das dynamische Gewicht nicht einfach von der Steifheit oder Dämpfung abhängig.

Kalkulationen und Experimente in Frankreich mit einem Fahrzeug von 190 kN (2-Achsen mit Zwillingshinterachse von 130 kN) ergaben die in Tab. VI.8 (siehe Anhang) aufgeführten Zahlen.

Bemerkungen zu verwandten Parametern

Unter Berücksichtigung eng gruppierter Achsen (siehe hierzu VI.3.4) ist es leicht verständlich, dass alles Interesse besteht, die Verteilung des Gewichtes auf die Achsen gleichmässig zu verteilen. Australien z.B. schreibt, dass Tandem- und Tridemachsengruppen (mit einem Abstand von 1 oder 1,6 m) mit einer Aufhängung ausgerüstet werden, welche die Last gleichmässig auf die beiden Achsen verteilt. Eine Liste akzeptabler Aufhängungssysteme kann z.B. der Fig. VI.4, Anhang zu diesem Kapitel, entnommen werden, wonach diese modernen Aufhängungssysteme nicht in Lastwagen älterer Bauart eingebaut werden können, so dass diese nur noch für reduzierte Last zugelassen sind. In England wird eine gleichmässige Lastverteilung vorgeschrieben für Lastwagen, deren Achsen mehr als 7 Tonnen Belastung erlauben und weniger als 1.05 m auseinanderliegen.

Im Zusammenhang mit der Last kommt auch den Bremsen eine gewichtige Bedeutung zu. Während des Bremsmanövers wird die Fracht durch die Fliehkraft nach vorne beeinflusst, weiter wird auch die vordere Aufhängung verstärkt belastet. In einigen Fällen wird die Fracht das doppelte Fliehkraftgewicht erhalten. Dies hat seinerseits wiederum Einfluss auf die Belastung jedes tragenden Rades. Neben der normalen Fliehkraft ist auch die seitliche Fliehkraft verzeichnenswert, die durch seitliches Abgleiten hervorgerufen wird. Aus Sicherheitsgründen und auch aufgrund des Schutzes der tragenden Schicht, muss verhindert werden, dass die Räder springen oder schlagen. Es wurden auch Anti-Blockiersysteme entwickelt. Während keines Momentes des Bremsmanövers darf auch der durch das Bremsmanöver entstehende Druck grösser sein als die beschleunigte Masse durch das Interface Pneumatik/Strasse. Als generelle Ausgangslage muss die Bremskraft gleichmässig auf alle Räder verteilt sein.

Weitere Sicherheitsprobleme sind das Überschlagen und/oder Folgewirkungen desselben auf die Fahrbahn.

Entsprechend französischen Studien sind Zwillingsräder gegenüber anderen Typen im Vorteil, verteilen sie doch die Last besser auf die Fahrbahn, sollten aber für Tanklastzüge untersagt

werden, um so die Gefahr des Überschlagens zu mindern. Das gleiche gilt für den Reifendiameter bezüglich der Stabilität des Fahrzeuges. Alle diese Bedingungen geben eine Vorstellung der Komplexität des Problems und der Schwierigkeit, eine Kompromisslösung zwischen den sich oft widersprechenden oder ausschliessenden Fragen zu finden.

VI.4 Wirkungen der Konfiguration der Fahrzeuge

Nachdem die verschiedenen Parameter in der vorangegangenen Sektion umschrieben worden sind, ist es jetzt möglich, die Beschädigungskraft der verschiedenen Fahrzeugtypen und Konfigurationen, die geometrischen Eigenschaften und die Gewichtsverteilung auf die Achsen als ganzes zu berechnen. Für die Berechnung nimmt man an, dass totale Aggressivität D gleich der Summe der Aggressivität d_i aller Achsen oder Achsgruppen ist. Die Werte d_i hängen sehr stark von den typischen geprüften Charakteristiken ab, die im folgenden aufgeführt sind: wie Art der Räder, Teilung der Aufhängung, etc.

VI.4.1 Berechnungsmethode

Entsprechend den Erläuterungen in IV.3.6b) können die durch Achsen hervorgerufenen Schäden nach der folgenden Formel berechnet werden. Siehe hierzu Anhang zu diesem Kapitel.

VI.4.2 Beispiele

Im folgenden werden vorgefallene Schadenfälle auf Fahrbahnen, hervorgerufen durch typische schwere Lastwagenkonfigurationen, untersucht:

- drei Fahrzeugarten: einfache Fahrzeuge, Sattelschlepper und "Road-Trains";
- Für jede Fahrzeugart wurden Schadenereignisse pro 10 Achstonnen errechnet; diese Schadenfälle wurden sodann durch die Nutzlast dividiert um so die Wirksamkeit der Konfiguration zu erhalten.

Für jede dieser Konfigurationen der betreffenden Fahrzeuge wurde sodann die Gesamtlastverteilung auf die Einzelachsen, resp. Achsgruppen wie folgt errechnet:

- Last von 6 Tonnen auf der Vorderachse;
- Lasten auf jeder anderen Achse oder Achsgruppe bis 10 Tonnen, 16 Tonnen (Tandem) oder 22 Tonnen (Tridem);
- die Summe aller Lasten ist gleich dem Wert GVW; als Funktion dieser Konfiguration kann in der Folge P_1 errechnet werden;
- die Gesamtschadenkraft D eines Fahrzeuges wird in der Folge wie in Fig. VI.4.1 errechnet. Diese Schadenkraft entspricht der Grösse der Zahl der passierenden Achsen mit einer Last bis zu 10 Tonnen, die ihrerseits dem Level der Fahrbahnschäden entspricht (bezogen auf Fahrzeuge mit herkömmlicher Aufhängung).
- Die Ratio D/P_1 entspricht der Zahl der passierenden Achsen von 10 Tonnen pro transportierte Tonne.

Die Fig. VI.5 zeigt die Werte der Ratio D/P als Funktion der Nutzlast. Die Figur erlaubt folgende Ausführungen:

1. Ausgenommen Transporte mit niedriger Nutzlast, bei denen der Schaden pro transportierter Tonne grösser ist, ist es immer möglich Fahrzeugkonfigurationen zu finden, deren Werte pro transportierter Tonne zwischen 0,9 und 0,11 liegen.
2. Wenn Lasten die 20 Tonnengrenze überschreiten, so zeigt die Fig., dass einige Fahrzeugkonfigurationen vorzuziehen sind:
 - im Bereich zwischen 20 und 30 Tonnen sind Sattelschlepper sog. Road-Trains vorzuziehen;
 - für schwere Lasten (um 35 Tonnen) haben die Road-trains die grösste Effektivität.

Es ist festzuhalten, dass eine Nutzlast von 31 Tonnen, (Vorschlag der EG 44 Tonnen Gesamtlast {Fahrzeuge mit 6 Achsen/18 Tonnen bei Tandems, 20 Tonnen bei Tridems}) einen Schadenwert pro Tonne aufweist, der sehr nahe an die in Fig. VI.5 herankommt.

Kapitel VI.5 Zukünftige Forschungsbedürfnisse und Anwendung von Grossversuchsanlagen

Die Untersuchung der Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Fahrbahn ist von grosser Bedeutung im Rahmen einer wissenschaftlichen Annäherung der Dimensionierung. Die Einwirkung des Schwerverkehrs auf die Strasseninfrastruktur kann leichter und unmittelbarer in Kosten wiedergegeben werden, als es für andere Arten von Auswirkungen möglich ist. Es ist wünschenswert, die Bemühungen auf diesem Gebiet besser zu koordinieren. Dies einerseits, weil gute Aussichten bestehen zu neuen und interessanten Ergebnissen zu gelangen, und andererseits, weil verschiedene Staaten bereits Versuchseinrichtungen naturgetreuer Grösse anwenden (oder anwenden werden), die es ermöglichen werden, zuverlässige Ergebnisse und Daten zu erhalten.

Die Diskussion über die Bedürfnisse der Forschung in diesem Kapitel beschränkt sich vorerst auf die Auswirkungen auf die Fahrbahn und befasst sich anschliessend mit dem finanziellen Aspekt.

VI.5.1 Situation heute

Kapitel VI.2 zieht eine globale Bilanz der bestehenden Situation der Strassenbauforschung und die Kapitel VI.3 und VI.4 liefern ausführlichere Informationen. Zusammenfassend zu dem in diesem Kapitel Gesagten können folgende Punkte besonders hervorgehoben werden.

Dimensionierungsmethoden. In den vergangenen Jahren haben sich mehr detaillierte Methoden entwickelt (namentlich Datenverarbeitungsprogramme) für die Berechnung von Druck und Verformung der Fahrbahnen durch Belastung notwendigen Belags. Allgemein wird zugegeben, dass rationelle (analytische) Dimensionierungsmethoden vorteilhaft sind.

Eigenschaften von Materialien. Eine wichtige Voraussetzung für die richtige Anwendung der in letzter Zeit erarbeiteten Dimensionierungsmethoden ist, die vertieften Studien zu den Materialeigenschaften weiterzuverfolgen, im besonderen ihre charakteristischen Werte, ihren Widerstand gegen die Abnutzung und ständige Verformung. Die bisherigen Anstrengungen in dieser Richtung sind bedeutend; allerdings ist die Anwendung eines indirekten Annäherungsweges in den Dimensionierungsverfahren noch weit verbreitet, indem die Stichhaltigkeit gewisser Hypothesen, Berechnungen, Zusammenhänge und Extrapolationen angenommen wird. Zudem werden zahlreiche Materialeigenschaften, die für die Dimensionierung und das Verhalten der Fahrbahnen wichtig sind, unter Laborbedingungen bestimmt, die in keinem Fall mit den wirklichen Verhältnissen der Fahrbahnen und des Strassenverkehrs zu vergleichen sind.

Art und Weise der Belastung. Die neuesten Forschungsergebnisse erlauben es, nicht nur die Belastung der einfachen Achse in Betracht zu ziehen, sondern auch ganze Achsgruppen, die Konfiguration der Fahrzeuge und die Verteilung der Lasten zwischen den Achsen, die verschiedenen Dimensionen der Bereifung und den Pneudruck. Wie in Abschnitt VI.3.6 ausgeführt, wurde auch die dynamische Belastung untersucht in Abhängigkeit der Beläge und von der Art der Aufhängung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es viele in die Einzelheiten gehende Untersuchungen über die sehr zahlreichen isoliert zusammengetragenen Konstanten gibt; diese Aspekte waren vielfach Gegenstand gesonderter Studien, so dass noch zwei Elemente fehlen.

- i) Eine erschöpfende Untersuchung (was einer wirklichen enzyklopädischen Arbeit nahe käme), die alle Konstanten in sich vereint;
- ii) Eine Ermittlung der Ursachen für die in gewissen Fällen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Studien festgestellten Abweichungen (die von unterschiedlichen Charakterisierungen der Materialeigenschaften und der Messungsmethoden und -arten herrühren können).

VI.5.2 Mittelfristige realistische Forschungsziele

Es wäre leicht, eine Liste von Themen zu erstellen, die einer zusätzlichen Forschungsanstrengung bedürfen, aber neue Ergebnisse verbessern nicht unbedingt die gegenwärtige Situation ohne eine gewisse Koordination zwischen den Forschungszentren. Es muss jedoch erst bewiesen werden, dass eine solche Koordination sich auf eine solide Basis abstützen kann. Wie festgestellt werden kann, haben wenige Mitgliedsländer der OECD diesen Punkt in ihrem nationalen Beitrag klar umschrieben.

Andererseits ist ein bedeutendes Potential koordinierter Tätigkeiten vorhanden, besonders was die Versuche in naturgetreuer Grösse anbelangt, die in verschiedenen Ländern durchgeführt werden (siehe hierzu VI.5.3). Einige dieser Versuche sind erst am Anlaufen, was die Möglichkeit einer Koordination verbessert. Berücksichtigt man die zur Anwendung gelangenden Einrichtungen, dann sind diese Versuche ziemlich kostspielig, so dass die finanziellen Vorteile, die sich aus einem gemeinsamen Informationsaustausch ergeben, ein günstiges Element für solche koordinierte Forschungen darstellen.

Ein erster praktischer und realistischer Schritt zu einer besseren Anwendung von Forschungsergebnissen (was an sich schon ein spürbarer Fortschritt wäre) bestünde in der Verbesserung des Informationsaustausches über die im Augenblick laufenden Versuche in naturgetreuer Grösse, dann im Auffinden einer gemeinsamen Methode für die Durchführung und die Analyse dieser Versuche und schliesslich in der Bestimmung eines möglichen Programmes koordinierter Forschungen. (Als Folge der Diskussion der Arbeitsgruppe ergriff die Schweizer Delegation die Initiative für die Organisation eines internationalen Kolloquiums im Mai 1982 in Zürich.)

Unter diesen Voraussetzungen wäre es sogar möglich, zumindest teilweise das aufgrund der Versuche der AASHO erarbeitete Gesetz der vierten Potenz zu überprüfen, wo es sich auf die Wirkungen der Achsen (einfache und gekoppelte) auf die Fahrbahn bezieht; wie bereits in früheren Abschnitten erwähnt, hat man bei Laborversuchen (nicht im Versuch im Gelände) verschiedene Exponentialwerte gefunden. Wie jedoch das Symposium der OECD im Jahre 1977 über Schwerverkehr gezeigt hat, bleibt das Gesetz der vierten Potenz ein annehmbarer Kompromiss. Es wird selbst in einer neusten Dimensionierungsmethode verwendet (im Handbuch zur Fahrbahndimensionierung von Shell). Um dieses Gesetz richtig überprüfen und seine Grenzen abstecken zu können, müsste man praktisch die Versuche der AASHO nochmals wiederholen. Dies ist bestimmt ein Grund, weshalb man bezüglich dieser Überprüfung noch nichts unternommen hat. Wie weiter oben ausgeführt wäre diese Überprüfung mittels einer guten Koordination der Versuche naturgetreuer Grösse möglich.

VI.5.3 Vorrichtung für die Durchführung von Versuchen in naturgetreuer Grösse

Die in der Beilage erwähnten Vorrichtungen zur Durchführung von Versuchen naturgetreuer Grösse erlauben alle eine komplette Fahrbahn zu prüfen, die mit einem Unterstützungsboden versehen ist und die Lasten tragen kann, die mit denen der Fahrzeuge auf den Strassen vergleichbar sind. Es können drei Hauptkategorien solcher Vorrichtungen unterschieden werden:

- Plattendruckversuch (mit Hilfe von Schraubenwinden) in Laborgruben;
- kreisförmige oder lineare "Strassenbaumaschinen" mit belasteten Rädern;
- spezielle Strassenversuche mit gewöhnlichen Fahrzeugen.

Die Vorrichtungen des erstgenannten Typs sind im allgemeinen rechtwinklige Betongraben von etwa 100 bis 150 m² und einer Tiefe von 2 bis 3 m. In gewissen Fällen sind sie mit Anlagen versehen, die es erlauben, die Struktur gefrieren zu lassen oder die Oberfläche zu erhitzen. Die Last wird mittels einer oder mehrerer Schraubenwinden angebracht, welche im allgemeinen an einem beweglichen Stahlrahmen befestigt sind. Man erreicht eine bessere Simulation des Verkehrs entweder durch Verschieben der Schraubenwinden zwischen den Belastungen oder durch aufeinanderfolgende Anwendung der Belastungen mit einer Serie verschiedener Schraubenwinden.

Die "Strassenbaumaschinen" scheinen die üblichste Vorrichtung für Versuche naturgetreuer Grösse zu sein. Verschiedene Typen sind bekannt. Der hauptsächlichste Typ ist die Rundlauf-

prüfanlage, die mit einem oder mehreren Armen versehen ist und sich um einen zentralen (Dreh-)Punkt dreht. Es sind verschiedene Arten von Belastungen aufzuführen: Achsen oder Halbachsen oder gar spezielle Radgruppierungen. Die linearen Maschinen setzen das Vor- und Rückwärtsbewegen des Rades voraus. Da sie kompakter sind als die Rundanlagen, ist es leichter, sie im Inneren eines Gebäudes zu installieren.

Die speziellen Strassenversuche, deren Prinzip ähnlich demjenigen der durch die AASHO durchgeführten Versuche ist, erlauben ein oder mehrere Strassenfahrzeuge oder -züge in Umlauf zu setzen. Grundsätzlich werden Fahrzeuge verwendet, die von einem Chauffeur gelenkt werden. Es ist aber auch möglich automatisch gelenkte Fahrzeuge zu verwenden. Eine spezielle Einrichtung, die auf irgend einer Strasse verwendet werden kann, ist der Schwerverkehrssimulator, ein Apparat bestehend aus einem belasteten Rad, das auf einem grossen Lastwagen installiert ist. - Im Anhang sind die Versuchsvorrichtungen der Mitgliedsländer der OECD zusammengefasst.

VI.5.4 Möglichkeiten und Kosten einer Zusammenarbeit

Eine der Hauptfragen, die sich bei Versuchen naturgetreuer Grösse stellen, ist selbstverständlich diejenige bezüglich der Kosten für Material und Durchführung der eigentlichen Versuche (Bau der Anlagen, Instrumentierung, periodische oder fortlaufende Messungen, Analyse der Ergebnisse, Unterhalt der Anlagen).

Es ist recht schwierig alle Kosten auf einer Vergleichsbasis zu liefern, da die Einrichtungen verschieden sind bezüglich Grösse, Erstellungsdatum und weil die Kosten für die Arbeitskräfte und die Konstruktion ebenfalls verschieden sind. Die Betriebskosten hängen von der Dauer und vom Ausmass der Versuche ab. Deshalb sind nur einige Beispiele der neuesten Kosten aufgeführt (in US\$, Kurs 1981).

- Rundlaufprüfanlage des Eidg. Instituts für Technologie, Zürich, 1978. Konstruktionskosten total: \$ 500'000 für die Durchführung eines Versuchs mit 2×10^6 Normachsen: \$ 120'000.
- Rundlaufprüfanlage des Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes, 1979. Konstruktionskosten total: \$ 1'500'000. Jährliche geschätzte Betriebskosten: \$ 250'000.
- Australische lineare Strecke (projektiert): \$ 600'000.
- Strassenversuch mit automatisch gelenkten Fahrzeugen in Japan, 1973. Totalkosten für komplette Installation (Fahrzeuge, Garagen, Kontrollturm, Ausrüstung, Versuchsstrecke): \$ 3'500'000. Kosten für ein Versuchsfahrzeug: \$ 350'000.
- Strassenversuch mit gelenkten Fahrzeugen, Italien, Nardo, 1979. Konstruktion der Fahrstrecken: \$ 600'000. Jährliche Betriebskosten pro Versuchsfahrzeug: \$ 100'000.

Die allgemeinen in der Schweiz in den Jahren um 1970 durchgeführten Studien im Zusammenhang mit der Planung der Rundlaufprüfanlage zeigen, dass die Gesamtkosten für deren Bau 0,1% der Gesamtausgaben beträgt, die für die Infrastrukturen im Strassenbau in der Schweiz jährlich aufgewendet werden (Erdarbeiten, Stützvorbereitungen, Fahrbahngefüge, Unterhalt der Fahrbahnen). Die jährlichen Betriebskosten (bei Annahme eines Versuches pro Jahr) betragen etwa 2,5 % der Ausgaben für die Erneuerung der Deckschichten und die Wiederherstellung der bituminösen und der Betonfahrbahnen. Selbstverständlich sind diese Zahlen relativ und bezogen auf ein kleines Land wie die Schweiz; sie sind günstiger im Falle grösserer Länder, die über ein ausgedehntes Strassennetz verfügen.

Die mit der Planung einer Rundstrecke grossen Ausmasses in Österreich beauftragte Studiengruppe - aus verschiedenen Gründen ist diese Rundstrecke noch nicht konstruiert - hat Alternativlösungen geprüft, so auch die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit ausländischen Forschungszentren. Viele dieser Zentren haben die Möglichkeit einer Zusammenarbeit und der Durchführung besonderer Versuche aufgrund eines Abkommens sehr begrüsst.

Weshalb sollte dieser gute Wille sich nicht einige Jahre später erneuern können, denn es genügt nur einen ersten Schritt zu tun in Richtung Beginn einer fruchtbaren Zusammenarbeit.

Anhang

Versuchsvorrichtungen naturgetreuer Grösse in den Mitgliedstaaten der OECD

Bundesrepublik Deutschland

Bundesanstalt für Strassenwesen, Köln: Gedeckter Versuchsgaben in der Grösse von 100 bis 200 m² mit der Möglichkeit, einen Teil der Oberfläche zu beheizen. Belastungen, die mit Hilfe von Hydraulikzylindern stossweise erzeugt werden. Im Gebrauch seit 1960 für die Überprüfung der deutschen Dimensionierungsnormen.

Universität Karlsruhe: Kreisförmige Versuchsstrecke; Durchmesser 20 m, vier Arme, Belastung pro Rad bis zu 30 kN, maximale Geschwindigkeit 35 km/h. Betongraben mit einer Tiefe von 0,70 m. Teilweise Heiz- und Kühlmöglichkeit. Piste 1966 modernisiert.

Belgien

Centre de recherche routière, Sterrebeek. Gedeckter Versuchsgaben, 100 m². Belastung wird mit Hilfe von Hydraulikzylindern erzeugt. Die Vorrichtung wurde vor 20 Jahren für Forschungen zur Fahrbahndimensionierung gebraucht und ist heute nicht mehr in Betrieb.

Kanada

Saskatchewan Highways and Transportation, Regina. Gedeckte Versuchspiste; Durchmesser 16 m, 1 Arm, Belastung pro Rad 41 kN (erreicht 55 kN), maximale Geschwindigkeit 36 km/h. Neue Versuchsvorrichtung mit Temperaturkontrolle, erbaut 1979. Das gegenwärtige Forschungsgebiet ist jenes der Fahrbahnlänge mit dünner Oberfläche. Die Konstruktionskosten bewegen sich in der Höhe von 425'000 can\$.

Dänemark

Technische Universität Dänemark, Lyngby. Lineare, gedeckte Versuchspiste, Länge 30 m, Doppelrad mit einer Belastung von bis 65 kN, maximale Geschwindigkeit 30 km/h. Temperaturkontrolle zwischen -10°C und +40°C. Konstruktionskosten (1975): 1,3 Mio Kronen. Die Forschungsarbeit bezieht sich auf den Einfluss der Stärke und der Qualität der Materialien für Tragschichten der Fahrbahn. Allgemeine Studie der Dimensionsprobleme von Fahrbahnen.

Vereinigte Staaten

Universität des Staates Washington, Pullman. Kreisförmige Piste, mit einem Durchmesser von 25 m, 3 Armen, einer Belastung pro Rad von 50 kN und einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Keine Kontrolle der Umgebungsvariablen. Vier Versuche bezüglich Materialien für Tragschichten und Beläge wurden zwischen 1967 und 1971 durchgeführt um die Dimensionierungsnormen des Staates zu errechnen. Zwei weitere Versuche erlauben das Verhalten der Belagsschichten bei der Einwirkung von Kettenpneus zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Räder leichter Fahrzeuge verwendet.

Pennsylvania State University, State College. Fahrbahnversuche in naturgetreuer Grösse mit geläufigen Fahrzeugen (Traktoren, Sattelschleppern, Anhängern) auf einem ovalen Ring von 1,5 km. Die Ergebnisse zweier Versuche sind publiziert worden bezogen auf die Jahre 1972 - 1974 (24 Mio Achsen entsprechend 18 kp) und auf die Jahre 1975 - 1978 (1,3 Mio Achsen entsprechend

18 kp). Die Versuchspiste wird für Forschungen des Ministeriums für Transport des Staates Pennsylvania genutzt. Die Konstruktionskosten (einschliesslich die Erprobung) betrugen \$ 800'000. Die Betriebskosten berechnen sich entsprechend Gehalt des Fahrers.

US-Army Waterways Experiment Station, Vicksburg. Lineare Piste (180 m) bestehend aus Flugpi-sten-fahrbahnen naturgetreuer Grösse. Verschiedenen Radtypen ausgesetzt, erreicht die Belastung der Piste 1'000 kN. Besondere Belastungskonfigurationen wurden mittels Traktoren gezogen.

Frankreich

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes. Kreisförmige Fläche, Durchmesser 35 m, 4 Arme, Belastung bis zu 150 kN, maximale Geschwindigkeit 100 km/h. Möglichkeit, die Art der Belastung zu variieren: einfaches Rad, Doppelrad, gekoppelte Räder. Beginn der Versuche: Januar 1982. Das erste Forschungsprogramm widmet sich dem Verhalten verschiedener Trag- und Deckschichten. Die Belastungsmaschine kann auf eine zweite Piste versetzt werden, die während den Versuchen aufgebaut werden kann. Gestamtkonstruktionskosten: 8.5 Mio FF.

Italien

Versuchspiste von Nardo. Eine Versuchsvorrichtung besonderer Art wurde auf der Versuchspiste von Nardo (Durchmesser 4 km) aufgestellt, wodurch auf einem gradlinigen Teil der Bau einer 750 m langen Fahrbahn naturgetreuer Grösse ermöglicht wird. Die Versuche nahmen ihren Anfang Ende Sommer 1979 mit dem Ziel, experimentell die Aggressivität von Fahrbahnen zu prüfen, deren Fahrzeuge verschiedene Achsanordnungen aufweisen, ohne jedoch das Reißen der Fahrbahn abzuwarten, was bei verschiedenen anderen Vorrichtungen die herkömmliche Versuchsmethode ist. Die Versuche werden unter der Aegide der italienischen Strassenvereinigung vorgenommen.

Japan

Public Works Research Institute, Tsukuba Science City. Versuchspiste mit ovalen und kreisförmigen Ringen (Länge maximal 870 m). Diese Piste besteht aus einer grossen Anzahl von Versuchsabschnitten von je einer Länge von etwa 15 m. Die Fahrzeuge werden automatisch gelenkt (4 davon sind zum Zeitpunkt des vorliegenden Berichts in Betrieb). In den vorhergehenden Programmen, die 300'000 Durchfahrten umfassen, untersuchte man wirtschaftliche Fahrbahnen für freie Strecken. Die laufende Forschung betrifft die verfestigten Tragschichten sowie die herkömmlichen und speziellen Deckschichten für Metallbrücken.

Vereinigtes Königreich

Transport and Road Research Laboratory, Harmondsworth. Kreisförmige Fläche von 30 m Durchmesser, ausgerüstet mit einem Arm, einer Radbelastung von bis zu 67 kN und einer Geschwindigkeit von 32 km/h. Versuchsgraben aus Beton, von einer Länge mit 3 m und einer Tiefe von 1,60 m. Mit dieser Vorrichtung, die 1936 gebaut und 1962 umgebaut wurde, wurden viele Versuche durchgeführt, um neue Materialien und Konstruktionsmethoden zu vergleichen. Die Versuchsgeschwindigkeit wird spürbar verringert, wenn ein Teil der Oberfläche erhitzt wird.

Schweden

Kreisförmig und gedeckte Versuchspiste. Durchmesser 5 m, 6 Arme, Radbelastung bis zu 17 kN, Maximalgeschwindigkeit 35 km/h. Temperaturüberwachung von -20°C bis +30°C.

Schweiz

Eidgenössisch Technische Hochschule, Zürich. Kreisförmige Fläche, Durchmesser 32 m, 3 Arme, Doppelräder belastbar zwischen 50 und 80 kN, maximale Geschwindigkeit 80 km/h. Betongraben von 2 m Tiefe, 4,5 m Breite im höchsten Punkt und 2,5 m an der Basis. Gesamtkosten in der Ordnung von rund 1 Mio SFr (1978). Die laufenden Versuche beziehen sich auf den Widerstand bezüglich Ermüdung der mit Zement behandelten Tragschichten verschiedener Dicke, auf einer Unterlage schlechter Qualität. Die Betriebskosten erreichen etwa 250'000 SFr. pro Versuch umfassend 1 bis 2 Mio Achsdurchfahrten, entsprechend 18 kp.

Eidgenössisch Technische Hochschule, Lausanne. Gedeckter Versuchsgaben, 100 m², Tiefe 2 m, mit Überwachung der Umgebung (Heizung und Abkühlung). Belastung stossweise erzeugt mit Hilfe von Hydraulikzylindern für die Versuche bezüglich Tragfähigkeit und Frost. Lineare Maschine (10 t pro Achse) für Spezialversuche auf Deckschichten. Untersuchungen hinsichtlich Verlust des Tragvermögens im Augenblick des Auftauens und der Bildung von Spurrinnen in den bituminösen Tragschichten.

Geplant:

Lineare Pisten in mehr oder weniger vorgerücktem Stadium (hinsichtlich Konzept und Finanzierung):

Australien. Gedeckte Einrichtung mit parallelen Gräben (geschätzte Kosten: 0,5 Mio australische \$).

Vereinigte Staaten. Zwei parallele Pisten von je einer Länge von 35 m, die Achskonfigurationen tragen, die sich auf einer senkrechten Ebene fortbewegen (ohne Rückweg).

Vereinigtes Königreich. Neue Einrichtung für Belastungen bis zu 100 kN und Temperaturen, die zwischen 20°C und 50°C variieren. Projekt und Finanzierung revidiert auf der Grundlage von 1981.

Spanien untersucht zur Zeit eine kreisförmige oder ovale Piste, die Achskonfigurationen trägt.

Figur VI.1

Normen für Fahrbahnoberflächenstrukturen
in einigen OECD-Ländern (CBR = 10%)

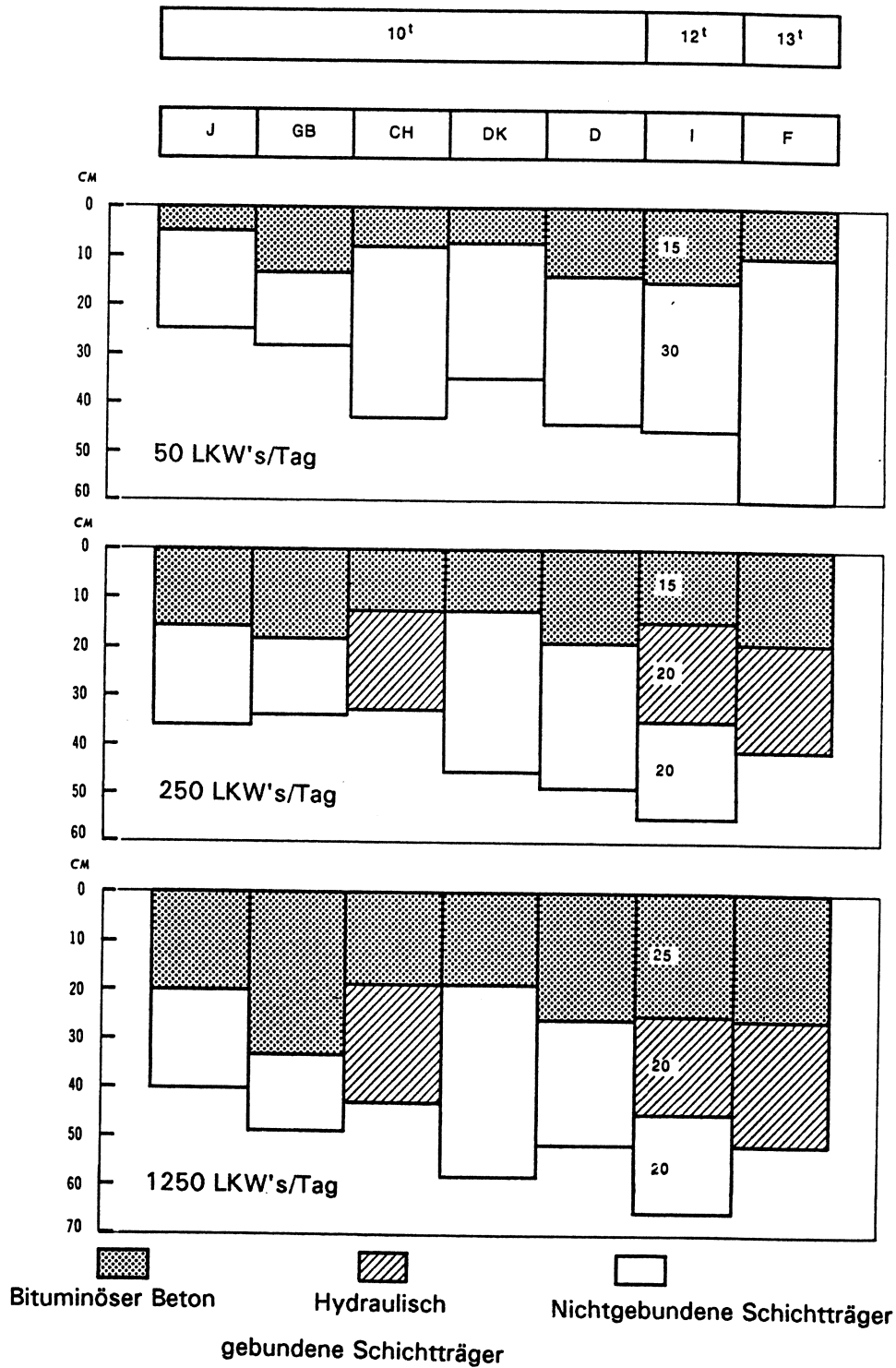


Tabelle VI.1

Frequenz der Trägerschichternewerung in Jahren
1250 LKW's/Tag und Spur

SCHWEIZ	DEUTSCHLAND	DÄNEMARK	FRANKREICH	UK
10	8 - 10	9 - 11	8 - 9	10

Tabelle VI.2

Dauerhaftigkeit der Fahrbahnoberfläche

	Schweiz	Dänemark	UK
250 LKW's/Tag/Spur	4 Jahre	6 - 7 Jahre	6 Jahre
50 LKW's/Tag/Spur	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre

Tabelle VI.3

Unterhaltsarbeiten (cm/Jahr)

Verkehr LKW's/Tag/Spur	50	250	1250
Schweiz	0,2	0,6	0,9
Dänemark	0,3	0,4	0,7
Frankreich	0,3	0,6	0,7

Tabelle VI.4

Fahrbahnverstärkung in cm

	für 10 Tonnen			für 13 Tonnen	
	Schweiz	Japan	UK	Belgien (13 t)	Frankreich (13 t)
50 LKW's/Tag/Spur 200mm/100	6 BC	6 BC	5 BC	12 BC	15 BG + SD
1250 LKW's/Tag/Spur	10 BC	10 BC	10 BC	18 BC	12 BG + SD

Figur VI.2

Equivalentsfaktoren EF_x als Funktion des Achsgewichtes W_x
in Kips für sowohl Einachser als auch Doppelachser (AASHO)

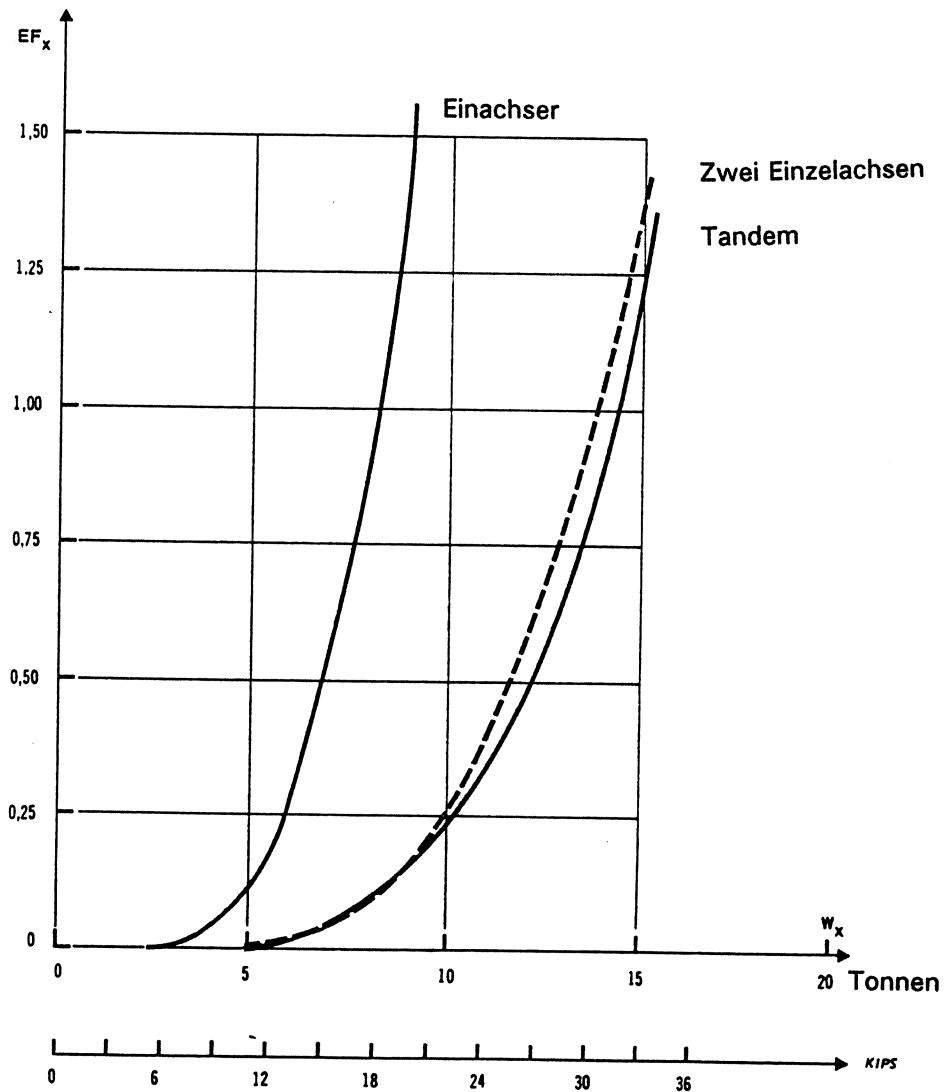


Tabelle VI.5

Äquivalenzfaktor 18 Kip für verschiedene Gewichte von Einachsern und Tandems
bei weichem Fahrbahnunterbau
(Basis AASHO Strassentest-Equationen)

Einachser			Tandemachser			Tandemachser "effect"		
Gewicht			Gewicht					
KIPS	Tonnen	(EF)	KIPS	Tonnen	(EF)	Reduktion in EF	Achsgew. im Verhält- nis zu 7	Verhältnis von 8 zu 4 in %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0,9	0,0002	4	1.81	0.0004			
3	1.36	0.0008	6	2.72	0.0014			
4	1.81	0.002	8	3.63	0.004			
5	2.27	0.005	10	4.53	0.01			
6	2.72	0.01	12	5.44	0.02			
7	3.17	0.02	14	6.35	0.04			
8	3.63	0.03	16	7.26	0.06			
10	4.53	0.08	18	8.16	0.10			
12	5.44	0.18	20	9.07	0.15	0.01 *)	6	30
14	6.35	0.34	22	9.98	0.23			
16	7.26	0.60	24	10.86	0.33	0.03	8	33
18	8.16	1.00	26	11.79	0.46			
20	9.07	1.57	28	12.70	0.64	0.04	9	32
22	9.98	2.37	30	13.60	0.85			
24	10.86	3.45	32	14.51	1.12	0.08	10	31
26	11.79	4.88	34	15.42	1.45			
28	12.70	6.73	36	16.33	1.85	0.15	11	30
30	13.60	9.09	38	17.24	2.33			
32	14.51	12.05	40	18.14	2.90	0.24	13	32.5
34	15.42	15.72	42	19.05	3.57			
36	16.33	20.23	44	19.96	4.35	0.39	14	31.8
38	17.24	25.70	46	20.86	5.26			
40	18.14	32.29	48	21.77	6.31	0.59	16	33

*) Der Tandem-Effekt beginnt bei 10 Kips (4,53 Tonnen)

10 + 10 Kips Einachser: E.F. = 0,08 + 0,08 = 0,16

10 + 10 Kips Tandem: E.F. = 0,15 < 0,16

Abb. 1 zu 3.4

Land	Aus	B	CH	D	DK	F	GR	I	NL	USA	AASHO
Ratio	1.9	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.8	1.7	1.6

Die Angaben basieren auf mathematischen Evaluationen über weichen Unterbelag. Sie sind erhältlich aus Frankreich (1,7) und Italien (1,77). Für halbfesten Belag sind die Ratios tiefer. In Frankreich wurde ein Wert von 1,5 festgestellt.

Abb. 2 zu 3.4

Land	Aus	D	DK	F	GR	I	USA
Ratio	2.1	2.2	2.4	2.5	2.3	2.6	2.1

Diese Ratios sollen reduziert werden bei breitbereiften Tridems (2.1 für Frankreich, 2,3 für Italien).

Bei festen und halbfesten Belägen sind diese Ratios erneut tiefer, so in Frankreich von 1.90 auf 1.70, dies mit Bezug auf den Radtyp.

Tabelle VI.6

Vergleich kalkulierter und AASHO Äquivalenzfaktoren
für verschiedene Einachsgewichte und verschiedene Radtypen
(Entsprechend italienischen Untersuchungen)

Achsgewicht W_x (kN)	Einachser mit Doppelrädern $EF_x(1)$		Einachser mit Einzelrädern			
			Normalpneus EF_x		Breitreifen EF_x	
	Kalkulation	AASHO	Kalkulation	AASHO	Kalkulation	AASHO
50	-	-	0,07	0,03	-	-
60	-	-	0,16	0,06	-	-
70	-	-	0,33	0,11	0,19	0,11
80	0,20	0,19	-	-	0,33	0,19
90	0,29	0,31	-	-	0,55	0,31
100	0,49	0,48	-	-	0,86	0,48
110	0,71	0,70	-	-	1,30	0,70
120	1,00	1,00	-	-	-	-
130	1,47	1,37	-	-	-	-

1) $EF_x = \left\{ \frac{W_x}{W_{120}} \right\}^4$ Referenzachse: Einachser mit Doppelrad von 120 kN

Für einen EF von 0,33 können dieselben Zerstörungskräfte angenommen werden wie bei Achsen mit Zwillingsrädern (92 kN), einer Einzelachse (70 kN), Achse mit Breitreifen (80 kN). Festzustellen ist weiter, dass die Beziehung zwischen einer Achse mit Single-Bereifung und einer Achse mit Doppelbereifung bei 0,75 liegt (70 kN/92 kN). Diese Zahlen sind durch Daten aus verschiedenen Staaten bestätigt worden, so durch Australien (0,64), Belgien (0,77), Frankreich (0,70), Deutschland (0,90), USA (0,62).

Tabelle VI.7

Koeffizient des dynamischen Gewichtes (12)
 V = Geschwindigkeit in km/h

Aufhängung	Strassenoberfläche	s			III		
		$V = 40$	$V = 60$	$V = 80$	$V = 40$	$V = 60$	$V = 80$
Schwere LKW oder Zugfahrzeuge	weich	.04	.06	.10	1.002	1.006	1.014
	mittel	.06	.12	.18	1.006	1.020	1.048
		(.07) (*)	(.13)	(.19)			
	roh	.09	.18	.29	1.012	1.045	1.113
		(.11)	(.20)	(.31)			
Lastzüge	weich	.02	.04	.06	1.001	1.003	1.006
	mittel	.05	.08	.12	1.003	1.011	1.026
	roh	.07	.13	.19	1.007	1.023	1.050

*) Die Werte in Klammern wurden erreicht durch 30% tieferen Reifendruck.

Die Tests umfassten auch die Wirkungen des Reifendrucks. Tabelle VI.7 schliesst auch repräsentative Werte des dynamischen Gewichtes (s) mit 30% tieferem Reifendruck ein. Eine Reduktion des Reifendrucks hat zur Folge, dass der Koeffizient des dynamischen Gewichtes für die Aufhängung von schweren LKW's und Zugfahrzeugen steigt.

$$v = P_{stat}^4 \left[\frac{1}{1} + 6\left(\frac{1}{3}\right) + 3\left(\frac{1}{3}\right)^2 \right]$$

where v is the road stress factor and P_{stat} the static axle load.

$$v = (\eta_I \cdot \eta_{II} \cdot \eta_{III} \cdot P_{stat})^4$$

where:

η_I = equivalence factor for type of wheel,
 η_{II} = equivalence factor for tyre contact pressures, and

and: η_{III} = equivalence factor for the dynamic characteristics of the vehicles
= 1.083 (average dynamic behaviour)
= 1.032 (very good dynamic behaviour).

Figur VI.3

Beispiel der Verteilung des
Auflagedruckes auf die Fahrbahn (11)

Testbedingungen:
 $Q = 3000 \text{ kg}$
 $p = 8,0 \text{ kg/cm}^2$
Zirkel $7,5 \times 22,5$



Figur VI.4

Wirkung des Koeffizienten des dynamischen Gewichtes s
im Zusammenhang mit der Fahrbahn bei verschiedenen Aufhängungstypen (12)

Koeffizient des dynamischen Gewichtes (s)

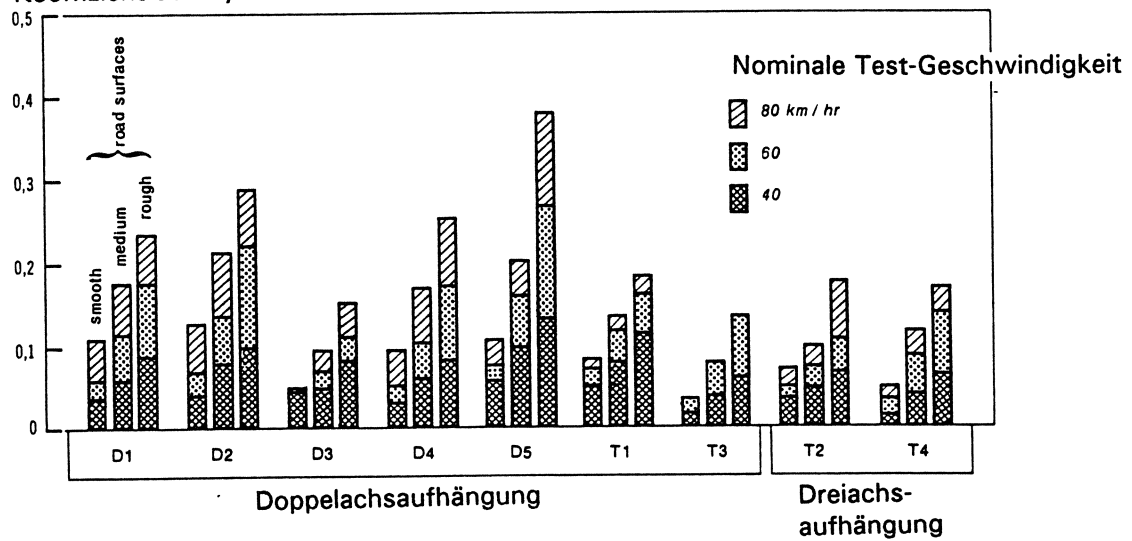


Tabelle VI.8

Statische und dynamische Agressivität
(Frankreich)

Art der Fahrbahnoberfläche	Statische Agressivität	Dynamische Agressivität
Bitumen	1,44	2.4 - 5,6 (1)
Hydraulisch gebundene Oberfläche	1,00	2.2 - 2,5 (1)

1) Abhängig vom Zustand der Fahrbahnoberfläche

Formeln zur Berechnungsmethode
VI.4.1

Entsprechend den Erläuterungen in VI.3.6b) können die durch Achsen hervorgerufenen Schäden entsprechend folgender Formel berechnet werden:

$$d = \left\{ k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{P}{P_0} \right\}^\alpha$$

da P_0 = Referenzgewicht, d.h. maximal zulässiges Gewicht für Einachser mit Doppelrädern.

P = Gewicht oder Total-Gewicht bezüglich der Achsgruppierung

Was die Koeffizienten α , k_1 , k_2 , k_3 in Tabelle VI. 9 und das Ziel betrifft, die verschiedenen Fahrzeugkonfigurationen zu vergleichen, wurden folgende Hypothesen gemacht, die für die meisten Fälle in den Mitgliedstaaten zutreffen:

- Weiche Fahrbahn
- Breite der Tandem- und/oder Tridemachsen

Die in Tabelle VI.9 aufgeführten Werte sind Mittelwerte entsprechend den in Tabelle VI.3.4 aufgeführten Werte. Man kann feststellen, dass die Abweichungen zwischen den verschiedenen Staaten gering sind.

Tabelle VI.9

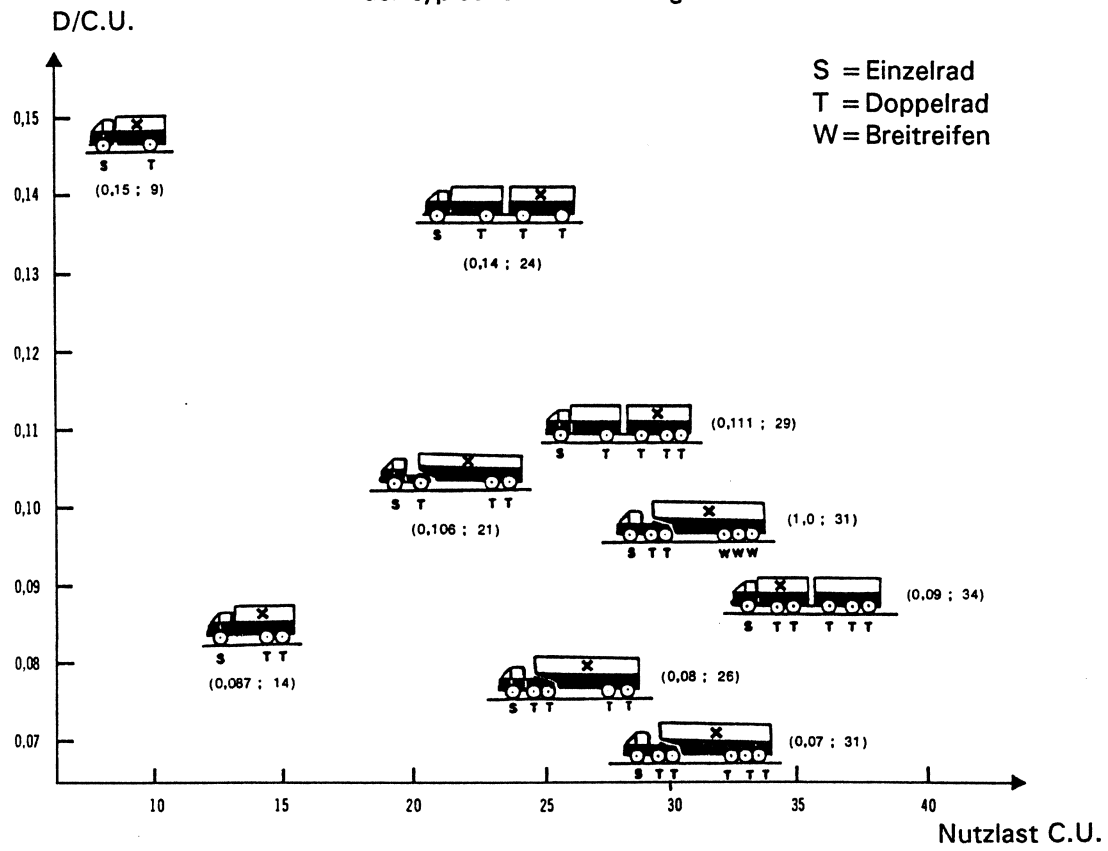
Für die Berechnungen benützte Koeffizienten

α	Exponent des Gesetzes über die Abnutzung	← 4
k_1	Art der Gruppierung - Einzel - Tandem - Tridem	1 0,6 0.45
k_2	Art der Achse - Doppelrad - Breitreifen - Einzelrad	1 1.2 1.3
k_3	Aufhängung - Traditioneller Typ - "improved"	1 0.95

Es ist offensichtlich, dass sich die Werte verändern, wenn andere Fahrbahnstrukturen Anwendung finden, wobei die grundlegende Berechnungsmethode erhalten bleibt.

Figur VI.5

Agressivität D pro Nutzlast C.U.
der typischen LKW-Konfigurationen



Selected Bibliography

1. OECD, Road Research. Accelerated methods of life testing pavements. OECD, Paris, 1972.
2. HIGHWAY RESEARCH BOARD. The AASHO road test; pavement research. HRB Special Report 61E, Washington, 1962.
3. OECD, Road Research. Resistance of flexible pavements to plastic deformation. OECD, Paris, 1975.
4. OECD, Road Research. Frost action on roads. OECD, Paris, 1974.
5. OECD, Road Research. Catalogue of road surface deficiencies. OECD, Paris, 1978.
6. OECD, Road Research. Maintenance of rural roads. OECD, Paris, 1973.
7. OECD, Road Research. Maintenance techniques of road surfacings. OECD, Paris, 1978.
8. OECD, Road Research. Seminar on recycling of pavement materials. Reports - 3 volumes. Autostrade S.P.A. Rome, 1981.
9. SETRA, LCPC. Entretien préventif du réseau routier national. Guide Technique. SETRA, LCPC., Paris, 1978.
10. OECD, Road Research. Road strengthening. OECD, Paris, 1976.
11. ITALIAN ROAD FEDERATION. Measurement of the aggressiveness of goods traffic on road surfaces. Autostrade n.4. Rome, 1978.
12. SWEATMAN, PF. Effect of heavy vehicle suspensions on dynamic road loading. 10th ARRB Conference, 10(5), 1980.
13. EISENMANN, J. Dynamic wheel load fluctuations - road stress. Strasse und Autobahn 4, pp. 127-8. Bonn-Bad Godesberg, 1975.
14. STRIFLER, P. The influence of vehicle technical parameters on road loading. OECD Symposium on Heavy Freight Vehicles and Their Effects. Session II. OECD, Paris, 1977.
15. ANON. Effective Management of Heavy Road Transport, London, 1980.
16. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Proceedings of conference on security. TRB Record 621. Transportation Research Board, Washington, 1977.
17. CURRER, EWH and O'CONNOR, MGD. Commercial traffic: its estimated damaging effect 1945-2005. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1979.
18. KENIS, WJ. Impact of truck weights on pavement life. Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, March 1980.
19. FANCHER, PS. Pitching and bouncing dynamics during antilock braking of heavy trucks. The University of Michigan, United States.
20. WINKLER, C. Stability of double-bottom tankers. The University of Michigan, United States.
21. CAMOMILLA, G. La pista sperimentale di Settebagni. Proceedings PIARC Italian Conference. Venice, 1974.

Additional references:

Denmark

22. NATIONAL DANISH ROAD LABORATORY. Dimensioneringsdiagrammer for flexible vejbestelser /Diagrams for dimensioning flexible road structures/. Lab. Report No. 26. National Danish Road Laboratory, Roskilde, 1976.
23. NATIONAL DANISH ROAD LABORATORY. Fastloeggelse af befoestelser nr. 1 - hidtidige og nuvoerende metoder ved Statens Veilaboratorium /Determination of road structures No. 1 - Past and present methods at the National Danish Road Laboratory/. Lab. Report No. 27. National Danish Road Laboratory, Roskilde, 1976.
24. NATIONAL DANISH ROAD LABORATORY. Technical-economical guidelines to road maintenance - minor roads with asphalt pavement. Lab. Report No. 50A. National Danish Road Laboratory, Roskilde, 1981.

France

25. SETRA, LCPC, Catalogue 1977 des structures types des chaussées neuves. LCPC, Paris, SETRA, Bagneux, 1977.
26. SETRA, LCPC, Dimensionnement des renforcement des chaussées souples. LCPC, Paris, SETRA, Bagneux, 1978.
27. SETRA, LCPC, Dimensionnement des chaussées neuves à faible trafic. LCPC, Paris, SETRA, Bagneux, 1981.

Germany

28. VON BECKER, P. Bedeutung der Fahrzeuggewichte für die Strasse. Strasse und Autobahn 3, 1979.
29. STEVER, FW. Auswirkungen der Radlasten auf die Lebensdauer flexibler Fahrbahnbefestigungen. Strasse und Autobahn 3, 1979.
30. EISENMANN, J. Bewertung der Strassenbeanspruchung. Strasse und Autobahn 3, 1979.
31. MITSCHKE, M. Strassenschonende Auslegung schwerer Nutzfahrzeuge. Strasse und Autobahn 3, 1979.

Japan

32. Ministry of Construction Study on the pavement management system. (in Japanese) Tokyo, November 1981.
33. PWRI. Study on the result of wheel load survey. (in Japanese) Technical Note No. 1722, Tsukuba Science City, August 1981.
34. JAPAN ROAD ASSOCIATION Manual for design and construction of asphalt pavement. Tokyo, 1980.
35. JAPAN ROAD ASSOCIATION Manual for design and construction of cement concrete pavement (in Japanese), Tokyo, August 1980.
36. JAPAN ROAD ASSOCIATION Manual for Design and Construction of Low Cost Pavement. (in Japanese), Tokyo, October 1979.

Switzerland

37. VSS. Dimensionierungsnormen der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute. Zurich, 1971.
38. ANON. Empfehlungen für den vollstabilisierten Oberbau. Strasse und Verkehr, pp. 115-127, 4/1977.
39. SCAZZIGA, I. Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte, Forschungsberichte des Eidgenössischen Departementes des Innern, Nr. 19, Berne 1981.
40. PINI, O. and SCAZZIGA, I. Vergleich von Dimensionierungsmethoden, Forschungsberichte des Eidgenössischen Departementes des Innern, Nr. 39, Berne 1981.
41. ISETH. International Colloquium Full Scale Pavement Tests. ISETH, Mitteilung No. 50, ETH Zürich, May 1982.

Netherlands

42. BROUWERS, JACT. Wegtransport en wegverhardingen. Invloed van gewicht en frequentie van voertuigen op het ontwerp en de levensduur van verhardingen: gevolgen van wijgingen in de toegelaged gewichten. De Ingenieur 84, 12 and 19, 1972.

VII. Kapitel

Auswirkungen auf Strassenbrücken

VII.1 Einführung

Die Strassenbrücken stellen die strategisch wichtigsten Punkte im Strassennetz dar. Damit die volle Effizienz des gesamten Strassensystems gewahrt werden kann und die Strassenbrücken dem wachsenden Verkehrsaufkommen gewachsen sind, müssen sie angemessene Tragfähigkeiten aufweisen und entsprechend unterhalten werden.

Dabei muss man sich bewusst sein, dass sich die Verkehrsbelastungen auf Strassenbrücken nicht gleich auswirken wie auf Strassenoberbauten, ausserdem können sie auch je nach Brückenart unterschiedliche Auswirkungen haben.

Brücken können aus vielen Gründen Mängel aufweisen oder in ihrer Funktionsfähigkeit geschwächt werden: Gefährdungen durch Naturgewalten (hauptsächlich Überschwemmungen), klima- und umweltbedingte Einflüsse (einschliesslich Streusalz), Planungs- oder Konstruktionsfehler, ungeeignete oder schlechte Materialien, vernachlässigter Unterhalt, Verkehrs- und Schiffsunfälle (2,3). Die Funktionsfähigkeit einer Strassenbrücke kann auch beeinträchtigt werden durch abnormale Belastungen (Überladungen oder aussergewöhnliche Lastzüge), wenn z.B. deren Tragfähigkeit bereits durch Ermüdungserscheinungen vermindert ist, die möglicherweise auf eine ständige Überbeanspruchung zurückzuführen sind. Im allgemeinen aber sind die Verkehrslasten nicht die Hauptursache der Baufälligkeit von Strassenbrücken, sondern beschleunigen lediglich diesen langfristigen Vorgang, für den alle obenerwähnten Gründe entweder Haupt- oder Teilursache sein können.

