

53. Jahrgang – Heft 1 – 1982

**ZEITSCHRIFT  
FÜR  
VERKEHRS-  
WISSENSCHAFT**

INHALT DES HEFTES:

- |   |          |
|---|----------|
| Beschäftigungswirkungen von Straßenbauinvestitionen<br>– Eine Berechnung aus Input-Output-Analyse<br>und einzelwirtschaftlichen Kostenstrukturen<br>Von Herbert Baum unter Mitarbeit von Rolf Wenzel, Hamburg | Seite 3  |
| Ein Verfahren zur Beurteilung von Rangstabilitäten<br>in der Nutzwertanalyse<br>Von Peter Cerwenka, Basel   | Seite 29 |
| Die Standortveränderungen<br>in der Eisen- und Stahlindustrie<br>und ihre Auswirkungen auf die Seetransportmärkte<br>Von Gösta B. Ihde und Uwe Barwig, Mannheim   | Seite 44 |
| Nutzen-Kosten-Untersuchungen<br>für das Verkehrsleitsystem<br>Wechselwegweisung Rhein/Main<br>Von Hartmut Keller und Hellmut Hampe, München   | Seite 55 |

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  
Institut für Wirtschaftspolitik  
Hochschule der Bundeswehr Hamburg  
Holstenhofweg 85, 2000 Hamburg 70

Herstellung - Vertrieb - Anzeigen:  
Verkehrs-Verlag J. Fischer, Paulusstraße 1, 4000 Düsseldorf 14,  
Telefon: (02 11) 67 30 56, Telex: 8 58 633 vvf

Einzelheft DM 16,-, Jahresabonnement DM 58,-,  
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 Zeitschriftenbänden, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.*

Beschäftigungswirkungen von Straßenbauinvestitionen  
— Eine Berechnung aus Input-Output-Analyse  
und einzelwirtschaftlichen Kostenstrukturen

v.m.k.a  
v.s.i.e

VON HERBERT BAUM  
unter Mitarbeit von Rolf Wenzel

I. Vorhandene Untersuchungen

Straßenbauausgaben sind in den Investitionsplanungen von Bund, Ländern und Gemeinden für 1982 und die Jahre danach zurückgestuft worden. Die Gründe dafür waren finanzielle Engpässe, Kritik von Seiten der Verkehrspolitik und Zweifel an der Beschäftigungswirksamkeit. Im folgenden soll nur dem beschäftigungspolitischen Argument nachgegangen werden. Ziel dieses Beitrags ist es, die Beschäftigungswirkungen von Veränderungen der Straßenbauinvestitionen zu berechnen.

In der Literatur gibt es eine Reihe von Arbeiten über die Beschäftigungswirkungen von Bauinvestitionen<sup>1)</sup>. Die DIW-Studien (*Stäglin, J. Schmidt*) betrachten die staatliche Baunachfrage insgesamt. Da sich das Bauvolumen aus Investitionsprojekten unterschiedlicher Bereiche zusammensetzt, lassen sich keine genauen Rückschlüsse auf die Beschäftigungswirkungen von Straßenbauinvestitionen ziehen. Die Untersuchung von *K. Schmidt* untergliedert demgegenüber nach verschiedenen Verkehrsinvestitionen (Straßen- und Brückenbau, Wasserstraßen, Bundesbahn und öffentlicher Personennahverkehr). Sie vernachlässigt jedoch, daß innerhalb des Straßenbaus die Investitionsprojekte durchaus unterschiedliche Arbeitsintensitäten (z. B. Fernstraßen, Innerortsstraßen, Ortsumgehungen, Kreuzungen an Verkehrsknotenpunkten, Verkehrsberuhigungsmaßnahmen) haben. Die nachfolgende Berechnung stellt diese Unterschiede in den Mittelpunkt.

*Anschrift der Verfasser:*

Prof. Dr. Herbert Baum  
Dipl.-Volksw. Rolf Wenzel  
Institut für Wirtschaftspolitik  
Hochschule der Bundeswehr Hamburg  
Holstenhofweg 85  
2000 Hamburg 70

1) *Stäglin, R.*, Multiplikatorwirkungen des Konjunkturprogramms von 1975 (= Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Beiträge zur Strukturforchung, Heft 45), Berlin 1976; *Schmidt, J.*, Zur Bedeutung der Staatsausgaben für die Beschäftigung. Input-Output-Studie der Beschäftigungswirkungen von Ausgabenkürzungen (= Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Beiträge zur Strukturforchung, Heft 46), Berlin 1977; *Schmidt, K.*, Verkehrsinfrastrukturinvestitionen als Mittel einer wachstumsorientierten Konjunkturpolitik, Bentheim 1976.

## II. Methodisches Vorgehen

### 1. Input-Output-Analyse

Grundlage ist die Input-Output-Analyse, aus der sich die primären und sekundären Produktions- und Beschäftigungswirkungen bestimmen lassen. Die primären Wirkungen erfassen die Effekte bei den Investitionsgüterproduzenten (primäre direkte Wirkungen) und den Vorleistungslieferanten (primäre indirekte Wirkungen). Die sekundären Wirkungen beschreiben die Veränderungen von Produktion und Beschäftigung aus der Einkommensverausgabung der durch die Investition Beschäftigten und den daraus resultierenden Änderungen der Konsumgüternachfrage.

Das verwendete Input-Output-Modell ist das offene statische Leontief-Modell<sup>2)</sup>. Die Summe der Lieferungen (= Output) des Sektors  $i$  an alle Sektoren und an die Endnachfragebereiche  $y_i$  ist gleich dem Bruttowert des Sektors  $i$ :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + y_i = x_i \quad \text{mit } i = 1, \dots, n$$

Es wird angenommen, daß die zur Produktion eingesetzten Vorleistungen (= Inputs) proportional zur Output-Menge sind. Für jeden Sektor  $i$  gilt:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad \text{bzw. } x_{ij} = a_{ij}x_j \quad \text{mit } i = 1, \dots, n$$

Die Koeffizienten  $a_{ij}$  (= Input-Koeffizienten) sind konstante Strukturparameter.

Durch Einsetzen von  $a_{ij}$  in die Bilanzgleichungen ergibt sich ein System von linearen Gleichungen, das die Struktur einer Volkswirtschaft beschreibt:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + y_i = x_i \quad \text{mit } i = 1, \dots, n$$

bzw.  $Ax + y = x$ ,

wobei  $A$  die Matrix der Input-Koeffizienten,  $y$  der Vektor der Endnachfrage und  $x$  der Vektor der Bruttowertproduktion ist.

Zur Lösung des Modells werden die Bruttowertproduktionen  $x$  jedes Sektors bei vorgegebener Endnachfrage  $y$  und konstanten Input-Koeffizienten  $A$  bestimmt. Als Lösung ergibt sich:

$$x = (E - A)^{-1} y \quad (E = \text{Einheitsmatrix}).$$

2) Vgl. Stäglin, R., u. a., Weiterentwicklung der Input-Output-Rechnung als Instrument der Arbeitsmarktanalyse (= Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Band 13), Nürnberg 1976, S. 128 ff.

$(E - A)^{-1}$  ist die inverse Leontief-Matrix. Ihre Elemente („inverse Koeffizienten“) geben die direkte und indirekte Vorleistungsproduktion eines Sektors  $i$  an, die zur Erzeugung einer Endnachfrageeinheit des Sektors  $j$  benötigt wird.

Die Spaltensummen der inversen Leontief-Matrix sind die sektoralen Produktionsmultiplikatoren. Sie geben an, wieviele Produktionseinheiten alle Sektoren zur Erzeugung einer Endnachfrageeinheit des Sektors  $j$  bereitstellen müssen.

Zur Berechnung der Beschäftigungswirkungen wird zunächst der Vektor der Endnachfrage  $y$  durch die exogene Investitionsmatrix ersetzt. Sie beschreibt, wie sich bei einer Straßenbauinvestition eines bestimmten Volumens die Ausgaben auf die „angesprochenen“ Wirtschaftsbereiche verteilen.

