

ZEITSCHRIFT
FÜR
VERKEHRS-
WISSENSCHAFT

INHALT DES HEFTES:

- | | |
|--|----------|
| Probleme einer entscheidungsorientierten
Kosten-, Erlös- und Deckungsbeitragsrechnung
im Güterkraftverkehrsbetrieb
Von Paul Riebel, Frankfurt am Main | Seite 3 |
| Internationale Straßengüterverkehrsleistungsbilanzen
Von Peter Cerwenka und Beat Greuter, Basel | Seite 39 |
| Eine analytische Berechnungsmethode für
Geschwindigkeitsverteilungen in Abhängigkeit von der
Verkehrsdichte
Von Dirk Heidemann, Bergisch Gladbach | Seite 57 |

Zuschriften für die Redaktion sind zu richten an
Prof. Dr. Rainer Willeke
Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln
Universitätsstraße 22, 5000 Köln 41

Schriftleitung:
Prof. Dr. Herbert Baum
Universität Essen-Gesamthochschule
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 12, 4300 Essen 1

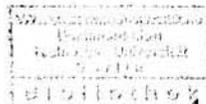
Herstellung - Vertrieb - Anzeigen:
Verkehrs-Verlag J. Fischer, Paulusstraße 1, 4000 Düsseldorf 1
Telefon: (02 11) 67 30 56, Telex: 8 58 633 vvf

Einzelheft DM 18,50, Jahresabonnement DM 67,—
zuzüglich MwSt und Versandkosten.

Für Anzeigen gilt Preisliste Nr. 7 vom 1. 1. 1978.

Erscheinungsweise: vierteljährlich.

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophotos u. ä. von den Zeitschriftenbesten, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.



86.20524
87.20432

Probleme einer entscheidungsorientierten Kosten-, Erlös- und Deckungsbeitragsrechnung im Güterkraftverkehrsbetrieb *)

VON PAUL RIEBEL, FRANKFURT AM MAIN

b. H. d.
b. V. c.

1. Einführung

1.1. Ausgangsbasis

Mein Thema will ich aus der Sicht eines in Frankfurt entwickelten Konzepts erörtern, das unter der – heute viel zu engen – Bezeichnung „Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung“¹⁾ bekannt geworden ist. Dieser Ansatz wurzelt in der Auseinandersetzung mit den besonderen Schwierigkeiten der Kostenzurechnung bei Kuppelproduktion²⁾. Durch Einbeziehung weiterer Arten von Verbundenheitserscheinungen³⁾ – vor allem auch aus dem Verkehrsbereich –, Erweiterung auf finanzielle Wirkungen und Betonung von Entscheidungsaspekten ist daraus ein generell anwendbares Konzept einer entscheidungsorientierten Führungsrechnung entstanden. Deren Hauptaufgabe ist die Vorbereitung und Kontrolle von Entscheidungen.

1.2. Das Prinzip der entscheidungsrelevanten Wirkungen

Für die Beurteilung von Handlungsalternativen wird in der Literatur allgemein die Beachtung des „Prinzips der relevanten Kosten“ gefordert. Danach sind in einer bestimmten Entscheidungssituation ausschließlich die Kostenänderungen zu berücksichtigen, die durch die Realisierung der jeweils betrachteten Handlungsalternative gegenüber ihrem Unterlassen ausgelöst würden oder – bei einer rückschauenden Rechnung – aus-

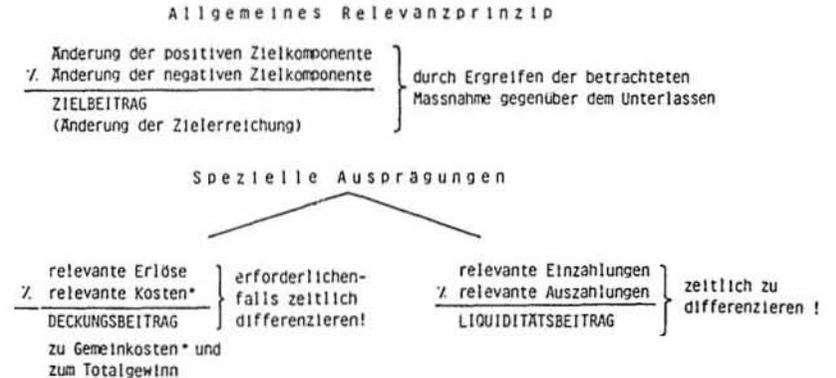
Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Paul Riebel
Seminar für Verkehrsbetriebslehre
Johann Wolfgang Goethe-Universität
Postfach 11 19 32
6000 Frankfurt/Main 1

*) Erweiterte Fassung eines Vortrags am 7. Juni 1985 an der Facoltà di Economia e Commercio der Universität Pisa. Meinen wissenschaftlichen Mitarbeitern, Frau Dipl.-Kfm. Beate Kremin sowie den Herren Dipl.-Kfm. Joachim Buch und Dipl.-oec. Dieter Kleinfeldt danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts und technische Hilfen. Herrn Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rolf Fuhrmann danke ich für die Beschaffung von Informationen und Herrn cand. rer. pol. Thomas Hofmann für die Anfertigung der Reinzeichnungen. Gleichzeitig erscheint eine italienische Übersetzung dieses Beitrags.

- 1) Siehe hierzu schon: Riebel, P., Das Rechnen mit Einzelkosten und Deckungsbeiträgen, in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, Neue Folge, 11. Jg. (1959), S. 213–238; wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten und Deckungsbeitragsrechnung, 5. Aufl., Wiesbaden 1985, Beitrag 3.
- 2) Vgl. hierzu Riebel, P., Ansätze und Entwicklungen des Rechnens mit relativen Einzelkosten und Deckungsbeiträgen, in: Kostenrechnungspraxis, Jg. 1984, S. 174.
- 3) Zu den Verbundenheitserscheinungen siehe besonders: Riebel, P., Produktion III: einfache und verbundene, in: Albers, W. (u. a.) (Hrsg.), Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaften, Stuttgart/Tübingen/Göttingen/Zürich 1977–1982, Bd. 6, 1981, S. 295–310.

gelöst worden sind⁴⁾. Bei den üblichen Formulierungen wird jedoch nur auf die negative Komponente des Erfolgsziels abgestellt. Weil auch andere Ziele – parallel oder alternativ und sei es auch nur zeitweise oder in Teilbereichen – verfolgt werden können und die zu vergleichenden Handlungsalternativen auch die positive Zielkomponente unterschiedlich verändern können, muß das Prinzip der relevanten Kosten einerseits zum „Prinzip der relevanten Wirkungen“ oder „allgemeinen Relevanzprinzip“ erweitert und andererseits im Hinblick auf die konkreten Ziele spezifiziert und präzisiert werden (Abbildung 1).



* Entscheidungsorientierter Kostenbegriff (Riebel 1978): Kosten sind die durch die Entscheidung über das betrachtete Objekt ausgelösten zusätzlichen Ausgaben (einschliesslich Auszahlungsverpflichtungen)

Abb. 1: (Entscheidungsorientiertes) Relevanzprinzip

Wie auch immer das Zielbündel im einzelnen aussehen mag, so muß es doch unabdingbar zwei Oberziele enthalten, wenn die Existenz des Unternehmens nicht gefährdet werden soll:

1. Erzielung eines nachhaltigen Erfolgs im Sinne eines langfristigen finanziellen Überschusses und
2. laufende Sicherung der Liquidität.

Bei nicht erwerbswirtschaftlichen Institutionen kann das Erfolgsziel auf Kosten-(Aufwands-, Ausgaben-)deckung oder gar – bei Zuschußbegrenzung – auf das Nichtüberschreiten eines bestimmten Defizits reduziert werden, wie derzeit bei fast allen Eisenbahnen und vielen öffentlichen Betrieben des Personahverkehrs. Das ändert nichts an

4) Siehe vor allem: Clark, J. M., Studies in the Economics of Overhead Costs, Chicago, Illinois 1923, S. 49; Hummel, S., Kosten, relevante, in: Kosiol, E., Chmielewicz, K., Schweitzer, M. (Hrsg.), Handwörterbuch des Rechnungswesens, 2. Aufl., Stuttgart 1981, Sp. 968–974.

der grundsätzlichen Notwendigkeit, in gleicher Weise für die Beurteilung der anstehenden oder realisierten Handlungsmöglichkeiten die Deckungsbeiträge und Liquiditätsbeiträge zu ermitteln. Geht man vom „wertmäßigen“ Kostenbegriff (Kosten = bewerteter leistungsbedingter Güterverzehr) aus, werden sehr differenzierte, situationsbezogene Anweisungen für eine „entscheidungsorientierte Kostenbewertung“⁵⁾ unumgänglich. Das läßt sich bei der entscheidungsorientierten Definition des Kostenbegriffs⁶⁾ vermeiden.

Weil die relevanten Kosten und Erlöse, Ausgaben (im Sinne von Zahlungsverpflichtungen) und Einnahmen (= Zahlungsansprüche), Auszahlungen (= Zahlungsmittelabfluß) und Einzahlungen (= Zahlungsmittelzugang) sowie Mengengrößen (einschließlich Zeiten) nur fallweise ermittelt werden können, muß eine zweckneutrale Datenbasis geschaffen werden, die möglichst viele der für Prognose-, Entscheidungs- und Kontrollrechnungen benötigten Informationselemente bereithält.⁷⁾

1.3. Problemstellung

Es würde zu weit führen, vorab die theoretischen Grundlagen und pragmatischen Prinzipien des Rechnens mit (relativen) Einzelkosten und Deckungsbeiträgen in allgemeiner Form darzustellen⁸⁾. Ich will vielmehr versuchen, zunächst das Relevanzprinzip in seiner Realisierung mit Hilfe des Rechnens mit relativen Einzelkosten und Deckungsbeiträgen an der Beurteilung von Aufträgen und von unterschiedlichen Arten des Fahrzeugeinsatzes zu veranschaulichen und dabei die jeweils angewandten theoretischen Prinzipien herauszustellen. Nachfolgend werde ich die Fortführung der Betrachtung der einzelnen Auftrags- und Fahrzeugeinsätze in die längerfristige, periodenspezifische und periodenübergreifende Planungs- und Kontrollrechnung skizzieren. Abschließend will ich einige offene Probleme umreißen.

2. Kalkulatorische Beurteilung von Transportaufträgen und Einsätzen eines vorhandenen Fahrzeugs

Einige unserer spezifischen Ansätze werde ich zunächst an zwei einfachen Beispielen der Beurteilung von Transportaufträgen und Einsätzen eines vorhandenen Lastkraft-

5) Siehe vor allem: Adam, D., Entscheidungsorientierte Kostenbewertung, Wiesbaden 1970; Löcherbach, G., Bewertung von Faktoren. Ein Beitrag zur Theorie entscheidungsorientierter Kostenwerte, Wiesbaden 1975; Heinen, E., Betriebswirtschaftliche Kostenlehre. Kostentheorie und Kostenentscheidungen, 6. Aufl., Wiesbaden 1983, 395-448.
 6) Zum entscheidungsorientierten Kostenbegriff siehe vor allem: Riebel, P., Überlegungen zur Formulierung eines entscheidungsorientierten Kostenbegriffs, in: Müller-Merbach, H., (Hrsg.), Quantitative Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre, München 1978, S. 127-146, wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten . . . a.a.O., Beitrag 18.
 7) Ausführlich bei: Riebel, P., Zum Konzept einer zweckneutralen Grundrechnung, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 31. Jg. (1979), S. 785-798; Riebel, P., Gestaltungsprobleme einer zweckneutralen Grundrechnung, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 31. Jg. (1979), S. 863-893; beide Beiträge sind wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten . . . a.a.O., Beiträge 19 und 20.
 8) Eine kurzgefaßte allgemeine Darstellung findet sich bei: Riebel, P., Teilkostenrechnung (insbes. Deckungsbeitragsrechnung), in: Kosiol, E. (u. a.) (Hrsg.), Handwörterbuch . . . a.a.O., Sp. 1547-1570; Riebel, P., Thesen zur Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, in: Chmielewicz, K., (Hrsg.), Entwicklungslinien der Kosten- und Erlösrechnung, Stuttgart 1983, S. 21-47.

wagens von 12,5 t Nutzlast veranschaulichen. Die für beide Beispiele benötigten Basisdaten: Verbrauchskoeffizienten und Kalkulationssätze sowie Verbrauchs- und Entgeltfunktionen sind in den Abbildungen 2 bis 5 zusammengestellt.

LKW Nr. 1 zulässige Nutzlast 12,5 t Stückgut (general cargo)

.....	Preis	Satz
Treibstoffverbrauch/Kosten (im Fernverkehr)		
- km-abhängig bei Leerfahrt 16 $\frac{1}{100\text{km}}$ a	1,25 DM	= 20 $\frac{\text{DM}}{100\text{km}}$
- nutzlast- und km-abhängig 0,6 $\frac{1}{\text{t} \cdot 100\text{km}}$		0,75 $\frac{\text{DM}}{\text{t} \cdot 100\text{km}}$
km-fixierter Mindest-Deckungsbeitrag (Schmierstoffe, Reifenverschleiss, Wartung, Verschleissreparaturen, Minderung des Wiederverkaufserlöses) (Vernachlässigung des Nutzlasteinflusses)		22 $\frac{\text{DM}}{100\text{km}}$

.....

Fahrer

.....

Überstundenlohn + lohnabhängige Kosten	17 DM/h
Spesen für Abwesenheit über 5 bis 7 Std.	10 DM
Spesen für Abwesenheit über 7 bis 12 Std.	16 DM
Spesen für Abwesenheit über 12 bis 18 Std.	27 DM
Spesen für Abwesenheit über 18 Std.	32 DM

.....

Abb. 2: allgemeine Ausgangsdaten der Zahlenbeispiele
 (Auszug aus "Grundrechnung" = Datenbasis, Datenbank, accounting data base)

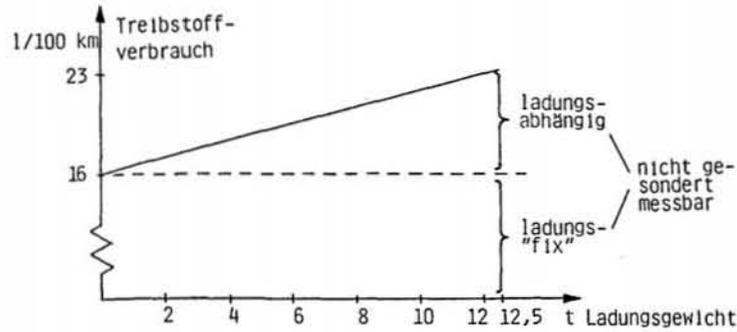


Abb. 3: Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch des Beispielfahrzeugs in Abhängigkeit vom Gewicht der Ladung (bei 60 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit in hügeligem Gelände, überwiegend auf Fernstrassen)

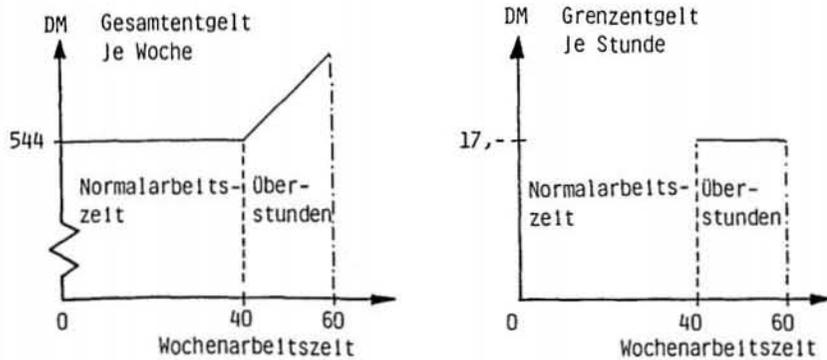


Abb. 4: Abhängigkeit der Löhne und lohnabhängigen Kosten von der Arbeitszeit je Woche

2.1. Gesonderte Beförderung von Einzelladungen

Wir beginnen mit der Beurteilung einzelner Ladungen, die – ohne Beiladung und Rückfracht – unabhängig voneinander in separaten Umläufen befördert werden müssen. Dabei wird unterstellt, daß für die Beförderung keine Wahl zwischen unterschiedlichen Fahrzeugtypen oder Eigen- und Fremtransport⁹⁾ bestehe.

9) Vgl. z. B. Schott, K., Die Wahl zwischen Eigen- und Fremtransport im Speditionsbetrieb, in: Männel, W. (Hrsg.), Entscheidungen zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug in der Praxis, Herne/Berlin 1973, S. 227–245; Riebel, P., Eigen- oder Fremtransport – die Antwort aus betriebswirtschaftlicher Sicht, 2. Aufl. (= GVB-Schriftenreihe, Heft 5), Frankfurt 1981.

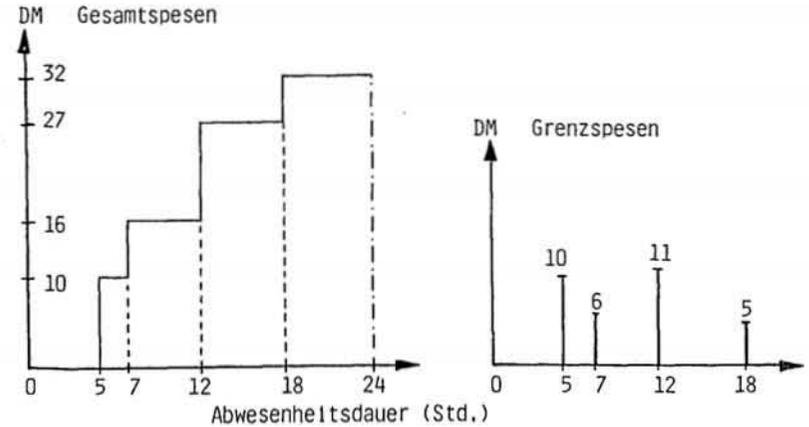


Abb. 5: Abhängigkeit der Speisen von der Abwesenheitsdauer je Kalendertag (auf volle DM abgerundet)

Wir gehen dabei von der Situation aus, daß ein Spediteur einem Frachtführer einen bestimmten Auftrag A zur Beförderung anbietet, für den der Spediteur mit dem Verladereine bestimmte Fracht (nach RKT errechnete Tarifracht zuzüglich oder abzüglich ausgehandelte oder übliche Marge, maximal $\pm 8,5\%$)¹⁰⁾ vereinbart hat.

Weil hier im Falle der Auftragsannahme die positive Erfolgs- und Liquiditätswirkung in Form des Frachterlöses festliegt, liegt das kalkulatorische Problem in der Ermittlung der negativen Zielkomponenten, d. h. der Wirkungen auf die Kosten bzw. Ausgaben und Auszahlungen sowie die Inanspruchnahme von knappen Nutzungspotentialen. Dabei ist es zweckmäßig, zwischen

- (1.) den unmittelbaren, kurzfristigen Wirkungen, die ex post grundsätzlich eindeutig quantifiziert werden können, und
- (2.) den erst langfristig beobachtbaren Wirkungen, die sich bezüglich des einzelnen Auftrags auch nach dessen Abwicklung einer eindeutigen Ermittlung entziehen, zu unterscheiden.

2.1.1. Kurzfristig quantifizierbare Wirkungen

Die mit dem Verladere vereinbarte Fracht ist aus der Sicht des selbstintretenden (mit eigenen Fahrzeugen befördernden) Spediteurs dessen Nettoerlös. Vom Standpunkt eines vom Spediteur beauftragten Frachtführers, den wir im folgenden einnehmen werden, handelt es sich dagegen um einen „Bruttoerlös“. Der Abfertigungsspediteur hat nämlich Anspruch auf eine „Werbe- und Abfertigungsvergütung“ (WAV-Gebühr), deren

10) Zum RKT siehe vor allem: Verordnung TS Nr. 12/58 über Tarife für den Güterfernverkehr mit Kraftfahrzeugen, in: Hein, G., Eichhoff, E. (u. a.), Güterkraftverkehrsrecht, 3. Aufl., Berlin 1968, C 505.

Höhe in v. H. des tarifmäßigen Beförderungsentgelts (Tariffracht ± Marge) vorgeschrieben ist¹¹⁾ und für Beiladungen in „angemessenem Verhältnis“ vereinbart werden darf.

Soll der Frachtführer derartige Aufträge annehmen, wenn es seine freie Kapazität erlaubt?

Ein dem Tarif gemäßes Beförderungsentgelt gewährleistet nicht, daß ein Beförderungsauftrag betriebswirtschaftlich interessant oder auch nur annehmbar ist. Auch ist es kein ausreichendes Kriterium bei der Wahl zwischen mehreren sich ausschließenden Aufträgen. Daher gilt es, vor der Annahme- und Ausführungsentscheidung vorkalkulatorisch zu ermitteln, welche Änderungen des Erfolges, des Einnahmeüberschusses und der Liquidität durch die Annahme und Durchführung des jeweiligen Auftrags ausgelöst würden.

Lassen Sie uns diese Frage am Beispiel des Auftrages A anhand der *Abbildung 6* untersuchen! In diesem Falle ist eine 4-t-Ladung über 150 km zu befördern. Die mit dem Verlager vereinbarte Bruttofracht beträgt 371,60 DM. Nach dem Tarif hat der Spediteur in diesem Beispiel einen Anspruch auf 10 % der Bruttofracht als „Werbe- und Abfertigungsvergütung“. Außerdem werden dem Güterfernverkehrsbetrieb von der Frachtenprüfstelle noch folgende – zumeist gesetzliche – Gebühren oder Umlagen in Prozent der Bruttofracht in Rechnung gestellt:

- Frachtenprüfgebühr¹²⁾ 0,5 %
- BAG-Umlage¹³⁾ 0,3 %
- TKF-Umlage¹⁴⁾ 0,035 %
- KVO-Prämie für Güterschadensversicherung¹⁵⁾, je nach Schadenshäufigkeit zwischen 1 % – 3 %
(durchschnittlich zwischen 1 und 1,5 %)
- PR-Umlage für Mitglieder des Bundesverbandes¹⁶⁾ des Deutschen Güterfernverkehrs (BDF) e. V. 0,075 % – 0,1 %

11) Zur WAV-Gebühr siehe: *Hein, G., Eichhoff, E. (u. a.), Güterkraftverkehrsrecht . . . a.a.O., C 610*, neuestens: Verordnung über die Werbe- und Abfertigungsvergütung im Güterfernverkehr, in: *Bundesanzeiger*, hrsg. vom Bundesministerium für Justiz, Jg. 37, Nr. 100, Juni 1985, S. 5641.

12) Diese Gebühr dient zur Deckung der Kosten der gesetzlich vorgeschriebenen Prüfung der regelmäßig einzureichenden Frachtpapiere durch eine zugelassene Prüfungsinstitution.

13) Diese (gesetzliche) Umlage dient zur Finanzierung der Kosten, die der Bundesanstalt für den Güterfernverkehr zur Frachtenprüfung auf der Straße und in den Unternehmen entstehen. Zur gesetzlichen Grundlage siehe: Verordnung über Umlagen und Meldebeiträge zur Deckung der Kosten der Bundesanstalt für den Güterfernverkehr, in: *Hein, G., Eichhoff, E. (u. a.), Güterkraftverkehrsrecht . . . a.a.O., C 325*.

14) Diese (gesetzliche) Umlage wird an den Bundesverband des Deutschen Güterfernverkehrs (BDF) e. V. zur Finanzierung der Tarifentwicklungsarbeiten der Tarifkommission entrichtet und ist in der Satzung mit der Gebührenordnung der dem BDF angeschlossenen Landesverbände geregelt.