In den Beiträgen der einzelnen Länder, welche die Forschungsgruppe zum Thema dieses Kapitels erhalten hatte, wurden diese Fragen nur spärlich behandelt. [Einige Betrachtungen über Konzepte, Strategien und Methoden der Brückenerhaltung sind in einer Reihe von OECD-Strassenforschungsstudien (3,4,5,6) sowie im Protokoll einer internationalen Konferenz über Brückenmanagement (7) enthalten.] Anhand der so erhaltenen Informationen lassen sich zwischen Mitgliedsländern unterschiedliche Ansichten erkennen.

- Eine erste Gruppe von Ländern, zu der auch die USA und das Vereinigte Königreich gehören, misst der ganzen Strassenbrückenproblematik vorrangige Bedeutung zu. In diesen Ländern wurden auch schon verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um die Auswirkungen der stets zunehmenden Gewichte und Abmessungen von Lastfahrzeugen zu ermitteln (1,8). Dabei kam man zum Schluss, dass ein Grossteil der bestehenden Strassenbrücken verstärkt werden müssen, was beträchtliche Kostenfolgen hätte.
- Eine zweite Gruppe, zu der unter anderem Länder wie Belgien, die Niederlande, Italien und die Schweiz gehören, ist mit ihren bestehenden Brücken grundsätzlich zufrieden und ist der Ansicht, dass deren bauliche Eigenschaften und wahrscheinlich auch deren grosszügige Abmessungen selbst bei zunehmender Schwerverkehrsbelastung sowohl eine lange Lebensdauer als auch eine ausreichende Sicherheit garantieren.
- Eine "Zwischengruppe" mit Ländern wie Frankreich und Deutschland schliesslich beginnt sich um die Wiederinstandstellung oder Verstärkung von (älteren) Brücken und/oder gewisser Brückenteile zu sorgen. Voruntersuchungen in Deutschland haben die Notwendigkeit eines umfassenden Forschungsprogramms zur Ermittlung der Auswirkungen auf Strassenbrücken gezeigt (z.B. Lebensdauer, Unterhaltskosten usw.). Das Forschungsprogramm sollte 1983 aufgenommen werden.

VII.2 Bemessungsnormen und Belastbarkeit

Bei der Planung von Strassenbrücken muss verschiedenen Gegebenheiten Rechnung getragen werden: Totlast (Eigengewicht der Brücke), Betriebslast (Gewicht der Fahrzeuge, die auf der Brücke verkehren), externe Belastung (Wind, thermische Effekte u.a.). Wie bereits an früherer Stelle erwähnt, müssen bei Strassenbrücken andere Verkehrsbelastungen in Betracht gezogen und somit andere Planungsmethoden angewendet werden als bei Strassenbauten.

Bei Strassenoberbauten wird die Gebrauchsdauer auf der Grundlage der voraussichtlichen Intensität der Verkehrsbelastung bemessen, wobei die Anzahl und das Gewicht von Schwerfahrzeugen mit hohen Tonnagen sowie deren Bauweise (z.B. Achslast, Fahrzeugtyp, Anzahl Räder usw.) berücksichtigt werden. Der Brückenplaner auf der anderen Seite stützt sich auf abstrakte Belastungsschemen, welche selten und dann nur zum Teil mit den tatsächlichen Eigenschaften gewisser Schwerfahrzeuge oder mit tatsächlichen Belastungsspektren direkt in Verbindung stehen.

VII.2.1 Belastungsschemen

Da eine Fehlplanung katastrophale Folgen haben kann, müssen die Brücken auf eine Weise bemessen sein, bei der eine wesentlich stärkere Festigkeit der Materialien gewählt wird als unter einer bestimmten Traglastannahme erforderlich wäre.

Bei der Betrachtung der Brückenbeanspruchung durch Verkehrslasten müssen zwei Belastungsarten besonders beachtet werden: a) Spannungen, welche durch Achs- oder Radlasten verursacht werden (z.B. auf Fahrbahnplatten oder Brückentafeln); derartige Belastungen tragen wesentlich zur Verminderung der Dauerfestigkeit bei; b) Spannungen, welche durch ein oder mehrere Schwerfahrzeuge auf die Tragelemente ausgeübt werden (hauptsächlich auf solche mit grossen Spannweiten und bei Verkehrsstockungen oder -stillstand).

In einigen Ländern werden alle Brücken nach derselben Belastungsklasse konstruiert. In anderen Ländern werden je nach Bedeutung der betreffenden Strasse unterschiedliche Tragfähigkeiten vorgesehen und auf Hinweisschildern die jeweilige Höchstbelastbarkeit einer Brücke angegeben. In den meisten Ländern muss in den Bemessungsnormen für Strassenbrücken sowohl die gleichzeitige Belastungswirkung einer gleichmässig verteilten Last (q) beachtet werden als auch die gleichzeitige Belastungswirkung, welche durch die konzentrierte Last einer oder mehrerer Schwerfahrzeuggruppen verursacht wird. In verschiedenen Ländern liegen die q -Werte zwischen 2,5 und 5 kN/m² und die q -Werte je nach Brückenklasse zwischen 100 und 600 kN/m² (obere Grenze 800 kN/m²). In einigen Normen werden auch die Einflüsse einzelner Achslasten und Radlasten berücksichtigt (3). Dazu werden auch Kraftwirkungsfaktoren (Einbezug dynamischer Wirkungen) und Reduktionsfaktoren (Verteilung der Lasten auf Nebenfahstreifen und/oder Berücksichtigung der Länge des beanspruchten Fahstreifens) verwendet. Schliesslich sind die Normen in bezug auf die zulässige Materialbeanspruchung von Land zu Land verschieden.

Belastungsschemen sind in der Tabelle VII.1 (Deutschland) und in der Darstellung VII.1 (verschiedene skandinavische Länder, Italien und USA) aufgeführt [siehe auch (3)]. Die dänischen Normen veranschaulichen insofern die Bemühungen um eine Anpassung an internationale Normen, als sie zwar von den Regelungen der nordischen Länder ausgehen, nötigenfalls aber an die EG-Normen angepasst werden.

Dabei ist zu beachten, dass die theoretischen Betriebslasten für Strassenbrücken (Tabelle VII.1 und Darstellung VII.1) nicht identisch sind mit den höchstzulässigen Gesamtgewichten für Schwerfahrzeuge (Tabelle III.2). In den Vereinigten Staaten beispielsweise handelt es sich beim HS-20-Lastwagen nicht um ein Lastfahrzeug, das effektiv auf amerikanischen Strassen verkehrt, denn dessen Hinterachslast von 32'000 Pfund (142,3 kN) [siehe Darstellung VII.1] würde die in den USA höchstzulässigen Achsbelastungen bei weitem übertreffen. Hier handelt es sich also um eine fiktive Last zur Annahme von extremsten Belastungsverhältnissen; damit soll sichergestellt werden, dass die in Wirklichkeit auftretenden Verkehrslasten in jedem Fall unter dieser Lastannahme liegen und somit innerhalb den zulässigen Limiten bleiben.

Im OECD-Bericht über die Bestimmung der Tragfähigkeit bestehender Brücken (3) wurden die Berechnungsnormen miteinander verglichen, indem die Biegemomente, die sich aus den jeweils geltenden Betriebslastvorschriften (M mobile) ergeben, berechnet wurden; dabei wurde auch dem Kraftwirkungsfaktor und den zulässigen Spannungen Rechnung getragen und auf eine einfach gestützte Brücke mit einer Spannweite von zwischen 10 und 100 Metern Bezug genommen. Um die Auswertung zu erleichtern, wurden die für " M mobile" errechneten Ergebnisse in zwei äquivalente Lasten umgesetzt, nämlich: eine gleichmässig verteilte Last (q -Äquivalent in

kN/m) und die auf eine Länge von 10 Metern verteilte Last eines einzelnen Schwerfahrzeuges P_m (kN). Die so errechneten Werte q -Äquivalent und P_m können nur für relative Vergleiche verwendet werden und dürfen nicht als praktisch anwendbare Werte für die betreffenden Spannweiten betrachtet werden; sie geben jedoch Hinweise auf die relative Festigkeit der Brückenkonstruktionen, welche gemäss den in den verschiedenen Ländern geltenden Normen erstellt wurden. Zudem veranschaulichen sie die verschiedenen Berechnungsmethoden und zulässigen Risikograde. Darstellung VII.2 zeigt, wie sich im Falle einer vierspurigen Brücke die Werte "q-Äquivalent" und " P_m " je nach Brückenspannbreite (L) verändern. So lässt sich beispielsweise feststellen, dass besonders in Italien und in Belgien die Lastannahme (Einzelfahrzeug) bei zunehmender Spannweite ziemlich stark ansteigt.

VII.2.2 Tatsächliche Belastung

Aus strassen- und verkehrsplanerischen Gründen werden in den meisten Ländern ständig Erhebungen und Ad-hoc-Studien durchgeführt, um die Verkehrsentwicklung in bezug auf Verkehrsaufkommen, Verkehrsdichte, Fahrgeschwindigkeiten, Fahrzeugabstände und Verkehrszusammensetzung zu verfolgen. Ebenso werden für die Planung von Strassenoberbauten Untersuchungen über Achsbelastungen, -anordnung und -abstände, die Verkehrsverteilung auf die verschiedenen Fahrspuren und dergleichen durchgeführt. Jedoch wurden bisher verhältnismässig wenig Studien über effektive Brückenbelastungen unternommen. Derartige Angaben aber wären nötig, um die bisherige Beanspruchung einer gegebenen Brücke und somit deren noch verbleibenden Gebrauchsdauer abzuschätzen oder um möglicherweise die Gültigkeit abzuschätzen oder um die weiter oben erwähnten Belastungsschemen zu beurteilen.

In gewissen Ländern wie Japan, Frankreich, der Schweiz, dem Vereinigten Königreich und den Vereinigten Staaten scheinen in ziemlich beschränktem Umfang Studien über den Brückenverkehr durchgeführt worden zu sein (3.7). Besondere Beachtung verdient eine von der EGKS (CECA) subventionierte gesamteuropäische Studie (9), bei der Messungen auf Stahlbrücken vorgenommen wurden. In den Jahren 1976 und 1978 wurde in Belgien, Frankreich, Deutschland, Grossbritannien, Italien und den Niederlanden die Betriebsbelastung von elf Strassenbrücken unter verschiedenen Verkehrsverhältnissen untersucht. Aus den so erhaltenen Angaben wurde die typische Zusammensetzung des Strassenverkehrs in bezug auf Achslasten, Achsabstände, Abstände zwischen den Fahrzeugen und die Verkehrsverteilung auf die verschiedenen Fahrstreifen ermittelt. Zur Bestimmung der Belastbarkeit wurden auch einige simulierte Strassenbelastungsversuche durchgeführt.

In Tabelle VII.2 werden die tatsächlichen Lastfahrzeuggewichte mit den Bemessungsnormen für Brücken verglichen. Daraus ist ersichtlich, dass die Gewichte von rund 7% der auf den amerikanischen Strassen verkehrenden Lastfahrzeuge die in den USA geltenden "Formula B Limits" (= Belastungsgrenzen für Strassenbrücken) überschreiten; ebenso verhält es sich bei 9% der Sattelschlepper des verkehrsüblichen Typs 3 S 2. Die entsprechenden Anteile auf anderen amerikanischen Hauptverkehrsstrassen sind gar noch höher, das heisst, rund 15% für die zwei genannten Lastfahrzeugtypen (8).

Darstellung VII.3 zeigt einen Vergleich der Lastfahrzeuggewichte in Frankreich, Deutschland, der Schweiz und den USA (7). In der Darstellung VII.4 sind die Ergebnisse der EGKS-Studie (9) aufgeführt. Daraus lässt sich feststellen, dass die Höchstachsbelastungen zwischen 125 und 200 kN liegen. Die gemessenen Gewichte waren sehr unterschiedlich und haben in vielen Fällen die gesetzlichen Höchstwerte überschritten.

Diese Angaben zeigen, dass der Verkehrsbedarf in gewissen Ländern einen Umfang erreicht hat, der sich auf weite Sicht nachteilig auf die Funktionsfähigkeit und die Lebensdauer der Brücken auswirken kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die Achsabstände oder, allgemeiner, die Achsanordnung. So hängt die Verkehrsbelastung der Brückenhauptteile ebenso sehr mit den Achslasten und -abständen zusammen wie mit den dynamischen Wirkungen, die sich aus der beweglichen Fahrzeuglast ergeben. Daher muss der Frage besondere Beachtung geschenkt werden, ob es ausreicht, bei der

Planung von Brückenhauptteilen nur ein gleichzeitig auf der Brücke verkehrendes Schwerverfahrzeug anzunehmen. In Studien, die in den USA durchgeführt wurden, werden für auf derselben Fahrspur verkehrende Fahrzeuge Abstände von rund 30 Metern angegeben, und auf mehrspurigen Brücken mit Schwerverkehr kann es vorkommen, dass zwei oder mehr Schwerverfahrzeuge zusammen auf einem bestimmten Punkt eine Belastung verursachen, die etwas höher ist als diejenige eines einzelnen Fahrzeuges (3). Dieselbe Wirkung kann durch zwei Fahrzeuge erzeugt werden, welche die Brücke auf nebeneinanderliegenden Fahrstreifen in entgegengesetzter Richtung überqueren.

In den dänischen und britischen Beiträgen (1) werden die Achsabstände behandelt. In Dänemark ist man der Auffassung, dass die Auswirkungen von Einzelachsaggregaten ermittelt werden sollten, hauptsächlich wo es um Brücken mit kleineren Spannweiten geht; bei Brücken mit mittleren Spannweiten hingegen stellen die Doppelachsen der Sattelschlepper das Hauptproblem dar. Um konzentrierte Lasten zu vermeiden, wird vorgeschlagen, einen Minimalabstand zwischen der hintersten Achse des Schleppfahrzeuges und der vordersten Achse des Anhängers oder Aufliegers vorzuschreiben. Im Vereinigten Königreich werden zur Schonung von Brücken Minimalabstände zwischen den einzelnen Achsen von Tandem- und Tridemachsen vorgeschrieben. Die vorgeschlagenen EG-Richtlinien, die einen Abstand von 2,8 Metern zwischen den äusseren Achsen einer Tridemachse vorsehen, können nicht auf britische Brücken angewendet werden, da die gegenwärtigen britischen Regelungen Minimalabstände erfordern würden, die beträchtlich grösser als die EG-Höchstabstände sind. Die britischen Behörden messen auch der Frage, welche Auswirkungen Lastfahrzeuggruppen auf stark befahrenen Schwerverkehrsstrassen haben können, besondere Bedeutung zu. Im allgemeinen sind Tandem- und Tridemachsen für Brückenkonstruktionen nicht so vorteilhaft wie für Strassenoberbauten. Dennoch sollte es möglich sein, die schlimmsten Auswirkungen solcher Achsanordnungen zu vermeiden und gleichzeitig solche Abstände zu wählen, dass die Vorteile, welche Tandemachsen für Strassenoberbauten haben, aufrechterhalten werden können. In dieser Beziehung ist jedoch noch viel Forschungsarbeit nötig.

Den Auswirkungen dynamischer Beanspruchung von Brücken wird in der Regel mit der Anwendung eines Betriebslast-Koeffizienten Rechnung getragen. In Fachkreisen beginnt sich die Ansicht durchzusetzen, dass dieser Wert Ausdruck der Schwingungsfestigkeit der Brückenkonstruktion sein sollte. In Italien z.B. wurde eine Formel entwickelt, die auf dem Verhältnis zwischen Betriebslast und Totlast des betreffenden Brückenteils (unter Berücksichtigung dessen Länge) basiert. In Frankreich wird ein ähnlicher Koeffizient angewendet, der zwar die Totlast nicht direkt berücksichtigt, ihr aber durch die Verwendung verschiedener, je nach Konstruktionsmaterialien unterschiedlicher Faktoren auf indirekte Weise Rechnung trägt. In bezug auf momentane Lastdruckzunahmen, die im Zusammenhang mit den Bewegungen der Aufhängung verursacht werden können, gelten dieselben Feststellungen wie für Strassenoberbauten. Wichtig ist dabei aber, dass bei Brücken, deren Fahrbahnoberfläche meistens in gutem Zustand ist, sich dieses Problem nur an bestimmten Punkten, nämlich bei den Fugen, stellt; diese sollten besonders gut unterhalten werden, so dass gleichmässige Übergänge gewährleistet und damit starke Schlagdruckbelastungen vermieden werden können.

VII.3 Klassifizierung von Brücken

Die Klassifizierung bestehender Strassenbrücken in bezug auf deren effektive Tragfähigkeiten erfordert eine sorgfältige und eingehende Beurteilung unter Berücksichtigung vieler Faktoren und Bedingungen. Die gegenwärtige Situation in den Mitgliedsländern wurde im OECD-Bericht über die Bestimmungen der Tragfähigkeit bestehender Strassenbrücken (3) beschrieben. In einigen Ländern sind umfassende Klassifizierungsschemen entwickelt worden, in anderen wird die effektive Belastbarkeit nur fallweise im Zusammenhang mit Gesuchen zur Bewilligung von Transporten mit aussergewöhnlichen Lasten bestimmt. Das Problem der aussergewöhnlichen (abnormalen) Lasten wird in diesem Kapitel nicht behandelt. In diesem Zusammenhang sei auf den obenerwähnten Bericht (3) und auf Untersuchungen, die in Belgien durchgeführt wurden, verwiesen. Will man aber einen vollständigen Überblick über die Auswirkungen der Erhöhung der Schwerverfahrzeuggewichte erhalten, so sind systematische Klassifizierungen von bestehenden Brücken absolut unerlässlich.

VII.3.1 Klassifizierungsmethoden

Zur Klassifizierung von Strassenbrücken gibt es zwei Methoden, welche beide auf der Bestimmung der Tragfähigkeit in bezug auf bewegliche Lasten beruhen. Bei der einen Methode, welche sich auf die zulässigen Höchstbelastungen bezieht, wird vorausgesetzt, dass die Verkehrslasten, welche zusammen mit anderen Belastungen auf die Brückenkonstruktion einwirken, eine bestimmte Höchstgrenze nicht überschreiten sollten. Die zulässige Höchstbeanspruchung wird unter Berücksichtigung der Neuwertqualität der verwendeten Materialien und des gegenwärtigen Zustandes der Brücke bestimmt. Bei der zweiten, der sog. Belastungsfaktormethode, erfolgt die Klassifizierung der Brücken anhand eines Indexwertes, der auf einem Schwerfahrzeugtyp basiert, dessen Abmessungen und Gesamtgewicht eine risikofreie Benutzung der gegebenen Brücke erlauben. Da bei dieser Methode das Versuchsfahrzeug willkürlich gewählt werden kann, eignet sie sich besonders gut, um eine Vorstellung über die Auswirkung von Veränderungen in Fahrzeuggrössen und -gewichten zu erhalten.

Die Anwendung der geltenden Normen für die Klassifizierung von Strassenbrücken, hauptsächlich wenn diese auf der Bestimmung von Grenzzuständen beruhen, zeigt, dass die Brücken oft höhere Lasten tragen können. Dabei ist aber Vorsicht geboten, da ältere Konstruktionen gewisse Schwachstellen aufweisen können. Es ist also angezeigt, vor jeder Anhebung der zulässigen Höchstgewichte die Belastbarkeit der bestehenden Brücken vollständig zu überprüfen (3,7).

Mangels systematischer experimenteller Versuche stellen die obenerwähnten analytischen Methoden die einzige Möglichkeit dar, die Beanspruchung von Strassenbrücken durch Verkehrslasten zu bestimmen. Gewisse Länder, wie die USA und Norwegen, sind gegenwärtig im Vergleich zu anderen Ländern eher in der Lage, die Auswirkungen von Schwerfahrzeugen auf ihre Strassenbrücken zu beurteilen, da sie seit einiger Zeit umfassende Programme zur Klassifizierung und Überprüfung ihrer bestehenden Brückenkonstruktionen durchführen. Besondere Beachtung verdient ein in den USA ausgearbeitetes System, das eine routinemässige Klassifizierung durch das Inspektionspersonal ermöglicht.

VII.3.2 Ermüdungen

Die Ermüdung ist eine weitere verkehrsunabhängige Erscheinung, die bei der Planung berücksichtigt werden muss und der in gewissen Ländern bei der Klassifizierung von Brücken Rechnung getragen wird. Die diesbezüglichen Forschungsarbeiten sind vor allem auf Stahlbrücken ausgerichtet. In letzter Zeit wurden aber auch Betonbrücken in solche Untersuchungen einbezogen. Alles in allem haben sich Stahlbrücken in bezug auf deren Dauerfestigkeit gut bewährt, da nur bei wenigen Brücken und Brückenteilen einige Ermüdungsanrisse festgestellt werden konnten. Doch wäre die Annahme nicht verfehlt, dass durch die derzeitige Tendenz nach höheren Gesamtgewichten und zunehmender Verkehrsdichte den Ermüdungserscheinungen inskünftig mehr Beachtung geschenkt werden muss (3,8).

Obwohl die Stahlbrücken elastisch sind, können sie durch die ständigen Belastungs-/Entlastungszyklen, welche sich mit den LKW-Überfahrten ergeben, nach einer gewissen Zeitspanne Abnutzungserscheinungen zeigen. Als Hauptfaktoren der Dauerfestigkeit werden die Gesamtbeanspruchung, die Anzahl der Belastungszyklen, die Konstruktionsweise und die Eigenveränderlichkeit der anfänglichen Diskontinuitäten angenommen. Charakteristisch für die Ermüdungserscheinungen ist, dass sich das angerissene Material nicht deformiert, was bedeutet, dass die Ermüdungserscheinungen unvermittelt auftreten. Die Ermüdung wird stärker bei einer zahlenmässigen Zunahme der Belastungszyklen und bei zunehmenden Verkehrslasten der einzelnen Zyklen. Bei Brücken und Brückenteilen mit kleineren Spannweiten ist die Ermüdungsanfälligkeit grösser, da mit abnehmender Spannweite der Betriebslastanteil an der Gesamtbelastung ansteigt.

Eine in Deutschland durchgeführte Studie (3,10) führt die möglichen Auswirkungen für eine Brücke an, welche täglich mit 630 Achsen zu je 110 kN oder mehr belastet wird. Aufgrund von Annahmen über die voraussichtlichen Ermüdungserscheinungen unter gewissen Belastungsverhältnissen könnten nach etwa 22 bis 45 Jahren die ersten Ermüdungsanrisse eintreten.

VII.4 Die Folgen der Erhöhung von Schwerfahrzeuggewichten

VII.4.1 Studien verschiedener Länder

Gewisse Informationen zu diesem Thema wurden von Dänemark, Japan, vom Vereinigten Königreich und den USA geliefert, wobei der umfassendste Beitrag aus den USA (8) kommt [siehe auch Darstellung XI.2 in XI].

Die Ergebnisse der japanischen und der dänischen Untersuchungen wurden bereits im Abschnitt VII.1 erwähnt und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In Japan kam man anhand von Untersuchungen des Forschungsinstitutes für Öffentliche Bauten zum Ergebnis, dass Erhöhungen von Achslasten beträchtliche Auswirkungen auf Fahrbahnplatten und Längsträger haben würden. Aufgrund von Analysen zur Ermittlung der Zuverlässigkeit von Fahrbahnplatten bei erhöhten Achslasten und strenger wiederkehrenden Belastungszyklen kam man zum Schluss, dass bereits eine sehr kleine Erhöhung der Achslasten oder Vermehrung der Zyklen ausreichen würde, um die Zuverlässigkeit der Fahrbahnplatten beträchtlich zu verringern. Nur geringfügige Folgen hingegen hätte eine leichte Heraussetzung der Gewichtslimiten ohne eine gleichzeitige Erhöhung der Achslasten. Entsprechende Zuverlässigkeitsstudien wurden auch in bezug auf die Belastungsauswirkungen von Lastwagenkolonnen (für deren Gewichte und Abmessungen Zufallsvariablen angenommen wurden) bei vollständigen Verkehrsstockungen unternommen. Dabei kam man zum Schluss, dass die Sicherheitsfaktoren der bestehenden Strassenbrückennormen ausreichen, um die so verursachten Zusatzrisiken abzudecken.
- In Dänemark wurden die gesetzlichen Vorschriften geändert:
 - a) Die Achshöchstlasten wurden von 8 auf 10 Tonnen erhöht;
 - b) das Höchstgewicht für Lastenzüge von 32 auf 44 Tonnen;
 - c) die Achslasten bei Doppelbogies von 14,5 auf 16 Tonnen, bei Dreierbogies von 19,2 auf 24 Tonnen;
 - d) der Reifendruck von 7 auf 9 bar.
- Bezüglich der in Abschnitt VII.2.2 erwähnten Zwischenabstände wurden gewisse Beschränkungen eingeführt, um die freie Verkoppelung von einzeln zugelassenen Gelenkfahrzeugen zu erleichtern. In einem Vorbericht (11) wurde erwähnt, dass nur 78,9% aller klassifizierten Brücken diese neu zugelassenen Lasten tragen können. Rund 2000 Brücken des Nationalstrassennetzes mussten einer näheren Überprüfung unterzogen werden. Nach entsprechenden Besichtigungen und technischen Beurteilungen stellte sich heraus, dass diese neu festgelegten Normen offenbar auf alle diese Brücken gefahrlos angewendet werden können. Vertiefte Studien sind noch im Gange. Nicht bekannt sind die Auswirkungen dieser Änderungen auf die im allgemeinen schwächeren Brücken der Nebenstrassennetze. Klar ist aber, dass hier die wirtschaftlichen Folgen geringeren Umfangs sind als die Strassenoberbauten.

Im Vereinigten Königreich wurden die Auswirkungen der vorgeschlagenen EG-Richtlinien bezüglich Brücken untersucht [Husband Report - siehe (1)]. Dabei gelangte man allgemein zur Erkenntnis, dass Einzelachsen mit einer Last von über 10,5 Tonnen bei Brücken und Dolen mit kurzen Spannweiten (bis zu 3 Metern) Schwingungsbewegungen verursachen, die über den Bemessungswerten liegen. Achsaggregate mit engen Abständen (z.B. Anhänger mit einer Gesamtlast von über 22,5 Tonnen und einem Abstand zwischen den äusseren Achsen von weniger als 2,7 Metern) führen bei Brücken mit Spannweiten zwischen 6 und 18 Metern zu starken Schwingungsbewegungen. Zu Überschreitungen der für lange Brücken (über 80 Meter Spannweite) zugelassenen Schwingungsbewegungen kann der Schlangenverkehr von Lastwagen führen, wenn die einzelnen Fahrzeuge 44 Tonnen wiegen und kürzer als 15,5 Meter sind.

Die wichtigsten Unterschiede zwischen den EG-Vorschlägen und der im Vereinigten Königreich geltenden Regelung über die Konstruktion und die Benutzung von Brücken sind:

- a) die EG empfiehlt eine Einzelachslast bis zu 11 Tonnen gegenüber 10,17 Tonne im VK;
- b) Unterschiede in den Achsanordnungen (siehe dazu VII 2.2 oben);
- c) die EG toleriert für bestehende Fahrzeuge Achslastüberschreitungen um 5%, ohne dabei Überschreitungen der Gesamtgewichtslimiten zuzulassen.

Man kam zum Schluss, dass eine Annahme der EG-Vorschläge in dieser Form sich auf die britischen Brücken nachteilig auswirken würde. Brücken, die nach 1922 erstellt worden sind, wären theoretisch durch Lastwagen gefährdet, die sehr schmale Radabstände haben. Die neuen Brücken hingegen würden keine wesentlichen zusätzlichen Schäden erleiden und es würden sich nur wenig oder keine Mehrauslagen ergeben. Mit den EG-Vorschlägen wären vor allem die älteren Brücken ernsthafter gefährdet. Nach dem Husband-Bericht könnten einige von der EG empfohlene Lastwagentypen bei Brücken mit gewissen Spannweiten zu Biegemomenten und Scherspannungen führen, deren Werte bis zu 25% über den gegenwärtigen Normen liegen. Über 700 Bogenbrücken und bis zu 700 andere Brücken des Fern- und Hauptverkehrsnetzes (d.h. des gesamten A-Strassennetzes) wären wahrscheinlich zu schwach, um diese höheren Lasten zu tragen. Im äussersten Fall, in dem alle 1400 Brücken neu erstellt werden müssten, würden sich die Baukosten auf etwa 350 Millionen £ belaufen; die Kosten, welche sich aus den Verkehrsverzögerungen ergäben, kämen auf weitere rund 50 Millionen £ zu stehen. Laut Husband-Bericht wären 4000 Bogenbrücken und 2500 andere Brücken des Nebenstrassennetzes diesen neuen Anforderungen nicht gewachsen. Eine Neuerstellung aller dieser Brücken würde rund 800 Millionen £ kosten.

Die entsprechenden Untersuchungen der USA (8) können im Rahmen dieses Berichtes nicht ausführlich behandelt werden. Die Auswirkungen der verschiedenen Brückenszenarien auf die Kosten sind in Darstellung XI.2 wiedergegeben. Mit den grössten Kosten verbunden ist Szenario J: Hier käme die höchste "Formula C" zur Anwendung und die Achshöchstlasten würden auf 22'400 Pfund (Einzelachsen) beziehungsweise 36'000 Pfund (Doppelachsen) heraufgesetzt. (Zur Zeit gelten für zwischenstaatliche US-Strassen die Höchstlimiten von 18'000 beziehungsweise 32'000 Pfund.) Man kam zum Schluss, dass die Brücken aufgrund ihrer Konstruktionsweise im allgemeinen Mehrlasten tragen können, dass aber die wiederholte Beanspruchung durch Lasten, die über den Normen liegen, kumulative Wirkung und für gewisse Brückenteile Ermüdungserscheinungen zur Folge haben könnte. Daraus könnte sich eine Ersetzung solcher Teile oder eine komplette Neuerstellung von Brücken aufdrängen. Viele Brücken ausserhalb des interstaatlichen Strassennetzes sind nicht für eine ständige Benutzung durch Schwerstfahrzeuge konzipiert und sie würden durch eine Erhöhung der Gewichtslimiten noch mehr beeinträchtigt als die Brücken des interstaatlichen Netzes. Mit der unter Szenario J vorgeschlagenen Legalisierung von Tandemachsen mit einem Gewicht von rund 105'000 Pfund würde bei vielen Brücken mit grossen Spannweiten und niedriger Lastannahme die zulässige Überbeanspruchung überschritten.

VII.4.2 Zusammenfassung

Im allgemeinen kann gesagt werden, dass in jenen Ländern, in denen die Konstruktionen grundsätzlich überdimensioniert werden, die Strassenbrücken selbst bei zunehmendem Schwerverkehr eine lange Lebensdauer und eine hohe Sicherheit haben. Dies wird z.B. durch eine in der Schweiz durchgeführte Studie bestätigt, in der festgestellt wurde, dass jene Brückenteile am meisten ermüdungsanfällig sind, die den niedrigsten Betriebslast-/Totlast-Koeffizienten aufweisen.

In den vorangehenden Abschnitten wurde gezeigt, dass es sehr schwierig ist, abzuschätzen, in welchem Masse die Abnutzung einer Brücke auf den Verkehr im allgemeinen (unter Berücksichtigung der wesentlichen Veränderungen der Schwerverfahzeugeigenschaften) zurückgeführt werden kann. Was die bestehenden Bemessungssysteme betrifft, müsste festgestellt werden, inwiefern eine Brücke infolge einer wesentlichen Veränderung des Schwerverfahrzeugparks kritischen Belastungen ausgesetzt ist. Dieses Problem könnte möglicherweise auf rein empirischem Weg gelöst werden. Die amerikanischen Behörden z.B. haben eine Reihe von Projekten eingeleitet, um die Schäden und die Abnutzungen an Brücken aufgrund von Verkehrsbelastungen zu ermitteln. So ist es umstritten, wie sich eine Veränderung der Fahrzeugformen und -abmessungen (Gewichtserhöhungen) tatsächlich auswirken würde; die Verkehrszahl der Schwerverfahrzeuge

würde abnehmen, da dieselbe Nettolast mit weniger Lastwagen befördert werden könnte. Damit würde die Wahrscheinlichkeit, dass gleichzeitig mehrere Schwerfahrzeuge auf einer Brücke verkehren, kleiner (doch wahrscheinlich nur auf kurze Sicht), was einem wichtigen Faktor für die moderne Brückenplanung gleichkommt.

Viele an dieser Umfrage beteiligte Länder, wie die USA, waren der Meinung, dass die Hauptschwierigkeiten auf die ungünstigen klimatischen Verhältnisse, verbunden mit einem mangelhaften Unterhalt, zurückzuführen sind. In Italien wurde zudem festgestellt, dass Brücken mit Schwerverkehr schneller abgenutzt werden als solche, die weniger stark belastet werden; gleichzeitig aber wird für Italien wie auch für Australien festgehalten, dass die oft überladenen Schwerfahrzeuge offenbar bei den Strassenbrücken keine Verschleissausfälle verursacht haben, was indirekt als ein Zeichen für deren ausreichende Bemessung gedeutet werden kann. In bezug auf die in Abschnitt VII.4.1 genannte Beurteilung des Vereinigten Königreiches schliesslich muss erwähnt werden, dass selbst die in den EG-Vorschlägen enthaltenen geringsten Erhöhungen als unannehmbar betrachtet werden. Die Gründe für die verschiedenen Haltungen und Ergebnisse der fünf einzelnen Länder sind nicht klar; möglicherweise lassen sie sich darauf zurückführen, dass in den verschiedenen Ländern unterschiedliche Auffassungen über Sicherheit bestehen und die Zustandsprüfungen von Land zu Land auf unterschiedliche Weise durchgeführt werden.

VII.5 Notwendigkeit von Forschungsarbeiten (3,2)

Aufgrund der vorangehenden Betrachtungen und der Analysen der zahlreichen Bestimmungsgrössen für Schwerfahrzeuge lässt sich folgern, dass in bezug auf deren Auswirkungen auf Strassenbrücken weitere Forschungsarbeiten nötig sind, wenn in diesem Bereich ein ähnlicher Kenntnisstand wie im Bereich der Strassenoberbauten erreicht werden soll. Zusätzliche Untersuchungen und Sonderumfragen werden unumgänglich sein, um die erforderlichen Informationen über die Belastungseigenschaften von Brücken zu erlangen, nämlich:

- Statistische Verteilung der tatsächlichen Gesamtgewichte, der Achslasten und Achsabstände, der gleichzeitigen Belastung nebeneinanderliegender Fahrspuren, der Häufigkeit verschiedener Fahrzeuggewichte, Achslasten und Achsanordnungen auf Brücken mit bestimmten Spannweiten und mit einer bestimmten Anzahl Fahrspuren an typischen Stellen von Haupt- und Nebenstrassen im Stadt- und Überlandverkehr;
- Statistische Verteilung der tatsächlichen Belastung und Deformationen, welche durch die tatsächlichen Betriebslastverhältnisse verursacht wurden.

Im Hinblick auf die Reduzierung dynamischer Wirkungen auf Brückenbauten müssen auch die Veränderungen der Fahrzeugausführungen (z.B. Aufhängung, Achsanordnung) weiter untersucht werden.

Die Auswirkungen von wiederholten Belastungen durch Schwerfahrzeuge müssen ebenfalls erforscht werden. Solche kumulativen schädlichen Einwirkungen lassen sich anhand von systematischen Betriebslastenproben feststellen. Einige Experimente dieser Art wurden bei den AASHO-Strassentests durchgeführt, wo einige Strassenbrücken mit kurzen Spannweiten und ähnlicher Beschaffenheit verschiedenen Probelastungen ausgesetzt wurden. Dabei waren diese Brücken bewusst unterdimensioniert, mit dem Ziel, im Laufe der wenigen Probelastungszyklen die Entstehung der so verursachten Schäden beobachten zu können. Mit diesen Experimenten konnten zwar einige interessante Beobachtungen gemacht werden, doch können Ermüdungsrisse am ehesten anhand von systematischen Laborversuchen an gewissen Konstruktionsteilen und im Massstab 1:1 an gewissen vormontierten Brückenteilen erforscht werden. Verschleissausfälle aufgrund von wiederholten Belastungen treten an ganz bestimmten kritischen Stellen auf. Bei Stahlbrücken sind dies normalerweise Fugen, Verlaschungen und geschweisste Verbindungsstellen; letztere zeigen sich auf solche Schäden besonders anfällig, besonders in Fällen, in denen solchen Konstruktionselementen nicht genügend Beachtung geschenkt wurde. Anhand von Versuchen, bei denen gleichzeitig die Bruchstellen und die Festigkeitseigenschaften von typischem Brückenstahl untersucht wurden, konnten viel bessere Programme zur Erprobung von Ermüdungserscheinungen entwickelt und eine deutlich verbesserte Interpretation der Ergebnisse erreicht werden.

Sowohl die Vielfalt der zu überprüfenden Konstruktionsdetails als auch die Notwendigkeit, die Einwirkung der klimatischen Verhältnisse auf die heiklen Einzelteile zu untersuchen, sprechen für weitere Laboruntersuchungen über derartige Verschleissfolgen. Direkte Überprüfungen der Dauerbelastung an bestehenden Brücken kommen äusserst teuer zu stehen und bergen offenbar ein unüberwindbares Problem, nämlich wie sich eine Beschleunigung der Umwelteinwirkungen mit einer gleichzeitigen Beschleunigung der Dauerbelastungswirkungen simulieren lässt. In den USA sind in diesem Zusammenhang beispielsweise folgende Untersuchungen geplant:

1. Weiterführung der Studien über die Bruchfestigkeit von typischem Brückenbaumaterial, hauptsächlich von Stahl, Schweissmaterial und Beton;
2. Labor-Ermüdungsversuche an Fugen, Laschenverbindungen und heiklen Konstruktionsteilen. Dazu gehören: Nietungen, Verschraubungen und Schweissstellen sowie Verstrebungen, Abschlüsse von Deckplatten bei Stahlkonstruktionen; im weiteren Endverankerungen und Schubsicherungen bei Beton- und Spannbetonbrücken;
3. Ein Teil der Labor-Ermüdungsversuche sollte unter systematischen Korrosionseinflüssen erfolgen, so dass in bezug auf eine Vielzahl von klimatischen Verhältnissen und schädlichen Umwelteinwirkungen Extrapolationen durchgeführt werden können;
4. Umfassende Forschungsprogramme zur Untersuchung aller Bruchstellen, welche auf Ermüdungen oder Spannungskorrosionen zurückgeführt werden können. Diese Untersuchungen sollten vor allem alle erforderlichen Angaben über bisherige Belastungen und Witterungsverhältnisse enthalten. Ebenso müsste versucht werden, zwischen den erstauftretenden Schäden und den Ergebnissen der Laborversuche eine Beziehung herzustellen, wobei gegebenenfalls weitere, ergänzende Laborversuche durchzuführen wären.

Tabelle VII.1

Belastungssystem in Deutschland

a) Bestehend						
Klasse	Konzentrierte Last (Schwerfahrzeug)				Verteilte Last	
	Gesamtlast kN	Achslast kN	Radlast	Achsabstand	q ₁ kN/m ²	q ₂ kN/m ²
60	600	200	100	-1.50-1.50	5	3
30	300	100	50	-1.50-1.50	5	3
12	120	40/80	20/40	-3.00	4	3
b) Vorgeschlagen						
60/30	600	200	-	-1.50-1.50	5	3
	300	100	-	-1.50-1.50		
30/30	300	100	-	-1.50-1.50		
	300	100	-	-1.50-1.50	5	3

- *) Schwerfahrzeug mit Gesamtgewicht = 600 kN in Hauptfahrbahn
 Schwerfahrzeug mit Gesamtgewicht = 300 kN in Nebenfahrbahn

Tabelle VII.2

Vergleich LKW-Gewicht mit den Höchstnormen für Brücken
(USA) (8)

Lastfahrzeugart	Anzahl der gewogenen Fahrzeuge	Interamerikanische Strassen Anzahl (%-Anteil) der Fahrzeugen die die Höchstnormen überschreiten (Formula B)	Anzahl der gewogenen Fahrzeuge	andere Hauptstrassen Anzahl (%-Anteil) der Fahrzeuge die die Höchstnormen überschreiten (Formula B)
Einteilige Lastwagen				
2 Achsen	14.391	2 (0.0%)	21.245	14 (0.1%)
3 Achsen oder mehr	3.388	229 (6.8 %)	6.332	970 (15.3 %)
Lastzüge				
2-S2*	9.471	219 (2.3 %)	6.285	583 (9.3 %)
3-S2	63.766	6.024 (9.4 %)	33.957	5.245 (15.4 %)
2-S1-2**	3.470	58 (1.7 %)	835	32 (3.8%)
3-S1-2	360	14 (3.9 %)	134	18 (13.4 %)
3-teilig	66	3 (4.5 %)	20	1 (5.0 %)
andere	7.355	783 (10.6 %)	5.233	743 (14.2 %)

*) Sattelschlepper

**) LKW + Anhänger

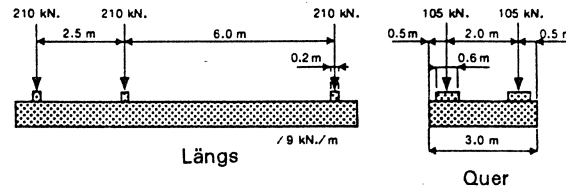
Quelle: 1978, Master-file der FHWA-Studie

Figur VII.1

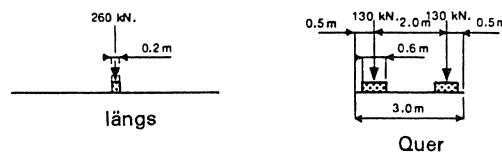
Beispiele von Belastungsschemen

Finnland, Norwegen, Schweden

Belastungsschema 1



Belastungsschema 2

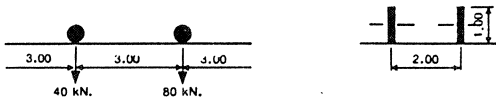


USA

Italien

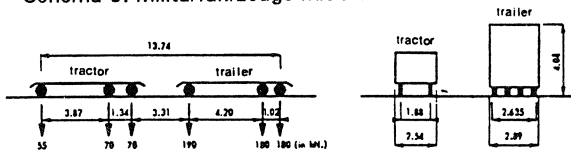
Zivildfahrzeuge

Schema 1: Kolonne mit LKW's mit 120 kN

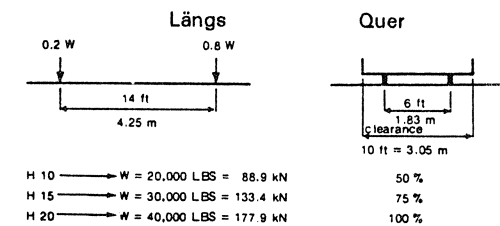


Militärfahrzeuge

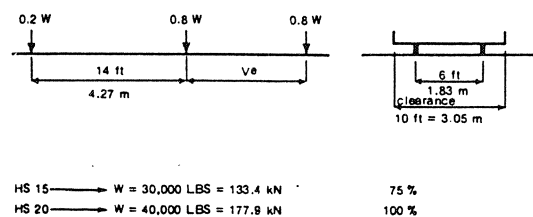
Schema 6: Militärfahrzeuge mit 745 kN



Standard H Lastfahrzeuge



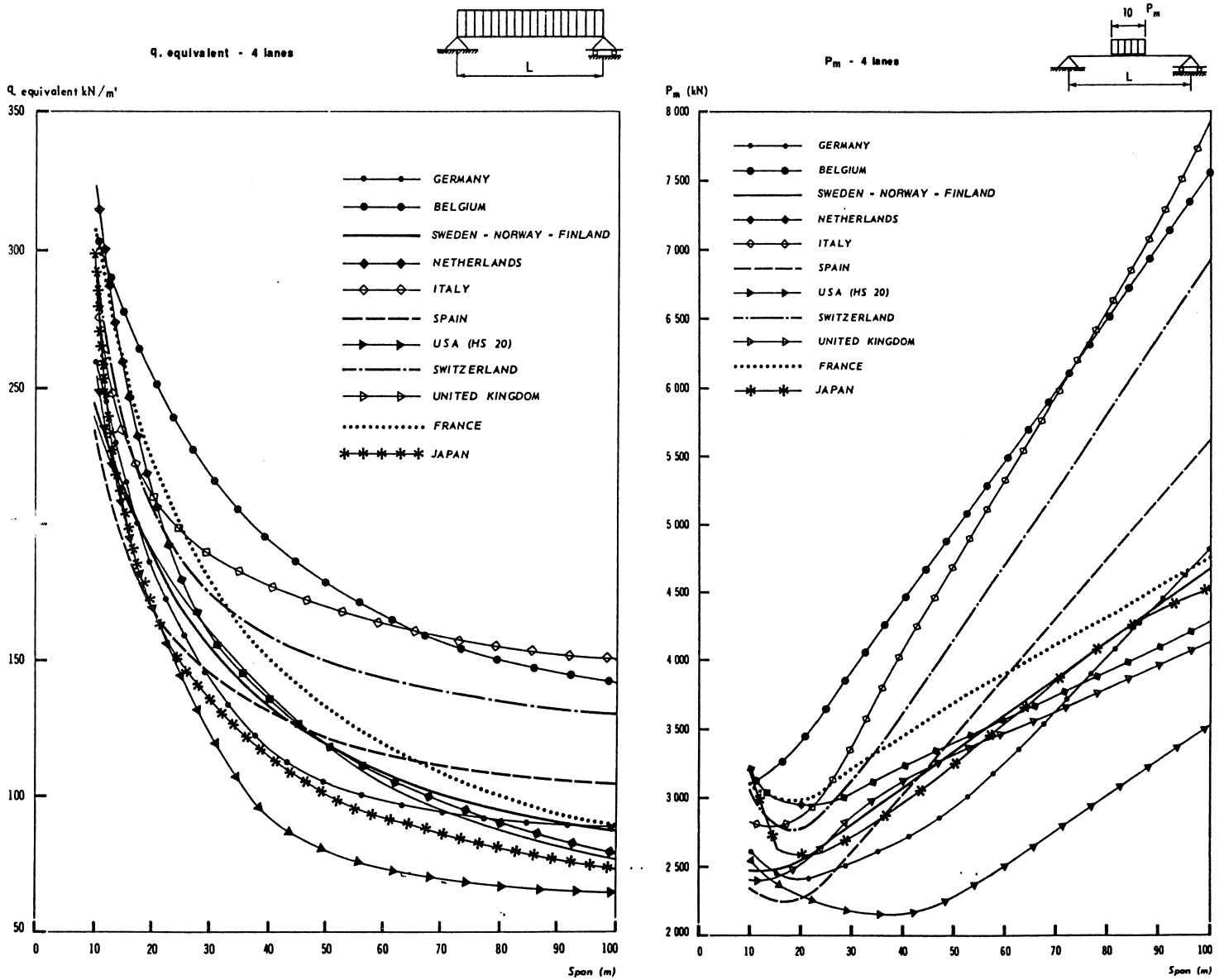
Standard HS Lastfahrzeuge



V^0 = variabler Abstand: 4,27 bis 9,14 m
Zu verwenden ist jener Abstand, der die höchsten Belastungen verursacht.

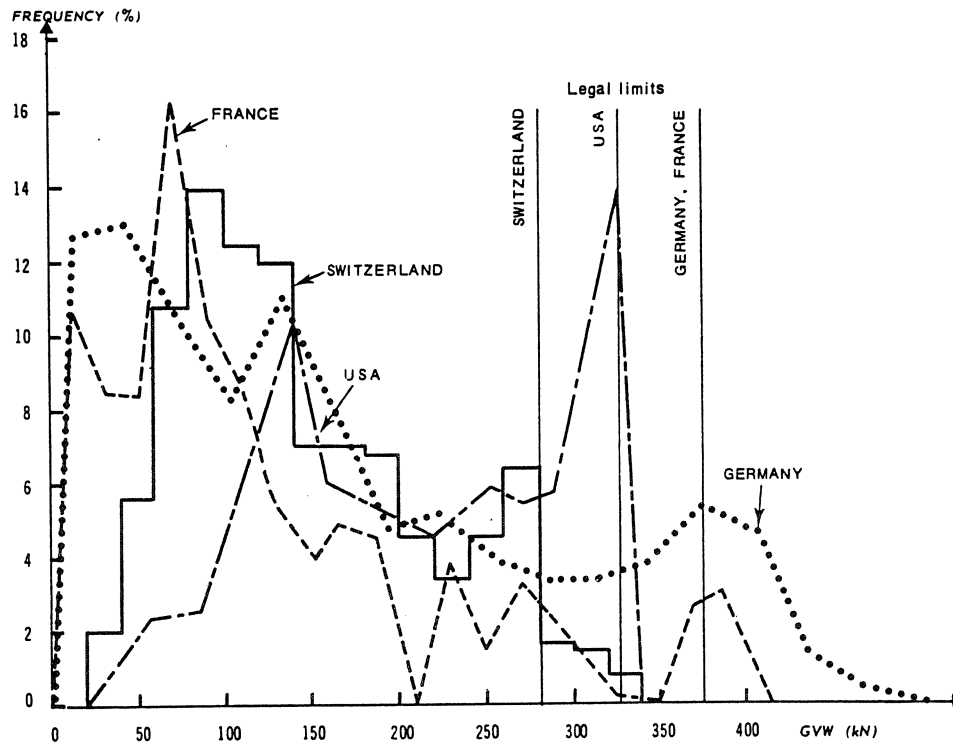
Figur VII.2

Vergleich von Bemessungsnormen verschiedener Länder



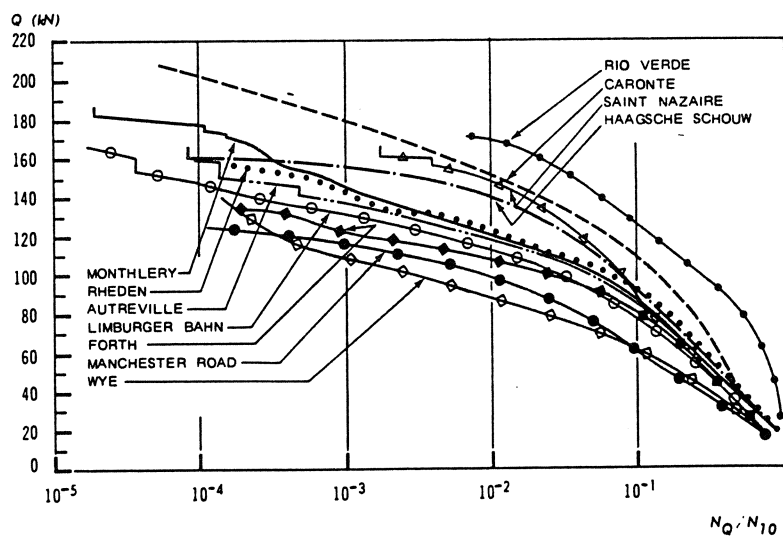
Figur VII.3

Vergleich der Lastfahrzeuggewichte in den USA
der BRD, in Frankreich, und in der Schweiz (7)



Figur VII.4

Vergleich der Achslastverteilung auf 11 Strassenbrücken
in fünf europäischen Ländern (9)



N_Q = Anzahl Achsen, deren Lasten über Q liegen

N_{10} = Anzahl Achsen, deren Lasten über 10 kN liegen

References:

1. ARMITAGE, A. Report of the inquiry into lorries, people and the environment. HMSO, London, 1980.
2. SCHEFFEY, CF. Experimental research required to define the life expectancy of highway bridges. Internal Working Document provided to the Group. Washington, D.C. June, 1981.
3. OECD, Road Research. Evaluation of load carrying capacity of bridges. OECD, Paris, 1979.
4. OECD, Road Research. Bridge inspection. OECD, Paris, 1976.
5. OECD, Road Research. Bridge maintenance. OECD, Paris, 1981.
6. OECD, Road Research. Bridge rehabilitation and strengthening. OECD, Paris, to be published in 1983.
7. ENPC. International conference on bridge management. Volumes I and II. Paris-Brussels, 13 - 17 April, 1981.
8. US DOT. An investigation of truck size and weight limits. Final report. Washington D.C. 1981.
9. CECA (Communauté européenne du charbon et de l'acier). Common final survey of the first phase measurement and interpretation of dynamic load on bridges. Starnberg, Liège, 1979.
10. FORSCHUNGSINSTITUT DER FRAUENHOFERGESELLSCHAFT, Laboratorium für Betriebsfestigkeit. Schlussbericht zur Forschungsaufgabe: "Die Ermittlung der Verkehrsbelastungen von Strassenbrücken zur Schaffung von Bemessungsunterlagen für Brückenteile" Darmstadt, 1st December, 1978.
11. VEJDIREKTORATET. Vejledende baereevnevurdering af Danmarks vejbroer. Broafdelingen, March, 1980.

VIII. Kapitel

Auswirkungen auf die Umwelt

VIII.1 Einleitung

Die Anwohner von dichtbefahrenen Verkehrsadern beklagen sich hauptsächlich über den Strassenverkehrslärm. Mehr als die Hälfte der Stadtbevölkerung betrachtet den Lärm als Hauptbelästigung des modernen Lebens; dabei wird der Schwerverkehr als wesentliche Lärmquelle angesehen. In Abschnitt VIII.2 werden die Lärmemissionen behandelt und in Abschnitt VIII.3 wird kurz das Problem der Bodenerschütterungen, der zweiten durch den Schwerverkehr verursachten Belästigung, betrachtet.

Schwerfahrzeuge werden normalerweise mit Dieselmotoren betrieben und geben aus diesem Grund Rauch-, Russ-, Geruch- und Staubemissionen ab. Obwohl die Rauchemissionen verhältnismässig gut unter Kontrolle gehalten werden können, wird die Verschmutzung durch Dieselmotoren im allgemeinen von der Bevölkerung noch immer als Umweltbelästigung empfunden; dabei scheinen diese Emissionen eher auf Motorfahrzeuglenker als auf die Anwohner störend zu wirken.

In Abschnitt VIII.4 werden die Luftverschmutzung und die Geruchsemissionen sowie die mit gewissen Schadstoffemissionen zusammenhängenden Gesundheitsgefährdungen kurz erläutert.

Schliesslich muss neben den spezifischen Belastungsfaktoren auch die allgemeine Besorgnis der Bevölkerung gegenüber dem Schwerverkehr erwähnt werden. Diese kommt in einer allgemein negativen Haltung zum Ausdruck, die sich wiederum auf die Furcht zurückführen lässt, die Schwerlastwagen durch ihre Grösse einflössen. Die hierüber verfügbaren Informationen sind in Abschnitt VIII.5 aufgeführt.

VIII.2 Lärmemissionen

VIII.2.1 Messungen und Indizes

Die meisten Länder nehmen zur Überwachung des Strassenverkehrslärms Messungen vor [1-4, 12]. Die so erhaltenen Daten werden in der Folge für die Entwicklung sowohl empirischer als auch mathematischer Modelle zur Prognostizierung von Lärmbelastung in verschiedenen Situationen und als Orientierungshilfe für neue Normen und Lärmbekämpfungsmassnahmen verwendet (4,5).

Die Verkehrslärmpegel werden in der Regel in einem Normtestverfahren unter Verwendung eines schalldruckempfindlichen Allrichtungsmikrophons gemessen, das auf 1,2 Meter Höhe in einer Entfernung von 7,5 Metern von der Strassenmitte angebracht ist. Schalldruckpegel werden in Dezibel ausgedrückt. Um einen Messwert zu erreichen, der mit der subjektiven Lärmempfindlichkeit übereinstimmt, wird normalerweise ein "A-Regulierungs-Filter" in den Mikrophonverstärker eingebaut. Dadurch werden die hohen und mittleren Frequenzen (um 1 KHz), für die das menschliche Ohr am empfindlichsten ist, besonders gewichtet. Die so gemessenen Lärmpegel werden somit in Dezibel-A-Einheiten ausgedrückt. Die der OECD-Konferenz über Lärmschutzmassnahmen entnommene Tabelle VIII.1 zeigt die für verschiedene Lärmquellen zu erwartenden Lärmpegel.

Eine Zunahme um 10 Dezibel des Schallpegels einer bestimmten Lärmquelle wird vom menschlichen Ohr als Verdoppelung der Schallstärke empfunden. Eine effektive Verdoppelung der Schallstärke (d.h. eine Verdoppelung der Anzahl von Lärmemittenten) aber ergibt eine Dezibelzunahme um 3 Einheiten. Bei der Prüfung von Lärmemissionen, welche von einzelnen Fahrzeugen, Fahrzeugkombinationen oder Fahrzeuggruppen herrühren, wird in der Regel der direkt von der Lärmquelle emittierte Schalldruckpegel gemessen, d.h., die gesamte A-gemittelte Schallenergie, die pro Zeiteinheit durch diese Lärmquelle in alle Richtungen abgegeben wird. Wenn also die direkt vom Fahrzeug abgegebene Schallstärke verdoppelt wird (Zunahme um 3 dB), so nimmt der unter dem oben erwähnten Normtestverfahren gemessene Wert ebenfalls um 3 dB zu. Um den Verkehrslärmschwankungen Rechnung zu tragen, werden verschiedene Indizes verwendet. In sol-

chen Indizes werden nicht nur physikalische Schallstärkenwerte, sondern auch die Standorte und Zeiträume der Messungen einbezogen. In den OECD-Ländern wird hauptsächlich der Leq-Index verwendet, der definiert wird als äquivalenter Dauerschallpegel in dB (A), der dasselbe Schallenergieniveau wie der am Standort effektiv gemessene variable Schallpegel hat. Manchmal wird auch der Index L10 verwendet, der definiert wird als Schallpegel {in dB (a)}, der während 10% einer bestimmten Messperiode erreicht oder überschritten wird. Dieser Index wird z.B. in Grossbritannien verwendet, um voraussichtliche Lärmbelastungen bestimmter Strassenbauvorhaben abzuschätzen und die Höhe der Entschädigung für vom Strassenverkehrslärm betroffene Personen zu berechnen.

Aus solchen Messungen geht hervor, dass bei einer Bezugsentfernung von 7,5 Metern die von Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen verursachte Lärm Spitze zwischen 70 und 80 dB (A) liegt; dabei liegen die meistgemessenen Werte zwischen 74 und 80 dB (A). Schwerfahrzeuge geben höhere Lärmmissionen ab, nämlich bis zu 95 dB (A); hier liegen die meistgemessenen Werte zwischen 84 und 90 dB (A).

VIII.2.2 Auswirkungen des Fahrzeuggewichts und der Fahrzeugart

Forschungen in Japan und im Vereinigten Königreich haben ergeben, dass sich die Schallemission von Fahrzeugen mit über 1,5 Tonnen Gesamtgewicht, die sich mit einer Geschwindigkeit zwischen 40 und 100 km/h auf freier Fahrt befinden, pro zusätzlicher Gewichtstonne durchschnittlich um 0,1 bis 0,2 dB (A) erhöht. Abgesehen von diesem theoretischen Schwankungsbereich bestehen aber in der Praxis zwischen Fahrzeugen mit demselben Gesamtgewicht viel grössere Schallemissionsschwankungen, die auf andere Ursachen zurückzuführen sind. Dies kommt in der Darstellung VIII.1 zum Ausdruck, welche die Ergebnisse einer japanischen Untersuchung wiedergibt.

In Frankreich stellte man fest, dass bei Lastwagen mit über 6 Tonnen Gesamtgewicht die Lärmmission pro zusätzliche Tonne um 0,1 dB (A) zunimmt. Auch hat sich gezeigt, dass die Fahrzeugart eine wesentliche Rolle für die Lärmmission spielt. So wurde beobachtet, dass ein Schlepper mit zweiachsiger Auflieger um 2 bis 3 dB (A) höhere Schallstärke erzeugt als einteilige Lastwagen. Ähnlich verhält es sich mit der Motorleistung, da die drei Faktoren Motorleistung, Gesamtgewicht und Fahrzeugart in der Regel zusammenhängen. Auf der anderen Seite hat auch das Fahrverhalten (konstante Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigungs- und Bremsvorgänge) einen noch nicht vollständig erforschten Einfluss auf den Lärmpegel.