Aus Multiplikation der Matrix der inversen Koeffizienten mit der Investitionsmatrix ergeben sich die primären Produktionswirkungen (einschließlich Vorleistungen) für jedes Investitionsprojekt. Die Beschäftigungswirkungen der verschiedenen Straßenbauprojekte erhält man aus der Multiplikation der Produktionswirkungen mit den sektoralen Arbeitskoeffizienten (Erwerbstätige je 1 Million DM Bruttowertproduktion).

### 2. Modifikation durch einzelwirtschaftliche Kostenrechnungen

Bei der Input-Output-Analyse entstehen dadurch, daß sie mit aggregierten Wirtschaftsbereichen arbeitet, Informationsverluste.

Unterschiede zwischen den jeweiligen Straßenbauinvestitionen hinsichtlich der angesprochenen Wirtschaftsbereiche auf der ersten Verausgabungsstufe werden zwar über die Ausgabenstruktur der einzelnen Straßenbauprojekte in der Investitionsmatrix berücksichtigt. Für die angeschlossenen Vorleistungen jedes Wirtschaftsbereiches wird jedoch eine einheitliche, durchschnittliche Vorleistungsstruktur unterstellt. Gleiches gilt für die Produktionstechnik und die Arbeitsintensitäten in den Wirtschaftsbereichen, die zur Herstellung der Investitionen Leistungen abgeben. Durch diese Vergrößerung können projektspezifische Unterschiede in den Produktions- und Beschäftigungswirkungen verloren gehen.

Um Fehleinschätzungen aus dem hohen Aggregationsgrad der Input-Output-Tabelle zu vermeiden, wird daneben ein zweiter Weg verfolgt. Er ermöglicht es, die in der Bauwirtschaft in Abhängigkeit der Art der Straßenbaumaßnahmen stark schwankenden Beschäftigungswirkungen gesondert festzustellen. Dazu werden für unterschiedliche, realisierte Straßenbauprojekte aus einzelwirtschaftlichen Kostenrechnungen ausgewählter Baufirmen die tatsächlichen Arbeitseinsätze ermittelt; der Umweg über durchschnittliche Arbeitskoeffizienten wird dadurch ersetzt.

Der primäre direkte Beschäftigungseffekt einer Straßenbauinvestition in der Bauwirtschaft ergibt sich aus:

$$\begin{aligned} & [(\text{Lohnanteil} \times \text{Auftragssumme}) : \text{Lohnsatz}] : \text{Jahresarbeitsstunden je Beschäftigten} \\ & = \text{Beschäftigtenzahl pro Jahr} \end{aligned}$$

Diese Formel läßt sich normieren auf ein bestimmtes Auftragsvolumen (100 Mio DM) und einen bestimmten Lohnkostenanteil (1 %). Man erhält daraus eine Relation „Lohn-

kostenanteil-Beschäftigungswirkung", die angibt, wieviele Beschäftigte pro Jahr bei einem bestimmten Lohnkostenanteil zur Erstellung von Bauaufträgen in Höhe von 100 Mio DM eingesetzt werden.

Die primären direkten Effekte in der Bauwirtschaft sind zu ergänzen um die primären direkten Effekte in den anderen, von den Straßenbauinvestitionen angesprochenen Wirtschaftsbereichen auf der ersten Verausgabungsstufe und um die indirekten Wirkungen aus der Vorleistungsproduktion.

Die primären direkten und indirekten Wirkungen in den anderen Wirtschaftsbereichen erhält man, wenn von den gesamten primären Beschäftigungswirkungen einer Straßenbauinvestition die aus der Input-Output-Rechnung ermittelten gesamten primären Wirkungen in der Bauwirtschaft abgezogen werden. Da aber nur die direkten Beschäftigungswirkungen in der Bauwirtschaft (aus der Input-Output-Analyse) durch den Kostenrechnungsansatz substituiert werden sollen, müssen zu den primären Beschäftigungseffekten in den anderen Wirtschaftsbereichen noch die indirekten Beschäftigungseffekte in der Bauwirtschaft (Vorleistungsbeschäftigung) addiert werden. Die Vorleistungsbeschäftigung in der Bauwirtschaft läßt sich errechnen, indem von den gesamten in der Bauwirtschaft entstehenden Produktionswirkungen (Input-Output-Analyse) der aus der Investitionsmatrix ersichtliche direkte Produktionseffekt abgezogen und der verbleibende Produktionseffekt mit dem Arbeitskoeffizienten in der Bauwirtschaft multipliziert wird. Durch diese Kombination der Ergebnisse aus einzelwirtschaftlicher Kostenrechnung und Input-Output-Analyse würden auf der primären direkten Stufe der Bauwirtschaft differenzierte straßenbauprojektbezogene Beschäftigungswirkungen ausgewiesen, die für die anderen Wirtschaftsbereiche und die Vorleistungssektoren mit durchschnittlichen Beschäftigungswirkungen erweitert werden.

Eine solche Zusammenfassung der Ergebnisse ist nur unter zwei Bedingungen vertretbar: Die Straßenbauprojekte müssen von der Ausgabenstruktur und der Produktionstechnik ähnlich sein, so daß die Beschäftigungswirkungen für die anderen Wirtschaftsbereiche und aus den Vorleistungen dem einzelwirtschaftlichen Ansatz angebanden werden können. Außerdem müssen die Beschäftigungseffekte aus der Input-Output-Rechnung zeitlich dimensioniert werden, um mit den Wirkungen pro Jahr aus der Kostenrechnung addiert werden zu können.

### III. Ergebnisse

#### 1. Berechnung der Beschäftigungswirkungen aus der Input-Output-Analyse

Grundlage ist die Input-Output-Tabelle für das Jahr 1976 des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW), die im Rahmen der „Strukturberichterstattung“ erstellt wurde<sup>3)</sup>. Daraus wurden die inversen Koeffizienten berechnet (Tabelle 1).

3) Stäglin, R., Input-Output-Analysen der Produktions- und Beschäftigungswirkungen von Strukturveränderungen der Nachfrage, in: Abschwächung der Wachstumsimpulse – Analyse der strukturellen Entwicklung der deutschen Wirtschaft, Materialband 1 zur Strukturberichterstattung 1980. Gutachten des DIW im Auftrage des Bundesministers für Wirtschaft, Berlin 1981, vervielfältigt.

Die Investitionsmatrix (Tabelle 2) wurde aus Projektkalkulationen verschiedener Straßenbauträger zusammengestellt.<sup>4)</sup> Insgesamt wurden 33 Straßenbaumaßnahmen ausgewertet:

- (1) Autobahnneubau (BABNEU 61): Teilstück der BAB A 61, durchgehende Strecke einschl. Anschlüsse und Brücken.
- (2) Autobahnneubau (BABNEU 43): BAB A 43, durchgehende Strecke einschl. Anschlüsse und Brücken (Fertigstellung des letzten Teilstücks 1981).
- (3) Autobahnneubau in einem Ballungsraum (BABBALL): BAB A 59, großer Brückenanteil, durchgehende Strecke einschl. Rampen, Brücken und Neubau eines Teilstücks einer Landstraße (im Bau).
- (4) Autobahnneubau: Durchschnitt aus den Projekten (1) bis (3).
- (5) Autobahnverbreiterung (BABVERB): BAB A 4, Verbreiterung von 4 auf 6 Spuren, durchgehende Strecke einschl. Brücken (geplant).
- (6) Brückenneubau (BRUECKE): Durchschnitt aus zwei Autobahnbrücken (Überführung und Unterführung).
- (7) Neubau von Innerortsstraßen (INNERORT): Durchschnitt aus drei Projekten in Hamburg (1977 – 1981).
- (8) Stadtautobahn (STADTAB): Durchschnitt aus zwei Projekten in Stuttgart und Köln (1973 – 1978).
- (9) Ortsumgehung (ORTSUMG): Durchschnitt aus drei Projekten in Nordrhein-Westfalen (1977 – 1980), drei Projekten in Hessen und drei Projekten in Bayern.
- (10) Kreuzung (KREUZUNG): Ausbau einer Kreuzung an einem stark frequentierten Knotenpunkt in Köln (abgeschlossen 1981).
- (11) Beseitigung höhengleicher Bahnübergänge (BHNUEBER): Durchschnitt aus zwei Projekten in Köln (Projektbeginn 1981/82) und Ebelsbach/Bayern (im Bau).
- (12) Örtliche Erschließungsstraßen (ERSCHL): Durchschnitt aus sieben Projekten in Stuttgart (1979/80).
- (13) Verkehrsberuhigte Zone (VERBZONE): Durchschnitt aus drei Projekten in Köln (1977/78 und geplant für 1982) und Unterhaching bei München.