15) Die Quote der (gesetzlich) vorgeschriebenen Güterschadensversicherung richtet sich, vergleichbar mit der privaten Kraftfahrzeug-Versicherung, nach der Schadenshäufigkeit der einzelnen Kunden und dementsprechend wird die Prämie vom Versicherer nach individuellem Schadensverlauf festgelegt.

16) Diese Umlage dient zur Finanzierung der Öffentlichkeitsarbeit des BDF. Sie ist zwar nicht gesetzlich vorgeschrieben, ist aber Bestandteil der Verbandssatzung des BDF, so daß alle dem BDF angeschlossenen Unternehmen diese Gebühr zu entrichten haben, wobei ihre Höhe in der Satzung und der Gebührenordnung der dem BDF angeschlossenen Landesverbände zu entnehmen ist und je nach Bundesland differieren kann.

	Auftrag A		
	Mengenkomponente	Kalkulations-satz	Betrag
Ladungs-Tonnen-Kilometer	4t·150 km = 600t km		
Fahrzeug-km	300 km		
Arbeitszeit	6 h		
davon Überstunden	-		
Abwesenheitszeit	6,5 h		
=====			
Bruttofracht		5t-Satz	371,60 DM
∕ erlösabhängige Kosten		12%	44,60 DM
reduzierter Frachterlös			327,-- DM
∕ ladungsabhängige Treibstoffkosten	4t·150 km	0,75 $\frac{\text{DM}}{\text{t} \cdot 100\text{km}}$	4,50 DM
∕ km-abhängige Treibstoffkosten	300 km	20 $\frac{\text{DM}}{\text{t} \cdot 100\text{km}}$	60,-- DM
AUFTRAGSBEITRAG I +)			262,50 DM
∕ Abwesenheit/Spesen	6,5 h		10,-- DM
∕ Überstunden	-		-
AUFTRAGSBEITRAG II			252,50 DM
∕ km-fixierter Mindest-Deckungsbeitrag	300 km	22 $\frac{\text{DM}}{100 \text{ km}}$	66,-- DM
AUFTRAGSÜBERSCHUSS			186,50 DM

Engpassbezogener Auftragsbeitrag und -überschuss

Auftragsbeitrag II Je Fahrerstunde	6 h		42,08 $\frac{\text{DM}}{\text{h}}$
Auftragsüberschuss Je Fahrerstunde	6 h		31,08 $\frac{\text{DM}}{\text{h}}$

+) massgeblich, wenn Abwesenheitsspesen und Überstunden nicht zurechenbar sind

Abb. 6: Kosten- und Deckungsbeitragsrechnung für einen gesondert abgewickelten Auftrag

Insgesamt fallen somit 12 % *bruttofrachtabhängige Kosten* bzw. Ausgaben an. Sie werden im folgenden – kürzer und allgemeiner – auch als *erlösabhängige Kosten* (Ausgaben) bezeichnet.

Ziehen wir diese erlösabhängigen Kosten von der Bruttofracht ab, verbleibt ein „*reduzierter Frachterlös*“ von 327,– DM.

Die Bruttofracht, die erlösabhängigen Kosten und der verbleibende „*reduzierte Frachterlös*“ werden allein durch die Entscheidung über die Annahme des Auftrags ausgelöst; sie sind – solange dabei die Erfüllung des Auftrags nicht gefährdet wird – von der Art der Ausführung des Transports und damit von der Art des Fahrzeugeinsatzes grundsätzlich unabhängig. Insoweit sind sie *allein auftragsspezifisch*.

Weil jedoch in unserem Beispiel das Fahrzeug bei dem Umlauf von U nach X und zurück *ausschließlich* für den Auftrag A eingesetzt wird, sind die dabei entstehenden zusätzlichen Kosten nicht nur fahrzeugeinsatz- oder umlaufspezifisch, sondern zugleich auftragsspezifisch. Daher können die fahrzeugeinsatzspezifischen Mengen (einschließlich Zeiten) und Kosten auch dem betrachteten Auftrag A logisch zwingend zugerechnet werden.

Bei den *fahrzeugeinsatzspezifischen Kosten* für *Hin- und Rückfahrt* ist zunächst an die des *Treibstoffverbrauchs* zu denken. Dieser läßt sich nachträglich genau messen, während die Schätzung für die Vorkalkulation unsicher ist, weil der Treibstoffverbrauch von vielen, teilweise interdependenten Faktoren (Fahrzeugzustand, Topografie, Straßen- und Verkehrsverhältnissen, Wetter, Fahrweise, Ladung u. a.) abhängt¹⁷⁾. Immerhin kann man Verbrauchsmessungen statistisch auswerten und so zu der in *Abbildung 3* dargestellten (linearisierten) *Verbrauchsfunktion* in Abhängigkeit vom Ladungsgewicht bei „mittleren Verhältnissen“ gelangen.

Daher bilden wir in unserer Kalkulation *zwei Kategorien von Treibstoffkosten*:

- *kilometerabhängige* für die Bewegung des Fahrzeugs an sich und
- *ladungs- und kilometerabhängige* für die Bewegung der Ladung.

Gegebenenfalls müssen noch

- *weitere ladungs- oder auftragsspezifische Kosten* (z. B. Wiegegelder, Trinkgelder für Ladehilfen, Telefongebühren) und
- *streckenspezifische Kosten* (z. B. Fährgelder, Straßenbenutzungsgebühren, Grenzübergangsgebühren),

als spezielle Kostenkategorien (s. *Abbildung 20*) berücksichtigt werden.

In der Kostenrechnung der Praxis werden meist auch *Fahrerlöhne* und *lohnabhängige Kosten* (z. B. Sozialbeiträge) proportional zur Arbeitszeit oder km-abhängig¹⁸⁾ verrechnet. Lassen Sie uns prüfen, ob und in welcher Weise sie von der Arbeitszeit, insbesondere Fahrzeit, abhängen und inwieweit sie wirklich entscheidungsrelevant sind.

17) Siehe z. B. *Diekmann, A.*, Wirtschaftliche Energienutzung im Straßenverkehr, in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 51. Jg. (1980), S. 59–86; *Gesellschaft für Betriebswirtschaft und Logistik (GVB) e. V. (Hrsg.)*, Energieeinsparung als Beitrag zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit in Binnenschifffahrt und Straßengüterfernverkehr (= GVB-Schriftenreihe, Heft 10), Frankfurt 1982.

18) Vgl. *Männel, W.*, Moderne Fahrzeugkostenrechnung, in: Kostenrechnungspraxis, Jg. 1976, S. 197–200.

Die Antwort hängt primär von den *rechtlichen Gegebenheiten* ab. In der Bundesrepublik Deutschland besteht normalerweise im Güterfernverkehr ein Lohnanspruch für die vertragliche Arbeitszeit von beispielsweise 40 Stunden in der Woche, auch wenn der Fahrer unbeschäftigt bleiben sollte (falls keine Kurzarbeit oder Ausfallschichten etc. genehmigt worden sind).¹⁹⁾ Bis zum Vertragsablauf sind auch die künftigen Zahlungen der diesbezüglichen Löhne und lohnabhängigen Kosten irreversibel vorbestimmt („sunk costs“) und insoweit für Einsatzentscheidungen irrelevant. Sie gehören zu den nur in bestimmten Intervallen disponiblen *periodengebundenen Bereitschaftskosten*, die entsprechend den Kündigungsfristen und -intervallen weiter differenziert werden können, z. B. in stunden-, schichten-, tages-, monats-, quartals- und jahresweise oder erst überjährig disponible Kosten (*Abbildung 21*).

Einsatzentscheidungen innerhalb der regulären Arbeitszeit sind daher bezüglich der Löhne und lohnabhängigen Kosten (Ausgaben) „grenzausgabenlos“, soweit nicht von der Art des Einsatzes abhängige Sonderentgelte (z. B. Abwesenheitsspesen, Schmutz- und andere Erschweriszulagen oder Nacht- und Feiertagszuschläge) und entsprechende lohnabhängige Kosten ausgelöst werden. Erst wenn die reguläre Arbeitszeit je Schicht, Woche oder einer anderen, branchenspezifisch definierten Periode überschritten wird, entsteht im allgemeinen ein zusätzlicher Lohnanspruch für Überstunden oder Mehrarbeit.

Im Güterfernverkehr gelten wegen der besonderen Einsatzbedingungen recht diffizile Regelungen für Entlohnung, Arbeitszeit und Einsatzmöglichkeiten von Fahrpersonal¹⁹⁾. Wir gehen in unseren Beispielen von besonders einfachen Verhältnissen aus.

Ist ein Fahrzeug, wie in den Beispielen unterstellt, nur mit einem Fahrer besetzt, werden ab der 41. Wochenstunde *Überstundenlöhne* (mit 25 % Zuschlag) zusätzlich entsprechender lohnabhängiger Kosten fällig. Bei einem solchen „Einmannfahrer“ sind in einer Woche *höchstens 60 Stunden* zulässig, wobei die Arbeitszeit – nach Wahl des Betriebes – entweder in der Doppelwoche *höchstens 113 Stunden* oder im Kalendermonat *höchstens 244 Stunden* betragen darf. Außerdem ist die auf 12 Stunden begrenzte Schichtzeit des „Einmannfahrers“ zu beachten, die – unter bestimmten Voraussetzungen – zweimal wöchentlich auf 15 Stunden verlängert werden kann. Sieht man von Spesen sowie Nacht-, Sonn- und Feiertagszuschlägen ab, dann gelangt man zu der in *Abbildung 4* dargestellten Funktion der *arbeitszeitdauer-abhängigen Kosten*²⁰⁾ – genauer des Entgelts – und der lohnabhängigen Ausgaben für einen „Einmannfahrer“.

Der von der Arbeitszeit unabhängige Teil der Ausgaben für Fahrpersonal kann im Güterfernverkehr der Woche zugerechnet werden, weil über das Arbeitsverhältnis in Zeit-„portionen“ oder „-quanten“, die eine Woche nicht überschreiten, disponiert werden kann, wenn auch mit unterschiedlich langen Dispositionsvorläufen (Kündigungsfristen) in sprunghafter Abhängigkeit von der Beschäftigungsdauer (nach § 20 Manteltarifvertrag). Nur der mehrarbeitsdauer- oder überstundenproportionale Teil des Fahrerlohns und der lohnabhängigen Kosten ist in unserem Falle der über die 40. Wochenstunde hinausgehenden Arbeitszeit logisch zwingend zurechenbar. Daraus darf freilich noch nicht ge-

19) Zum folgenden vgl. Bundes-Manteltarifvertrag für den Güter- und Möbelfernverkehr vom 23. Januar 1984, gültig ab 1. 1. 1984.

20) Eine ähnliche Abbildung findet sich bei *Dumke, H.-P.*, Kosten-optimaler Fuhrpark-Einsatz, Frankfurt 1974, S. 160.

geschlossen werden, daß die Mehrarbeitskosten auch denjenigen Aufträgen zugerechnet werden können, die während der Mehrarbeitszeit vom jeweiligen Fahrer ausgeführt werden. Das kann rein zufallsbedingt sein. Hier muß vielmehr nach dem *Identitätsprinzip*²¹⁾ geprüft werden, ob die Überstunden durch dieselbe (identische) Entscheidung ausgelöst worden sind wie der fragliche Fahrereinsatz oder Auftrag. Es ist durchaus möglich, daß im Rahmen eines bereits vorhandenen und in der normalen Arbeitszeit abwickelbaren Auftragsbestandes die zusätzliche Annahme eines Eilauftrages dazu führt, daß einer der bereits früher angenommenen Aufträge nunmehr während der Überstunden ausgeführt wird. Ist allerdings von vornherein aufgrund der allgemeinen Beschäftigungslage des Betriebes zu erwarten, daß es zu Überstunden kommen wird, dann sollte grundsätzlich kein Auftrag hereingenommen werden, der nicht in der Lage ist, Überstundenlöhne zu tragen. In solchen Fällen können vorsorglich Überstundenkosten als genereller Lenkpreis oder Mindestdeckungssatz je Fahrerstunde etc. für die Auftragsselektion vorgegeben werden. Dabei sind freilich Verbundwirkungen zu beachten²²⁾.

Ist der Fahrer mehr als 5 Stunden am jeweiligen Kalendertag vom Sitz des Betriebes oder vom (registrierten) Standort des Fahrzeugs abwesend, erhält er Spesen, deren Sätze häufig betriebsindividuell geregelt sind. Diese *abwesenheitsabhängigen Ausgaben* ändern sich *sprunghaft in Intervallen* (Abbildung 5). Veränderungen der Abwesenheitszeit innerhalb einer Intervallstufe sind grenzausgabenlos. Demgegenüber werden schon durch ein geringfügiges Überschreiten einer der „Sprungstellen“ bei 5, 7, 12 oder 18 Stunden die jeweiligen „Sprungkosten“ in voller Höhe ausgelöst. Des sprunghaften, intervallfixen Verlaufs wegen muß die Zurechenbarkeit der Spesen auf einzelne Aufträge oder Einsätze – soweit sie nicht die gesamte Abwesenheitszeit ausfüllen – wiederum nach dem Identitätsprinzip geprüft werden.

Das in *Abbildung 6* vorgeführte Kalkulationsbeispiel basiert auf der Erwartung, daß durch die Annahme des Auftrags A keine Überschreitung der Wochenarbeitszeit von 40 Stunden ausgelöst wird, auch nicht durch bereits zuvor angenommene, aber erst in den folgenden Wochentagen auszuführende Aufträge.

Bezüglich der Höhe der Abwesenheitsspesen ist im Beispiel unterstellt, daß vom Fahrer am betreffenden Tag keine weitere Fahrt von mehr als einer Stunde Dauer übernommen wird. Daher kann hier darauf verzichtet werden, die Zurechenbarkeit der zusätzlichen Spesen und Überstundenkosten im Rahmen umfassenderer Entscheidungszusammenhänge sequentiell zu untersuchen (s. Abschnitt 2.3.).

21) Zum Identitätsprinzip siehe insbesondere: *Riebel, P.*, Kurzfristige unternehmerische Entscheidungen im Erzeugungsbereich auf Grundlage des Rechnens mit relativen Einzelkosten und Deckungsbeiträgen in: *Neue Betriebswirtschaft*, 20. Jg. (1967), S. 1–23; *Riebel, P.*, Die Fragwürdigkeit des Verursachungsprinzips im Rechnungswesen, in: *Layer, M., Strebel, H.*, (Hrsg.), Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik, Festschrift für G. Krüger zu seinem 65. Geburtstag, Berlin 1969, S. 49–64; *Riebel, P.*, Überlegungen . . . a.a.O., S. 129 ff.; alle Beiträge wiederabgedruckt in: *Riebel, P.*, Einzelkosten . . . a.a.O., Beiträge 12, 5, 18.

22) Zu Arten und Problemen von Deckungssätzen vgl. *Riebel, P.*, Probleme einer Festlegung von Deckungsvorgaben aus produktions- und absatzwirtschaftlicher Sicht, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 32. Jg. (1980), S. 1130–1145, wiederabgedruckt in: *Riebel, P.*, Einzelkosten . . . a.a.O., Beitrag 22.

Weiter hatten wir bei der Fragestellung „freie Kapazität“, also das Fehlen alternativer Aufträge, die mit dem betrachteten Auftrag um die Nutzung des Fahrzeugs, den Einsatz des Fahrers oder anderer Potentiale konkurrieren, angenommen. Gleichwohl sind bei der Entscheidung den Auftrag A anzunehmen oder bei der Beurteilung der entscheidungsrelevanten Wirkungen noch folgende Gesichtspunkte zu beachten:

Wegen der bereits beschriebenen Begrenzungen der Personaleinsatzzeiten wird mit der Zuweisung von Aufträgen an vorgehaltene Arbeitskräfte eine Verminderung des noch verfügbaren Arbeitspotentials innerhalb der Schicht, der regulären oder maximal zulässigen Arbeitszeit je Woche, Doppelwoche oder Monat etc. ausgelöst. Man nähert sich also mit jeder Einsatzdisposition mehr und mehr den Grenzen dieser potentiellen Engpässe – zunächst innerhalb der grenzausgabenlos nutzbaren regulären Arbeitszeit – und dann der Grenze der durch zusätzliche *überstundenabhängige Ausgaben* „erkauften“ Engpaßerweiterung. Entsprechendes gilt hinsichtlich der Annäherung an die „Sprungstellen“ der Abwesenheitsspesen oder an die Grenzen der von Nacht-, Sonn- und Feiertagszuschlägen freien Arbeitszeit.

Es sind also nicht nur absolute Grenzen der zulässigen Arbeitszeit oder der Raum- und Gewichtskapazität eines Fahrzeugs von Bedeutung, sondern auch „relative“ Nutzungs- oder Einsatzgrenzen von Arbeitskräften und anderen Potentialen, die sich durch Zusatzentgelte erweitern oder umgehen lassen. Je mehr man sich derartigen Grenzen nähert, desto wichtiger wird die möglichst ergiebige Nutzung der jeweils drohenden potentiellen Engpässe durch Auftrags- oder Nutzungsselektion, und zwar auch dann, wenn engpaßvermeidende (-umgehende) Maßnahmen, wie partieller Übergang zu Fremdleistungen, oder engpaßweiternde Maßnahmen, wie Überstunden, in Erwägung gezogen werden. Damit das Herannahen potentieller Engpaßsituationen rechtzeitig erkannt und bei den Auftragsannahme- und -ausführungsentscheidungen berücksichtigt werden kann, müssen auch die Auswirkungen auf die *räumliche* und *zeitliche Inanspruchnahme* von *Nutzungspotentialen*, die mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit zum Engpaß werden können, wie die Fahrer- und Fahrzeugeinsatzzeiten, als rein mengenmäßige Entscheidungswirkungen ermittelt werden. Zudem werden diese Daten auch in der monetären Rechnung für die Ermittlung der noch zu erörternden „engpaßbezogenen Deckungsbeiträge“, die in (drohenden) Engpaßsituationen für den Alternativenvergleich hilfreich sein können, benötigt.

Lassen Sie mich an dieser Stelle Rückschau halten und ein *theoretisches Resümee* ziehen:

(1.) Die bisher als relevant akzeptierten Kosten zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie sind mit *noch disponiblen zusätzlichen Ausgaben* und *Auszahlungen* verbunden.
- Diese werden *erst durch die Entscheidung*, den Auftrag anzunehmen und speziell für dessen Ausführung, das Fahrzeug Nr. 1 unter bestimmten Bedingungen einzusetzen, *ausgelöst*.
- Sie sind daher dem Auftrag – teils *direkt*, teils *indirekt* über den auftragspezifischen Fahrzeugeinsatz – *logisch-zwingend* zuzurechnen.

Ich spreche daher und insoweit von *auftragspezifischen* Kosten (analog: Ausgaben, Auszahlungen, Fahrzeug- und Fahrereinsatzzeiten) oder synonym von Auftrags-

Einzelkosten (-ausgaben usw.). Im vorliegenden Beispiel sind aufgrund der besonderen Gegebenheiten die *fabrzeugeinsatz-* oder *umlaufspezifischen* Kosten (Ausgaben usw.) zugleich Teil der auftragsspezifischen Kosten.

- (2.) Im Hinblick auf die Inanspruchnahme begrenzt verfügbarer oder nur unter zusätzlichen – oft sprunghaften – Ausgaben erweiterbarer (oder umgehbarer) Potentiale oder Kapazitäten kann auch die mengenmäßige oder zeitliche Inanspruchnahme grenzkostenlos verfügbarer Potentiale Bedeutung gewinnen.

Wir können nunmehr die kurzfristig und ex post eindeutig feststellbaren Auswirkungen der Annahme und Abwicklung des Auftrags A auf den Erlös und die Ausgaben ermitteln. Den Überschuss der zusätzlichen spezifischen Erlöse dieses Auftrags über seine zusätzlichen spezifischen Ausgaben („Kosten“) bezeichne ich als *Auftragsbeitrag*, weil er zeigt, wieviel der Auftrag zur Deckung der für diesen und andere Aufträge gemeinsam entstehenden Ausgaben und zum Totalgewinn beiträgt.

Weil die bisher erörterten Erlöse und Kosten-(Ausgaben-)bestandteile grundsätzlich mit Einzahlungen bzw. Auszahlungen verbunden sind, die im Güterkraftverkehr nicht weit auseinander und in der Nähe des Zeitpunkts der Leistung zu liegen pflegen, ist der Auftragsbeitrag – wenigstens der Höhe nach – zugleich *Liquiditätsbeitrag*. Die genaue Abbildung der zeitlichen Struktur des Liquiditätsbeitrags würde freilich eine sequentielle Analyse im Zeitablauf mit Berücksichtigung der vereinbarten oder geschätzten Zahlungstermine auf der Erlös- und Ausgabenseite erfordern.

2.1.2. Berücksichtigung nicht direkt erfassbarer längerfristiger Wirkungen

Wenden wir uns nunmehr den verzögert oder erst langfristig auftretenden Wirkungen zu, die der Sache und dem Grunde nach erkennbar, aber für den einzelnen Fahrzeug-einsatz nicht meßbar sind.

Bekanntlich führt der Einsatz eines Fahrzeugs – im Verbund mit dem schon beim bloßen Bereithalten („Vorhalten“) wirkenden „Zahn der Zeit“ (Korrosion durch Umwelteinflüsse, Alterung des Materials) – zu *Verschleißerscheinungen*. Diese machen sich technisch – teils allmählich, teils abrupt – in quantitativen und qualitativen Leistungsminderungen, Beeinträchtigungen der Sicherheit und Erhöhung der Unfallgefahr, Mehrverbrauch an Betriebsstoffen, Störungen und Ausfällen bemerkbar. Sie werden jedoch grundsätzlich nicht erst durch den speziellen Einsatzakt, bei dem sie in Erscheinung treten, verursacht, sondern durch mehr oder weniger viele – im Extremfall alle – vorangegangenen Einsätze. Weil bei den konkreten Erscheinungen oft zugleich „der Zahn der Zeit“ mitgewirkt hat, ist in der Praxis kaum eindeutig auszumachen, welcher Anteil des Verschleißes und seiner ökonomischen Wirkungen auf den Fahrzeugeinsatz zurückgeht.

Aus der Fülle der direkten und indirekten betriebswirtschaftlichen Wirkungen²³⁾ sollen hier nur einige Typen unter kalkulatorischen Gesichtspunkten skizziert werden. Wird, wie normalerweise bei Nutzfahrzeugen anzunehmen, die technische Nutzungsdauer

Siehe Männel, W., Wirtschaftlichkeitsfragen der Anlagenerhaltung, Wiesbaden 1968; Männel, W., Vorbeugende Instandhaltung – eine Einführung und Bibliographie, in: *Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung e. V.* (Hrsg.), Schriftenreihe „Arbeitsvorbereitung“, Heft 6, Frankfurt 1971.

maßgeblich durch den Gebrauchsverschleiß bedingt, ist das jeweils noch verfügbare Restnutzungspotential bis zu gewissen technisch-wirtschaftlichen Grenzen speicherbar oder zeitelastisch. Daher konkurrieren auch solche Nutzungsmöglichkeiten, die zeitlich nacheinander auftreten um das Restnutzungspotential. Die Entscheidung für einen Einsatz heute hat einen Verzicht auf einen späteren Einsatz und die dabei erzielbaren Deckungsbeiträge und/oder eine tendenzielle Verminderung des Wiederverkaufserlöses auf dem Gebrauchtwagenmarkt zur Folge, soweit man diese Wirkungen nicht durch eine vorzeitige Ersatzbeschaffung oder durch einen erhöhten künftigen Erhaltungsaufwand kompensieren will.²⁴⁾ Theoretisch müßten in der Kosten- und Erlösrechnung die damit verbundenen Änderungen der Zahlungsströme abdiskontiert im Entscheidungszeitpunkt berücksichtigt werden.²⁵⁾ Neben den üblichen zukunftsbedingten Ungewißheitsproblemen ist zu beachten, daß weitgehend bis zuletzt offen bleibt, welche Ersatzstrategie tatsächlich gewählt wird, wobei besonders viele Alternativen bei solchen Maßnahmen bestehen, die auf frühzeitiges Erkennen von Verschleiß (Inspektionen), dessen Verminderung (Wartung) oder partielle Beseitigung (Reparaturen, Ersatz von Verschleißteilen) abzielen.²⁶⁾

Angesichts der vielfältigen Dimensionen der Ungewißheit dieses dem Grunde und der Sache nach bekannten Komplexes von Spätwirkungen halte ich – in der Hoffnung auf einen längerfristigen „kalkulatorischen Ausgleich“ – allenfalls eine zusammenfassende „globale“ Abschätzung der längerfristigen und für viele Fahrzeugeinsätze und Leistungen gemeinsamen Wirkungen für vertretbar.