VIII.2.3. Auswirkungen auf die Fahrgeschwindigkeit

Auswirkungen der Fahrgeschwindigkeit

In verschiedenen Ländern (so in Deutschland, Japan, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich) wurde die Beziehung zwischen Lärmmissionen und Fahrgeschwindigkeit von Lastwagen untersucht. Grundsätzlich kam man zum Schluss, dass bei einer Geschwindigkeit von unter 30 km/h die Lärmpegel nicht von der Fahrgeschwindigkeit abhängen. Bei höheren Geschwindigkeiten nimmt der Pegel bei jeder Geschwindigkeitsverdoppelung um 9 dB (A) zu, was auch mit gewissen theoretischen Schätzungen übereinstimmt. Dennoch gehen aus den Schwerverkehrslärmmissionen sehr unterschiedliche Emissionswerte hervor, die nicht nur auf die Fahrgeschwindigkeit zurückzuführen sind.

Eine in Frankreich durchgeführte Untersuchung (IRT-CERNE) zeigte ebenfalls grosse Lärmmissionsschwankungen bei einer gegebenen Geschwindigkeit {Abweichungen in der Grössenordnung von 15 dB (A)}. Messungen von Lärmmissionen, welche von Lastwagen auf offener Fahrstrecke verursacht werden, ergaben, dass die Lärmpegel bei Geschwindigkeiten zwischen 50 und 90 km/h nur in geringem Masse geschwindigkeitsabhängig sind. Gemäss dieser Untersuchung aber nimmt der Lärmpegel bei jeder Geschwindigkeitsverdoppelung durchschnittlich um schätzungsweise 3 bis 4 dB (A) zu.

VIII.2.4 Einfluss der Reifenart und der Oberflächentextur

Forschungen haben gezeigt, dass die auf der Strassenoberfläche erzeugten Reifenrollgeräusche von Lastwagen einen Lärmpegel von 60 bis 78 dB (A) erreichen können. Diese Lärmemission ist somit mit den anderen Lärmquellen des Fahrzeuges vergleichbar. Bei Geschwindigkeiten von über 60 bis 80 km/h nimmt das Rollgeräusch im Vergleich zu den anderen Lärmquellen des Fahrzeuges stärker zu. Die Lärmquelle "Reifen/Strassenoberfläche" hängt hauptsächlich von der Fahrgeschwindigkeit ab und nimmt bei Beschleunigungen von 30 auf 100 km/h um 16 bis 20 dB (A) zu. Weiter hängt die Stärke dieses Lärmpegels mit der Reifenausführung und den verwendeten Materialien, dem Reifenprofil und der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn zusammen sowie damit, ob die Fahrbahn trocken oder nass ist. In der Regel laufen gerillte Stahlgürtelreifen ruhiger {um 2 bis 3 dB (A)} als gekerbte Diagonalreifen. Auf Fahrbahnen mit offener Oberflächentextur werden weniger Rollgeräusche erzeugt als auf herkömmlichen Asphalt- oder Asphaltbetonoberflächen; die Geräuschemissionsunterschiede bei Oberflächen mit vergleichbarem Gleitwiderstand liegen zwischen 3 und 4 dB (A). Bei Oberflächenwasser können die Reifengeräusche um bis 10 dB (A) stärker sein als auf trockenen Fahrbahnen.

Verschiedene Forschungen wurden u.a. in Belgien und im Vereinigten Königreich durchgeführt, um die Beziehung zwischen Reifengeräuschen und Oberflächentextur festzustellen (7,8). Im Vereinigten Königreich wurden an verschiedenen Stellen mit den verschiedensten Oberflächentexturen und Oberbauten Lärmmessungen vorgenommen. Die so gemessenen Lärmpegel wurden mit dem - als prozentuale Veränderung des Gleitreibungsbeiwerts (GBR) ausgedrückten - Gleitwiderstand der Fahrbahn in Beziehung gesetzt. Dabei scheinen die Anforderungen nach genügendem Gleitwiderstand der Fahrbahn und das Bedürfnis nach Lärmreduzierung in einem gewissen Gegensatz zueinander zu stehen. Untersuchungen des belgischen Strassenforschungsinstituts (Centre de Recherche Routière belge - CRR) haben gezeigt, dass diese Widersprüchlichkeit nicht unvermeidbar sein muss und mit einer sorgfältigen Auswahl der Oberflächengrobtextur gelöst werden kann. Diese sollte einerseits genügend rauh sein, um Schleudervorgänge zu verhindern, andererseits keine Unregelmässigkeiten aufweisen, da diese Schallfrequenzen von über 800 Hz erzeugen können.

Die Forschungsgruppen der AIPCR und der OECD 1981/1982, welche die Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen untersuchten, befassen sich zur Zeit {der Berichtabfassung} mit der Frage, welche Kompromisse bei der Ausführung von Oberbauten eingegangen werden müssen, um der Verkehrssicherheit, dem Fahrkomfort und den Kriterien der Wirtschaft, Umwelt und Energie Rechnung tragen zu können. In schwedischen Forschungen (9) kam man zum Schluss, dass die Labornormtests betreffend Rollgeräuschemissionen verbessert werden müssen, um die entsprechenden Strassenormtests, in denen auch die Strassenarten mitberücksichtigt werden, zu ergänzen.

VIII.2.5 Lärmarme Lastwagen

Seit anfangs der sechziger Jahre laufen in verschiedenen europäischen Ländern sowie in den USA und in Japan Forschungsprogramme, welche die Lärmdämpfung bei Lastwagen zum Inhalt haben. Entsprechende Untersuchungen werden auch von den Fahrzeugherstellern selbst unternommen. Somit besteht zu diesem Thema eine Vielzahl von Informationen, die von der IRT-CERNE für die EWG zusammengetragen wurden (19).

Leider sind über die in Europa hergestellten Schwerfahrzeuge nur wenige Angaben über Lärmemissionen bekannt, so dass es schwierig ist, abzuschätzen, welche und wieviele der heutigen Fahrzeugtypen von einer strengeren Lärmemissionsregelung betroffen würden. Um den neueren Vorschriften zur Lärminderung um 3 dB (A) nachzukommen, haben die Fahrzeughersteller die herkömmlichen Fahrzeugtypen mit verbesserten Schalldämpfern und schallschluckenden Vorrichtungen am Motorgehäuse nachgerüstet. Die Vorrichtungen zur Reduzierung der Schallemissionen sind bei den neueren Modellen besser in die Gesamtkonstruktion der Fahrzeuge integriert und ermöglichen ohne bemerkenswerte Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch und die Leistungsfähigkeit eine Lärminderung um 3 bis 6 dB (A).

Vielfach besteht die Meinung, dass die Motorenkapselung die technologisch risikoärmste Methode zur Erzielung weiterer Lärmdämpfungen ist, doch können dadurch jene Lärmemissionen nicht vermindert werden, welche von der Antriebswelle, der Hinterachse und der Karosserie herrühren. Bei einige Modellen können die Emissionswerte durch eine Kapselung auf 80 dB (A) verringert werden {gemäss ISO R 362 Beschleunigungstest}, doch ist dieser Wert bei Lastwagen der oberen Leistungsklassen nicht erreichbar.

Mit einer Kapselung wird das Leergewicht erhöht und demzufolge die Nutzlast verringert. Ebenso nimmt der Treibstoffverbrauch zu, wenn auch nur in geringem Ausmasse {unter 0,1% pro dB (A)-Einheit Lärmverringerung}. Ausserdem nehmen die Kontroll- und Wartungsarbeiten mehr Zeit in Anspruch, was ebenfalls zu einer je nach Fahrzeugausführung unterschiedlichen Erhöhung der Gesamtkosten beiträgt {in der Grössenordnung von 0,1 bis 0,6% pro dB (A) Lärmverminderung}. Weitere Forschungen und Entwicklungen werden nötig sein, um Probleme wie thermisches Verhalten {Überhitzung}, erschütterungshemmende Vorrichtungen oder die Wahl der geeigneten Materialien und Konstruktionsteile zu lösen.

Dennoch ist man im allgemeinen der Ansicht, dass, um Schwerlastwagen mit höheren Motorleistungen so lärmarm zu konzipieren, dass sie für die Bevölkerung akzeptabel werden, von Anfang an eine Vielzahl von Vorrichtungen eingebaut werden müssen. Um zu überprüfen, inwiefern die Konzipierung und Herstellung von lärmarmen Schwerfahrzeugen zu angemessenen Kosten durchführbar ist, wurde im Jahre 1971 im Vereinigten Königreich ein von TRRL geleitetes und koordiniertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt eingeleitet. Dessen Ziel bestand darin, bei Fahrzeugen mit einem Gesamtgewicht bis zu 38 Tonnen und einer Motorleistung von bis zu 261 kW (320 BHP) die externen Lärmemissionen unter allen Betriebsverhältnissen um rund 10 dB (A) auf etwa 80 dB (A) zu vermindern. Zudem sollte der Lärm in der Führerkabine auf 75 dB (A) oder weniger reduziert werden. Diese Untersuchung wurde als Gemeinschaftsarbeit zwischen TRRL, dem "Institute of Sound and Vibration Research" und dem "National Engineering Laboratory" (NEL) durchgeführt.

In diesem Zusammenhang wurden von Leyland und Foden zwei Versuchsfahrzeuge gebaut, wovon eines mit einem 261-kW-Motor von Foden und Rolls Royce bis zur Produktionsphase weiterentwickelt und erstmals im November 1978 vorgeführt wurde. Die an diesem Versuchsfahrzeug unter dem Normtestverfahren gemessenen Lärmemissionswerte betrugen 79/81 dB (A) {extern} beziehungsweise 72 dB (A) {in der Führerkabine}.

Der vom Motor, Auspuff- Kühlsystem abgegebene Lärm wurde durch folgende Eingriffe verringert:

1. Die Motorsteuerung wurde von der Vorder- auf die Rückseite des Motors verlegt;
2. der Zylinderblock und das Kurbelgehäuse wurden neu konzipiert und verschiedene Konstruktionsteile verstärkt. Der Zylinderblock und das Kurbelgehäuse wurden mit Schalldämpferplatten versehen;
3. das Kurbelgehäuseunterteil wurde durch spezielle Gummidichtungen vom Kurbelgehäuse getrennt;
4. Von ISVR und MIRA wurde ein neues Auspuffsystem entwickelt: Dabei handelt es sich um ein hochreaktives Schalldämpfersystem aus sechs verschiedenen grossen Kammern, die mit perforierten Rohren voneinander getrennt sind. Mit dieser relativ kompakten Vorrichtung konnte somit ohne die Verwendung von schallschluckenden Materialien eine zufriedenstellende Verringerung der vom Motor verursachten Hoch- und Niederfrequenzschallemissionen erreicht werden;
5. Das NEL entwickelte ein neues Kühlungssystem mit hydraulisch betriebenen Mischluftventilator, bei dem die Luft durch den Kühler und das Motorgehäuse zirkuliert.

Dieses Fahrzeug wurde während 24 Monaten von einem Transportunternehmen ohne wesentliche Schwierigkeiten kommerziell genutzt, um dessen effektive Betriebskosten festzustellen. Eine Reduzierung der Lärmemissionen dieses Fahrzeugs auf 80 dB (A) würde gemäss ersten Schätzungen 8% Mehrkosten mit sich bringen und eine Zunahme der Unterhaltskosten um ebenfalls einige Prozent. Das Leergewicht ist ungefähr 8% höher als das Gewicht eines vollbeladenen Lastzuges ohne entsprechende Lärmdämpfungsanordnungen.

Auf der Tabelle VIII.2 {Quelle: IRT CERNE} sind die Lärmreduzierungen und die zu deren Erzielung verbundenen Kosten für 15 europäische und amerikanische Fahrzeuge mit Gesamtgewichten zwischen 7,5 und 38 Tonnen aufgeführt. Daraus geht hervor, dass bei einer Gesamtkostenzunahme um 6 oder gar nur um 5% eine Reduktion des Lärmpegels auf 80 dB (A) erreicht werden könnte. Diese Limite hängt jedoch von der Fahrgeschwindigkeit ab. Zwar kann der Emissionswert von 80 dB (A) auf trockenen Strassen und bei Geschwindigkeiten bis zu 70 km/h erreicht werden, doch nehmen bei höheren Geschwindigkeiten die Reifenrollgeräusche überhand.

Im IRT-CERNE-Schlussbericht 1982 (19) werden auch die Auswirkungen auf die Betriebskosten geschätzt. Die Unterhaltskosten würden demzufolge durchschnittlich um 0,6 bis 0,7% pro dB (A) Lärmverringerung ansteigen, doch scheint hier keine lineare Relation zu bestehen. Die Treibstoffkosten würden natürlich je nach tatsächlichem Verbrauch variieren. Bei lärmarmen Lastfahrzeugen kann diese Schwankung leicht positiv {+0,2%} oder negativ {-0,2%} ausmachen. Die gesamten mit einer Reduzierung der Lärmemissionen verbundenen Mehrkosten pro Fahrkilometer liegen bei 1,5% für Lastwagen mit mittleren und bei 1,1% für Lastwagen mit hohen Tonnagen. Das kommt einer Reduktion der Lärmpegel von 90 dB (A) um 10 dB (A) auf 80 dB (A) gleich {gemäss ISO R 362}. Dazu sei aber erwähnt, dass alle zur Zeit verfügbaren Daten sich auf die Nachrüstung bereits vorhandener Fahrzeuge beziehen; die entsprechenden Kosten wären bei neuen Fahrzeugen wahrscheinlich geringer.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Forschung auf diesem Gebiet zwar den Weg geebnet hat, dass aber einer wesentlichen Verringerung der vom Schwerverkehr erzeugten Lärmemissionen politische Entscheidungen vorangehen müssen, da die Transportunternehmer kaum von sich aus Mehrkosten von 6 bis 8% für die Lärmdämpfung ihrer Fahrzeuge tragen wollen. In der Schlussbemerkung der OECD-Konferenz über Lärmschutzmassnahmen (3) wird festgehalten, dass

"die entsprechenden Instanzen sobald als möglich und mit voller Unterstützung der OECD-Länder sich für eine Verminderung der Lärmemissionen von Motorfahrzeugen um 5 bis 10 dB (A) je nach Fahrzeugart"

aussprechen sollten {d.h. eine Reduktion auf 80 dB (A) für schwere Lastwagen und Autobusse}.

VIII.3 Bodenerschütterungen

Aus Forschungen, die unter anderem von der US Federal Highway Administration durchgeführt wurden, geht hervor, dass die Bodenerschütterungen vor allem mit dem Fahrzeuggesamtgewicht und der Fahrgeschwindigkeit zusammenhängen. Die Stärke der Bodenerschütterungen wird mit jeder Verdoppelung des Fahrzeuggesamtgewichtes ebenfalls mehr oder weniger verdoppelt; wird aber dasselbe Gesamtgewicht auf zusätzliche Achsen verteilt, werden die Erschütterungen schwächer. Gemäss diesen Untersuchungen nimmt der Erschütterungspegel bei einer Verdoppelung der Fahrgeschwindigkeit um rund 5 dB (A) zu.

Als primärer Erschütterungsfaktor gelten Unregelmässigkeiten in der Oberflächenstruktur. Der Erschütterungspegel kann somit je nach dem Abnutzungsgrad des Strassenbelages bis um 10 dB (A) zunehmen. Die Bodenerschütterungen verbreiten sich in einem Umkreis von 60 Metern, auf weitere Entfernungen aber sind sie praktisch nicht mehr spürbar. Japan scheint sich besonders mit dieser Problematik zu befassen und hat vor kurzem ein entsprechendes Gesetz erlassen. In einer im Jahre 1979 durchgeführten Forschungsarbeit (11) wurde in bezug auf die vom Schwerverkehr verursachten Erschütterungseffekte die im Anhang zu diesem Kapitel aufgeführte Formel erstellt.

$$L_{10} = 65 \log(\log Q^*) + 0.2 V + 4 \log M + \alpha_{\sigma} + \alpha_f + \alpha_A + \alpha_{\ell} + 14$$

where L_{10} = Predicted value of L_{10} (dB)

Q^* = Reduced traffic volume (vehicles/500sec/lane)

V = Mean running speed (km/h)

M = Total number of lanes in the road

α_{σ} = Modification term based on road roughness (dB)

α_f = Modification term based on ground conditions (dB)

α_A = Modification term based on cross section of embankment (dB)

α_{ℓ} = Modification term based on distance from road (dB)

(α_{ℓ} = 0 dB at a point 5 m away from center of lane at the estimated side of plane type roads, and at a point 5m away from the toe of embankment type roads).

Diese Formel gilt für ebene Strassen (einschliesslich solche auf Dämmen). Vom Schwerverkehr herrührende Erschütterungen können Schäden an Anliegergebäuden verursachen und die Abnutzung von Strassenbelägen beschleunigen. In einigen Ländern wurden verschiedene Gegenmassnahmen in Betracht gezogen:

1. Unterhalt der Strassen, um Unregelmässigkeiten in der Oberflächenstruktur und damit die Verursachung von Bodenerschütterungen zu vermeiden;
2. Verkehrsbeschränkungen; z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Zufahrtsbeschränkungen für gewisse Strassen;
3. Erdarbeiten wie z.B. mit lockerem Material aufgefüllte Gräben oder unterirdische Mauern um die Verbreitung von Erschütterungseffekten zu vermindern.

Die erste dieser Massnahmen ist die meistgeschätzte, da sie sich sowohl auf die Fahrbahnverhältnisse als auch auf die Verminderung der Erschütterungspegel positiv auswirkt.

VIII.4 Luftverschmutzung und Geruchsemissionen

Die Luftqualität wird durch Gase und Partikel verschiedener Herkunft beeinträchtigt. Gewisse Schadstoffemittenten sind stationär (z.B. Fabrikschlote), andere mobil (z.B. Personenwagen, Autobusse und Lastwagen). Die meisten Länder versuchen die Luftqualität unter Kontrolle zu halten, indem sie Schadstoffvorschriften erlassen. Ein Aspekt der Fahrzeugemissionen aber ist besonders schwierig zu kontrollieren, nämlich die Geruchsemission. Diese üblen Gerüche werden durch Verbindungen verursacht, die in sehr kleinen Mengen in den Fahrzeugabgasen vorkommen und denen mit gesetzlichen Regelungen nur schwerlich beigegeben werden kann. Im allgemeinen sind die Geruchsemissionen der Motorfahrzeuge dann weniger stark, wenn auch die Gesamtemissionen niedriger sind, also bei freiem Verkehrsfluss.

Die meisten Schwerfahrzeuge haben Dieselmotoren, deren Abgase schmutzig, übelriechend und daher stark belästigend sind. In welchem Masse sich die Schadstoffe auf die Bevölkerung auswirken, hängt von klimatischen Faktoren, von der Verkehrsdichte und der Verkehrsentfernung der Wohnzonen ab. Zwar geben Dieselmotoren weniger Kohlenmonoxyd ab als Benzinmotoren mit gleicher Leistung. Dieselmotoren haben jedoch einen viel höheren Stickstoffoxyd- und einen ungefähr zehn Mal so hohen Russpartikelaustritt. Auf den Strassen der OECD-Länder verkehren sechs Mal mehr Personen- und Lieferwagen mit Benzin- als Schwerfahrzeuge mit Dieselmotoren.

Die Fahrzeugabgase tragen je nach örtlicher Lage unterschiedlich stark zur Luftverschmutzung bei. Am beunruhigendsten sind natürlich die Verkehrskonzentrationen in städtischen Gebieten. Klimatische Faktoren können ebenfalls zu Schadstoffkonzentrationen beitragen, wogegen starke Winde die Verflüchtigung der Abgase begünstigen; starke Sonneneinstrahlung wiederum trägt zur Bildung von Sekundärschadstoffen, dem sogenannten "photochemischen Smog", sowie von Ozon und verschiedenen Oxyden und Stickstoffen bei.

Gewisse Partikelemissionen (z.B. mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe und Derivate), die sowohl in Diesel- als auch in Benzinmotorabgasen in kleinen Mengen vorkommen, sind besonders besorgniserregend, da es sich um mutagene Substanzen handelt, die krebserzeugend sein können {was sich anhand zahlreicher Laborversuche mit Tieren bestätigte}. Dennoch ist die vom Motorfahrzeugverkehr und der Industrie verursachte Belastung der vom Menschen eingeatmeten Luft klein im Vergleich zur freiwilligen Schadstoffaufnahme eines Rauchers. Im Vereinigten Königreich stellte man fest, dass mit der durchschnittlich pro Tag und Mensch eingeatmeten Luft die gleiche Schadstoffmenge aufgenommen wird wie beim Rauchen einer einzigen Zigarette. Epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass Menschen, die den oben erwähnten Dieselemissionen ausgesetzt sind, nicht gefährdeter sind als solche, die keine solche Emissionen ertragen müssen.

Die unangenehmen Auswirkungen der Abgase lassen sich vermindern, indem der Dispersionsgrad des Abgasausstosses erhöht wird. Bei Windkanal-Experimenten stellte sich heraus, dass bei Fahrzeugen mit ISO-Container-förmiger Ladung die Abgaskonzentration am geringsten ist, wenn das Auspuffrohr gleich neben der Hinterachse des Fahrzeuges angebracht ist. Die Abgase können durch die Verwendung von Katalysatoren im Abgassystem verringert werden. Damit werden die Partikelemissionen (nicht aber die Stickoxide) um rund 75% oder mehr verringert. Solche Ab-

gasanlagen dürften mindestens ebenso beständig sein, wie die herkömmlichen. Zwar sind speziell auf Dieselmotoren abgestimmte Katalysatoranlagen noch immer im Forschungsstadium, doch ist deren Verwendbarkeit wissenschaftlich nachgewiesen und sie werden z.Zt. in praktischen Versuchen erprobt.

VIII.5 Soziale und psychische Auswirkungen

In Grossbritannien wurde im Laufe der letzten Jahre entweder auf nationaler Ebene oder in bestimmten Gebieten eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, um die Meinung der Bevölkerung in bezug auf die Umwelteinwirkungen durch den Strassenverkehr zu ermitteln (13). Bei einer Umfrage gaben 66% der Befragten an, innerhalb ihrer Wohnungen Schwerverkehrslärm zu hören und 12% fühlten sich durch diesen Lärm beträchtlich belästigt. Die Antworten zeigten, dass die Lastwagen im allgemeinen die schlimmsten Lärmverursacher sind (obgleich auch viele andere Arten von Strassenverkehrslärm als Belästigung empfunden werden) und dass ein Teil der Bevölkerung durch Erschütterungen und Verkehrsabgase (welche meistens dem Schwerverkehr zugeschrieben werden) belästigt werden.

Wie aus einer Meinungsumfrage in Australien hervorging, wirken zwar der von den Lastwagen verursachte Lärm und deren Abgase störend auf die Bevölkerung. Noch beunruhigender aber sind die Geschwindigkeiten und die beim Überholen von Schwerfahrzeugen angetroffenen Schwierigkeiten (14).

Eine französische Studie ergab, dass zu Hause und am Arbeitsplatz der Lärm die am stärksten empfundene Belästigung ist. Die Lastwagen stellen zusammen mit den Personenwagen und Motorrädern eine der Hauptursachen dieser Belästigung dar. Die Fussgänger in städtischen Gebieten haben gegenüber Lastwagen eine negativere Haltung als jene in ländlichen Gebieten.

Besonderes Interesse galt der Frage, ob eine kleinere Anzahl von Schwerfahrzeugen mit hoher Nutzlast eine grössere oder eine kleinere Belastung darstellt als eine grössere Anzahl von leichteren Lastwagen mit insgesamt derselben Nutzlast. Seit 1976 wurden vom TRRL Untersuchungen durchgeführt, um die Haltung der Bevölkerung in bezug auf verschiedene Lastwagengrössen festzustellen (16; 17).

Bei den ersten Studien wurden drei Versuche mit Lastwagen auf je einer Rundfahrt durch die beiden englischen Städte Boreham Wood und Marlow vorgenommen. Beim ersten Versuch (A) handelte es sich um einen vierachsigen Sattelschlepper mit einer Nutzlast von 16 Tonnen, beim zweiten (B) um zwei Lastwagen mit je 8 Tonnen Nutzlast, beim dritten (C) um vier Lastwagen mit je vier Tonnen Nutzlast, so dass in allen Versuchen (A, B, C) ein Gesamtgewicht von 16 Tonnen erreicht wurde. Die Anwohner und Fussgänger wurden gebeten, auf die Vorbeifahrt der Lastzüge zu achten und darauf anhand von Fragen ihre Meinung über diese drei Varianten zu äussern, sowie anzugeben, welche sie vorziehen würden.

Die Ergebnisse dieses Experiments sind in der Tabelle VIII.3 aufgeführt. Die Schlussfolgerungen dieser Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Zwar wurde dem zweiten Lastzug (zwei einzelne Schwerfahrzeuge) im grossen und ganzen der Vorzug gegeben, doch entschied sich keine überwältigende Mehrheit klar für eine der drei Varianten;
- b) Die Antwort der Befragten unterschieden sich nicht wesentlich zwischen den beiden Städten;
- c) Die Befragten nannten den Lärm, die Erschütterung und die Grösse der Fahrzeuge als Hauptbelästigung bei der Vorbeifahrt der Lastzüge (und erst in zweiter Linie die Abgase, negative visuelle Eindrücke und Sicherheitsaspekte, Verkehrsstockungen und andere Auswirkungen);
- d) Über 70% der Befragten waren der Meinung, dass der Schwerverkehr auf gewisse Durchfahrtsstrecken beschränkt werden sollte, um die anderen Strassen zu entlasten. (Was nicht heisst, dass die befragten Anwohner ihre Strasse als Lkw-Durchfahrtsstrecke akzeptieren würden).

Unterschiedlich viele, d.h. zwischen 40 und 78% der Befragten fanden, dass eine oder mehrere der folgenden Massnahmen für eine Verminderung der vom Schwerverkehr verursachten Belästigungen "nützlich" wären:

- a) Vermeiden von Überladungen;
- b) Beschränkung der Abgasmenge und der Abgasarten;
- c) Verminderung von Erschütterungen und Lärmemissionen;
- d) Besserer Unterhalt der Fahrzeuge;
- e) Mehr und niedrigere Geschwindigkeitslimiten für Lastwagen.

In der dritten Studie wurden den Befragten Photographien eines Schwerfahrzeuges mit 16 Tonnen Nutzlast, von zwei Lastwagen mit je 8 Tonnen und von vier Lastwagen mit je 4 Tonnen Nutzlast gezeigt (17). Rund die Hälfte der Befragten zog die "mittlere" Variante vor, während sich je ein Viertel entweder für die "kleine" oder die "grosse" Variante entschied. Rund doppelt so viele der Befragten, welche die Variante der Schwerfahrzeuge mit den kleinsten Tonnagen für die schlimmste Lösung hielten, fanden, dass die Variante mit den höchsten Tonnagen die schlechteste Lösung ist. Somit ergab sich für die drei Varianten ein Gesamtklassament von "mittel" an erster Stelle, gefolgt von "klein" an zweiter und von "gross" an letzter Stelle.

Eine Frageserie betraf die Einstellung der Befragten in bezug auf die verschiedenen Fahrzeugabmessungen; dabei lautete die Hauptfrage wie folgt:

"Stellen Sie sich jemand vor, der ein Haus an einer bewohnten Verkehrsstrasse kaufen möchte. Er mag Verkehrsbelästigungen nicht. Nun hat er die Wahl zwischen zwei gleichartigen Häusern an zwei verschiedenen Strassen. Er zählt die Lastwagen, welche auf jeder der beiden Strassen vorbeifahren. Auf der einen Strasse verkehren wenig, dafür aber grosse Lastwagen. Auf der anderen Strasse verkehren mehr, dafür kleinere Lastwagen, die somit insgesamt dieselbe Gütermenge wie die grossen Lastwagen auf der ersten Strasse befördern. Für welche Strasse wird er sich ihrer Meinung nach entschliessen?"

Bei den Befragungen wurden folgende Varianten in Betracht gezogen:

- a) Eine Strasse mit 5 Lkw zu je 20 Tonnen Nutzlast (NLt) verglichen mit einer Strasse mit 10 Lkw à 10 NLt;
- b) eine Strasse mit 5 Lkw à 20 NLt verglichen mit einer Strasse mit 20 Lkw à 5 NLt;
- c) eine Strasse mit 10 Lkw à 10 NLt verglichen mit einer Strasse mit 20 Lkw à 5 NLt.

Bei der Variante b (5 grosse oder 20 kleine Lastwagen) zogen 57% der Befragten die grossen und 37% die kleinen Lastwagen vor. Bei den beiden anderen Varianten wurde keiner der jeweils zwei Möglichkeiten der Vorrang gegeben. Das bedeutet, dass, obwohl - wie man eigentlich hätte annehmen können - einteiligen Lastwagen mit kleineren Nutzlasten in der Regel als weniger belästigend angesehen werden als die Fahrzeuge mit hohen Tonnagen, gewisse Personen weniger, dafür grossen Lastwagen oder Lastzüge vorziehen.

Anhand dieser Befragungen liessen sich einige allgemeine Feststellungen machen:

- a) Ungefähr 12% der britischen Bevölkerung sind zu Hause beträchtlichen Schwerverkehrsbelästigungen ausgesetzt. Die meisten Briten leben an Strassen mit schwachem Lastwagenverkehr;
- b) Über 40% der Befragten fanden, dass Lkw-Fahrer rücksichtsvoller sind als die Lenker anderer Fahrzeuge;
- c) Etwa die Hälfte war der Ansicht, dass trotz der Unerlässlichkeit des Schwerverkehrs viel mehr für die Verminderung der Schwerverkehrsbelästigung getan werden könnte.

1975 wurde von der Universität Kopenhagen eine Untersuchung über die psychischen Auswirkungen des Lärms auf die Wohnbevölkerung veröffentlicht. Dabei waren 960 Frauen aus ähnlichen sozialen und wirtschaftlichen Verhältnissen befragt worden, wovon 483 in ruhigen Zonen mit einem Lärmpegel von rund 60 dB (A) lebten, die anderen 477 in lärmigen Quartieren mit ei-

nem Lärmpegel von über 70 dB (A), in denen der Schwerverkehr Hauptlärmquelle ist. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) 47% der Bewohner lärmiger und 31% der Bewohner ruhiger Zonen gaben an, sich vom Lärm belästigt zu fühlen;
- b) 19% der Bewohner lärmiger und 12% der Bewohner ruhiger Zonen hatten im Verlauf der vorangehenden 5 Jahre psychische Probleme und aus diesem Grund einen Psychiater aufgesucht;
- c) 4% der Bewohner lärmiger und 2% der Bewohner ruhiger Zonen hatten für eine psychiatrische Behandlung bereits einen Spitalaufenthalt hinter sich;
- d) 25% der Bewohner lärmiger und 17% der Bewohner ruhiger Zonen nahmen regelmässig Beruhigungsmittel zu sich.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Bewohner lärmiger Zonen eher zu psychischen Störungen neigen als solche, die in ruhigen Zonen wohnen.

Tabelle VIII.1

Lärmskala (3)

Lärmpegel dBA	Lärmquellen
120	Flugzeug beim Start
110	Popmusik-Gruppe
100	Presslufthammer (1m Entfernung); Lärmspitzen an Flughäfen
90	LKW, Motorrad, Autobus (älteres Modell) (7m Entfernung); ältere Untergrundbahn
80	Vielbefahrene Kreuzung; Untergrundbahn mit Gummibereifung
70	Aussenlärmpegel an Autobahn; lärmiger Büroraum
60	Belebte Strasse bei offenem Fenster
50	Belebte Strasse bei geschlossenem Fenster
40	Ruhiges Wohnzimmer
30	Ruhiges Schlafzimmer; Blätterrauschen
20	Aufnahmestudio; Wüste

Tabelle VIII.2

Mehrkostenschätzungen für Lärmbekämpfungsmassnahmen
an 15 LKW-Modellen (19)

LKW-Marke und -Typ	Anfänglicher Lärmpegel (ISO R 362 oder Schätzung) dB(A)	Erzielte Reduktion in dB(A)	Mehrkosten in %
Renault V.I. 38t	91	11	4.6-5.4
		6.5	1.0-1.2
Magirus Deutz 7.5t	90	13	7.6
		10	5.5
Foden (TRL) 38t	90	10	8.0
Skania 20t	88	4	1.5-2.0
Saurer 17t	87	3	1.8
Volvo 38t	91	5	1.5
Volvo 13t	89	5	3.0
Freighliner 20t	93	13	4.9
		8	3.4
		5	1.9
White Motor 19t	92	10	5.3
		7	1.2
International Harvester 21t	93	10	5.6
		8	2.1
General Motors 36t	87	10	2.8
Ford 36t	84	5	2.7
International Harvester 36t	86	8	3.0
Mack	87	6	
General Motors	88	7	

Tabelle VIII.3

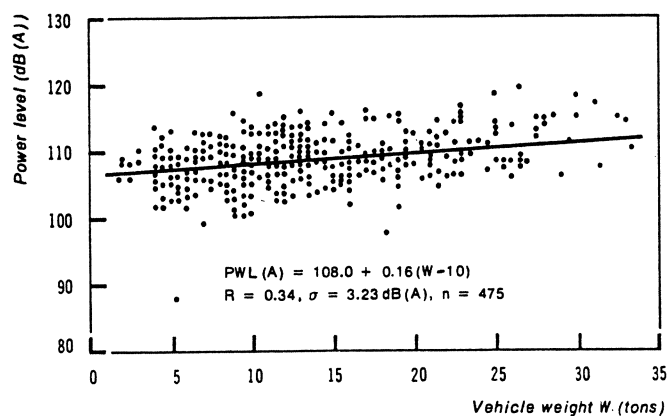
Anzahl der einbezogenen Personen und
Auflistung der verschiedenen Präferenzen

Lastzug *)		Borehamwood		Marlow		Total
Stärkste Belastung	Schwächste Belastung	Anwohner	Fussgänger	Anwohner	Fussgänger	
A	C	15	24	21	15	75
A	B	3	13	16	21	53
B	A	10	5	5	2	22
B	C	9	3	2	5	19
C	A	17	32	30	25	104
C	B	2	5	5	12	24
alle gleichmässig belastigt		3	4	2	1	10
überhaupt nicht belastigt		7	1	10	4	22
TOTAL		66	87	91	85	329

- *) Lastzug A = vierachsiger Sattelschlepper mit 16 Tonnen Nutzlast
 Lastzug B = zwei zweiachsige LKW's mit je 8 Tonnen Nutzlast
 Lastzug C = vier zweiachsige LKW's mit je 4 Tonnen Nutzlast

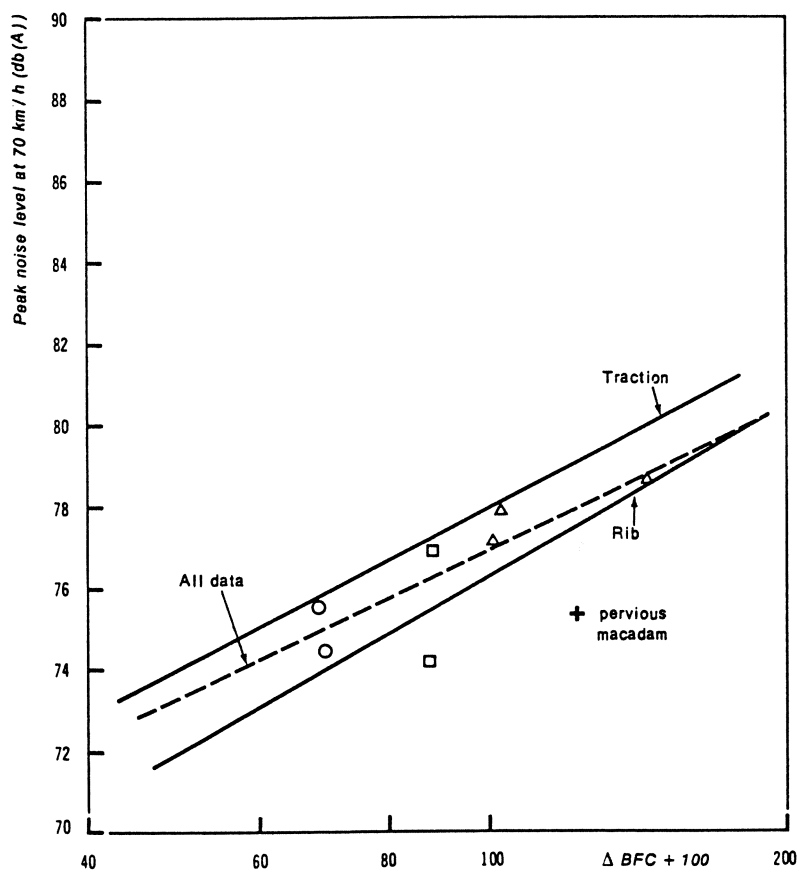
Figur VIII.1

Beziehung zwischen Gesamtgewicht und Schallstärke
von Schwerfahrzeugen im Strassenverkehr



Figur VIII.2

Beziehung zwischen Lärmhöchstpegel und
Gleitwiderstand (GRB)



References:

1. LYDEKNISK LABORATORIUM, Måling af støj fra tunge køretøjer, 1980.
2. JAPAN TRAFFIC POLICY STUDY GROUP. Survey on noise generated from motor vehicles being used. November 1979 (in Japanese).
3. OECD. Proceedings of Conference on Noise Abatement Policies. 7th-9th May, 1980. OECD, Paris, 1981.
4. NELSON, PM, PINER, RJ. Classifying road vehicles for the prediction of road noise. Transport and Road Research Laboratory. TRRL Report LR 752. Crowthorne, 1977.
5. DAVY, TM, REAGON, J. FHWA Highway traffic noise prediction model. FHWA-RD-77-108. Washington, D.C., 1978.
6. NELSON, PM. Controlling road traffic noise. Noise Control and Vibration Isolation. Page 363. November 1978.
7. NELSON, PM. The effects of road surface texture on traffic noise emissions. International Conference on Noise Control Engineering. San Fransisco, 1978.
8. DESCORNET, G. Influence des caractéristiques de surface sur le bruit de roulement des véhicules. La Technique Routière, No. 4. Brussels, 1980.
9. SANDBERG, U. Conference report: International tyre noise conference in Stockholm, August, 1979. National Road and Traffic Research Institute, Linköping, 1980.
10. TYLER, JW. TRRL quiet vehicle programme. Quiet heavy vehicle (QHV) project. Transport and Road Research Laboratory. TRRL Supplementary Report SR 521. Crowthorne, 1979.
11. PLANNING DIVISION, ROAD BUREAU AND PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE. Study on measures for road traffic vibration. Ministry of Construction, Japan. (In Japanese).
12. ROUMEGOUX, JP. Estimation des paramètres des véhicules de transport de marchandises à rattacher aux émissions de bruit, de vibrations et de pollution; gêne aux abords des voies rapides urbaines. Institut de Recherche des Transports. Arcueil, 1975.
13. MORTON WILLIAMS, J, HEDGES, B, and FERNANDO, E. Road traffic and the environment. Social and Community Planning Research. London, 1978.
14. FRY, AT, EASTON, GR, KER, IR, STEVENSON, JMcL. and WEBBER, JR. A study of the economics of road vehicle limits: summary and recommendations. NAASRA ERVL Study Team Report R1, 1975.
15. MAURIN AND ASSOCIATES. Enquete nationale sur les nuisances dues aux moyens de transports. IRT-CERNE, 1980.
16. ROSMAN, PF. Alternative sizes of lorry; two investigations into public preferences. Transport and Road Research Laboratory. TRRL Supplementary Report SR 210. Crowthorne, 1976.
17. BAUGHAN, CJ. Public attitudes to alternative sizes of lorry - A study in a residential area. Transport and Road Research Laboratory. TRRL Supplementary Report SR 509. Crowthorne, 1979.
18. RELSTER, E. Traffic noise annoyance. Report published by University of Copenhagen. Polyteknik Forlag. Lyngby, 1975.
19. FAVRE, B. and LAMBERT J. Perspectives de réduction du bruit des véhicules routiers pour 1985 et 2000 compte tenu des possibilités techniques, de la consommation énergétique et du coût. Rapport final. IRT-CERNE, January 1982.

IX. Kapitel

Fahrzeugnutzung und Energiefragen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Nutzungsarten der Lastfahrzeuge näher betrachtet. Damit wird eine Grundlage für das nachfolgende Kapitel gegeben, das die verschiedenen wirtschaftlichen Aspekte sowie die mit dem Schwerverkehr zusammenhängenden Kosten untersucht. Bei den Betrachtungen über die Nutzungsarten {Abschnitt IX.1} wird vor allem auf das Vereinigte Königreich Bezug genommen, das in dieser Hinsicht weitgehend repräsentativ sein dürfte. Danach werden die Produktivitätsindikatoren {Abschnitt IX.2}, die Häufigkeit von überladenen Lastfahrzeugen in den verschiedenen Ländern {Abschnitt IX.3} und im letzten Abschnitt {IX.4} der Treibstoffverbrauch behandelt.

IX.1 Nutzungsarten**IX.1.1 Verwendung von Lastfahrzeugen nach Gewichtsklassen**

Der Ausschuss der Automobilhersteller des Gemeinsamen Marktes (Committee of Common Market Automobile Constructors - CCMC) gab für Güterbeförderungsfahrzeuge folgende Klassifizierung nach Gesamtgewichten und entsprechender Verwendungsweise (betrifft nur Europa):

Tabelle IX.1

Verwendung von Lastfahrzeugen
nach Gesamtgewichtsklassen
(CCMC)

Gesamtgewichtsklassen (t)	Übliche Verwendungsart
< 10	innerstädtische Transporte
10-15	Nahtransporte
15-19	Nahtransporte (2 Achsen)
20-26*	Nahtransporte (3 Achsen)
24-30*	Nahtransporte (4 Achsen)
21-26	Nahtransporte (Lastzug)
26-*	Ferntransporte (Lastzug)
< 38	Unteilbare Güter

* Natürlich gibt es hier je nach einzelstaatlichen Regelungen Abweichungen.

IX.1.2 Beispiele üblicher Nutzungsarten (Vereinigtes Königreich)

Auf welche Weise ein bestimmtes Frachtgut befördert wird, hängt von der Beschaffenheit, dem Gewicht und dem Umfang der beförderten Güter ab sowie von der Anzahl der Bestimmungsorte und der von den Abnehmern verlangten Zustellungsart. Im Vereinigten Königreich kann die Beförderung vom Produzenten zum Endbenutzer in einer oder mehreren Etappen erfolgen, wobei jeweils für jede Etappe verschiedene Verkehrsträger (hauptsächlich Strasse und Schiene) benutzt werden können. Bei den Etappen, in denen der Strassentransport in Anspruch genommen wird, kann die Beförderung in einer der fünf nachstehend aufgeführten Arten erfolgen; dabei handelt es sich bei den Punkten 1 bis 3 um "einmalige Beförderungen" und bei den Punkten 4 und 5 um "mehrmalige Beförderungen".

1. Beförderung einer Ladung mit einem Sattelschlepper von einer Ausgangsstelle, z.B. Fabrik, zu einem einzigen Bestimmungsort, z.B. zu einem Depot oder zum Endbenutzer. Bei dieser Beförderungsart besteht die Ladung meistens aus Paletten (1/1/2m), die mit Gabelstaplern auf den Anhänger geladen werden; dabei kann die Gesamtlast bis zu 22 Tonnen betragen. Das

Schleppfahrzeug muss erst unmittelbar vor Abfahrt an den Auflieger gekoppelt werden; ebenso wird der Auflieger gleich nach der Ankunft am Bestimmungsort abgehängt und von Hilfspersonal abgeladen, während der Lastwagenfahrer mit dem Schleppfahrzeug - eventuell bereits mit einem anderen Auflieger an den Ausgangsort zurückkehrt. Hierbei handelt es sich um eine wirtschaftlich rationelle Beförderungsart, da der Fahrer und das Schleppfahrzeug, die beiden teuersten "Arbeitskräfte", stets unterwegs sind.

2. Beförderung einer Ladung von einem Ausgangsort zu einem einzigen Bestimmungsort wie oben, mit dem Unterschied, dass hier das Fahrzeug warten muss, bis es abgeladen ist. Beispiel hierfür sind Beförderung von Flüssigstoffen in Tankwagen oder von unteilbaren Gütern (Maschinen, Sand, Kies usw.).
3. Endzustellung von Gütern von einem Lagerhaus an einen einzigen Bestimmungsort. So verfügen z.B. grosse Einzelhandelsgeschäfte über Lagerhäuser, an welche die verschiedensten Waren direkt ab Produktionsstätte (oder anderen Provenienzen) zugestellt werden. In diesen Lagerhäusern werden die erforderlichen Waren entsprechend dem Warenbedarf der Verkaufsstelle sortiert und zusammengestellt und darauf mit Lieferfahrzeugen direkt zu den einzelnen Verkaufsstellen befördert. Ein einzelnes Fahrzeug beliefert demnach die Einzelgüter mit deren gesamtem Tagesbedarf an Waren. Die Grösse der Lieferfahrzeuge hängt vom Umfang der Lieferaufträge der Einzelhändler ab, in Grossbritannien werden indes meistens Fahrzeuge mit höchstzulässigen Gewichten und Abmessungen verwendet (Sattelfahrzeuge mit 32,5 Tonnen Gesamtgewicht, 15 m Gesamtlänge und einem Auflieger von 12,2 m Länge). Diese Betriebsweise ist nur möglich, wenn der Umfang der Beförderungsmasse gross genug ist, um die Investitionen für die Erstellung von Lagerhäusern und die Anschaffung einer angemessenen Fahrzeugflotte zu rechtfertigen. Bei dieser Beförderungsart werden die Energieressourcen effizient genutzt, da die Anzahl der Lastfahrzeuge beschränkt und damit die Umweltbelastung pro beförderter Fracht minimal ist.
4. Warenlieferungen an zahlreiche Bestimmungsorte. Die Lastwagen bedienen mehrere Zulieferstellen und kehren leer an den Ausgangsort zurück, wo sie wieder beladen werden. Die Anzahl Ladungen kann zwischen 5 und 50 variieren und die Lieferungen werden durch einen Fahrer und eventuell einen Beifahrer ausgeführt. In der Regel gehen solche Zustellungen nicht über einen Umkreis von 80 Kilometern hinaus. Das Gesamtgewicht und die Abmessungen der Fahrzeuge hängen vom Umfang und vom Gewicht der innerhalb eines Arbeitstages (rund acht Stunden im Vereinigten Königreich) zustellbaren Waren ab. Normalerweise werden Lastwagen mittlerer Grösse mit einem Gesamtgewicht zwischen 12 und 24 Tonnen verwendet.
5. Langstreckentransporte mit mehreren Bestimmungsorten. Manchmal ist der Umfang der ab einer Fabrik zu befördernden Güter nicht so gross, um die Erstellung von Depots zu rechtfertigen. In solchen Fällen erfolgt die Belieferung der Endbenutzer direkt ab der Produktionsstätte und kann z.B. zwei Tage in Anspruch nehmen. Für Ladungen mit geringer Dichte (Süsswaren, Frühstücksgetreide usw.) werden Lastwagen/Anhängerkombinationen mit auswechselbaren Aufbauten verwendet. In der Regel wird der ganze Lastzug zu einem Lastwagenpark innerhalb eines typischen Abnehmergebietes gefahren, wo der Anhänger abgehängt wird. Das Schleppfahrzeug mit beladenem Aufbau führt sodann die Lieferungen aus und kehrt leer auf den Lastwagenpark zurück, wo die Aufbauten ausgewechselt werden. Darauf führt das Schleppfahrzeug mit dem zweiten, beladenen Aufbau eine weitere Liefertour durch. Bei geringem Güterumfang wird ein einziges Schwerfahrzeug mittlerer Grösse verwendet, manchmal aber erfolgen diese Transporte mit Lastzügen mit höchsten Abmessungen. Diese Nutzungsart wird von Bewohnern städtischer Gebiete und von anderen Verkehrsteilnehmern oft mit der Begründung kritisiert, dass die Benützung eines Fahrzeuges mit Höchstabmessungen in diesem Falle nicht rationell sei, da die Bestimmungsorte nur mit einem Teil der Ladung beliefert würden.

IX.1.3 Anpassung der Fahrzeugeigenschaften an die Bedürfnisse

Die Grösse und die Art der Fahrzeuge hängen von der Beschaffenheit der Frachtgüter und der Verteilungsart ab. Die Dichte der beförderten Güter kann stark variieren (sie kann beispielsweise von Schaumstoffmatratzen bis zu Bleibarren reichen). Auch sind je nach Frachtgut hinsichtlich Beschädigungen, Hitze-, Kälte- oder Witterungseinflüsse, Verunreinigung durch andere Stoffe usw. unterschiedliche Transportschutzmassnahmen erforderlich. Die Palette des Strassentransports reicht von Einzelbelieferungen von Haushalten mit Milchprodukten (viele Bestimmungsorte, kleine Liefermengen, kleine Fahrzeuge) über die Belieferung von Verkaufsstellen (3 bis 30 Be-

stimmungsorte, grössere Liefermengen, Fahrzeugmengen abhängig von den Lieferfristen) bis zur Zustellung von massigen und/oder schweren Frachten an einen einzigen Bestimmungsort (Fahrzeuge mit grösstmöglichen Abmessungen und Tonnagen).

Um den Anforderungen auf bestmögliche Weise zu entsprechen, bemühen sich die Fahrzeughersteller, die Fahrzeuge einer gegebenen Grösse so zu konzipieren, dass sie maximale Nutzlasten tragen können. Im Vereinigten Königreich sind z.B. für Lieferfahrzeuge mittelgrosse, einteilige Lastwagen mit zwei oder drei Achsen (bis zu 24 Tonnen Gesamtgewicht) ausreichend. Deren Nutzlast ist hoch genug, um die Liefermenge eines Tages befördern zu können, und da ihre Radabstände enger als bei grossen Sattelschleppern sind, sind sie genügend wendig für den Stadtverkehr. Die neuesten Fahrzeuge verfügen über Einrichtungen, welche das Abladen vereinfachen, so z.B. Rollpalette und Hebebühnen. Wenn die Güter massig, aber verhältnismässig leicht sind (z.B. Möbel), oder wenn sie über Distanzen von mehr als 160 km befördert werden müssen, werden, wie oben erwähnt, Lastzüge mit auswechselbaren Aufbauten benutzt. Diese sind im allgemeinen so konstruiert, dass der Fahrer in der Lage ist, die Aufbauten sowohl des Schleppfahrzeugs als auch des Anhängers selbst auszuwechseln.

Sattelschlepper werden meistens für die Beförderung massiger oder schwerer Frachten mit einem oder zwei Bestimmungsorten verwendet. Solche Fahrzeuge haben jedoch einen grösseren Wenderadius (5 m oder mehr) als Lastwagen/Anhänger-Kombinationen oder Einzelfahrzeuge mit engen Radabständen und kleinem Wenderadius und können daher nur auf Strassen verwendet werden, die keine scharfen Kurven aufweisen. Die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die verschiedenen Achsen hängt weitgehend von der Achsschenkelposition ab. In gewissen Ländern (z.B. in den USA) werden die schwersten Fahrzeuge so konstruiert, dass die Achsschenkelpositionen verändert werden können, um im Falle grenzüberschreitender Transporte den gegebenenfalls unterschiedlichen Achslastvorschriften genügen zu können.

Für gewisse Güter führen die Transportwege sowohl über Strassen mit guten Belägen als auch über holperigen Boden (z.B. Zufahrten zu Baustellen für Kies- und Sandtransporte oder Abfuhr von Aushubmaterial bei Erdarbeiten). Für solche Fälle müssen in der Regel die schwerstmöglichen Lasten auf möglichst wendigen Fahrzeugen befördert werden. Dafür werden oft kurze Lastwagen mit drei Achsen (mit 24 Tonnen Gesamtgewicht im Vereinigten Königreich) oder mit vier Achsen (30 Tonnen) verwendet. Obwohl Gelenkfahrzeuge schwerere Lasten tragen können, sind sie für solche Transporte weniger geeignet, da sie weniger wendig sind und durch ihre Grösse weniger Sicherheit auf unebenem Boden bieten können.

IX.2 Produktivitätsindikatoren

Die Untersuchung der Produktivität des Strassentransportwesens stellt uns vor vielfältige Probleme und verlangt eine erschöpfende Analyse der verschiedenen volkswirtschaftlichen Sektoren. In diesem Abschnitt soll versucht werden, die "internen Produktivitätsindikatoren" für den Schwerfahrzeugpark zu ermitteln, d.h. die Veränderungen der verfügbaren Verkehrskapazitäten, den Produktionsumfang, den Ausnutzungsgrad, die Anpassung des Schwerfahrzeugparks in seiner Eigenschaft als Produktionsmittel an die zu erfüllenden Bedürfnisse. Es geht also nicht darum, die Produktivität in einer gesamtwirtschaftlichen Sichtweise zu ermitteln, obgleich gewisse Indikatoren dazu verwendet werden können.

In diesem Sinne kann die Produktivität auf verschiedene Weise ermittelt werden. Wir werden uns auf gewisse Aspekte beschränken, die es ermöglichen, gewisse Tendenzen in bezug auf die Leistungsfähigkeit der Schwerfahrzeugflotte zu erkennen und die uns einen Rahmen für wirtschaftliche Analysen beschaffen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen besonderen Produktivitätsparametern und allgemeinen Produktivitätssteigerungen.

IX.2.1 *Besondere Produktivitätsparameter**Durchschnittliche Nutzlast*

Die Parameter der durchschnittlichen Nutzlast kann für bestimmte Fahrzeugarten, für Fahrzeuggruppen oder für den gesamten Fahrzeugpark bestimmt werden und kann nützliche Hinweise auf Veränderungen und Entwicklungen geben. Nachstehend sind die durchschnittlichen Nutzlasten dreier Länder aufgelistet.

Belgien:	5,3 t im Jahre 1978 und 1979 (gesamter Fz-Park)
Frankreich:	11,0 t im Jahre 1976 und 11,6 t im Jahre 1979 (für Fahrzeuge mit einer Nutzlast von über 3 t)
Irland:	4,2 t im Jahre 1980 und 2,8 t im Jahre 1979 (gesamter Fz-Park)

Fahrzeugleistung

Die Fahrzeugleistung kann in Tonnenkilometern ausgedrückt und auf den gesamten Fahrzeugpark, auf eine bestimmte Fahrzeugart oder eine Fahrzeuggruppe (z.B. gegliedert nach Nutzlastkategorien oder Gesamtgewichtsklassen) bezogen werden. Dazu lieferten einige Länder folgende Angaben:

Frankreich	Durchschnitt pro Fahrzeug	2,26 x 10 ⁶ -t-km für 1979 1,58 x 10 ⁶ -t-km für 1976
Deutschland	Gesamter Fz-Park	124,400 x 10 ⁶ -t-km für 1980
Irland	Gesamter Fz-Park	1,327.5 x 10 ⁶ -t/km für 1979
Italien	Gesamter Fz-Park	88,022 x 10 ⁶ -t/km für 1978 und 58,658 x 10 ⁶ -t/km für 1970
UK*)	Durchschnitt pro Fahrzeug:	0,62 x 10 ⁶ -t/km für 1977
	Gesamter Fz-Park	49,190 x 10 ⁶ -t/km für 1977
USA	Gesamter Fz-Park	734,400 x 10 ⁶ -t/km für 1977

*) Fahrzeuge mit einem Ladegewicht von über 31 Tonnen.

Jahresdurchschnitt der Fahrstrecken

Die durchschnittlichen Fahrzeugstrecken pro Jahr können für gewisse Fahrzeugarten, für Fahrzeuggruppen oder als gewichteter Durchschnittswert für den gesamten Fahrzeugpark ermittelt werden. Dazu wurden folgende Angaben gemacht:

Frankreich	29'500 km für 1979 und 24'500 km für 1976 42'000 km/Jahr für Sattelschlepper)
Deutschland	63'000 km für Sattelschlepper und 20'600 km für Lastwagen 1980
Irland	16'515 km im Jahre 1979 für Fahrzeuge mit einem Leergewicht unter 1,5 t und 25'425 km für die anderen Fahrzeuge
UK	60'000 km im Jahre 1977 für Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von über 31 t.
USA	81'000 km für Sattelschlepper und Lastzüge im Jahre 1977

Art der beförderten Güter

Interessante Ergebnisse zeigen Untersuchungen darüber, wie der Güterverkehr und die durchschnittlichen Transportdistanzen je nach Art der beförderten Güter strukturiert sind. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse für Frankreich (gesamter Fahrzeugpark) und für das Vereinigte Königreich (Fahrzeuge mit über 31 t Gesamtgewicht). Dabei wurden die verschiedenen Kategorien auf identische Weise unterteilt (NST-Normen).

Ein Punkt der besondere Beachtung verdient, ist die durchschnittliche Güterbeförderungsdistanz. In Frankreich ist sie von 42 km im Jahre 1966 auf 69 km im Jahre 1979 angestiegen, was einem linearen Anstieg von rund 5% entspricht. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Transportdistanzen je nach beförderter Güterart stark variieren können. Sie reichen von z.B. 27 km für Baumaterialien (beim Bausektor handelt es sich um einen sehr dezentralisierten Markt) bis zu 216 km für

chemische Produkte. In Grossbritannien ist die durchschnittliche Transportdistanz von 48 km im Jahre 1968 auf 69 km im Jahre 1979 und damit linear um rund 4% angestiegen.

IX.2.2 Allgemeine Indikatoren

Im folgenden werden zwei zugleich massgebende und einfache Produktivitätsindikatoren definiert.

Leistung pro Nutzlasttonne

Hier geht es um die Anzahl t-km pro Nutzlasttonne und Jahr. In Frankreich ist dieser Wert im Durchschnitt relativ unverändert auf etwa 19'000 geblieben. Dies zeigt, dass der Ausnutzungsgrad trotz ständiger Heraufsetzung der Höchstabmessungen und längeren Transportdistanzen gleich geblieben ist.

Ausnutzungskoeffizient

Dieser Indikator wird in bezug auf eine bestimmte Fahrzeugart, eine Fahrzeuggruppe oder auf den gesamten Fahrzeugpark berechnet und ist das Produkt

1. des Nutz-Kilometer-Koeffizienten

$$\frac{\text{Fahrzeug-Nutzkilometer}}{\text{Fahrzeug-km total}} \text{ und}$$

2. des Nutzlast-Koeffizienten

$$\frac{\text{t-km}}{\text{Fahrzeug-Nutzkilometer}} \times \frac{1}{\text{Nutzlast}}$$

Der Ausnutzungskoeffizient drückt sich also wie folgt aus:

$$\frac{\text{t-km}}{\text{Fahrzeug-km total}} \times \frac{1}{\text{Nutzlast}}$$

Damit wird der durchschnittliche Fahrzeug-Nutzlastkoeffizient für alle innerhalb eines Jahres gefahrenen Strecken wiedergegeben.

Dieser Indikator wurde in Frankreich für jede einzelne Nutzlastkategorie ermittelt. 1979 betrug er bezogen auf den gesamten Fahrzeugpark 0,556 (Nutzkilometer-Koeffizient: 0,695; Nutzlast-Koeffizient: 0,80). Dieser Wert steigt mit jedem Nutzlast, womit naheliegt, dass mit zunehmender Grösse des Fahrzeuges auch dessen Ausnutzungsbedingungen optimiert werden.