Die Ausgabenstrukturen dieser Projekte wurden entsprechend der Nomenklatur des Statistischen Bundesamtes<sup>5)</sup> den Wirtschaftsbereichen zugeordnet. Zum Vergleich wurden zusätzlich die Ausgabenstrukturen von Infrastrukturinvestitionen des ÖPNV und der Bundesbahn herangezogen.<sup>6)</sup> Diese wurden nach DB-Geschäftsberichten und Erkundigungen bei öffentlichen Verkehrsbetrieben von der 14-Matrix auf die 34-Matrix aufgliedert.

4) Daten wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt vom Landschaftsverband Rheinland, Abteilung Straßenbau, Köln, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Straßenbauverwaltung Münster, von der Freien und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, vom Bauamt Unterhaching, von der Stadt Köln, dem Hessischen Landesamt für Straßenbau, der Obersten Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Inneren, der Autobahndirektion Südbayern und der Landeshauptstadt Stuttgart.

5) Statistisches Bundesamt, Systematik der Wirtschaftszweige (rev.) für das produzierende Gewerbe, Stand 1976.

6) Schmidt, K., Verkehrsinfrastrukturinvestitionen . . . , a.a.O., S. 178/179.

Die primären Produktionswirkungen (einschl. Vorleistungen) aus Multiplikation der Matrix der inversen Koeffizienten mit der Investitionsmatrix sind in Tabelle 3 ausgedruckt.

Die sektoralen Arbeitskoeffizienten wurden berechnet aus den Bruttoproduktionswerten und den Erwerbstätigenzahlen (Stand 1978)<sup>7)</sup>. Da das Statistische Bundesamt 57 Wirtschaftsbereiche unterscheidet, wurde eine Zusammenfassung auf die 34-Sektoren-Matrix erforderlich. Die sektoralen Arbeitskoeffizienten sind in Tabelle 4 enthalten.

Aus Multiplikation der Produktionswirkungen mit den sektoralen Arbeitskoeffizienten ergeben sich die Beschäftigungswirkungen der verschiedenen Straßenbauvorhaben (einschl. Vorleistungen); sie sind in Tabelle 5 wiedergegeben. Tabelle 6 weist die gesamten Produktions- und Beschäftigungswirkungen aus.

Die Produktionswirkungen von Straßenbauinvestitionen liegen im Durchschnitt bei 186 Mio DM je 100 Mio DM Investitionssumme. Der Produktionsmultiplikator erreicht damit einen Wert von etwa 1,9. Die Beschäftigungswirkungen schwanken geringfügig um einen Mittelwert von 2 080 Personen; sie betragen bei ÖPNV-Bauten 1 992 Personen und bei Eisenbahninvestitionen 1 880 Personen.

Da bei allen Straßenbauprojekten der Hauptanteil der Ausgaben auf die Bauwirtschaft entfällt und hier mit einem durchschnittlichen sektoralen Arbeitskoeffizienten gerechnet wird, werden die typischen Unterschiede in den Beschäftigungswirkungen nicht erkennbar. Im folgenden wird daher der Versuch der oben beschriebenen Differenzierung mit Hilfe einzelwirtschaftlicher Kostenstrukturen unternommen.

7) *Leupoldt, R. u. a.*, Arbeitsmarktstatistische Zahlen in Zeitreihenform. Jahreszahlen für die Bundesrepublik Deutschland, Nürnberg 1981. Erscheint demnächst in der Reihe „Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung“.

## Übersicht 1: Bezeichnung der Sektoren

1	LANDW	LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI
2	ENERGIE	ENERGIE- UND WASSERVERSORGUNG
3	KOHLNBB	KOHLNBERBAU, KOKEREI
4	UEBR.BB	UEBRIGER BERGBAU
5	CHEMIE	CHEMISCHES GEBERBE, HERST. V. SPALT- UND BRUTSTOFFEN
6	MINOELV	MINERALÖLVERARBEITUNG
7	KUNST, GU	HERSTELLUNG VON KUNSTSTOFF- UND GUMMIWAREN
8	STEINFRD	GEWINNUNG U. VERARBEITUNG VON STEINEN UND ERDEN
9	FEINK, GL	FEINKERAMIK, HERSTELLUNG U. VERARBEITUNG VON GLAS
10	METALL	METALLERZEUGUNG UND -BEARBEITUNG
11	STAHLBAU	STAHLBAU
12	MBU, ADV	MASCHINENBAU, AUTOMATISCHE DATENVERARBEITUNG
13	FAHRZBAU	FAHRZEUGBAU
14	ELTECHN	ELEKTROTECHNIK
15	F.O., EBM	FEINMECHANIK UND OPTIK, EBM-WAREN, MUSIKINSTR.
16	HOLZ, PAP	HOLZ-, PAPIER- UND DRUCKGEWERBE
17	TEXTIL	TEXTILGEWERBE
18	LED, BEKL	LEDER- UND BEKLEIDUNGSGEWERBE
19	ERNAEHR	ERNAHRUNGSGEWERBE
20	TABAKVER	TABAKVERARBEITUNG
21	BAUHAUPT	BAUHAUPTGEWERBE
22	AUSBAUG	AUSBAUGEWERBE
23	GROSSHD	GROSSHANDEL, HANDELSVERMITTLUNG
24	EINZELHD	EINZELHANDEL
25	EISENBHN	EISENBAHNEN
26	SCHIFFRT	SCHIFFFAHRT, WASSERSTRASSEN UND HAFEN
27	UEB. VERK	UEBRIGER VERKEHR
28	NACHRICH	NACHRICHTENUEBERMITTLUNG (DEUTSCHE BUNDESPOST)
29	KREDITIN	KREDITINSTITUTE
30	VERSICHER	VERSICHERUNGSUNTERNEHMEN
31	WOHNVERM	WOHNUNGSVERMIETUNG
32	S. DIENST	SONSTIGE DIENSTLEISTUNGEN
33	STAAT	STAAT
34	PR. HH. PO	PRIV. HAUSH. U. PRIV. ORGANISATIONEN OHNE ERWERBSCHARAKTER