Wegen der starken Zufallseinflüsse, mit denen hier gerechnet werden muß, stößt selbst die periodenweise Planung und Kontrolle beispielsweise von verschleißbedingten Ausfallzeiten und Reparaturen auf Schwierigkeiten. Das betrifft vor allem kleine Bereiche, etwa einzelne Fahrzeuge, und kurze Zeiträume – selbst ein Jahr kann bei wenigen Fahrzeugen noch als „kurz“ gelten – weil hier das „Gesetz der großen Zahl“ noch nicht statistisch ausgleichend wirken kann.²⁷⁾ Eher schon lassen sich die Ausfallzeiten bei planmäßig vorbeugender Inspektion, Wartung und Instandhaltung voraussehen, doch

24) Vgl. z. B. Riebel, P., Die Bereitschaftskosten in der entscheidungsorientierten Unternehmerrechnung, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 22. Jg. (1970), S. 372–386, hier S. 382–384, wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten . . . a.a.O., Beitrag 6.

25) Vor allem: Mablert, A., Die Abschreibungen in der entscheidungsorientierten Kostenrechnung (= Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung, Band 44), Opladen 1976; Swoboda, P., Die Ableitung variabler Abschreibungskosten aus Modellen zur Optimierung der Investitionsdauer, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 49. Jg. (1979), S. 563–580; Kistner, K.-P., Lubmer, A., Zur Ermittlung der Kosten der Betriebsmittel in der statischen Produktionstheorie, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 51. Jg. (1981), S. 165–179; Stepan, A., Die Struktur von Investitionsproblemen bei Berücksichtigung meßbarer Verschleißprozesse und Kriterien für den Anlagensatz, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 52. Jg. (1982), S. 426–441; Küpper, H.-U., Kosten- und entscheidungstheoretische Aspekte zur Behandlung des Fixkostenproblems in der Kostenrechnung, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 36. Jg. (1984), S. 798–804.

26) Siehe vor allem Männel, W., Vorbeugende Instandhaltung . . . a.a.O., S. 9 ff.; Ordelbeide, D., Instandhaltungsplanung. Simulationsmodelle für Instandhaltungsentscheidungen, Wiesbaden 1973; Scheer, A. W., Instandhaltungspolitik, Wiesbaden 1974.

27) So schon Riebel, P., Die Gestaltung der Kostenrechnung für Zwecke der Betriebskontrolle und Betriebsdisposition, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 26. Jg. (1956), S. 278–289, wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten . . . a.a.O., Beitrag 1.

sind auch hier die damit verbundenen Ausgaben nur allen während des folgenden Wiederholungsintervalls ausgeführten Fahrten gemeinsam zurechenbar.

In jedem Falle sollten die mit den einsatzbedingten Spätwirkungen verbundenen Ausgaben und Auszahlungen bei der Aufstellung der in Abschnitt 4.2. zu erörternden Deckungsbudgets als Schätzgrößen berücksichtigt werden.

Darüberhinaus ist es für bestimmte Fragestellungen, etwa die Ermittlung von Preisuntergrenzen und den Vergleich zwischen alternativen Aufträgen und Abwicklungsverfahren, auch in der Praxis empfehlenswert, die nur vage abschätzbaren längerfristigen Auswirkungen des Fahrzeugeinsatzbedingten Verschleißes in Form eines besonderen Kalkulationssatzes je Fahrkilometer – in bestimmten Fällen, z. B. beim Einsatz auf Baustellen je Einsatzstunde – als „Erinnerungsposten“ und „Lenkungssatz“ vorzugeben.

Weil die Höhe – oft auch die Basis – dieses Kalkulationssatzes einem erheblichen Ermessensspielraum unterliegt, muß er durch Entscheidung festgelegt werden. Er wird dadurch zwar proportional zu den Fahrkilometern oder Einsatzstunden verrechnet, ist aber gleichwohl von diesen nicht „abhängig“. Um den Unterschied von tatsächlichen Abhängigkeiten deutlich zu machen, spreche ich in diesen Fällen von km-, stunden- usw. - „fixiert“.

Weil er aus dem Auftrags- bzw. Tourenbeitrag abzudecken ist und selbst in Zeiten schlechter Beschäftigung bei Zusatzaufträgen mindestens hereingeholt werden soll, nenne ich ihn (*fahr*-)kilometer-fixierten Mindest-Deckungssatz.²⁸⁾ In bezug auf eine mehr oder weniger große Zahl von Fahrkilometern, etwa die einer Tour oder einer Periode, spreche ich von „Mindest-Deckungsbeitrag“.

In dieser Bezeichnung soll zum Ausdruck kommen, daß dieser Kalkulationssatz eine andere mathematisch-sachlogische Qualität hat als die für den einzelnen Fahrzeugeinsatz sachlogisch eindeutig ermittelbaren, mit ihm „identifizierbaren“ Leistungs- und Einsatzmengen. Erlöse und Kosten (Ausgaben). Entsprechend der anderen Zahlungsqualität können für das komplexe Konstrukt „Mindest-Deckungsbeitrag“ auch im Nachhinein keine Ist-Werte für einzelne oder – etwa periodenweise – aggregierte Fahrzeugeinsätze ermittelt werden.

Immerhin kann die Angemessenheit des km-fixierten Mindest-Deckungssatzes an Hand der im Laufe der Zeit über den Fahrzeugkilometern kumulierten einschlägigen Ausgaben und der infolge verschleißbedingter Ausfallzeiten entgangenen (geschätzten) Deckungsbeiträge besser beurteilt werden.

Die spezielle Bezeichnung *Mindest-Deckungssatz bzw. -beitrag* soll auch in Erinnerung bringen, daß diese Rechengröße wegen ihres anderen Sachinhalts nicht mit Kosten (Ausgaben) aggregiert werden darf, sondern stets getrennt zu behandeln ist. Dies ist vor allem bei mehrstufigen Kalkulationen und Auswertungsrechnungen (z. B. Sensibilitätsanalysen, Soll-Ist-Vergleiche, Verknüpfung mit den Deckungsbudgets) und Interpretationen von Bedeutung und unterbleibt erfahrungsgemäß leicht, wenn die verbreitete, aber irreführende Bezeichnung „Opportunitätskosten“ gewählt wird.²⁸⁾

28) Zur Ablehnung des Opportunitätskostenbegriffes durch den Verfasser äußern sich kritisch: Bobr, K., Schwab, H., Überlegungen zu einer Theorie der Kostenrechnung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 54. Jg. (1984), S. 139–159.

Die Differenz zwischen Auftrags- bzw. Tourenbeitrag und km-fixiertem Mindest-Deckungsbeitrag bezeichne ich als *Auftrags- bzw. Tourenüberschuß* (nach km-fixiertem Mindest-Deckungsbeitrag)²⁹⁾ um die Qualitätsunterschiede auch terminologisch deutlich zum Ausdruck zu bringen. Der Auftrags- oder Tourenbeitrag läßt sich sachlogisch einwandfrei und grundsätzlich genau ermitteln, ist aber unter langfristigen Aspekten zu hoch. Ob dagegen der Überschuß zu hoch oder zu niedrig ist, läßt sich – ebenso wenig wie beim Mindest-Deckungsbeitrag – kurzfristig nicht beurteilen.

Analog zum Auftrags- und Tourenbeitrag sind der Auftrags- und Tourenüberschuß bei Fahrzeugumlauf mit nur einer Ladung – und wenn nur dieses Fahrzeug zur Verfügung steht – identisch.

Auf die Bedeutung dieser Bruttoerfolgsgrößen und mögliche Weiterführungen der Rechnung werde ich später eingehen.

2.2. Verbundene Beförderung mehrerer Aufträge in einer Tour

Lassen Sie uns nunmehr Probleme der Kostenzurechnung untersuchen, die bei verbundener Beförderung mehrerer Aufträge in einer gemeinsamen Tour entstehen.

In unserem Beispiel liegen 3 Aufträge (*Abbildung 7*) vor. Die Ausführung in Form von drei getrennten Fahrten (*Abbildung 8*) wäre aufwendig und unwirtschaftlich, falls die zeitlichen Spielräume, die Relationen und die Verträglichkeit der Ladungen – wie im folgenden unterstellt – die Kombination zu einer Tour zulassen (*Abbildung 9*). Die Sendungen nach X und Y lassen sich zusammenfassen zu einem gemeinsamen Transport bis X, der das Fahrzeug mit 12 Tonnen gut auslastet, wenn man für die 8-t-Ladung nach Y einen Umweg über X in Kauf nimmt. Die Leerfahrt nach Z ermöglicht es, wenigstens eine kleine Rückfracht zu übernehmen.

Auftrag	von	nach	Ladegewicht	Entfernung
A	U	X	4 t	150 km
B	U	Y	8 t	180 km
C	Z	U	2 t	120 km

Abb. 7: Auftragsdaten

Diese Zusammenfassung führt zu einer komplizierten Leistungs- und Kostenverbundenheit. So handelt es sich bei den Kosten der Leerfahrt von Y nach Z um „kumulative Gemeinkosten“³⁰⁾, weil diese Leerfahrt erst durch die gemeinsame Abwicklung der Aufträge B und C veranlaßt wird. Freilich wird dadurch die Leerfahrt von Y nach U „kumulativ“ eingesparrt.

29) Dem Klammerausdruck entsprechende ergänzende Kennzeichnungen sind geboten, wenn gleichzeitig oder zeitweilig noch nach anderen Kriterien oder für andere Bezugsbasen Deckungssätze vorgegeben werden.

30) Zum Begriff vgl. Krömmelbein, G., Gemeinkosten und Gemeinerlöse als Begriffe im entscheidungsorientierten Rechnungswesen, in: Der Betrieb, 28. Jg. (1975), S. 460–462; Krömmelbein, G., Zur Frage der Entscheidungsrelevanz von Gemeinkosten, in: Kostenrechnungspraxis, Jg. 1975, S. 207–214.

Auftrag	A	B	C	
von	U	U	Z	
nach	X	Y	U	
Ladung x Entfernung	4tx150km	8tx180km	2tx120km	SUMME
vereinbarte Bruttofracht	371,60 DM	688,60 DM	198,80 DM	
% erlösabhängige Kosten (Provision, Gebühren, Güterversicherung)	44,60 DM	82,60 DM	23,80 DM	
reduzierter Frachterlös	327,-- DM	606,-- DM	175,-- DM	1108,-- DM
Ladungsabhängige Treibstoffkosten				
U - X	150 km · 12t · 0,75 DM = 13,50 DM			
X - Y	60 km · 8t · 0,75 DM = 3,60 DM			
Y - Z	90 km · 0t · 0,75 DM = -			
Z - U	120 km · 2t · 0,75 DM = 1,80 DM	18,90 DM		
kilometerabhängige Treibstoffkosten				
420 km · 20,-- DM/100 km		84,-- DM		
Σ Treibstoffkosten		<u>102,90 DM</u>		102,90 DM
Zeitberechnung:				
Lenkzeiten: (2,5 + 1 + 1,5 + 2)h	= 7,0h			
Unterwegs-Standzeiten 3 x 0,5h	= 1,5h			
" Pausen	= 1,0h			
Σ Abwesenheit	= 9,5h	A'spesen 16,-- DM		
Hofzeiten 2 x 0,25h	= 0,5h			
Arbeitszeit	= 9,0h	Überstd. 17,-- DM		17,-- DM
UMLAUFS- oder TOURENBEITRAG				972,10 DM
kilometer-fixierter Mindest-Deckungsbeitrag				
420 km x 22,-- DM/100 km		92,40 DM		92,40 DM
UMLAUFS- oder TOURENOBERSCHUSS				879,70 DM

Abb. 10: Stufenweise Abrechnung einer Tour (Umlaufs-Gesamtrechnung U-X-Y-Z-U)

ein-eindeutige Zuordnung

Auftrag A Auftrag B Auftrag C

↓ ↓ ↓

Tour Tour Tour

U-X-U U-Y-U U-Z-U

Σ Auftragsbeiträge (A,B,C)

= Σ Tourenbeiträge { U-X-U }
 { U-Y-U }
 { U-Z-U }

eindeutige Zuordnung

Auftrag A Auftrag B Auftrag C

↓ ↓ ↓

Tour

U-X-Y-Z-U

Tourenbeitrag (U-X-Y-Z-U)

	getrennter Transport (1) von A, B und C	verbundener Transport
Fahrzeug-km	900 km	420 km
Fahrerstunden	18 h	9 h
reduzierter Frachterlös	1.108,-- DM	1.108,-- DM
./ Treibstoffkosten t- und km-abhängig	17,10 DM	18,90 DM
km-abhängig	180,-- DM	84,-- DM
Abwesenheitsspesen	36,-- DM	16,-- DM
Überstunden (3)	?	17,-- DM
UMLAUFS-BEITRAG (2)	874,90 DM	972,10 DM
./ km-fixierte Mindest-Deckungsbeiträge	198,-- DM	92,40 DM
UMLAUFS-ÜBERSCHUSS (2)	676,90 DM	879,70 DM
<u>Umlaufbeitrag</u>	48,60 $\frac{DM}{h}$	108,-- $\frac{DM}{h}$
<u>Fahrerstunde</u>		
<u>Umlaufüberschuss</u>	37,60 $\frac{DM}{h}$	97,74 $\frac{DM}{h}$
<u>Fahrerstunde</u>		

- (1) Einzeldaten der Aufträge A, B und C siehe Abbildung 12
- (2) Beim getrennten Transport (ohne Rückfracht) sind die Auftragsbeiträge (-überschüsse) mit den Umlaufbeiträgen (-überschüssen) identisch
- (3) Beim getrennten Transport ohne Kenntnis der Auftragsdisposition im Rahmen des Auftragsprogrammes nicht genau zu ermitteln

Abb. 11: Vergleich des getrennten Transports der Aufträge A, B und C mit dem verbundenen Transport in einer Tour

	A allein	B allein	C allein	A + B + C Jew. allein
Ladungs-tkm	4t·150km = 600tkm	3t·180km = 540tkm	2t·120km = 240tkm	2280tkm
Fahrzeug-km	300km	360km	240km	900km
Arbeitszeit	6 h	7 h	5 h	18 h
davon Überstunden	-	-	-	?
Abwesenheitszeit	6,5 h	7,5 h	5,5 h	19,5 h
=====				
reduzierter Erlös	DM 327,--	DM 606,--	DM 175,--	DM 1.108,--
./. ladungsabhängige Treibstoffkosten	4,50	10,80	1,80	17,10
./. km-abh. Treibstoffk.	60,--	72,--	48,--	180,--
./. Abwesenheitskosten	10,--	16,--	10,--	36,--
./. Überstunden	-	-	-	?
AUFTRAGSBEITRAG	252,50	507,20	115,20	874,90
./. km-fixiert. Mindest- Deckungsbeitrag	66,--	79,20	52,80	198,--
AUFTRAGSÜBERSCHUSS	186,50	428,--	62,40	676,90
=====				
Auftragsbeitrag Je Fahrerstunde	42,08 $\frac{DM}{h}$	72,45 $\frac{DM}{h}$	23,04 $\frac{DM}{h}$	48,60 $\frac{DM}{h}$
Auftragsüberschuss Je Fahrerstunde	31,08 $\frac{DM}{h}$	61,15 $\frac{DM}{h}$	12,48 $\frac{DM}{h}$	37,60 $\frac{DM}{h}$

Abb. 12: Auftragsbeiträge und -überschüsse der Aufträge A, B und C bei Abwicklung in getrennten Touren (Jeweils in einer gesonderten Schicht)

in der Mathematik als „eindeutig“ oder „umkehrbar eindeutig“ bezeichnet. Auftragsbeitrag und Tourenbeitrag sind daher identisch.

Anders bei der Auftragsdurchführung in einer *gemeinsamen Tour*. Hier entstehen die fahrzeugeinsatzspezifischen Kosten für die Tour oder für alle Aufträge gemeinsam. Man kann zwar jeden Auftrag der Tour, nicht aber die Tour „anteilig“ jedem Auftrag zuordnen; diese „Einbahnstraße“ bezeichnet man in der mathematischen Logik als (nicht umkehrbare) „eindeutige Zuordnung“.

Deshalb kann man beim verbundenen Transport zwar die reduzierten Frachterlöse (= Deckungsbeiträge) der einzelnen Aufträge *zusammenfassen, um die gemeinsamen*

Toureneinzelkosten zu decken. Es gibt jedoch (wie angedeutet) kein logisch-zwingendes Kriterium und keinen „Schlüssel“, nach dem man umgekehrt diese tourenspezifischen Kosten auf die einzelnen Aufträge verteilen könnte.

Beim Vergleich zwischen verbundenem und getrenntem Transport muß daher jeweils auf die einander entsprechende Gesamtheit der getrennten Transporte abgestellt werden.

Wie aufgrund der Auftragskonstellation nicht anders zu erwarten, wird bei der Zusammenfassung zu einer Tour ein höherer Deckungsbeitrag (= Tourenbeitrag) erzielt als bei getrennten Transporten. Entsprechendes gilt für die Überschüsse nach km-fixierten Mindest-Deckungsbeiträgen.

Deutlicher wird freilich der Unterschied, wenn wir auch die dafür erforderliche *Dauer des Einsatzes* von Fahrzeug und Fahrer berücksichtigen. Im Hinblick auf zusätzliche alternative Aufträge und die generell bestehende zeitliche Beschränkung der Lenk- und Arbeitszeit des Fahrers, sollte man stets auch die spezifischen auf den (potentiellen) Engpaß Fahrerstunde bezogenen Deckungsbeiträge bzw. Überschüsse (nach kilometerfixierten Mindest-Deckungsbeiträgen) ermitteln. Wie aus *Abbildung 11* zu sehen ist, läßt sich beim verbundenen Transport mehr als das Doppelte an Umlaufsbeitrag und -Überschuß je Fahrerstunde erzielen als bei getrennten Transporten. Hinzu kommt, daß die eingesparte Zeit von 9 Stunden für andere Einsätze – und damit zusätzliche Deckungsbeiträge – genutzt werden könnte.

Ähnliche Überlegungen sind bei der Wahl zwischen alternativen Aufträgen oder Touren anzustellen. Dabei gilt es, die meist fehlende oder beschränkte zeitliche und mengenmäßige Teilbarkeit der Aufträge und Einsätze sowie sonstige Restriktionen zu berücksichtigen.

Nicht jeder wird meine These, daß im Falle des verbundenen Transports, keine der fahrzeugeinsatzspezifischen Kosten den einzelnen zu einer Tour zusammengefaßten Aufträgen zurechenbar seien, akzeptieren wollen. Könnte man nicht – so wäre etwa einzuwenden – fragen:

- Wie würde sich der Touren-Beitrag oder -überschuß ändern, wenn man einen der drei Aufträge nicht angenommen hätte?
- Könnte man nicht wenigstens diese Änderung der tourenspezifischen Kosten dem betrachteten Auftrag eindeutig zurechnen?

Eine derartige „*Wegfallrechnung*“ setzt erstens die übrigen Aufträge als gegeben voraus. Zweitens kann man bei der nachträglichen Analyse eine derartige Differenzrechnung alternativ für jeden der verbundenen Aufträge aufmachen. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Ergebnisse einer solchen „*Gleichbehandlung*“ aller verbunden abgewickelter Aufträge nicht addierbar sind, sondern sich gegenseitig ausschließen.

Es kann eben jeweils nur ein einziger Auftrag „*Grenzauftrag*“ sein, und zwar nicht der zuletzt ausgeführte, sondern der zuletzt disponierte oder zu disponierende. Immerhin kann man eine solche Differenzbetrachtung transportverbundener Aufträge zu einer sequentiellen Analyse weiter entwickeln.

2.3. Die Bedeutung der Entscheidungssequenz

In Verkehrsbetrieben wird bekanntlich über die Annahme von Aufträgen in der Regel sequentiell entschieden. Im Zeitpunkt der Entscheidung über die Annahme eines Auftrags ist meist noch offen, welchen Fahrzeugen die Aufträge zugewiesen und in welcher Reihenfolge sie abgewickelt werden – soweit dem keine zeitlichen Restriktionen und sonstige Beschränkungen (z. B. Zusammenladeverbote) entgegenstehen. Über die Zusammenfassung zu Touren und Tourenfolgen wird im Interesse einer möglichst günstigen Leistungserstellung erst entschieden, wenn eine Reihe von Aufträgen vorliegt.

Bei den folgenden Überlegungen wird – wie in den bisherigen Beispielen – vereinfachend vorausgesetzt, daß die Art des Fahrzeugs festliege und die Möglichkeit der Tourenablaufplanung nicht durch Terminrestriktionen bereits angenommener Aufträge eingengt werde.

Die weitere Vorgehensweise beruht auf folgenden Überlegungen: Bei der Entscheidung über die Annahme des ersten Auftrags ist ungewiß, ob ein weiterer Auftrag eingeht, der im Verbund mit dem ersten abgewickelt werden kann. Daher empfiehlt es sich, *vorsorglich* zu prüfen, ob dieser Auftrag auch dann einen positiven Deckungsbeitrag bzw. Überschuss bringen würde, falls er allein ausgeführt werden müßte.

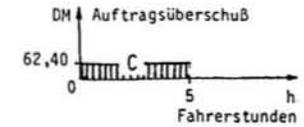
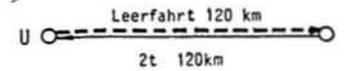
Für die Auftragsannahme ist das freilich kein ausreichendes Kriterium, weil mit der Annahme und Durchführung eines jeden Auftrags die Ausgangssituation für die Übernahme weiterer Aufträge verändert wird. Im Hinblick auf eventuelle höhere Deckungsbeiträge (Überschüsse) gilt es daher, vor der Annahmemeinung die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, mit der im Falle der Auftragsannahme einerseits zeitlich und kapazitiv konkurrierende Aufträge mit höheren Deckungsbeiträgen (Überschüssen) entgehen und andererseits zeitlich, örtlich und gütermäßig-kapazitiv komplementäre Aufträge mit zusätzlichen Deckungsbeiträgen gewonnen werden können. Die Auftragsannahmemeinung muß also grundsätzlich auch im Hinblick auf die Folgen für die Fahrzeug- und Personaleinsatzdispositionen, insbesondere die Möglichkeiten der Tourenbildung gesehen werden.³²⁾

Entsprechend ist zu verfahren, wenn nachfolgend über die Annahme eines weiteren Auftrags zu entscheiden ist. Es ist also eine ganze Kette von Differenzbetrachtungen anzustellen und dabei schrittweise die günstigste Art der verbundenen Abwicklung zu prüfen. Wird – wie nach dem ersten Auftrag – nach jedem weiteren ein „Zwischenabschluß“ gemacht, handelt es sich zugleich um eine abschließende Ermittlung des Tourenbeitrags bzw. -überschusses für den Fall, daß man den nächsten anstehenden Auftrag zurückweist und keine weiteren Aufträge mehr gewonnen werden können.