Im Vereinigten Königreich betrug der Ausnutzungskoeffizient im Jahre 1977 0,538 für Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht über 31 t (Nutzkilometer-Koeffizient; 0,713; Nutzlast-Koeffizient: 0,740).

IX.3 Das Problem der Überladungen

Die meisten Länder messen den Überladungen sowie der Notwendigkeit, ihnen entgegenzuwirken, Bedeutung zu. Hierfür können ausschlaggebend sein:

- wirtschaftliche Gründe (z.B. verstärkte Abnutzung der Strassenbeläge, Erhöhung der Unterhaltskosten);
- politische Gründe (Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für alle Verkehrsträger);
- rechtliche Gründe (Beachtung gesetzlicher Regelungen);
- Sicherheitsgründe (Beibehaltung der gesetzlich zulässigen Höchstgewichte unter den von den Fahrzeugherstellern vorgeschlagenen Limiten).

Daher ist es von wesentlicher Bedeutung, die Belastung, denen die Strassenoberbauten ausgesetzt sind, zu ermitteln und für die Anwendung der Vorschriften über Gewichtslimiten zu sorgen. Jedoch sind die Möglichkeiten zur Feststellung von Überladungen oft unzureichend und ermöglichen nicht immer, die ganze Problematik vollumfänglich zu erfassen oder ihre Entwicklung zu verfolgen.

Die von einigen Ländern gelieferten Angaben beziehen sich auf verschiedene Situationen und betreffen in den meisten Fällen nur Teilbereiche des gesamten Systems oder Fahrzeugparks. Ausserdem können diese Angaben nicht direkt miteinander verglichen werden, da sie sich auf unterschiedliche Fahrzeuggattungen beziehen und die Ausgangsdaten auf unterschiedliche Weise aufgearbeitet wurden. In diesem Zusammenhang sind zweifellos Harmonisierungsbemühungen auf internationaler Ebene notwendig.

Gleichwohl ist es interessant, die erhaltenen Angaben näher zu betrachten, da sie uns eine Vorstellung über das Ausmass dieser Problematik geben, besonders wo es um Überschreitungen der gesetzlich zulässigen Höchstgewichte geht, die sich am schädlichsten auf die Strassenbeläge auswirken. Wir werden jeweils auf die aufzuwendenden Wägemethoden hinweisen.

IX.3.1 Detaillierte Untersuchungen

Detaillierte Untersuchungen des Überladungsproblems wurden in Italien durchgeführt (für eine bestimmte Autobahn), sowie in Frankreich (für das gesamte Strassennetz repräsentative Kontrollen) und in den USA (für einen Teil des Strassennetzes repräsentative Kontrollen). Die dabei erhaltenen Ergebnisse sind nachstehend aufgeführt.

Italien

In Italien gibt es keine systematischen Gewichtskontrollen. Hingegen wurde im Jahre 1979 auf einer bestimmten Autobahn eine eingehende Untersuchung durchgeführt, bei der dynamische Brückenwaagen mit Registrierautomatik verwendet wurden. Die nachstehend aufgeführten Ergebnisse sind weder für das gesamte Strassennetz noch für einen Teil desselben repräsentativ. Ausserdem wurden von dieser Untersuchung nur Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von über 2,5 Tonnen erfasst. Man kam zu folgenden Feststellungen:

- i) Selbst unter Berücksichtigung einer Toleranzspanne von 3 t auf die gesamte Nutzlast (d.h. 17% bei einem einteiligen Fahrzeug mit zwei Achsen und 11% bei einem einteiligen Fahrzeug mit drei oder vier Achsen) ist der prozentuale Anteil der Fahrzeuge, welche die zulässigen Höchstgewichte überschreiten, beträchtlich, wie aus der Tabelle IX.3 ersichtlich ist.

Diese Überlastungsquoten sind in Wirklichkeit noch höher, wenn man das wirtschaftlich bedeutsame Kriterium, den "Kapazitätskoeffizienten" betrachtet, der das Verhältnis zwischen tatsächlicher Nutzlast und der zulässigen Höchstnutzlast wiedergibt (eine Überlastung liegt vor, wenn dieser Koeffizient höher als 1 ist). Die bezügliche Tabelle (Tabelle IX.4) zeigt die prozentuale Häufigkeit der "Kapazitätskoeffizienten" über 1 und deren Verteilung auf die verschiedenen Fahrzeugarten.

Es lässt sich feststellen, dass bei einer Anhebung der zulässigen Höchstnutzlasten die Häufigkeit von Überladungen ebenfalls zunimmt. So beträgt unter Berücksichtigung einer Toleranzspanne von 20% der prozentuale Anteil der überladenen Fahrzeuge 29,5 bei einteiligen Fahrzeugen, 30,5% bei Sattelschleppern und 45,5% bei Lastwagen/Anhänger-Kombinationen.

- ii) In der Tabelle IX.5 wird die prozentuale Häufigkeit von Achsdrucküberlastungen im Verhältnis zu den zulässigen Gewichten wiedergegeben.

Frankreich

- i) Die französischen Behörden führen jedes Jahr systematische Messungen der statistischen Belastungen durch, die für das ganze Strassennetz und den gesamten Fahrzeugpark repräsentativ sind. 1978 wurden rund 190'000 Fahrzeugwägungen vorgenommen; somit besteht für jedes Fahrzeug eine Wahrscheinlichkeit von 1:2 in einem gegebenen Jahr einer Gewichtskontrolle unterzogen zu werden.

Dabei werden verschiedene Vorrichtungen verwendet: entweder mobile Brückenwaagen (Genauigkeitsabstufung 1%), halbmobile Brückenwaagen {insgesamt deren 7} (sie zeigen das Achsgewicht mit einer Genauigkeit von 1% an) oder feste Brückenwaagen {insgesamt über 1000} (sie messen die Fahrzeuggewichte auf 0,02% genau).

Die Tabelle IX.6 zeigt die Ergebnisse der Messkampagne 1978 für die verschiedenen Fahrzeugarten. Dabei wurde der im Verhältnis zum zulässigen Gewicht stehenden gesetzlichen Toleranzspanne bereits Rechnung getragen.

Ein hoher Anteil von einteiligen Dreifachfahrzeugen überschreitet die zulässigen Gesamtgewichte und bei den Lastenzügen ist die Häufigkeit der Achsüberlastungen am grössten. Das könnte zur Annahme verleiten, dass diese Schwerfahrzeugarten, die übrigens einen sehr geringen Anteil an den in der obigen Tabelle aufgeführten Fahrzeugen bilden (4,5 bzw. 3,5%), zu einem gewissen Grade schlecht für ihre Verwendungszwecke konzipiert sind.

- ii) Ferner kann mit in Strassenoberbauten eingelassenen dynamischen Wägevorrichtungen (zur Zeit sind deren 25 in Betrieb) das Gewicht jeder Achse eines in Normalgeschwindigkeit darüberfahrenden Fahrzeuges auf 5% genau gemessen werden. Obwohl diese Vorrichtungen an verkehrsstrategisch wichtigen Punkten des Strassennetzes installiert sind, können die Ergebnisse solcher Messungen nicht als für den gesamten Strassenverkehr repräsentative Werte angesehen werden. Das Histogramm (Darstellung IX.1) gibt die prozentuale Verteilung der Achsgewichte von über 5 t für das Jahr 1979 wieder.

Vereinigte Staaten (USA)

Die vollständigste Untersuchung über das Ausmass und die Häufigkeit von Überlastungen wird mit dem Bericht des General Accounting Office von 1979 gegeben. Es beruht auf Daten, die jedes Jahr von ungefähr der Hälfte aller Bundesstaaten über bestimmte Stellen des Strassennetzes geliefert wurden.

- i) Die nachstehend aufgeführten Ergebnisse gingen aus der Kontrolle von 2,9 Mio Fahrzeugen hervor, wovon 231'000 gewogen wurden.
- ii) Diese Untersuchung enthält verschiedene statistische Verzerrungen:
 - Es wurde nicht unterschieden zwischen legalen Überladungen (für gewisse Güter gelten Ausnahmeregelungen) und illegalen Überladungen; indessen stellen die von den Ausnahmeregelungen betroffenen Fahrzeuge nur einen geringen Anteil des gesamten Verkehrs dar und den Ergebnissen zufolge sind diese selten überladen.
 - In den Untersuchungen wird den Toleranzspannen nicht Rechnung getragen, welche je nach Bundesstaat sehr unterschiedlich sein können (2 bis 13% wo solche existieren).
 - Gewisse Fahrzeuge werden doppelt gezählt: Ein Fahrzeug, das gleichzeitig gegen die Gewichts- und die Achslastvorschriften verstösst, wird zweimal registriert. Nach der Eliminierung dieser Doppelzählungen sinkt die prozentuale Häufigkeit von Überlastungen

von 15,5 auf 11%. Dieses Ergebnis wird durch eine FHWA-Studie bestätigt, in der die prozentuale Verteilung der fehlerhaften Fahrzeuge nach Art des Verstosses ermittelt wurde; die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle IX.8 aufgeführt.

- iii) Die Richtigkeit dieser Werte wurde von der American Trucking Association (Verband amerikanischer Transportunternehmer) angefochten, welche die durchschnittliche Häufigkeit von Überladungen auf 0,5% schätzt. Die Association of Transport Safety hingegen ist der Ansicht, dass Überladungen bei allen Transportunternehmen allgemein üblich sind und zwar sowohl bei grossen wie kleinen Speditionsgesellschaften als auch bei Einzelunternehmern. Eine Universität in Pennsylvania hat auf dem interstaatlichen Netz dynamische Wägungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass 90% der Fahrzeuge Sattelschlepper waren und über ein Drittel aller Fahrzeuge gegen die Vorschriften über Gesamtgewichte und Achslasten verstossen.
- iv) Gewisse Fahrzeugarten neigen eher zu Überlasten (z.B. Kipplastwagen und Tankwagen), ebenso gewisse Güter: 13% der überladenen Fahrzeuge transportieren Lebensmittel, 12% Landwirtschaftsprodukte, 10% Buntmetall. Hingegen war bei der Beförderung von unteilbaren Gütern der Anteil überladener Fahrzeuge nur gering.

IX.3.2 Ergebnisse aus anderen Ländern

Bundesrepublik Deutschland (BRD)

Bei im Jahre 1977 während zwei Monaten durchgeführten Gewichtskontrollen, denen insgesamt 2158 Fahrzeuge unterzogen wurden, konnte die durchschnittliche Häufigkeit von Überlastungen bei einteiligen Lastwagen und Anhängern mit über 16 t sowie bei Sattelschleppern mit über 26 t Gesamtgewicht ermittelt werden. Darstellung IX.2 zeigt die prozentuale Häufigkeit der Einzelachsen, die die höchstzulässige Belastung von 10 t überschreiten.

Belgien

In Belgien werden jährlich durch Spezialisten Gewichtskontrollen durchgeführt. In Darstellung IX.3 wird, bezogen auf das Jahr 1979, die prozentuale Häufigkeit der überladenen Fahrzeuge (alle Arten der Verstösse) nach in Prozenten der gesetzlich zulässigen Gewichte ausgedrückten Überlastungsgraden aufgezeigt.

Rund 75% der überladenen Fahrzeuge überschritten die gesetzlichen Gewichtslimiten um 10 bis 30%. Dazu muss bemerkt werden, dass die Zahl der überladenen Fahrzeuge in Wirklichkeit höher ist als in dieser Analyse aufgeführt.

Australien

In Australien ist das genaue Ausmass überladener Fahrzeuge nicht bekannt und für die letzten Jahre sind diesbezüglich keine verlässlichen Angaben vorhanden. Indessen gibt uns eine in den Jahren 1974/75 durchgeführte allgemeine Studie Angaben über Einzelachsbelastungen (Darstellung IX.4), die insofern repräsentativ sind, als die entsprechenden zulässigen Höchstlasten - im Gegensatz zu jenen für Tandem- und für Tridemachsen - seit 1974/75 nicht geändert worden sind. Es wird angenommen, dass das Ausmass der Überlastungen bei sechssachsigen Fahrzeugen relativ stark zugenommen hat. Überlastungen von 25% im Verhältnis zu den höchstzulässigen Gesamtgewichten (38 t) werden immer häufiger, waren doch schon Überschreitungen der gesetzlichen Gewichtslimiten um bis zu 250% festgestellt worden. Dies zeigt, dass sich diesbezüglich die Situation seit 1975 verschlimmert hat: damals war noch eine von drei Tandemachsen überbelastet. Gegenwärtig werden immer mehr - hauptsächlich mobile und halbmobile - Brückenwaagen installiert.

Die in der folgenden Darstellung aufgezeigten Daten beruhen auf Gewichtsmessungen an 21'550 Achsen (wovon zwei Drittel von beladenen Fahrzeugen), welche auf dem gesamten australischen Strassennetz vorgenommen wurden. Das zulässige Höchstgewicht war 8,9 t (einschliesslich der Toleranzspanne). Der dabei festgestellte effektive Überlastungsgrad lag zwischen 8 und 10% (Darstellung IX.4)

Vereinigtes Königreich (UK)

Im Mai 1980 wurde im UK eine Wägekampagne durchgeführt, bei der auf einer Autobahn, die zu einem Meereshafen führte, Gewichtskontrollen vorgenommen wurden. 12,3% der 1646 kontrollierten Fahrzeuge wiesen Übergewichte auf; nahezu 2% überschritten die gesetzlichen Höchstlimite um 10% und fast 6% überschritten sie um 5%.

Bei 46% der gewogenen Fahrzeuge handelt es sich um vierachsige Sattelschlepper mit einer Triemachse und einem zulässigen Gesamtgewicht von 32,5 t. 19% der kontrollierten Fahrzeuge waren überladen und 3,4% überschritten die gesetzliche Höchstlimite um über 10%.

IX.4 Treibstoffverbrauch

Angeichts des beträchtlichen und stetigen Anstieges der Erdölpreise und der Ungewissheit in bezug auf die Erdölversorgung sahen sich die Verbraucherländer gezwungen, mehr oder weniger strikte Energie-sparmassnahmen hauptsächlich in bezug auf den Treibstoffverbrauch einzuführen. Der Motorfahrzeugverkehr ist davon besonders betroffen. Auf den Güterverkehr beispielsweise entfällt ein ansehnlicher Anteil am nationalen Treibstoffverbrauch: in Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland 4,5%, im UK 5,5%.

Aufgrund dieser neuen Situation muss dem Treibstoffverbrauch besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es geht nicht mehr an, sich für Wirtschaftsanalysen bloss auf Annäherungswerte zu stützen, da heute versucht werden muss, auf jeden einzelnen Faktor einzuwirken. Natürlich stellt der Treibstoffverbrauch nicht den einzigen Energieaufwand des Motorfahrzeugverkehrs dar. Auf die Reifen z.B. entfällt ein Energieäquivalent von 0,8 Eröltonnen. Jedoch bildet der Treibstoff das wichtigste und am leichtesten beeinflussbare Element, das hier als einziges eingehend behandelt wird.

Die Bestimmung des Treibstoffverbrauchs des Schwerverkehrs erfordert angesichts der vielen zu berücksichtigenden Grössen sehr komplexe Untersuchungen, wie der Ausschuss der Automobilhersteller des Gemeinsamen Marktes (CCMC) feststellte. Solche Faktoren sind:

- Strassenführung; Strassenbetriebsbedingungen, Zustand der Strassenoberflächen;
- klimatische Verhältnisse (Temperatur, Feuchtigkeit, Wind usw.)
- Typ und Bauweise der Fahrzeuge; jeder Versuch, in dieser Hinsicht ein sog. "repräsentatives" Fahrzeug auszumachen, erweist sich immer mehr als sinnlos, da bereits die Definition eines solchen Fahrzeuges problematisch ist; so stellte z.B. ein europäischer Fahrzeughersteller fest, dass sich selbst unter Ausschluss der Sattelschlepper und Lastzüge noch immer 336 Fahrzeugtypen anbieten, die sich nach Bauart, Art der Führerkabine, Gesamtgewicht, Motorleistung und Anzahl Triebachsen unterscheiden liessen;
- Fahrverhalten.

Das ist auch der Grund, weshalb es keine international anerkannte Methode zur Ermittlung des Treibstoffverbrauches gibt und weshalb z.B. die von der EWG entwickelte Berechnungsmethode für leichte Motorfahrzeuge nicht auf Schwerfahrzeuge anwendbar ist.

Beim gegenwärtigen Wissensstand ist es schwierig, eine Methode zur Bestimmung des Treibstoffverbrauchs für Schwerfahrzeuge zu finden, die sowohl den Anforderungen der Transportunternehmer (Wahl des geeignetsten Fahrzeuges), der Fahrzeughersteller (Realisierung von Treibstoffeinsparungen) und der Behörden (Abschätzung des voraussichtlichen Energieverbrauchs und der Wirkungen von Energiesparmassnahmen) gerecht wird und zugleich repräsentativ, genau, wiederholbar und einfach ist.

Jeder wissenschaftliche Ansatz zur Lösung dieses Problems sollte empirische (sowohl Labor- als auch direkte Strassenverkehrstests) und theoretische Untersuchungen kombinieren, dies anhand von Modellversuchen oder simulierten Verhaltenstests an den betreffenden Fahrzeugen.

Nachfolgend werden die entsprechenden Untersuchungen und Hauptergebnisse aus Frankreich, dem Vereinigten Königreich (UK) und den Vereinigten Staaten (USA) aufgeführt. Obwohl die

jeweils angewandten Methoden und die konkreten Verhältnisse unterschiedlich waren, gelangte man weitgehend zu ähnlichen Schlussfolgerungen, was die Erkennung gewisser allgemeiner Tendenzen ermöglicht.

IX.4.1 Berechnungsmethoden und Modelle

Frankreich

In Frankreich wurde von den Renault Véhicules Industriels ein Testmodell entwickelt, mit dem das Betriebsverhalten eines Schwerfahrzeugs simuliert werden kann {SIMAVERO}. Die Grundeingaben dieses Modells umfassten alle technischen Fahrzeugeigenschaften, sowie Fahrstreckeneigenschaften und Angaben über den Fahrer. Anhand dieses Modells können verschiedene Parameterwerte in bezug auf den Fahrzeugbetrieb wie auch auf den Treibstoffverbrauch ermittelt werden. Letzterer kann, selbst in absoluten Werten, sehr genau bestimmt werden, da das Modell unter Einbezug einer Vielzahl von Versuchsdaten gebaut und kalibriert wurde. Die Auswirkung einer Veränderung irgendeiner dieser Eingabegrößen kann isoliert betrachtet und leicht ermittelt werden. Auch können die Auswirkungen der Fahrgeschwindigkeit, des Gesamtgewichts, von Steigungen und Gefällen, Kurven usw. quantifiziert werden.

Vereinigtes Königreich (UK)

Seit 1967/68 wurden in Grossbritannien für sechs Fahrzeugtypen Tests unter effektiven Verkehrsverhältnissen durchgeführt (es handelte sich um Tests mit drei Schwerfahrzeugen mit Gesamtgewichten von 7, 12 und 22 t). Die 248 km lange und in 154 Abschnitte unterteilte Teststrecke umfasste verschiedene Verkehrsverhältnisse und Strassenarten (Überland- und Stadtstrassen, Autobahnen, Steigungen und Gefälle usw.). Unter Berücksichtigung der Fahrzeugabstände, Schmiermitteltemperatur und der äusseren Temperaturen konnten die Auswirkungen der Fahrgeschwindigkeit, der Last und der Steigungen für den einzelnen Fahrzeugtyp festgestellt werden. Obwohl diese Untersuchung ziemlich weit zurückliegt, haben deren Ergebnisse aufgrund der angewandten Methode bis heute ihren vollen Wert beibehalten.

Jüngere Studien zu diesem Thema wurden vom TRRL vorgenommen. Zur Zeit wird ein Grundlagen- und Zweckforschungsprogramm durchgeführt, um zu ermitteln, wie sich grundlegende Bestimmungsgrößen wie Fahrzeugeigenschaft, Motor- und Getriebeleistung, Aerodynamik, Reifenart usw. auf den Treibstoffverbrauch auswirken. Ein mathematisches Modell über das Betriebsverhalten von Motorfahrzeugen wurde anhand von statistischen Angaben entwickelt, die über den gegenwärtigen Fahrzeugpark unter Berücksichtigung seiner voraussichtlichen Entwicklung ermittelt werden, wie sich die einzelnen Bestimmungsgrößen bei freiem Verkehrsfluss auf den Treibstoffverbrauch auswirken. Zur Zeit der Berichtabfassung lagen noch keine endgültigen Ergebnisse vor, da noch nicht alle Daten verfügbar waren.

Damit die Bestimmung des Treibstoffverbrauches jederzeit überprüf- und wiederholbar ist, wurde auf der Grundlage von Versuchsergebnissen und anderen Daten ein computergestütztes Simulationsverfahren zur Ermittlung des Betriebsverhaltens von Schwerfahrzeugen durchgeführt. Bis jetzt wurde die Veränderlichkeit der Eingabedaten anhand von Variablen wie Fahrverhalten, Strassenführung, Kreuzungen, mittlere Fahrgeschwindigkeit, Klima und Höhenlagen usw. geprüft.

Als Endergebnis wird der Treibstoffverbrauch eines bestimmten Fahrzeugs angegeben, das mit mittlerer Geschwindigkeit auf einem bestimmten Strassenabschnitt verkehrt. Massgebend für die Kalibrierung des Simulators waren Ergebnisse von Tests, welche unter effektiven Strassenverkehrsverhältnissen durchgeführt worden waren.

Vereinigte Staaten (USA)

Das US-Verkehrsministerium hatte eine Untersuchung durchgeführt, deren Hauptziel darin bestand, zu überprüfen, wie sich unter Berücksichtigung des mittleren Treibstoffverbrauches eines Fahrzeuges und der Fahrstreckeneigenschaften eine Veränderung der Fahrzeuggewichte und -abmessungen auf den Gesamttreibstoffverbrauch auswirkt. Bei dieser Untersuchung, deren Ergebnisse vorliegen, wurde wie folgt vorgegangen:

In einer ersten Phase wurde für verschiedene Fahrzeugarten (einteilige Lastwagen, herkömmliche Sattelschlepper, zwei- und dreiteilige Lastzüge) der Treibstoffverbrauch in Liter pro Fahrkilometer

je nach Gewicht und Abmessungen empirisch ermittelt. Danach wurde das gewogene Mittel für den Treibstoffverbrauch berechnet sowie unter Berücksichtigung eventueller technischer Entwicklungen entsprechende künftige Werte prognostiziert. Die erste Berechnung stützte sich auf Fahrzeuge mit Baujahr 1974, die zweite umfasste alle für das Jahr 1979 getroffenen Energiesparmassnahmen. Der in Liter pro Kilometer und beförderte Tonne ausgedrückte Treibstoffverbrauch wurde aus Treibstoff-Verbrauchsgleichungen hergeleitet, die auf einem bestehenden Simulationsmodell ermittelt wurden (dieses Modell kann 60 verschiedene Fahrzeugtypen simulieren). Feldversuche und statistische Untersuchungen wurden nötigenfalls durch Ad-hoc-Studien ergänzt. Dabei wurde u.a. folgenden Bestimmungsgrössen Rechnung getragen: Bauart, Gesamtgewicht, Länge der Fahrstrecke, Geschwindigkeit, Bodenbeschaffenheit, Strassenbetriebsbedingungen, Technologie, Motorleistung, Dichte der beförderten Waren usw. Die Untersuchungsergebnisse eignen sich besonders dafür, Vergleiche zwischen den Schwankungen des Treibstoffverbrauchs von Fahrzeugen unterschiedlicher Grössen und Abmessungen zu ziehen. Doch eignen sie sich auch, um den Treibstoffverbrauch ziemlich genau in absoluten Werten zu ermitteln.

IX.4.2 Hauptergebnisse

Treibstoffverbrauch und Nutzlast

Der Treibstoffverbrauch von Motorfahrzeugen wird in vielen Ländern in Litern/100 km in Abhängigkeit vom Gesamtgewicht (oder der Nutzlast) ausgedrückt. In verfeinerten Berechnungsmodellen, wie jenem Frankreichs, werden Formeln wie die folgende verwendet:

$$G = a \left\{ \frac{S}{100} \right\}^2 + b + \frac{d}{S}$$

wobei S die Geschwindigkeit in Stundenkilometern ist; a, b, und d sind die für jeden besonderen Fall bestimmten Beiwerte; Beiwert b variiert je nach Ladegewicht eines gegebenen Fahrzeugs.

In den meisten Fällen, aber nicht ausschliesslich, verläuft die Funktion "Treibstoffverbrauch = f (Gesamtgewicht)" linear. Es war sogar möglich, aus den Angaben über voll beladene Fahrzeuge, die von vier Ländern geliefert wurden (F, BRD, UK, USA), eine einfache Regressionsgerade abzuleiten. Indessen unterscheiden sich die absoluten Werte des Treibstoffverbrauches wesentlich voneinander (wie im folgenden dargelegt wird), da deren Berechnungen sich auf nichtvergleichbare Verhältnisse beziehen. So wurde für jedes Land der Treibstoffindex willkürlich für ein Gesamtgewicht von 20 t angenommen. Darstellung IX.5 (Anhang des Kapitels zeigt die diesbezüglichen Ergebnisse.

Die zur Entstehung der Regressionswerte verwendeten Werte bedürfen folgender Erklärung:

FRANKREICH:

Die Zahlen beziehen sich auf den Treibstoffverbrauch auf einer geraden, ebenen Strasse bei einer konstanten Geschwindigkeit von 80 km/h; der Treibstoffverbrauchsindex 1 entspricht 28 Liter/100 km;

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND:

Treibstoffverbrauch auf einer durchschnittlichen Fahrstrecke, bezogen auf die gesamte Fahrzeugflotte; Index 1 entspricht 26,5 Liter/100 km;

GROSSBRITANNIEN:

Treibstoffverbrauch auf einer durchschnittlichen Fahrstrecke, bezogen auf die gesamte Fahrzeugflotte; Index 1 entspricht 37,5 Liter/100 km;

VEREINIGTE STAATEN:

Treibstoffverbrauch auf einer repräsentativen 740 km langen Strecke; Index 1 entspricht 47,5 Liter/100 km.

Für allgemeine Studien, die in bezug auf den Treibstoffverbrauch keine exakten Werte erfordern, kann der durchschnittliche Treibstoffverbrauch in Liter/100 km mit folgender Formel annäherungsweise errechnet werden:

$$C = 0,85 \text{ Gesamtgewicht} + 11$$

Diese Formel drückt zwar eine eindeutige Korrelation aus, dennoch ist der Treibstoffverbrauch in Liter pro 100 km {der am häufigsten verwendete Indikator} nicht besonders relevant für die Verkehrswirtschaft. Der Treibstoffverbrauch sollte auf einen Indikator bezogen werden, der die Fahrzeugproduktivität wiedergibt. Obwohl hierüber keine einhellige Meinung besteht, schiene es doch angebracht, den Treibstoffverbrauch von Schwerfahrzeugen in Liter pro Tonnenkilometer unter Berücksichtigung der beförderten Last auszudrücken.

Diese Methode wurde in einer Reihe von Untersuchungen angewandt. In Darstellung IX.6 werden die bezüglichen Hauptergebnisse für Frankreich, Grossbritannien (die bereits an früherer Stelle erwähnte TRRL-Studie) und die Vereinigten Staaten gegeben. Dazu folgende Erläuterungen:

VEREINIGTE STAATEN:

Unter den drei geprüften Fahrzeugarten betrug der Schwankungsbereich je nach Nutzlast zwischen ca. 5 bis 7%.

FRANKREICH:

Bei Sattelschleppern und Lastzügen hatte der Treibstoffverbrauch je nach Nutzlast einen Schwankungsbereich von 0,2 bis 0,4 Liter. In Darstellung IX.6 (Anhang zu diesem Kapitel) wurde auf das Fahrzeug mit dem höchsten Treibstoffverbrauch Bezug genommen.

GROSSBRITANNIEN:

Der angegebene Treibstoffverbrauch bezieht sich auf einen Sattelschlepper mit 36 t Gesamtgewicht und eine Fahrstrecke, die 23% Stadt-, 42% Überlandstrasse und 35% Autobahn umfasste.

Das Verhältnis zwischen Treibstoffverbrauch und Nutzlast ist in allen drei Ländern annähernd gleich. Der Treibstoffverbrauch pro Tonnenkilometer geht mit zunehmendem Gesamtgewicht stark zurück, wenn auch in proportional abnehmendem Masse.

Die Beziehung Treibstoffverbrauch/Gesamtgewicht und Grösse bedarf einiger zusätzlicher Erläuterungen.

- i) Wie eine der Kurven der Darstellung IX.6 betreffend die USA zeigt, haben Veränderungen im Gesamtgewicht nur begrenzte Wirkungen, wenn die Lademenge durch das verfügbare Ladevolumen begrenzt ist oder wenn das Fahrzeug nicht voll beladen ist (hier geht es um den in Kapitel X behandelten Dichtefaktor). Dieses Problem ist besonders für die Vereinigten Staaten von Bedeutung, wo zu einem Grossteil Güter niedriger Dichte befördert werden. Die amerikanische Studie hat in bezug auf verschiedene Gewichtsklassen ermittelt, in welchem Masse sich Güterdichten auf den Treibstoffverbrauch auswirken.
- ii) In den Vereinigten Staaten wurde untersucht, in welchem Masse Energieeinsparungen durch entsprechende technische Eingriffe an Motorfahrzeugen erzielt wurden. Dabei kam man zu folgenden Feststellungen:
 - die Kurven, welche den Treibstoffverbrauch pro Fahrzeugkilometer im Verhältnis zum Gesamtgewicht ausdrücken, sind flacher;
 - die erzielten Reduzierungen im Treibstoffverbrauch sind bei einteiligen Lastwagen und Sattelschleppern ausgeprägter als bei Lastzügen.

Solche technische Massnahmen haben zudem eine grössere Wirkung als Veränderungen von Gewichten und Abmessungen (obwohl nur in beschränktem Umfang), dies umso mehr, als letztere eine optimale Anpassung des Fahrzeugparks voraussetzt, was zu einem gewissen Grade durch die kombinierte Wirkung von "Güterdichte" und "Fahrzeugkonfiguration" gehemmt wird. Dies wird in Tabelle IX.9 veranschaulicht, welche die Auswirkungen von gewichts- und grössenmässigen Veränderungen in den Vereinigten Staaten aufzeigt.

- iii) Eine im Vereinigten Königreich durchgeführte Untersuchung ergab, dass sich bei niedriger Geschwindigkeit eine zusätzliche Last stärker auswirkt als bei höheren Geschwindigkeiten, z.B. + 66% bei 8 km/h und 49% bei 56 km/h.

Einfluss von Steigungen und Gefällen

Alle Länder, die sich mit dieser Frage befassen, sind sich einig, dass Steigungen und Gefälle einen beträchtlichen Einfluss auf den Treibstoffverbrauch haben; dabei sind Schwerfahrzeuge, hauptsächlich wenn sie beladen sind, davon stärker betroffen als leichte Motorfahrzeuge.

Schon aus einer im Jahre 1967 im Vereinigten Königreich durchgeführten Studie ging hervor, dass auf einer Steigung von 6,25% der Treibstoffverbrauch bei äquivalenter Geschwindigkeit um 49% zunimmt und um 125% bei Geschwindigkeitsveränderungen. Eine französische Studie ergab in bezug auf dieselbe Steigung eine Zunahme des Treibstoffverbrauchs um 140% für ein vollbeladenes Schwerfahrzeug mittlerer Grösse.

Die TRRL-Studie zeigte, dass bei einem vollbeladenen 16-Tonnen-Fahrzeug mit einer Fahrgeschwindigkeit von 52 bis 57 km/h der Einfluss auf den Treibstoffverbrauch bei einer Steigung von 1,5% merkbar wird (was derselben Schwelle wie in der französischen Studie entspricht). Dabei nimmt der Treibstoffverbrauch zwischen 1,5 und 4,5% Steigung um den Faktor 2,6 zu.

Die diesbezüglich umfassendste Untersuchung wurde in Frankreich durchgeführt. Hier wurde berechnet, wieviel Treibstoff bei der Überwindung einer Steigung und der nachfolgenden Beschleunigung auf die Normalgeschwindigkeit zusätzlich verbraucht wird. Bei Gefällen variiert der Treibstoffverbrauch je nach Fahrzeugart und hängt hauptsächlich vom Drehmoment, der Geschwindigkeit und dem Neigungswinkel ab. Diese Untersuchung ermöglichte eine Grobeinschätzung des Treibstoffverbrauchs (in Litern/100 km) eines durchschnittlichen Schwerfahrzeuges bei Steigungen und Gefällen mit einem gegebenen Neigungswinkel. In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse aufgeführt (nicht berücksichtigt wurde dabei die nachträgliche Beschleunigung auf die Normalgeschwindigkeit).

Einfluss von Strassenkurven

Die Beschleunigung nach Kurven kann bei Schwerfahrzeugen zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Treibstoff führen. Diesem Umstand wird zwar in den Untersuchungen über den Treibstoffverbrauch auf bestimmten Fahrstrecken Rechnung getragen, bildet aber nur selten Gegenstand von Sonderuntersuchungen. Inwiefern und in welchem Masse eine Strasse als kurvenreich bezeichnet werden kann, lässt sich anhand von zwei Parametern bestimmen: die Häufigkeit von Kurven (Anzahl pro Kilometer) und deren Biegungsradius.

Das SIMAVERO-Modell Frankreichs ermöglicht diesbezüglich eine genaue Analyse und drückt den sich daraus ergebenden Mehrverbrauch an Treibstoff mit folgender Gleichung aus:

$$\frac{\Delta C}{n} = \alpha \left(\frac{S}{100} \right)^2 + \beta - \gamma \frac{R}{40}$$

Die Beiwerte α , β und γ sind Funktionen der Fahrzeuglast. Es lässt sich feststellen, dass α und γ (welche für die Bewegungsenergie stehen) mehr oder weniger proportional zur Fahrzeugmasse sind.

In der TRRL-Studie wurde der Mehrverbrauch in Litern/100 km ermittelt, der sich in einer Kurve mit 69 m Radius im Vergleich zu einer geraden Strecke bei derselben konstanten Geschwindigkeit ergibt. Darstellung IX.7 zeigt die Ergebnisse der TRRL- sowie einer französischen Studie. Obwohl die Ergebnisse nicht direkt miteinander vergleichbar sind, verschaffen uns die Angaben aus Frankreich nützliche Zusatzinformationen und geben uns eine Vorstellung über die Auswirkungen von Geschwindigkeitsveränderungen auf den Treibstoffverbrauch. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Studien liegt darin, dass das TRRL die Auswirkungen des Reifendriffs untersuchte, wogegen in der französischen Studie Strassenbiegungen als ein Faktor der Geschwindigkeitsverzögerung betrachtet wurden und damit dem Mehrverbrauch an Treibstoff, der sich aus dem Wiederbeschleunigungsvorgang ergibt, auf indirekte Weise Rechnung getragen wurde.

Die TRRL-Studie zeigt z.B., dass eine Kurve mit einem Biegeradius von 69 m, die mit 40 km/h durchfahren wird, zu einem Mehrverbrauch von rund 4 Liter/100 km führt, was einem Mehrverbrauch von 20 % entspricht, verglichen mit einer geraden Strecke. Nach der französischen Studie haben Geschwindigkeiten von unter 43 km/h keine nennenswerten Auswirkungen auf den Treibstoffverbrauch. Bei Geschwindigkeiten über 43 km/h aber nehmen diese rapide zu.

IX.4.3 Treibstoffverbrauch und Fahrzeugkonstruktion

In den bisher erwähnten Untersuchungen wurden verschiedene Bestimmungsgrößen des Treibstoffverbrauches von Schwerfahrzeugen näher betrachtet, so die Strassenplanung, Zusammensetzung des Fahrzeugparks und die Fahrzeugnutzung. Eine Reduzierung des Treibstoffverbrauches könnte auch durch neuartige Fahrzeugkonstruktionen erreicht werden. Die Fahrzeuge des Jahres 2000 werden zwar noch ungefähr gleich aussehen, wie die heutigen, deren Konstruktionsweise wird sich aber sicher verändern, insbesondere zugunsten einer besseren Energienutzung. Über einige Entwicklungen auf diesem Gebiet wurde aus Frankreich und den USA berichtet.

Entwicklungen auf kurze und mittlere Sicht

i) Verbesserung der aerodynamischen Beschaffenheit

Die Stärke des Luftwiderstandes eines Fahrzeuges (Fahrtwiderstand; Ruchtrieb) hängt hauptsächlich von der Fahrgeschwindigkeit, der Führerkabine- und Fahrzeugform ab. 75% des Fahrtwiderstandes wird durch den Luftdruck, der auf die Frontseite des Schleppfahrzeuges {und eventuell des Anhängers/Aufliegers} ausgeübt wird, verursacht. In den USA durchgeführte Tests ergaben, dass eine zehnprozentige Verminderung des Luftwiderstandes zu einer Verringerung des Treibstoffverbrauches im Umfang von 5% führt (bei 90 km/h auf 160'000 km/Jahr). Die aerodynamische Beschaffenheit eines Fahrzeuges könnte durch im folgenden aufgeführte Massnahmen verbessert werden.

- An die Fahrzeugform angepasste Luftdeflektoren (Luftabweiser) {Verringerung des Luftwiderstandes um 1 bis 3%};
- zur Zeit wird nach komplexeren Vorrichtungen zur Verringerung der Luftdurchdringung gesucht, mit denen eine Reduzierung des Luftwiderstandes um mehr als 6% herbeigeführt werden kann, z.B. durch vollständige aerodynamische Verkleidungen;
- Änderung der Führerkabine- und der Fahrzeugform sowie Verringerung der Anzahl, Grösse und Gewichte hervorstehender Teile.

Bei einem in Maryland (USA) durchgeführten Versuch zeigte sich, dass der Rücktrieb mit einer Kombination der ersten beiden Massnahmen um 35% reduziert werden könnte (bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h). Anderen amerikanischen Untersuchungen zufolge könnten Treibstoffeinsparungen von 4 bis 8% realisiert werden, dabei könnten die Investitionsauslagen mit den so realisierten Einsparungen innerhalb von weniger als einem Jahr wieder wettgemacht werden.

ii) Verbesserung des Reifenwiderstandes

In der amerikanischen Studie wird darauf hingewiesen, dass mit Gürtelreifen (die in Europa bereits weit verbreitet sind) je nach Fahrzeuggewicht, Geschwindigkeit, Motorleistung und Strassenoberfläche Treibstoffeinsparungen um 5 bis 10% realisiert werden können.

iii) Verbesserungen an Motoren und mechanischen Teilen

Auf diesem Gebiet sind verschiedene Massnahmen möglich.

- Die Verwendung von ausschaltbaren Kühler-Ventilatoren würde den Treibstoffverbrauch auf langen Strecken um bis zu 5% reduzieren;
- Die USA planen eine umfassende Umstellung auf Dieselmotoren für mittelgrosse Fahrzeuge (40 bis 60% des Fahrzeugparks bis 1985/90);

- Der beste herkömmliche Dieselmotor ist ein Turbokompressormotor mit Direkteinspritzung und hohem Drehmoment bei niedriger Fahrgeschwindigkeit. Mit verbesserten Versionen könnten erhebliche Kraftstoffeinsparungen realisiert werden, so z.B. durch eine Nachladung (Vorladung, Vorverdichtung) mit Kaltluft, womit der Lufteinlass erhöht wird. Dadurch läuft der Motor langsamer, somit leiser und der Motorverschleiss wird vermindert.

iv) Weitere Verbesserungsmöglichkeiten

- Geschwindigkeitsregelung: die bedeutendsten technologischen Fortschritte werden im Informatikbereich gemacht. Wenn dereinst alle Fragen bezüglich Kosten, Abnutzungsfestigkeit und Betriebszuverlässigkeit gelöst sind, werden Mikroprozessoren in die Armaturenbretter eingebaut werden, die es dem Fahrer ermöglichen, die für eine möglichst effiziente Nutzung des Treibstoffs richtige Einstellung von Tourenzahl, Übersetzungsverhältnis {Untersetzungsverhältnis} usw. zu wählen. Ausserdem können mit Mikroprozessoren auch die Unterhaltsarbeiten auf optimale Weise programmiert werden.
- Fahrzeugunterhalt: Durch eine vorprogrammierte Wartung, einen besseren Unterhalt der Filter und Kontrollen des Reifendrucks usw. dürften Treibstoffeinsparungen von 1 bis 10% möglich sein.
- Verwendung besserer Schmiermittel.
- Verbesserung des Fahrverhaltens (mögliche Treibstoffeinsparungen von 1 bis 10%).

Entwicklungen auf mittlere und weite Sicht

Die auf mittlere und weite Sicht meistversprechenden Verbesserungen betreffen Konstruktionsmaterialien im Fahrzeug- und Motorenbau.

- i) Compositwerkstoffe mit niedriger Dichte und hoher Festigkeit wie z.B. mit Graphitfasern verstärkte Kunststoffe könnten für Führerkabinen, Schlafkojen aerodynamische Aufsätze usw. verwendet werden. Mit der Verwendung derartiger Werkstoffe würde sich das Fahrzeugleergewicht verringern, womit die Nutzlast ohne höheren Treibstoffverbrauch erhöht werden könnte. Bei einem 36-t-Fahrzeug würde eine Reduktion des Leergewichtes um 0,5 t eine zweiprozentige Energieeinsparung pro Nutzlast-Tonnenkilometer bringen.
- ii) Verbesserung der Motoren
 - Gegenwärtig laufen Untersuchungen über eine effiziente Energierückgewinnung am Abgasystem (Auspuff) durch einen Wärmeübertrager. Damit könnten Energieeinsparungen in der Grössenordnung von 10 bis 15% realisiert werden. Diese Vorrichtung könnte aber mit hohen Kosten verbunden sein.
 - In den USA wird ein Motortyp geprüft, bei dem die Auspuffgase in einen Hilfsmotor zurückgeführt werden, wodurch die Leistung des Hauptdieselmotors reduziert werden kann. Den ersten Versuchen zufolge dürften dadurch für Schwerfahrzeuge und auf langen Strecken eine Kraftstoffeinsparung von rund 15% möglich sein.
 - Keramische Werkstoffe: Gegenwärtig sind Untersuchungen über einen "adiabatischen" Motor im Gange, bei dem Wärmeverluste verringert oder ganz verhindert werden sollen, indem die am Auspuff abgegebene Wärme zurückgewonnen wird. Ein solcher Motortyp ist nur unter Verwendung von keramischen Werkstoffen möglich und die damit realisierten Kraftstoffeinsparungen würden, verglichen mit den besten Dieselmotoren, rund 30% betragen.
 - Auf langen Strecken, die mit Volladung und hohen Geschwindigkeiten zurückgelegt werden, könnten mit Fahrzeugen, die mit Gasturbinenmotoren ausgestattet sind, beträchtliche Treibstoffeinsparungen realisiert werden. Die ersten Versuchsergebnisse sind vielversprechend, doch dürften solche Motoren in den kommenden zehn Jahren kaum auf den Markt kommen.

Tabelle IX.2

Tonnagen, Tonnenkilometer und durchschnittliche
Transportdistanzen nach Güterart

Beförderte Güter	Tonnagen %		Tonnen-km %		Durchschn Distanz
	Frankreich	UK	Frankreich	UK	Frankreich
0. Landwirtschaftsprodukte, Vieh	8.6	9.9	10.8	10.4	87.4
1. Nahrungs- und Futtermittel	10.9	17.5	19.0	18.9	120.5
2. Feste Mineralbrennstoffe	1.1	2.0	0.7	1.7	48.2
3. Mineralölerzeugnisse	5.9	11.6	6.3	5.9	73.2
4. Erze und mineralische Abfälle	1.4	1.3	0.8	1.0	42.1
5. Metallerzeugnisse	2.0	11.7	5.6	12.6	191.5
6. Rohe und verarbeitete Mineralien und Baumaterialien	54.8	9.9	21.7	8.6	27.4
7. Düngemittel	2.4	1.4	2.3	1.5	65.6
8. Chemische Produkte	2.4	9.0	7.5	10.1	216.0
9. Maschinen, Fahrzeuge usw.	10.5	25.7	25.2	29.3	165.5

Ebenso wären Angaben über die durchschnittlichen Dichten der Fahrzeugflotten und über entsprechende Entwicklungen interessant, doch scheinen solche Informationen schwer ermittelbar zu sein.

Tabelle IX.3

Überschreitung der Gesamtgewichte
Italienische Autobahnen

	Einteilige 2-Achs-Fahrzeuge	Einteilige 3- oder 4-Achs-Fahrzeuge	Sattelschlepper	LKW + Anhänger
Überschreitungen der zulässigen Limiten	1 %	35 %	30 %	40 %

Im allgemeinen überschreiten rund 20 % aller Fahrzeuge die zulässige Höchstgeschwindigkeit.

Tabelle IX.4

Prozentuale Häufigkeit und Verteilung
überladener Fahrzeuge nach "Kapazitätskoeffizient"
Italienische Autobahn

Art der Fahrzeuge	Einteilige Fahrzeuge		Sattelschlepper	LKW + Anhänger
	2 Achsen	3/4 Achsen		
Zulässige Höchst-nutzlast in Tonnen	4,5	15,5	32,5	34,5
Kapazitätskoeffizient				
1.0-1.2	12.3		10.3	9.4
1.2-1.4	9.3		9.6	12.5
1.4-1.6	7.3		10.3	15.3
1.6-1.8	6.1		7.0	11.8
1.8-2.0	2.8		3.8	3.9
2.0-2.2	2.6		3.2	0.8
2.2-2.4	0.6		1.9	0.4
über 2.4	0.8		2.6	0

Tabelle IX.5

Überlastungen pro Achse
Italienische Autobahnen

Achsen	Einzelachsen	Tandemachsen	Tridemachsen
Zulässige Gewichte in t	12	19	25
Überlastungsquote ohne Toleranzspanne	16%	23%	40%
Quote der Gewichtsüberschreitungen um mehr als 6t	1%	3%	22%

Tabelle IX.6

Ergebnisse der Messkampagne 1978
Frankreich

Fahrzeugart	1	2	3	4	5	6
Quote der Fahrzeuge, bei denen die zulässigen Achslasten überschritten wurden	4.1%	0.2%	0.9%	8.7%	6.7%	18.7%
Quote der Fahrzeuge, bei denen die zulässigen Gesamtgewichte überschritten wurden	3.6%	22%	0%	3.5%	5.4%	2.9%

- 1) Einteiliges Fahrzeug mit 2 Achsen
- 2) Einteiliges Fahrzeug mit 3 Achsen
- 3) Sattelschlepper mit 3 Achsen
- 4) Sattelschlepper mit 4 Achsen
- 5) Sattelschlepper mit 5 Achsen
- 6) LKW mit Anhänger

Figur IX.1

Prozentuale Häufigkeit überlasteter Achsen
Ergebnisse einer nationalen Wägekampagne
Frankreich, 1979

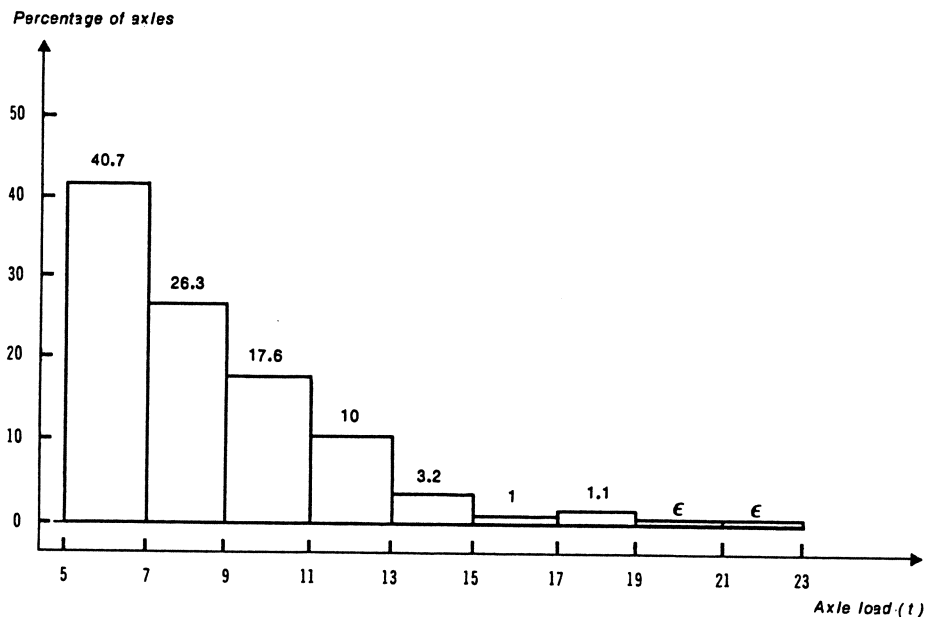


Tabelle IX. 7

Prozentuale Häufigkeit überladener Fahrzeuge
USA

Fahrzeugart	Prozentuale Häufigkeit überladener Fahrzeuge 1)/2)
Einteiliges Fahrzeug (2 oder 3 Achsen)	15
Sattelschlepper	15.5
Lastzug	17
Durchschnitt	15.5

- 1) In Bezug auf die Vorschriften des betreffenden Bundesstaates
 2) Der prozentuale Anteil der Überladungen bezieht sich auf die Gesamtheit der gewogenen leeren oder beladenen Fahrzeuge (37% der Fahrzeuge waren unbeladen).

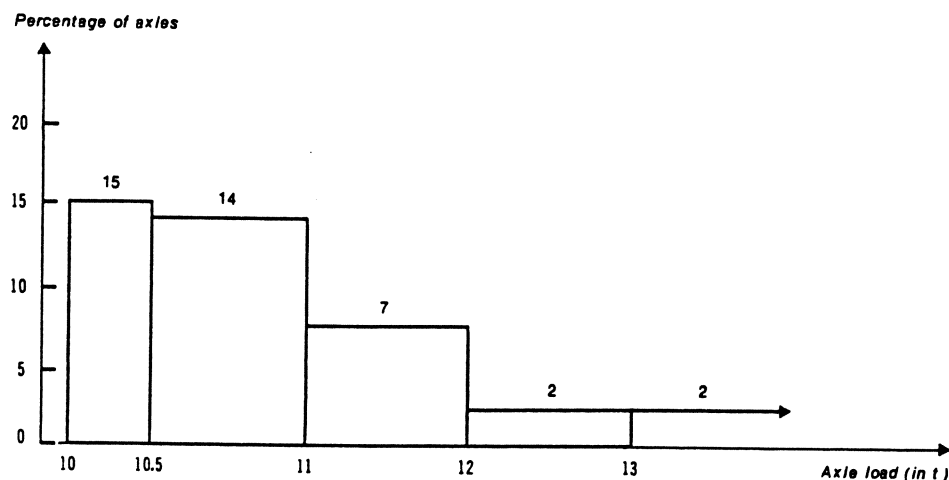
Tabelle IX.8

Art des Verstosses und prozentuale Häufigkeit von Überbelastungen
USA - FHWA

Art des Verstosses	Prozentuale Häufigkeit der Überlastung (einschliesslich Toleranzspannen)
Achslast oder Gesamtgewicht	11
Achslast	10
Gesamtgewicht	5
Gesamtgewicht mit Ausnahmeregelung	3

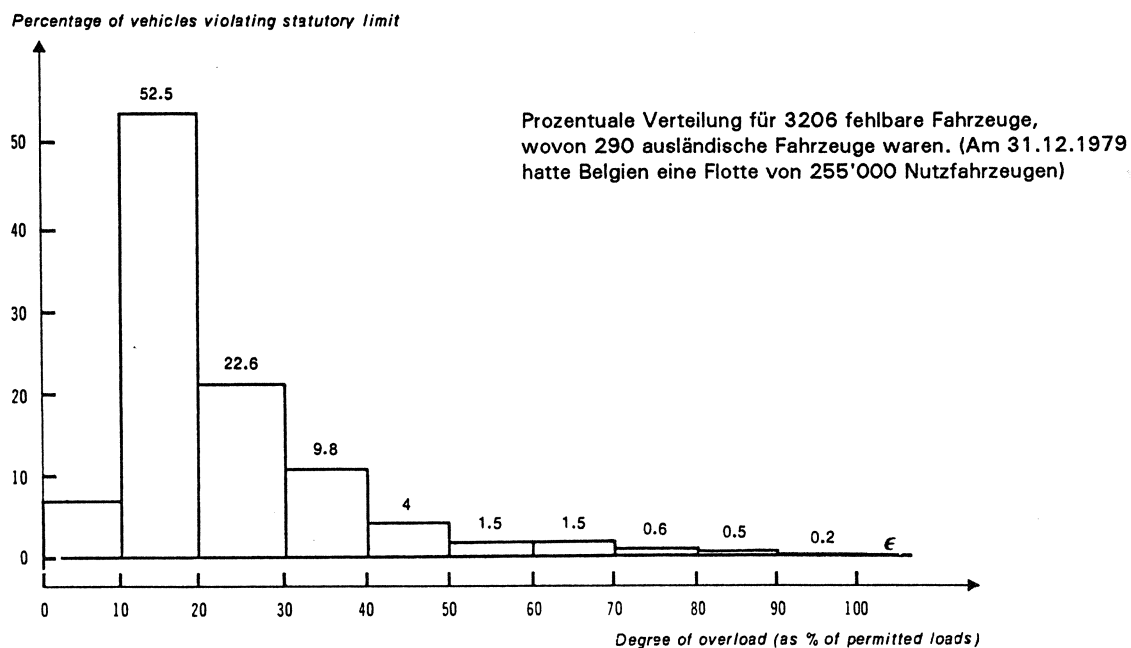
Figur IX.2

Anteil der Einzelachsen, welche die höchstzulässige Last (10 t)
überschreiten (betrifft vollbeladene Fahrzeuge; BRD 1977)



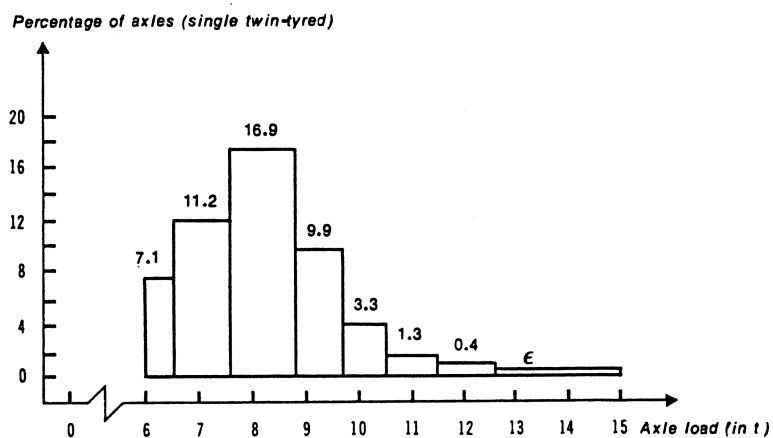
Figur IX 3

Verletzung der Verkehrsvorschriften über Höchstgewichte
Belgien, 1979



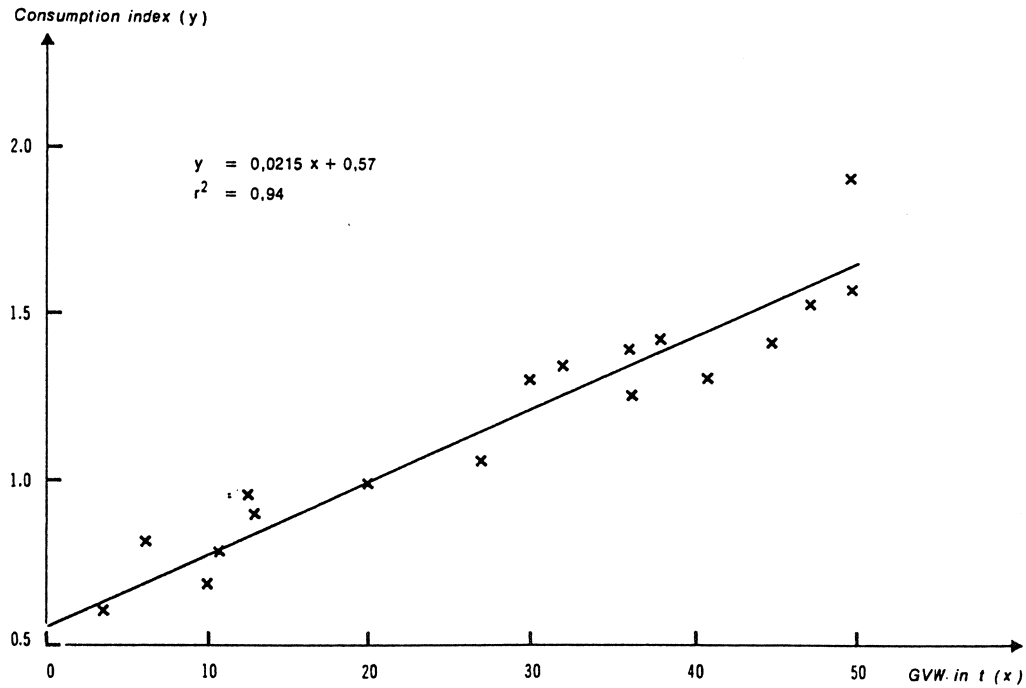
Figur IX.4

Prozentuale Verteilung der Achsen nach Achslasten
Australien



Figur IX.5

Treibstoffverbrauch in Abhängigkeit zum
Fahrzeuggesamtgewicht



Figur XI.6

Treibstoffverbrauch nach Nutzlast

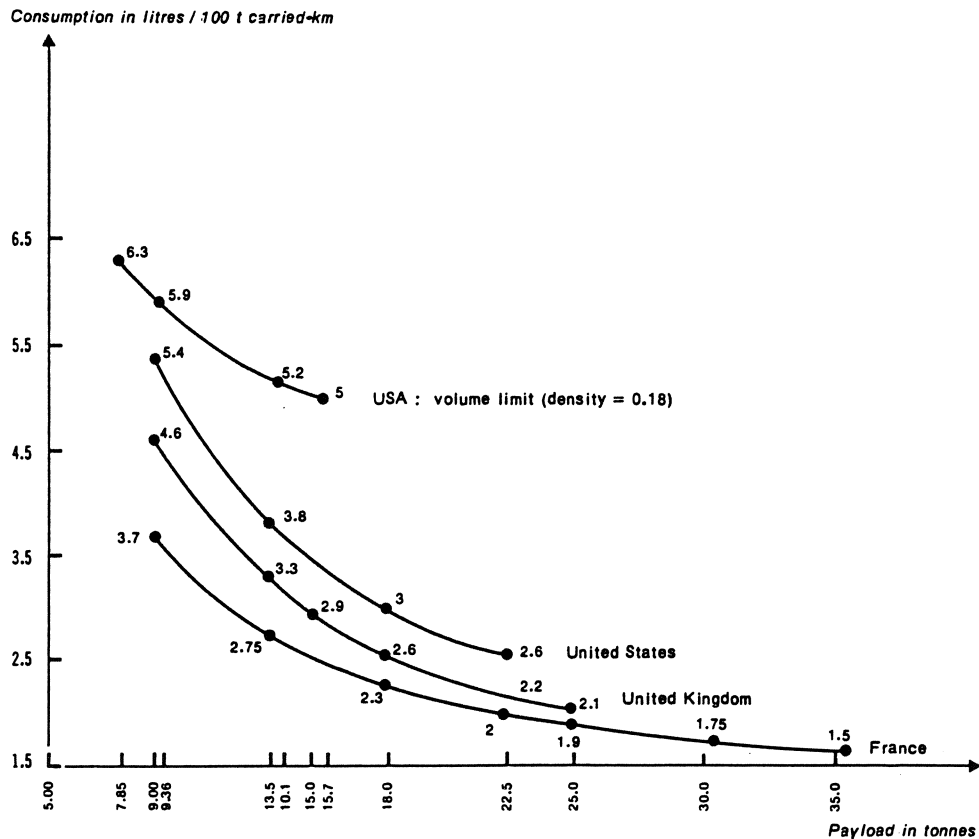


Tabelle IX.9

Auswirkungen veränderter Gewichte und Abmessungen
auf den Treibstoffverbrauch
USA

Fahrzeugart	Herkömmliche Sattelschlepper	Zweiteiliger Lastzug
Gewichtsveränderung (1)		
von 33/8/14,5 zu 57/9/15,5	7,2 bis 7.8	4.2 bis 5.5
von 57/9/15,5 zu (Brücke) 10/16	2,7 bis 2,8	4,5 bis 4,8

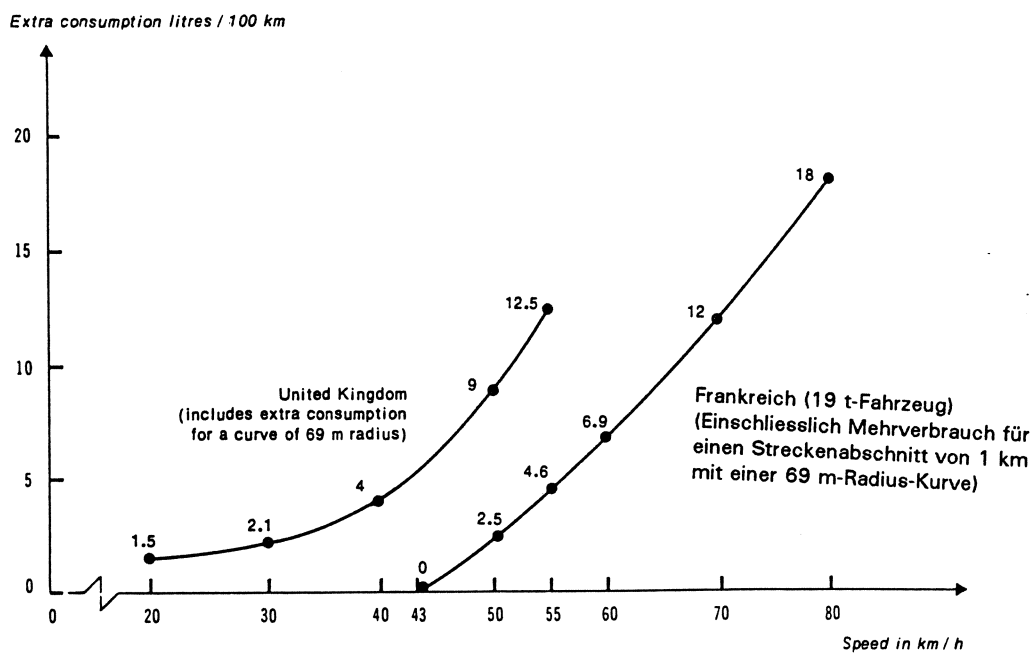
Tabelle IX. 10

Treibstoffmehrverbrauch in Abhängigkeit zu Steigungen (g)
Frankreich

	Neigungswinkel in %	Mehrverbrauch
Beladen	1.5 bis 2.5	4,8 (g-1.5)
	über 2.5	4.8 + 6.5 (g-2,5)
Unbeladen	4 bis 7	1.8 (g-4)
	über 7	5.4 + 2.5 (g-7)

Figur IX.7

Verhältnis Treibstoffmehrverbrauch : Geschwindigkeit



*X. Kapitel***Kostenberechnung****X.1 Analyse der gesamten Betriebskosten**

Die Betriebskosten von Lastfahrzeugen - sie werden je Fahrzeugkilometer oder Tonnenkilometer berechnet - hängen von zahlreichen, einander beeinflussenden oder unabhängigen Parametern ab, die von den Betriebsbedingungen und den Fahrzeugcharakteristika bestimmt werden. Dazu gehören u.a.:

- die Produktionsindikatoren: jährlich zurückgelegte Strecken, Auslastungskoeffizienten (vgl. Kap. IX);
- die Beschaffenheit des Fahrzeugs: Fahrzeugtyp, Achslast und Anzahl Achsen, Gesamtgewicht, Ausführungen, Alter;
- die Betriebsbedingungen: Art und Grösse des Transportunternehmens und der beförderten Güter;
- die Strassenführung und der Strassenzustand.