Tabelle 1: Inverse Koeffizienten

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	LANDW	ENERGIE	KOHLNBB	UEBR.BB	CHEMIE	MINOELV	KUNST, GU	STEINERD	FEINK, GL	METALL	
1	LANDW	1.05555	.00621	.01713	.00416	.01838	.00172	.00950	.00877	.00728	.00792
2	ENERGIE	.04326	1.38233	.06573	.07003	.06355	.01143	.05430	.08559	.09622	.08600
3	KOHLNBB	.01126	.14916	1.04509	.01036	.02019	.00391	.01010	.01706	.01276	.06435
4	UEBR.BB	.00315	.01664	.00375	1.06480	.00743	.00414	.00215	.00392	.00186	.00459
5	CHEMIE	.08541	.02738	.06856	.07308	1.27609	.02745	.26350	.04042	.08740	.03753
6	MINOELV	.05311	.05581	.02893	.04383	.06560	1.11762	.02800	.09543	.05141	.03505
7	KUNST, GU	.01051	.00789	.01639	.00683	.01839	.00334	1.05908	.01176	.01645	.00923
8	STEINERD	.01463	.01058	.01718	.00713	.00804	.00112	.00375	1.25144	.02815	.02261
9	FEINK, GL	.00317	.00237	.00206	.00121	.00651	.00038	.00217	.00594	1.07993	.00349
10	METALL	.02328	.04337	.09209	.04355	.02669	.00532	.02449	.03529	.01762	1.32498
11	STAHLBAU	.00252	.00839	.01712	.00276	.00198	.00057	.00123	.00285	.00134	.00877
12	MBAU, ADV	.05394	.04185	.09060	.03126	.01653	.00484	.01678	.02788	.01626	.05667
13	FAHRZBAU	.01338	.00443	.00750	.00556	.00468	.00247	.00614	.01381	.00388	.01269
14	ELTECHN	.01093	.03169	.04785	.01450	.01326	.00311	.01410	.01366	.00961	.02833
15	F.O., EBM	.00613	.00936	.00962	.00846	.01285	.00098	.00459	.00355	.00314	.00361
16	HOLZ, PAP	.02364	.02092	.02843	.02253	.04249	.00450	.04266	.03365	.05086	.02227
17	TEXTIL	.00447	.00251	.00254	.00221	.00600	.00055	.04515	.00263	.00408	.00274
18	LED, BEKL	.00055	.00086	.00200	.00068	.00089	.00018	.00126	.00111	.00078	.00084
19	ERNAEHR	.16464	.01115	.01815	.00849	.04128	.00395	.02114	.01598	.01502	.01763
20	TABAKVER	.00085	.00095	.00151	.00066	.00192	.00040	.00154	.00142	.00117	.00148
21	BAUHAUPT	.00606	.00580	.01002	.00346	.00206	.00057	.00153	.00432	.00207	.00296
22	AUSBAUG	.00247	.00204	.00296	.00465	.00159	.00059	.00156	.00321	.00231	.00212
23	GROSSHD	.05114	.02917	.05604	.03233	.06585	.04208	.04984	.05196	.04901	.06323
24	EINZELHD	.00695	.00204	.00306	.00220	.00292	.00081	.00263	.00475	.00203	.00297
25	EISENBHN	.00627	.00914	.01855	.00985	.00758	.00643	.00601	.01398	.00678	.01689
26	SCHIFFRT	.00251	.00224	.00504	.00773	.00412	.00425	.00247	.00863	.00261	.00479
27	UEB. VERK	.02755	.02348	.05337	.05571	.03188	.02732	.02520	.13265	.03123	.04679
28	NACHRICHT	.00982	.00677	.01076	.00662	.01194	.00386	.01217	.01155	.00751	.01092
29	KREDITIN	.08710	.01192	.02030	.01304	.01085	.00355	.00879	.01370	.00677	.01483
30	VERSICHER	.02705	.00438	.00799	.00365	.00465	.00133	.00370	.00531	.00475	.00548
31	WOHNVERM	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
32	S. DIENST	.05381	.05603	.09970	.04269	.12733	.02591	.09043	.08385	.05817	.08590
33	STAAT	.01123	.00537	.00909	.01191	.00540	.00196	.00582	.00716	.00526	.00621
34	PR. HH. PO	.00064	.00031	.00052	.00068	.00031	.00011	.00033	.00041	.00030	.00036

noch Tabelle 1: Inverse Koeffizienten

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	STAHLBAU	MBAU, ADV	FAHRZBAU	ELTECHN	F.O., EBM	HOLZ, PAP	TEXTIL	LED, BEKL	ERNAEHR	TABAKVER
1	LANDW	.00893	.00758	.00831	.00779	.00798	.04656	.01086	.03240	.00739
2	ENERGIE	.04082	.03702	.04140	.03214	.03679	.03809	.05221	.02569	.03669
3	KOHLNBB	.01379	.01082	.01236	.00912	.01211	.00796	.00961	.00456	.00117
4	UEBR.BB	.00131	.00116	.00140	.00136	.00140	.00131	.00181	.00080	.00020
5	CHEMIE	.03609	.04446	.07227	.05706	.07036	.09812	.20528	.07183	.04950
6	MINOELV	.02077	.02053	.02730	.01623	.01927	.03272	.03127	.01774	.03605
7	KUNST, GU	.02637	.02989	.06262	.02271	.03251	.03004	.01098	.03363	.01245
8	STEINERD	.01908	.00441	.00540	.00372	.00510	.00823	.00296	.00203	.00677
9	FEINK, GL	.00754	.00362	.01282	.00186	.00848	.00655	.00211	.00155	.01082
10	METALL	.02049	.13589	.15689	.11215	.16466	.02193	.01022	.01048	.01400
11	STAHLBAU	1.08892	.01794	.00460	.00347	.00251	.00149	.00116	.00078	.00164
12	MBAU, ADV	.10483	1.23377	.07716	.02784	.02871	.01488	.01676	.01106	.02372
13	FAHRZBAU	.00878	.01954	1.18490	.00497	.00713	.00671	.00422	.00426	.00896
14	ELTECHN	.05279	.08124	.06782	1.19277	.03968	.01219	.00864	.00645	.00929
15	F.O., EBM	.01057	.01039	.03105	.01619	1.04847	.01841	.00815	.01234	.01066
16	HOLZ, PAP	.03662	.02447	.02669	.03737	.04016	1.18953	.03126	.03447	.04124
17	TEXTIL	.00521	.00335	.01555	.00518	.00733	.02383	1.16677	.22368	.00390
18	LED, BEKL	.00121	.00085	.00109	.00058	.00144	.00187	.00141	1.02482	.00055
19	ERNAEHR	.02117	.01840	.01917	.01812	.01785	.02712	.02087	.02026	1.33592
20	TABAKVER	.00175	.00146	.00143	.00163	.00143	.00149	.00139	.00165	.00126
21	BAUHAUPT	.00418	.00178	.00354	.00156	.00185	.00224	.00182	.00183	.00340
22	AUSBAUG	.00345	.00139	.00281	.00133	.00170	.00180	.00143	.00161	.00201
23	GROSSHD	.06373	.06352	.05391	.04923	.06673	.06845	.06433	.06012	.07173
24	EINZELHD	.00513	.00433	.00519	.00279	.00306	.00508	.00289	.00400	.00739
25	EISENBHN	.00821	.00697	.00742	.00559	.00751	.00810	.00616	.00482	.00771
26	SCHIFFRT	.00267	.00223	.00283	.00187	.00266	.00357	.00261	.00188	.00323
27	UEB. VERK	.02713	.02439	.02733	.02079	.03390	.04246	.02558	.01931	.03979
28	NACHRICHT	.01205	.01270	.00925	.01232	.01209	.01402	.01047	.01296	.01194
29	KREDITIN	.01292	.01173	.02154	.00853	.01074	.01591	.01292	.01353	.06477
30	VERSICHER	.00294	.00469	.00500	.00362	.00459	.00525	.00609	.00493	.01265
31	WOHNVERM	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
32	S. DIENST	.08542	.07918	.27916	.08537	.07458	.07936	.07850	.09037	.07699
33	STAAT	.00613	.00542	.00575	.00481	.00701	.00630	.00530	.00638	.01258
34	PR. HH. PO	.00035	.00031	.00033	.00028	.00040	.00036	.00030	.00037	.00072