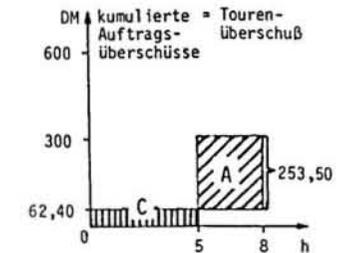
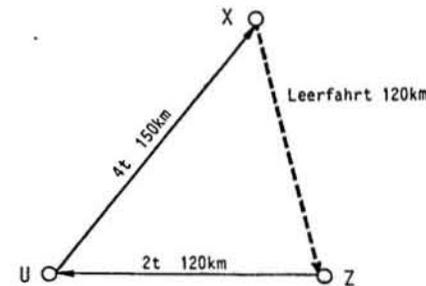
Das Prinzip dieser Vorgehensweise ist in *Abbildung 13* an den Auswirkungen der sequentiellen Annahme der Aufträge C, A und B auf den jeweils optimalen Tourenablauf und die (kumulierten) Auftragsüberschüsse veranschaulicht. Das Zustandekommen der

32) Im einzelnen vgl. z. B. Meier-Sieden, M., Die Auftragsauswahl in Betrieben des Gelegenheitsverkehrs, Göttingen 1973; Roblffs, J., Fahrzeugeinsatzplanung im Gelegenheitsverkehr, Göttingen 1976; Diederich, H., Verkehrsbetriebslehre, Wiesbaden 1977; Brauer, K.M., Betriebswirtschaftslehre des Verkehrs, 3. Teil: Leistungserstellung der Verkehrsbetriebe, Berlin 1983, S. 82–105.

1. Annahme von C als zunächst einzigen Auftrag



2. Annahme von A als ergänzenden 2. Auftrag



3. Annahme von B als ergänzenden 3. Auftrag

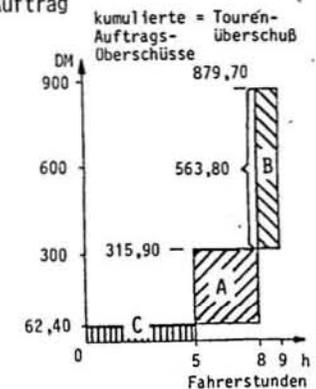
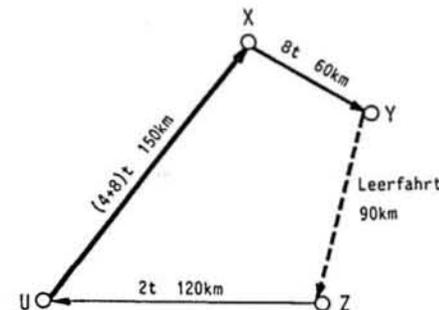


Abb. 13: Tourenablauf und Tourenüberschuss bei sequentieller Entscheidung über die Annahme der Aufträge C, A und B

	C allein		A nach C		B nach A und C	
	Δ Mengenkomp.	Δ DM	Δ Mengenkomp.	Δ DM	Δ Mengenkomp.	Δ DM
reduzierter Erlös		175,--		327,--		606,--
Ladungsabhängige Treibstoffkosten	120km·2t	- 1,80	150km·4t	- 4,50	150km·8t + 60km·8t	- 12,60
km-abh. Treibstoffkosten	240km	- 48,--	150km	- 30,--	30km	- 6,--
Arbeitszeit davon Überstunden	5h		8h-5h=3h		9h-8h=1h 1h	- 17,--
Abwesenheit/Spesen	5,5h	- 10,--	8,5statt5,5	- 6,--	9,5statt8,5	-
AUFTRAGSBEITRAG		115,20		286,50		570,40
km-fixierter Mindest-Deckungsbeitrag	240km	- 52,80	150km	- 33,--	30km	- 6,60
AUFTRAGSÜBERSCHUSS		62,40		253,50		563,80
Auftragsbeitrag Führerstunden		23,04		95,50		570,40
Auftragsüberschuss Führerstunden		12,48		84,50		563,80

Abb. 14: Sequentielle Ermittlung der Auftragsbeiträge und -überschüsse bei verbundener Beförderung in einer gemeinsamen Tour

Zahlen ist aus *Abbildung 14* zu ersehen. Aus Raumgründen wird davon abgesehen, für andere Sequenzen die Errechnung der Auftrags- bzw. Tourenbeiträge und -überschüsse der Auftragsannahmeentscheidungen vorzuführen.³³⁾

Diese Fallstudie aus unserem gegenwärtigen – von der DFG geförderten – Forschungsgebiet „Dynamisierung des Rechnungswesens“ läßt einige allgemeine theoretische *Folgerungen* zu:

- Die Berücksichtigung der Entscheidungssequenz führt bei verbundener Leistungserstellung zu differenzierteren Aussagen über die Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen auf das „Mengengerüst“ und die Änderungen der monetären Zielbeiträge als die übliche statisch-simultane Betrachtung.
- Die Berücksichtigung der Entscheidungssequenz ermöglicht vor allem eine weitergehende Zurechenbarkeit zusätzlicher Ausgaben bzw. Kosten und Güterverbräuche auf verbundene Leistungen. Das gilt sowohl für alternative als auch kumulative Gemeinkosten bzw. -ausgaben und – in Analogie dazu – sicher auch für alternativ oder kumulativ verbundene Erlöse.
- Die durch eine der Entscheidungssequenz folgende Zurechnung auf verbundene Leistungen oder Maßnahmen gewonnenen Aussagen über die Vorteilhaftigkeit der einzel-

33) Im einzelnen s. *Riebel, P.*, Überlegungen und Fallstudien zur Bedeutung der Entscheidungssequenz für die Unternehmenrechnung, in: *Stöppler, S.* (Hrsg.), *Information und Produktion*, Festschrift zum 60. Geburtstag von Waldemar Wittmann, Stuttgart 1985.

nen Leistungen oder Maßnahmen gelten für diese nicht isoliert und generell, sondern nur im Rahmen des jeweiligen Verbundes und der jeweiligen Entscheidungssequenz.

Auf sehr viel weiterreichende unternehmenspolitische Folgerungen z. B. für die Preis-, Angebots- und Akquisitionspolitik soll an dieser Stelle verzichtet werden, sie bedürfen zudem noch einer weiteren Fundierung durch anders strukturierte und komplexere Fallstudien.

3. Zurechnungsprobleme bei alternativer Auftragszuordnung auf substituierbare Fahrzeuge

Viele Betriebe können bei der Ausführung von Transportaufträgen zwischen mehreren Fahrzeugen wählen, die einander substituieren können.

Welche Aufträge einem bestimmten Fahrzeug zugewiesen werden, hängt hier einerseits von der weitgehend zufälligen Struktur des Auftragsbestandes und den jeweils noch verfügbaren Fahrzeugen, andererseits von der Vorgehensweise bei der Tourenplanung ab. Soweit hier eindeutige Beziehungen zwischen Auftragsannahme und Fahrzeugzuweisung fehlen, wäre eine auf die *einzelnen* Fahrzeuge abstellende Deckungsbeitragsrechnung irreführend. Vielmehr sind hier grundsätzlich die Gesamtheit derartiger Aufträge und das Tourenprogramm aller betroffenen Fahrzeuge gegenüberzustellen, um einen gemeinsamen Deckungsbeitrag des Auftrags- und Tourenprogramms zu ermitteln.³⁴⁾ Auch hier erlaubt nur die sequentielle Analyse eine differenziertere Zurechnung. Es würde hier zu weit führen, auf diese interessanten aber komplexen Probleme näher einzugehen.

4. Fortführung zu mehrstufigen, periodengebundenen und periodenübergreifenden Planungs- und Kontrollrechnungen

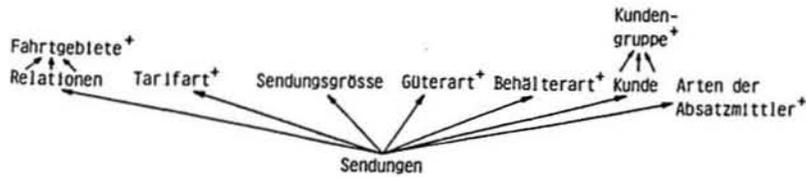
4.1. Das Prinzip der mehrstufigen Abdeckung von Gemeinkosten

Wie am Beispiel der Tourenrechnung veranschaulicht, tritt an die Stelle einer fragwürdigen Schlüsselung von Gemeinkosten das Deckungsprinzip. Ausgangsbasis ist die grundsätzliche Forderung, daß jede Leistung oder Leistungskombination mindestens ihre zusätzlichen Kosten selbst trägt, da es sonst wirtschaftlich nicht vernünftig wäre, sie zu erbringen (Ausnahmen sind nur in besonderen Fällen des Leistungsverbundes vertretbar). Weil gemeinsame oder verbundene Kosten für mehrere Leistungen oder Nutzungspotentiale gemeinsam disponiert oder in Kauf genommen werden, sind sie auch durch diese Leistungen gemeinsam zu decken.

Ausgehend von den Auftrags- oder Tourenbeiträgen kann man durch stufenweises oder zeitlich-fortschreitendes Zusammenfassen und Abdecken gemeinsamer Kosten oder Ausgaben eine *Fülle differenzierter Erfolgsquellenanalysen* und *-prognosen* für Kontroll- und Planungsaufgaben durchführen.

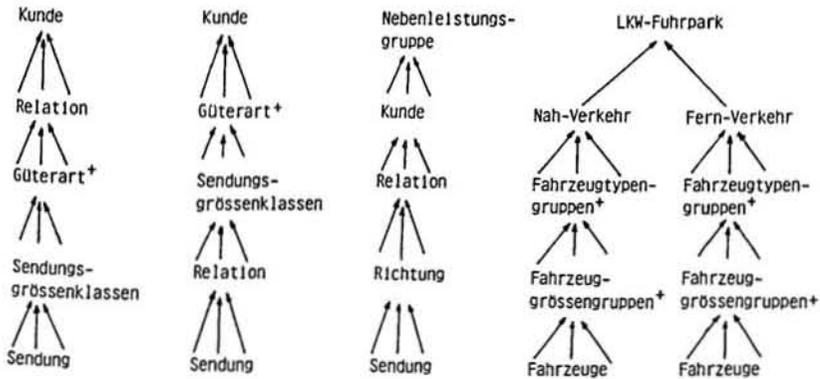
Dabei kann man – wie in *Abbildung 15* angedeutet – für Teilmarktanalysen nach allen interessierenden Merkmalen der Transportaufträge differenzieren: z. B. nach Richtungen,

34) Siehe im einzelnen *Männel, W.*, *Moderne Fahrzeugkostenrechnung*. . . a.a.O.



+ mit mehrdimensionalen Differenzierungsmöglichkeiten

Abb. 15: Beispiele für alternative Gruppierungsmerkmale der Sendungen



+ mit mehrdimensionalen Differenzierungsmöglichkeiten

Abb. 16: Beispiele für problemorientierte Bezugsobjekthierarchien in einer Spedition

Relationen und Fahrtgebieten, Tarifen, Sendungsgrößen, Güterarten³⁵⁾, Arten von Handhabungseinheiten und Behältern, Arten transportverbundener Dienstleistungen („Nebenleistungen“), Kunden und Kundengruppen, Arten der Absatzmittler und Methoden der Auftragsgewinnung. Man kann aber auch nach Merkmalen der Auftragsabwicklung, nach eingesetzten Betriebsmitteln, nach der Art der Kooperation und Partner bei mehrstufigen Transporten oder dem Einsatz von Subunternehmern gliedern.

35) Zur Systematisierung der Güterarten vgl. vor allem Dumke, H.-P., Kostenoptimaler... a.a.O., S. 30; Staab, G., Die Anwendung der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung in Lagerhaus- und Umschlagsbetrieben (= GVB-Schriftenreihe, Heft 15), Frankfurt 1984, S. 12; Riebel, P., Die Kooperation zwischen Verladern und Verkehrsbetrieben als betriebswirtschaftliche Herausforderung (GVB-Schriftenreihe, Heft 17), Frankfurt 1985, (in Druck).

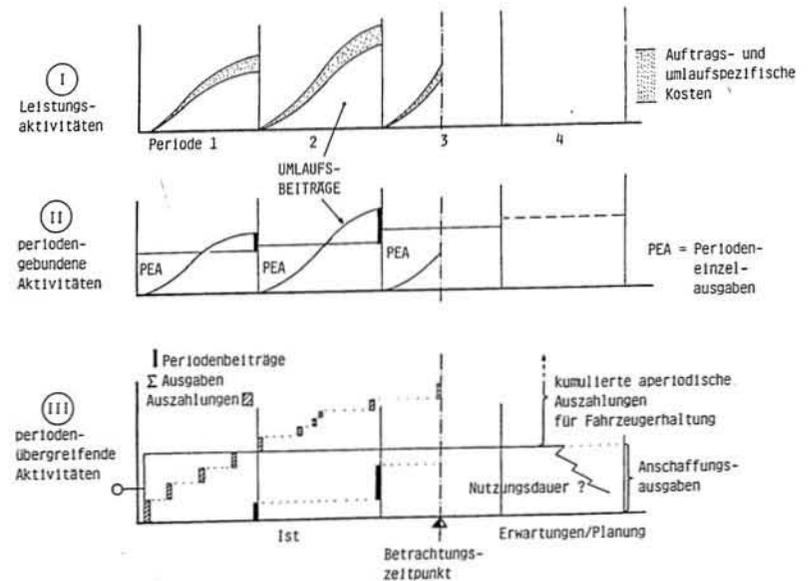


Abb. 17: Zerlegung der fahrzeugbezogenen Gesamtbetrachtung in Aktivitätsschichten

Hierbei handelt es sich gleichsam um alternative partielle „Sichten“, in denen versucht wird, das zeitlich fortschreitende, vieldimensional vernetzte Gefüge von Entscheidungen, Maßnahmen und sonstigen Ereignissen des Unternehmensgeschehens anschaulich abzubilden. Mit der Situation und Fragestellung wechseln die zu betrachtenden Entscheidungsfelder und damit die hierarchisch oder sequentiell zu wählenden Sichten, die bedeutsamen „Bezugsobjekte“ und Merkmale sowie die Reihenfolge ihrer Verknüpfung (siehe *Abbildung 16*). Dabei kann das Untersuchungsfeld auch schrittweise ausgeweitet werden.

Veranschaulicht wird dies am Beispiel der für mehrere Touren gemeinsam anfallenden fahrzeugspezifischen Kosten oder Ausgaben im Rahmen einer „mitlaufenden“ Investitionskontrolle (*Abbildung 17*): Im ersten Schritt werden die Tourenbeiträge periodenweise kumuliert (Aktivitätsschicht I), um im zweiten Schritt periodengebundene Ausgaben für die spezifische Betriebsbereitschaft der Periode (= Perioden-Einzelausgaben oder -kosten), soweit sie das betrachtete Fahrzeug speziell betreffen – z. B. für Fahrpersonal, Kraftfahrzeugsteuern und -versicherungen, periodengebundene Wartung und Inspektion –, abzudecken.

Aus dem verbleibenden Deckungsbeitrag der betrachteten Periode, etwa dem „Jahresbeitrag“, werden dann im dritten Schritt Gemeinausgaben mit überperiodischer oder periodenübergreifender Bindungs- oder Nutzungsdauer gedeckt. Im Rahmen einer Investitionskontrolle gehören zu den letzteren beispielsweise die Ausgaben für Anschaffung und Zulassung des Fahrzeugs, Reifenersatz, sonstige Ersatzteile, Reparaturen, Umbauten etc. Den dritten Schritt kann man je nach Fragestellung modifizieren und dabei beispielsweise zuerst die noch mit Auszahlungen verbundenen – oder auch nur die noch disponiblen – Kosten (Ausgaben) abdecken.

Wie *Abbildung 17* zeigt, kann man in jedem beliebigen Zeitpunkt Rückschau halten, die restliche Reichweite der mittel- und längerfristig geschaffenen Potentiale abschätzen und „nahtlos“ Prognoserechnungen für unterschiedliche Planungsalternativen und Erwartungen anschließen lassen.

Man kann diesen Ansatz auch auf Teilmärkte, sonstige Tätigkeitsbereiche oder das gesamte Unternehmen anwenden und als eine (ausschnittsweise) sequentielle Annäherung an eine Totalrechnung³⁶⁾ – von der Gründung bis zur Liquidation – ansehen.

Diese in *Abbildung 17* veranschaulichte Vorgehensweise entspricht einer Auflösung der Gesamtplanung in Hauptschichten, wie sie in ähnlicher Weise E. Gutenberg (der vier Schichten unterscheidet) vornimmt³⁷⁾

Auf die Abdeckung der Schichten 2 und 3 zielt auch die Vorgabe von Deckungsbudgets, die als nächstes erörtert werden soll.

36) Vgl. vor allem Riebel, P., Einzelkosten... a.a.O., S. 97, Riebel, P., Teilkostenrechnung... a.a.O., Sp. 1559.

37) Siehe Gutenberg, E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Dritter Band: Die Finanzen, 8. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1980, S. 16 ff.

4.2. Deckungsbudgets

Die Deckungsbeitragsrechnung kann unbedarfte Verkäufer – vor allem wenn sie am Umsatz interessiert sind – zu einer nachgiebigen Preispolitik (mit Tendenz zur Preisuntergrenze) verführen. Um dem entgegen zu wirken und trotzdem eine elastische Angebotspolitik zu ermöglichen, sollten – in der Regel für ein Jahr – Deckungsbudgets für das Gesamtunternehmen als periodenbezogene Zwischenziele vorgegeben werden. Außer dem direkten Deckungsbedarf der Budgetperiode muß auch eine aus der überjährigen Planung, insbesondere der Finanzplanung, abgeleitete „Deckungslast“ an Perioden-Gemeinausgaben getragen werden. Mit den selbständig im Markt operierenden Geschäftsbereichen sind untereinander abgestimmte Bereichsbudgets zu vereinbaren.

Inhaltlich kann die Deckungslast am künftigen Finanzbedarf orientiert sein (*Abbildung 18*). Sie enthält dann alle bereits disponierten und erwarteten Auszahlungsverpflichtungen, die durch die Deckungsbeiträge der abgesetzten Leistungen hereingeholt werden sollen, einschließlich solcher für Investitionen, Darlehensrückzahlungen, Gewinnausschüttung, Gewinnsteuern u. a.

Werden die fortlaufend kumulierten Deckungsbeiträge der Aufträge und Touren dem Deckungsbudget gegenübergestellt, gelangt man zu einer kontinuierlichen Erfolgsrechnung. Bei Saisonschwankungen projiziert man den Saisonkorridor in das Deckungsbudget, so daß die Eignung als Frühwarnsystem erheblich verbessert wird.

Stellt man primär auf Zahlungsrythmen oder -termine ab, wird die Beurteilung der Liquiditätsentwicklung erleichtert.

Zur frühzeitigen Abschätzung des Jahreserfolgs und Vorbereitung der materiellen Jahresabschlußpolitik kann die Deckungslast auch nach Aufwandskategorien interpretiert werden (*Abbildung 19*).

Das ist nur ein kleiner Ausschnitt aus den Möglichkeiten der Ausgestaltung und Auswertung.³⁸⁾

4.3. Die Grundrechnungen als vielfältig auswertbare Datenbasis

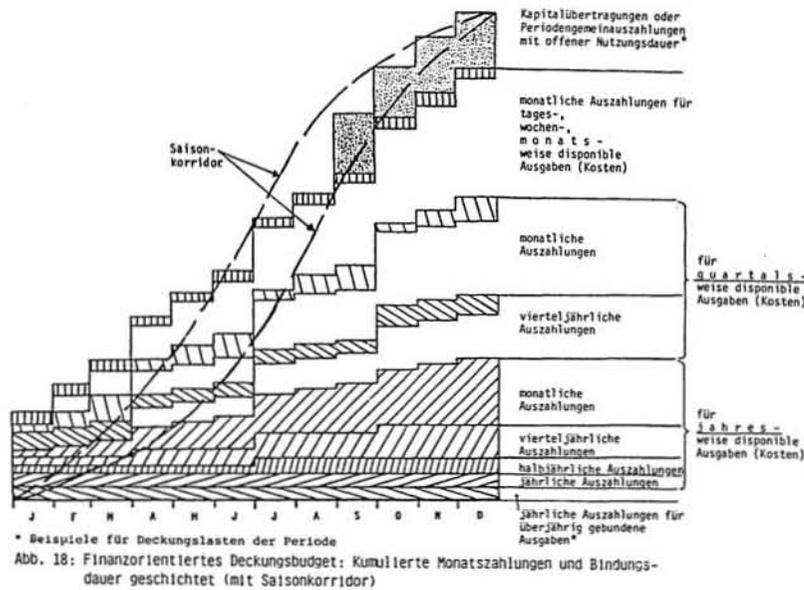
Die Vielfalt der Planungs- und Kontrollprobleme und die Unterschiedlichkeit ihrer Anforderungen verlangen nach einer vielfältig auswertbaren, möglichst zweckneutralen Datenbasis, die nach Schmalenbach³⁹⁾ als „Grundrechnung“ bezeichnet wird. In Anlehnung an Schmalenbach und den Amerikaner Goetz⁴⁰⁾ lassen sich folgende Gestaltungsregeln formulieren:⁴¹⁾

38) Eine ausführliche Darstellung findet sich bei Riebel, P., Deckungsbudgets als Führungsinstrument, in: Der Betrieb, 34. Jg. (1981), S. 649–658, wiederabgedruckt in: Riebel, P., Einzelkosten... a.a.O., Beitrag 21.

39) Vgl. Schmalenbach, E., Pretiale Wirtschaftslenkung, Bd. 2, Pretiale Lenkung des Betriebes, Bremen-Horn 1948, S. 66–68; Schmalenbach, E., Kostenrechnung und Preispolitik, 8. Aufl., Köln und Opladen 1963, S. 268–271, 282, 426, 434.

40) Vgl. Goetz, B. E., Management Planning and Control, A Managerial Approach to Industrial Accounting, New York/Toronto/London 1949, insbes. S. 116–164.

41) Nach Hummel, S., Wirklichkeitsnahe Kostenerfassung, Berlin 1970, S. 119; Riebel, P., Zum Konzept... a.a.O., S. 795 f.; Riebel, P., Gestaltungsprobleme... a.a.O., S. 863 f.