Es bestehen daher grosse Unterschiede in den Betriebskosten schwerer Lastwagen, sogar zwischen Fahrzeugen des gleichen Typs. In einer amerikanischen Untersuchung wurden z.B. - unter sonst gleichen Bedingungen - zwischen verschiedenen Regionen Abweichungen von bis zu 30% verzeichnet.

Deshalb ist es noch schwieriger, auf internationaler Ebene verlässliche und aussagekräftige Vergleiche anzustellen, zumal jeder Staat seine eigene Zoll-, Lohn- und Steuerpolitik (einschliesslich der Infrastrukturabgaben) sowie sein spezifisches Rechnungssystem besitzt. Da indes die Analysemethoden recht einheitlich sind, ist es möglich, einige interessante Trends und übereinstimmende Ergebnisse darzustellen.

X.1.1 Komponenten der Betriebskosten

Man unterscheidet im allgemeinen zwischen fixen Kosten in bezug auf Fahrzeuge und Fahrpersonal - in Abhängigkeit von der Zeit - und variablen Kosten, die im wesentlichen von den zurückgelegten Strecken abhängen. In Tabelle X.1 sind die wichtigsten Kostenelemente aufgeführt, wie sie generell von allen Ländern anerkannt werden, obschon z.T. gewisse Unterschiede in der Definition der einzelnen Kostenbestandteile und in den Berechnungsmethoden bestehen.

Es werden drei verschiedene Konzepte zur Berechnung der Betriebskosten von schweren Lastfahrzeugen unterschieden:

1. Die Vollkosten, d.h. die vom Warenempfänger zu übernehmenden Betriebskosten, die somit auch die Gemeinkosten und die Gewinnmargen einschliessen;
2. Die Gestehungskosten, d.h. die Kosten für den Transportunternehmer;
3. Die eigentlichen "Produktionskosten", d.h. die Gestehungskosten ausschliesslich der verschiedenen Steuern, die von der Allgemeinheit aus gesehen lediglich einen Transfer darstellen.

X.1.2 Die wichtigsten Ergebnisse

Verschiedene Länder haben detaillierte Angaben über die Betriebskosten von Lastfahrzeugen geliefert. Diese Daten stammen zum grössten Teil aus systematischen, periodischen oder einzelnen Untersuchungen, die von Verwaltungsstellen in Zusammenarbeit mit industriellen Berufsverbänden durchgeführt wurden. Angesichts der Vielfalt der Situationen und der unterschiedlich detaillierten statistischen Unterlagen ist ein strenger Vergleich nur bedingt möglich; die in diesem Bericht aufgeführten Zahlen sind somit lediglich Trendwerte, die mit der gebührenden Vorsicht interpretiert werden sollten.

In Tabelle X.2 ist für sieben Länder der prozentuale Anteil der einzelnen Ausgabeposten aufgeführt, aus denen sich die gesamten Betriebskosten zusammensetzen (grösstenteils für Fahrzeuge mit hohem Gesamtgewicht). Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 1979 oder 1980.

Diese Aufschlüsselung der Betriebskosten macht einige Bemerkungen erforderlich:

- Der Anteil der variablen Kosten liegt im allgemeinen bei 40 bis 45%, derjenige der fixen Kosten demzufolge zwischen 55 und 60%;
- Die Gemeinkosten werden meist auf rund 20% der Gestehungskosten, wie definiert, geschätzt;
- Man stellt fest, dass der Anteil des Treibstoffes im allgemeinen mit steigendem Gesamtgewicht wächst, während derjenige der Löhne des Fahrpersonals abnimmt. Bei den untersuchten Fahrzeugen beträgt der Anteil der Löhne an den gesamten Betriebskosten generell zwischen 30 und 40%.

X.1.3 Kostenparameter

Von besonderer Bedeutung ist hier die Untersuchung der Beziehung zwischen den Betriebskosten und bestimmten Fahrzeug-Parametern, insbesondere Abmessungen und Gewichten.

In den USA wurde vor kurzem eine grossangelegte Untersuchung durchgeführt, in der die Auswirkungen von Mass- und Gewichtsveränderungen (namentlich der maximalen Achs- und Nutzlast) auf die gesamten Transportkosten - unter Annahme konstanter Gewinnmargen der Transportunternehmen - analysiert wurden. Kostenmodelle wurden aufgrund von Daten erstellt, die vom Nationalen Handelsausschuss (Interstate Commerce Commission) bereitgestellt wurden (für das öffentliche Transportwesen), sowie aufgrund von Umfragen bei Transportunternehmungen und ergänzenden Angaben von Gütertransportverbänden (für das private Transportwesen). Diese Modelle stützen sich auf die im Jahre 1977 herrschenden Bedingungen bezüglich der Durchschnittspreise, Profitraten, Produktivität und Kostenstruktur. Es wurden auch die regionalen Unterschiede berücksichtigt. Die angewandten Methoden waren genügend differenziert, damit die gesteckten Ziele erreicht und darüber hinaus der Einfluss anderer Gesetzesänderungen sowie die langfristigen Auswirkungen von relativen Veränderungen bei den verschiedenen Kostenfaktoren - d.h. die inflationsbedingten Preisunterschiede - gemessen werden konnten.

Aus dieser amerikanischen Studie geht hervor, dass bei einer Abweichung des Gesamtgewichts und der Achslast von den geltenden Bundesnormen im Umfang von höchstens 10% keine signifikanten Veränderungen in den Betriebskosten pro Fahrzeugkilometer zu verzeichnen waren.

Dies scheinen im übrigen Daten aus der BRD zu bestätigen. Diese zeigen, dass die Betriebskosten je Fahrzeugkilometer von 1 auf 1,5 steigen, wenn das Gesamtgewicht von 18 auf 50 Tonnen erhöht wird {Elastizität = 0,28}. Andererseits sind sie natürlich umgekehrt proportional zu der jährlich zurückgelegten Gesamtstrecke, wobei die Elastizität bei einer Veränderung dieser Strecke innerhalb einer bestimmten Bandbreite (60'000 bis 120'000 km) nur wenig variiert.

Somit stellen - wissenschaftlich gesehen - die Betriebskosten pro Tonnenkilometer in Abhängigkeit von der Last, und zwar für verschiedene Fahrzeugtypen, das wichtigste Kriterium dar. Die Nutzlast, in Tonnen ausgedrückt, variiert in Abhängigkeit von einer ganzen Reihe von Parametern, deren kombinierte Wirkungen oft nur schwer zu analysieren sind: verfügbarer Laderaum (Höhe, Breite, Länge), Bauart des Fahrzeuges, Gesamtgewicht, höchstzulässige Achslast usw. Um genaue Vergleiche anstellen zu können, müsste daher für jeden in Betrieb stehenden Fahrzeugtyp eine eingehende Analyse vorgenommen werden.

Die folgenden, aufgrund einer Untersuchung zahlreicher weltweit verkehrender Fahrzeugtypen errechneten Näherungswerte können zur Schätzung der Nutzlast - ausgehend vom zulässigen Gesamtgewicht - verwendet werden: Nutzlast = Gesamtgewicht $\times$ 0,75 - 3 (in t). Diese Formel ist auf Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von 10 oder mehr Tonnen anwendbar und ergibt Resultate, die nicht mehr als 10% von den in der Praxis festgestellten Werten abweichen. Es ist zu bemerken, dass die Formel bei einer linearen Zunahme des Gesamtgewichtes eine mehr als lineare Steigerung der Nutzlast impliziert.

Die Länder, welche Angaben in bezug auf Veränderungen der Gesamtbetriebskosten in Abhängigkeit von der Nutzlast (oder vom Gesamtgewicht) gemacht haben, weisen zwar nicht gerade identische, aber doch vergleichbare und in der Tendenz übereinstimmende Resultate aus, dies trotz den oben erwähnten Unterschieden, z.B. bezüglich der Fahrzeugebeschaffenheit.

Die Beispiele (Figuren X.1, X.2, X.3) gehen von einem willkürlich gewählten Index 1 für die Betriebskosten eines Lastwagens mit Anhänger mit einem Gesamtgewicht von 32 Tonnen aus. Die ersten zwei Figuren geben die entsprechenden Ergebnisse aus der BRD und Dänemark wieder (Betriebskosten je t/km im Juli 1979), und zwar für verschiedene Fahrzeugcharakteristika und eine relativ breite Lastenpalette.

Die Daten aus Irland zeigen die Kostenveränderung in Abhängigkeit von vier Nutzlastwerten auf; der Verlauf der Kurve ist, wie aus Figur X.3 zu entnehmen ist, mit jenem von Dänemark vergleichbar.

Eine Studie des TRRL in Grossbritannien untersucht im Detail die Betriebskosten von Sattelzügen mit einem Gesamtgewicht von 32,5 bis 44 t in Abhängigkeit von der Anzahl der Achsen und der Lastenverteilung auf die einzelnen Achsen. In der Studie werden die verschiedenen in Europa üblichen Fahrzeugtypen sowie andere, von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften empfohlenen Typen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind der Figur X.4 zu entnehmen.

Alle diese Zahlen belegen, dass die Elastizität der Betriebskosten (je t/km) in bezug auf die transportierte Last mit steigender Last abnimmt. Ein Beispiel: Im Falle von Dänemark sinkt sie von 0,48 bei Einzelfahrzeugen von 8 bis 12 t auf 0,30 bei Lastzügen (Lastwagen mit Anhänger). In der BRD sinkt sie stetig von 0,80 bei Zweiaxsern auf 0,54 bei sechsachsigen Lastzügen.

Daraus lässt sich ableiten, dass der relative wirtschaftliche Nutzen aus einer Mass- und Gewichtsveränderung und der sich daraus ergebenden Nutzlaststeigerung grösser ist bei Fahrzeugen mit kleinerer Achszahl.

Die erwähnte amerikanische Studie hebt zwei wichtige Faktoren hervor, die in ökonomischen Untersuchungen über den Gütertransport auf der Strasse allzu oft vernachlässigt werden.

Einfluss der Dichte der beförderten Güter

Es ist häufig zu beobachten - obschon es in den verfügbaren Statistiken nicht immer angemessen zum Ausdruck kommt -, dass beim Gütertransport durch schwere Lastzüge das verfügbare Volumen den wichtigsten limitierten Faktor darstellt. So wird in den USA die durchschnittliche Dichte der transportierten Güter auf lediglich 0,18 geschätzt. Ebenso scheint in Frankreich die Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichtes von 35 auf 38 t eine bedeutend geringere Zunahme der effektiv beförderten Last nach sich gezogen zu haben.

Der Faktor der Dichte kann somit zu einer Verminderung des potentiellen Nutzens aus Mass- und Gewichtserhöhung führen, ein Nutzen, der nur bei voller Ladung vollumfänglich erzielt werden kann. Dies geht klar aus der amerikanischen Studie hervor, in welcher zudem dargelegt wird, dass sich die kritische Distanz für die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Schienentransport je nach Gewicht und Grösse sowie der Art der Beladung erheblich ändern kann.

Daraus lässt sich die grosse Bedeutung von Kriterien wie interner Produktivität und Betriebsleistung im Strassen-Gütertransport sowie der Stellenwert einer Spezialisierung von Schiene und Strasse im Güterverkehr ersehen.

Einfluss der Bauart des Fahrzeugs

Eine Erhöhung der von einem Fahrzeug beförderten Last hat - an bestimmten kritischen Punkten - Veränderungen in der Bauart oder der Gestalt des Fahrzeuges zur Folge, was einen Bruch in der Betriebskosten-Nutzlast-Kurve bewirken kann. Der "Bauarteffekt" kann sich, bei gleicher Last, in einer Zunahme der Kosten pro Tonnen-Kilometer äussern. Im Fall der BRD kommt dieser Effekt in der Figur zum Ausdruck. Er ist lediglich im Übergang von zwei auf drei Achsen bei den Einzelfahrzeugen und von fünf auf sechs Achsen bei den Lastzügen (Lastwagen mit Anhänger) sicht-

bar. Diese Veränderung macht fünf bis zehn Prozent aus (bei den Betriebskosten). In der amerikanischen Studie wird dieser Effekt beim Wechsel vom traditionellen Lastzug (Lastwagen mit Anhänger) zu zwei- oder dreiteiligen Lastzügen analysiert. Die britische Untersuchung bringt dieselbe Auswirkung im Fall der Sattelzüge klar zum Ausdruck, und zwar beim Übergang von vier auf fünf Achsen (und offensichtlich auch bei jenem von fünf auf sechs Achsen). Die relative Kostensteigerung beträgt hier rund 10%.

X.2 Infrastrukturkosten

Die Infrastrukturkosten sind für die Transportunternehmen, die Fahrzeughersteller und die öffentliche Hand von entscheidender Bedeutung. Eine Schätzung der vom Schwerverkehr verursachten Kosten ist insofern von grossem Interesse, als sie Informationen über den Umfang der von der Allgemeinheit zu diesem Zweck aufgebrauchten Mittel liefert. Sie dient aber auch als Grundlage für die Festsetzung von Steuern - namentlich in Form von Verkehrsabgaben - zur Deckung der Infrastrukturkosten (mit dem Ziel, gute Wettbewerbsbedingungen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern zu schaffen). Obschon die Regierungen im allgemeinen gegen eine Verteilung von Steuererträgen sind, haben zahlreiche Länder ein solches System eingeführt. Auf internationaler Ebene haben sowohl die EG wie auch die ECMT (Europäische Verkehrsministerkonferenz) auf diesem Gebiet Anstrengungen unternommen, um für ihre Mitgliedländer ein gerechtes System für die Verteilung der Infrastrukturkosten auf die verschiedenen Strassenbenutzer-Kategorien zu entwickeln.

Es können zahlreiche Steuersysteme ins Auge gefasst werden. Sie sollten indes alle den folgenden drei Kriterien genügen:

- Horizontale Gleichbehandlung, d.h. gleichartige Benützer sollten gleich behandelt werden;
- vertikale Gleichbehandlung, d.h. verschiedenartige Benützer sollten nach vergleichbaren Grundsätzen behandelt werden; dies ist das am schwersten zu erfüllende Kriterium;
- wirtschaftliche Leistungsfähigkeit zum Nutzen der Allgemeinheit.

Wie in einem amerikanischen Forschungsprojekt dargestellt wurde, könnten die Kosten z.B. entsprechend der Zahlungsfähigkeit der einzelnen Strassenbenützer, dem Nutzen, den sie aus dem Verkehr ziehen, oder auch entsprechend dem verursachten Schaden verteilt werden. Einzig in diesem letzten Fall kann das Ziel der Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

Die Theorie der optimalen Mittelallokation verlangt, dass jeder Benützer einer Infrastruktur die durch seine Benützung entstehenden Grenzkosten trägt, d.h. jenen Anteil an den Verwaltungs-, Unterhalts- und Verkehrsüberwachungskosten, der ihm angerechnet werden kann. Im Falle der Verkehrsinfrastruktur, und insbesondere der Strasse, hätte ein solches System jedoch ein finanzielles Defizit zur Folge, da dieser Sektor durch hohe Fixkosten und steigende Skalenerträge gekennzeichnet ist. Überdies müssen Strassenbaumaterialien und -techniken bestimmte Mindestanforderungen erfüllen (z.B. Mindestdicke des Strassenbelags), welche den nichtzuteilbaren Anteil der Aufwendungen erhöhen. Diese Theorie hat zwei weitere Auswirkungen:

- Das entstehende Defizit muss durch "neutrale Transfers" gedeckt werden, d.h. durch solche, die die Wahl des Konsumenten nicht beeinflussen. Ist dies nicht möglich, so wird das Defizit im allgemeinen entsprechend den berechneten Grenzkosten anteilmässig verteilt, oder die Kosten werden gleichmässig auf alle Strassenbenützer verteilt (wie in der oben erwähnten US-Studie);
- Eine optimale Betriebsführung lässt frühere Investitionsaufwendungen ausser Betracht.

X.2.1 Die verschiedenen theoretischen Besteuerungssysteme

- a) Die ökonomische Strassenbenützungsgebühr
Dies ist eine Steuer, welche das Kapazitätsangebot und die Kapazitätsnachfrage ins Gleichgewicht bringt. Sie entspricht den sozialen Grenzkosten zuzüglich einem "Strafgebühr" genannten Zuschlag im Falle von Verkehrsstauungen.
- b) Die sozialen Grenzkosten
Dies entspricht einer optimalen Mittelallokation, bei der externe Einflüsse mitberücksichtigt werden; obwohl diese Besteuerungsmethode kein ausgeglichenes Budget gewährleisten kann, ist es das am weitesten verbreitete Konzept.
- c) Die langfristigen Grenzkosten
Dies ist der Quotient aus den gesamten diskontierten Mehrkosten, die durch Veränderung im Verkehrsaufkommen verursacht werden und dem Wert dieser Veränderungen. Diese Besteuerungsmethode garantiert beständige Ausgaben, hat jedoch ein Defizit zur Folge und erlaubt keinen kurzfristigen Ausgleich von Angebot und Nachfrage.
- d) Die vollständigen laufenden Unkosten
Dies ist die Summe der Unterhalts-, Betriebs- und Kapitalkosten (diese werden aufgrund des Ersatzwertes der Infrastrukturanlagen berechnet); sie wird entsprechend den anrechenbaren Grenzkosten anteilmässig auf die verschiedenen Benützerkategorien verteilt. Die verbleibenden Ausgaben werden nach einem etwas willkürlichen Schlüssel aufgeteilt. Diese Methode gewährleistet keine optimale Ausnutzung der Infrastruktur und schafft Probleme bei der Kostenberechnung.
- e) Das System des Budgetgleichgewichts
Es gibt zwei Methoden zur Verteilung der Investitionsausgaben während der laufenden Haushaltsperiode:
 - Für jede Benützerkategorie werden die sozialen Grenzkosten und die von ihr verursachten Gesamtkosten ermittelt. Dem Benützer wird sodann eine der Differenz entsprechende Ausgleichssteuer auferlegt;
 - eine kollektive Nutzenfunktion wird unter Einschränkungen (Budgetgleichgewicht) maximiert, indem bei jeder Benützerkategorie auf Steuern, Transportnachfrage sowie andere Faktoren eingewirkt wird.

Alle diese Besteuerungsmethoden sind nur schwer in die Praxis umzusetzen.

X.2.2 Die Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Infrastrukturkosten

Die Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Infrastrukturaufwendungen stellen einen wichtigen und vielschichtigen Problembereich dar, dem leider bis heute nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Die bislang durchgeführten, in diesem Bericht erwähnten Studien sind grossenteils nur punktuell und bruchstückhaft und lassen keine praktisch anwendbaren Schlussfolgerungen zu. Dennoch soll der Versuch unternommen werden, das Problem für drei Arten von Infrastrukturausgaben zu untersuchen: Bau von neuen Strassen, Verstärkung bestehender Strassen und Strassenunterhalt.

Die verwendeten Daten sind zum grossen Teil keine Erfahrungswerte, sondern theoretische Ableitungen aufgrund der angewandten Strassenbaumethoden sowie der gewählten Unterhalts- und Reparaturpolitik. Wie weiter unten zu zeigen sein wird, hat dieser Ansatz klare Vorteile. Es muss zudem betont werden, dass zum Beispiel multiple Regressionsanalysen, mit denen versucht wird, die festgestellten Gesamtausgaben als Funktion einer Anzahl Variablen - u.a. des Verkehrs - zu erklären, selten zu schlüssigen und brauchbaren Ergebnissen geführt haben. Das Problem besteht darin, den anrechenbaren Anteil an den Infrastrukturausgaben zu bestimmen, d.h. jenen Anteil, der den einzelnen, die Strasse benützenden Fahrzeugkategorien angelastet werden kann. Der Grad der "Anrechenbarkeit" ("Marginalisationsgrad") wird gewöhnlich und praktischerweise durch die Elastizität der Ausgaben-Verkehrsaufkommen-Kurve ausgedrückt, d.h. durch den Quo-

tienten aus der prozentualen Veränderung der Ausgaben und der relativen Veränderung des Verkehrsaufkommens.

Methoden für die Bestimmung des anrechenbaren Anteils an den Infrastrukturausgaben

Es gibt vier Methoden zur Bestimmung des anrechnungsfähigen Anteils der Infrastrukturausgaben; ihre Wahl hängt von den verfügbaren statistischen und anderen Daten ab.

i) Dynamische Methode

Bei dieser Methode wird der anrechenbare Anteil durch den Quotienten aus der relativen Veränderung der Ausgaben (A) und der relativen Veränderung des Verkehrsaufkommens (..V) über eine gegebene Zeitspanne bestimmt. Dieser globale Ansatz hat zwar den Vorteil, dass er sich auf die konkreten Ergebnisse der Strassenverstärkungs- und Strassenunterhaltspolitik abstützt, er bringt jedoch auch eine Reihe von Nachteilen mit sich, die seine Anwendung etwas erschweren:

- Er kann in der Praxis nicht auf den Bau neuer Infrastrukturanlagen angewandt werden;
- Er trägt den qualitativen Unterschieden bei den Dienstleistungen, die den Verkehrsteilnehmern auf den verschiedenen Strassenkategorien angeboten werden, nicht Rechnung; diese Unterschiede können sich in Zeiten strenger Budgetkontrolle noch verschärfen;
- Er lässt den Grad der Bedürfnisbefriedigung unberücksichtigt. So sind z.B. bei der gegenwärtigen Wirtschaftslage in einigen Ländern trotz einer oft erheblichen Zunahme des Verkehrsvolumens eine Verringerung oder ein Einfrieren der Ausgaben für Unterhalt zu beobachten. Dies führt zu einem unerwünschten Absinken des Dienstleistungsniveaus und somit zu einer Entfernung vom angestrebten Optimum; dabei verliert die Grenzkostenbestimmung jeglichen Sinn. Diese ist nur bei einer quasi optimalen Verwaltung des Strassennetzes sinnvoll. Im Bericht Irlands kommt dieser Punkt klar zum Ausdruck: es wird gezeigt, dass in Irland die Unterhaltsausgaben - bei konstanten Preisen - zwischen 1972 und 1979 um 12 % abnahmen, währenddem die Zahl der Gütertransportfahrzeuge im gleichen Zeitraum um 37 % anstieg. Der Bericht kommt zum Schluss, dass die Berechnungen aufgrund von theoretischen Ausgaben vorgenommen werden sollten; dieser Ansatz soll im folgenden erläutert werden.

ii) Statistische Methode

Bei dieser Methode wird eine statistische Regressionskurve zwischen dem Niveau der festgestellten Ausgaben und dem Verkehrsaufkommen gezeichnet, und zwar für das gesamte Strassennetz oder einen repräsentativen Abschnitt. Entspricht die Kurve beispielsweise einer Funktion des Typs $A \text{ (Ausgaben)} = a + bV \text{ (Verkehr)}$, so ist der "Anrechenbarkeitsgrad" in der Umgebung eines Punktes auf der Kurve $b \times V:A$. Obschon diese Methode genauer ist als die vorangehenden, können auch mit ihr die oben beschriebenen Probleme nicht zufriedenstellend gelöst werden. Ausserdem ist sie nur schwer anwendbar, da es die Menge der erhaltenen Punkte nicht erlaubt, eine klare, kontinuierliche Kurve zu zeichnen.

iii) Vergleichende statistische Methode

Obgleich diese Methode in bezug auf die theoretischen Grundlagen völlig verschieden ist, stellt sie de facto dennoch eine Variante der statistischen Methode (ii) dar. Sie besteht im Erstellen einer Kurve, welche die Veränderungen der normativen (oder theoretischen) Ausgaben in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen darstellt; sie widerspiegelt somit die gewählte Politik in den Bereichen Bau von neuen Strassen (z.B. Bauvorschriften) sowie Verstärkung und Unterhalt von bestehenden Strassen (Interventionsnormen), dies für jede Verkehrs-Kategorie.

Diese Methode lässt nicht nur einheitliche Berechnungen bei den verschiedenen Ausgabenposten zu, sondern ermöglicht auch eine Lösung der bei den anderen Methoden auftretenden Probleme; insbesondere kann durch sie der anrechenbare Anteil unter optimalen Bedingungen definiert werden, d.h. in Übereinstimmung mit der gewählten Strassenverkehrspolitik und deren Folgen.

Indes sind gegenüber diesem Ansatz zwei Vorbehalte zu machen:

- a) Die Methode impliziert, dass ein theoretischer "Anrechenbarkeitsgrad" auf die effektiven Ausgaben angewendet wird. In bezug auf den Strassenunterhalt weichen die tatsächlichen Ausgaben häufig beträchtlich von den - auf angenommenen Bedürfnissen basierenden - "normativen" Ausgaben ab; als Folge können die Ausgabenveränderungen in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen (Elastizitäten) in beiden Fällen sehr unterschiedlich sein.
- b) Eine Bestimmung des anrechenbaren Anteils auf normativer Grundlage bringt die Verpflichtung mit sich, den Strassenbenützern Leistungen anzubieten, die den normativen Ausgaben entsprechen. Leider ist dies in der Praxis nicht immer der Fall, wie das Beispiel Irland belegt. Diese Diskrepanz ist ein besonders heikles Problem.

iv) Qualitative Methode

Bei dieser Methode wird der anrechenbare Anteil mittels einer qualitativen Analyse der verschiedenen Unterhalts- und Reparaturarbeiten bestimmt; diese Analyse dient dazu, die Kosten bestimmter Strassenabschnitte mit ähnlichen Charakteristika während eines gegebenen Zeitraumes zu bestimmen und den mit dem Verkehrsaufkommen variierenden Anteil dieser Kosten festzulegen. Diese Methode ist schwer anwendbar und beruht in hohem Masse auf subjektiven Einschätzungen; sie hat die gleichen Nachteile wie die dynamische Methode.

In der laufenden amerikanischen Studie kommt eine Variante dieser qualitativen Methode zur Anwendung. Diese geht von den Grundsätzen der Wertanalyse aus: Zunächst werden die Gründe für jede Intervention untersucht und die Ergebnisse quantifiziert; auf diese Weise können sodann Verteilungsfunktionen entwickelt werden, welche die Veränderungen bei den Ausgaben in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und der (statistischen) Verteilung der Fahrzeugkategorien beschreiben.

Beispiel für den Bau neuer Strassen

In Kapitel VI wird die Vielfalt der Situationen, der theoretischen und praktischen Baumethoden, der Materialien usw. hervorgehoben, gleichzeitig aber auch auf allgemeingültige Trends bezüglich der Methodik und der Ergebnisse hingewiesen. Gestützt auf Informationen, die der Gruppe geliefert wurden, ist eine "Baukosten-Schwerverkehrs"-Kurve erstellt worden, bei der die Daten der folgenden neun Länder berücksichtigt sind: Dänemark, Frankreich, Bundesrepublik Deutschland, Italien, Japan, Niederlande, Spanien, Schweiz und Grossbritannien. Folgende Grundsätze und Annahmen liegen dieser Kurve zugrunde (siehe Figur X.5 im Anhang zu diesem Kapitel).

- Die für die wichtigsten Baumaterialien vorgeschriebenen Dicken wurden in Kostenindices umgerechnet, wobei als approximative Basis die 1981 in Frankreich geltenden relativen Preise verwendet wurden: unbehandeltes Mischgut: 1; natürliches, hydraulisch gebundenes Mischgut: 1,5; ausgewähltes Unterbau-Füllmaterial: 0,5; bituminöses Material: 4; Magerbeton: 3; mit hydraulischen Bindemitteln behandelter Kiessand: 1,5.

Folgende Kategorien von Fahrbahnstrukturen wurden berücksichtigt:

- für schwachen Verkehr: Fahrbahn mit nichtverfestigter Tragschicht;
- für mittleren Verkehr: Fahrbahnstruktur aus einer gebundenen Tragschicht (hydraulisches oder bituminöses Bindemittel) über einem nicht verfestigten Unterbau;
- für starken Verkehr: Mischbauweise o.ä.
- für das "Glätten" der Kurve wurden die Shell- sowie die französische Methode angewandt.

Beispiele für die Verstärkung bestehender Strassen

Unter Verstärkung ist in diesem Zusammenhang jede Massnahme zu verstehen, mit der eine zu wenig tragfähige Fahrbahn der effektiven Verkehrsbelastung angepasst wird, indem eine dicke Lage (Tragschicht und Decke) aufgetragen wird. Obwohl das Problem des Verstärkens, wie hier definiert ist, spezifisch ist für Frankreich, verdient es dennoch Erwähnung, da auch andere Länder ähnliche Massnahmen ins Auge fassen, um ihr Strassennetz zu verbessern.

Die hier entstehende Ausgaben-Verkehrsaufkommen-Kurve weist eine abnehmende Elastizität auf, ausser im Falle des schwachen Verkehrs, da auch dort bei den hydraulisch gebundenen

Tragschichten die (technische) Mindestdicke notwendig ist. Die Elastizität variiert je nach Baustoff und Verkehrskategorie zwischen 0,04 und 0,5.

Beispiele für den Strassenunterhalt

Leider wurden der Gruppe nur wenig Informationen über Methoden zur Untersuchung der Unterhaltskosten in Abhängigkeit vom Verkehrsvolumen zur Verfügung gestellt. Nachstehend sind die interessantesten Ergebnisse dargestellt, wie sie von Frankreich, der Schweiz und den USA mitgeteilt wurden. Sie stellen indes lediglich einen vorläufigen Ansatz dar und können keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Dieses Problem verdient ohne Zweifel weiterverfolgt zu werden.

Es sind grundsätzlich zwei Arten von Unterhalt zu unterscheiden:

a) Strukturunterhalt

Zum einen ist der Strukturunterhalt zu nennen, bei dem die Fahrbahn durch das Auftragen einer zusätzlichen Schicht periodisch der veränderten Verkehrsbelastung angepasst wird, um dadurch ihre Lebensdauer zu verlängern und akkumulierte Materialermüdung zu kompensieren.

b) Belagsunterhalt

Zum anderen ist der Belagsunterhalt zu nennen, der dazu dient, die Oberflächencharakteristika der Fahrbahn - Ebenheit, Griffigkeit und Undurchlässigkeit - wiederherzustellen.

In den aufgeführten Beispielen (Frankreich, Schweiz usw.) sind alle Oberflächenbehandlungen sowie Arbeiten an den obersten zwei Zentimetern der relativ dicken bituminösen Deckschicht unter "Belagsunterhalt" zusammengefasst. Diese technischen Klassifizierungen sind natürlich - je nach den angewandten Unterhaltstechniken - von Land zu Land verschieden, doch ist das hier verwendete Grundkonzept gradlinig und dem Zweck dieses Berichtes angepasst.

In Frankreich sind, gestützt auf jahrelange Erfahrung und aufgrund der gegenwärtigen theoretischen Kenntnisse, langfristige Unterhaltsszenarien (25 Jahre) für verschiedene Strassenkategorien ausgearbeitet worden. Sie sind Teil einer präventiven Unterhaltspolitik, deren Ziel es ist, den Strassenbenützern zu jeder Zeit ein hohes Dienstleistungsniveau zu gewährleisten. Diese Szenarien sind die detailliertesten, die gegenwärtig verfügbar sind. Sie bezeichnen das Jahr, in dem eine Unterhaltsmassnahme getroffen werden sollte, die Art der Massnahme sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Typ von Unterhaltsarbeiten ausgeführt werden muss. Sie gehen von normativen, jedoch einigermaßen realistischen Annahmen aus; natürlich werden die ihnen innewohnenden Unsicherheiten mit wachsendem Zeithorizont grösser. In Figur X.6 ist der Index der diskontierten Unterhaltskosten (jährlicher Diskontierungssatz: 9 %) bei bituminösen Deckschichten über 25 Jahre hinweg dargestellt, dies in Abhängigkeit vom mittleren Verkehrsaufkommen.

Aufgrund von weniger detaillierten und weniger spezifischen statistischen Angaben, die sich zudem meist auf kürzere Zeitabstände beziehen, lassen sich indes auch für andere Länder analoge Graphiken erstellen.

Trotz Unterschieden in der Unterhaltungspolitik der einzelnen Länder stimmen die gelieferten Daten doch so weit überein (vorausgesetzt, dass die Ausgabenveränderungen als eine Funktion des Verkehrsvolumens und nicht als absolute Grösse betrachtet werden), dass eine Durchschnittskurve gezeichnet werden kann, die für die verschiedenen Situationen repräsentativ ist.

Figur X.7 zeigt die durchschnittliche Kostenentwicklung beim Struktur- und Belagsunterhalt in Abhängigkeit vom Schwerverkehr für die folgenden fünf Länder: Frankreich, BRD, UK, Japan und Schweiz.

Bemerkungen

- Für die Berechnung der Werte wurde bei allen Ländern die gleiche Kostenskala sowie eine Diskontierungsrate von jährlich 9 % angewandt.
- Die diskontierten Kosten wurden im Falle Frankreichs, Grossbritanniens und der Schweiz für einen Zeitraum von 20 Jahren berechnet. Bei der BRD wurde die Kostenentwicklung über 12 Jahre hinweg analysiert. Im Falle von Japan wurden lediglich die durchschnittlichen Jahreskosten für den Belagsunterhalt (ohne Wertbereinigung) berücksichtigt.
- Im Gegensatz zu den anderen Ländern hat die BRD Belagserneuerungen in ihre Unterhaltsszenarien eingeschlossen. Da es jedoch unmöglich ist, den Einfluss von Belagserneuerungen auf die spätere Belastungsfähigkeit der Fahrbahn einzuschätzen, wurde angenommen, dass alle Massnahmen dieser Art unter Belagsunterhalt fallen.

Aus den in Figur X.7 dargestellten Kurven können im wesentlichen folgende Aussagen abgeleitet werden.

- Die Kosten für Belagsunterhalt variieren - mit Ausnahme spezieller Arbeiten - relativ wenig in Abhängigkeit vom Schwerverkehr und in bezug auf die untersuchte Bandbreite des Verkehrsvolumens. Die Kurve weist eine leicht sinkende Elastizität auf, wobei die durchschnittliche Elastizität von 0,1 (50 bis 200 Fahrzeuge) bis auf 0,03 (250 bis 1250 Fahrzeuge) fällt.
- Die Strukturunterhalts-Kurve weist eine nahezu konstante Elastizität auf (rund 0,2).
- In bezug auf den schwachen Verkehr lässt sich bei den Veränderungen der Unterhaltskosten eine von der vorhergehenden Kurve abweichende Tendenz feststellen. So sind die Elastizitäten bei den Unterhaltsmassnahmen in Frankreich (siehe Figur X.6) im Bereich der kleineren Verkehrsvolumina (100 bis 200 Fahrzeuge) bedeutend höher als diejenigen der Durchschnittskurven (siehe Figur X.7); im Bereich der grösseren Verkehrsvolumina liegen sie jedoch sehr nahe bei den Werten in Figur X.7.

In Tabelle X.3 werden - für die untersuchten Länder - die durchschnittlichen {gerundeten} Elastizitätswerte für verschiedene Verkehrsvolumen-Kategorien rekapituliert.

Von ein paar wenigen Ausnahmen abgesehen, lässt sich bei den Ergebnissen in den verschiedenen Ländern eine recht grosse Übereinstimmung feststellen: die Abweichungen bei den Elastizitäten für eine bestimmte Verkehrsvolumen-Kategorie bewegen sich innerhalb einer Bandbreite von 1:2.

Zusammenfassend kann man sagen, dass - ceteris paribus - die gesamten Strassenunterhaltskosten durchschnittlich 5 bis 10 Mal weniger stark ansteigen als das Verkehrsvolumen.

Diese Ergebnisse können mit Resultaten einer gemeinsamen Untersuchung der Universität von Texas und des texanischen Verkehrsdepartements verglichen werden. In dieser Studie wurden vier sich bezüglich der Referenzmasse und -gewichte unterscheidende Szenarien geprüft, und zwar insbesondere im Hinblick auf Unterhaltskosten, die sie über einen Zeitraum von 20 Jahren verursachen würden. In Tabelle X.4 sind für zwei dieser Szenarien die durchschnittlichen jährlichen Kosten - in Mio Dollar zum Kurs von 1977 - für das interstaatliche Strassennetz aufgeführt.

Obgleich die Interpretation dieser Zahlen Probleme aufwirft, da die Zunahme der Verkehrsbelastung in Szenario B gegenüber derjenigen in Szenario A nicht angegeben ist, können zwei Feststellungen gemacht werden.

- Die Kosten für Belagsunterhalt variieren - zumindest in der betrachteten Verkehrsbandbreite - nicht mit den Veränderungen bei den schweren Motorfahrzeugen;
- Die Strukturunterhaltskosten würden um 40 % ansteigen, wenn die Achslast und das Gesamtgewicht erhöht würden.

Das amerikanische VESYS-Modell erlaubt es, mutmassliche Fahrbahnschäden (Risse, Radfurchen usw.) vorherzusagen und somit die sich je nach dem gewünschten Leistungsniveau daraus ergebenden Unterhaltskosten zu berechnen. Diesem Modell lässt sich entnehmen, wie sich die

durchschnittlichen jährlichen Unterhaltskosten in Abhängigkeit von der Achslast verändern. Die wichtigsten Ergebnisse sind wie folgt:

- Im Mittel steigt der Kostenindex - für alle Fahrbahntypen zusammengefasst - von 1 (für 8-t-Achslast) auf 1,15 (für 9,5-t-Achslast) und 1,21 (für 10,7-t-Achslast). Diese Feststellung gilt für Fahrbahnen, die für eine Achslast von höchstens 8 Tonnen konzipiert wurden. Die Kostenelastizität beträgt rund 0,1.
- Bei starkem Verkehr und bei dünnen Fahrbahnen steigt der Kostenindex etwas stärker als bei leichtem Verkehr und dicken Fahrbahnen.
- Absolut gesehen erfordern für eine bestimmte Achslast konzipierte Fahrbahnen keinen deutlich unterschiedlichen Unterhalt als solche, die für andere Achslasten vorgesehen sind.

X.2.3 Verteilung der anrechenbaren Ausgaben auf die einzelnen Fahrzeugkategorien

Obwohl sie nicht einhellig gutgeheissen worden sind, haben einige Mitgliedsländer der Europäischen Gemeinschaften die von der Kommission befürworteten Richtlinien zur Berechnung der Infrastrukturausgaben für den Schwerverkehr eingeführt.

Es scheint uns nützlich, die praktische Anwendung dieser Richtlinien mit Hilfe der von drei Ländern gelieferten Daten zu beleuchten. Das Problem der Bestimmung des "Anrechenbarkeitsgrades" ist bereits erörtert worden (allerdings nur für gewisse Ausgabenkategorien). Im folgenden soll nun versucht werden darzustellen, wie die anrechenbaren Ausgaben entsprechend den einschlägigen Kriterien verteilt werden.

Die von der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft vorgeschlagenen Verteilungsgrundsätze

Nach diesem Vorschlag werden alle Strassenausgaben (mit Ausnahme des Baues neuer Strassen) in vier Kategorien aufgeteilt - sie werden im folgenden definiert -, wobei jedes Land diese allgemeinen Grundsätze an seine spezifischen Verhältnisse anpassen kann.

Kategorie D_0

Sie umfasst im allgemeinen: Brückenunterhalt, Schneiden von Gras, Hecken und Bäumen sowie weitere Arbeiten auf dem Randstreifen, Verkehrsschilder und -ampeln, Unterhalt von Gehsteigen und Randsteinen, Beleuchtung usw. Diese Ausgaben sind per definitionem nicht zu den anrechnungsfähigen Kosten zu zählen.

Kategorie D_1

Sie umfasst im allgemeinen: Winterdienst, Strassenmarkierungen (ganz oder teilweise), Leitplancken (ganz oder teilweise) usw. Diese Ausgaben - sie werden zu 50 % zu den Grenzkosten gerechnet - werden im Verhältnis der zurückgelegten Fahrzeugkilometer verteilt.

Kategorie D_2

Sie umfasst im allgemeinen: Oberflächenbehandlung, Belagsausbesserungen (ganz oder teilweise), Auftragen von bituminösen Deckschichten (teilweise), Beschilderung (gegebenfalls teilweise, vgl. D_0) usw. Diese Ausgaben, die im Umfang von 60 % zu den anrechenbaren Kosten gezählt werden, werden im Verhältnis der Anzahl Fahrkilometer, gewichtet mit dem Gesamtfahrzeuggewicht, verteilt.

Kategorie D_3

Sie umfasst im allgemeinen: bituminöse Deckschichten (teilweise), Belagsausbesserungen (teilweise), Verstärkung und Erneuerung der Fahrbahnen usw. Diese Ausgaben - sie werden zu 75 % zu den anrechnungsfähigen Kosten gezählt - werden im Verhältnis der Anzahl gleichwertiger Achsen verteilt.

Effektive Aufteilung der Wegekosten gemäss EG-Richtlinien

In Figur X.8 ist dargestellt, wie die Wegkosten in den Ländern Dänemark, Frankreich und Grossbritannien in der Praxis aufgestellt werden. Die Graphik zeigt die Aufschlüsselung in Prozentanteilen der gesamten und der anrechenbaren Aufwendungen entsprechend den vier oben genannten Kategorien.

Weiter sind folgende Bemerkungen zu machen:

Dänemark

Die Angaben betreffen das Jahr 1979 und schliessen Verwaltungs- und Baukosten ein (37 % der Gesamtkosten). Berücksichtigt ist das Staats-, Bezirks- und Gemeindestrassennetz.

Frankreich

Zahlen von 1977, zuzüglich 20 % für allgemeine Kosten; berücksichtigt ist das Staats- und Departementsstrassennetz.

Grossbritannien

Ausgaben zum gegenwärtigen Kurs für Autobahnen, Hauptstrassen (1980/1981) und Nebenstrassen (1978/1979).

In Tabelle X.5 ist der Anteil der den schweren Lastwagen anlastbaren Ausgaben aufgeführt. Trotz Unterschieden zwischen den untersuchten Ländern im relativen Gewicht der einzelnen Ausgabenkategorien sind die Ergebnisse recht einheitlich.

Die von der Europäischen Gemeinschaft vorgeschlagenen Verteilungsgrundsätze veranlassen uns - mit Blick auf die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse - zu zwei Anmerkungen.

In bezug auf den Bau von neuen Strassen und den Strukturunterhalt sollte als Grundlage für die Verteilung der anrechenbaren Aufwendungen der Infrastruktur-Schadenkoeffizient des jeweiligen Fahrzeugtyps herangezogen werden (siehe hierzu Kap. VI). Über den Ansatz zur Behandlung dieses Problems scheint unter den verschiedenen Ländern weitgehend Einvernehmen zu herrschen; aber auch die konkreten Resultate stimmen grösstenteils überein. Indessen sollte beachtet werden, dass der Strukturunterhalt auch von anderen Faktoren als der Achslast abhängt, und zwar ganz besonders von den klimatischen Bedingungen (Frost/Tauwetter-Schäden, Alterung usw.).

Beim Belagsunterhalt ist das Prinzip der Verteilung der anrechenbaren Kosten entsprechend dem Gesamtgewicht unbefriedigend; es sollten daher weitere Forschungsanstrengungen unternommen werden, damit ein wissenschaftlicheres Kriterium gefunden wird, das die Schnittstelle Reifen/Fahrbahn besser berücksichtigt.

Andere Systeme für die Verteilung der Wegekosten

a) Schweiz

In der Schweiz ist ein besonderes System zur Verteilung der Strassenausgaben auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien entwickelt worden. Es wird gegenwärtig revidiert; zwar wird die effektive Verteilung der verschiedenen Ausgabenposten vermutlich leicht geändert, die Grundprinzipien jedoch werden beibehalten. Das Ziel ist es, die gesamten Kosten gemäss dem Grundsatz des Budgetgleichgewichts auf die verschiedenen Benützerkategorien zu überwälzen. Der Hauptnachteil dieses Systems besteht darin, dass es keine optimale Mittelallokation gewährleisten kann. Im folgenden soll dieses Konzept nur kurz beschrieben werden, da es in einem Aufsatz, der anlässlich des 1977 in Paris abgehaltenen OECD-Symposiums zum Thema "Der Schwerverkehr und seine Auswirkungen" (25) präsentiert wurde, bereits im Detail erörtert wurde. Die schweizerische "Strassenrechnung" ermöglicht es, den Kostendeckungsgrad des Motorfahrzeugverkehrs zu bestimmen, wobei die externen Kosten nicht berücksichtigt werden. Der wesentliche Teil der Strassenrechnung ist die Kapitalrechnung. Sie umfasst die Aufwendungen für die Amortisation der getätigten Investitionen, für die Zinsen sowie die Ausgaben für Unterhalt, Beschilderung, Verwaltung und Verkehrspolizei. Auf der Ertragsseite erfasst die Rechnung die mit den Fahrzeugen und deren Gebrauch verbundenen spezifischen Abgaben, d.h. Motorfahrzeugsteuern und Treibstoffzölle.

Die Ausgaben werden auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien entsprechend der jeweiligen Benützung der Infrastruktur und gemäss den von ihnen verursachten Kosten verteilt. Für gewisse, den schweren Lastwagen zugeordnete Ausgaben wird eine nicht lineare Abhängigkeit der Kosten von der Achslast (exponentieller Faktor) zugrundegelegt.

Im Zeitraum 1970 bis 1974 wurde der volle Eigenwirtschaftlichkeitsgrad erreicht, ja sogar überschritten (gesamthaft 109 %), doch sinkt er mit zunehmendem Fahrzeuggewicht: bei Fahrzeugen mit einer Nutzlast von mehr als 9 Tonnen z.B. liegt er bei 72 %.

b) Vereinigte Staaten (USA)

In den USA wird gegenwärtig eine Vorstudie über die Kostenverteilung durchgeführt; darin werden die Wegkosten nach 38 Fahrzeugkategorien und 8 Typen von Strassennetzen aufgeteilt. Diese Studie sieht einen Referenzzeitraum (1976-1978) und einen Vorhersagezeitraum (1982-1995) vor, wobei die Grundannahme lautet, dass das jetzige Leistungsniveau aufrechterhalten wird.

Die Wegekosten werden in verschiedene Ausgabenposten aufgeschlüsselt: Fahrbahnen, Kunstbauten, Erdarbeiten, Landenteignungen, Diverses. Die Verteilungsmethode basiert auf dem Verursacherprinzip und soll auf eine Reihe von "Warum" antworten:

- Warum muss gebaut werden?
- Warum wird eine bestimmte Bauweise gewählt?
- Warum hat man sich für bestimmte geometrische Baunormen entschieden?

Die Antworten auf jede dieser Fragen werden sodann quantifiziert, damit Daten über die Kostenvariationen in Abhängigkeit vom gegenwärtigen und zukünftigen Fahrzeuggebrauch zur Verfügung stehen.

Jeder Ausgabenposten ist in drei Teile unterteilt, die den drei aufeinanderfolgenden Phasen der Studie entsprechen.

Phase 1:

Festlegung des Anteils, der je nach Fahrzeugkategorie variiert, d.h. im allgemeinen nach dem Gewicht, welches einen Einfluss auf die bei der jeweiligen Fahrbahn unternommenen Verstärkungsmassnahmen hat.

Phase 2:

Festlegung des Anteils, der sich in Abhängigkeit von der Kapazität verändert, die gewöhnlich durch die Fahrbahnbreite definiert ist.

Phase 3:

Der verbleibende Kostenanteil hängt entweder vom Verkehrsvolumen ab oder ist vom Verkehr unabhängig (allgemeine Aufwendungen).

Da es hier nicht möglich ist, diese Arbeit umfassend darzustellen, sollen lediglich ein paar Beispiele gegeben werden.

b1) Bau von neuen Fahrbahnen

Da die im Zeitraum 1961 - 1965 angewandte Inkrementmethode willkürlich ist und überdies dem Kriterium der Gleichbehandlung widerspricht, ist sie folgendermassen abgewandelt worden: Bei jeder Fahrzeugkategorie wird in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten jeweils ein bestimmter Anteil dieser Fahrzeuge abgezogen, bis es nicht mehr möglich ist, die parallel dazu verringerte Dicke der Fahrbahn weiter zu reduzieren, d.h. bis die vom AASHTO vorgeschriebene Mindestdicke erreicht ist. Bei jedem Schritt wird die Verringerung der Fahrbahndicke der abgezogenen Anzahl Fahrzeuge zugeordnet, und zwar in Abhängigkeit von den gleichwertigen Normalachsen, gemäss dem Gesetz der vierten Potenz.

In der zweiten Phase wird ein bestimmter Anteil der Ausgaben in Abhängigkeit vom Platzbedarf der Fahrzeuge, d.h. ihrer Breite zugeteilt. Man schätzt, dass dieses Raumkriterium eine Verringerung der Kosten um bis zur Hälfte mit sich bringt (50 % der Strassenbaukosten sind fixe Kosten).

Im Falle des Hauptstrassennetzes werden die Restkosten in Abhängigkeit vom Volumen, ausgedrückt in pcu, verteilt. Beim Nebenstrassennetz wird dieser Kostenanteil als allgemeine Kosten betrachtet; die Methode für deren Verteilung ist umstritten und mehrere Ansätze sind möglich. In einem ersten Versuch wurden die Kosten gleichmässig auf alle Fahrzeuge verteilt; dieses Verfahren scheint einfach und befriedigend zu sein.

b2) Wiederinstandsetzung der Fahrbahnen

In bezug auf die Phase 1 ist es vorteilhaft, für jeden Defekttyp (Abnahme der Griffigkeit, Risse usw.) Schadenfunktionen zu definieren; für eine genaue Bestimmung dieser Funktionen ist indes langfristige Forschungsarbeit erforderlich.

Gestützt auf den gegenwärtigen Wissensstand wurde entschieden, die Sanierungskosten in Abhängigkeit von den gleichwertigten Achsen zu verteilen. Die Kosten für dünne Deckschichten und Belagsausbesserungen werden teilweise gemäss den gleichwertigten Achsen, teilweise in Abhängigkeit vom Gesamtgewicht verteilt, bis eine präzisere - und mithin gewiss komplexere - Funktion definiert ist.

b3) Kunstbauten

Neue Kunstbauten werden gleich behandelt wie neue Strassen, wobei jedoch eine Inkrementmethode angewandt wird, d.h. es werden die schweren Fahrzeugtypen abgezogen.

Bei Sanierungen von Kunstbauten ist die Funktion komplizierter und hängt von den Gründen für die Erneuerung ab.

Die Kosten für die Wiederinstandsetzung werden als allgemeine Kosten eingestuft, da zum jetzigen Zeitpunkt kein besserer Ansatz existiert. Als Alternative können diese Kosten in Abhängigkeit von den pcu verteilt werden.

X.3 Soziale Kosten

Es handelt sich hierbei um ein vielschichtiges Thema, zu welchem die einzelnen Länder der Gruppe nur wenige und sehr lückenhafte Unterlagen zur Verfügung gestellt haben. Einige zusätzliche Informationen lieferten ein paar neuere Studien über die Kosten von Unfällen, in die schwere Motorfahrzeuge verwickelt sind, sowie die OECD-Konferenz über Lärmbekämpfungsstrategien, die sich auch mit den Kosten der Lärmverminderung befasste.

X.3.1 Die Sicherheitsrisiko-Kosten von schweren Motorfahrzeugen

Die Unfallkosten sind ein bestimmender Parameter in jeder Kosten-Nutzen-Analyse im Bereich des Strassen-gütertransports. In den meisten Ländern klaffen in den Statistiken über Unfälle mit Beteiligung von schweren Motorfahrzeugen grosse Lücken, und auch die in Kapitel IV aufgeführten, detaillierten Daten sind unzureichend, um eine vollständige Bilanz des Strassentransportwesens aufzustellen.

Neben den durch Materialschäden verursachten direkten Kosten müssen auch die wirtschaftlichen Auswirkungen von Verkehrsunfällen auf die Allgemeinheit untersucht werden. Eine solche Analyse setzt wirtschaftspolitische Entscheidungen in bezug auf verschiedene grundlegende Optionen voraus.

Den Länderberichten lässt sich entnehmen, dass die Studien zu diesem Themenbereich bezüglich ihrer Ausführlichkeit sehr unterschiedlich sind. Das Problem wird von den Verkehrssicherheitsexperten gewöhnlich umgangen und von den Ökonomen sehr oft übersehen. Mehr Informationen vermittelt der Verkehrsforschungsbericht der OECD über Methoden zur Bewertung von Sicherheitsmassnahmen im Strassenverkehr, in dem die Hauptschwierigkeiten von Unfallkosten-Analysen erörtert werden.

Was die unfallbedingten Verletzungen betrifft, so können die für das Gemeinwesen anfallenden Kosten in Arzt- und Spitalkosten (ärztliche Pflege und Rehabilitation), die je nach Schweregrad des Unfalls variieren, und Produktionsverluste wegen zeitweiliger oder bleibender Invalidität aufgeteilt werden.

Bei der Bewertung der Kosten von tödlichen Verkehrsunfällen stellen sich erhebliche theoretische Probleme, dies sowohl in bezug auf ihre tiefere Bedeutung als auch auf die eigentlichen Berechnungsmethoden. Zudem stellt die Verwendung solcher Daten in wirtschaftlichen Berechnungen ein Problem dar.

Gewisse Länder haben für die Berechnung der Kostenrentabilität von Sicherheitsmassnahmen keinen einheitlichen, offiziellen Wert für Todesfälle festgesetzt. Dennoch wird den Kosten, die der Allgemeinheit durch einen Verkehrstoten erwachsen, implizit ein Wert zugeordnet, der im nachhinein aufgrund der im Bereich der Verkehrssicherheit getroffenen oder eben nicht getroffenen Entscheidungen geschätzt werden kann. Dieser Wert wird natürlich sehr unterschiedlich sein, da er von den jeweiligen Beschlüssen der Entscheidungsträger abhängt.

Andere Länder haben es vorgezogen, für die Kosten von Verkehrsunfällen mit tödlichem Ausgang einen einheitlichen Wert festzulegen; für dessen Berechnung beschränken sie sich im allgemeinen auf die Bestimmung des damit verbundenen wirtschaftlichen Verlustes, d.h. das Individuum wird als menschliches "Kapital" betrachtet, dessen Verschwinden für das Gemeinwesen eine Einbusse an Produktionsleistungen bedeutet und früher getätigte Ausgaben für Konsum und Ausbildung zunichte macht. Gestützt auf diese Grundsätze wurde eine ganze Reihe von Berechnungen angestellt und eine umfangreiche Literatur produziert, die hier nicht im Detail erörtert werden soll.

Beschränken wir uns auf den Hinweis, dass es sich letztlich um einen normativen Entscheid handelt, der auf einer Kombination von drei Bewertungsansätzen beruht:

- Berechnung des Wertes des Individuums: frühere Ausgaben minus geleistete Dienste;
- Berechnung des "künftigen Nutzens" des Individuums: potentielle Produktionsverluste (ausgedrückt durch das Einkommen) minus zukünftige Ausgaben;
- Berechnung der "Ersatzkosten" des Individuums.