noch Tabelle 1: Inverse Koeffizienten

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	BAUHAUPT	AUSBAUG	GROSSHD	EINZELHD	EISENBHN	SCHIFFRT	UEB.VERK	NACHRICH	KREDITIN	VERSICHE
1 LANDW	.00759	.00917	.00866	.00754	.00972	.00310	.00670	.00251	.18515	.02480
2 ENERGIE	.03189	.03075	.01661	.01986	.06625	.01782	.03597	.01686	.05716	.02035
3 KOHLENBB	.00772	.00755	.00300	.00307	.01851	.00509	.00915	.00283	.00963	.00348
4 UEBR.BB	.00123	.00125	.00043	.00046	.00175	.00045	.00113	.00035	.00494	.00066
5 CHEMIE	.03010	.00096	.01198	.01139	.02311	.00923	.02104	.00837	.07442	.02414
6 MINOELV	.04175	.03095	.02067	.02301	.04707	.04059	.10785	.01366	.03900	.01499
7 KUNST,GU	.01245	.02776	.01027	.00835	.00838	.00534	.02457	.00354	.01361	.00721
8 STEINERD	.19708	.02646	.00348	.00270	.02297	.00129	.01581	.00147	.02363	.00286
9 FEINK, GL	.00655	.03195	.00104	.00103	.00254	.00146	.00243	.00100	.00734	.00499
10 METALL	.06487	.06629	.01085	.00897	.06721	.01054	.02500	.00839	.02338	.00979
11 STAHLBAU	.03023	.00347	.00189	.00141	.03163	.00316	.00708	.00218	.00310	.00184
12 MBAU,ADV	.02844	.02236	.01209	.01190	.03997	.00737	.01796	.00476	.04878	.02420
13 FAHRZBAU	.00956	.00671	.01971	.01859	.01017	.02696	.06766	.00673	.00812	.00426
14 ELTECHN	.01675	.05646	.01304	.01245	.03437	.00617	.01975	.05289	.02999	.01866
15 F.O.,EBM	.01337	.09041	.00534	.00527	.00835	.00342	.00846	.00244	.01428	.00856
16 HOLZ,PAP	.05834	.05709	.02407	.01994	.03311	.01062	.02813	.01999	.10781	.05370
17 TEXTIL	.00266	.00395	.00293	.00293	.00262	.00279	.00460	.00239	.00514	.00257
18 LED,BEKL	.00072	.00083	.00123	.00181	.00127	.00181	.00231	.00062	.00142	.00096
19 ERNAEHR	.01055	.01409	.01389	.01480	.01136	.00741	.01456	.00455	.14180	.04369
20 TABAKVER	.00089	.00118	.00230	.00228	.00095	.00061	.00120	.00038	.00496	.00464
21 BAUHAUPT	1.00892	.00337	.00353	.00440	.00482	.00127	.00233	.00205	.01199	.00383
22 AUSBAUG	.08017	1.00683	.00291	.00379	.00342	.00113	.00214	.00143	.00982	.00314
23 GROSSHD	.04648	.05910	1.04815	.21488	.03470	.01194	.03820	.00782	.05519	.02485
24 EINZELHD	.00413	.01480	.00545	1.01507	.00368	.00137	.01228	.00078	.02854	.01455
25 EISENBHN	.01022	.01177	.02253	.01080	1.00589	.00386	.04850	.01237	.00809	.00489
26 SCHIFFRT	.00588	.00349	.00859	.00371	.00333	1.05132	.05122	.00090	.00312	.00170
27 UEB.VERK	.05203	.04432	.10061	.04640	.05149	.02404	1.25364	.01332	.02962	.01253
28 NACHRICH	.00981	.01478	.03889	.03056	.00892	.00989	.01929	1.00175	.05672	.02874
29 KREDITIN	.01843	.02500	.03595	.03977	.07640	.00893	.02800	.00818	1.11229	.12179
30 VERSICHE	.00528	.00754	.00639	.00675	.02374	.00505	.01130	.00524	.01346	1.03733
31 WOHNVERM	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00001	.00000
32 S.DIENST	.04762	.06224	.07269	.08245	.06197	.02153	.07700	.02543	.31774	.33528
33 STAAT	.00707	.00468	.00554	.00895	.00884	.01188	.00919	.00125	.02083	.00698
34 PR.HH.PO	.00041	.00027	.00032	.00051	.00051	.00068	.00053	.00007	.00119	.00040

noch Tabelle 1: Inverse Koeffizienten

	31	32	33	34
	WOHNVERM	S.DIENST	STAAT	PR.HH.PO
1 LANDW	.00468	.03709	.01614	.01672
2 ENERGIE	.06756	.02130	.03143	.01709
3 KOHLENBB	.00810	.00349	.00735	.00304
4 UEBR.BB	.00100	.00061	.00119	.00051
5 CHEMIE	.01021	.02839	.04889	.03091
6 MINOELV	.01463	.01815	.02214	.01600
7 KUNST,GU	.00280	.00883	.00845	.00940
8 STEINERD	.01254	.00332	.00527	.00296
9 FEINK, GL	.00213	.00353	.00266	.00354
10 METALL	.01323	.00810	.01644	.01096
11 STAHLBAU	.00345	.00117	.00224	.00161
12 MBAU,ADV	.00601	.01385	.01389	.01619
13 FAHRZBAU	.00194	.00482	.02023	.00625
14 ELTECHN	.00845	.01625	.02277	.01714
15 F.O.,EBM	.00610	.00827	.01570	.01082
16 HOLZ,PAP	.01135	.05101	.03485	.03863
17 TEXTIL	.00115	.00249	.00526	.00216
18 LED,BEKL	.00029	.00166	.00376	.00124
19 ERNAEHR	.00611	.11884	.03388	.04185
20 TABAKVER	.00055	.01536	.00264	.00341
21 BAUHAUPT	.04469	.00411	.01187	.00240
22 AUSBAUG	.04410	.00523	.01108	.00305
23 GROSSHD	.00913	.02460	.03492	.02022
24 EINZELHD	.00194	.00730	.01922	.00771
25 EISENBHN	.00198	.00441	.00716	.00287
26 SCHIFFRT	.00074	.00119	.00188	.00085
27 UEB.VERK	.00747	.01415	.02050	.00999
28 NACHRICH	.00306	.01837	.01635	.01252
29 KREDITIN	.03190	.02160	.03021	.01974
30 VERSICHE	.00956	.00531	.00309	.00585
31 WOHNVERM	1.00001	.00000	.00032	.00525
32 S.DIENST	.03579	1.18356	.20168	.14786
33 STAAT	.03080	.01023	1.04906	.01100
34 PR.HH.PO	.00177	.00059	.06017	1.00063

Tabelle 2: Investitionsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7
	BABNEU61	BABNEU43	BABBALL.	BABDURCH	BABVERBR	BRUECKE	INNERORT
1 LANDW	5.62	7.32	.50	4.48	6.87	.38	8.66
2 ENERGIE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3 KOHLENBB	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4 UEER.BB	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5 CHEMIE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
6 MINOELV	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7 KUNST, GU	.75	1.60	.30	.78	11.64	.00	.14
8 STEINERD	.00	1.67	.30	.54	.00	.00	.73
9 FEINK, GL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10 METALL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.35
11 STAHLBAU	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
12 MBAU, ADV	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
13 FAHRZBAU	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
14 ELTECHN	2.51	1.50	.32	1.45	1.51	.00	17.89
15 F.O., EBM	2.34	4.50	1.05	2.63	2.35	1.95	1.37
16 HOLZ, PAP	.53	.00	.00	.17	.00	.00	.85
17 TEXTIL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
18 LED, BEKL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
19 ERNAEHR	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20 TABAKVER	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
21 BAUHAUPT	88.00	83.39	97.96	89.48	77.10	97.32	59.80
22 AUSBAUG	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
23 GROSSHD	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
24 EINZELHD	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
25 EISENBHN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
26 SCHIFFRT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
27 UEB. VERK	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
28 NACHRICH	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
29 KREDITIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
30 VERSICHE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
31 WOHNVERM	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
32 S. DIENST	.20	.00	.11	.10	.47	.24	1.73
33 STAAT	.05	.00	.36	.37	.06	.11	8.45
34 PR. HH. PO	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

noch Tabelle 2: Investitionsmatrix

	8	9	10	11	12	13	14	15
	STADTAB	ORTSLMG.	KREUZUNG	BHNUEBER	ERSCHL.	VERBZONE	OEPNV	BUND. BHN
1 LANDW	9.47	2.11	3.16	1.04	.00	6.29	.00	.00
2 ENERGIE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
3 KOHLENBB	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
4 UEER.BB	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
5 CHEMIE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.56
6 MINOELV	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
7 KUNST, GU	1.35	.41	.00	.46	.00	.19	.00	.00
8 STEINERD	.00	.04	.00	.00	.00	2.29	.72	3.11
9 FEINK, GL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
10 METALL	.27	.00	.00	1.15	.00	.83	3.70	5.58
11 STAHLBAU	6.04	.00	.00	.00	.00	.73	3.25	9.78
12 MBAU, ADV	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.62	4.89
13 FAHRZBAU	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.63	4.88
14 ELTECHN	1.91	1.38	3.74	1.10	14.19	4.54	1.62	13.68
15 F.O., EBM	1.48	1.49	.97	.41	1.10	.64	1.08	9.12
16 HOLZ, PAP	.00	.00	.00	.00	.00	.81	2.30	4.24
17 TEXTIL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
18 LED, BEKL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
19 ERNAEHR	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20 TABAKVER	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
21 BAUHAUPT	78.39	94.57	97.13	95.63	84.80	80.26	81.80	39.66
22 AUSBAUG	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
23 GROSSHD	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.40	2.15
24 EINZELHD	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
25 EISENBHN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
26 SCHIFFRT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
27 UEB. VERK	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.40	.00
28 NACHRICH	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
29 KREDITIN	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
30 VERSICHE	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
31 WOHNVERM	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
32 S. DIENST	.02	.00	.00	.13	.00	3.37	.00	1.13
33 STAAT	1.07	.00	.30	.08	.00	.00	.00	.00
34 PR. HH. PO	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