Problem einer entscheidungsorientierten Kosten-, Erlös- und Deckungsbeitragsrechnung 33

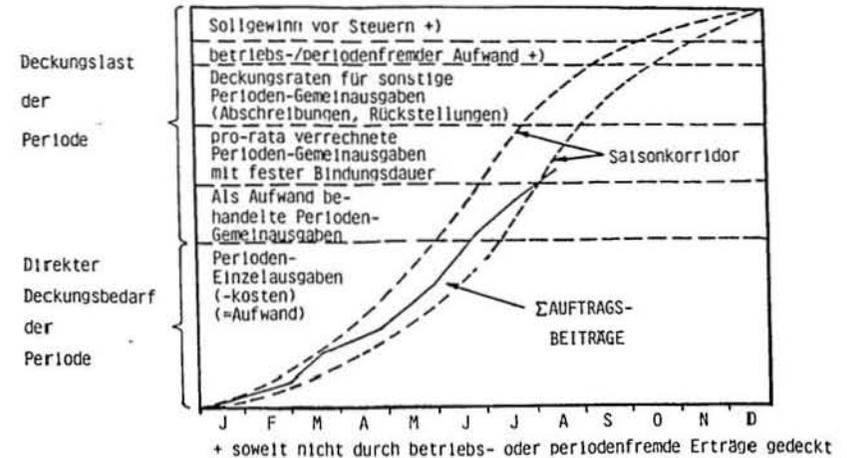


Abb. 19: Aufwandorientiertes Deckungsbudget und kontinuierliche "Erfolgs"rechnung in einem Saisonbetrieb

1. Es dürfen keine heterogenen Elemente zusammengefasst werden, die man bei der Auswertung gesondert braucht.
2. Homogene Zahlungsgrößen (z. B. die originären Einzelerlöse, Einzelkosten usw. eines Untersuchungsobjektes) dürfen nicht willkürlich aufgeteilt oder verrechnet werden (das entspricht dem Verbot der Schlüsselung echter Gemeinkosten und Gemeinerlöse).
3. Alle Rechnungsgrößen sind bei dem jeweils speziellsten Bezugsobjekt (als dessen originäre Einzelkosten usw.) zu erfassen und auszuweisen.
4. Die Geld- und Mengengrößen der Grundrechnung sind durch alle Merkmale ergänzend zu kennzeichnen, die für Auswertungen von Bedeutung sind.

Von der zweiten Grundregel abgesehen, lassen sich diese Forderungen nicht mit konventionellen Verfahren, sondern nur mittels Datenbanken mit vertretbarem Aufwand voll erfüllen. Besonders vielfältige Verknüpfungen erlaubt das Relationenkonzept in Verbindung mit Methodenbanken, Auskunfts- und Benutzerführungssystemen.⁴²⁾

Als Beispiel für einen verdichteten Auszug aus der Grundrechnung in Tabellenform⁴³⁾

42) Im einzelnen siehe Riebel, P., Sinzig, W., Zur Realisierung der Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung mit einer relationalen Datenbank, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 33. Jg. (1981), S. 457-481; Sinzig, W., Datenbankorientiertes Rechnungswesen, 2. Aufl., Berlin/Heidelberg/New York 1985.

43) Vgl. hierzu allgemein: Riebel, P., Gestaltungsprobleme... a.a.O., S. 876; speziell für einen Speditionsbetrieb (aufbauend auf den Gedanken von Riebel) vgl. Schott, K., Deckungsbeitragsrechnung in der Spedition. Eine Fallstudie zur Weiterentwicklung der Kosten-, Erlös- und Ergebnisrechnung in der Spedition unter besonderer Berücksichtigung des Sammelgutverkehrs mit Lastkraftwagen, 2. Aufl., Hamburg 1975, S. 76-79.

Kostenkategorien		Kostenarten (Beispiele)		Bezugsobjekte	Kostenstellen	Leistungen	Kunden	Teilmärkte	usw.
Leistungs-kosten	extern disponierte sendungsbedingte	rein gewichtsabhängig	Rollgeld, Empfangsspediteurvergütung, Hafengebühren						
	intern disponierte ausführungsbedingte	gewichts- und entfernungsabhängig	Bahnstückgutfracht Weiterleitungsfrachten						
		sendungsindividuell	Vorleistungen Zusatzleistungen	Spediteurnachnahmen Behältermieten					
	Leistungs-kosten	intern disponierte ausführungsbedingte	fremdausführungsbedingt	Fremdfrachten RKT * Binnenschifffahrt					
eigenausführungsbedingt			bruttofrachtabhängig	KVO / CMR SVG / TKF WAV					
			last- u./o. km-abhängig	Treibstoff					
fahrtindividuell			strecken-spezifisch	Strassenbenutzungsgebühren Fahrgeld					
	arbeits- u. abwesenheitszeitabhängig	Überstunden Tagesspesen Übernachtungsspesen							

Abb.20: Beispiel für die Gliederung der Leistungskosten in der Grundrechnung einer Spedition (Teil der verdichteten Grundrechnung in Tabellenform)

Probleme einer entscheidungsorientierten Kosten-, Erlös- und Deckungsrechnung 35

Kostenkategorien		Kostenarten (Beispiele)		Bezugsobjekte	Kostenstellen	Leistungen	Kunden	Teilmärkte	usw.
B E R E I T S C H A F T K O S T E N	Peri-oden-rechnung	G E M E I N K O S T E N	G E M E I N K O S T E N	frei disponibel	Strom zum Arbeitspreis				
				stundenw. disponibel	Überstundenlöhne				
				schichtenw. disponibel	Schichtzuschläge				
				tagesw. disponibel	Tagespauschale im Nahverkehr	Zusätzlich nach Erfassungsweise, Kündigungsfristen, Zahlungsterminen und Zahlungsweise auflieferbar			
				unechte Monats-GK	Büroverbrauchsmaterial				
				monatsw. disponibel	monatl. kündbare Mieten				
				E-Aggregierte Monats-EK					
				quartalsw. disponibel	Gehälter bei viertelj. Kündigung				
				E-Aggregierte Quartals-EK					
				Jahresweise disponibel	Vermögenssteuer, Tantiemen				
E-Aggregierte Jahres-EK									
D I S P O N I E R T E N	Über-jähr-ige Zeit-ab-lauf-rechnung	D I S P O N I E R T E N	D I S P O N I E R T E N	Jah-res-Gemein-Kosten (1)	Abgrenzungspflichtige Jahres-Gemeinkosten Ausgabenverpflichtung während gesamter Nutzungsdauer	Mietvertrag 1.10. - 30.9.			
					5-Jahres-Vertrag				
E N D K O S T E N	lauf-rechnung	D I S P O N I E R T E N	D I S P O N I E R T E N	Nicht aktivierungspflichtige Jahres-Gemeinausgaben (Kosten)	Kauf geringwertiger Wirtschaftsgüter Werbeausgaben				
				Aktivierungspflichtige Jahres-Gemeinausgaben	Grossreparatur Fahrzeugkauf				

(1) mit von vornherein festliegender Periodenlänge oder Zahl von Perioden
(2) mit zunächst unbestimmter Länge oder Zahl von Nutzungsperioden

Abb. 21: Schema einer (verdichteten) Grundrechnung der Bereitschaftskosten

ist der vereinfachte Entwurf einer Sammlung der Kosten für eine Kraftwagenspedition (*Abbildungen 20 und 21*) beigefügt. Die Hauptgliederung der Vorspalten entspricht den drei Aktivitätsschichten von *Abbildung 17*. Innerhalb dieser Schichten sind die Kostenarten nach „Kategorien“ gruppiert, die aufgrund der Disponierbarkeit, der Abhängigkeit, der zeitlichen Bindungsdauer und der Aktivierungspflichtigkeit beim Jahresabschluß gebildet sind. Zusätzlich kann noch nach den Zahlungsrythmen (siehe auch *Abbildung 18*), der Erfassungsweise und weiteren Merkmalen differenziert werden. Bei den Bezugsobjekten wird nicht nur auf Kostenstellen und Leistungen (Kostenträger) abgestellt, sondern z. B. auch auf Kunden, Teilmärkte, Geschäftsarten, Funktionen und weitere Klassifikationskriterien.

Die Grundrechnung kann sowohl Ist- als auch Zukunftsdaten enthalten. Die eingangs benutzten Ausgangsinformationen in den *Abbildungen 2 bis 5* sind zugleich Beispiele für Strukturdaten einer zukunftsbezogenen Grundrechnung.

5. Ergebnisse und offene Probleme

Lassen Sie mich abschließend die wichtigsten Ergebnisse zusammenfassen und einige Probleme aufwerfen:

Die Umgestaltung des Rechnungswesens zu einem entscheidungsorientierten Führungsinstrument setzt vor allem ein Denken in Alternativen und Änderungen voraus.

Die Kostenrechnung – und ebenso die anderen Rechnungszweige – sind von Grund auf neu zu strukturieren. Dabei ist zwischen der auf die einzelnen Ereignisse abstellenden zweckneutralen Datenbasis und einer Vielzahl von zweckgerichteten Auswertungsrechnungen zu differenzieren.

Wenn auch die Entwicklung derartiger Konzepte schon weit vorangeschritten ist, so sind doch noch eine Fülle theoretischer und pragmatischer Probleme offen; z. B.:

- der Ausbau der Erlösrechnung,
- die Integration der Kosten- und Erlösrechnung mit der Investitions- und mit der Liquiditätsrechnung,
- die systematische Analyse des objektiv benötigten Informationsbedarfs für unterschiedliche Betriebsgegebenheiten und Fragestellungen,
- die Integration mit der Betriebsinformatik und der Unternehmensforschung (operations research).

Die Integration des Rechnungswesens mit der Informatik und der Unternehmensforschung ist für den Verkehrsbereich aus zwei Gründen besonders dringend:

Erstens sind die Verkehrsbetriebe extrem schnell wechselnden Verhältnissen im Produktions- und Absatzbereich ausgesetzt, die ein schnelles Handeln in Raum und Zeit erfordern. Das setzt einen entsprechend schnellen Zugriff auf die benötigten Daten und auch EDV-unterstützte Entscheidungshilfen voraus.

Zweitens haben es die Verkehrsbetriebe mit vielgestaltigen Formen des Leistungs-, Entgelt- und Potentialverbundes zu tun, deren Struktur schnell wechseln kann. Deshalb sind für Planungs- und Kontrollzwecke bei Betrieben mit Verkehrsnetzen und komplizierten Tourenstrukturen Erfolgsänderungsmodelle unter Einsatz mathematischer Pla-

nungsalgorithmen, insbesondere von Simulationsverfahren, unumgänglich. Das gilt beispielsweise für das Problem der sequentiellen Auftragsannahmeentscheidung, das wir lediglich unter einfachsten Bedingungen diskutiert haben, und noch weit mehr bei den nur angeschnittenen Fragen der alternativen Auftragszuordnung auf substituierbare Fahrzeuge.

Vor allem im Verkehrsbereich ist eine anwendungsorientierte Forschung erforderlich mit enger Rückkopplung zwischen Theorie und Praxis

- zur Erprobung neuer theoretischer Vorschläge,
- zur Anregung der weiteren konzeptionellen Entwicklung und
- zur Entwicklung theoretisch vertretbarer Näherungslösungen für die Praxis in mehreren Vereinfachungsstufen.

Das sind weitreichende Aufgaben, die nur gelöst werden können, wenn die Zusammenarbeit von Theorie und Praxis nicht vor den nationalen Grenzen halt macht.

Summary

At first there will be an examination with two examples of recording and identification of relevant costs by separate and joint performance in a transport service. The discussion of the ex ante only vaguely assessable long term effects of decisions (maintenance, devaluation by use) leads to the inclusion of minimal rates of contribution. With the combination of several orders in a tour, the identification will be examined firstly static-simultaneously and afterwards under consideration of the sequence of decision; the latter makes a differentiated assessment of orders possible. Joint costs of several orders and uses of vehicles will be covered gradually in period-bound and period-overlapping invoices out of problem-orientated views.

Finally, the meaning of contribution budgets and an accounting data base („Grundrechnung“), which can be used for numerous queries and purposes, will be outlined. Especially in the traffic area the integration of accounting and data processing is required.

Internationale Straßengüterverkehrsleistungsbilanzen *)

VON PETER CERWENKA UND BEAT GREUTER, BASEL

V. St. d.

1. Einführung, Zielsetzung und Grundbegriffe

Bei verkehrspolitischen Diskussionen auf europäischer Ebene über den internationalen (grenzüberschreitenden) Straßengüterverkehr und über dessen „gerechte“ finanzielle Beitragsleistung an das Land der benutzten Infrastruktur sowie über „gerechte“ transnationale Investitionsbeiträge zum Ausbau der Verkehrsinfrastruktur in Fremdländern gerät man in der Regel recht schnell in eine Sackgasse, da die Eigenschaft „gerecht“ kaum allgemeinverbindlich definiert, geschweige denn – wenn man sich schon auf eine Definition einigt – quantitativ untermauert werden kann. Jedes Land sucht im allgemeinen die für sich günstigste Gerechtigkeitsdefinition heraus und belegt diese dann mit Zahlen, die es im wesentlichen mit den Daten eigener nationaler statistischer Behörden ermittelt hat, die aber – soweit sie das Geschehen jenseits der eigenen Grenzen betreffen – oft (schon infolge mangelnder definitorischer Vergleichbarkeit) einen erheblichen Unsicherheits- und Interpretationsspielraum aufweisen. Um diesen Mißstand zu lindern und eine allgemein akzeptierbare Ausgangsbasis zu fairer Argumentation zu schaffen, werden nachfolgend *Bilanzen internationaler Straßengüterverkehrsleistungen* aufgestellt. Das heißt, es wird für einige ausgewählte europäische Länder ermittelt, wieviel Güterverkehrsleistung die jeweils in einem Lande zugelassenen Lastkraftwagen (LKW) auf den Straßen der jeweils anderen Länder in einem bestimmten Zeitraum erbracht haben.

Als *Güterverkehrsleistung* wird hier das Produkt aus transportierter Gütermenge in Tonnen (t) und dabei zurückgelegter Transportweite in Kilometern (km) verstanden. Sie hat also die Dimension *Tonnen-Kilometer (tkm)*. Diese Dimension ist die statistisch am zuverlässigsten erhebbare und kann auch für alle untersuchten Länder einheitlich erhoben bzw. ermittelt werden. Eine andere häufig postulierte Rechengröße bzw. Dimension, nämlich das Produkt aus LKW-Fahrtenanzahl und Transportweite (Betriebsleistung; LKW-km) ist – von wenigen Ausnahmen abgesehen – mangels geeigneter Datengrundlagen nicht ermittelbar und bietet außerdem die Schwierigkeit, das LKW-Kollektiv international einheitlich abzugrenzen. Sämtliche nachfolgenden Berechnungen beruhen beim Güterverkehrsaufkommen ausnahmslos auf dem Gewicht des Transportgutes und ergeben somit als Verkehrsleistung stets die Dimension Tonnen-Kilometer.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Peter Cerwenka
Dr. Beat Greuter
Prognos AG
Steinengraben 42
CH-4011 Basel

*) Der vorliegende Beitrag wurde im Auftrag der Europäischen Konferenz der Verkehrsminister (European Conference of Ministers of Transport/ECMT) als Bericht zum 71. Round Table der ECMT am 12./13. Dezember 1985 in Paris erstellt.

Um die genannte Aufgabe durchführen zu können, sind vorab einige klare Definitionen bzw. Unterscheidungen erforderlich. Die wichtigste und grundlegendste davon ist die Klassifizierung der „Länderbegriffe“. Vier solcher Begriffe sind sorgfältig zu unterscheiden:

- Versandland, Beladeland, Quelland: Land, in dem ein LKW mit dem Transportgut beladen wird;
- Empfangsland, Entladeland, Zielland: Land, in dem ein LKW entladen wird;
- Zulassungsland, Beheimatungsland: Land, in dem ein LKW zugelassen (beheimatet) ist;
- Befahrenes Land, Fahrland: Land, auf dessen Hoheitsgebiet ein LKW-Transport oder ein Teil davon durchgeführt wird.

Im Zusammenhang damit sind im internationalen Verkehr zwei *Verkehrsarten* zu unterscheiden:

- *Wechselverkehr*: Verkehr, bei dem entweder das Versandland oder das Empfangsland identisch mit dem Zulassungsland ist;
- *Drittlandverkehr*: Verkehr, bei dem weder Versand- noch Empfangsland mit dem Zulassungsland identisch ist.

Bei den *Drittlandverkehren* sind von der rechtlichen Seite her – und damit auch von der Erfassbarkeit her – drei *Gruppen* zu unterscheiden:

- Verkehr, bei dem das Zulassungsland mit einem durchfahrenen Transitland identisch ist (bei einem Transport also das Zulassungsland im Transit berührt wird: „Eigen-Transit“);
- Verkehr aufgrund multilateraler Gemeinschaftsgenehmigungen (EG-Genehmigungen, Gemeinschaftskontingent);
- Verkehr aufgrund multilateraler ECMT-Genehmigungen.

Die letzten beiden Gruppen können (müssen aber nicht) Teilmengen der ersten Gruppe sein. Mit diesen beiden Gruppen sind auch „exterritoriale Binnenverkehre“ möglich (z. B. kann ein belgischer LKW innerhalb von Frankreich Transporte durchführen).¹⁾

Schließlich sind grundsätzlich (bezogen auf ein Fahrland) die drei *Hauptverkehrsbeziehungen*

- Quellverkehr (Fahrtbeginn im betrachteten Land),
- Zielverkehr (Fahrtende im betrachteten Land) und
- Durchgangsverkehr (Transit)

zu unterscheiden. (Der Binnenverkehr ist hier – abgesehen vom oben genannten „exterritorialen Binnenverkehr“ – nicht Gegenstand der Betrachtung.)

1) Diese „exterritorialen Binnenverkehre“ werden hier, soweit sie mit Gemeinschaftsgenehmigungen durchgeführt werden, miteinfaßt. (Über die „exterritorialen Binnenverkehre“ mit ECMT-Genehmigungen liegen keine Informationen vor, sie dürften aber in ihrem Ausmaß sehr gering sein, wenn man bedenkt, daß die Anzahl der ECMT-Genehmigungen nur etwa 14 % der Anzahl der Gemeinschaftsgenehmigungen entspricht.)

2. Festlegung des Untersuchungsgebietes und des Untersuchungsjahres

Für die Auswahl der einzubeziehenden Länder in das *Untersuchungsgebiet* waren folgende Gesichtspunkte maßgebend:

- Alle großen internationalen europäischen Straßengüterverkehrsströme sollen erfaßt sein.
- Das Untersuchungsgebiet soll topologisch ein Ganzes sein (es soll keine „Löcher“ enthalten).
- Die erforderlichen Datengrundlagen müssen verfügbar bzw. innerhalb kurzer Zeit beschaffbar sein.

Zwischen diesen Anforderungen bestehen zum Teil Widersprüche. (So ist etwa Italien ein wichtiger europäischer Gütertransporteur, aber die Datensituation ist sehr dürftig. Für das wichtige Transitland Österreich wiederum liegt die Differenzierung des Straßengüterverkehrs nach Zulassungsland der LKW originärstatistisch nur auf den gewerblichen Verkehr und nur sehr pauschal vor²⁾.)

Unter Abwägung der genannten Gesichtspunkte wurden die folgenden elf Länder als Zulassungsländer bzw. Fahrländer in die Untersuchung einbezogen:

– Bundesrepublik Deutschland	(D)	(1)
– Frankreich	(F)	(2)
– Italien	(I)	(3)
– Niederlande	(NL)	(4)
– Belgien	(B)	(5)
– Luxemburg	(L)	(6)
– Großbritannien	(GB)	(7)
– Irland	(IRL)	(8)
– Dänemark	(DK)	(9)
– Österreich	(A)	(10)
– Schweiz	(CH)	(11)

Diese Reihenfolge wird durchgängig beibehalten. Sie entspricht für die EG-Länder der Reihenfolge, wie sie in der einschlägigen Statistik des Statistischen Amtes der Europäischen Gemeinschaften (Eurostat) geführt wird (vgl. Abschnitt 3). Daran anschließend folgen Österreich und die Schweiz in alphabetischer Reihenfolge.

Für jedes dieser elf Länder werden paarweise die Verkehrsleistungsbilanzen ermittelt.

Über dieses eigentliche Untersuchungsgebiet hinaus ist jedoch noch ein weitergehender *Einzugsbereich der Versand- und Empfangsländer* festzulegen, da Quelle und/oder Ziel des auf dem Hoheitsgebiet der genannten elf Länder abgewickelten Straßengüterverkehrs durchaus auch außerhalb des Untersuchungsgebietes liegen können. Dabei wurden sieben das Untersuchungsgebiet tangierende Außenzonen festgelegt:

2) Dieser Mangel wurde zwar mit dem Inkrafttreten des neuen Güterverkehrsstatistikgesetzes am 1. Januar 1984 behoben. Allerdings liegt die Erhebung des Jahres 1984 noch nicht völlig vor.

- Balkan (Jugoslawien, Griechenland, Bulgarien, Türkei)³⁾ (BALK) (12)
- Ungarn + Rumänien (H + R) (13)
- Tschechoslowakei (CS) (14)
- Deutsche Demokratische Republik Süd⁴⁾ (DDRS) (15)
- Deutsche Demokratische Republik Nord⁴⁾ (DDRN) (16)
- Skandinavien (Schweden, Norwegen, Finnland) (SKAN) (17)
- Iberien (Spanien und Portugal) (IBER) (18)

Für die *Auswahl des Untersuchungsjahres* führten die beiden Gesichtspunkte

- möglichst aktuell und
- möglichst vollständig verfügbare Datengrundlagen eindeutig zur Festlegung des Jahres 1982.

3. Datengrundlagen

Fundamentales Grunderfordernis zur Bewältigung der gestellten Aufgabe ist die Kenntnis der grenzüberschreitenden Straßengüterverkehrsströme in der dreifach gekreuzten Disaggregation nach

- Versandland,
- Empfangsland und
- Zulassungsland des LKW.

Erforderlicher Input ist also eine dreidimensionale Matrix des grenzüberschreitenden Straßengüterverkehrsaufkommens mit den in elf Ländern zugelassenen LKW von 18 Quellzonen zu 18 Zielzonen: A (11, 18, 18).

Diese Matrix existiert in keiner Statistik, sondern muß – so gut es eben geht – aus verschiedenen Quellen zusammengetragen, plausibel ergänzt, auf Widerspruchsfreiheit überprüft und gegebenenfalls danach modifiziert werden.

Folgende *Quellen* waren verfügbar und wurden benutzt:

[1] Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften (Eurostat): Güterkraftverkehr 1982, Tabellen 1.3. und 1.4., Luxemburg, 1985.

Diese Quelle ist Grundlage für alle EG-Wechselverkehre, enthält jedoch keine Angaben über die italienischen Wechselverkehre: „Die Angaben für Italien liegen nicht vor.“ ([1], S. XIV)

[2] Kraftfahrt-Bundesamt und Bundesanstalt für den Güterfernverkehr: Statistische Mitteilungen, 29 (1983), Nr. 5, Tabellen G-j (9 B, 10, 16, 17 und 18), Bonn, 1983.

Diese Quelle enthält alle für die Matrix erforderlichen Elemente, soweit von den Verkehrsströmen die Grenzen der Bundesrepublik Deutschland berührt werden.

3) Hier werden als Quellen bzw. Ziele auch Irak und Iran zugeordnet, während Albanien außer Betracht bleiben kann, da es nur sehr geringen internationalen Straßengüterverkehr betreibt.

4) Hier werden als Quellen bzw. Ziele auch Polen und die Sowjetunion zugeordnet.

Diese Quelle ist eine wichtige Hilfe beim Bemühen, die Verkehrsströme der angrenzenden Länder nach der Beheimatung der LKW zu disaggregieren sowie einige Werte für italienische LKW zu rekonstruieren.⁵⁾

- [3] Österreichisches Statistisches Zentralamt: Internationale Transportstatistik 1982, Tabellen 12/A und 12/E. Transit Straße 1982, sowie Schnellbericht Verkehrstatistik (Güterverkehr) 1982, Wien, 1983.

Diese Quelle enthält das Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrsaufkommen von Österreich nach Versand- und Empfangsländern im internationalen Straßengüterverkehr ohne Unterscheidung des Zulassungslandes der LKW. (Im Schnellbericht ist noch eine gesamthafte Angabe über die mit österreichischen LKW gewerbsmäßig durchgeführten Transporte enthalten.)

- [4] Bundesamt für Statistik: Schweizerische Verkehrstatistik 1982, Tabellen 61 und 110, Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 750, Bern, 1983.