In gewissen Fällen, so z.B. in Dänemark, Frankreich, Grossbritannien und den Vereinigten Staaten, wird noch ein Betrag für den menschlichen Verlust hinzugefügt, d.h. für das psychische und emotionale Leid von Individuen und der Gemeinschaft; diese Grösse ist relativ willkürlich gewählt.

Es vermag daher kaum zu erstaunen, dass die a priori für die Kosten von Verkehrstoten berechneten Werte von Land zu Land verschieden sind, je nachdem welche Elemente berücksichtigt werden und wie diese quantifiziert werden. Dennoch ist bei Ländern, die für alle ihre Kosten-Nutzen-Rechnungen einen einheitlichen Wert festgelegt haben, eine recht grosse Übereinstimmung in den Ergebnissen festzustellen. Dies kommt in Tabelle X.6 zum Ausdruck, in der für fünf Länder die Werte für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten von Verkehrsunfällen aufgeführt sind.

Umfassendere Angaben über Unfallkosten - unter Einbezug der verschiedenen Motorfahrzeugkategorien - wurden von einer weiteren Forschungsgruppe der OECD für das Jahr 1976 zusammengestellt (23).

Im folgenden sind einige - allerdings sehr unvollständige - Zahlen über die Gesamtkosten der Unfälle mit Beteiligung von schweren Motorfahrzeugen angegeben.

In Frankreich werden die Kosten von Verkehrsunfällen auf Nationalstrassen und Autobahnen, in die schwere Fahrzeuge verwickelt waren, für das Jahr 1974 auf 3 Mia französische Franken geschätzt (Kurs 1980);

In der BRD beliefen sich die Kosten der durch Verkehrsunfälle an schweren Motorfahrzeugen verursachten Sachschäden - bezogen auf das gesamte Strassennetz - 1978 auf über 900 Mio DM; das entspricht etwa 9 % der Kosten der bei sämtlichen Verkehrsunfällen entstandenen Sachschäden;

In Australien schätzt der Staat Victoria den Kostenanteil der Unfälle mit Beteiligung von schweren Fahrzeugen an den Gesamtkosten aller Verkehrsunfälle auf 16 %;

In Dänemark werden die Kosten von Unfällen, in die schwere Fahrzeuge verwickelt sind, auf rund 12% (oder ca. 210 Mio Kronen) der Gesamtkosten der Verkehrsunfälle geschätzt; die Spediteure bezahlen - über verschiedene Arten von Versicherungen - mehr als 85 % der Kosten, für die sie verantwortlich sind.

Diese Ergebnisse sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da sich die Definition des "schweren Motorfahrzeugs" von Land zu Land unterscheidet; sie vermitteln jedoch eine Vorstellung von der Grössenordnung.

Einen aussagekräftigeren Indikator der wirtschaftlichen Folgen von Unfällen, an welchen schwere Fahrzeuge beteiligt sind, liefert Frankreich. Es schätzt die durchschnittlichen den Lastfahrzeugen anrechenbaren Sicherheitsrisikokosten auf ungefähr 0,2 Franken je Fahrzeugkilometer.

Abschliessend ist zu erwähnen, dass die Gruppe keinerlei Angaben über mögliche Veränderungen bei den Sicherheitskosten in Abhängigkeit von Fahrzeugmassen und -gewichten erhalten hat. Nach wie vor gibt es zahlreiche Unbekannte in bezug auf den Zusammenhang zwischen der Zahl und den Kosten der Verkehrsunfälle einerseits und der sich verändernden Zusammensetzung des Schwerverkehrs (im Sinne einer Verschiebung von einer grösseren Zahl kleinerer und leichter Lastwagen auf eine kleinere Zahl von grösseren und schwereren Fahrzeugen) andererseits.

X.3.2 Die Kosten der Auswirkungen schwerer Motorfahrzeuge auf die Umwelt

Für den Einzelnen hängt das Ausmass der Folgen des Schwerverkehrs für die Umwelt von den Charakteristika der betreffenden Fahrzeuge und von ihrer Auftretenshäufigkeit ab. Das Individuum ist als Fussgänger, als Anwohner einer vom Schwerverkehr befahrenen Strasse oder als ein dieselbe Strasse benützender Fahrzeuglenker mit diesen Auswirkungen konfrontiert.

Leider handelt es sich bei der Bewertung solcher durch den Schwerverkehr verursachten externen Kosten, wie etwa jener, die durch Lärm, Vibrationen, Auspuffgase und andere giftige Gase, Gerüche usw. entstehen, um einen besonders komplexen und umstrittenen Problembereich; daher sind hier noch vermehrt Forschungsanstrengungen nötig. Die in den vorhergehenden Kapiteln gemachten qualitativen Angaben gestatten uns jedoch, das Ausmass der betreffenden Phänomene einzuschätzen.

Es ist auf jeden Fall aufschlussreich, die Bemühungen verschiedener Länder, diese Auswirkungen zu beseitigen oder zu reduzieren, zu untersuchen und die finanziellen Aufwendungen für die am häufigsten getroffenen Massnahmen zu beziffern.

Im Fall von Lastwagen gehören zu diesen Massnahmen:

- i) Verbesserungen bei der Konstruktion von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen, um für die Umwelt schädliche Eigenschaften zu reduzieren oder auszumerzen;
- ii) Verbesserungen der Infrastruktur (Änderung des Strassenverlaufs, Bau von Tunneln und Lärmschutzwänden, Einsetzen von Fenstern mit Doppelverglasung usw.);
- iii) Verlagerung auf andere Träger des Güterverkehrs, wodurch das Volumen des Strassengüterverkehrs verringert wird.

Diese Massnahmen sind in hohem Masse substituierbar, auch wenn sie nicht zu den genau gleichen Ergebnissen führen. So ist z.B. die unter i) genannte Massnahme bestimmt wirkungsvoller in bezug auf die Lärm- und Abgasreduktion, aber nur die Massnahmen unter ii) und iii) sind geeignet, optische Beeinträchtigungen zu begrenzen. Alle diese Massnahmen erfordern die Bereitstellung zusätzlicher finanzieller Mittel. Der zusätzliche Kostenaufwand ist nur schwer abzuschätzen, namentlich für die unter ii) und iii) aufgeführten Vorkehrungen, denn die für ihre Wirksamkeit notwendigen konkreten Änderungen sind noch weit von ihrer Durchsetzung entfernt.

Die Kosten der unter i) genannten Massnahmen, die eine Verringerung oder Eliminierung der schädlichen Auswirkungen an der Quelle - durch das Einwirken auf die Fahrzeuge selbst - be-

zwecken, sind einfacher zu berechnen, da die Zahl der Fahrzeuge und die Einheitskosten der Vorrichtungen zur Lärm- und Abgasreduktion bekannt sind. Im folgenden sind einige Beispiele aufgeführt, die indes lediglich Grössenordnungen angeben.

Lärmbekämpfung

i) Einwirkung auf das Fahrzeug

Vom TRRL in Grossbritannien durchgeführte Untersuchungen über die Konstruktion eines leisen Fahrzeuges haben gezeigt, dass die Mehrkosten für die Herstellung eines Sattelzuges von 40 t Gesamtgewicht, dessen Lärmpegel 80 dB (A) nicht übersteigt, rund 5 % betragen. Die gesamten Mehrkosten für die Produktion von 80'000 Fahrzeugen dieses Typs würden sich somit auf ungefähr 160 Mio £ belaufen (zu Preisen von 1979).

In den Vereinigten Staaten sind die Kosten für die Aus- und Umrüstung von neuen und alten Fahrzeugen zur Senkung des Lärmpegels von 83 dB (A) auf 75 dB (A) bis zum Jahr 2000 berechnet worden, wobei die Zunahme der Unterhaltskosten mitberücksichtigt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle X.7 zusammengefasst.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Verwendung von Radialreifen, die zur Lärmreduktion beitragen, gleichzeitig die Betriebskosten des Fahrzeugs senken hilft. Die gesamten Einsparungen für den ganzen Fahrzeugpark - geschätzt aufgrund der für Tabelle X.7 verwendeten Annahmen - würden sich bis zum Jahr 2000 auf rund 2,6 Mia \$ belaufen.

Dem Bericht Dänemarks ist zu entnehmen, dass der Aufwand für eine Verringerung des Lärmpegels bei Bussen um 10 dB (A) weniger als 2 % der gesamten Fahrzeugkosten ausmacht.

ii) Einwirkungen auf die Infrastruktur

Die am weitesten verbreitete Massnahme besteht in der Errichtung von Lärmschutzwänden oder -mauern; in allen Mitgliedsländern nimmt die Gesamtlänge der mit solchen Einrichtungen versehenen Strassenabschnitte zu (laut Angaben aus den USA belaufen sich die Gesamtkosten für Lärmschutzvorrichtungen auf 40'000 \$ je Kilometer).

Verminderung der Schadstoff- und Geruchsimmissionen

Die einzige wirkungsvolle Massnahme liegt in der Einwirkung auf die Schadstoffquelle, d.h. auf die Fahrzeuge. Die Kosten für die Ausrüstung der Fahrzeuge mit den entsprechenden Vorrichtungen werden im Vergleich zu den Fahrzeugkosten gemeinhin als gering eingestuft.

Grossbritannien berichtet z.B., dass die Ausrüstung mit speziellen Auspuffrohren mit Keramikelementen pro Fahrzeug 200 bis 300 £ kosten würde. Die Lebensdauer solcher Vorrichtungen beträgt 2 Jahre, die Schadstoffabgabe, einschliesslich der aromatischen Kohlewasserstoffe, wird um ungefähr 10 % verringert. Es würde somit jährlich rund 12 Mio £ kosten, den Gesamtbestand an Sattelzügen mit dieser Vorrichtung auszurüsten.

X.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die der Gruppe zur Verfügung gestellten Angaben zu den sozialen Kosten sind äusserst bruchstückhaft. Es sind wenig Informationen zu diesem Problemkreis veröffentlicht worden.

Die jährlichen Kosten für Unfälle, in die schwere Lastfahrzeuge verwickelt sind, bewegen sich in der Grössenordnung von 10 % der gesamten Unfallkosten.

In bezug auf die Lärmbekämpfung können die folgenden Schlussfolgerungen der OECD-Konferenz über Lärmbekämpfung (24) zitiert werden.

"Schwere Lastwagen und Busse stellen eine wesentliche Ursache für die Verschlechterung der sonoren Umwelt dar; daher sollten in erster Linie sie Gegenstand weitreichender Massnahmen sein. In den USA z.B. geht aus gewissen Prognosen hervor, dass die Zahl der einem "unannehmbaren" Lärmpegel {65 dB (A) oder mehr auf der Ldn-Skala *} ausgesetzten Personen

von 17,8 Mio 1977 auf 21,6 Mio im Jahr 2000 ansteigen wird, falls nicht mehr unternommen wird, um den Motorfahrzeuglärm zu senken. Würden die Lärmgrenzwerte für Lastwagen um 10 dB (A) und für leichte Motorfahrzeuge um 5 dB (A) gesenkt, wo wären nur noch 6,5 Mio Personen Lärmpegeln von 65 oder mehr dB (A) {auf der Ldn-Skala} ausgesetzt. Nach gewissen europäischen Schätzungen würde eine generelle Reduktion an der Quelle von rund 10 Dezibel für schwere und 5 Dezibel für leichte Motorfahrzeuge den Anteil der einem Lärmpegel von 65 dB (A) (Leq) ausgesetzten Personen von gegenwärtig 15 % auf ungefähr 3 bis 5 % verringert."

(*) Die Ldn-Skala ist ein in den USA verwendeter Index; er entspricht dem Tag/Nacht-Mittel des Leq-Indexes, mit einem "Zuschlag" von 10 dB (A) während der Nachtzeit (22.00 bis 07.00 Uhr)}

In einigen Ländern scheinen globale Kostenschätzungen für Lärm- und Schadstoffreduktionen auf ein bestimmtes Niveau vorgenommen worden zu sein, doch ist es aufgrund der veröffentlichten Informationen sehr schwierig, allgemeingültige Schlussfolgerungen zu formulieren. Indessen veranschaulichen die in Abschnitt X.3.2 angeführten Zahlenbeispiele aus Grossbritannien und den USA in bezug auf die Lärmbekämpfung die Grössenordnungen, in welchen sich die Kosten für solche Massnahmen bewegen.

Andere vom Schwerverkehr verursachte Kosten sind noch schwerer zu beziffern: jene für optische Belästigung, Gewässer- und Bodenverschmutzung, Landverluste und Staubimmissionen.

In Tabelle X.8 sind - in Prozenten des Bruttosozialproduktes - die von schweren Lastfahrzeugen mit einer Nutzlast von mehr als 10 t verursachten sozialen Kosten sowie der dieser Fahrzeugkategorie anlastbare Anteil an den gesamten Sozialkosten des motorisierten Strassenverkehrs aufgeführt. Diese Daten sind den Berichten eines Seminars entnommen, das von der OECD in Zusammenarbeit mit der CEMT organisiert wurde und im Juli 1979 stattfand (19). Die Angaben sind zwar umstritten, stellen jedoch einen Versuch dar, die betreffenden Grössenordnungen zu schätzen.

Es ist besonders bemerkenswert, dass schwere Lastwagen mit einer Nutzlast von über 10 t, die ungefähr 1,5 % aller zugelassenen Fahrzeuge in den verschiedenen Ländern ausmachen, für 15 bis 20% der vom Motorfahrzeugverkehr verursachten sozialen Kosten verantwortlich sein sollen.

Tabelle X.1

Wichtigste Elemente der fixen und variablen Kosten

Fixe Kosten	Variable Kosten
- Abschreibung der Fahrzeuge (1) - Rückstellungen für Ersatz (anteilmässig) - Opportunitätskosten des Kapitals - Lohnkosten des Fahrpersonals (2) - Löhne - Prämien und diverse Zulagen - Sozialleistungen (anteilmässig) - Versicherungen - Fahrzeuge - Güter - Garagekosten und periodische Wartung (anteilmässig) - Fahrzeugsteuern - Anschaffungssteuer - Verkehrsabgaben: Zulassungsgebühr, Vignette, Eintragungsgebühr - Infrastrukturabgaben (3)	- Abschreibung der Fahrzeuge (1) - Rückstellungen für Ersatz (anteilmässig) - Lohnkosten des Fahrpersonals (2) - Prämien und diverse Zulagen - Sozialleistungen (anteilmässig) - Reisekosten - Treibstoff und Schmiermittel (ohne Steuer) - Fahrzeugunterhalt - Periodische Wartung und Überholung (anteilmässig) - Reparaturen - Reifen - Fahrzeugsteuern - Abgaben auf Treibstoffen u.a.m. - Infrastrukturabgaben (3)

- 1) Die Abschreibung wird meistens auf die fixen und die variablen Kosten verteilt (z.B. im Verhältnis 50:50 (BRD)).
2) Gewisse Prämien und Naturalleistungen hängen oft von der Reisezeit ab und werden daher zu den variablen Kosten gerechnet.
3) Je nach Berechnungsmodus können die Infrastrukturabgaben zu den fixen oder den variablen Kosten gehören.

Tabelle X.2

Anteil der einzelnen Ausgabenposten
in verschiedenen Ländern (in %)

Ausgabenposten	Aus 1	F 2	GR 3	IR 4	BRD 5	UK 6	USA 7
Abschreibungen	16	15.5	18	10	15.5	14	17
Finanzierungskosten	13.5	2.5	1.5	15	6	(1)	(1)
Treibstoffe und Schmiermittel	14.5	10.5	17	25	19.5	18	7
Löhne	28	33	41.5	19	39	30	39
Unterhalt	12	18.5	7	andere	9	18	
Reifen	6	4	4.5	Kosten	5	6.5	26
Versicherungen	5	3.5	1.5	31	7.5	7	7
Diverse Steuern	5	12.5	9		3.5	6.5	3

(1) Die Zinsen sind in den Gewinnen und Gemeinkosten enthalten.

1/ Sattelzug, 5-achsiger

2/ 38-Tonner, 5-achsiger

3/ 2-achsiger

4/ 32-Tonner

5/ 38-Tonner, 140'000 km/h

6/ LKW m. Anhänger, 32,5 t, 60'000 km/h

7/ LKW mit Anhänger (Midwest),
36 t, über 640 km

Anmerkung

Gewisse Länder haben bei der Aufschlüsselung der Kosten die Werte einschliesslich Steuern angegeben; andere (z.B. Frankreich) haben die Steuern abgezogen. Im letzteren Fall sind die Angaben unter dem Posten "Diverse Steuern" zusammengefasst.

Tabelle X.3

Mittlere Elastizitätswerte bei den Unterhaltsausgaben
in Abhängigkeit vom Schwerverkehr

Verkehrsvolumen-Kategorie (Anzahl schwere Fahrzeuge)	50-250	100-200	200-400 (1)	250-1200	400-1200 (1)
Belagsunterhalt	0.1	0.3	0.15	0.03	0.02
Strukturunterhalt	0.2	0.5	0.3	0.2	0.15
Total	0.13	0.4	0.2	0.1	0.1

(1) Nur Frankreich; vgl. Figur X.6

Tabelle X.4

Durchschnittliche jährliche Unterhaltskosten in Texas
(in Millionen \$, 1977)

Ausgabenposten	Szenario A	Szenario B
Belagsunterhalt	240	240
Strukturunterhalt und Verstärkung	1334	1858
Brückenverstärkung	4	172
Bemerkungen	Heutige Masse und Gewichte	Erhöhung von Achslast und Gesamtgewicht

Tabelle X.5

Anteil der den schweren Motorfahrzeugen
anlastbaren Ausgaben

Land	in % der Gesamtausgaben	in % der anrechenbaren Ausgaben
Dänemark	18.5 (1)	56.2 (1)
Frankreich	36	70
Grossbritannien (UK)	31 (2)	60 (2)

1) Bzw. 26 und 80 % bei Abzug der Baukosten (Schätzung).

2) Schätzung

Tabelle X.6

Kosten von Todesfällen und Verletzungen
(1978, 1979, 1980)

Land	Kosten eines Todesfalles	Kosten einer schweren Verletzung	Kosten einer leichten Verletzung	Jahr
Dänemark	DKr. 2'432'900	DKr. 42'800	DKr. 6'100	1979
Vereinigte Staaten	\$ 390'000	\$ 260'000	\$ 800	1980
Frankreich	FFr. 1'000'000	FFr. 30'000*	FFr. 30'000*	1980
Deutschland BRD	DM 590'000	DM 69'000	DM 6'100	1978
Grossbritannien (UK)	£ 89'000	£ 3'770	£ 90	1978

*) FFr. 30'000 für beide Positionen zusammen (leichte und schwere Verletzungen).

Bemerkung: Haltbare Vergleiche können nur bei den Kosten eines Todesfalles angestellt werden, denn die Definition einer "leichten" oder "schweren" Verletzung ist von Land zu Land verschieden.

Tabelle X.7

Schätzung der Kosten einer Lärmreduktion bei Lastwagen
USA

Lärmreduktion	von 83 dB(A) auf 80 dB(A)	von 80 dB(A) auf 75 dB(A)
Ausgaben für Unterhalt	+ 100 bis 300 %	+ 25 bis 100 %
Kosten für gesamten Fahrzeugpark im Jahr 2000	13,3 x 10 ⁹ Dollar	6,5 x 10 ⁹ Dollar

Tabelle X.8

Soziale Kosten von Lastfahrzeugen mit einer Nutzlast
von mehr als 10 t (in % des BSP) (19)

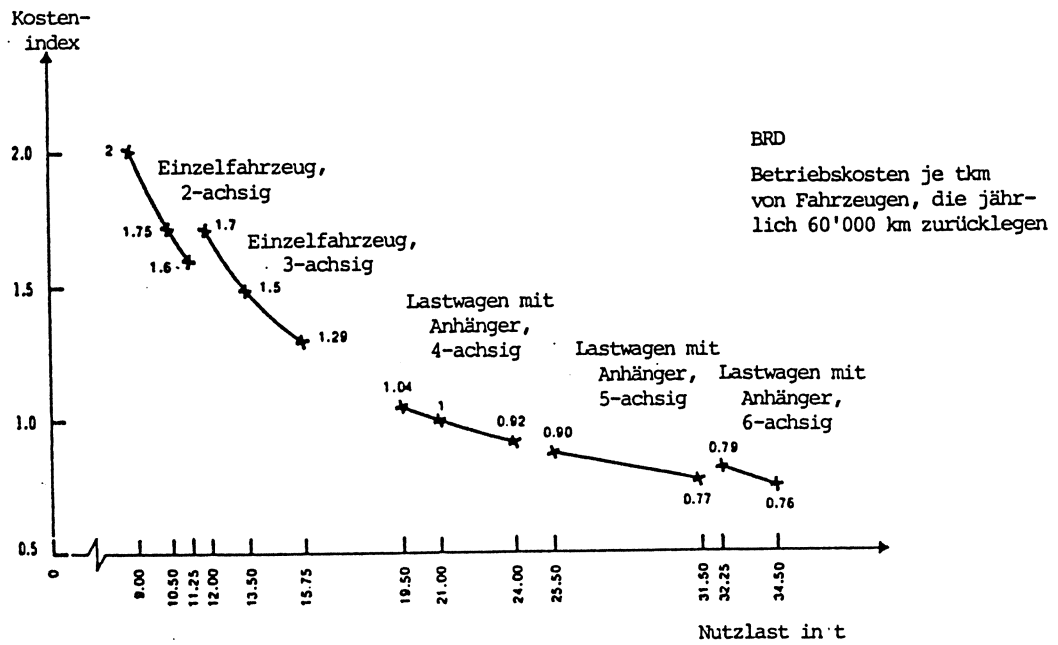
Soziale Kosten schwerer Lastwagen	Verkehrsstauung	Unfälle	Lärm	Luftverschmutzung	andere Kosten	Total
In Prozent des BSP						
- Europa	0.55-0.75	0.02-0.04	0.05-0.20	0.07-0.14	0.10-0.20	0.79-1.33
- Amerika	0.50-0.65	0.03-0.07	0.07-0.25	0.10-0.20	0.15-0.30	0.85-1.47
- Japan	0.40-0.45	0.01-0.03	0.06-0.22	0.03-0.06	0.05-0.10	0.55-0.86
In Prozent der Kosten des motorisierten Strassenverkehrs (1)						
- Europa	25%	8%	18%	12%	20%	20%
- Amerika	24%	8%	24%	17%	30%	22%
- Japan	18%	5%	21%	5%	10%	15%

1) Die Zahlen sind gerundet.

Figur X.1

BETRIEBSKOSTEN IN ABHAENGIGKEIT VON DER MAXIMALEN NUTZLAST IN DER BRD

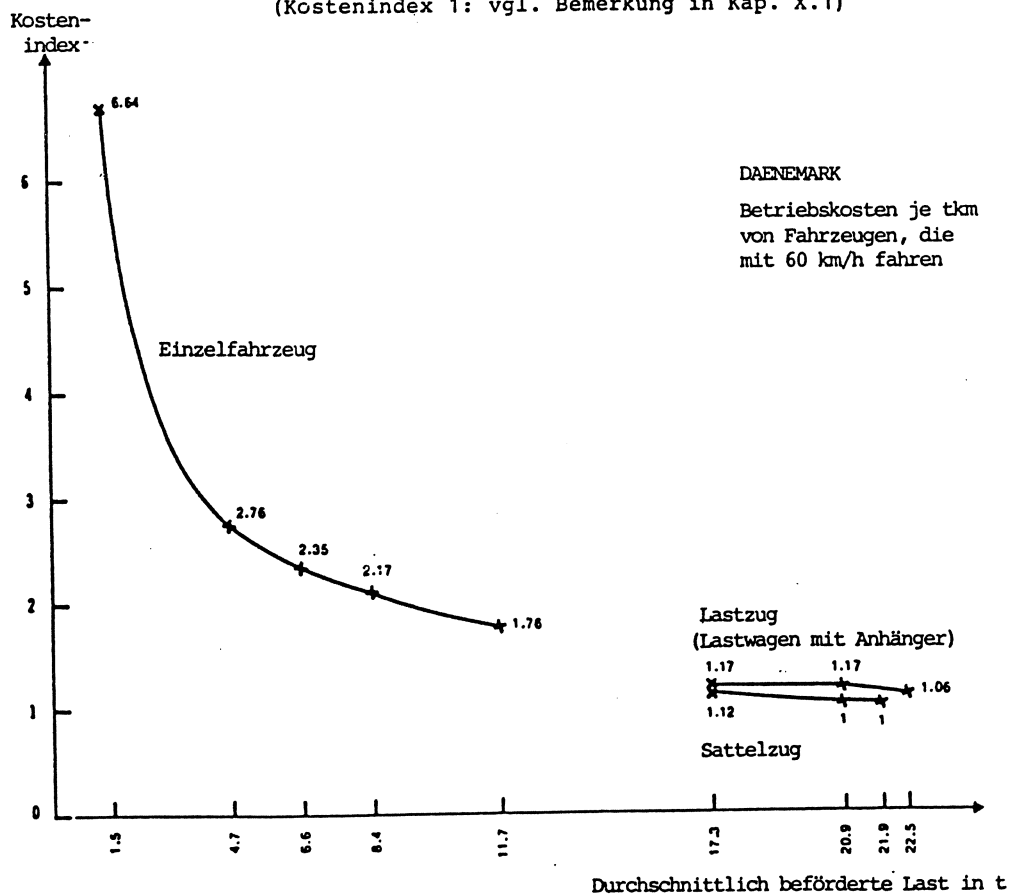
(Kostenindex 1 = Betriebskosten eines Lastwagens mit Anhänger mit einem maximalen Gesamtgewicht von 30 Tonnen)



Figur X.2

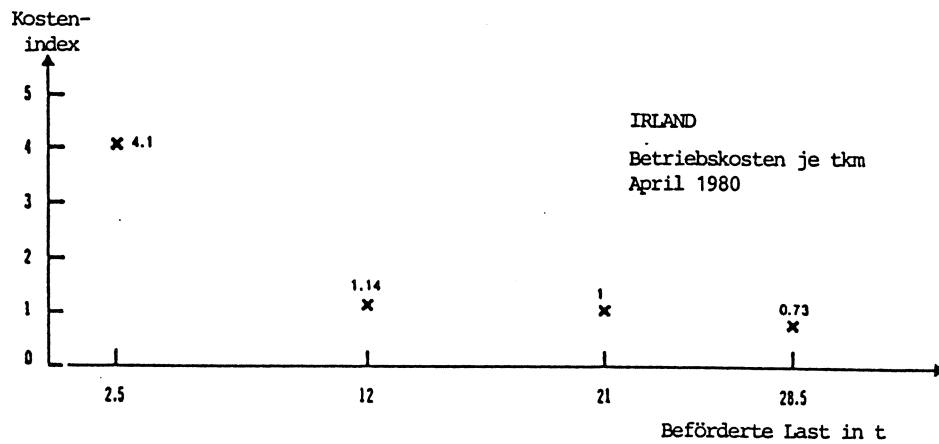
BETRIEBSKOSTEN IN ABHAENGIGKEIT VON DER DURCHSCHNITTLAST IN DAENEMARK

(Kostenindex 1: vgl. Bemerkung in Kap. X.1)



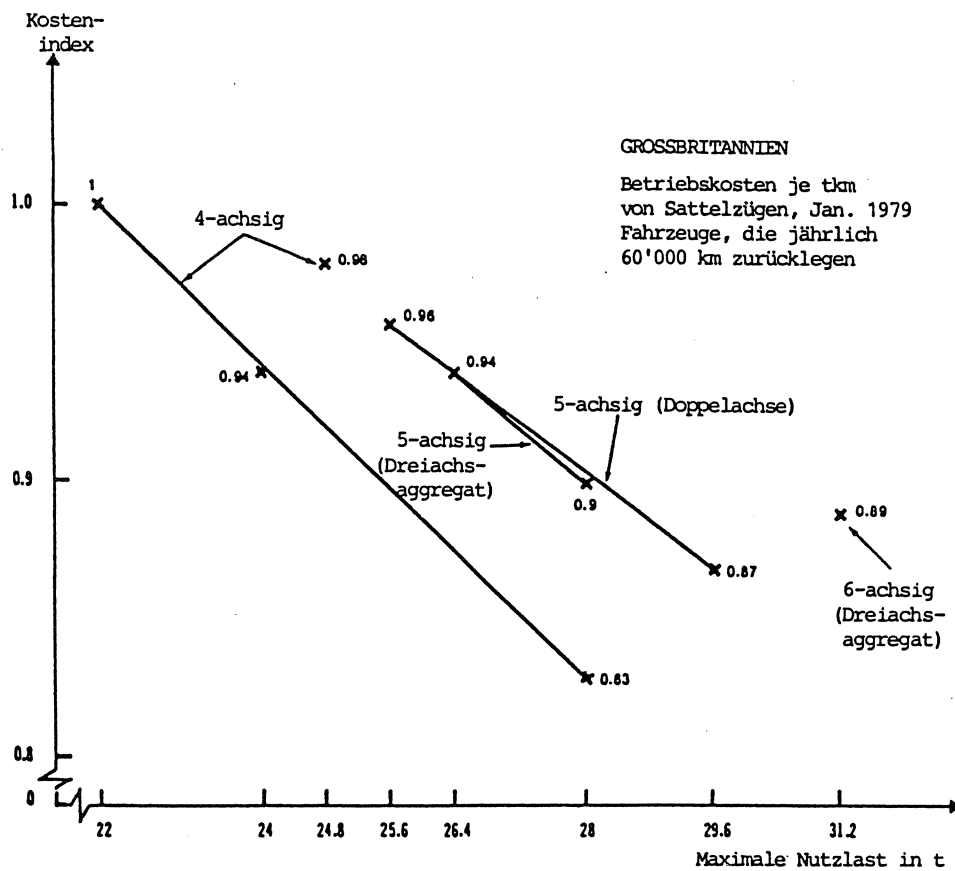
Figur X.3

BETRIEBSKOSTEN IN ABHAENGIGKEIT VON DER BEFOERDERTEN LAST IN IRLAND
(Kostenindex 1: vgl. Bemerkung in Kap X.1)



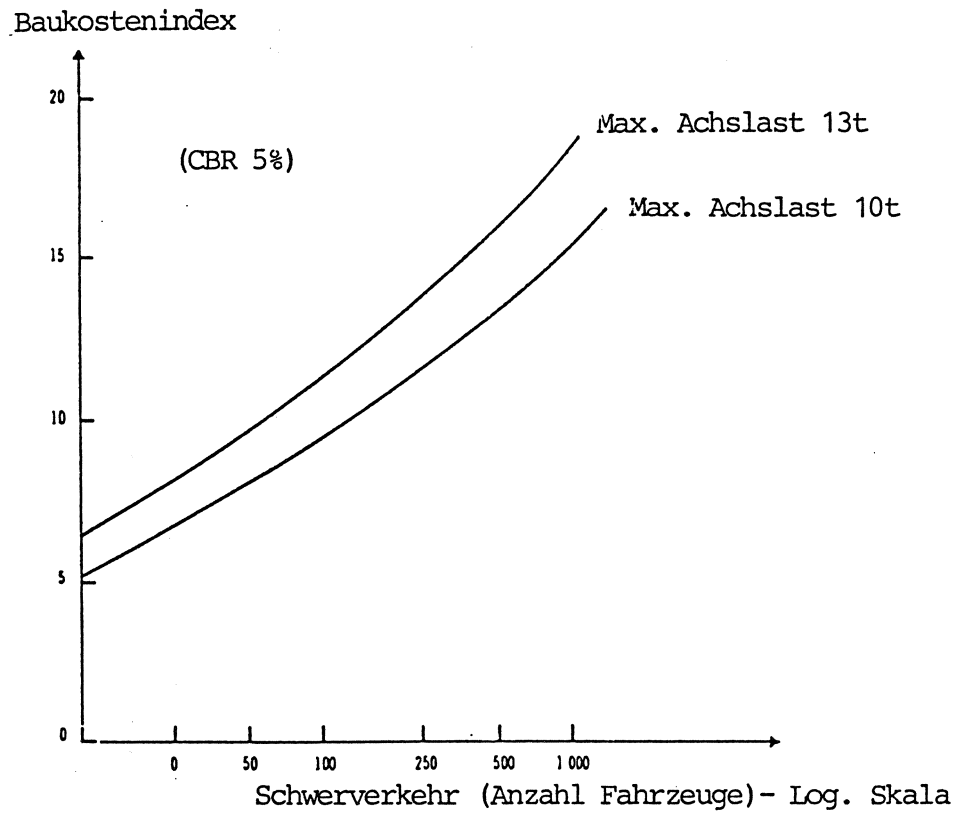
Figur X.4

BETRIEBSKOSTEN IN ABHAENGIGKEIT VON DER MAXIMALEN NUTZLAST IN GROSSBRITANNIEN
(Kostenindex 1: vgl. Bemerkung in Kap. X.1)



Figur X.5

BAUKOSTEN-VERKEHRSVOLUMEN-KURVEN

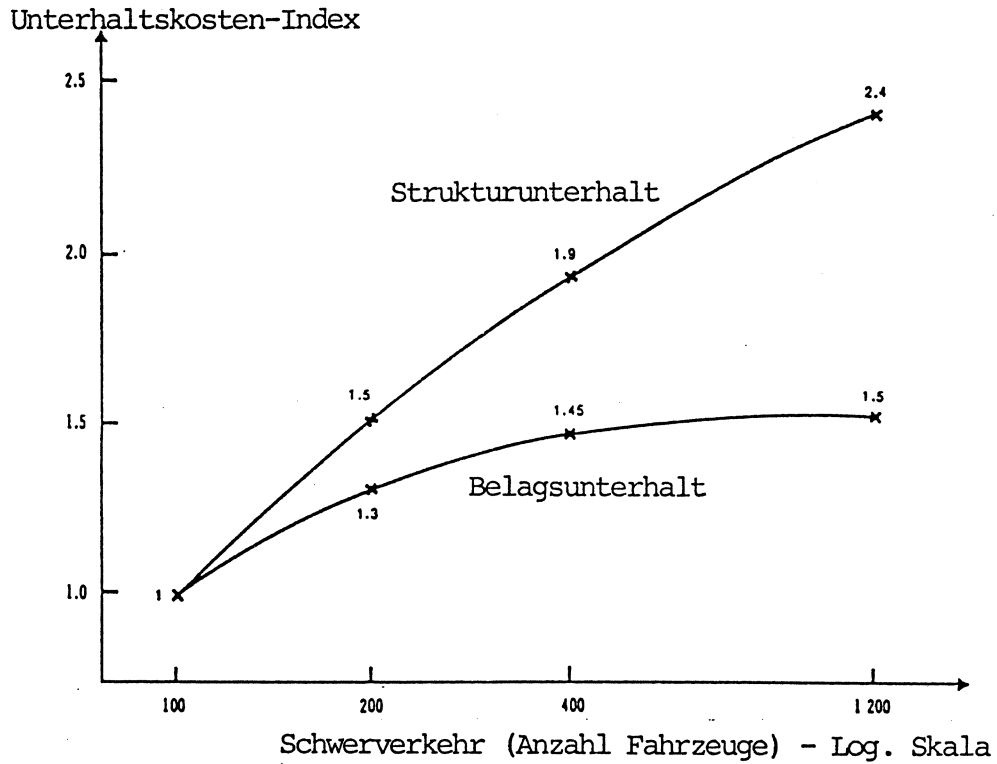


Zu diesen Kurven ist folgendes zu bemerken:

- Die Kurven weisen eine leicht abnehmende Elastizität auf:
0,20 bei 25-50 Fahrzeugen, 0,16 bei 250-500 Fahrzeugen und
0,15 bei 500-1000 Fahrzeugen (für eine Achslast von 10 Tonnen);
- Die Kurve der 13-Tonnen-Achslast ist jener der 10-Tonnen-Achslast sehr ähnlich; die Abweichung beträgt 20 bis 30 Prozent.

Figur X.6

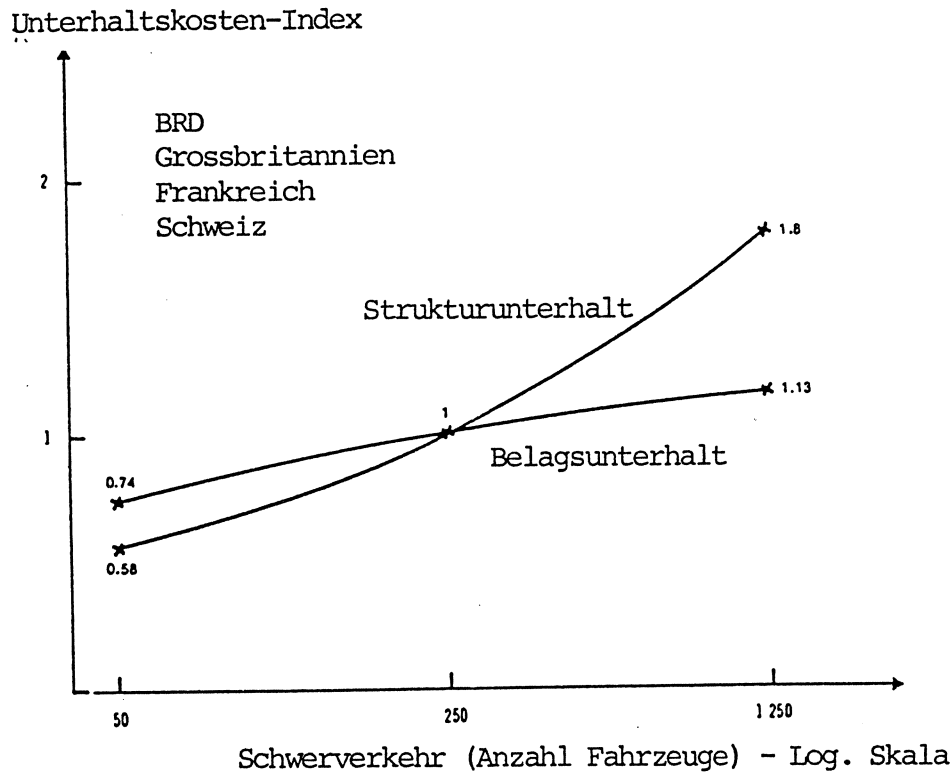
UNTERHALTSKOSTEN-VERKEHRSVOLUMEN-KURVEN (FRANKREICH)



Hinweis: Für die diskontierten Struktur- und Belagsunterhaltskosten bei einem Verkehrsaufkommen von durchschnittlich 100 Fahrzeugen pro Tag auf der am stärksten befahrenen Spur wurde willkürlich der Index 1 gewählt.

Figur X.7

VERÄNDERUNGEN DER UNTERHALTSAUSGABEN IN ABHÄNGIGKEIT
VOM SCHWERVERKEHR IN VERSCHIEDENEN LÄNDERN



Hinweis: Für die Struktur- und Belagsunterhaltskosten bei einem Verkehrsvolumen von durchschnittlich 250 schweren Fahrzeugen pro Tag auf der am stärksten befahrenen Spur wurde willkürlich der Index 1 gewählt.

Figur X.8

AUFTEILUNG DER WEGEKOSTEN

Aufschlüsselung der Gesamtausgaben				Aufschlüsselung der anrechenbaren Ausgaben			
Dänemark	18	24	10	48	15.3	44.1	Dänemark (32,9 %)
Frankreich	41.9	26.2	8.6	23.2	8.4	30.5	Frankreich (51,5 %)
Grossbritannien	33.3	15.2	37.8	13.7	35.7	17.2	Grossbritannien (53,0 %)
	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃

Hinweis: Bei jedem der drei Länder ist in Klammern der durchschnittliche Anteil der anrechenbaren Kosten an den Gesamtausgaben angegeben.

References for Chapters IX and X

1. I.R.T.-C.E.R.N.E. (éd). Consommation d'énergie par la circulation routière. Note d'information n° 14. Lyon, May 1979.
2. I.R.T.-C.E.R.N.E. (éd). Amélioration du modèle de prévision de la consommation de carburant du trafic routier en rase campagne. Compléments au rapport final. Lyon, November 1979.
3. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. How to save truck fuel. U.S. Government Printing Office. Washington, January 1980.
4. C.C.M.C. (ed). Discussion of the possibilities for determining a representative fuel consumption for commercial vehicles, Brussels, October 1981.
5. EVERALL, PF. The effect of road and traffic conditions on fuel consumption. TRRL Report LR 266, Crowthorne, Berkshire, 1968.
6. CAWTHORNE, AR. Research on fuel economy for heavy goods vehicles. In: TRRL Supplementary Report LR 447: Symposium on energy and road transport, Crowthorne, Berkshire, 1979.
7. WILLIAMS, T, SIMMONS, ICP, and JACKLIN, DJ. Fuel consumption testing of heavy goods vehicles. TRRL Supplementary Report LR 687, Crowthorne, Berkshire, 1981.
8. SOLIVA, JC. Les transports routiers de marchandises : productivité et consommation énergétique. Rapport de stage, Service d'Analyse Economique et de la Planification, Ministère des Transports, Paris, August 1979.
9. FRYBOURG, A. Les consommations unitaires d'énergie dans les transports. La Documentation Française, Paris, 1980.
10. GAUVIN, B, and LAMURE, C. Les véhicules de transport automobile et les économies d'énergie. Revue générale des routes et des aérodrômes, July-August 1981. La route et l'énergie, Paris, 1981.
11. MINISTERE DES TRANSPORTS (éd). Analyse du coût des transports routiers de marchandises, Paris, May 1980.
12. I.R.T.-C.E.R.N.E. (éd). Le poids lourd : conception et fonctionnement. Note d'information N° 18, Lyon, September 1980.
13. CORCORAN, P.S, GLOVER, MH, and SHANE, BA. Higher gross weight goods vehicles: operating costs and road damage factors. TRRL Supplementary Report LR 590, Crowthorne, Berkshire, 1980.
14. COMMISSION FEDERALE DE LA CONCEPTION SUISSE DES TRANSPORTS CGST. Extrait du rapport final. Département fédéral des transports et communications et de l'énergie, Berne, December 1977.
15. RUPPERT, WR, et al. Achslasten und Gesamtgewichte schwerer Lkw. Verlag TÜV Rheinland, Cologne, 1981.
16. ABERLE, G, and MAGER, N. Wegerechnung, Wegenfinanzierung und Strassengüter-Verkehrssystem, Druckerei Henrich, Frankfurt/M-Schwanheim, 1980.
17. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. An investigation of truck size and weight limits. Final report and appendices. U.S. Government Printing Office, Washington DC, August 1981.
18. ROLT, J. Optimum axle loads of commercial vehicles in developing countries. TRRL Report LR 1002, Crowthorne, Berkshire, 1981.
19. BOULADON, G. Costs and benefits of motor vehicles. In: Seminar 1979 organised by the OECD in co-operation with the ECMT. Urban transport and the environment, OECD-ECMT, Paris, 1979.
20. C.C.M.C. (ed). Estimation of the economic and technical consequences of a further reduction in permissible motor vehicle noise level. Brussels, July 1980.
21. MINISTERE DES TRANSPORTS (éd). Contrôle des charges des véhicules utilitaires, campagne 1978, Paris, 1980.
22. BUCHANAN, C. Transport in the 1980s, six letters to a politician. The highway engineer, (7) 30-31, (8) 26-27, (9) 26-27, (10) 22-23, (11) 28-30, (12) 20-22, 1981.
23. OECD, Road Research. Methods for evaluating road safety measures. OECD, Paris, 1981.
24. OECD, Noise abatement policies. OECD, Paris, 1980.
25. OECD, Road Research. Heavy freight vehicles and their effects. Symposium, Reports - 3 volumes. OECD, Paris, 1977.

*XI. Kapitel***Jüngste Systemanalysen: Ihre Ansätze und Ergebnisse****XI.1 Grundsätze und Problembereiche**

Während langer Zeit hat sich die Forschung bemüht, optimale Bedingungen für den Gütertransport zu definieren, indem sie auf technischen und ökonomischen Faktoren beruhende Modelle von Gütertransportsystemen entwickelte. Die bislang fruchtbarsten Forschungsanstrengungen bestehen in detaillierten Untersuchungen einzelner Faktoren. Die ökonomischen Modelle waren wegen ihres scheinbar unendlichen Bedarfs an Daten nicht sehr umfassend, und die für deren Verarbeitung erforderlichen Methoden und hohen Aufwendungen schränkten die Forschungsmöglichkeiten ein. Komplexität, hohe Kosten und das allgemeine Unvermögen, die ganze Palette der Parameter zu berücksichtigen, haben dazu geführt, dass die bisherigen Arbeiten eher bruchstückhaft waren.

Auf internationaler Ebene wird diese Forschung zunehmend komplexer, da die Vorschriften bezüglich der Wettbewerbsbedingungen und anderer Aspekte, wie etwa Abmessungen und Gewichte der Lastwagen, ungenügend vereinheitlicht sind. Dazu kommt, dass mit dem stetigen Anwachsen des internationalen Güterverkehrs Normenänderungen sehr weitgehende Konsequenzen haben. So könnte z.B. eine unbeschränkte Ausdehnung des internationalen Schwerverkehrs erhebliche Schäden an zahlreichen Strassen und Brücken zur Folge haben, da diese erhöhten Belastungen ausgesetzt wären, für die sie nicht konzipiert worden sind. Eine solche Ausweitung könnte überdies zu weiteren Forderungen nach Einsatz von gegenwärtig überbeanspruchten Kapitalmitteln für den Ausbau von Strassen führen, um diese auch für schwere Lastwagen befahrbar zu machen, auch wenn das Schwerverkehrsvolumen auf den betreffenden Strassen eine solche Investition nicht rechtfertigt.

Die Antworten auf technische und wirtschaftliche Fragen sind im allgemeinen leichter zu finden und können klarer formuliert werden, wenn die verschiedenen Sektoren einzeln systematisch analysiert und dann in das Gesamtsystem eingebaut werden können. Ein solcher Ansatz kann für die Analyse von grundlegenden Strategieänderungen sehr wichtig sein. Indessen hängt der Erfolg dieses Konzepts in hohem Masse von den analytischen Annahmen in bezug auf die Frage ab, ob ein bestimmter Faktor dem eigentlichen System oder der Umwelt zuzurechnen ist. Wird ein wichtiges Element des Systems als Teil der Umwelt (d.h. als exogen) betrachtet, so können die Ergebnisse der Studie unbrauchbar sein. Wird umgekehrt eine als exogen einzustufende Variable dem System zugerechnet, kann die Analyse unnötig kompliziert werden und ihr Nutzen begrenzt sein.

Das Konzept und die Anwendungsformen der Systemanalyse sind in den meisten Ländern recht ähnlich. Dagegen bestehen bedeutende Unterschiede in bezug auf die spezifischen Verhältnisse und die staatlichen Praktiken, wie etwa die Grösse des Landes, die Organisation der Transportsysteme, die Topographie und das Klima, die Entwicklung in der Vergangenheit, die umweltmässig sensiblen Gebiete, die Unterschiede in den Zielsetzungen der Stadtentwicklungspolitik zwischen Regionen und Gesamtstaat usw. Solche Ungleichheiten können sowohl die Ergebnisse als auch den allgemeinen Nutzen der Systemanalyse als Problemlösungsinstrument merklich beeinflussen.

Trotz den möglicherweise bestehenden bedeutenden Abweichungen können fünf grundlegende, allgemeingültige Prinzipien zur Analyse des Schwerverkehrs genannt werden; sie gehen aus vier nationalen Studien hervor, die in jüngster Zeit in den Vereinigten Staaten, in Grossbritannien, Australien und der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt worden sind. Diese fünf Grundsätze lauten wie folgt:

1. Änderung bei den Mass- und Gewichtslimiten sind wünschbar, solange sie die globale Leistungsfähigkeit des Gütertransports erhöhen.
2. Bei der Berechnung des gesamtwirtschaftlichen Nutzens solcher Änderungen muss den direkten wie den indirekten Auswirkungen vollumfänglich Rechnung getragen werden.

3. Bei einer Analyse verschiedener Optionen sollten einheitliche und kompatible Kriterien angewandt werden, so dass die Bewertungen der Kosten und Nutzen jeder Option vergleichbar sind, nicht durch Unvereinbarkeiten in den Daten oder den Methoden verzerrt werden und für die Beurteilung der Wünschbarkeit jeder dieser Optionen verwendet werden können.
4. Wo immer möglich sollten als Massstab für die Auswirkungen der verschiedenen Mass- und Gewichtsvarianten geldliche Bewertungen vorgenommen werden. Indessen sind auch die nicht-monetären und qualitativen Effekte von Bedeutung und müssen in einer umfassenden Darstellung der Auswirkungen enthalten sein.
5. Eine vollständige Beurteilung der Mass- und Gewichtsvorschriften für Lastwagen kann sich nicht allein auf den Güterschwerverkehr beschränken. Er muss auch andere Arten des Gütertransportes einschliessen, die von Veränderungen in den gesamtwirtschaftlichen und betrieblichen Bedingungen des Gütertransportwesens betroffen würden.

Angeichts des gegenwärtigen Wissensstandes und dieser fünf Grundprinzipien muss sich die wirtschaftliche Forschung im Bereich des Schwerverkehrs in erster Linie mit den technischen Auswirkungen auf den Bau, den Unterhalt und die Sanierung von Strassen und Brücken (siehe Kapitel VI und VII) sowie mit den Konsequenzen für die Motorfahrzeug-Konstruktion (vgl. Kapitel IX) befassen. Sie muss aber auch die wirtschaftlichen Auswirkungen, wie etwa die Kostenstrukturen (vgl. Kapitel X), den Wettbewerb zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern (Kapitel III) und die Arbeitsmärkte untersuchen. Andere zu bestimmende Elemente sind die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit (Kapitel V), auf den Verkehrsfluss (Kapitel V), die Energieverwendung (Kapitel IX), die Umwelt (Kapitel VIII) sowie auf allfällige gesetzliche Massnahmen (Kapitel III).

XI.2 Analysemethoden

Im allgemeinen können Berechnungsmodelle auf einer statischen oder einer dynamischen Methode beruhen. Das statische Modell ist einfacher, da es eine tatsächliche Situation mit einem fiktiven Zustand vergleicht; wird es jedoch als Prognose- oder Planungsinstrument verwendet, ist damit zwangsläufig die Annahme verbunden, dass die zukünftige Entwicklung eine direkte Weiterführung vergangener Trends und Ereignisse darstellt. Das durch ausgedehnte Feedback-Analysen gekennzeichnete dynamische Modell benützt Vorhersagen von künftigen Entwicklungen als wichtige Systemvariablen. Es ist allerdings nicht einfach, zutreffende Prognosen zu stellen. So hat jede Methode ihre Stärken und Schwächen. Ein kombinierter Ansatz könnte vermutlich einige Nachteile beider Methoden abschwächen, doch wäre er schwierig anzuwenden. Für uns sind hier fünf verallgemeinernde Gütertransportmodelle von Interesse:

- für eine besondere Anwendung konzipierte logistische und Transportplanungsmodelle;
- auf der induktiven oder deduktiven Methode beruhende Erzeugungs-Verteilungs-Modelle;
- für einen regionalen Bezugsrahmen entwickelte Modelle, die grössere oder kleinere Gebiete abdecken;
- güter- und fahrzeugbezogene Modelle, die von den verbrauchten Mengen abhängen;
- verhaltensorientierte aggregierte oder desaggregierte Modelle.

Ein entscheidendes Kriterium für die Wahl eines dieser Verfahren ist die Verfügbarkeit von Eingabedaten, die je für das Prognose- oder das Simulationsmodell erforderlich sind. Die Bestimmbarkeit der wirtschaftlichen Auswirkungen hängt davon ab, ob den Variablen ein Geldwert zugeordnet werden kann oder ob die Ergebnisse lediglich - in Form von Trends - beschreibend festgehalten werden können.

Die Studien, die in den von Grossbritannien und der Bundesrepublik vorgelegten Berichten dargestellt werden, beruhen auf dem statistischen Modell, während die Vereinigten Staaten und Australien das dynamische Modell angewandt haben. Eine weitere Untersuchung, die sich des dynamischen Modells bedient und der eine globale Verkehrskonzeption zugrunde liegt, wurde während der 70er Jahre in der Schweiz durchgeführt. Sie befasst sich vorwiegend mit den zwei

Hauptverkehrsträgern Strasse und Schiene, dies sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr. Die Studie ist zwar sehr detailliert, lässt aber die Möglichkeit von Änderungen der geltenden schweizerischen Vorschriften über Masse und Gewichte von schweren Motorfahrzeugen unberücksichtigt und ist daher nicht in den vorliegenden Bericht aufgenommen worden.

XI. 3 Modal-Split-Analysen

Eine Analyse der Auswirkungen des Schwerverkehrs muss auch eine Untersuchung der Frage beinhalten, ob im Bereich des Güterverkehrs Verlagerungen auf andere Verkehrsträger möglich sind. In den oben erwähnten Länderstudien wurde das Schwergewicht auf den Modal-Split zwischen Strasse und Schiene gelegt. Die deutsche Untersuchung führt folgende Möglichkeiten des Modal-Split auf:

- Gleiches Transportvolumen:
keine Veränderung im Verhältnis zwischen Schienen- und Strassen-Gütertransport; dieselbe Gütermenge wird auf der Strasse von weniger, aber grösseren Fahrzeugen befördert.
- Transportkosten-Modal-Split:
Es werden ausschliesslich die Auswirkungen einer Veränderung der Transportkosten bei einzelnen Fahrzeugen auf den Modal-Split berechnet; eine kleine Zunahme des Gütervolumens wird ebenfalls von weniger, aber grösseren Fahrzeugen aufgefangen.
- Kapazitäts-Modal-Split:
Es werden die allfälligen Auswirkungen einer - durch die Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts erfolgten - Zunahme der Ladekapazität berechnet, wobei die Zahl der im Güterfernverkehr eingesetzten Fahrzeuge konstant bleibt.

In der amerikanischen Studie wurden zwei Modal-Split-Modelle untersucht: 1. ein komplexes, auf einer Logit-Transformation basierendes theoretisches Modell; 2. ein Verfahren, das als "Marktsegmentierungs-Modellierungstechnik" (MSMR) bezeichnet wird. Wegen ungenügender Daten und beschränkter Zeit war es nicht möglich, die nötigen Berechnungen für das theoretische Modell durchzuführen. Für den Grossteil der Modal-Split-Schätzungen wurde das MSMT-Verfahren angewandt. Erste Ergebnisse lassen auf eine schwache Empfindlichkeit der Konkurrenz zwischen Schiene und Strasse für Änderungen der Mass- und Gewichtslimiten innerhalb der untersuchten Bandbreite schliessen.

Die ganze Palette der in der US-Studie entwickelten Modelle und Beziehungssysteme wird verwendet werden, um zu beurteilen, wie sich der Verkehr - bei verschiedenen Mass- und Gewichtsszenarien - auf die beiden Verkehrsträger Schiene und Strasse verteilen könnte. Darüber hinaus ist eine Sensitivitätsanalyse in bezug auf mögliche Verlagerungen bei einem Anstieg der Strassenbenützungsgebühren und der Treibstoffpreise geplant.

Die australische Studie betrachtet das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsverlagerung (Verschiebung zwischen Verkehrsträgern) als Grundelemente Verkehrsmodells. Verkehr komme dann auf, wenn die Kosten für die Beförderung von Gütern geringer werden als der durch diesen Transport entstandene Mehrwert.

Grössere Bedeutung komme der Verkehrsverlagerung - namentlich zwischen Schiene und Strasse - zu, die dann entstehe, wenn sich die relativen Kosten des Gütertransportes aufgrund von Vorschriften für den Strassengüterverkehr verändern. Es wurden zwei Extremfälle geprüft - keine direkten Vorschriften (wie es im zwischenstaatlichen Güterverkehr der Fall ist) und Konkurrenzfähigkeit der Schiene durch eine entsprechende Reduktion der Bahntarife -, um den mutmasslichen Umfang der Verkehrsverlagerungen bei einer allfälligen Veränderung gewisser Fahrzeuglimiten abzuschätzen.

XI.4 Probleme bei der Messung und der Bewertung verschiedener Parameter

Die nationalen Studien waren bei der Messung bestimmter Grössen und bei der Darstellung eines realistischen Bildes der Gesamtsituation im Bereich des Transportwesens mit einer Reihe von technischen und statistischen Problemen konfrontiert. In der deutschen Studie erwiesen sich die folgenden Probleme als besonders schwierig:

- Einbau der Subsysteme in ein einheitliches Gesamtmodell;
- Auswirkungen auf die Brücken-Infrastruktur: Kosten für Unterhalt, Verstärkung, Sanierung, und Neubau von Brücken;
- Auswirkungen gesperrter Brücken auf das Strassennetz;
- Überlastung des in Betrieb stehenden Fahrzeugparks;
- Beurteilung der unterschiedlichen Sicherheitsniveaus und der Auswirkungen auf die Umwelt;
- Auswirkungen neuer Fahrzeugnormen auf den Modal-Split und deren Akzeptanz bei privaten Spediteuren.

Ähnliche Probleme stellen sich bei den amerikanischen Untersuchungen. Dort wurden die Auswirkungen teilweise mit Hilfe von analytischen Methoden und Modellen abgeschätzt. Für die Analyse wurden repräsentative Regionen ausgewählt (10 Hauptregionen - zuzüglich Hawaii und Alaska -, die nochmals in insgesamt 23 Unterregionen aufgeteilt wurden).

Zwei besonders schwierige Problembereiche waren einerseits das Ausmass und die Charakteristika des Verkehrs von "überladenen" Fahrzeugen, andererseits die Identifizierung spezifischer Lastwagen-Güter-Märkte, die von Änderungen bei den Mass- und Gewichtslimiten betroffen wären (z.B. bezüglich Volumen oder Gewicht vollbeladener Fahrzeuge). Nur teilweise beladene Lastwagen würden von einer Erhöhung dieser Limiten nicht betroffen.

Bei der britischen Studie - sie wurde vom "Transport and Road Research Laboratory" (TRRL) geleitet - mussten bestehende Datenlücken durch Umfragen gefüllt werden. Vier Gruppen von Fahrzeugtypen, die den vier Szenarien entsprechen, wurden mit einer grossen Zahl von Transportunternehmen diskutiert, um ihre Reaktion auf jedes Szenario sowie ihre Wahl zwischen sich entsprechenden Gruppen zugelassener Fahrzeuge zu ergründen. Die aus diesen Befragungen gewonnenen Informationen wurden sodann mit den Daten der "Fortlaufenden Untersuchungen des Strassengütertransports" gekoppelt. Auf diese Weise konnte die Zahl der für jedes Szenario erwarteten Fahrzeuge geschätzt und die mutmassliche Aufteilung des 1977 beförderten Gütervolumens auf die veränderte Anzahl Fahrzeuge ermittelt werden.

XI.5 Ergebnisse der nationalen Studien

XI.5.1 Die deutsche Studie

Die deutsche Untersuchung wurde im Auftrag des Bundesministers für Verkehr vom Batelle-Institut (2) durchgeführt. Sie hat die Grundlagen für Entscheidungen über Änderungen der höchstzulässigen Achslasten und/oder Gesamtgewichte von Lastwagen beträchtlich verbessert.