Tabelle 3: Produktionseffekte

	1 BABNEU61	2 BABNEU43	3 BABBALL.	4 BABDURCH	5 BABVERBR	6 BRUECKE	7 INNERORT
1 LANDW	6.67795	8.43657	1.28683	5.46963	7.99572	1.16562	9.99548
2 ENERGIE	3.28186	3.41837	3.19779	3.29842	3.53307	3.19935	3.34078
3 KOHLENBB	.80663	.83888	.77829	.80772	.83413	.78079	.85000
4 UEBR.BB	.13505	.14388	.12397	.13424	.14706	.12376	.14433
5 CHEMIE	3.69290	4.02484	3.08833	3.60726	6.23944	3.11000	4.28010
6 MINOELV	4.10118	4.18525	4.14508	4.13670	3.99873	4.12759	3.60505
7 KUNST.GU	2.09953	3.00896	1.26729	2.12049	13.47383	1.28161	1.55769
8 STEINERD	17.45481	18.66617	19.32073	18.40164	15.35857	19.19694	12.96496
9 FEINK.GL	.64965	.63861	.65639	.64703	.59146	.65624	.68270
10 METALL	6.53368	6.58187	6.57273	6.54846	5.99953	6.64257	6.97176
11 STAHLBAU	2.69075	2.56226	2.96630	2.73131	2.37387	2.94807	1.92231
12 MBAU,ADV	2.96633	3.01022	2.85398	2.93903	2.87437	2.84873	2.90092
13 FAHRZBAU	.95527	.96707	.95351	.96218	.92764	.95226	.98619
14 ELTECHN	4.64282	3.48903	2.07232	3.41143	3.43247	1.71755	22.74092
15 F.O.,EBM	3.69146	5.98360	2.39623	3.99145	3.57016	3.32707	2.71196
16 HOLZ,PAP	6.12824	5.39843	5.78815	5.75697	5.33237	5.78052	5.64822
17 TEXTIL	.33605	.37136	.27216	.32715	.78718	.27545	.37835
18 LED,BEKL	.07351	.07506	.07266	.07474	.07900	.07365	.09762
19 ERNAEHR	1.99593	2.25221	1.15480	1.80828	2.31676	1.15570	2.94036
20 TABAKVER	.09634	.09448	.09187	.09473	.10588	.09410	.14550
21 BAUHAUPT	88.83062	84.19813	98.84004	90.32075	77.85608	98.19590	60.52971
22 AUSBAUG	7.07970	6.72077	7.85797	7.19878	6.22517	7.80870	4.94904
23 GROSSHD	4.73592	4.78901	4.66794	4.72726	4.75679	4.68129	4.65532
24 EINZELHD	.42374	.42534	.41412	.42609	.41268	.41441	.54551
25 EISENBHN	.97611	.97314	1.01478	.98701	.92935	1.01338	.66751
26 SCHIFFRFT	.54630	.54161	.58064	.55486	.50877	.57862	.43959
27 UEV.VERK	4.90936	4.98507	5.15496	5.00502	4.61154	5.14507	4.11775
28 NACHRICH	.99852	1.00135	.98536	.99724	1.02169	.98804	1.10419
29 KREDITIN	2.17816	2.27192	1.86659	2.10966	2.17093	1.85560	2.34569
30 VERSICHE	.64284	.67877	.53707	.61886	.65443	.53426	.66675
31 WOHNVERM	.00023	.00022	.00023	.00033	.00023	.00025	.00286
32 S.DIENST	5.23670	5.11135	4.93832	5.14263	5.96306	5.10513	8.86407
33 STAAT	.77576	.73159	.77101	1.10681	.78110	.82370	9.51129
34 PR.HH.PO	.04450	.04196	.04422	.06348	.04480	.04724	.54554

noch Tabelle 3: Produktionseffekte

	8 STADTAB	9 ORTSUING.	10 KREUZUNG	11 BHNUEBER	12 ENSEML.	13 VERBZOER	14 OEPNV	15 BUND,BHN
1 LANDW	269.53166	74.82199	702.54029	46.69988	79.20968	788.51661	29.77703	25.25442
2 ENERGIE	9.96591	9.46678	9.46636	9.59066	9.37538	10.00424	10.24022	11.38888
3 KOHLENBB	8.29233	7.52916	7.62810	8.05740	7.60016	8.25553	9.80606	12.17988
4 UEBR.BB	.75703	.67123	.68469	.67877	.65781	.75130	.73544	.85179
5 CHEMIE	20.60446	17.02495	17.74000	16.56796	17.63800	18.63604	20.35258	32.50191
6 MINOELV	2.09651	2.14586	2.06226	2.14800	1.97170	2.14670	2.07194	1.70974
7 KUNST.GU	26.95056	16.68973	13.12356	16.93742	13.76387	14.59283	14.32315	20.31119
8 STEINERD	112.50188	133.94288	123.37668	135.11334	119.91265	134.76446	123.19065	87.40750
9 FEINK.GL	8.18238	8.51036	8.98118	8.45382	9.50537	8.36010	8.47021	9.53240
10 METALL	54.58921	48.50924	50.49670	58.52356	53.49929	54.51514	86.92839	122.77510
11 STAHLBAU	86.63636	27.69587	25.78072	28.04323	25.21019	31.55863	58.81136	116.65712
12 MBAU,ADV	31.34181	25.74006	25.97987	25.75298	25.25640	26.86237	45.95143	86.66566
13 FAHRZBAU	8.13246	7.88568	7.66007	7.91322	7.35774	7.86724	24.16203	55.25134
14 ELTECHN	43.53660	35.03813	126.26143	31.51048	194.18522	74.07832	41.53698	199.64114
15 F.O.,EBM	33.48840	34.61895	28.24821	20.93056	30.37319	23.05871	29.25441	130.77843
16 HOLZ,PAP	54.49709	59.13252	57.32689	59.32511	57.30884	65.31773	82.88772	95.97072
17 TEXTIL	3.75810	3.01849	3.02517	2.96482	3.11542	3.22906	3.62407	5.37384
18 LED,BEKL	1.08741	1.01091	.98621	1.01035	.98558	1.06124	1.10895	1.29383
19 ERNAEHR	15.16292	8.25267	9.25131	7.19050	6.70870	14.14982	7.01905	9.80025
20 TABAKVER	.17657	.16177	.17027	.16529	.17785	.25577	.18103	.25897
21 BAUHAUPT	987.53543	1190.03282	1096.62906	1203.31749	1067.18497	1010.73652	1029.79956	500.96365
22 AUSBAUG	92.55750	110.68925	102.14949	111.91525	99.42139	94.59599	90.22438	48.28013
23 GROSSHD	61.28805	59.58637	59.75062	59.43230	59.84082	59.50711	79.92126	95.55117
24 EINZELHD	8.96387	8.16555	8.05258	8.14009	7.73831	8.58584	8.22332	7.94945
25 EISENBHN	20.92978	22.01407	21.23878	22.33868	20.97033	21.21491	23.05398	20.61444
26 SCHIFFRFT	4.17920	4.60906	4.36553	4.65552	4.27575	4.30224	4.62363	3.48743
27 UEV.VERK	36.35707	39.56685	37.70655	39.85164	36.99990	38.34531	43.06798	33.61106
28 NACHRICH	15.93826	15.55274	15.80857	15.54947	16.04179	16.24924	16.65652	18.43242
29 KREDITIN	23.91405	19.28693	19.35947	18.64204	16.69692	21.80104	17.69651	15.22005
30 VERSICHE	6.89712	5.52451	5.63755	5.31004	4.88612	6.35238	5.03903	4.58666
31 WOHNVERM	.00075	.00029	.00028	.00032	.00027	.00030	.00028	.00028
32 S.DIENST	64.10936	57.83635	60.81086	59.71251	63.10764	106.48951	63.95486	96.03518
33 STAAT	26.14690	10.06826	9.90063	11.18276	9.54993	10.33965	9.73149	9.04878
34 PR.HH.PO	3.15849	1.21598	1.19598	1.35085	1.15361	1.24901	1.17554	1.09307