Diese Quelle enthält das Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehrsaufkommen der Schweiz im internationalen Güterverkehr mit LKW sowie auch eine (gesamthafte, nicht kreuzweise gekoppelte) Disaggregation nach der Beheimatung der LKW.

- [5] Ministère des Transports, Département de Statistiques des Transports: Systeme d'Information sur les Transports Marchandises, Résultats Généraux Trafic Intérieur et International 1982, Tableau III und VI, Paris, 1983.

Diese Quelle enthält für Frankreich das grenzüberschreitende Quell- und Zielverkehrsaufkommen nach Grenzüberschreitungsstellen und das Transitaufkommen insgesamt, jedoch keinerlei Disaggregationen nach der Beheimatung der LKW (immerhin konnten damit Plausibilitätskontrollen für das angrenzende Italien durchgeführt werden).

- [6] European Communities: Europa Transport, Annual Report 1983, Table 2.3, Brussels, 1984.

Diese Quelle enthält in der angegebenen Tabelle für alle Wechselverkehre innerhalb der EG-Länder die Aufteilungsverhältnisse (interessanterweise nicht die Absolutwerte!) der je Quelle-Ziel-Beziehung mit den im Quellland beheimateten LKW zu den mit den im Zielland beheimateten LKW transportierten Gütermengen. Auf diese Weise konnten die Wechselverkehre mit italienischen LKW rekonstruiert werden. Allerdings ergab die einzige Kontrollmöglichkeit, nämlich die beiden Wechselverkehre mit der Bundesrepublik Deutschland (aufgrund von [2]), in einen der beiden Fälle eine erhebliche Diskrepanz:

Empfang in D aus I mit LKW aus I nach [2]: 1'693'000 t
 Versand aus I nach D mit LKW aus I nach [6]: 3'400'000 t
 (Hier wurde der Wert aus [2] übernommen.)

5) Der Straßengüterverkehr zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik mit bundesdeutschen LKW ist gesondert in Nr. 3, Tabelle G-j (Übersicht 601) ausgewiesen.

- [7] Bundesanstalt für den Güterfernverkehr: Gemeinschaftskontingent 1982: Beförderte Mengen nach Verkehrsrelation und nach Land der Genehmigung, Köln, unveröffentlicht.⁶⁾

Diese Zusammenstellung enthält vollständig alle erforderlichen Informationen über die Verkehre aus dem Gemeinschaftskontingent. Ihr konnten die Drittlandverkehre aus dem Gemeinschaftskontingent (vgl. Abschnitt 1) entnommen werden.

- [8] Department of Transport: Road goods vehicles on roll-on roll-off ferries to mainland Europe, Table 2, London, 1984.

Diese Quelle enthält Angaben über den LKW-Verkehr von Großbritannien zum europäischen Festland mit Hilfe von Fähren, wobei eine Disaggregation dieser Ströme nach dem Land der Ausschiffung (Frankreich, Belgien, Niederlande, Bundesrepublik Deutschland + Dänemark) ausgewiesen ist. Allerdings liegen hier die Angaben nicht für Gütermengen, sondern für LKW-Anzahlen vor.

4. Methode

Methodisch zerfällt die gesamte Aufgabenstellung in zwei große Blöcke:

- Ermittlung der geschilderten *dreidimensionalen Aufkommensmatrix*,
- Ermittlung der *durchschnittlichen Transportweiten* für jede einzelne Quelle-Ziel-Beziehung und der dabei auf die einzelnen befahrenen Länder entfallenden Teilstrecken unter Berücksichtigung von allfälligen Alternativrouten und zugehörigem Routen-Split.

Die *Ermittlung der dreidimensionalen Aufkommensmatrix* ist eine äußerst mühsame und aufwendige Detailrecherche, bei der immer wieder über die wenigen redundanten Informationen Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden müssen. Die dreidimensionale Matrix läßt sich in elf zweidimensionale Matrizen auflösen, die den eigentlichen Dateninput für die Transportaufkommenswerte bildeten. Es ist aus Platzgründen nicht möglich, hier alle Matrizen wiederzugeben, doch wird – um ein Grundverständnis von den Größenordnungen der europäischen Straßengüterverkehrsrelationen und von deren Unterschieden untereinander zu vermitteln – die Summenmatrix dokumentiert (Tabelle 1).

Diese Summenmatrix enthält also die Aufkommenswerte zwischen 18 Quellen und 18 Zielen für die mit den in allen elf Ländern zugelassenen LKW transportierten Güter.⁷⁾ Dabei erwies sich eine Relevanzschwelle von 1'000 t als sinnvoll, d. h., die Aufkommenswerte sind auf 1'000 t genau (richtig gerundet) eingesetzt. Werte unter 500 t werden vernachlässigt. Die (sehr schwach und nur teilweise besetzte) Hauptdiagonale stellt die „exterritorialen Binnenverkehre“ dar.

6) Dank gebührt Herrn Diplom-Volkswirt *Horst Renk* von der Bundesanstalt für den Güterfernverkehr, Köln, der nicht nur diese Tabellen zur Verfügung gestellt, sondern auch weitere wertvolle Informationen beigegeben hat.

7) Im Wechselverkehr zwischen Frankreich und der Schweiz ist der (kleine) Grenzverkehr (ca. 0,9 Mio t Versand aus Frankreich) nicht enthalten, da er unter Verwendung durchschnittlicher Transportweiten die Leistungsbilanz verfälschen würde und wegen seiner sehr geringen Transportweite ohnehin nicht ins Gewicht fällt.

TABELLE 1

AUFKOMMENSMATRIX 1992 FUER LKW AUS ALLEN 11 LAENDERN (1000 T)

PROGNOS

NACH VON	D	F	I	NL	B	L	GB	IRL	DK	A	CH	BALK	H+R	CS	DDRS	DDRN	SKAN	IBER
D	3	8864	5448	15947	7942	912	1025	41	1312	4592	3892	206	53	24	89	89	629	448
F	11624	1	4391	2202	9057	342	1359	48	316	229	3010	85	6	2	49	0	87	909
I	5489	4403	1	989	1144	38	1110	83	151	1226	2448	141	0	0	9	0	45	0
NL	14428	3580	1212	0	9335	164	509	24	466	355	340	156	19	8	0	86	295	78
B	7717	13230	1203	11256	1	911	381	11	248	220	200	94	19	7	0	27	64	172
L	1290	748	25	77	815	0	8	0	12	22	10	2	0	0	2	0	3	0
GB	620	883	494	304	227	10	0	622	115	70	92	64	6	2	0	20	10	55
IRL	35	70	23	13	15	0	417	0	2	2	5	0	0	0	0	3	0	0
DK	2767	320	266	329	120	2	460	8	0	33	64	156	3	1	0	27	1143	39
A	3469	222	1997	264	181	13	111	2	41	0	847	200	35	40	20	0	25	30
CH	1290	308	304	132	57	15	60	3	48	274	0	12	2	3	3	0	45	26
BALK	252	43	48	71	33	0	17	2	15	213	18	0	0	0	0	0	0	0
H+R	183	17	0	52	20	0	3	0	11	150	5	0	0	0	0	0	0	0
CS	646	7	3	28	10	0	1	0	7	690	6	0	0	0	0	0	0	0
DDRS	306	65	15	0	9	1	0	0	0	10	58	0	0	0	0	0	0	0
DDRN	306	0	0	149	54	0	4	3	37	0	0	0	0	0	0	9	0	0
SKAN	574	83	42	234	44	0	7	0	1229	29	63	0	0	0	0	0	0	0
IBER	521	610	0	69	149	0	59	0	34	23	84	0	0	0	0	0	0	0

Internationale Straßengüterverkehrsbeziehungen

45

Zu beachten ist, daß diese Matrix nicht den gesamten internationalen Straßengüterverkehr enthält, sondern nur denjenigen Teil, der mit den in den elf Ländern zugelassenen LKW durchgeführt wurde. Ferner ist zu beachten, daß auch über diese von vornherein vereinbarte Einschränkung hinaus noch ein Teil der Drittlandverkehre fehlt, nämlich jener Teil, der weder eine Grenze der Bundesrepublik Deutschland quert noch im Rahmen der Gemeinschaftsgenehmigungen durchgeführt wird. (Nicht erfaßt ist also etwa der Transit von Jugoslawien nach Frankreich durch Italien mit italienischen LKW, wohl aber jener mit französischen LKW, der ja Wechselverkehr darstellt.) Über diese Restmenge lagen keine Angaben vor. Allerdings dürfte diese Restmenge äußerst gering sein, wenn man bedenkt, daß fast der gesamte „Eigen-Transit“ (vgl. Abschnitt 1) innerhalb des definierten Untersuchungsgebietes die Grenzen der Bundesrepublik Deutschland aufgrund ihrer geographischen Lage überschreiten muß.

Bildet man in Tabelle 1 die Zeilen- bzw. Spaltensummen⁸⁾ bei den jeweils ersten elf Zeilen bzw. Spalten, so erhält man je Land näherungsweise die auf der Straße transportierten Export- bzw. Importmengen, die für die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Österreich und die Schweiz mit den entsprechenden Angaben in den nationalen Statistiken verglichen werden konnten. (Diese statistischen Vergleichswerte lagen überall geringfügig höher, was plausibel ist, da in der Matrix nur Güter von Fahrten mit den in den elf Ländern beheimateten LKW aufscheinen.) Sämtliche ermittelten „Straßen-Exporte“ und „Straßen-Importe“ sind als „VERSAND“ und „EMPFANG“ in Tabelle 2 zusammengestellt.

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Transportweiten mußten zunächst zwei Vereinfachungen getroffen werden, nämlich:

- Die Route ist für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung symmetrisch, das heißt, Hin- und Rückfahrt sind im Durchschnitt gleich lang, und bei allfälligem Routen-Split ist auch die Aufteilung auf die einzelnen Routen für Hin- und Rückfahrt identisch.
- Die Route ist für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung grundsätzlich unabhängig von der Beheimatung des LKW. Hiervon wurde nur eine, allerdings wichtige Ausnahme gemacht, die sich bei Kontrollrechnungen als unentbehrlich erwies. Diese Ausnahme betrifft den Transit über die Alpen mit österreichischen und schweizerischen LKW: Wenn österreichische LKW im Transit über die Alpen fahren, so erfolgt dies ausschließlich über Österreich, wenn schweizerische LKW dies tun, so erfolgt dies ausschließlich über die Schweiz, denn nur so können sie „Eigen-Transit“ im definierten Sinne betreiben.

Bei der Ermittlung der durchschnittlichen Transportweiten und von deren Länderanteilen wurde für jede Quelle-Ziel-Beziehung wie folgt vorgegangen:

- Zunächst wurde für jede Quelle-Ziel-Beziehung die Gesamtdistanz ermittelt: Für die Quelle-Ziel-Beziehungen zwischen den 9 betrachteten EG-Ländern konnten diese Werte aus [1] rekonstruiert werden, wengleich jeder Wert anhand einer europäischen Fernroutenkarte ($M = 1 : 4'000'000$) noch grob überprüft werden mußte, da manche Werte völlig unplausibel erschienen.⁹⁾ Für die Beziehungen von und nach Österreich

8) Unter Abzug der (allerdings vernachlässigbaren) Hauptdiagonale.

9) Z. B. ergab sich für die Distanz Luxemburg – Niederlande ein Wert von 1220 km!

TABELLE 2
INTERNATIONALES VERKEHRSaufKOMMEN 1982 IN 1000 T
MIT DEN IN ALLEN 11 LAENDERN ZUGELASSENEN LKW

PROGNOS

LAND I	VERSAND I	EMPFANG I	TRANSIT I	SUMME I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
D I	52196 I	51627 I	11038 I	114861 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
F I	33617 I	33542 I	4814 I	71973 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
I I	17356 I	15471 I	171 I	32998 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
NL I	31065 I	32128 I	1361 I	64554 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
B I	35760 I	29131 I	9242 I	74133 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
L I	3122 I	2410 I	193 I	5725 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
GB I	3593 I	5529 I	393 I	9515 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
IRL I	585 I	847 I	0 I	1432 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
DK I	5758 I	4639 I	2272 I	12669 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
A I	7497 I	8039 I	16549 I	32085 I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
CH I	2582 I	11153 I	640 I	14375 I

und der Schweiz sowie bis zu den Grenzübertritten der angrenzenden Außenzonen wurden die Werte aus der schon genannten Fernroutenkarte geschätzt.¹⁰⁾

— Mit Hilfe sämtlicher Distanzen konnten in den elf Ländern grob *Gesamt-Schwerpunkte* ermittelt und in die Karte eingetragen werden. Die Verbindung der Schwerpunkte

10) Für die „exterritorialen Binnenverkehre“ wurde für D die durchschnittliche Transportweite im Binnenstraßengüterfernverkehr gewählt (gerundet 150 km), für die übrigen Länder wurde dieser Wert etwa proportional zum Verhältnis der Quadratwurzeln aus der Flächengröße in Rechnung gestellt.

zeigt die Fahrt eines durchschnittlichen LKW zwischen zwei Zonen¹¹⁾ an. Dieses Vorgehen mußte gewählt werden, da die jeweiligen relationsbezogenen Schwerpunkte nicht bekannt sind.

— Nach Festlegung dieser Schwerpunkte wurden *bei unstrittig eindeutiger Route die auf die einzelnen befahrenen Länder entfallenden Anteile* ermittelt.¹²⁾ Dabei wurde auch der Fernfahrer-Grundsatz möglichst weniger Grenzübertritte berücksichtigt, sofern sich der dadurch sich ergebende Umweg in vertretbaren Grenzen hält.

— Als bedeutsame *Alternativrouten*¹³⁾ erwiesen sich im wesentlichen zwei Routengruppen, nämlich

- * der transalpine Nord-Süd-/Süd-Nord-Verkehr und
- * der Fährverkehr zwischen Großbritannien + Irland mit dem europäischen Festland und umgekehrt.

Im ersten Fall führen die Alternativrouten über Österreich oder die Schweiz und im Gefolge davon über die Bundesrepublik Deutschland oder aber direkt über Frankreich, im zweiten Fall über Frankreich, Belgien, Holland und (zu einem sehr geringen Anteil) direkt über die Bundesrepublik Deutschland oder Dänemark. In beiden Fällen konnten die auf die einzelnen Alternativrouten entfallenden Anteile gut eingegrenzt werden, und zwar

- * im ersten Fall mit Hilfe der Angaben über das gesamte Straßen-Transitaufkommen in Österreich (aus [3], 1982: 17,332 Mio t), in der Schweiz (aus [4], 1982: 0,654 Mio t), in der Bundesrepublik Deutschland (aus [2], 1982: 11,183 Mio t)¹⁴⁾ und in Frankreich (aus [5], 1982: 6,328 Mio t)¹⁵⁾ und
- * im zweiten Fall mit Hilfe der Angaben über die Aufteilungsverhältnisse des Fährverkehrsaufkommens von Großbritannien + Irland nach dem europäischen Festland in der Differenzierung nach dem Land der Ausschiffung (aus [8], 1982: nach F 34 %, nach B 35 %, nach NL 25 %, nach D + DK 6 %; Anteile bezogen auf die Anzahl der übergesetzten LKW).

Die nach Routenwahl-Eichung ermittelten Werte betragen

- * im ersten Fall (vgl. Tabelle 2) für den Transit durch Österreich 16,549 Mio t, durch die Schweiz 0,640 Mio t, durch die Bundesrepublik Deutschland 11,038 Mio t und durch Frankreich 4,814 Mio t und
- * im zweiten Fall für die Ausschiffung von Großbritannien + Irland nach F 36 %, nach B 34 %, nach NL 24 % und nach D + DK 6 % (Anteile bezogen auf die Gütermengen).

11) Als „Zonen“ werden die elf Länder des Untersuchungsgebietes sowie die sieben Außenzonen bezeichnet.

12) Dabei wurde die bereits erwähnte Karte und ein Meßrad verwendet.

13) Das heißt hier: Routen, bei denen jeweils unterschiedliche Länder im Transit befahren werden.

14) Diese Zahl versteht sich inklusive des statistisch gesondert ausgewiesenen Transits aus und nach der DDR.

15) Diese Zahl ist jedoch noch korrekturbedürftig, da Frankreich grenzüberschreitenden Seehafen Hinterland-Verkehr (etwa eine Fahrt vom Hafen Marseille nach München) als Transit durch Frankreich und nicht als Versand in die Bundesrepublik Deutschland verbucht, die Bundesrepublik Deutschland jedoch diesen Transport als Empfang aus Frankreich erfaßt. Schätzungsweise müssen von dieser Zahl ca. 1,2 Mio t abgezogen werden.

Ebenso wie bei eindeutiger Route wurden auch hier bei mehreren Alternativrouten wiederum die auf die einzelnen befahrenen Länder entfallenden Anteile (je Alternativroute) ermittelt.

Zur Erreichung des gesteckten Zieles, nämlich der *Ermittlung der Verkehrsleistungsbilanzen*, ist nun eine Matrix zu erstellen, in der das eine Ordnungskriterium das Land der Zulassung und das andere Ordnungskriterium das befahrene Land ist. Element der Matrix ist das Produkt aus Transportaufkommen in t (das den Index des Landes trägt) und im Fahrland zurückgelegter Strecke in km (die also den Index des Fahrlandes trägt), wobei jedes Matrixelement als Integral über alle Quelle-Ziel-Beziehungen gebildet wird.

Mathematisch ausgedrückt, stellt sich jedes Matrizenfeld $L(h, f)$ wie folgt dar:

$$L(h, f) = \sum_{q=1}^{18} \sum_{z=1}^{18} A(h, q, z) \cdot s(f, q, z) \\ (h=1, \dots, 11; f=1, \dots, 11)$$

Hierin bedeuten:

- $L(h, f)$... Verkehrsleistung mit den im Land h beheimateten LKW auf den Straßen von Land f [tkm]
 $A(h, q, z)$... Verkehrsaufkommen von Quellland q nach Zielland z mit LKW, die im Land h beheimatet sind [t]
 $s(f, q, z)$... auf Straßen von Land f auf dem Weg von Quellland q nach Zielland z zurückgelegte Strecke [km]
 (Laut vereinbarter Symmetriebedingung gilt: $s(f, q, z) = s(f, z, q)$.)

Die Ergebnisse werden in Abschnitt 5 vorgestellt.

Hilfreich für Kontroll- und Eichzwecke sind auch die analogen *Verkehrsaufkommensbilanzen*¹⁶⁾, die sich mathematisch völlig analog als Matrizen mit folgenden Elementen $T(h, f)$ darstellen lassen:

$$T(h, f) = \sum_{q=1}^{18} \sum_{z=1}^{18} A(h, q, z) \cdot k(f, q, z) \\ (h=1, \dots, 11; f=1, \dots, 11)$$

mit $k(f, q, z) = \begin{cases} 1, & \text{wenn Land } f \text{ auf dem Wege von Land } q \text{ nach Land } z \text{ berührt wird} \\ 0, & \text{wenn Land } f \text{ auf dem Wege von Land } q \text{ nach Land } z \text{ nicht berührt wird} \end{cases}$

Hierin bedeutet:

$T(h, f)$... Verkehrsaufkommen mit den im Land h beheimateten LKW auf den Straßen von Land f [t]

16) Keinesfalls sollten diese Aufkommensbilanzen jedoch zur Definition oder Begründung einer gerechten Abgabenbelastung herangezogen werden, da sie nichts über die Intensität der Inanspruchnahme der Infrastruktur aussagen.

Die Aufkommenssumme aller dieser Matrizenfelder entspricht natürlich nicht der Aufkommenssumme der Elemente aus der Quelle-Ziel-Aufkommensmatrix von Tabelle 1, sie muß wesentlich größer sein, da im grenzüberschreitenden Verkehr jeder Aufkommenswert mindestens zweimal, nämlich bei jedem befahrenen Land, erfaßt wird.¹⁷⁾

Diese Verkehrsaufkommensbilanzen sind in Tabelle 3 nur für die Wechselverkehre alle in und in Tabelle 4 für Wechselverkehre inklusive der erfaßbaren Drittlandverkehre nachrichtlich mitgeteilt. Mit dieser Gegenüberstellung soll der sehr geringe Anteil der Drittlandverkehre veranschaulicht werden (ca. 5 % vom Gesamtaufkommen, leistungsmäßig machen sie etwa 6,5 % aus). Andererseits verursachen gerade die Drittlandverkehre erhebliche Erfassungsschwierigkeiten und großen Erhebungsaufwand.

5. Ergebnisse

Die Ergebnisse der internationalen Verkehrsleistungsbilanzen 1982 in dem in Abschnitt 1 definierten Sinne sind in einer ersten Form Tabelle 5 zu entnehmen. In dieser Tabelle sind alle paarweisen Gegenüberstellungen enthalten. Gleichfalls enthalten sind auch die Verkehrsleistungen, welche eigene LKW bei Durchführung grenzüberschreitender Transporte im eigenen Lande erbringen (Hauptdiagonale).

Dieses Rechenergebnis ist in Tabelle 6 noch einmal in anderer Form zusammengestellt, die eine anschaulichere und rascher erkennbare Gegenüberstellung ermöglicht. Die ersten beiden Zahlenkolonnen sind der Tabelle 5 entnommen, in der dritten werden die *bilateralen Salden* gebildet und somit die Überschuß-Verkehrsleistungen ausgewiesen, und zwar zunächst als Absolutgrößen (in tkm) und dann als Prozentwerte, bezogen auf den kleineren der beiden gegenübergestellten Werte. (Bei sehr kleinem Bezugswert und grossem Überschuß sind die dann sehr hohen Prozentwerte wenig aussagekräftig. Bei einem Bezugswert von weniger als 0,5 Mio tkm ist die Prozentangabe weggelassen.)

Eine weitergehende Verdichtung der Ergebnisse von Tabelle 5 findet sich in Tabelle 7, in der für die elf untersuchten Länder nicht bilaterale, sondern *gesamthafte Salden* der Verkehrsleistungen gebildet werden, d. h., es wird für jedes der elf Länder die Verkehrsleistung, welche die eigenen LKW in den 10 Fremdländern erbracht haben (Randspalte von Tabelle 5 abzüglich Hauptdiagonale), der Verkehrsleistung, welche die LKW der 10 Fremdländer im betrachteten Land erbracht haben (Randzeile von Tabelle 5 abzüglich Hauptdiagonale), gegenübergestellt und wiederum die Differenz als Saldo ausgewiesen. Dabei wird (im Gegensatz zu Tabelle 6) stets der zweite Wert vom ersten abgezogen, so daß ein positiver Saldo einen Überschuß der eigenen Auslandsverkehrsleistung gegenüber der fremden Inlandsverkehrsleistung darstellt, ein negativer hingegen das Gegenteil. In der letzten Spalte wird noch der „Überschuß-Rang“ innerhalb der elf untersuchten Länder angegeben.

Eine detaillierte Interpretation oder Wertung der Ergebnisse wird hier bewußt unterlassen, um nicht unversehens in das hochsensible europäische verkehrspolitische Interessengeflecht verstrickt zu werden. Lediglich einige unmittelbar aus den Zahlen von Tabelle 7 ablesbaren Einsichten sollen kurz mitgeteilt werden: Generell gilt erwartungsgemäß die Grundtendenz, daß die kleinen Länder als „Gewinner“ gelten können, die

17) Beim grenzüberschreitenden Verkehr mit Außenzonen wird das Aufkommen in der Außenzone hier nicht mehr registriert, da dieses nicht in die beabsichtigten Bilanzen eingeht.