Voraussetzungen der Untersuchung

Die Ergebnisse der Untersuchung sowie deren Interpretation sind bedingt durch eine Reihe von wichtigen Voraussetzungen und Annahmen. Die Berechnungen beruhen auf Daten aus dem Jahre 1977 betreffend Fahrzeugbestand, Gütervolumen und Infrastruktur. In der Studie wurden die Änderungen der - in metrischen Tonnen (t) angegebenen - Achslasten bei den folgenden sechs Fahrzeugklassen untersucht:

- 8 bis 13 t (Einzelfahrzeug, 2 Achsen)
- 14 bis 18 t (Einzelfahrzeug, 2 Achsen)
- 19 bis 21 t (Einzelfahrzeug, Doppelachse)
- 20 bis 27 t (Einzelfahrzeug, 3 Achsen)
- 28 bis 30 t (Einzelfahrzeug, 4 Achsen)
- 38 bis 52 t (Lastzüge, 5 oder mehr Achsen)

Damit die nahe den Schwellen liegenden Gewichte analysiert werden konnten, wurde die Entwicklung eines möglichst breiten Spektrums von Szenarien angestrebt. Dieses Vorgehen erbrachte die nötige Anzahl Werte - auch wenn es eine ausgedehnte Verarbeitung von Daten erforderlich machte -, um im Bereich der Schwellen relativ sichere Aussagen machen zu können.

Um zu prüfen, ob die Erhöhungen der Fahrzeugmasse und -gewichte Verschiebungen beim Modal-Split bewirken können, wurden in der Untersuchung zwei extreme Variablen in Betracht gezogen:

- 1) konstantes Transportvolumen, d.h. das beförderte Gesamtgütervolumen bleibt unverändert und es tritt keine Verschiebung in der Verteilung zwischen Güternahverkehr und Güterfernverkehr ein; somit hätte der Einsatz von schweren Lastwagen zur Folge, dass die Gütermenge von weniger Fahrzeugen befördert würde.
- 2) verändertes Transportvolumen, d.h. gleiches Gütervolumen im Nahverkehr und die gleiche Anzahl Fahrzeuge im Fernverkehr; somit würde eine Erhöhung des Lastwagengewichtes vermutlich den Anteil der Strasse am Güterverkehr zuungunsten der Deutschen Bundesbahn vergrößern.

Komponenten der berücksichtigten Auswirkungen

Bei der Bestimmung der Auswirkungen der verschiedenen Szenarien wurden in der Untersuchung der Nutzen aus den abnehmenden Transportkosten sowie die durch die Verschiebung im Modal-Split entstandenen Mehreinnahmen der öffentlichen Hand bewertet und verglichen. Die ebenfalls bewerteten Kosten sind auf die folgenden Faktoren zurückzuführen:

- zusätzlicher Strassenbau
- Zeitverlust wegen Sperrung von Nebenstrassen
- Verkehrsstockungen und zusätzliche Baustellen
- Zeit- und Energieverlust wegen Umfahrung von zu wenig tragfähigen Brücken
- Einnahmehausfälle für die Deutsche Bundesbahn.

Wichtige Ergebnisse

Die Berechnungen ergaben, dass eine Erhöhung der zulässigen Achslasten und/oder Gesamtgewichte in der Bundesrepublik Deutschland gesamthaft gesehen nutzbringend wäre, d.h. dass das Nutzen-Kosten-Verhältnis positiv wäre. In Tabelle XI.1 ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis für unterschiedliche Höchstgewichte entsprechend zwei verschiedenen Modal-Split-Annahmen aufgeführt.

Batelle kommt zum Schluss, dass das positive Ergebnis durch eine Erhöhung der Gesamtgewichte ohne gleichzeitige Anhebung der zulässigen Achslasten erreicht würde. Die dadurch erfolgende Zunahme der vierachsigen Einzelfahrzeuge und der sechsachsigen Schwerlastzüge brächte Kostenersparnisse wegen der erhöhten Leistungsfähigkeit mit sich und würde gleichzeitig die Infrastrukturschäden, die aufgrund der wachsenden Belastung durch hohe Achslasten entstünden, auf ein Minimum beschränken. Ganz allgemein ist Batelle der Ansicht, dass der gesamtwirtschaftliche Nutzen mit sinkender Anzahl der für den Gütertransport erforderlichen Fahrzeuge zunimmt.

Das Ausmass der potentiellen Ersparnisse (Nutzen) bei den Transportkosten ist beträchtlich: bis zu 2,8 Mia DM (zu Preisen von 1977), bei Kosten von rund 2,2 Mia DM. Mit zunehmender Achslast steigt der Preis, der für zusätzliche Ersparnisse bei den Transportkosten bezahlt werden muss, ebenfalls kontinuierlich an und schmälert so den Gewinn. Eine Erhöhung der Achslast von 10 auf 11 (metrische) Tonnen hat eine jährliche Nutzensteigerung von 517 bis 614 Mio DM zur Folge, währenddem eine Erhöhung von 12 auf 13 Tonnen eine Gewinnzunahme von 351 bis 393 Mio DM pro Jahr bewirkt. Die Verluste der Deutschen Bundesbahn steigen ungefähr proportional von 218 auf 414 bzw. 610 Mio DM jährlich, dies als Folge der zwei oben genannten Achslast-Erhöhungen.

Die Energieeinsparungen aufgrund der zunehmenden Gewichte sind letztlich zu vernachlässigen. Gemessen am gesamten Energieverbrauch der schweren Lastwagen (im Jahre 1977) könnten maximal 2 Prozent an Treibstoff eingespart werden, was rund 0,33 Prozent des vom gesamten Strassenverkehr verbrauchten Treibstoffs entspricht. Werden die "Folge-Energiekosten" - zum Beispiel wegen Umleitungen - in die Rechnung einbezogen, so weisen die Energieeinsparungen gegen Null.

XI.5.2 Die amerikanische Studie

Die Studie des US-Verkehrsministeriums über die Masse und Gewichte von Lastwagen wurde auf Verlangen des Kongresses durchgeführt und bezweckte, die der Nation erwachsenden Kosten sowie den Nutzen einer Änderung der geltenden Bundeslimiten zu analysieren. Insbesondere sollten die Auswirkungen der "Vereinheitlichung" (d.h. der Einführung einheitlicher Limiten in allen Teilstaaten) untersucht und die Folgen einer Aufhebung von Gewichtsobergrenzen, welche die geltenden Bundeslimiten übersteigen, für die Wirtschaft der einzelnen Staaten geprüft werden.

Die Studie war dazu bestimmt, für jede der ungefähr zehn reglementarischen Optionen (oder Szenarien) den Nutzen - in Form von erhöhter Leistungsfähigkeit der Lastwagen (geringere Transportkosten) - sowie die mit der Änderung verbundenen Kosten - z.B. erhöhte Abnutzung der Fahrbahnen und Brücken, Änderung der gegenwärtigen Sicherheitsniveaus, Veränderung beim Energieverbrauch und Zunahme der Luftverschmutzung und der Lärmimmissionen - zu berechnen.

Die Szenarien stellen Kombinationen von möglichen Änderungen bei den geltenden Bundeslimiten für Masse und Gewichte dar, wobei sie einen oder mehrere der folgenden Parameter einbeziehen:

- a) Einzelachslast
- b) Doppelachslast
- c) Gesamtgewicht
- d) Fahrzeuglänge und -bauart
- e) von den Limiten betroffenes Strassensystem
- f) Grad der Vereinheitlichung unter den Teilstaaten

In den Szenarien wurden sowohl Erhöhungen als auch Reduktionen der zulässigen Gewichte und Lasten geprüft. Kosten und Nutzen wurden für jedes Szenario als Abweichung vom gegenwärtigen Niveau geschätzt, und zwar unter der Annahme, dass die geltenden Vorschriften in der Zwischenzeit nicht geändert werden. Die Berechnungen wurden für das Prognosejahr 1985 sowie für die folgenden Jahre - umgerechnet auf die Preise von 1985 - angestellt.

Die Schätzungen der Kosten für Fahrbahnen und Brücken sowie der Fahrzeug-Betriebskosten beruhen auf der Annahme, dass alle Strassen und Brücken gemäss den bestehenden Bedürfnissen repariert und wieder-instandgestellt werden, um das aktuelle Leistungsniveau aufrechtzuerhalten. Indessen wird in der Studie darauf hingewiesen, dass es ungewiss sei, ob genügend Mittel für die Verwirklichung dieser Annahme zur Verfügung stehen werden. Es wurde nicht versucht, den Todesfällen oder dem mit tödlichen oder anderen schwerwiegenden Unfällen verbundenen Schmerz und Leid einen Geldwert zuzuordnen.

Deshalb wird in der Untersuchung darauf hingewiesen, dass ihre Schlussfolgerungen nur unter Berücksichtigung der finanziellen Unsicherheiten in bezug auf ihre Annahmen und der dem Sicherheitsniveau beigemessenen Bedeutung betrachtet werden dürfen. In der Studie sind folgende Schlussfolgerungen formuliert:

- a) Die Einsparungen bei den Transportkosten, die sich aus der erhöhten Leistungsfähigkeit schwerer oder grösserer Lastwagen ergeben, sind viel höher als die bei den Strassen und Kunstbauten anfallenden Mehrkosten.
- b) Würden die für den Unterhalt von Strassen und Brücken erforderlichen Mittel nicht zur Verfügung gestellt - die Untersuchung geht von ihrer Verfügbarkeit aus -, so würden sich die Transportkostenersparnisse bei grösseren Lastwagen erheblich verringern.
- c) In keinem der Szenarien überschreitet die prognostizierte Verlagerung des Güterverkehrs von der Schiene auf die Strasse 2 Prozent; in den meisten Fällen beträgt sie weniger als 1 Prozent.
- d) Eine Vereinheitlichung der Mass- und Gewichtslimiten auf dem gegenwärtigen Stand - auf dem gesamten Hauptstrassennetz aller Teilstaaten - hat beträchtliche Transportkostenersparnisse und eine nur geringe Zunahme der Kosten für Strassen und Brücken zur Folge.
- e) Der diskontierte Nettonutzen ist bei jenem Szenario am höchsten, in dem die grössten Gewichtslimitenerhöhungen vorgesehen sind. Bei diesem Szenario wurde für die Einzelachse ein Gewicht von 22'400 £ (+12 %) und für die Doppelachse eines von 36'000 £ (+6 %) angenommen; die entsprechenden Referenzwerte sind 20'000 £ bzw. 34'000 £. Das zulässige Gesamtgewicht wurde ebenfalls erhöht, allerdings je nach Fall in unterschiedlichem Umfang. In Tabelle XI.2 sind die entsprechenden Ergebnisse aufgeführt.

Das hier beschriebene Szenario ist bezüglich Energieverbrauch und Luftverschmutzung von allen untersuchten Szenarien das günstigste und bei weitem das vorteilhafteste, was den gesamten Nettonutzen betrifft. Auf der anderen Seite ist es dasjenige, das die höchsten zusätzlichen Aufwendungen für Strassenunterhalt und Brückensanierung verlangt; allerdings ist ein grosser Teil dieser Infrastrukturkosten zeitlich begrenzt und nimmt nach 1985 ab oder fällt gänzlich weg. Trotzdem hängt dieser "günstigste Fall" in hohem Masse von den oben erwähnten Annahmen ab, die besagen, dass die Mittel für die Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit der Strassen bei Bedarf bereitgestellt werden.

XI.5.3 Die australischen Studien

Die australische Studie "Wirtschaftliche Aspekte der Strassenfahrzeuglimiten" (ERVL) befasst sich namentlich mit den Gesamtgewichten, dem Achsabstand-Gewichts-Verhältnis und den Limiten für Einzelachs- und Achsaggregatlasten. Das Gesamtgewicht ist von grosser Bedeutung, da es im allgemeinen die Bauart des Fahrzeugs sowie seine Ladekapazität bestimmt. Das maximale Gesamtgewicht hängt in der Linie mit Fragen der Sicherheit, der Umweltbelastung und der

Transportleistung zusammen, währenddem das Achsabstand-Gewichts-Verhältnis eine Grösse darstellt, die zur Kontrolle der Belastung von Brücken durch kürzere Fahrzeuge erforderlich ist. Für die Limiten bei der Einzelachsbelastung wurde eine grosse Zahl von Varianten untersucht. Das Grundkonzept bestand in der Schätzung des Grenznutzens, der vorwiegend durch die Verringerung der Fahrzeug-Betriebskosten entsteht, sowie der Kosten, die mit der schwerverkehrsbedingten Beschädigung von Strassen und Brücken verbunden sind.

Die ersten Ergebnisse der Bewertung einer breiten Palette von Gewichtslimiten lassen darauf schliessen, dass substantielle Erhöhungen des Gesamtgewichtes wirtschaftlich zu rechtfertigen sind. Eine obere Grenze wird durch die sinkende Rentabilität zusätzlicher Erhöhungen und die sogar negativen Ergebnisse zweier Staaten in den höchsten Gewichtsbereichen gesetzt. Besondere Aufmerksamkeit wurde den zulässigen Einzel- und Doppelachslasten geschenkt; aus dem Modell geht hervor, dass das Nutzen-Kosten-Verhältnis bei einer proportionalen Erhöhung von Einzelachslast- und Doppelachslastlimiten günstiger ausfällt als bei einer Anhebung der zulässigen Doppelachslast allein. Für eine detailliertere Bewertung wurde eine verfeinerte Untergruppe, bestehend aus acht Varianten, gebildet. Die Ergebnisse (siehe Figur XI.1) zeigen, dass der Nutzen die Kosten deutlich überwiegt. Der Umfang der Gewichtsveränderungen, die in naher Zukunft vorgenommen werden könnten, wird indes durch die verfügbaren finanziellen und anderen Ressourcen eingeschränkt.

Die Limite für Einzelachsen (Zwillingsreifen) wurde einheitlich auf 8,5 Tonnen festgesetzt, was gegenüber den in den meisten Teilstaaten geltenden Höchstgrenzen nur eine geringe Erhöhung darstellt. Eine Limite von 9 Tonnen wurde mit dem Hinweis auf die bedeutend höheren Infrastrukturkosten, die sie mit sich brächte, abgelehnt. Die Höchstgrenze für Doppelachsen (Zwillingsbreifung) wurde auf 15 Tonnen für die östlichen Staaten - dort sind ältere Brücken mit ungenügender Tragfähigkeit vorhanden - und auf 16,5 Tonnen für die westlichen Staaten festgesetzt. Dies bedeutet für die östlichen Staaten eine im Vergleich zu den verschiedenen geltenden Limiten (13,2 Tonnen bis 14 Tonnen) wesentliche Erhöhung, während es für die westlichen Staaten eine Beibehaltung des Status quo darstellt. Die zulässige Achslast für Dreiachsaggregate (Zwillingsreifen) wurde mit Blick auf die ungenügende Tragfähigkeit gewisser Brücken auf 18 Tonnen festgesetzt. Die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Teilstaaten bestanden zur Zeit der ERVL-Studie vermutlich in den Gesamtgewichtslimiten; sie reichten von 34 bis 41 Tonnen. In der Studie wird eine stufenweise Einführung einer einheitlichen 38-Tonnen-Limite mit einer 36-Tonnen-Übergangsphase empfohlen. Die 38-Tonnen-Limite wurde offiziell im Jahre 1979 eingeführt. Jegliche weitere Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichtes wurde von wesentlichen Verbesserungen bei der Reglementierung und der Kontrolle der Sicherheits- und Umweltschutzmassnahmen, die der Schwerverkehr zu treffen hat, abhängig gemacht.

Einige in jüngerer Zeit ausgearbeitete Studien stützen sich für die Berechnung der Infrastrukturkosten ebenfalls auf die ERVL-Modelle. Der Rahmen dieser Untersuchungen ist allerdings weiter gespannt, schliesst er doch die Fragestellung des Wettbewerbes zwischen Schienen- und Strassentransport mit ein.

In einer in Südwestaustralien durchgeführten Untersuchung über die Verkehrssituation wurden verschiedene Optionen für den Gütertransport auf der Schiene und auf der Strasse geprüft. Das angestrebte Ziel war eine teilweise Aufhebung einschränkender Bestimmungen im Strassengütertransport.

Ein Untersuchungsausschuss, der sich 1980 mit dem Strassentransportgewerbe von New South Wales befasste, konzentrierte sich auf die Analyse der Wirtschaftlichkeit, der Leistungsfähigkeit und der Rationalisierung des Gütertransportes auf Schiene und Strasse. Seine Empfehlungen betreffen eher die Rationalisierung von offensichtlich unwirtschaftlichen Bereichen - namentlich im Schienenverkehr - als eine auf einer Systemanalyse beruhende Optimierung.

XI.5.4 Die britischen Studien (1,9,10)

Der TRRL hat ausführliche Untersuchungen über die Auswirkungen schwerer Lastwagen auf die Betriebskosten und den Zustand der Strassen durchgeführt. Für die Studie wurden zusammengestellte Daten aus dem Jahre 1977 sowie Informationen aus Befragungen von Transporteuren verwendet. Die Studie gelangt zu folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen:

- a) Die Gesamtzahl der Fahrzeuge von 32,5 Tonnen (Gesamtgewicht) oder mehr wird sich binnen einiger Jahre nach der Änderung der zulässigen Gewichte um rund 8 Prozent nach 5 bis 10 Jahren um weitere 5 Prozent verringern.
- b) Die Abnahme der Fahrzeugzahl wird Betriebskostensparnisse (zu Preisen vom Januar 1979) von 3 bis 5 Prozent (zwischen 50 und 100 Mio £ für das 1977 beförderte Gütervolumen) zur Folge haben, die nach 5 Jahren bis auf rund 7 Prozent (130 Mio £) ansteigen werden.
- c) Falls die Achslasten auf 10 Tonnen beschränkt werden, werden sich die den Fahrzeugen mit einem Gesamtgewicht von 32,5 Tonnen oder mehr anrechenbaren gesamten Infrastrukturschäden gegenüber den Werten von 1977 vermutlich um rund 7 Prozent verringern, je nach den zugelassenen Fahrzeugtypen. Werden - wie dies in einem Richtlinienentwurf der EG vorgeschlagen wird - Fahrzeuge mit einer Treibachslast von 11 Tonnen zugelassen, so dürften die gesamten Infrastrukturschäden im Vergleich zum Niveau von 1977 abnehmen, jedoch in kleinerem Ausmass. Wenn indes die Spediteure nicht sicherstellen, dass ihre Zugfahrzeuge und Anhänger gut aufeinander abgestimmt sind und - dies ist der wichtigste Aspekt - dass die Ladung richtig auf die Fahrzeugachsen verteilt ist, könnten die Fahrbahnschäden verglichen mit dem geschätzten heutigen Umfang zunehmen.
- d) Die Durchschnittslänge der verminderten Zahl von Sattelzügen dürfte um bis zu 7 Prozent zunehmen, da ein grösserer Anteil von längeren Fahrzeugen in Betrieb stehen wird; ausserdem dürften vermehrt Schwerlastzüge mit Deichselanhänger zum Einsatz kommen.

Im kürzlich veröffentlichten "Armitage Report" (Dezember 1980) wird der Problembereich Lastwagen und Umwelt beleuchtet. Die ausführliche Studie umfasst verschiedene Analysen, angefangen bei den Ursachen für die Zunahme des Strassengüterverkehrs bis hin zu wirtschaftlichen, sozialen und umweltspezifischen Folgen dieser Zunahme. Der Bericht schliesst mit einigen Empfehlungen betreffend schwere Lastwagen. Für uns sind die folgendenn Schlussfolgerungen und Bemerkungen von besonderem Interesse:

- a) Höchstgewicht von vierachsigen Lastzügen:
Die vorgeschlagene Zahl von 34 Tonnen spiegelt die Befürchtung wider, dass jede Erhöhung des zulässigen Höchstgewichtes bei vierachsigen Lastzügen in Grossbritannien zusätzliche Infrastrukturschäden nach sich ziehen könnte;
- b) Höchstgewicht von fünfachsigen Lastzügen mit zweiachsiger (m) Zugmaschine/Zugfahrzeug:
Mit der vorgeschlagenen Limite von 38 Tonnen für diesen Typ von Lastzug würde sich Grossbritannien den meisten europäischen Ländern angleichen. Dieser Höchstwert stimmt mit den für die Achslasten vorgeschlagenen Limiten (vgl. Absatz e hiernach) überein. Die von der EG beantragte Limite von 40 Tonnen ist für Lastzüge mit Deichselanhängern annehmbar.
- c) Höchstgewicht von fünfachsigen Lastzügen mit dreiachsiger (m) Zugmaschine/Zugfahrzeug:
Die vorgeschlagene Limite von 40 Tonnen ist Ausdruck der Bedenken wegen allfälligen Schäden. Aus diesem Grund wird im Bericht auch empfohlen, die Hinterachsen der Zugmaschine oder des Zugfahrzeuges so anzulegen, dass sie die gleiche Last tragen.
- d) Höchstgewicht von sechsachsigen Lastzügen:
Im Bericht wird ein Höchstgewicht von 44 Tonnen empfohlen, vorausgesetzt, die Hinterachsen der Zugmaschine oder des Zugfahrzeuges weisen dieselbe Achslast auf.

e) Achslasten:

Im Bericht werden die Untersuchungen über die möglichen Auswirkungen der im EG-Richtlinienentwurf vorgeschlagenen 11-Tonnen-Achslast für Einzeltreibachsen und 24 Tonnen für Dreiachsaggregate auf Brücken beschrieben. Bei schätzungsweise 1400 Brücken entlang britischer Hauptstrassen könnten Verstärkungsmassnahmen oder eine Erneuerung erforderlich sein, was mutmassliche Kosten in der Höhe von 400 Mio £ zur Folge hätte. Zur Vermeidung dieses Problems werden im Bericht maximale Achslasten von 10,5 Tonnen für Einzeltreibachsen und 22,5 Tonnen für 2,7-Meter-Dreiachsaggregate empfohlen. Diese Achslasten stellen die absolute Obergrenze dar, bei der noch auf ein Programm zur Überprüfung und allenfalls Verstärkung der Brücken verzichtet werden kann. In bezug auf andere Einzelachsen und auf Doppelachsen erhielt der Ausschuss keine Hinweise auf Änderungsbegehren betreffend die geltenden britischen Limiten.

XI.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Jede der vier nationalen Studien hatte verschiedene methodische Schwierigkeiten zu überwinden. Bei der deutschen Untersuchung z.B. bestand das Problem darin, die einzelnen Subsysteme in ein Gesamtsystem zu integrieren; ein weiterer Problembereich war die Bewertung der Auswirkungen auf die gesamten Strassennetze, insbesondere die Brückenkonstruktionen. Bei der amerikanischen Studie tauchte die Schwierigkeit auf, "Überlastungen" sowie spezifische Lastwagen-Güter-Märkte in die Berechnungen einzubeziehen. Und schliesslich mussten bei der britischen Studie die Datenlücken durch Befragungen gefüllt werden.

Bei der britischen und der deutschen Untersuchung kamen statistische Modelle zur Anwendung. Obgleich sie sich in ihrem Ansatz unterscheiden - die deutsche Untersuchung bedient sich eines "analytisch integrierten", die britische (Armitage-) Studie eines "empirische-additiven" Systemansatzes -, gelangen sie zu sehr ähnlichen Ergebnissen. Die australische und die amerikanische Studie, die in einem institutionellen Rahmen durchgeführt wurden, der sich von jenem der beiden anderen Untersuchungen wesentlich unterscheidet, stützen sich auf dynamische Modelle; auch sie gelangen zu ähnlichen Schlussfolgerungen.

Alle vier Studien kommen zum Schluss, dass eine Erhöhung der Fahrzeuggewichte einen bedeutenden Nutzen mit sich bringt, wenn die Frage im Rahmen einer Systemanalyse untersucht wird: die gesamten Einsparungen bei den Transportkosten übersteigen die Zunahme der Kosten für die Strasseninfrastruktur. In allen Untersuchungen wird darauf hingewiesen, dass der Umfang des Nettonutzens anwächst, wenn die Zahl der für die Beförderung einer gegebenen Gütermenge erforderlichen Lastwagen abnimmt. Nach der deutschen Untersuchung ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis dann am positivsten, wenn das Gesamtgewicht gehoben wird, ohne dass sich die Achslasten erhöhen.

In allen vier Studien werden auch die Grenzen des Nutzens von Gewichtserhöhungen angegeben. An einem bestimmten Punkt verflacht sich die Kosten-Nutzen-Kurve und kann sogar absinken, je nach den Aufwendungen, die für die Erzielung des Nutzens nötig sind, und dem Wert, welcher der Sicherheit und anderen nicht in Geldwert ausgedrückten Faktoren zugeordnet wird.

Die Belastbarkeit von Brücken im Hinblick auf schwerere Fahrzeuge und höhere Achslasten stellt in allen vier nationalen Studien einen wesentlichen limitierenden Faktor für die empfohlenen Höchstgewichte dar. Die hauptsächlichsten Hindernisse sind die erhöhten Ausgaben für Unterhalt und Verstärkung bestehender und die Kosten für den Bau neuer Brücken.

Die deutsche Untersuchung enthält eine eingehende Analyse der Energie- und Zeitverluste, die im Zusammenhang mit Brücken entstünden, welche die schweren Fahrzeuge nicht zu tragen vermögen, d.h. des sogenannten "Umwegeffektes". In der US-Studie wird die Tragweite des "Brückenproblems" in den Vereinigten Staaten unterstrichen: Ein hoher Anteil der vom Bund subventionierten Brücken wird als "funktional veraltet" oder als strukturell ungenügend eingestuft. In Figur XI.2 sind die Konsequenzen verschiedener Szenarien für die Brückenkosten dargestellt.

Die Sicherheit als solche ist in diesem Kapitel nicht untersucht worden (siehe Kapitel V). Es ist allerdings vorstellbar, dass staatliche Zielsetzungen und Strategien im Bereich der Verkehrssicherheit, aber auch die Versuche einer monetären Bewertung von Sicherheitsmassnahmen in einigen Ländern zu abweichenden Empfehlungen führen könnten. Mit dem Ansteigen der Fahrzeugmasse und -gewichte nehmen auch die Geschwindigkeitsunterschiede zu.

Die schweren Lastwagen sind zudem in gewissen Geländetypen schwerer manövrierbar, da sich ihre Lenk- und Dreheigenschaften von jenen leichter Fahrzeuge unterscheiden.

Die australische Studie kommt zum Schluss, dass durch den Einsatz schwerer Lastwagen neue Güterbewegungen ausgelöst werden könnten, dies in jenen Fällen, wo - aufgrund optimaler Transportkapazitäten - der durch den Transport entstehende Mehrwert die Transportkosten übersteigt. Die britische Studie (Amitage-Bericht) gelangt zu einem ähnlichen Ergebnis; sie weist auf die verbesserten Betriebsbedingungen hin, die den Spediteuren ermöglicht werden können.

Die deutsche Untersuchung, die sich schwergewichtig mit dem Modal-Split befasst, belegt, dass schwerere Lastwagen den Anteil der Strasse am gegenwärtigen Gütertransport-Markt auf Kosten der Bundesbahn vergrössern würden. Auch die australische Untersuchung kommt zum Schluss, dass schwere Lastfahrzeuge ihren Marktanteil zuungunsten der Bahn ausdehnen würden. Dagegen geht aus der amerikanischen Studie hervor, dass sich in den meisten Szenarien lediglich eine sehr geringfügige Verschiebung innerhalb des Modal-Split im amerikanischen Markt ergibt. Das Zusammenspiel der Faktoren, die eine Verlagerung innerhalb des Modal-Split begünstigen oder hemmen, ist indes sehr komplex und hängt in hohem Mass vom Verkehrskonzept des betreffenden Landes ab. Deshalb können hier keine allgemeingültigen Schlüsse gezogen werden.

Schliesslich werden die Energieeinsparungen als sehr gering bis gleich Null eingestuft. In keiner der Untersuchungen werden indessen Nettoenergieverlust als Folge von Gewichtserhöhungen bei Lastwagen festgestellt.

Tabelle XI.1

Kosten-Nutzen-Verhältnis bei untersuchten Fahrzeugklassen
BRD (2)

Maximale Achslast		Höchstzulässiges Achsgewicht	Extremwerte des Kosten-Nutzenverhältnisses *
Einzelachse	Doppelachse Tonnen		
11	17	40	1.6-2.6
12	18	42	1.6-2.5
13	19	44	1.6-2.5
10	18	40	1.6-2.7
11	19	42	1.6-2.8
12	20	44	1.5-2.5
10	16	38**	12.9-56.3
11	18	42**	2.0-3.5
10	16	42**	3.2-41.9
10	16	44**	3.1-24.8

*) *Extremwerte des Kosten-Nutzen-Verhältnisses*

Erste Zahl: gleiches Gütervolumen im Nahverkehr, gleiche Anzahl Fahrzeuge im Fernverkehr und daher Zunahme des auf der Strasse beförderten Gütervolumens auf Kosten der Bundesbahn.

Zweite Zahl: konstantes Gütervolumen im Nah- und Fernverkehr; die Gütermenge wird von weniger Strassenfahrzeugen befördert; der Anteil der von der Bundesbahn transportierten Gütermenge bleibt unverändert.

**) Fahrzeugpark bestehend aus vierachsigen Einzelfahrzeugen und sechsachsigen Lastzügen.

Bezugsbasis: Lastwagen mit Anhänger 38 Tonnen
Sattelzug 36 Tonnen
Dreiachsiges Einzelfahrzeug: 22 Tonnen
Achslast überall 10 Tonnen

Tabelle XI.2

Auswirkungen einer Erhöhung der höchstzulässigen Achslasten auf die Kosten
USA (3) (vgl. Punkt e, oben)

Posten	Kostendifferenz in % in bezug auf das Referenzszenario
- Transportkosten je t/km	-4%
- Fahrbahnunterhaltskosten	+ 3/4% bis + 14% (1)
- Brückensanierungskosten	+ 20%
- Sicherheitsmassnahmen	-3% bis + 9/10% (2)
- Energie (inkl. Energiegehalt der Strassenarbeiten)	-0.5% bis + 1%
- Luftverschmutzung	-2.3% bis -3.1% (3)
- Lärm	+ 4.5% (4)
Gesamte diskontierte Nettostrassenkosten (in Milliarden Dollar per 1980)	+ 2.6 bis 6.4 (1)
Gesamtauswirkungen auf die Transportkosten (in Milliarden Dollar per 1980)	-50 bis -60 (5)

- Diskontierungssatz: 10%

1) Je nachdem, ob eine massive Verlagerung von Sattelzügen auf kürzere Schwerlastzüge stattfindet

2) Gemäss den gemachten Annahmen

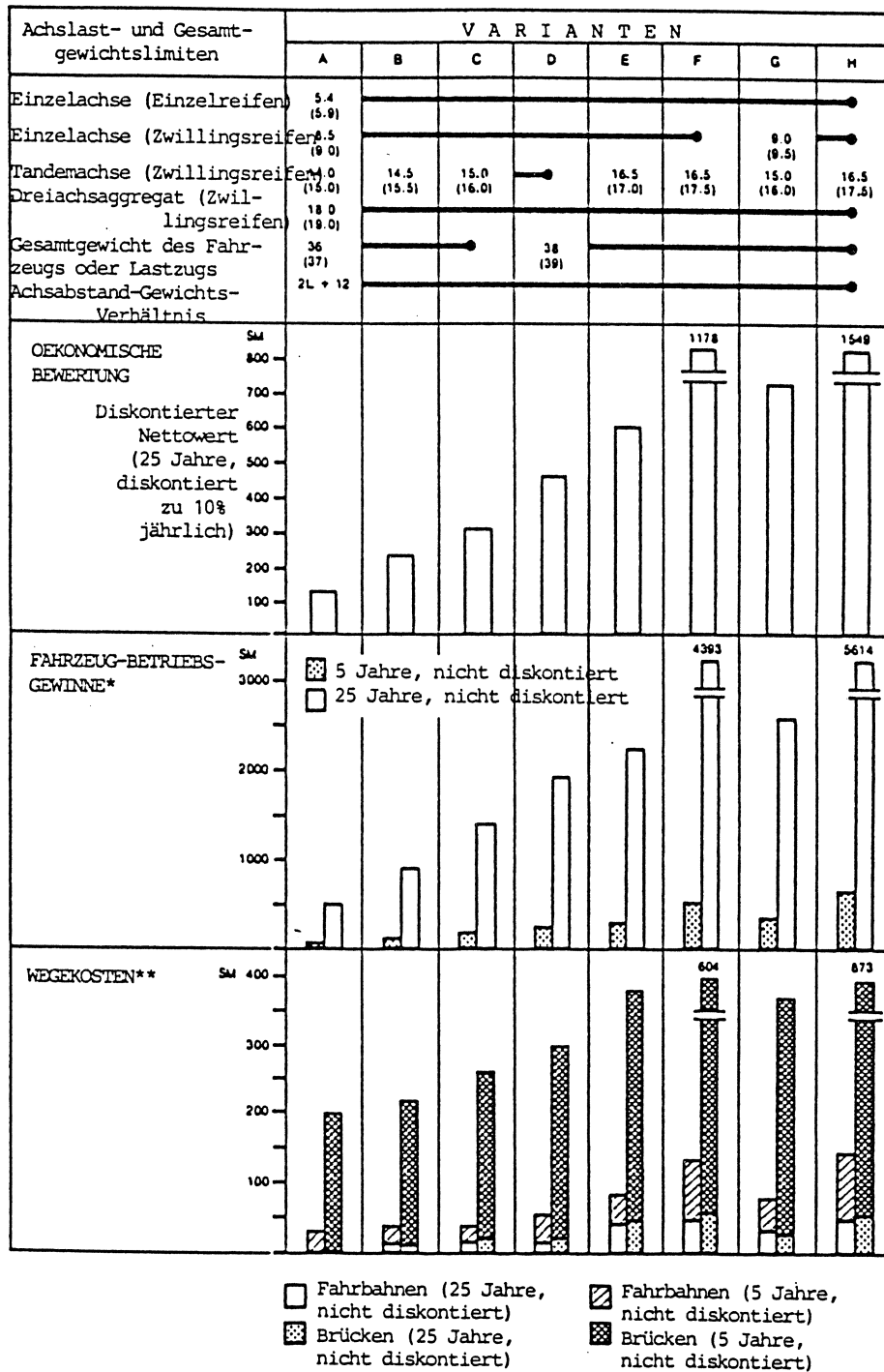
3) -2,3% bei Kohlenwasserstoffen und -3.1% bei Kohlenmonoxyd

4) Zusätzlicher Anteil von Anwohnern, die nach eigenen Angaben einer "starken Belästigung" ausgesetzt sind

5) Einschliesslich der Kosten der Verkehrsverlagerung von der Schiene auf die Strasse (auf 2.2% der gesamten beförderten Gütermenge geschätzt) und der Unfallkosten

Figur XI.1

WIRTSCHAFTLICHE UND FINANZIELLE KONSEQUENZEN VERSCHIEDENER GEWICHTSLIMITEN
(Preise von 1974/75) (Australien) (15)



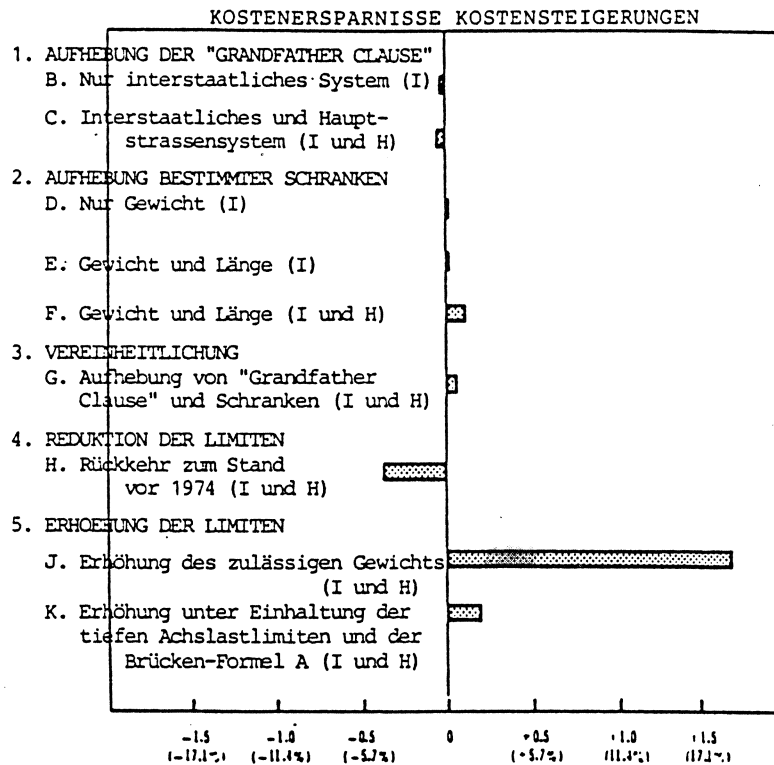
* Für die obenstehenden Graphiken wurden verschiedene Skalen verwendet.

** Die in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf die effektiven Limiten.

Figur XI.2

AUSWIRKUNGEN AUF DIE KOSTEN FÜR STRASSENBRÜCKEN
BEI VERSCHIEDENEN SZENARIEN (VEREINIGTE STAATEN)

VERÄNDERUNGEN GEGENÜBER
DER REFERENZSITUATION



References:

1. ARMITAGE, A. Report of the inquiry into lorries, people and the environment. HMSO, London 1980.
2. BATTELLE, Achslasten und Gesamtgewichte schwerer Lkw. Untersuchung im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Bonn Cologne 1981.
3. US DOT. An investigation of truck size and weight limits. Final report. Washington D.C. 1981.
4. SWEATMAN, P. The economic of road vehicle limits; South Western Australia Transport Study. Internal Working Document provided to the Group. Victoria, Australia, September 1981.
5. SCHEFFEY, CF. Internal Working Document provided to the Group. Washington, D.C. June 1981.
6. SWERDLOFF, CN. Internal Working Document provided to the Group, Washington D.C., September 1980.
7. SWERDLOFF, CN. Internal Working Paper. Washington D.C. August 1981.
8. SCAZZIGA I., Internal Working Document provided to the Group. Zürich, September 1981.
9. CORCORAN PJ., Glover UH. and Shane BA. Higher gross weight goods vehicles - operating costs and road damage factors. TRRL Digest R 590, Crowthorne, 1980.
10. CORCORAN PJ., Hitchcock, AJ. and Mc Mahon CM. Development in freight transport. TRRL Digest R 580, Crowthorne, 1980.
11. HENIZE, J. Modellaufbau und -verknüpfung zur Bewertung politischer Alternativen in Schmidt, H, Schips, B. Verknüpfung sozioökonomischer Modelle, GMD Schloss Birlinghoven, 1980.
12. NICKERSON, RC., Boyd, DW. The use and value of models in decision analysis. In: Operations Research Vol. 28, Nr. 1 Jan./Feb. 1980.
13. SOCIALDATA, Systematische Untersuchung und Zusammenstellung vorhandener Datengrundlagen für die modellmäßige Erfassung des Güterverkehrs und deren Analyse und Bewertung anhand praktischer Anwendungsfälle. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Munich, 1981.
14. KEYNES, JM., The League of Nations, Professor Tinbergen's Method, in the Economic Journal, September 1939.
15. FRY, AT, EASTON, GR, KER, IR, STEVENSON, JMcL and WEBBER, JR. A study of the economics of road vehicle limits: summary and recommendations. National Association of Australian State Road Authorities' Economics of Road Vehicle Limits Study Team Report R4, 1975.

Kapitel XII

Zusammenfassung, Schlussbetrachtungen, Empfehlungen

XII.1 Ausgangslage

Der Schwerverkehrsfrage wird in vielen Industrie- und Entwicklungsländern schon seit langem grosse Bedeutung beigemessen. Noch vordringlicher behandelt wurde diese Frage in den letzten drei Jahrzehnten, d.h. seitdem sich die Strasse zum wichtigsten Güterverkehrsträger entwickelt hat. Der Anteil des Schwerverkehrs am gesamten Güterverkehrsmarkt nimmt weiterhin zu und man ist sich in weiten Kreisen klar über seinen hohen Stellenwert für Industrie, Handel und Gesamtwirtschaft.

Die staatlichen Behörden sind weitgehend an diesem System beteiligt: sie erheben Steuern, sind verantwortlich für die Struktur des Verkehrsmarktes, für die Strasseninfrastruktur, für die Ausgestaltung und Anwendung von Verkehrs- und Sicherheitsvorschriften. Zwar sind die allgemeinen und politischen Rahmenbedingungen der Güterbeförderung wie auch die politischen und administrativen Systeme von Land zu Land und sogar innerhalb der einzelnen Mitgliedsländer verschieden, doch müssen sich alle Länder mit der Regelung des Schwerverkehrs befassen, hauptsächlich wo es um Fahrzeuggewichte und -abmessungen geht. Das Hauptproblem besteht darin, zwischen kostenmässig optimaler Ausnutzung und der Wirtschaftlichkeit grösserer Fahrzeuge einerseits und dem Bedürfnis nach einer optimalen Verwendung öffentlicher Mittel für die Strasseninfrastruktur andererseits ein Gleichgewicht zu finden, die Qualität der Dienstleistungen gegenüber allen Strassenbenützern zu erhalten, sichere und energiewirksame Systeme zu gewährleisten und die Lärmemissionen und andere Umweltbelästigungen zu verringern.

Es besteht in allen Ländern die Tendenz, den Lastfahrzeugpark mit Fahrzeugen mit Höchstabmessungen und -gewichten auszustatten. Der Grund hierfür ist wirtschaftlicher Natur: für ein gegebenes Strassennetz werden mit einer Heraufsetzung der Gesamtgewichtslimiten die Kosten für eine beförderte Nutzlasttonne geringer; dasselbe gilt für die Energiekosten je beförderter Nutzlasttonne. Die Transportunternehmer sind daher ständig um eine Anhebung der höchstzulässigen Gesamtgewichte bemüht, in der Absicht, internationale Container (40 Kubikfuss/30,5 t) befördern zu können.

Weitere Fragen stellen sich auf zwischenstaatlicher Ebene, so z.B. in bezug auf die Gewährleistung eines unbehinderten grenzüberschreitenden Schwerverkehrs, die Harmonisierung des Wettbewerbes zwischen den Verkehrsträgern sowie die Sicherstellung eines einheitlichen Marktes für die Lastfahrzeughersteller durch die Schaffung entsprechender Normen.

XII.2 Der Auftrag der Forschungsgruppe

Die Forschungsgruppe wurde im Anschluss an das OECD-Strassenforschungssymposium 1977 über Lastfahrzeuge und deren Auswirkungen gebildet. Ihrem Auftrag waren hohe Ziele gesetzt. Dieser bestand in der Hauptsache darin, die Untersuchung aus einer technisch-wirtschaftlichen Sichtweise anzugehen. Die zu behandelnden Punkte umfassten eine allgemeine Auflistung der verfügbaren Daten, die Feststellung der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehr, der Auswirkungen auf Strassen und Brücken, auf die Umwelt, den Energieverbrauch und auf die Fahrzeugnutzung, sowie Kostenberechnungen.

Mit seiner wissenschaftlichen und technischen Vorgehensweise, die auf die Ergebnisse der in verschiedenen Ländern durchgeführten Forschungen und Experimente abstützt, entspricht der vorliegende Bericht den Anforderungen, wie sie durch den Auftrag des OECD-Strassenforschungsprogramms gestellt werden. Der Bericht sollte so weit als möglich in einer Sprache gehalten werden, die nicht nur von den Spezialisten mit ihren je eigenen Fachjargons verstanden wird, sondern auch den Beamten und Entscheidungsträgern zugänglich ist, die auf diesem Gebiet für die Ausarbeitung und Durchführung von Massnahmen verantwortlich sind.

Zwar wurden auf diesem Gebiet schon viele Studien durchgeführt, doch bleiben sie bruchstückhaft und sektorenbezogen. Dasselbe gilt für die verfügbaren Informationen. So ist zwar umfassendes quantitatives Datenmaterial vorhanden, der Mangel an gemeinsamen Definitionen und Klassifizierungen indessen lässt es nicht zu, zwischen den Forschungsergebnissen der verschiedenen Länder schlüssige Vergleiche zu ziehen. Die Gruppe musste sich daher oft auf ad hoc- oder Sonderuntersuchungen beziehen, die nur ein unvollständiges Bild über die Situation wiedergeben können. Gesamthaft betrachtet aber ermöglichen sie immerhin allgemeine Trends festzustellen.

XII.3 Allgemeine Tendenzen und Angaben

Die Gruppe hat versucht, möglichst umfassende Informationen zusammenzutragen über den Umfang und die Zusammensetzung der Schwerfahrzeugflotten, die beförderten Güter, die Achslasten und Fahrzeuggewichte. Es stellte sich jedoch bald heraus, dass sich in bezug auf den Güterschwerverkehr, auf entsprechende Regelungen und Experimente wegen ungleichen Begriffsbestimmungen, der Unvereinbarkeit der vorhandenen Angaben usw. ein internationaler Vergleich nur schwer anstellen lässt. Obschon verschiedene internationale Organisationen wie die EWG und die Europäische Kommission über eine systematische Sammlung statistischer Angaben über das internationale Transportwesen verfügen, liessen sich diese aufgrund des allgemeinen Charakters nicht für die in diesem Bericht behandelten Einzelbereiche verwenden.

Gleichwohl sind innerhalb der OECD-Mitgliedstaaten gewisse allgemeine Tendenzen klar erkennbar. Erstens nimmt der Güterverkehr auf der Strasse ständig zu; zweitens wird in allen Mitgliedsländern der Lastfahrzeugpark immer grösser, und die Fahrzeuge werden stets grösser und schwerer, da sich mit höheren Nutzlasten Produktivitätssteigerungen realisieren lassen. Weiter dürfte sich der gegenwärtige Trend nach Tandem- und Tridemachsen und Breitreifen-Einzelrädern auf die künftige Beschaffenheit der Schwerfahrzeuge auswirken. Ebenso wurde in den Mitgliedsländern festgestellt, dass im Lastwagenverkehr die durchschnittlichen Gütertransportstrecken immer länger werden, weil die Schwerfahrzeuge sich auf weiten Strecken und in bezug auf die Beförderung gewisser Güterarten - Metallerzeugnisse, chemische Produkte und Industrieerzeugnisse - als immer konkurrenzfähiger erweisen.

Der Anteil der Schwerfahrzeuge mit Höchstabmessungen und -gewichten am gesamten Lastwagenpark ist sehr gering (weniger als 5%), viel grösser hingegen ist deren Anteil an der gesamten Tonnenkilometerleistung des Strassengüterverkehrs (zwischen 1/2 und 1/3). Die wichtigste Schlussfolgerung, die sich aus dem Versuch ergibt, die Rolle und Bedeutung von Schwerfahrzeugen in den Mitgliedstaaten festzustellen, ist:

Schlussfolgerung: Ein einheitliches Vorgehen bei statistischen Erhebungen erweist sich als besonders notwendig; so werden beispielsweise durch die unterschiedlichen Definitionen von Gesamtgewichtsklassen gültige Vergleiche zwischen den Mitgliedsländern verunmöglicht.

XII.4 Auswirkungen auf den Strassenverkehr

Der Anteil der Lastwagen am allgemeinen Strassenverkehr macht in den Ländern der OECD rund 20% aus. Es ist anzumerken, dass der Anteil an Lastwagen entsprechend der Strassenqualität zunimmt. So macht sein Anteil auf Autobahnen zwischen 30 - 35% aus. Die Auswirkungen des Lastwagenverkehrs sind je nach Strassenzustand, Spurbreite, Zahl der Spuren, Verkehrsfluss und Zahl der Kreuzungen verschieden. Die Präsenz von Lastwagen kann zudem das Verhalten der übrigen Strassenbenützer beeinflussen.

Lastwagen beeinflussen zudem die Nutzung der Ressourcen, den Grad des Unterhaltes, die gewünschte Geschwindigkeit etc. Die Auswirkungen von Lastwagen auf den Verkehr und Systemleistung sind mit denjenigen des Personenverkehrs vergleichbar; sie variieren entsprechend dem Gelände, Gebiet, Art des Lastwagens und Art der Strasse. Typisch entspricht ein Lastwagen in flachem Gelände 2 bis 3 Personenwagen, in Bereichen von Kreuzungen 2 bis 5 Personenwagen und bis zu 20 Personenwagen bei Gefälle, dies entsprechend dem jeweiligen Gefällegrad.

Der Einfluss auf den allgemeinen Verkehr, hervorgerufen durch Lastwagen bei Gefälle, wie dieser im United States Highway Capacity Manual umschrieben wird und dessen Daten von den Mitgliednationen rege benutzt werden, scheint überbewertet. Die Neigung und der Prozentsatz der

Lastwagen sind die dominanten Faktoren. An geeigneten Stellen wurden in nahezu allen Mitgliedsländern Kriechspuren erstellt um so den Einfluss des Lastwagenverkehrs auf den übrigen Verkehr zu beobachten. Nationale Direktiven bezüglich der für den Schwerverkehr reservierten Spuren hatten ihren Einfluss auf technische Faktoren und Benützerfaktoren. Sie sollten jedoch auch die Bereiche Energie und Wirtschaftlichkeit vermehrt berücksichtigen.

In städtischen Gebieten zeigte sich, dass vom Schwerverkehr Verspätungen von Verkehrsteilnehmern, wie auch Verspätungen von Lastwagen stärker vom allgemeinen Verkehrsaufkommen und der Parkierungspolitik herrühren als vom Schwerverkehr selbst. Festzuhalten ist, dass in Fahr-/Halteverbotszonen oder nahe von Kreuzungen abgestellte Zulieferfahrzeuge die stärksten Behinderungen darstellen und die Kapazität des Verkehrsflusses stark beeinträchtigen. Sicher ist, dass der Lastwagen jedoch in städtischen Bereichen nicht das Problemfahrzeug ist. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass Zulieferfahrzeuge meist in den weniger verkehrsreichen Zeiten verkehren. In Zeiten mit starkem allgemeinem Verkehrsaufkommen ist der Lastwagenverkehr meist schwach. Die Verkehrsplanung und dessen Management müssen also auch die Einflüsse anderer Verkehrsteilnehmer (ruhender und sich bewogender Verkehr) berücksichtigen, wie auch das Bedürfnis der Zulieferfahrzeuge möglichst unbehindert in die kommerziellen und industriellen Zonen zu gelangen.

Die Geschwindigkeitslimiten für Lastwagen sind in den einzelnen Mitgliedsländern unterschiedlich. Sie reichen von 60 km/h (entsprechend dem Strassentyp) bis 100 km/h. Verschiedene internationale Organisationen streben eine Anpassung der Geschwindigkeitslimiten an.

Schlussfolgerungen:

- a) Ausgehend von der Tatsache, dass der Anteil von Lastwagen auf Strassen mit erhöhtem Ausbaustandard bis zu einem Drittel betragen kann, können sich Probleme bezüglich des Ausbaustandards, der Strassensicherheit und Fahrerbedürfnisse stellen. Spezielle Spuren für Lastwagen können diese Probleme abschwächen, wobei hierüber auch ausführlichere wirtschaftliche Analysen nötig sind, ausführlicher als die vorliegenden.
- b) Lastwagen haben einen grossen Einfluss auf den Verkehrsfluss. Sie entsprechen allgemein zwei bis fünf Personenwagen und entsprechend den Bedingungen bis zu zwanzig Personenwagen (Steigungen, Kurven etc.). Diese Zahlen zeigen klar, dass die in den Sechzigern gebräuchlichen Zahlen bezüglich der Strassenkapazität (speziell diejenigen des United States Highway Capacity Manual) nicht mehr standhalten und zudem stark überbewertet waren. Bezüglich des Einflusses des prozentualen Anteils des Schwerverkehrs haben die Studien gezeigt, dass jeder zusätzliche Lastwagen prozentual abnehmende Wirkung hat wogegen zunehmende bezüglich des Lastwagenanteils.
- c) Allgemein wurde der Einfluss von Lastwagen in städtischen Bereichen nicht systematisch festgestellt. Aufgrund des wirtschaftlichen Stellenwertes muss dem Lastwagenverkehr in städtischen Bereichen nachdrücklich erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.
- d) Es ist eine Tatsache, dass den Geschwindigkeitsbeschränkungen in nahezu allen Mitgliedstaaten zuwenig Nachachtung gegeben wird, so dass Massnahmen nötig sind.

XII.5 Wirkungen auf die Strassensicherheit

Nur wenige Staaten haben Unfalldaten bezüglich Lastwagen, welche genügend genau sind um in globale Transportanalysen miteinbezogen zu werden. Es scheint dabei nur schwer möglich zu sein, diese Daten in vergleichende Studien zwischen Staaten und in Staaten einfließen zu lassen. Die Ursache für den Mangel an Vergleichbarkeit ist wohl einfach zu verstehen, wobei eine Vergleichbarkeit zu erreichen nur schwer möglich ist. Es sind Mängel der Harmonisierung der Definitionen und der Methoden wie Daten gesammelt werden, unterschiedliche Kategorien der repräsentativen Fahrzeugklassen und Strassenklassen, etc.

Die Daten zeigen, dass das Risiko für Benutzer von Lastwagen relativ gering ist, dass aber Lastwagen gleichzeitig ein grosses Risiko für die übrigen Strassenbenützer darstellen. Die grossen Unfallrisiken durch Lastwagen variieren bemerkenswert, wenn die Strassenklassen in Relation gesetzt werden und nehmen im Verhältnis mit dem Gewicht und der Grösse der Lastwagen zu. Es kann aber nicht festgestellt werden, wie dieses Verhältnis variiert, wenn man das Tonnen/Kilometerverhältnis oder gar Fahrzeug/Kilometerverhältnis in Relation setzt.

Die mechanischen und geometrischen Charakteristiken der Lastwagen spielen eine wichtige Rolle in der Ablaufart und bezüglich der Konsequenzen bei Unfällen. Ihre beschränkte Manövrierbarkeit und die Tendenz der Bremsen bei harten Bremsmanövern zu blockieren wurden bei den Untersuchungen oft festgestellt und haben wohl einen Anteil an Unfällen von 20 bis 25%. Auch sind technische Mängel, hervorgerufen durch ungenügende Wartung, nicht unwesentliche Faktoren. Der hohe Schwerpunkt vieler schwerer Lastwagen, speziell im beladenen Zustand, die dynamische Charakteristik haben eine Neigung zum sich-überschlagen oder je nach Lastwagenzusammensetzung eine Tendenz zum "Klappmessereffekt", was hohe Risiken für die Lastwageninsassen mit sich bringt.

Die Masse, Unbeweglichkeit und strukturelle Aggressivität der Lastwagen sind wichtige Faktoren bezüglich des grossen Risikos für die übrigen Strassenbenützer. Während die Masse eine Vorbedingung ist, die nicht veränderbar scheint, so könnte doch vieles getan werden im Bereiche der strukturellen Unbeweglichkeit und Aggressivität. So wurden seitliche "Schürzen" zum Schutz von Fussgängern und Zweiradfahrern entwickelt. Diese Schutzmassnahme hat sich jedoch bisher nur schwach eingeführt.

Die schlechten Arbeitsbedingungen der Lastwagenfahrer, speziell die langen Fahrzeiten müssen ebenfalls als Unfallrisiko in Betracht gezogen werden. Es ist jedoch schwer, hierüber genaue Angaben zu erhalten.

Die umschriebenen Unfallgefahren und der Trend hin zu noch grösseren und schwereren Lastwagen rufen nach einer verstärkten Berücksichtigung der Sicherheit dieses Fahrzeugtyps, im speziellen des Problemkreises Bremsen. Die Forschung in diesem Bereich muss sich vor allem mit der Erforschung von Anti-Blockiersystemen und hinteren "Schürzen" beschäftigen. Es sollen weiter Methoden zur Verhinderung von Spritzwasserfontänen bei nassen Strassen erforscht werden. Langfristig soll eine Perfektionierung von integrierten "Schürzen" und Prallschutzvorrichtungen erreicht werden.

Schlussfolgerungen:

- a) Die Statistiken über den Einsatzbereich von Lastwagen (Fahrzeug/Kilometer und Tonnen/Kilometer) sollen mit den Unfallstatistiken kompatibel sein; es besteht ein Bedarf an gemeinsamen Spezifikationen bezüglich der Strassen- und der Fahrzeugklassen. Zusätzlich:
 - Lastwagen sollten in Klassen unterteilt werden und den offiziellen Immatrikulations-Unterteilungen entsprechen;
 - die Strassenunfallstatistik sollte die Zahl der im Strassenverkehr getöteten Personen umschreiben. Falls Lastwagen in die Geschehnisse impliziert sind, sollten Typ und Klasse der beteiligten Fahrzeuge umschrieben sein. Es sollte auch eine gemeinsame Definition des "am Unfall beteiligt sein" gefunden werden.
- b) Trotz der unterschiedlichen nationalen Definitionen des Schwerverkehrs stellte man fest, dass dieser an 4 - 10 Unfällen mit Todesfolge beteiligt ist, dies bezogen auf 10 Fahrzeug-km. Die Zahl der registrierten Unfalltoten entsprechen 13 bis 26% des Totals der Unfalltoten im Strassenverkehr (in den Staaten, von denen Daten zugänglich waren).
 - 5 bis 20% der Unfalltoten unter Beteiligung von Lastwagen sind Insassen von Lastwagen. Es muss aber festgestellt werden, dass sie auch unter den ungünstigsten Umständen vom Grad der Sicherheit der Lastwagen profitieren;

- auch wenn nur wenige Staaten über Daten bezüglich der Strassenart (Autobahnen, Überlandstrassen, Strassen in städtischer Umgebung) verfügen, kann doch festgestellt werden, dass die Beteiligung von Lastwagen an Unfällen mit Todesfolge auf Landstrassen und in städtischer Umgebung doppelt so hoch ist, als auf Autobahnen;
 - Die Zahl der Beteiligung von umschriebenen Fahrzeugen an Unfällen mit Todesfolge (dort wo solche errechnet werden können) übersteigt 20 - 60% (in Einzelfällen 100%) verglichen mit unbeweglichen Fahrzeugen; man weiss jedoch nicht in welchem Ausmass dieser Anstieg auf die grosse Quantität des Fahrzeugtyps und den entsprechenden Tonnen/km zurückzuführen ist.
- c) Bei wenigstens 5% der an Unfällen beteiligten Lastwagen sind technische Mängel mit Ursache und dürften bei über 10% der Unfälle verantwortlich sein. Technische Mängel (Bremsen, Pneumatik, Beleuchtung, Kupplung etc.) sind Problembereiche. Hierbei ist festzustellen, dass die nationalen Studien Wertungsunterschiede aufweisen.
- Auch das beste Bremssystem bei Lastwagen ist weit davon entfernt, dieselbe Effektivität zu erreichen, wie sie bei Kleinwagen erreicht wird. Hier sind noch weitergehende Studien nötig;
 - Antiblockiersysteme haben grosse Fortschritte gemacht, wobei sie aus verschiedenen Gründen problematisch sind, speziell bei häufiger Nutzung; in diesem Bereich ist weitere Forschung nötig.
- d) Informationen aus verschiedenen Staaten weisen Unfallbeteiligungen von Lastwagen von 4 bis 15% aus; höhere prozentuale Anteile weisen Staaten aus, deren Lastwagenanteil am Verkehr erheblich höher ist. Bezüglich der "Überschläge" ist festzuhalten, dass es sich dabei in den meisten Fällen um Selbstunfälle bei niedrigen Geschwindigkeiten und vielfach beim Befahren von Kurven handelt.

Bezügliche Forschungstätigkeiten haben gezeigt, dass mit Fahrzeugmodifikationen, wie einer Senkung der lateralen Beschleunigung um 50%, eine Minderung der "Überschlagsgefahr" erreicht werden kann. Weiter haben die Simulationsmodelle heute einen Stand erreicht der es erlaubt, die Stabilitätsgrenzen verschiedenster bezüglichlicher Fahrzeugtypen zu prüfen.