Tabelle 4: Sektorale Arbeitskoeffizienten

1	LANDW	25.18
2	ENERGIE	2.93
3	KOHLNBB	9.54
4	UEBR.BB	5.25
5	CHEMIE	5.13
6	MINOELV	.52
7	KUNST, GU	9.74
8	STEINERD	7.15
9	FEINK, GL	12.97
10	METALL	7.36
11	STAHLBAU	9.64
12	MBAU, ADV	8.90
13	FAHRZBAU	8.28
14	ELTECHN	10.56
15	F.O., EBM	12.20
16	HOLZ, PAP	10.38
17	TEXTIL	10.16
18	LED, BEKL	13.94
19	ERNAEHR	5.73
20	TABAKVER	1.77
21	BAUHAUPT	12.47
22	AUSBAUG	14.58
23	GROSSHD	12.70
24	EINZELHD	19.68
25	EISENEHN	21.98
26	SCHIFFFRT	8.10
27	UEB., VERK	7.80
28	NACHRICH	15.73
29	KREDITIN	9.85
30	VERSICHE	9.70
31	WOHNVERM	1.35
32	S. DIENST	11.84
33	STAAT	14.14
34	PR. HH. PO	29.78

(Erwerbstätige je 1 Mio DM  
Bruttoproduktion)

Tabelle 5: Beschäftigungseffekte

	1	2	3	4	5	6	7
	BABNEU61	BABNEU43	BABBALL.	BABDURCH	BABVERBR	BRUECKE	INNERORT
1	LANDW	168.15073	212.43279	32.40226	137.72533	201.33212	29.35034
2	ENERGIE	9.61584	10.01533	9.36952	9.66438	10.35190	9.37410
3	KOHLNBB	7.69521	8.00292	7.42487	7.70561	7.95756	8.10903
4	UEBR.BB	.70899	.75536	.65082	.70478	.77206	.64974
5	CHEMIE	18.94457	20.64740	15.84311	18.50525	32.00831	15.95429
6	MINOELV	2.13261	2.17633	2.15544	2.15108	2.07414	2.14635
7	KUNST, GU	20.44942	29.30723	12.34336	20.65357	131.23509	12.48291
8	STEINERD	124.80192	133.46311	133.14325	131.57169	109.81375	137.25809
9	FEINK, GL	8.42590	8.28284	8.51341	8.39203	7.67122	8.51147
10	METALL	48.38787	48.44260	48.37526	48.19667	44.15656	48.88929
11	STAHLBAU	25.93880	24.70022	28.59514	26.32978	22.89410	28.41935
12	MBAU, ADV	26.40036	26.79120	25.40046	26.15740	25.58191	25.35372
13	FAHRZBAU	7.90964	8.00734	7.89510	7.96669	7.68088	7.88468
14	ELTECHN	49.02813	36.94411	21.88365	36.02472	36.24688	18.13736
15	F.O., EBM	45.03577	71.77989	29.23399	48.69568	43.55599	40.59026
16	HOLZ, PAP	63.61116	56.03569	60.08096	59.75732	55.35005	60.00179
17	TEXTIL	3.41430	3.77305	2.76519	3.32383	7.99773	2.79859
18	LED, BEKL	1.02473	1.04629	1.01293	1.04193	1.17126	1.02665
19	ERNAEHR	11.43665	12.70516	6.61703	10.36144	13.27505	6.62216
20	TABAKVER	.17000	.16724	.16262	.16767	.19741	.16656
21	BAUHAUPT	1107.71783	1049.95071	1232.53529	1126.29980	970.86535	1224.50285
22	AUSBAUG	103.22207	97.98885	114.56923	104.95818	90.76294	113.85088
23	GROSSHD	60.14621	60.32046	59.28285	60.03614	60.41127	59.45244
24	EINZELHD	8.33922	8.37074	8.14981	8.38550	8.12160	8.15555
25	EISENEHN	21.45491	21.38972	22.30476	21.69452	20.42702	22.27409
26	SCHIFFFRT	4.42534	4.39702	4.70319	4.49436	4.12101	4.68685
27	UEB., VERK	38.29301	38.88354	40.20869	39.03919	35.97001	40.13155
28	NACHRICH	15.70676	15.75117	15.49971	15.68863	16.07123	15.54191
29	KREDITIN	21.45483	22.37845	18.38595	20.78014	21.38365	18.27767
30	VERSICHE	6.23558	6.58406	5.20954	6.00293	6.34799	5.18230
31	WOHNVERM	.00032	.00030	.00031	.00045	.00032	.00033
32	S. DIENST	62.00255	60.51839	58.46976	60.88876	70.63258	60.44468
33	STAAT	10.96930	10.34462	10.90215	15.65032	11.04479	11.64708
34	PR. HH. PO	1.32507	1.24961	1.31696	1.89053	1.33419	1.40694

noch Tabelle 5: Beschäftigungseffekte

	8 STADTAB	9 ORTSUMG.	10 KREUZUNG	11 BHNUEBER	12 ERSCHL.	13 VERBZONE	14 OEPNV	15 BUND.BHN
1 LANDW	10.70420	2.97149	4.07229	1.85464	.76258	7.48676	.86287	1.00296
2 ENERGIE	3.40133	3.23098	3.23084	3.27326	3.19979	3.41442	3.49496	3.86699
3 KOHLENBB	.86922	.78922	.79959	.84459	.79729	.86537	1.02789	1.27672
4 UEBR.BB	.14420	.12785	.13042	.12929	.12530	.14310	.14008	.16225
5 CHEMIE	4.01646	3.31870	3.45809	3.22962	3.43821	3.63276	3.96736	6.33565
6 MINOELV	4.03176	4.12666	3.96588	4.13078	3.79173	4.12826	3.98450	3.28796
7 KUNST.GU	2.76700	1.71352	1.34739	1.73896	1.41313	1.49824	1.47055	2.08534
8 STEINERD	15.73453	18.73327	17.25548	18.89697	16.77100	18.84818	17.22946	12.22483
9 FEINK.GL	.63087	.65616	.69246	.65180	.73287	.64457	.65306	.73496
10 METALL	7.38984	6.59093	6.86097	7.95157	7.26893	7.40695	11.81092	16.66140
11 STAHLBAU	8.98717	2.87302	2.67435	2.90905	2.61517	3.27372	6.10076	12.10136
12 MBAU.ADV	3.52155	2.89214	2.91909	2.89359	2.83780	3.01824	5.16308	9.73772
13 FAHRZBAU	.98218	.95238	.92513	.95570	.88862	.95015	2.91812	6.67287
14 ELTECHN	4.12278	3.31800	11.95658	2.98395	18.38875	7.01499	3.93343	18.90541
15 F.O.,EBM	2.74495	2.83762	2.31543	1.71562	2.48961	1.89006	2.39790	10.71954
16 HOLZ.PAP	5.25020	5.69677	5.52282	5.71533	5.52108	6.29265	7.98533	9.24573
17 TEXTIL	.36989	.29710	.29775	.29181	.30664	.31782	.35670	.52892
18 LED,BEKL	.07801	.07252	.07075	.07248	.07070	.07613	.07955	.09281
19 ERNAEHR	2.64623	1.40535	1.61454	1.25489	1.17080	2.46943	1.22496	1.71034
20 TABAKVER	.09976	.09140	.09620	.09338	.10048	.14450	.10228	.14631
21 BAUHAUPT	79.19290	95.43166	87.94138	96.49699	85.58019	81.05345	82.58216	40.17351
22 AUSBAUG	6.34825	7.59185	7.00614	7.67594	6.81903	6.48806	6.59975	3.31139
23 GROSSHD	4.82583	4.69184	4.70477	4.67971	4.71188	4.68560	6.29301	7.50797
24 EINZELMD	.45548	.41492	.40918	.41362	.39321	.43627	.41785	.40394
25 EISENBHN	.95222	1.00155	.96628	1.01632	.95406	.96519	1.04886	.93787
26 SCHIFFRT	.51595	.56902	.53895	.52476	.52787	.53114	.57082	.43055
27 UEB.VERK	4.66116	5.07267	4.83417	5.10918	4.74358	4.91607	5.52154	4.30911
28 NACHRICHT	1.01324	.98873	1.00500	.98852	1.01982	1.03301	1.05890	1.17180
29 KREDITIN	2.42782	1.95806	1.96543	1.89259	1.69512	2.21330	1.79660	1.54518
30 VERSICHER	.71104	.56954	.58119	.54743	.50372	.65488	.51949	.47285
31 WOHNVERM	.00056	.00021	.00021	.00024	.00022	.00022	.00021	.00017
32 S.DIENST	5.41464	4.88483	5.13605	5.04329	5.33004	8.99405	5.40159	8.11108
33 STAAT	1.84914	.71190	.70019	.79086	.67538	.73123	.68822	.63994
34 PR.HH.PO	.10606	.04083	.04016	.04536	.03874	.04194	.03947	.03670