TABELLE 3

INTERNATIONALE VERKEHRSAUFGKOHNSBILANZEN 1982 IN 1000 T
(NUR WECHSELVERKEHRE)

PROGNOS

ZUL- LAND	B E F A H R E N E S								L A N D				SUMME
	D	F	I	NL	B	L	GB	IRL	DK	A	CH		
D	43117	12599	5201	8724	6899	1372	298	16	1946	7645	2441	90266	
F	8349	27667	4751	1650	9787	758	1155	7	221	158	1398	55901	
I	5681	5056	14543	862	1893	22	1032	49	93	7322	2033	38616	
NL	24332	4702	1185	44103	19447	140	324	2	978	1282	427	96922	
B	8038	15173	1247	6940	29980	822	43	0	118	475	128	62064	
L	924	359	30	191	1071	2354	0	0	0	10	14	4863	
GB	1374	1339	553	927	1448	18	3951	152	29	552	143	10477	
IRL	101	122	57	67	90	0	1171	1171	0	47	5	2832	
DK	5932	524	330	450	293	13	570	10	7917	543	61	15453	
A	7078	330	1528	425	411	30	116	2	46	19515	671	21153	
CH	3025	2185	918	85	287	114	24	4	145	473	659	13777	
SUMME	197050	70047	30362	63434	71437	5643	8684	1413	11493	29033	13928	412525	

Internationale Straßengüterverkehrsleistungsbilanzen

51

TABELLE 4

INTERNATIONALE VERKEHRSAUFGKOHNSBILANZEN 1982 IN 1000 T
(WECHSELVERKEHRE UND DRITTLANDVERKEHRE)

PROGNOS

ZUL- LAND	B E F A H R E N E S								L A N D				SUMME
	D	F	I	NL	B	L	GB	IRL	DK	A	CH		
D	43931	12900	5347	9007	7305	1414	329	17	2317	8025	2586	93278	
F	8702	27968	4847	1684	9873	763	1183	7	223	228	1448	56925	
I	5686	5059	14566	862	1894	22	1032	49	93	7327	2039	38638	
NL	27366	5144	1316	44455	21265	150	918	16	1610	1382	429	104061	
B	8753	15705	1418	6338	30086	842	108	2	128	566	133	64129	
L	1024	442	62	114	1149	2354	4	0	0	23	14	5187	
GB	1398	1356	581	934	1463	18	3953	154	30	569	144	10591	
IRL	110	129	67	71	97	0	1184	1171	0	53	5	2887	
DK	5234	569	374	490	235	14	578	10	8040	585	81	16201	
A	9420	356	3321	489	539	33	143	2	74	12811	724	27914	
CH	3241	2247	1097	99	229	115	32	4	154	511	679	14489	
SUMME	114864	71967	32996	64554	74134	5725	9515	1432	12669	32880	14375	434310	

52

Peter Gernhuber und Ralf Grotzer

TABELLE 5
INTERNATIONALE VERKEHRSLEISTUNGSBILANZEN 1982 IN MIO TKM
(UECHSELVERKEHRE UND DRITTLANDVERKEHRE)

ZUL- LAND	L A N D											SUMME
	D	F	I	NL	B	L	GB	IRL	DK	A	CH	
D	1605	4854	2381	931	900	56	129	2	370	1125	202	21163
F	1280	9376	2281	186	849	15	495	0	38	51	123	14694
I	2273	2376	7213	93	492	0	327	2	14	888	327	13988
NL	6461	1845	651	4474	2072	10	358	2	288	222	50	16473
B	2131	3839	740	587	2702	33	58	0	21	84	17	10211
L	391	156	33	11	184	99	2	0	0	3	1	780
GB	517	524	247	132	288	1	1434	8	7	83	14	3255
IRL	43	40	26	12	21	0	364	68	0	6	1	522
DK	2417	251	224	91	31	0	155	1	1164	107	12	4431
A	2571	152	1696	71	97	1	42	0	13	2361	107	8651
CH	948	946	520	9	31	3	12	0	28	198	655	3352
SUMME	29548	24357	16632	6596	7579	210	3316	84	1943	5076	1595	96838

Internationale Stofpgeverkehrsleistungsbilanzen

TABELLE 6

PROGNOS

INTERNATIONALE VERKEHRSLEISTUNGSBILANZEN 1982 IN MIO TKM
(UECHSELVERKEHRE UND DRITTLANDVERKEHRE)

VERKEHRSLEISTUNG VON	AUF	MIO	I	VERKEHRSLEISTUNG VON	AUF	MIO	I	UEBERSCHUSS-VERKEHRSLEISTUNG		
								LKW AUS STR.	IN TKM	KL. WERT
D	F	4854	I	F	D	1280	I	D	F	3574 (+ 279 %)
D	I	2981	I	I	D	2273	I	D	I	707 (+ 31 %)
D	NL	931	I	NL	D	6461	I	NL	D	5530 (+ 594 %)
D	B	900	I	B	D	2131	I	B	D	1231 (+ 137 %)
D	L	56	I	L	D	301	I	L	D	245 (+ 436 %)
D	GB	129	I	GB	D	517	I	GB	D	388 (+ 302 %)
D	IRL	2	I	IRL	D	43	I	IRL	D	41 (+2433 %)
D	DK	370	I	DK	D	2417	I	DK	D	2048 (+ 554 %)
D	A	1135	I	A	D	3571	I	A	D	2437 (+ 215 %)
D	CH	202	I	CH	D	948	I	CH	D	746 (+ 370 %)
F	I	2281	I	I	F	2376	I	I	F	95 (+ 4 %)
F	NL	186	I	NL	F	1845	I	NL	F	1660 (+ 894 %)
F	B	849	I	B	F	3839	I	B	F	2990 (+ 352 %)
F	L	15	I	L	F	156	I	L	F	140 (+ 913 %)
F	GB	495	I	GB	F	524	I	GB	F	29 (+ 6 %)
F	IRL	0	I	IRL	F	40	I	IRL	F	39
F	DK	38	I	DK	F	251	I	DK	F	213 (+ 560 %)
F	A	51	I	A	F	152	I	A	F	100 (+ 195 %)
F	CH	123	I	CH	F	946	I	CH	F	824 (+ 670 %)
I	NL	93	I	NL	I	691	I	NL	I	598 (+ 646 %)
I	B	402	I	B	I	740	I	B	I	338 (+ 84 %)
I	L	0	I	L	I	33	I	L	I	32
I	GB	327	I	GB	I	247	I	I	GB	80 (+ 32 %)
I	IRL	2	I	IRL	I	26	I	IRL	I	24 (+ 962 %)
I	DK	14	I	DK	I	204	I	DK	I	190 (+1356 %)
I	A	880	I	A	I	1696	I	A	I	816 (+ 93 %)
I	CH	327	I	CH	I	520	I	CH	I	193 (+ 59 %)
NL	B	2072	I	B	NL	587	I	NL	B	1486 (+ 253 %)
NL	L	10	I	L	NL	11	I	L	NL	1 (+ 5 %)
NL	GB	358	I	GB	NL	132	I	NL	GB	226 (+ 171 %)
NL	IRL	2	I	IRL	NL	12	I	IRL	NL	11 (+ 623 %)
NL	DK	288	I	DK	NL	91	I	NL	DK	197 (+ 217 %)
NL	A	222	I	A	NL	71	I	NL	A	151 (+ 214 %)
NL	CH	50	I	CH	NL	9	I	NL	CH	40 (+ 440 %)
B	L	33	I	L	B	184	I	L	B	151 (+ 462 %)
B	GB	58	I	GB	B	288	I	GB	B	230 (+ 395 %)
B	IRL	0	I	IRL	B	21	I	IRL	B	21
B	DK	21	I	DK	B	31	I	DK	B	11 (+ 52 %)
B	A	84	I	A	B	97	I	A	B	13 (+ 16 %)
B	CH	17	I	CH	B	31	I	CH	B	15 (+ 87 %)
L	GB	2	I	GB	L	1	I	L	GB	1 (+ 193 %)
L	IRL	0	I	IRL	L	0	I	IRL	L	0
L	DK	0	I	DK	L	0	I	DK	L	0
L	A	3	I	A	L	1	I	A	L	2 (+ 193 %)
L	CH	1	I	CH	L	3	I	CH	L	2 (+ 161 %)
GB	IRL	8	I	IRL	GB	304	I	IRL	GB	296 (+3821 %)
GB	DK	7	I	DK	GB	155	I	DK	GB	147 (+1991 %)
GB	A	83	I	A	GB	42	I	A	GB	41 (+ 97 %)
GB	CH	14	I	CH	GB	12	I	CH	GB	2 (+ 16 %)
IRL	DK	0	I	DK	IRL	1	I	DK	IRL	1
IRL	A	6	I	A	IRL	0	I	A	IRL	6
IRL	CH	1	I	CH	IRL	0	I	CH	IRL	0
DK	A	107	I	A	DK	13	I	DK	A	93 (+ 709 %)
DK	CH	10	I	CH	DK	28	I	CH	DK	18 (+ 191 %)
A	CH	107	I	CH	A	198	I	CH	A	92 (+ 86 %)

großen hingegen als „Verlierer“¹⁸⁾. Der größte „Gewinner“ sind die Niederlande, die größten „Verlierer“ Frankreich und die Bundesrepublik Deutschland. Etwas überraschend ist der zweitgrößte Gewinner Österreich, knapp gefolgt von Belgien und Dänemark. Ausgeglichen ist die Bilanz lediglich für Großbritannien.

6. Ausblick

Der vorliegende Bericht soll eine Hilfestellung bieten zur Versachlichung und Entkrampfung der emotionsbeladenen europäischen Verkehrspolitik. Dabei ist uns sehr wohl bewußt, daß einzelne Zahlenergebnisse infolge zum Teil erheblicher Unsicherheiten im Ausgangsdatenmaterial hinterfragbar sind (insbesondere in bezug auf Italien). Gleichwohl soll diese Einsicht nun nicht dazu führen, daß diejenigen Länder, die sich aufgrund der Ergebnisse benachteiligt fühlen, um jede Zahl zu feilschen beginnen. Wesentlich zielführender wäre es, für die Zukunft die Datenlage zu verbessern, statistisch auf internationaler Ebene koordiniert zusammenzuarbeiten und auf diese Weise Unstimmigkeiten schon von vornherein zu reduzieren. Außerordentlich vermißt wurden verwertbare Originaldaten aus Italien. Die Eurostat-Statistik ([1], vgl. Abschnitt 3) sollte daher in Zukunft unbedingt die Daten aus Italien einbeziehen.

Bei einer Fortschreibung sollten in Zukunft Jugoslawien und Griechenland einbezogen werden. Daten für Griechenland stehen zur Verfügung, jedoch wurde Griechenland nicht einbezogen, da es (ohne Jugoslawien) zur Zerstückelung des Untersuchungsgebietes geführt hätte, was methodische Probleme aufwirft. Die Einbeziehung von Jugoslawien wird aber nur dann gelingen, wenn vergleichbare Daten aus Jugoslawien zur Verfügung gestellt werden.

Eine Umstellung der Verkehrsleistungsbilanzen von der Dimension „tkm“ auf die Dimension „LKW-km“, die wiederholt als Rechengröße zum Zwecke der Ermittlung gerechter Abgabenbelastungen gefordert wurde, wird auch in Zukunft auf große Schwierigkeiten stoßen, da in den einzelnen Ländern unterschiedliche Definitionen, Kategorisierungen und Klassifizierungen der LKW existieren, die kaum unter einen Hut zu bringen sind. (Eine länder einheitliche durchschnittliche Beladung je LKW-Fahrt erscheint uns dabei nicht vertretbar.)

Mit der Vorlage dieses Berichtes wird die Hoffnung verbunden, daß Mißtrauen und Argwohn in der europäischen Verkehrspolitik abgebaut werden. Einen wichtigen Beitrag hierzu können alle Länder durch Verbesserung und Offenlegung ihrer eigenen Datenbasis und durch internationale Kooperation im Datenaustausch leisten.

Summary

With a view to objectivating the international discussion of transport policy on the European level and providing a generally acceptable quantitative starting position in the sector of border-crossing road haulage, this contribution sets up for the first time multi-lateral balances of international road haulage output (in the dimension of ton-km). This means that for eleven selected European countries (Federal Republic of Germany, France, Italy, The Netherlands, Belgium, Luxembourg, United Kingdom, Ireland, Denmark, Austria, and Switzerland) the road transportation output of trucks registered in each of those countries on the roads of other countries is determined (for 1982).

18) Als „Gewinner“ bzw. „Verlierer“ werden Länder mit positiver bzw. negativer Überschulleistung gemäß Tabelle 7 bezeichnet.

Tabelle 7: Internationale Verkehrsleistungsbilanzen 1982 in Mio tkm (Wechselverkehr und Drittlandverkehr)

Verkehrsleistung (Mio tkm)		Verkehrsleistung (Mio tkm)		Überschulleistung eigener LKW auf fremden Straßen (Mio tkm)	„Überschuß-Rang“
der LKW mit Heimat in	auf den Straßen der übrigen 10 Länder	auf den Straßen von	mit den in den übrigen 10 Ländern beheimateten LKW		
D	11 558	D	19 943	D - 8 385	10
F	5 318	F	14 981	F - 9 663	11
I	6 695	I	9 419	I - 2 724	9
NL	11 999	NL	2 122	NL + 9 877	1
B	7 509	B	4 877	B + 2 632	3
L	690	L	120	L + 570	6
GB	1 821	GB	1 882	GB - 61	8
IRL	454	IRL	16	IRL + 438	7
DK	3 267	DK	779	DK + 2 488	4
A	5 750	A	2 769	A + 2 981	2
CH	2 697	CH	850	CH + 1 847	5

Internationale Straßenverkehrsleistungsbilanzen

Eine analytische Berechnungsmethode für Geschwindigkeitsverteilungen in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte

VON DIRK HEIDEMANN, BERGISCH GLADBACH

1. Einleitung

Als Fundamentaldiagramm eines Straßenabschnittes bezeichnet man bekanntlich den Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke, q , und Verkehrsdichte, k . Aufgrund der Gleichung $q = \bar{v}_m \cdot k$, wobei \bar{v}_m die mittlere momentane Geschwindigkeit auf der betrachteten Strecke ist, genügt die Kenntnis der \bar{v}_m - k -Beziehung zur Konstruktion des Fundamentaldiagrammes.

Im konkreten Anwendungsfall werden Fundamentaldiagramme in aller Regel durch Messungen an einem Straßenquerschnitt und Anpassung einer Ausgleichsfunktion an die Datenpunkte ermittelt. Von entscheidendem Einfluß ist dabei die Wahl des Bezugsintervalles, d. h. des Zeitintervalles, das den einzelnen Datenpunkten zugrunde gelegt wird. Zu kleine Bezugsintervalle führen zu großen statistischen Streuungen, wohingegen zu große Bezugsintervalle wegen des verstärkten Auftretens von Instationaritäten des Verkehrsablaufs innerhalb der einzelnen Intervalle in Verbindung mit der nicht-linearen Gestalt des Fundamentaldiagrammes unkontrollierbare Verschiebungen der Datenpunkte verursachen.

Außer durch Messungen kann die prinzipielle Gestalt von Fundamentaldiagrammen auch durch analytische Berechnungen ermittelt werden. Die gängigen Methoden, wie z. B. Integration der Fahrzeugfolgegleichung¹⁾, erweisen sich jedoch häufig als nicht geeignet für eine hinreichend genaue Beschreibung des komplexen Phänomens Verkehrsablauf.

Im folgenden wird vor diesem Hintergrund eine neue Methode zur Ermittlung von Fundamentaldiagrammen entwickelt. Sie leistet aber darüber hinaus wesentlich mehr, da sich nicht nur die q - k - oder \bar{v}_m - k -Beziehung ergibt, sondern die gesamte Verteilung der momentanen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Dichte. Dabei spielen die bei Messungen auftretenden Probleme keine Rolle mehr.

Vorausgesetzt wird im wesentlichen die Kenntnis

- der Verteilung momentaner Wunschgeschwindigkeiten (die ggf. leicht aus der Verteilung lokaler Wunschgeschwindigkeiten bestimmt werden kann),

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. Dirk Heidemann
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53
5060 Bergisch Gladbach 1

1) Vgl. Leutzbach, W., Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Berlin-Heidelberg-New York 1972.

- einer Funktion zur Beschreibung des Überholverhaltens sowie
- der Staudichte.

Dieses sind Parameter für ein System von Übergangswahrscheinlichkeiten, durch das die Veränderung der momentanen Geschwindigkeitsverteilung, die auf ein differentielles Anwachsen der Verkehrsdichte von k auf $k + dk$ zurückzuführen ist, modelliert wird. Der Modellansatz ergibt ein System von Differentialgleichungen, dessen Lösung ein implizites Gleichungssystem zur Bestimmung der momentanen Geschwindigkeitsverteilung bei beliebiger Dichte ist. Dieses Gleichungssystem ist mit Hilfe eines Computerprogrammes numerisch lösbar.

2. Theoretisches Modell

Wir betrachten grundsätzlich momentane Geschwindigkeiten und teilen das mögliche Geschwindigkeitsspektrum in n Klassen. Wenn wir die Teilpunkte mit v_0, v_1, \dots, v_n bezeichnen und $v_0 = 0, v_n = \infty$ setzen, so sei die i -te Klasse diejenige, die von v_{i-1} (einschließlich) bis v_i (ausschließlich) reicht.

Im folgenden bedeutet die Ausdrucksweise „ein Fahrzeug befindet sich im Zustand (k, i) “, daß es bei Dichte k in der Geschwindigkeitsklasse i fährt.

Sei nun $P_k(i)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß bei der Verkehrsdichte k die Geschwindigkeitsklasse i beobachtet wird. Wir werden ein System von Übergangswahrscheinlichkeiten $P_k, k + \Delta k(i, j)$ entwickeln; dabei ist $P_k, k + \Delta k(i, j)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Fahrzeug im Zustand (k, i) bei Zunahme der Dichte um den (kleinen) Betrag Δk in die Geschwindigkeitsklasse j gerät.

Für $P_k, k + \Delta k(i, j)$ machen wir folgenden Ansatz:

$$(1) \quad P_{k, k + \Delta k}(i, j) := \begin{cases} 0, & \text{falls } i < j \\ P_k(j) \cdot [h(k + \Delta k, i) - h(k, i)], & \text{falls } i > j \\ 1 - \sum_{i > 1} P_k(i) \cdot [h(k + \Delta k, i) - h(k, i)], & \text{falls } i = j. \end{cases}$$

(Der Fall „ $i = j$ “ ergibt sich aus der Forderung

$$\sum_{i=1}^n P_{k, k + \Delta k}(i, i) = 1.)$$

Die in (1) vorkommende Funktion $h(k, i)$ wird folgendermaßen definiert:

$$(2) \quad h(k, i) := \frac{[1 - E_1(\exp(-vt_a k^*))]}{1 - [1 - E_1(\exp(-vt_p k^*))]} \cdot [P_k(i) \cdot (1 - g(k, i)) + g(k, i)]$$

Dabei ist:

k^* : $k / (1 - k/k_{St})$, wobei k_{St} die Staudichte für die betrachtete Richtungsfahrbahn

bezeichnet; k^* ist somit der Reziprokwert des mittleren Netto-Wegabstandes bei Dichte k ;

$\tau_a = \tau_a(k, i)$ ein Netto-Zeitabstand, unterhalb dessen sich ein Fahrzeug im Zustand (k, i) an die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs anpaßt, sofern dieses in einer Geschwindigkeitsklasse $j < i$ fährt und keine Überholung stattfindet;

$\tau_p = \tau_p(k, i)$ ein Netto-Zeitabstand, unterhalb dessen ein Fahrzeug im Zustand (k, i) als Folgefahrzeug im Pulk fährt; das vorausfahrende Fahrzeug befindet sich dann in der gleichen Geschwindigkeitsklasse i ;

$g(k, i)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Fahrzeug im Zustand (k, i) trotz Überholwunsch nicht überholt;

E_i der bedingte Erwartungswert unter der Hypothese, daß die Geschwindigkeit v in der i -ten Klasse ist.

Zur Erläuterung von (1) und (2) sei nun zunächst bemerkt, daß $1 - E_i(\exp(-v\tau_a k^*))$ die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß ein Fahrzeug im Zustand (k, i) einen Netto-Zeitabstand kleiner als τ_a zum vorausfahrenden Fahrzeug hat (dabei wird eine Exponentialverteilung der Netto-Wegabstände vorausgesetzt).

Schreibt man für den Nenner in (2) abkürzend $1 - p(k, i)$, so läßt sich zeigen, daß $p(k, i)$ die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß ein Fahrzeug im Zustand (k, i) als Folgefahrzeug im Pulk fährt (s. u.). Der Ausdruck

$$(1 - p(k, i))^{-1} = \sum_{m \geq 1} m \cdot p(k, i)^{m-1} \cdot (1 - p(k, i))$$

stellt dann gerade die mittlere Pulklänge (einschließlich Pulkführer) von Fahrzeugen im Zustand (k, i) als Erwartungswert einer geometrischen Verteilung dar.

Aufgrund der gegebenen Definitionen und Erläuterungen erhält man nun mit

$$P_k(j) \cdot h(k, i) = P_k(j) \cdot [1 - E_i(\exp(-v\tau_a k^*))] \cdot g(k, i) \cdot (1 - p(k, i))^{-1}$$

(für $i > j$)

die Wahrscheinlichkeit, bei Dichte k von der Geschwindigkeitsklasse i in die Geschwindigkeitsklasse j überzugehen. Diese Übergänge finden aber bereits im Gleichgewichtszustand des Verkehrsflusses, d. h. bei konstanter Dichte, statt. Eine Zunahme der Dichte um den (kleinen) Betrag Δk führt zu einer zusätzlichen, also das Gleichgewicht störenden, Wahrscheinlichkeit

$$P_k(j) \cdot [h(k + \Delta k, i) - h(k, i)] \quad (\text{für } i > j);$$

dies ist gerade die in (1) vorkommende Übergangswahrscheinlichkeit $P_{k, k + \Delta k}(i, j)$.

Nach der Modellvorstellung wird also der Gleichgewichtszustand des Verkehrsflusses bei konstanter Dichte infolge einer (geringen) Zunahme der Dichte gestört; die modellierten Störfaktoren sind die sich in Abhängigkeit von der Dichte ändernden Verteilungen der Netto-Wegabstände, Längen von Pulks in den einzelnen Geschwindigkeitsklassen sowie Überholmöglichkeiten.

Um die Begründung für (1) und (2) abzuschließen, ist noch zu zeigen, daß

$$p(k, i) = [1 - E_i(\exp(-v\tau_p k^*))] \cdot [P_k(i)(1 - g(k, i)) + g(k, i)]$$

die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß ein Fahrzeug im Zustand (k, i) als Folgefahrzeug im Pulk fährt. Da $1 - E_i(\exp(-v\tau_p k^*))$ die Wahrscheinlichkeit für einen Netto-Zeitabstand kleiner als τ_p darstellt, bleibt wegen der Definition von τ_p nur noch zu begründen, daß $P_k(i)(1 - g(k, i)) + g(k, i)$ die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß das betrachtete Fahrzeug sich im Zustand (k, i) befindet, und zwar unter der Hypothese, daß sein Abstand $\leq \tau_p$ ist. Dies sieht man so: wenn dieses Fahrzeug im Bedarfsfall überholen kann — was mit der Wahrscheinlichkeit $1 - g(k, i)$ der Fall ist — befindet es sich mit der (globalen) Wahrscheinlichkeit $P_k(i)$ in der Geschwindigkeitsklasse i ; andernfalls wird es durch das vorausfahrende Fahrzeug behindert und fährt daher wie dieses in der Geschwindigkeitsklasse i .