- e) Die Zahl der tödlich Verunfallten bei Unfällen zwischen Personenwagen und Lastwagen ist 6- bis 80-mal höher (je nach Fahrzeugwinkel) als bei Unfällen zwischen Personenwagen. Die Ursache hierfür findet sich in der Kombination von Masse, Steifheit und der strukturellen Aggressivität von Lastwagen.

Verschiedene Gegenmassnahmen können getroffen werden: gut geformte, energieabsorbierende Front- und Heckstossstangen, seitliche Schürzen (welche aufgrund von Berechnungen 6% der Unfälle mit Todesfolge verhindern könnten), Radschutz, weniger aggressive Teile an der Lastwagenkarrosserie etc..

Weiter könnte kurzfristig der Einbau seitlicher Schürzen speziell für Zweiradfahrer und für schwache Fahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten einen erhöhten Schutz bieten. Langfristig sollte angestrebt werden, dass vom Design her bereits Schutzmassnahmen vorgesehen sind.

- f) Schlechte Arbeitsbedingungen für Lastwagenfahrer werden oft als eine wichtige Unfallquelle genannt; es ist anzumerken, dass hierüber wenige verlässliche Quellen vorhanden sind. Entsprechend zumindest einer Studie wurde unterstrichen, dass Lastwagenfahrer, die wöchentlich mehr als 55 Std. arbeiten, ein doppelt so grosses Unfallrisiko eingehen als solche, die 45 Std. pro Woche arbeiten.

XII.6 Wirkungen auf die Fahrbahn

Seit langem werden in verschiedenen Mitgliedstaaten Untersuchungen über die Fahrbahndimensionierungen gemacht. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die durch Lastwagen hervorgerufenen und sich kumulierenden Schäden zu senken. Tests der AASHO, welche man in den fünfziger Jahren in den USA an die Hand zu nehmen begann, haben zu verschiedenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen geführt, die von einem grossen Teil der Mitgliedstaaten angenommen wurden. Seit der Einführung der AASHO-Tests wurden wichtige Studien getätigt, um die Methoden bezüglich des analytischen Fragenkomplexes im Rahmen der Fahrbahnbreite zu perfektionieren. Sie fanden jedoch nicht vollumfänglich Eingang in die Praxis. Man stellt auch fest, dass Staaten, die mit empirischen Methoden arbeiten, auch wirtschaftliche Erwägungen miteinbeziehen.

Schliesslich haben rationale mathematische Modelle einige Länder dazu gebracht, das Gesetz der vierten Kraft zu überprüfen. Diese sind durch die AASHO-Tests etabliert worden, die umschreiben, dass Schäden entsprechend dem Gesetz der vierten Kraft exponentiell zum Gewicht zunehmen. Obwohl das Gesetz der vierten Kraft vom Grundsatz her im weitesten Sinne bestätigt wurde, zeigen Kalkulationen, dass das Ergebnis zwischen dem Faktor 3 und 4 (flexibler Grund) und zwischen dem Faktor 8 und 12 bei halbfestem Grund (hydraulisch gebundener Grund) variieren kann.

Auch unter den besten Voraussetzungen nutzen sich die Fahrbahnen ab. Neben den sog. natürlichen Ursachen (Klima, Alterung des Materials, Konstruktionsmängel etc.) verursacht der Schwerverkehr strukturelle Schäden. Das Achsgewicht scheint dabei ein wesentlicher Faktor zu sein. Einige Untersuchungen weisen jedoch auch auf andere Faktoren hin (Anordnungen der Achsen, Art der Achsen, Aufhängung, Bodenhaftung, Luftdruck der Reifen).

Schlussfolgerungen:

- a) Untersuchungen betreffend die rationalen Dimensionierungsmethoden sollten im Zusammenhang mit der effektiven Grösse verfolgt werden.
- b) Es wird empfohlen, dass die OECD-Staaten ihre jeweiligen Versuchsanstalten bezüglich der Studien von Fahrbahnen und der Art der Fahrzeuge koordinieren. Die Wiederholung von Versuchen des AASHO-Typs sind wohl wünschenswert aber zu kostspielig. Die Koordination bestehender und geplanter Tests durch staatliche Forschungsanstalten und die Industrie würde viele Vorteile bringen, wobei zudem eine internationale Harmonisierung der Standardwerte erreicht werden kann.
- c) Die generelle Anwendbarkeit des Gesetzes der vierten Kraft wurde in breitem Rahmen angenommen. Die Exponentialwerte können zwischen 3 und 4 (bituminös) und 8 und 12 (halbfest) variieren.
- d) Höhere Achslasten und verstärkter Schwerverkehr reduzieren die Intervalle der Unterhaltsarbeiten.
- e) Das Gewicht von Lastwagen ist als solches kein Faktor für die Fahrbahnschäden. Faktoren für Fahrbahnschäden sind, im speziellen, das Achsgewicht, die Achsanordnung und der Achsabstand. In einigen Fällen sind der Bodenkontakt und der Bodendruck, sowie die Aufhängung wichtige Punkte.
 - Wenn alle übrigen Faktoren gleich sind, sinken die Schadenfälle durch einen grösseren Achsabstand.
 - Untersuchungen haben gezeigt, dass, wenn alle übrigen Faktoren gleich bleiben, die Einfachbereifung grössere Schäden verursacht als Zwillingsreifen; der Unterschied kann gemildert werden durch die Verwendung von einfachen Breitreifen. Die dynamische Wirkung der Zwillingsbereifung kann weiter durch Anpassungen der Aufhängung reduziert werden.

- f) Eine relative Umschreibung der Fahrzeuge und die Forschung zur Optimierung der Karrosserie kann in der Annahme gründen, dass deren Ursache der Aggressivität bekannt ist und nicht allein in der Achslast zu sehen ist.

XII.7 Auswirkungen auf Strassenbrücken

Strassenbrücken müssen ebenso wie Strassenoberbauten je nach Belastungsart (Totallast, Betriebslast, externe Belastungen) unterschiedlich konzipiert werden. Die Brücken aber verhalten sich anders als Strassen und sind grösseren und vor allem variablen Totallasten und externen Belastungen ausgesetzt. Folglich werden die Strassenbrücken nicht so direkt nach Schwerverfahrzeugeigenschaft und Verkehrslastannahmen bemessen, wie dies bei Strassenbauten der Fall ist. Der Schwerverkehr kann zwar den Verschleissprozess bei Strassenbrücken beschleunigen, im Normalfall dürfte er jedoch nicht Hauptursache dafür sein, besonders nicht, wenn Schwerverfahrzeuge den Gewichts- und Belastungsnormen entsprechen.

Um den Folgen einer unzureichenden Bemessung vorzubeugen, die nicht allen Belastungsarten Rechnung trägt, müssen die Brückenbauteile überdimensioniert sein, so dass die tatsächlich auftretende Belastung erheblich unter den bei der Brückenplanung vorgesehenen Lastannahmen zu liegen kommt. Bezüglich der Brückenbeanspruchung durch Schwerverkehrslasten müssen hauptsächlich die Spannungs- und Ermüdungsauswirkungen hoher Achslasten (insbesondere auf den Brückentafeln) berücksichtigt werden sowie die Beanspruchung der wichtigsten Tragelemente, besonders im Falle von Verkehrsstockungen und -stillstand.

Die Mitgliedsländer verfügen nicht über viele Angaben über tatsächliche Verkehrsbelastungen, die dazu verwendet werden könnten, die bisherige Beanspruchung von Brücken festzustellen und/oder die Gültigkeit der bei der Brückenplanung benutzten Lastannahmen zu beurteilen. Anhand der vorhandenen Daten kann aber angenommen werden, dass durch die mit dem zunehmenden Schwerverkehr verursachten tatsächlichen Belastungen auf weitere Sicht die Funktionsfähigkeit und die Lebensdauer von Brücken, hauptsächlich solchen, die an Hauptverkehrsadern liegen, verringert werden.

Bei der Bemessung von Brücken wird den Auswirkungen dynamischer Belastungen durch die Verwendung eines Betriebslast-Koeffizienten Rechnung getragen. In weiteren Fachkreisen ist man der Meinung, dass dieser Koeffizient die Schwingungsfestigkeit von Brückenkonstruktionen zum Ausdruck bringen sollte. Besonders starken dynamischen Belastungen sind jedoch die Konstruktionsfugen ausgesetzt; wenn diese nicht zureichend unterhalten werden, können keine gleichmässigen Übergänge mehr gewährleistet werden, was zu starken Schlagdruckbelastungen führt. Um den Zustand und die Tragfähigkeit bestehender Strassenbrücken festzustellen, haben gewisse Länder Programme zur Klassifizierung von Brücken nach ihrer Belastbarkeit durchgeführt. Eine eingehende Bewertung unter Berücksichtigung vieler komplexer Faktoren erweist sich als nötig, doch variieren die Methoden und der Umfang solcher Klassifizierungen von Land zu Land. Die zwei wichtigsten Methoden beruhen beide auf der Bestimmung der Tragfähigkeit in bezug auf Betriebslasten. Bei der einen Methode wird die zulässige Höchstbeanspruchung in Abhängigkeit von der Neuwertqualität der verwendeten Materialien und des gegenwärtigen Zustandes der Brücke bestimmt. Bei der zweiten, der sogenannten Belastungsfaktormethode, erfolgt die Bewertung anhand eines Indexwertes, der auf einem bestimmten Schwerverfahrzeugtyp basiert. Unabhängig von der angewandten Methode ist es aber in jedem einzelnen Fall angezeigt, mit aller Vorsicht an eine Erhöhung der Traglastgrenzen heranzugehen.

Die Ermüdung ist eine weitere verkehrslastabhängige Erscheinung, die bei der Brückenplanung berücksichtigt werden muss. Indessen wird ihr bei der Bestimmung der Tragfähigkeit nur in wenigen Ländern Rechnung getragen. Die diesbezüglichen Untersuchungen erfassen hauptsächlich Stahlbrücken, in letzter Zeit aber liegen auch entsprechende Ergebnisse in bezug auf Betonbrücken vor.

Schlussfolgerungen:

- a) Dem Verfall von Strassenbrücken liegen die üblichen Faktoren wie Witterungseinflüsse, Alterung oder Streusalzeinwirkungen zugrunde und im allgemeinen bildet der Schwerverkehr nicht die Hauptursache des Brückenverschleisses, wenn die entsprechenden Belastungsnormen eingehalten werden.
- b) In der Regel weisen die Strassenbrücken jener Länder, in denen die Konstruktionen grundsätzlich überdimensioniert werden, selbst bei stark zunehmendem Schwerverkehr eine lange Lebensdauer und hohe Sicherheit auf.
- c) Über das Strassenverkehrswesen liegt zwar viel Datenmaterial vor, das aber nicht unbedingt erheblich ist für die Beschreibung der Verkehrs- und Belastungsverhältnisse, denen die Strassenbrücken ausgesetzt sind.
- d) Die Forschung über die Auswirkungen des Strassenverkehrs auf Strassenbrücken sollte vorangetrieben werden, wenn auf diesem Gebiet ein ähnlicher Kenntnisstand wie im Bereich der Strassenoberbauten erreicht werden soll. Die Forschungsgruppe ist der Ansicht, dass die diesbezüglichen Forschungsanstrengungen aus folgenden Gründen verstärkt werden sollten: Je nach Mitgliedsland liegen unterschiedliche Verhältnisse und Erfahrungen vor; eine Erhöhung der Gewichtslimiten für Schwerverfahrzeuge wirkt sich auf Strassenoberbauten anders aus als auf Strassenbrücken; falls sich eine Verstärkung oder gar Neuerstellungen von bestehenden Brücken als wachsende Notwendigkeit erweisen sollten, hätte dies beträchtliche öffentliche Investitionen und möglicherweise bedeutende Auswirkungen für den Strassenverkehr zur Folge.

XII.8 Auswirkungen auf die Umwelt

Zu den Auswirkungen auf die Umwelt gehören: Lärmemissionen, Erschütterungen, Luftverschmutzung, Geruchsemissionen und psychische Belastungen.

Der Lärm wurde schon immer als Hauptbelästigung des Schwerverkehrs angesehen. Abgesehen von den Motorrädern sind die Lastwagen die stärkste Lärmquelle des Strassenverkehrs und werden von den Anwohnern von Hauptstrassen als Hauptärgernis empfunden. Der Lärmpegel wird mit zunehmendem Verkehr stärker, aber nicht proportional dazu.

Die Lärmsituation von Lastfahrzeugen liegen zwischen 84 und 90 dB(A) und mehr, je nach Motoreigenschaften, Reifenbeschaffenheit, Fahrtgeschwindigkeit, Strassenoberflächentextur und je nachdem, ob die Fahrbahn trocken oder nass ist. Der Motorenlärm kann mit entsprechend konstruierten Motoren und Getrieben sowie mit schalldämpfenden Vorrichtungen gedrosselt werden.

Die meisten Lastfahrzeuge sind mit Dieselmotoren ausgestattet, deren Abgase umweltbelästigend sind: in den OECD-Ländern verkehren jedoch sechsmal mehr Personen- und Lieferwagen als Schwerverfahrzeuge mit Dieselmotoren. Die Abgasemissionen von Schwerverfahrzeugen enthalten mehr Partikel (hauptsächlich Kohlenstoffe) und weniger Gase (hauptsächlich Kohlenwasserstoffe, Oxide und Stickstoffe) als Abgase von Benzinmotoren mit gleicher Leistung. Gewisse Partikelemissionen sind besonders beunruhigend, da sie potentiell krebserzeugend sind.

Eine weitere Belästigung stellen die Bodenerschütterungen dar. Sie werden mit zunehmendem Fahrzeuggewicht stärker, werden aber durch die meisten Bodenarten rasch abgeschwächt und sind über eine Distanz von 60 Metern hinaus praktisch nicht mehr spürbar.

Schlussfolgerungen:

- a) Lastfahrzeuge haben stärkere Lärmemissionen ((bis zu 95 dB(A), normalerweise aber zwischen 84 und 90 dB(A)) als Personenwagen und andere leichte Motorfahrzeuge (zwischen 74 und 80 dB(A)).
- b) Die Lärmabgabe eines Fahrzeuges wird mit einer Erhöhung der Motorleistung und demzufolge mit zunehmendem Gesamtgewicht grösser; generell aber ist das Gesamtgewicht kein wichtiger Faktor für die Lärmemissionen.
- c) Fahrtgeschwindigkeiten bis zu 30 km/h haben keinen Einfluss auf den Lärmpegel. Bei höheren Geschwindigkeiten hingegen nimmt gemäss den Länderstudien der Lärmpegel je Geschwindigkeitsverdoppelung um 3 bis 9 dB(A) zu.
- d) Die Lärmemissionen von Lastfahrzeugen können verringert werden durch konstruktive Veränderungen an den Motoren und Getriebeteilen, durch schallschluckende Vorrichtungen am Motorgehäuse, die Verwendung von Gürtelreifen und offenen Oberflächentexturen. Damit könnte bei Fahrgeschwindigkeiten bis zu 70 km/h eine Reduzierung des Lärmpegels auf bestenfalls auf 80 dB/A erreicht werden; bei höheren Geschwindigkeiten hingegen nehmen die Rollgeräusche überhand.
- e) Das Ausmass der Verschmutzung durch Lastfahrzeuge, die mit Dieselmotoren betrieben werden, ist meistens eine Frage des Unterhalts. Ausserdem haben Forschungen gezeigt, dass mit der Verwendung von Sondervorrichtungen an Abgasanlagen diese Emissionen um 70 bis 90 % verringert werden könnten (z.B. durch Oxydationskatalysatoren). Bevor aber eine Massenerstellung von verlässlichen Systemen zu vernünftigen Kosten möglich ist, sind noch vertiefte Forschungsarbeiten nötig.
- f) Obwohl die Bevölkerung ein Lastfahrzeug mit Höchstabmessungen als grössere Umweltbelästigung empfindet als einen kleineren Lastwagen, wird einer mehrere Fahrzeuge umfassende Lastwagengruppe mit etwa derselben Abneigung begegnet wie einem einzelnen Schwerfahrzeuge, dessen Nutzlast der Beförderungslast der ganzen Lastwagengruppe entspricht.

Wie die Forschungen zeigen, gäbe es neben den von den Strassenbehörden und den Lastfahrzeugherstellern bereits unternommenen Studien noch viele Möglichkeiten, den Umweltbeeinträchtigungen des Schwerverkehrs entgegenzuwirken. Die Forschungsgruppe kam zum Schluss, dass es in dieser Hinsicht nicht an den technischen Mitteln fehlt, sondern dass nicht genügend politischer Wille und finanzielle Mittel vorhanden sind, um die bestehenden Technologien anzuwenden und strengere Fahrzeugvorschriften und Strassennormen durchsetzen zu können. Auf diesem Gebiet müssen offensichtlich noch viele Kompromisse auf politisch-wirtschaftlicher Ebene eingegangen werden.

XII. 9 Fahrzeugnutzung und Energiefragen

Damit eine bestmögliche Nutzung eines Lastfahrzeuges gewährleistet werden und der Transportunternehmer bezüglich der zu verwendenden Fahrzeugart die beste Wahl treffen kann, muss verschiedenen Kriterien Rechnung getragen werden. Hierzu gehören insbesondere die Beschaffenheit und die Dichte der zu befördernden Güter und die von den Abnehmern verlangte Zustellungsart.

Die Produktivität des gesamten Lastfahrzeugparks und die Produktivität einzelner Lastfahrzeuge lassen sich zwar ermitteln, jedoch werfen die einzelnen Bestimmungsgrössen in zahlreichen Ländern Probleme auf. Hierzu gehören u.a. die durchschnittliche Nutzlast, die Länge der Transportstrecken, die Tonnenkilometer, der Nutzkilometer-Koeffizient und der Nutzlast-Koeffizient.

In den letzten Jahren liessen sich zwei Hauptentwicklungen feststellen: einerseits eine Verringerung der durchschnittlichen Dichte der beförderten Güter und andererseits, trotz den getroffenen Vollzugsmassnahmen, eine hohe Überladungsquote (in der Regel sind 10 bis 20% aller Lastfahrzeuge überladen) in praktisch allen Mitgliedsländern.

Das Überladungsproblem erfordert weitere Studien und Kontrollmassnahmen, was wiederum die Bereitstellung rationeller Datenbeschaffungssysteme (Brückenwaagen usw.) voraussetzt.

Der Treibstoffverbrauch von Schwerfahrzeugen ist unter effektiven Betriebsverhältnissen sehr schwierig zu ermitteln. Anhand von Berechnungsmodellen und von Experimenten, die in verschiedenen Ländern durchgeführt wurden, lässt sich jedoch ziemlich genau feststellen, wie sich die wichtigsten Bestimmungsgrössen auf den Treibstoffverbrauch auswirken; diesbezüglich zeigen die verschiedenen Studien übereinstimmende Ergebnisse. Untersucht wurden insbesondere der Einfluss der Fahrzeugeigenschaften (der Treibstoffverbrauch pro beförderte Tonne nimmt mit höheren Nutzlasten ab), die Charakteristiken von Strassenstrecken (Steigungen, Gefälle, Kurven) sowie - als offenbar wichtigster Faktor - die mit technischen Verbesserungen realisierten Treibstoffeinsparungen. Daneben gibt es weitere Aspekte, die zwar noch nicht untersucht worden sind, aber zweifellos von grosser Bedeutung sind (z.B. das Fahrverhalten).

Schlussfolgerungen:

- a) Eine Rationalisierung des Strassentransports beginnt mit einer besseren Anpassung der Fahrzeuge an die Leistungserfordernisse. Die Auswirkungen solcher Massnahmen lassen sich anhand von verschiedenen Produktivitätsindikatoren feststellen, was aber die Einführung entsprechender Datenbeschaffungssysteme voraussetzt.
- b) In allen Ländern lässt sich ein hoher Anteil an überladenen Lastfahrzeugen nachweisen (im allgemeinen 10 bis 20%). Er variiert je nach Fahrzeugart und Laderaum.
- c) Der effektive Treibstoffverbrauch von Schwerfahrzeugen ist schwer abschätzbar; jedoch zeigen verschiedene diesbezügliche Länderstudien übereinstimmende Ergebnisse:
 - die pro Tonnenkilometer verbrauchte Treibstoffmenge verhält sich proportional zum Fahrzeuggesamtgewicht;
 - die pro Tonnenkilometer verbrauchte Treibstoffmenge wird mit zunehmender Nutzlast geringer, aber in proportional abnehmendem Mass; entsprechende Abweichungen ergeben sich je nach Fahrzeugtyp. Dabei werden die relativen Treibstoffeinsparungen geringer, je mehr Achsen ein Fahrzeug hat;
 - Kurven und starke Steigungen wirken sich wesentlich auf den Treibstoffverbrauch aus;
 - durch auf kurze und mittlere Sicht realisierbare technische Verbesserungen (Verbesserung der Aerodynamik, Verwendung elektronischer Ausrüstung, Verbesserung im Bereich Motortechnik, Reduzierung der Rollwiderstände) könnten bei Schwerfahrzeugen beträchtliche Treibstoffeinsparungen erreicht werden.
- d) In den letzten Jahren wurden in bezug auf Energieeinsparungen bei Personen- und Lastwagen grosse Fortschritte erzielt. Es scheint, dass mit technischen Verbesserungen merklich mehr Treibstoffeinsparungen realisiert werden können als mit einer Heraufsetzung der Gewichte und Abmessungen.

XII. 10 Kostenberechnungen

Die Betriebskosten für Lastfahrzeuge lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Betriebskosten des Fahrzeuges an und für sich, Infrastrukturkosten (Bau und Unterhalt) und soziale Kosten (Sicherheit, Umweltbelastung usw.).

Die Betriebskosten eines Fahrzeuges hängen von der Fahrzeugart und dessen Verwendungsweise ab. Sie werden in der Regel unterteilt in fixe Kosten (in bezug auf Fahrzeuge und Fahrpersonal) und variable Kosten (in Abhängigkeit von den zurückgelegten Strecken). Die von verschiedenen Ländern durchgeführten Studien zeigen, dass die Löhne den grössten Kostenfaktor darstellen. Sie können 30 bis 40% der Gesamtbetriebskosten von Lastfahrzeugen ausmachen. Auch kann festgestellt werden, dass sich die Betriebskosten pro Tonnenkilometer - das wirtschaftliche Kriterium - mit zunehmender Nutzlast verringern, allerdings in proportional abnehmendem Masse. Für ein gegebenes Gesamtgewicht nehmen sie in der Regel mit der Anzahl Achsen zu.

Eine detaillierte Untersuchung der Situation in verschiedenen Ländern ermöglichte es, die Veränderlichkeit der Ausgaben für den Bau und den Unterhalt von Strasseninfrastrukturen in Abhängigkeit des Schwerververkehrsaufkommens zu ermitteln. Die so erhaltenen Ausgaben/Verkehrsvolumenkurven weisen eine konstante oder leicht abnehmende Elastizität auf. Daraus lässt sich schliessen, dass die Bau- und Unterhaltskosten 5- bis 10-mal weniger stark ansteigen als das Schwerverkehrsvolumen (ausgenommen bei sehr schwachem Verkehr); keine Abweichungen liessen sich in Abhängigkeit von Änderungen in bezug auf höchstzulässige Achslasten feststellen.

Diese Ausgaben/Verkehrsvolumen-Funktionen bilden die Grundlage für Systeme zur Verteilung der Infrastrukturkosten. In der Tat können die Kosten nur dann in Abhängigkeit der verursachten Schäden aufgeteilt werden, wenn eine Gleichbehandlung aller Strassenbenützer (sowohl gleichartige als auch verschiedenartige Benützer) angestrebt wird und gleichzeitig die gesamtwirtschaftliche Leistungsfähigkeit gewährleistet werden soll. Im Bericht werden mögliche Kostenberechnungsmodelle untersucht wie auch die verschiedenen Methoden zur Bestimmung des sogenannten Anrechenbarkeitsgrades, d.h. des Ausgabenteils, der dem Verkehr zuzuschreiben ist. Auch werden verschiedene konkrete Beispiele von Systemen zur Verteilung der Strassenausgaben auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien angeführt (EWG-Empfehlung, Schweizerische Strassenrechnung, System der USA).

Zu bemerken ist, dass gemäss den EWG-Verteilungsgrundsätzen 60 bis 70% der anrechenbaren Ausgaben den Lastfahrzeugen zufallen (die anrechenbaren Ausgaben ihrerseits machen 30 bis 50% der Gesamtkosten aus).

Die sozialen Kosten sind sehr schwer zu ermitteln, da entsprechendes statistisches Material fehlt, aber auch aufgrund der unzulänglichen Begriffsbestimmungen wirtschaftlicher Kostenberechnungen. Laut Globalschätzungen dürften schwere Lastwagen mit einer Nutzlast von über 10 Tonnen (d.h. 1,5% der Lastfahrzeugflotten der verschiedenen Länder) für 15 bis 20% der vom gesamten Motorfahrzeugverkehr verursachten sozialen Kosten verantwortlich sein, was 0,5 bis 1% des Bruttosozialproduktes ausmacht.

Schlussfolgerungen:

- a) Die fixen Kosten machen im allgemeinen 55 bis 60% der Betriebskosten von Lastfahrzeugen aus. In der Regel wird bei zunehmendem Gesamtgewicht der Anteil der Lohnkosten kleiner und der Anteil der Treibstoffkosten grösser.
- b) Die Betriebskosten je Tonnenkilometer werden mit zunehmender Nutzlast geringer, allerdings in proportional abnehmendem Masse; je kleiner die Achszahl, desto grösser ist der relative wirtschaftliche Nutzen einer Heraufsetzung der Abmessungen und Gewichte.
- c) Die Strassenbaukosten variieren in Abhängigkeit vom Verkehrsvolumen mit einer Elastizität zwischen 0,15 und 0,20 % (die Abweichung zwischen maximalen Einzelachslasten von 10 t und maximalen Einzelachslasten von 13 t beträgt 20 bis 30%). In dieser Hinsicht zeigen die verschiedenen Länderstudien ähnliche Ergebnisse.
- d) In der Regel steigen die Belagsunterhaltskosten mit zunehmendem Schwerververkehrsaufkommen, aber 5- bis 10-mal weniger stark als das Verkehrsvolumen. Die Unterhaltskosten variieren nicht stark mit einer Veränderung der maximalen Achslasten:
 - die Kosten für den Belagsunterhalt (Wiederherstellung der Strassenoberflächen-Eigenschaften) variieren relativ wenig in Abhängigkeit vom Schwerverkehr;
 - die Kosten für den Strukturunterhalt (Behebung von Ermüdungsschäden an Fahrbahnoberbauten) variieren in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung mit einer Elastizität von rund 0,20.

Zwischen den Ausgaben/Schwerverkehr-Kurven der einzelnen Länder gibt es keine bedeutenden Abweichungen.

- e) Die Mitgliedländer scheinen sich weitgehend einig zu sein über die Nützlichkeit einer Verteilung der Infrastrukturkosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien sowie darüber, die an den Fahrbahnen verursachten Schäden den einzelnen Fahrzeugkategorien anzulasten. Durch diese Methode wird die Gleichbehandlung aller Strassenbenützer gewährleistet, ohne dabei die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.
- Als Grundlage für die Verteilung von anrechenbaren Bau- und Unterhaltskosten sollte der Infrastruktur-Schadenkoeffizient jedes einzelnen Fahrzeugtyps verwendet werden;
 - eine zufriedenstellende Methode zur Verteilung der Belagsunterhaltskosten ist noch nicht gefunden worden. Daher sind zur Bestimmung eines wissenschaftlichen Kriteriums, das die Schnittstelle Reifen/Fahrbahn berücksichtigt, weitere Forschungsanstrengungen nötig.
- f) Erhebliche Anstrengungen sind noch nötig, um die vom Schwerverkehr verursachten sozialen Kosten auf befriedigende Weise bestimmen zu können.
- Mit den derzeit verfügbaren Informationen ist es nicht möglich, in bezug auf Lastfahrzeuge die Sicherheitsrisikokosten je Fahrzeugkilometer zu ermitteln. Gemäss Schätzungen jedoch sollten die Kosten für Unfälle, in die Lastfahrzeuge verwickelt sind, rund 10% der gesamten Strassenverkehrsunfall-Kosten umfassen;
 - durch technische Verbesserungen sollte der Bau von lärmarmen Fahrzeugen ermöglicht werden, deren Herstellungskosten um rund 5% höher wären als jene für herkömmliche Modelle;
 - einer Globalschätzung zufolge sind Schwerfahrzeuge mit einer Nutzlast von mehr als 10 Tonnen (sie machen etwa 1,5% der nationalen Fahrzeugflotten aus) für 15 bis 20% der vom Schwerverkehr verursachten sozialen Kosten verantwortlich, was etwa 0,5 bis 1% des BSP entspricht. Die wichtigsten Kostenelemente sind, in der Reihenfolge ihrer Bedeutung, Verkehrsstauungen, Lärm, Verschmutzung, Unfälle.

XII.11 Systemanalysen

Ökonomische Modelle und Szenarien sind nützliche Instrumente zur Analyse der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bestimmter Transportsysteme. Bei richtiger Anwendung können sie zur Optimierung des Transportsystems beitragen. Jedoch müssen sich die Analysen der Grenzen solcher Modelle bewusst sein: Statistische Modelle beruhen auf in der Vergangenheit festgestellten Daten und sind daher zwangsläufig mit der Annahme verbunden, dass vergangene Trends und Ereignisse für die zukünftige Entwicklung bestimmend sind. Dynamischen Modellen haften Unsicherheiten in der Prognosestellung an. Sie sind auf allgemeinen Szenarien aufgebaut. Daher sollte die Zielsetzung eines Modells darin bestehen, anhand gründlicher Kenntnisse über die zwischen den identifizierbaren Elementen eines Systems bestehenden Wechselwirkungen einen Rahmen abzustecken und die Zielkonflikte und Koordinationsmöglichkeiten einer gegebenen Möglichkeit aufzuzeigen.

Das Strassentransportwesen hat sowohl systeminterne als auch systemexterne wirtschaftliche Auswirkungen. Bei den Berechnungen eines Modells müssen sowohl der Wettbewerb zwischen den Verkehrsträgern (hauptsächlich zwischen Schiene und Strasse), die Arbeitsmärkte und die gesamtwirtschaftliche Entwicklung berücksichtigt werden. Strukturelle Änderungen in der Wirtschaft lassen sich anhand der Zusammensetzung der auf der Strasse beförderten Güter erkennen.

In Kapitel XI wurden vier Länderstudien näher betrachtet, in denen eine umfassende technisch-wirtschaftliche Analyse verschiedener Schwerverkehrs-Szenarien vorgenommen wurde. In der nachstehenden Tabelle sind die in jeder Studie untersuchten Hauptbereiche aufgeführt.

Allgemeine Schlussfolgerungen aus diesen Studien

Die Studien zeigen, dass mit Erhöhungen der Gesamtgewichte beträchtliche Einsparungen erreicht werden können. Die negativen Auswirkungen sind jedoch von Land zu Land verschieden, besonders die Auswirkungen auf die Verlagerungen zwischen den Verkehrsträgern (Modal Split).

Änderungen kleineren Umfangs bei den Achslasten sind möglich, grosse Achslasterhöhungen aber würden sich erheblich auf die Fahrbahnkosten auswirken. Substantielle Anhebungen der Gesamtgewichte und/oder der Achslasten können in gewissen Ländern ebenfalls ernsthafte Probleme für Brücken mit sich bringen.

Daher sollten die Gesamtgewichte und Achslasten nur in bescheidenem Masse angehoben werden. Dadurch können ohne eine übermässige Zunahme der Infrastrukturkosten bedeutende wirtschaftliche Nutzen gewährleistet werden.

Zielkonflikte

Wie in diesem Bericht aufgezeigt wurde, sind die Problembereiche in bezug auf das Schwerverkehrswesen oft komplexer Art und erfordern eine Abstimmung und Koordinierung von miteinander in Konflikt stehenden Zielen. Nachstehend sind einige Zielkonflikte aufgeführt.

- a) Grösseres Transportvolumen gegenüber höheren Infrastrukturkosten.
- b) Economies of scale (weniger, dafür grössere Fahrzeuge): Treibstoffeinsparungen, potentiell günstige Auswirkungen auf den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit versus Beschäftigungsrückgang im Transportsektor.
- c) Gewisse wirtschaftliche Nutzen und Treibstoffeinsparungen werden durch den "Umwegeffekt" vereitelt (da gewisse Brücken den schweren Belastungen nicht gewachsen sind).
- d) Bedeutende Vorteile für den Privatsektor gegenüber bedeutenden Mehrkosten für den öffentlichen Sektor.
- e) Verbesselter grenzüberschreitender Güterschwerverkehr - eventuelle Notwendigkeit weiterer Harmonisierung im Bereich Fahrzeugvorschriften.
- f) Höhere Gesamtgewichte (und Achslasten) - Verbesserung der Fahrzeugkonstruktionen (Aufhängung, Achsarten, Achsanordnungen, Fahrzeugbeschaffenheit).

Weitere Schlussfolgerungen

- a) Starke Achslastanhebungen haben beträchtliche Auswirkungen auf die Infrastruktur.
- b) Die Netto-Energieeinsparungen sind unbedeutend.
- c) Änderungen in den Abmessungen und Gewichten von Lastfahrzeugen haben auf Strassenoberbauten nicht dieselben Auswirkungen wie auf Brücken; beide Auswirkungskomplexe müssen daher unter Berücksichtigung des jeweiligen nationalen Kontextes sorgfältig untersucht werden.
- d) Die Erhöhung der Gesamtgewichte und Achslasten kann sich auf die Besteuerungsgrundlagen auswirken.
- e) Eine Erhöhung der Gesamtgewichte und Achslasten muss mit konstruktiven Verbesserungen an Lastfahrzeugen einhergehen.
- f) Der Gütertransportmarkt benötigt optimale Rahmenbedingungen. Technischen Entscheidungen auf diesem Gebiet sollten umfassende wirtschaftliche Analysen über deren Nutzen und Kosten vorangehen.

XII.12 Schlussbetrachtungen

- 1/ Der Strassengüterverkehr ist für die Wirtschaft eines Landes von wesentlicher Bedeutung. In allen Ländern ist die Strasse zum wichtigsten Güterverkehrsträger geworden und ihr diesbezüglicher Marktanteil nimmt weiterhin zu. Weitere Haupttrends, die sich in den letzten Jahren abgezeichnet haben, sind: die Verringerung der durchschnittlichen Dichte der beförderten Güter; die Ausdehnung der durchschnittlichen Transportstrecken; die rasche Zunahme von Lastfahrzeugen mit Tridemachsen und Breitfelgen-Einzelrädern; eine schnell zunehmende Ausstattung des Lastfahrzeugparks mit Schwerstfahrzeugen.
- 2/ Der hohe wirtschaftliche Stellenwert des Strassengüterverkehrs verlangt nach einem spezifischen Datenbeschaffungssystem, das ermöglicht, statistische Lücken hauptsächlich in folgenden Bereichen zu füllen: Verkehrsaufkommen, Unfälle, Traglasten und Überladungen, Geschwindigkeit, Produktivitätsindikatoren.
- 3/ Mehr Sicherheit für den Schwerverkehr könnte erreicht werden durch Verbesserungen in den Bereichen wie: Arbeitsbedingungen der Lastwagenfahrer; Verbesserung der Bodenhaftung von Schwerfahrzeugen, hauptsächlich zur Vermeidung von sich überschlagenden Sattelschleppern; Wirksamkeit der Bremssysteme; Verminderung von Spritzwasser bei Regen; Reduktion der Aggressivität der Fahrzeuge.
- 4/ Auch wenn hierüber nicht genügend statistisches Material vorhanden ist, lässt sich dennoch eine starke Verbreitung von überladenen Lastfahrzeugen feststellen (am häufigsten werden die zugelassenen Nutzlasten um 10 bis 20% überschritten). Der Überlastungsgrad variiert je nach Fahrzeugart und zugelassener Nutzlast und bringt in vielen Fällen zum Ausdruck, dass die betroffenen Fahrzeuge nicht für die effektiven Transporterfordernisse konzipiert sind.
- 5/ Die durch Lastwagen hervorgerufenen Fahrbahnschäden variieren ähnlich dem Gesetz der vierten Kraft, sind sie doch abhängig von verschiedenen Parametern wie: Achsgewicht und -anordnung, Art der Räder, Art der Pneus, Qualität der Aufhängung, usw.. Die pro Tonne transportierten Gutes hervorgerufenen Schäden können verkleinert werden durch die Wahl der Art und Grösse des Fahrzeuges für ein bestimmtes Gut.
- 6/ Der Lärm ist die von der Bevölkerung am wenigsten tolerierte Umweltbelästigung.
- 7/ Trotz gewisser Schwierigkeiten bei den Testverfahren und der Vielfalt an möglichen Situationen stimmen die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen über den Treibstoffverbrauch von Schwerfahrzeugen weitgehend überein, wo es um die Auswirkungen der entscheidenden Bestimmungsgrössen geht. Gemäss diesen Studien können mit technischen Verbesserungen auf kurze und mittlere Sicht erheblich höhere Einsparungen realisiert werden als mit einer Anhebung der Fahrzeuggewichte und -abmessungen.
- 8/ Umfassende, auf der Systemanalyse beruhende Studien sollten weiterhin durchgeführt werden. Die für diesen Bericht herangezogenen Untersuchungen stammen aus Ländern mit den niedrigsten Maximalachslasten und sie zeigen, obschon sie auf unterschiedlichen Grundsätzen aufbauen, übereinstimmende Ergebnisse. In diesen Ländern ist eine Erhöhung der Achslasten und/oder Gesamtgewichte von wirtschaftlichem Nutzen für die Allgemeinheit. Der wichtigste Faktor sind die Fahrzeugbetriebskosten, die sich, bezogen auf den gesamten Fahrzeugpark, auf beträchtliche Summen belaufen; in der Tat kann eine verhältnismässig bescheidene Reduzierung der Betriebskosten zu einer Gesamtkosteneinsparung führen, mit der sich die zusätzlichen Infrastrukturkosten, die sich mit einer Gewichtsanhebung bei Schwerfahrzeugen ergäben, kompensieren lassen.
- 9/ Viele Länder verfügen bereits über oder beabsichtigen die Errichtung von Testanlagen, mit denen die Auswirkungen von Schwerfahrzeugen verschiedener Bauarten und Gewichtsklassen auf die Fahrbahn im Massstab 1:1 geprüft werden können. Auf diesem Gebiet wäre eine internationale Zusammenarbeit im Rahmen eines umfassenden Forschungsprogrammes ebenso nötig wie wünschbar. Ein derartiges Programm könnte von der OECD eingeleitet und koordiniert werden.

Tabelle XII.1

Tabelle zu Systemanalysen XII.11

Geprüfte Problemkreise	Australien /1	BRD /2	UK /2	USA /1
Modal Split	X	X	X	X
Auswirkungen auf die Bahn		X		
Allgemeine Transportkosten	X	X	X	X
Fahrzeugproduktivität			X	X
Sicherheit	X			X
Energie		X		X
Veränderungen im Transportvolumen	X	X		
Verkehrsumleitungen		X		
Lärm	X		X	X
Infrastrukturkosten (Bau und Unterhalt)	X	X	X	X
Achslasten	X	X	X	X
Fahrzeugart	X	X	X	X

- 1) Dynamisches Modell
- 2) Statisches Modell

LIST OF MEMBERS OF THE GROUP

Chairman: Mr. M. FRYBOURG, FRANCE

AUSTRIA
Prof. H. KNOFLACHER
Kuratorium für Verkehrssicherheit
Olzeltgasse 3
A-1031 VIENNE

AUSTRALIA
Dr. Peter SWEATMAN,
Senior Research Scientist
Australian Road Research Board
P.O. Box 156 (Bag 4)
NUNAWADING 3131
Victoria

BELGIUM
Mlle. M. LOBET
Attaché au Service d'Etude
Institut du Transport Routier
rue du Commerce, 131
1040 BRUXELLES

Mr. ir. A. LENAERS
Ingénieur en chef-directeur des Ponts et Chaussées
Ministère des Travaux publics
Administration des Routes
Division Gestion et Equipement
Service d'Etudes technico-économiques
Square de Meeûs, 30
1040 BRUXELLES

Mr. ir. C. COLLARD
Ingénieur principal des Ponts et Chaussées-chef de service
Ministère des Travaux publics
Administration des Routes
Division Gestion et Equipement
Service de l'Equipement et de la Documentation
Square de Meeûs, 30
1040 BRUXELLES

CANADA
Mr. D.L. SEHULT
Assistant Deputy Minister
New Brunswick Dept. of Transportation
P.O. Box 6000
FREDERICTON, N.B. E3B 5H1

DENMARK
Mr. Jørgen CHRISTENSEN
Council of Road Safety Research
Akademivej, Building 371
DK-2800 LYNGBY

Mr. Knud Erik ANDERSEN
The Road Directorate, Ministry of Transport
23 Havnegade, Postbox 2169
DK-1058 COPENHAGEN K

M. P.G. DINESEN
The National Road Laboratory
5-7 Elisagårdsvej
DK-4000 ROSKILDE

FRANCE

M. BOULET
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes, B.P. 19
44340 BOUGUENAIS

M. BOUZIGUES
M. PEYRONNE
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
46 avenue Aristide Briand
92223 BAGNEUX

M. J.C. FAVERO
ONSER
2 avenue du Général Malleret-Joinville
94114 ARCUEIL CEDEX

M. M. FRYBOURG
Directeur
Institut de Recherche des Transports (IRT)
B.P. 28
Avenue du Gal Malleret-Joinville
94114 ARCUEIL CEDEX

M. LAMURE
M. ROUMEGOUX
I.R.T./C.E.R.N.E.
109 avenue Salvador Allende
69672 BRON CEDEX

GERMANY

Dr. VON BECKER
BVM
Bundesministerium für Verkehr
Postfach 2001 00
D-5300 BONN-BAD GODESBERG

Dr. H. BUSECK
Bundesanstalt für Strassenwesen
Brühler Strasse 1
5000 KOLN 51

Mr. KRAUSS
Abt. A
Bundesministerium für Verkehr
Postfach 2001 00
D-5300 BONN-BAD GODESBERG

GREECE

M. J. KARAYANNIS
c/o Délégation de la Grèce auprès de l'OCDE
15 Villa Saïd
75116 PARIS

ITALY

Mr. G. BATTIATO
Dr. Cesare VERGA
Soc. ASSORENI
20097 S. DONATO MILANESE (MI)

Ing. Sabino BOCCASSINI
Ing. Gabriele CAMOMILLA
M. MANCINO
Soc. AUTOSTRADE
Via Nibby 10
00181 ROME

JAPAN

Mr. Daiji FUJITA
Engineering Section
Public Works Research Institute
Ministry of Construction
1, Asahi Toyosato-machi, Tsukuba-gun
IBARAGI PREF. 300-26

NETHERLANDS

Ir. J.A.C. Th. BROUWERS
State Road Laboratory
P.O. Box 5044
2600 GA DELFT

Ir. H.G. PAAR
Institute for Road Safety Research (SWOV)
P.O. Box 170
2260 AD LEIDSCHENDAM

SPAIN

M. José Maria FONSECA
Laboratorio de Carreteras y Geotechnia
Alfonso XII 3
MADRID 7

A75.2

SWEDEN Mr. B. THUNBERG
Research Director, Traffic Division
National Swedish Road & Traffic Research Institute
Fack, S-581 01 LINKÖPING

SWITZERLAND Mr. I. SCAZZIGA
Eidg. Technische Hochschule
ISETH/ETH-Hönggerberg
CH-8093 ZÜRICH

UNITED KINGDOM Dr. J.W. FITCHIE
Mr. M. GLOVER
Transport and Road Research Laboratory (TRRL)
Old Wokingham Road
CROWTHORNE
Berkshire RG11 6AU

UNITED STATES Mr. Carl N. SWERDLOFF
Chief, Economic Studies Division
Office of the Secretary of Transportation
Department of Transportation
400 7th Street S.W.
WASHINGTON D.C. 20590

OECD/ROAD RESEARCH Mr. B. HORN
Mr. R. MATTHEWS
Mr. C. MORIN

INTERNATIONAL GOVERNMENTAL ORGANISATIONS:

EC Mr. DENIEL
Mr. E.W. MARK
Commission of the European Communities
rue de la Loi 200
1049 BRUXELLES

ECMT Mr. A. RATHERY
Conférence Européenne des Ministres des Transports
19 rue de Franqueville
75016 PARIS

OBSERVERS:

BPICA Mr. J. VLACH
Bureau Permanent International des Constructeurs
d'Automobiles
4 rue de Berri
75008 PARIS

CCMC Mr. F. BARTHEL
Comité des Constructeurs d'Automobiles du Marché Commun
Square de Meûs, 5, BTE 7
1040 BRUXELLES

MVMA (United States) Mr. Peter GRISKIVICH
Motor Vehicle Manufacturers Association
1909 K. Street N.W.
Suite 300
WASHINGTON D.C. 20006

The rapporteurs for the various Chapters were: Mssrs. Frybourg, Thunberg, Horn, Christensen, Verga, Camomilla, Mancino, Peyronne, Scazziga, Glover, Bouzigues, Krauss.

Members of the Editing Committee were: Mssrs. Bouzigues, Glover, Horn, Krauss, Matthews.

LIST OF ROAD TRANSPORT RESEARCH PUBLICATIONS

ROAD TRANSPORT SYSTEMS

Optimisation of bus operation in urban areas (May 1972)
Effects of traffic and roads on the environment in urban areas (July 1973)
Proceedings of the symposium on techniques of improving urban conditions by restraint of road traffic (September 1973)
Capacity of at-grade junctions (November 1974)
Proceedings of the symposium on roads and the urban environment (October 1975)
Bus lanes and busway systems (December 1976)
Transport requirements for urban communities (December 1977)
Energy problems and urban and suburban transport (December 1977)
Symposium on heavy freight vehicles and their effects (Paris 1977) - papers, 3 volumes (*)
Transport services in low density areas (September 1979)
Management of urban freight distribution (derestricted in October 1980) (*)
Urban public transport: evaluation of performance (October 1980)
Transport choices for urban passengers: measures and models (September 1980)
Evaluation of urban parking systems (December 1980)
Automobile fuel consumption in actual traffic conditions (December 1981)
Car ownership and use (May 1982)
Surface transportation system performance (symposium in Washington D.C., 1981) - proceedings published by U.S. DOT (*)

ROAD TRAFFIC

Area traffic control systems (February 1972)
Electronic aids for freeway operation (April 1971)
Two-lane rural roads: road design and traffic flow (July 1972)
Traffic operation at sites of temporary obstruction (February 1973)
Urban traffic models: possibilities for simplification (August 1974)
Research on traffic corridor control (November 1975)
Integrated urban traffic management (December 1977)
Traffic measurement methods for urban and suburban areas (March 1979)

(*) Can be obtained on special request from the OECD Road Transport Research Secretariat.

Traffic control in saturated conditions (1981)

Traffic control and driver communication (seminar in Aachen, 1982) - proceedings to be published by the German Ministry of Transport, late 1982.

ROAD SAFETY

Alcohol and drugs (January 1968)

Pedestrian safety (October 1969)

Driver behaviour (June 1970)

Proceedings of the symposium on the use of statistical methods in the analysis of road accidents (September 1970)

Lighting, visibility and accidents (March 1971)

Research into road safety at junctions in urban areas (October 1971)

Road safety campaigns: design and evaluation (December, 1971)

Speed limits outside built-up areas (August 1972)

Research on traffic law enforcement (April 1974)

Young driver accidents (March 1975)

Roadside obstacles (August 1975)

Manual on road safety campaigns (September 1975)

Polarised light for vehicle headlamps (December 1975)

Driver instruction (March 1976)

Adverse weather, reduced visibility and road safety (August 1976)

Hazardous road locations: identification and countermeasures (September 1976)

Safety of two-wheelers (March 1978)

New research on the role of alcohol and drugs in road accidents (September 1978)

Report of special research group on pedestrian safety - 3 volumes, published by TRRL, 1978 (*)

Traffic safety in residential areas (October 1979)

Road safety at night (December 1979)

Summary record of the symposium on safety of pedestrians and cyclists (derestricted in May 1980) (*)

Guidelines for driver instruction (March 1981)

Methods for evaluating road safety measures (June 1981)

Effects of speed limits on traffic accidents and transport energy use (seminar in Dublin, October 1981) derestricted in 1982 (*)

Short-term and areawide evaluation methods of safety measures (seminar in Amsterdam, April 1982) - papers; proceedings to be published by SWOV

(*) Can be obtained on special request from the OECD Road Transport Research Secretariat.

HIGHWAY INFRASTRUCTURE

Research on crash barriers (February 1969)
Motor vehicle corrosion and influence of de-icing chemicals (October 1969)
Winter damage to road pavements (May 1972)
Accelerated methods of life-testing pavements (May 1972)
Proceedings of the symposium on the quality of road works (July 1972)
Waterproofing of concrete bridge decks (July 1972)
Optimisation of road alignment by the use of computers (July 1973)
Water in roads: prediction of moisture content in road subgrades (August 1973)
Maintenance of rural roads (August 1973)
Water in roads: methods for determining soil moisture and pore water tension (December 1973)
Proceedings of the symposium on frost action on roads (October 1974)
Road markings and delineation (February 1975)
Resistance of flexible pavements to plastic deformation (June 1975)
Bridge inspection (July 1976)
Road strengthening (September 1976)
Proceedings of the symposium on road design standards (May 1977)
Use of waste materials and by-products in road construction (September 1977)
Maintenance techniques for road surfacings (October 1978)
Catalogue of road surface deficiencies (October 1978)
Evaluation of load carrying capacity of bridges (December 1979)
Construction of roads on compressible soils (December 1979)
Proceedings of the symposium on road drainage (January 1980) (*)
Bridge maintenance (September 1980)
Proceedings of the symposium on terrain evaluation and remote sensing for highway engineering in developing countries (Paris, September 1979), published by TRRL (*)
French version in Bull Liaison Lab. Ponts et Chaussées No. 107
Recycling of pavement materials (seminar in Rome, 1981). Proceedings to be published by Autostrade
Use of marginal aggregates in pavement construction (to be published by LCPC, late 1982)

(*) Can be obtained on special request from OECD Road Transport Research Secretariat.

OECD SALES AGENTS DÉPOSITAIRES DES PUBLICATIONS DE L'OCDE

ARGENTINA – ARGENTINE
Carlos Hirsch S.R.L., Florida 165, 4° Piso (Galería Guemes)
1333 BUENOS AIRES, Tel. 33.1787.2391 y 30.7122

AUSTRALIA – AUSTRALIE
Australia and New Zealand Book Company Pty. Ltd.,
10 Aquatic Drive, Frenchs Forest, N.S.W. 2086
P.O. Box 459, BROOKVALE, N.S.W. 2100

AUSTRIA – AUTRICHE
OECD Publications and Information Center
4 Simrockstrasse 5300 BONN. Tel. (0228) 21.60.45
Local Agent/Agent local :
Gerold and Co., Graben 31, WIEN 1. Tel. 52.22.35

BELGIUM – BELGIQUE
CCLS – LCLS
19, rue Plantin, 1070 BRUXELLES. Tel. 02.521.04.73

BRAZIL – BRÉSIL
Mestre Jou S.A., Rua Guaipa 518,
Caixa Postal 24090, 05089 SAO PAULO 10. Tel. 261.1920
Rua Senador Dantas 19 s/205-6, RIO DE JANEIRO GB.
Tel. 232.07.32

CANADA
Renouf Publishing Company Limited,
2182 St. Catherine Street West,
MONTREAL, Que. H3H 1M7. Tel. (514)937.3519
OTTAWA, Ont. K1P 5A6, 61 Sparks Street

DENMARK – DANEMARK
Munksgaard Export and Subscription Service
35, Nørre Søgade
DK 1370 KØBENHAVN K. Tel. +45.1.12.85.70

FINLAND – FINLANDE
Akateeminen Kirjakauppa
Keskuskatu 1, 00100 HELSINKI 10. Tel. 65.11.22

FRANCE
Bureau des Publications de l'OCDE,
2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16. Tel. (1) 524.81.67
Principal correspondant :
13602 AIX-EN-PROVENCE : Librairie de l'Université.
Tel. 26.18.08

GERMANY – ALLEMAGNE
OECD Publications and Information Center
4 Simrockstrasse 5300 BONN. Tel. (0228) 21.60.45

GREECE – GRÈCE
Librairie Kauffmann, 28 rue du Stade,
ATHÈNES 132. Tel. 322.21.60

HONG-KONG
Government Information Services,
Publications/Sales Section, Baskerville House,
2/F., 22 Ice House Street

ICELAND – ISLANDE
Snaebjörn Jónsson and Co., h.f.,
Hafnarstraeti 4 and 9, P.O.B. 1131, REYKJAVIK.
Tel. 13133/14281/11936

INDIA – INDE
Oxford Book and Stationery Co. :
NEW DELHI-1, Scindia House. Tel. 45896
CALCUTTA 700016, 17 Park Street. Tel. 240832

INDONESIA – INDONÉSIE
PDIN-LIPI, P.O. Box 3065/JKT., JAKARTA. Tel. 583467

IRELAND – IRLANDE
TDC Publishers – Library Suppliers
12 North Frederick Street, DUBLIN 1 Tel. 744835-749677

ITALY – ITALIE
Libreria Commissionaria Sansoni :
Via Lamarmora 45, 50121 FIRENZE. Tel. 579751/584468
Via Bartolini 29, 20155 MILANO. Tel. 365083
Sub-depositari :
Ugo Tassi
Via A. Farnese 28, 00192 ROMA. Tel. 310590
Editrice e Libreria Herder,
Piazza Montecitorio 120, 00186 ROMA. Tel. 6794628
Costantino Ercolano, Via Generale Orsini 46, 80132 NAPOLI. Tel. 405210
Libreria Hoepli, Via Hoepli 5, 20121 MILANO. Tel. 865446
Libreria Scientifica, Dott. Lucio de Biasio "Aeiou"
Via Meravigli 16, 20123 MILANO. Tel. 807679
Libreria Zanichelli
Piazza Galvani 1/A, 40124 Bologna. Tel. 237389
Libreria Lattes, Via Garibaldi 3, 10122 TORINO. Tel. 519274
La diffusione delle edizioni OCSE è inoltre assicurata dalle migliori
librerie nelle città più importanti.

JAPAN – JAPON
OECD Publications and Information Center,
Landic Akasaka Bldg., 2-3-4 Akasaka,
Minato-ku, TOKYO 107. Tel. 586.2016

KOREA – CORÉE
Pan Korea Book Corporation,
P.O. Box n° 101 Kwangwhamun, SÉOUL. Tel. 72.7369

LEBANON – LIBAN
Documenta Scientifica/Redico,
Edison Building, Bliss Street, P.O. Box 5641, BEIRUT.
Tel. 354429 – 344425

MALAYSIA – MALAISIE
and/et SINGAPORE – SINGAPOUR
University of Malaya Co-operative Bookshop Ltd.
P.O. Box 1127, Jalan Pantai Baru
KUALA LUMPUR. Tel. 51425, 54058, 54361

THE NETHERLANDS – PAYS-BAS
Staatsuitgeverij
Verzendboekhandel Chr. Plantijnstraat 1
Postbus 20014
2500 EA S-GRAVENHAGE. Tel. nr. 070.789911
Voor bestellingen: Tel. 070.789208

NEW ZEALAND – NOUVELLE-ZÉLANDE
Publications Section,
Government Printing Office Bookshops:
AUCKLAND: Retail Bookshop: 25 Rutland Street,
Mail Orders: 85 Beach Road, Private Bag C.P.O.
HAMILTON: Retail Ward Street,
Mail Orders, P.O. Box 857
WELLINGTON: Retail: Mulgrave Street (Head Office),
Cubacade World Trade Centre
Mail Orders: Private Bag
CHRISTCHURCH: Retail: 159 Hereford Street,
Mail Orders: Private Bag
DUNEDIN: Retail: Princes Street
Mail Order: P.O. Box 1104

NORWAY – NORVÈGE
J.G. TANUM A/S Karl Johansgate 43
P.O. Box 1177 Sentrum OSLO 1. Tel. (02) 80.12.60

PAKISTAN
Mirza Book Agency, 65 Shahrah Quaid-E-Azam, LAHORE 3.
Tel. 66839

PHILIPPINES
National Book Store, Inc.
Library Services Division, P.O. Box 1934, MANILA.
Tel. Nos. 49.43.06 to 09, 40.53.45, 49.45.12

PORTUGAL
Livreria Portugal, Rua do Carmo 70-74,
1117 LISBOA CODEX. Tel. 360582/3

SPAIN – ESPAGNE
Mundi-Prensa Libros, S.A.
Castelló 37, Apartado 1223, MADRID-1. Tel. 275.46.55
Libreria Bosch, Ronda Universidad 11, BARCELONA 7.
Tel. 317.53.08, 317.53.58

SWEDEN – SUÈDE
AB CE Fritzes Kungl Hovbokhandel,
Box 16 356, S 103 27 STH, Regeringsgatan 12,
DS STOCKHOLM. Tel. 08/23.89.00

SWITZERLAND – SUISSE
OECD Publications and Information Center
4 Simrockstrasse 5300 BONN. Tel. (0228) 21.60.45
Local Agents/Agents locaux
Librairie Payot, 6 rue Grenus, 1211 GENÈVE 11. Tel. 022.31.89.50

TAIWAN – FORMOSE
Good Faith Worldwide Int'l Co., Ltd.
9th floor, No. 118, Sec. 2
Chung Hsiao E. Road
TAIPEI. Tel. 391.7396/391.7397

THAILAND – THAILANDE
Suksit Siam Co., Ltd., 1715 Rama IV Rd,
Samyan, BANGKOK 5. Tel. 2511630

TURKEY – TURQUIE
Kultur Yayinlari Is-Türk Ltd. Sti.
Atatürk Bulvarı No : 77/B
KIZILAY/ANKARA. Tel. 17 02 66
Dolmabahce Cad. No : 29
BESIKTAS/ISTANBUL. Tel. 60 71 88

UNITED KINGDOM – ROYAUME-UNI
H.M. Stationery Office, P.O.B. 569,
LONDON SE1 9NH. Tel. 01.928.6977, Ext. 410 or
49 High Holborn, LONDON WC1V 6 HB (personal callers)
Branches at: EDINBURGH, BIRMINGHAM, BRISTOL,
MANCHESTER, BELFAST.

UNITED STATES OF AMERICA – ÉTATS-UNIS
OECD Publications and Information Center, Suite 1207,
1750 Pennsylvania Ave., N.W. WASHINGTON, D.C.20006 – 4582
Tel. (202) 724.1857

VENEZUELA
Libreria del Este, Avda. F. Miranda 52, Edificio Galipan,
CARACAS 106. Tel. 32.23.01/33.26.04/33.24.73

YUGOSLAVIA – YUGOSLAVIE
Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, P.O.B. 36, BEOGRAD.
Tel. 621.992

Les commandes provenant de pays où l'OCDE n'a pas encore désigné de dépositaire peuvent être adressées à :
OCDE, Bureau des Publications, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16.

Orders and inquiries from countries where sales agents have not yet been appointed may be sent to:
OECD, Publications Office, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16.

65958-12-1982

OECD PUBLICATIONS, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16 - No. 42453 1983
PRINTED IN FRANCE
(77 83 01 1) ISBN 92-64-12423-3