Läßt man nun Δk differentiell klein werden und drückt dies — wie üblich — durch die Bezeichnung dk aus, so lauten die Übergangswahrscheinlichkeiten:

$$P_{k, k+dk}(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{falls } i < j \\ P_k(j) \cdot h'(k, i) \cdot dk, & \text{falls } i > j \\ 1 - \sum_{i > 1} P_k(i) \cdot h'(k, i) \cdot dk, & \text{falls } i = j. \end{cases}$$

(Ableitungen nach k werden durch „'“ bezeichnet.)

Wie im Fall allgemeiner Markoff'scher stochastischer Prozesse gilt nun:

$$(3) \quad P_{k+dk}(j) = \sum_{i \geq j} P_k(i) \cdot P_{k, k+dk}(i, j).$$

Dies ist ein Differentialgleichungssystem, das nun nach $P_k(i)$ aufgelöst werden soll.

3. Lösung des Differentialgleichungssystems

Aus (3) ergibt sich im Fall $j = n$:

$$\begin{aligned} P_{k+dk}(n) &= P_k(n) \cdot P_{k, k+dk}(n, n) \\ &= P_k(n) \cdot (1 - \sum_{n > 1} P_k(i) \cdot h'(k, n) \cdot dk). \end{aligned}$$

Hieraus folgt:

$$\begin{aligned} P_k'(n) &= \frac{P_{k+dk}(n) - P_k(n)}{dk} = -P_k(n) \sum_{n > 1} P_k(i) \cdot h'(k, n) \\ &= -P_k(n) (1 - P_k(n)) h'(k, n). \end{aligned}$$

Dies ist eine Bernoulli'sche Differentialgleichung mit der Lösung:

$$(4) \quad P_k(n) = \frac{1}{\left(\frac{1}{P_0(n)} - 1\right) \cdot \exp(h(k, n)) + 1}$$

Dabei ist $P_0(n)$ die Wahrscheinlichkeit der n -ten Klasse der momentanen Geschwindigkeitsverteilung P_0 bei $k \approx \infty$, d. h. bei „freiem“ Verkehrsfluß. P_0 kann auch als Verteilung der momentanen Wunschgeschwindigkeiten betrachtet werden.

Da $P_k(n)$ in $h(k, n)$ vorkommt, ist (4) eine implizite Gleichung zur Bestimmung von $P_k(n)$. Sie kann aber bei vorgegebener Dichte k und bekannter „Anfangsverteilung“ $P_0(n)$ mit numerischen Methoden leicht nach $P_k(n)$ aufgelöst werden.

Im Fall $j < n$ erhält man $P_k(j)$ völlig analog dadurch, daß man bedingte Wahrscheinlichkeiten betrachtet, d. h. man ersetzt in Gleichung (4) n durch j ,

$$P_k(n) \text{ durch } \frac{P_k(j)}{1 - \sum_{i>j} P_k(i)}, \text{ und}$$

$$P_0(n) \text{ durch } \frac{P_0(j)}{1 - \sum_{i>j} P_0(i)}.$$

(Zu beachten ist, daß diese Ersetzungen auch in $h(k, n)$ vorzunehmen sind.)

Man erhält auf diese Weise schließlich für eine beliebig vorgegebene Dichte k und für jede Geschwindigkeitsklasse j von 1 bis n :

$$(5) \quad \frac{P_k(j)}{1 - \sum_{i>j} P_k(i)} = \frac{1}{\left(\frac{1 - \sum_{i>j} P_0(i)}{P_0(j)} - 1\right) \cdot \exp(\tilde{h}(k, j)) + 1}$$

mit

$$(6) \quad \tilde{h}(k, j) = \frac{[1 - E_j(\exp(-vt_a k^*))] \cdot g(k, j)}{1 - [1 - E_j(\exp(-vt_p k^*))] \cdot \left[\frac{P_k(j)}{1 - \sum_{i>j} P_k(i)} \cdot (1 - g(k, j)) + g(k, j) \right]}$$

(Es sei daran erinnert, daß t_a und t_p von k und j abhängen dürfen. Ferner ist $\sum_{i>n} P_k(i)$ als Summe über die leere Indexmenge definitionsgemäß gleich Null zu setzen.)

Dieses Gleichungssystem läßt sich sukzessiv, von „ $j = n$ “ aus startend, bis hin zu „ $j = 1$ “ nach $P_k(j)$ lösen.

$P_k(j)$ wird durch die jeweilige Gleichung implizit und eindeutig bestimmt. Die numerische Berechnung ist mit Hilfe eines Computerprogramms zur Nullstellenberechnung von Funktionen leicht durchzuführen.

Bei nicht zu großer Breite der Geschwindigkeitsklassen kann z. B. $E_j(\exp(-vt_a k^*))$ geschätzt werden durch

$\exp(-v(j)t_a k^*)$, wenn $v(j)$ den Mittelwert der Geschwindigkeit in der j -ten Klasse bezeichnet.

Schließlich darf die Breite der Geschwindigkeitsklassen auch nicht zu klein gewählt werden, da sonst der Streubereich der Geschwindigkeiten für Folgefahrzeuge im Pulk zu eng wird. Unter diesen Gesichtspunkten erscheint eine Breite der Geschwindigkeitsklassen von 5 km/h geeignet.

4. Anwendungsbeispiele

Die Gleichungen (5) und (6), die das entwickelte Modell darstellen, wurden zur Berechnung der momentanen Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte und damit auch zur Berechnung von Fundamentaldiagrammen sowohl für zweistreifige als auch für dreistreifige Richtungsfahrbahnen angewendet. Die Ergebnisse sind in den Bildern 1 bis 4 dargestellt. Die Bilder 1 und 3 enthalten als Kennwerte der momentanen Geschwindigkeitsverteilungen bei einem Lkw-Anteil von 0 % die Mittelwerte sowie die 85- und 15-Perzentile, während die Bilder 2 und 4 die Fundamentaldiagramme bei lokalen Lkw-Anteilen von 0, 10 und 20 % beinhalten.

Alle Berechnungen wurden mit den folgenden Parametern durchgeführt:

- einer Normalverteilung mit Mittelwert 130 km/h und Variationskoeffizient 0,2 für die lokalen Wunschgeschwindigkeiten der Pkw,
- einer im Intervall zwischen 85 und 90 km/h konzentrierten Verteilung für die lokalen Wunschgeschwindigkeiten der Lkw,
- $t_p = 2$ s,
- t_a = lineare Funktion der Geschwindigkeitsklasse, bestimmt durch $t_a = 2$ s für die niedrigste Klasse (von 0 bis 5 km/h) und $t_a = 8$ s für die höchste Klasse (über 200 km/h),
- $k_{St} = 100$ Fz/km für zwei- und 150 Fz/km für dreistreifige Richtungsfahrbahnen, jeweils bei 0 % Lkw-Anteil; bei positivem Lkw-Anteil wurde ein Lkw gleich zwei Pkw gesetzt, so daß eine entsprechende Abminderung von k_{St} resultierte,
- $g(k, i) = (k/k_{St})^{2/3}$.

Bei der Spezifizierung von t_a wurde berücksichtigt, daß der erforderliche Netto-Zeitabstand bei Annäherung an ein langsames Fahrzeug ohne Überholmöglichkeit mit der Geschwindigkeit des sich annähernden Fahrzeugs zunimmt; allerdings ist der Einfluß von t_a auf das Ergebnis nur gering.

Da uns für $g(k, i)$ aus der Literatur keine Ansätze bekannt sind, wurden zunächst die Randbedingungen, die diese Funktion erfüllen muß, festgestellt; dies sind:

$g(0, i) = 0$, $g(k_{St}, i) = 1$ und Isotonie (d. h. $g(k, i)$ ist monoton wachsend in k).

Der einfachste Ansatz wäre $g(k, i) = k/k_{St}$ gewesen; es zeigte sich aber, daß sich damit zu hohe Geschwindigkeiten ergaben. Daher wurde ein Exponent aufgenommen, der für

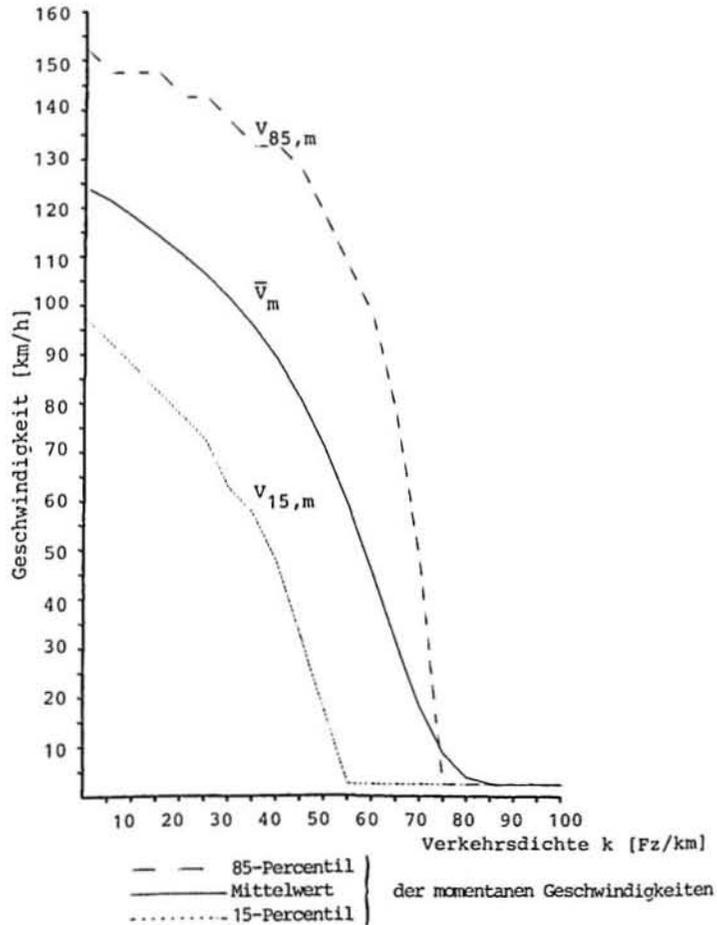


Bild 1: Kennwerte der berechneten momentanen Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte für zweistreifige Richtungsfahrbahnen (Lkw-Anteil 0 %).

den Wert $2/3$ in allen untersuchten Fällen zu Resultaten führte, die realistisch erschienen. Interessant ist in diesem Zusammenhang vielleicht die Beobachtung, daß die für $g(k, i)$ verwendete Funktion in ihrem qualitativen Verlauf für nicht zu hohe Dichten

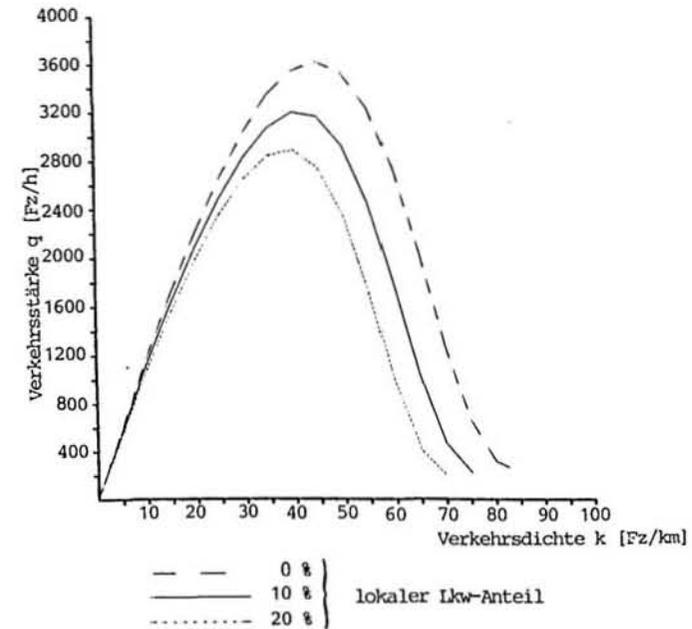


Bild 2: Berechnete Fundamentaldiagramme für zweistreifige Richtungsfahrbahnen

in etwa mit der relativen Belegung des Überholstreifens in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke übereinstimmt²⁾.

Bei der Betrachtung der Bilder 1 und 3 ist zu beachten, daß bei den dargestellten momentanen Geschwindigkeiten hohe Werte im Vergleich zu lokalen Geschwindigkeiten unter- und niedrige Werte überrepräsentiert sind. Die Umrechnungen von momentanen in lokale Geschwindigkeitsverteilungen (und umgekehrt) sind leicht durchzuführen³⁾.

In den Bildern 2 und 4 sind die je nach Lkw-Anteil auftretenden Verschiebungen im rechten Teil der Fundamentaldiagramme im wesentlichen auf die mit wachsendem Lkw-Anteil abnehmende Staudichte k_{St} zurückzuführen.

Vergleiche mit Meßergebnissen zeigen, daß die qualitativen und quantitativen Verläufe der errechneten Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte die realen Verhältnisse sehr gut wiedergeben. Allerdings kann durch die

2) Vgl. Hotop, R., Untersuchung der Verkehrsqualität auf zwei- und dreispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, Bonn 1975.

3) Vgl. Leutzbach, W., Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, a.a.O.

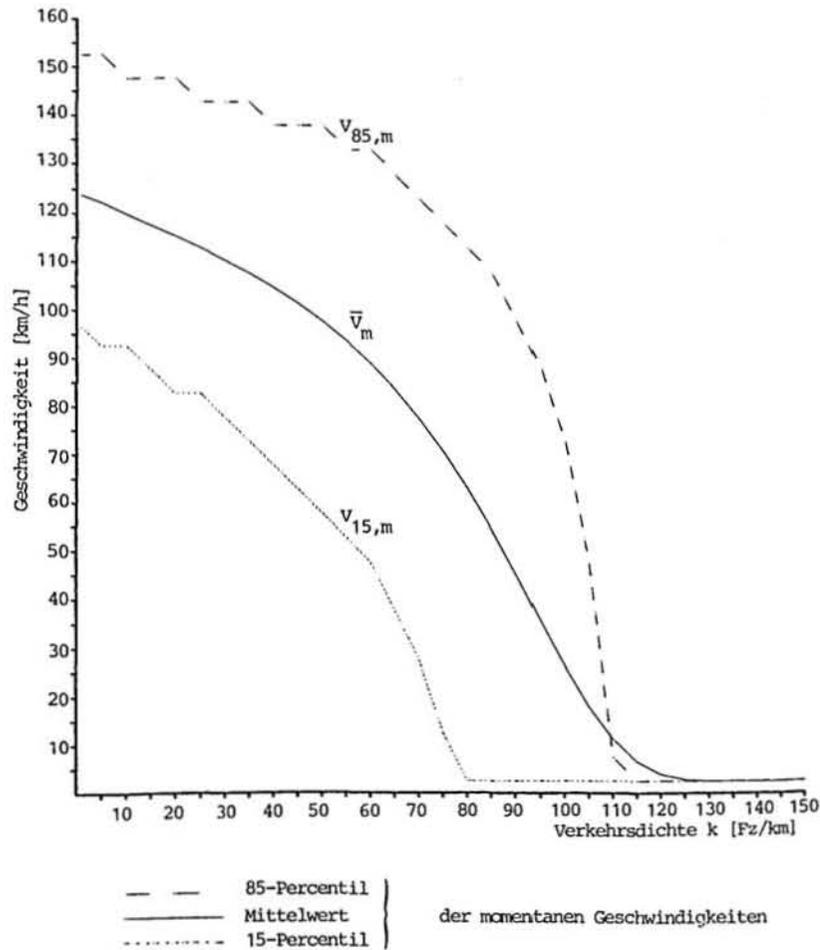


Bild 3: Kennwerte der berechneten momentanen Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte für dreistreifige Richtungsfahrbahnen (Lkw-Anteil 0 %).

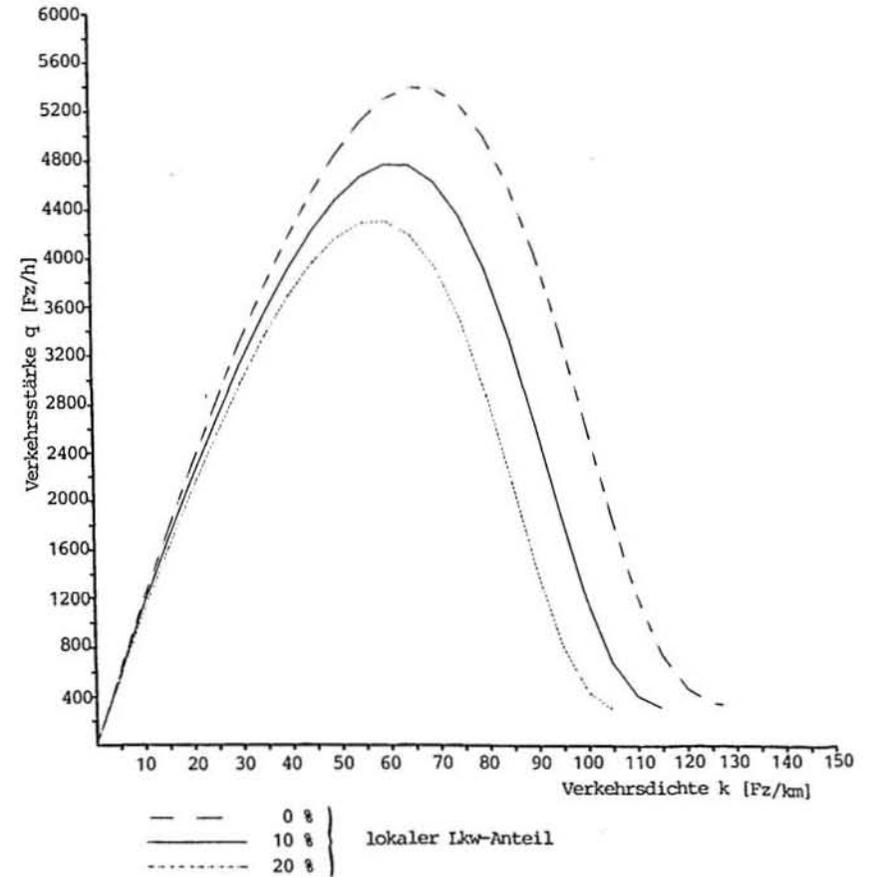


Bild 4: Berechnete Fundamentaldiagramme für dreistreifige Richtungsfahrbahnen

entwickelten Berechnungsverfahren das gesamte Dichtespektrum abgedeckt werden, wohingegen durch Messungen selten der Bereich jenseits der zur maximalen Verkehrsstärke gehörigen sogenannten „optimalen“ Dichte erreicht wird. Ferner werden Vergleiche mit Meßergebnissen durch die eingangs erwähnten Stationaritätsprobleme, die zwangsläufig mit Messungen verbunden sind, erschwert. Schließlich werden aus Messungen in aller Regel nur mittlere Geschwindigkeiten erhalten, nicht jedoch die gesamte Geschwindigkeitsverteilung, die sich aus dem Berechnungsverfahren ergibt.

5. Zusammenfassung und Schlußbemerkungen

Es wurde eine analytische Berechnungsmethode entwickelt, mit der die momentane Geschwindigkeitsverteilung bei beliebig vorgegebener Verkehrsdichte ermittelt werden kann; insbesondere kann die mittlere momentane Geschwindigkeit und die Verkehrsstärke bei jeder Dichte – also das Fundamentaldiagramm – berechnet werden.

Als Eingangsparameter werden im wesentlichen benötigt

- die Geschwindigkeitsverteilung bei geringer Dichte, d. h. die Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten,
- eine Funktion $g(k, i)$ zur Beschreibung des Überholverhaltens, und
- die Staudichte.

Die Anwendungen ergaben sehr gute quantitative und qualitative Übereinstimmungen mit Auswertungen auf der Basis von Messungen.

Weitere Vorteile der entwickelten Methode gegenüber den gängigen Verfahren sind:

- man erhält nicht nur mittlere Geschwindigkeiten, sondern die gesamte Geschwindigkeitsverteilung bei jeder Dichte;
- es gibt weder Probleme mit Instationaritäten des Verkehrsablaufs noch mit zu geringer Datenbasis innerhalb von Bezugsintervallen, da diese Intervalle gar nicht benötigt werden;
- man erhält auch Ergebnisse im Bereich des gebundenen Verkehrs, d. h. oberhalb der zur maximalen Verkehrsstärke gehörigen „optimalen“ Dichte.

Gewisse Schwierigkeiten bei der Anwendung des Berechnungsverfahrens entstehen durch die Notwendigkeit der Spezifizierung der Funktion $g(k, i)$, die das Überholverhalten beschreibt. Über diese Funktion sind nur einige Eigenschaften bekannt, die ihren quantitativen Verlauf aber nicht eindeutig festlegen.

Als ein Nachteil des Modells mag es angesehen werden, daß nicht alle zeitlich begrenzten Geschwindigkeitsstreuungen des einzelnen Fahrzeugs berücksichtigt werden. Dieser Nachteil ist aber anscheinend nicht gravierend, weil derartige Streuungen nur dann vernachlässigt werden, wenn sie auf kleine Veränderungen der Verkehrsdichten zurückzuführen sind, nicht jedoch dann, wenn sie im Gleichgewichtszustand des Verkehrsflusses – also bei konstanter Dichte – bereits vorhanden sind.

Ein Ansatz zur Verbesserung des Modells könnte darin bestehen, die in der Übergangswahrscheinlichkeit $P_{k,k+\Delta k}(i, j)$ vorkommende Funktion $h(k, i)$ (s. Gleichung (2)) nicht nur von der Verkehrsdichte k und der Geschwindigkeitsklasse i , sondern auch von der Geschwindigkeitsklasse j abhängig zu machen. Dies würde auf ein System von n impliziten Gleichungen in den n Unbekannten $P_k(1), \dots, P_k(n)$ führen, die aber nicht mehr sukzessiv, sondern simultan gelöst werden müßten. Der damit verbundene höhere numerische Aufwand scheint aber angesichts der ohnehin bereits sehr realitätsnahen Ergebnisse kaum gerechtfertigt.

Das Modell ist prinzipiell in der Lage, auch dann eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Straßen zu ergeben, wenn – bei ansonsten gleichbleibenden Parametern – die Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten bei hohen Werten „abgeschnitten“ wird. Daher würde es sich zum Beispiel zur Untersuchung der Auswirkungen von Geschwindigkeits-

beschränkungen auf die Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken in Abhängigkeit der Dichten eignen; allerdings wäre es von entscheidender Bedeutung, etwaige Änderungen der das Überholverhalten beschreibenden Funktion $g(k, i)$ infolge von Geschwindigkeitsbeschränkungen zu kennen.

Ein weiteres Beispiel für eine Anwendung des entwickelten Modells ist die Untersuchung der Einflüsse verschiedener Witterungsbedingungen auf die Geschwindigkeits-Dichte-Beziehungen. Hierzu müßten die Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten, die Zeitabstände t_a und t_p sowie die Funktion $g(k, i)$ für die betrachteten Witterungsbedingungen bekannt sein.

Diese Bemerkungen deuten bereits darauf hin, daß das Berechnungsmodell im Rahmen seiner Möglichkeiten zur Lösung verschiedener Fragen und Probleme in Zusammenhang mit Geschwindigkeitsverteilungen und Fundamentaldiagrammen angewendet werden kann.

Summary

A method is developed that allows the calculation of the distribution of instantaneous speeds for any traffic density. As a special case, the relationship between traffic volume and density may be obtained. The method requires the specification of the distribution of desired speeds, a certain function describing overtaking behaviour, and the density for congested traffic. These are the parameters for a system of transition probabilities by which the change in the distribution of speeds due to a small increase in traffic density is modelled. The model yields a system of differential equations for the determination of the speed distribution as a function of density. The method is applied to two- and three-lane roadways of freeways.