Tabelle 6: Gesamte Produktionseffekte nach Projekten		Gesamte Beschäftigungseffekte nach Projekten	
1 BABNEU61	186.38808	1 BABNEU61	2104.27515
2 BABNEU43	186.51734	2 BABNEU43	2114.19385
3 BABBALL.	186.73265	3 BABBALL.	2050.40643
4 BABDURCH	186.52764	4 BABDURCH	2090.90436
5 BABVERBR	185.89784	5 BABVERBR	2078.69772
5 BRUECKE	186.64915	5 BRUECKE	2048.62146
7 INNERORT	184.21000	7 INNERORT	2125.17147
3 STADTAB	136.96642	3 STADTAB	2143.06531
7 ORTSUMG.	136.62268	7 ORTSUMG.	2065.81415
10 KREUZUNG	186.03511	10 KREUZUNG	2063.35572
11 BHNUEBER	186.86208	11 BHNUEBER	2048.97623
12 ERSCHL.	185.68328	12 ERSCHL.	2011.67868
13 VERBZONE	186.26569	13 VERBZONE	2087.75567
14 OEPNV	137.44224	14 OEPNV	1991.55090
15 BUND.BHN	186.59212	15 BUND.BHN	1880.27768

## 2. Berechnung der Beschäftigungswirkungen aus einzelwirtschaftlichen Kostenrechnungen

Für unterschiedliche Straßenbauprojekte wurden bei ausgewählten Straßenbauunternehmen die projektspezifischen Kostenstrukturen, die Auftragshöhe je Bauprojekt, die jahresdurchschnittliche Arbeitszeit je Beschäftigten und der durchschnittliche Lohnsatz je Stunde erhoben. Danach kann von durchschnittlich 1 680 Stunden pro Jahr je Beschäftigten ausgegangen werden. Als Stundenlohnsatz werden 13,- DM zugrunde gelegt.

Für 100 Mio DM Bauvolumen lautet dann die Lohnkostenanteil-Beschäftigungsrelation:

$$\begin{aligned} & (0,01 \times 100 \text{ Mio DM}) : 13 \text{ DM/Std.} \\ & = 76\,923 \text{ Std.} : 1\,680 \text{ Std. je Beschäftigten/Jahr} \\ & = 45,8 \text{ Beschäftigte pro Jahr je Lohnkostenanteil von 1 \%} \end{aligned}$$

Die Schwierigkeiten bei der Anwendung dieser Relation liegen in der Bestimmung des beschäftigungsrelevanten Lohnkostenanteils:

Sofern in den Lohnkostenanteilen aus vorliegenden Kostenrechnungen der Bauwirtschaft auch Lohnnebenkosten enthalten sind, sind sie herauszurechnen. Der Block der Gemeinkosten wird unterschiedlich verrechnet. Zum Teil sind die Gemeinkosten in den kalkulierten Lohnsummen enthalten (für Verwaltung, Technik, Betriebshof, Transport). Da sie personalbezogen sind, sind sie in die Lohnkostenanteilerrechnung einzubeziehen. Sofern sie gesondert ausgewiesen werden, sind sie der Lohnsumme hinzuzurechnen. Auch der Gerätekostenanteil enthält beschäftigungswirksame Personalkosten (z. B. Reparatur, Wartung) mit Gemeinkostencharakter. Diese sind ebenfalls dem Lohnkostenanteil zuzurechnen.

Unter Berücksichtigung dieser Korrekturgrößen wird der „personalwirksame“ Lohnkostenanteil für verschiedene Straßenbauinvestitionen errechnet und unter Verwendung der Lohnkostenanteil-Beschäftigungs-Relation in Beschäftigungseffekte (Personen/Jahr) je 100 Mio DM umgesetzt. Die einzelnen Straßenbauprojekte sind in Übersicht 2 spezifiziert. Die Straßenbauprojekte, für die oben die Input-Output-Rechnung durchgeführt wurde, sind mit den Straßenbauinvestitionen, für die hier betriebswirtschaftliche Kostenrechnungen herangezogen wurden, nicht identisch; von der Art der ausgeführten Arbeiten und der Produktionstechnik bestehen jedoch Aggregationsmöglichkeiten. Die Personalkostenanteile wurden jeweils als Durchschnitt aus mehreren Bauprojekten berechnet. Die Beschäftigungswirkungen sind in Tabelle 7 ausgewiesen.

Bei der Ergänzung der aus einzelwirtschaftlichen Kostenrechnungen hergeleiteten direkten Beschäftigungswirkungen in der Bauwirtschaft um die direkten Beschäftigungseffekte in den anderen, von den Straßenbauinvestitionen angesprochenen Wirtschaftsbereichen auf der primären Verausgabungsstufe und um die indirekten Wirkungen aus der Vorleistungsnachfrage wird davon ausgegangen, daß die in Übersicht 2 aufgeführten Straßenbauinvestitionen die für die entsprechenden Projekte in der Investitionsmatrix (Tabelle 2) bezifferten Anteile an direkten Ausgaben (außer Bauwirtschaft) haben und daß die indirekten Beschäftigungswirkungen der hier genannten Projekte mit denjenigen in der Input-Output-Rechnung übereinstimmen. Weiterhin soll die Verausgabung der Investitionsmittel in einem Jahr abgeschlossen sein, so daß eine einheitliche zeitliche

## Übersicht 2: Arbeitsbeschreibung für unterschiedliche Straßenbauprojekte

- (1) *Bundesautobahn*: Erdbauarbeiten, Verlegen einer Bitumenkiesschicht und eines Binders, Verschleißdecke.
- (2) *Landstraße*: Auskoffnung des Bodens, Bodenaustausch, Vermörtelung, Tragschicht, Frostschutzschicht, Decke, zusätzlich Radweg.
- (3) *Autobahnähnliche Ortsumgebung*: 4-spüriger Ausbau, Erdbauarbeiten, Bau von Rampen, Beschleunigungsspur, Standspur, Radweg, Bau von Wirtschaftswegen für umliegende Felder.
- (4) *Ortsdurchfahrt*: Straße, gepflasterter Parkstreifen, Rad- und Fußweg, Regenwasserkanal.
- (5) *Straßen in neuerschlossenem Siedlungsgebiet*: Erdbauarbeiten, Straße, Regen- und Schmutzwasserkanal, Fußwege, Parkplätze, Wendeplatz.
- (6) *Fußgängerzone*: Pflasterarbeiten, Regenwasserkanal (ohne Versorgungsleitungen und Holzarbeiten).
- (7) *Brückenbau*: Brücke an Straßenkreuzung und Flußbrücke.
- (8) *Versorgungsleitungen*: Kabelgraben auf freier Fläche, Verlegen des Kabels, Wiederverfüllen des Grabens, Wiederherstellung der Oberfläche.

Dimensionierung möglich wird. Der Rechengang erfolgt dann in der oben beschriebenen Weise. Die primären Beschäftigungswirkungen in den anderen angesprochenen Wirtschaftsbereichen plus Vorleistungsbeschäftigung in der Bauwirtschaft sind in Tabelle 7 in Spalte 4 ausgewiesen. Der primäre Gesamtbeschäftigungseffekt ergibt sich aus Addition von Spalte (3) und (4)<sup>8)</sup>.

### 3. Sekundäre Beschäftigungseffekte

Die Beschäftigungseffekte von Investitionen hängen vorrangig von den Produktionswirkungen auf der ersten Stufe des Wirkungsprozesses (direkte und indirekte Lieferbeziehungen) ab. Sie sind bestimmt von der Arbeits- und Lohnintensität in den beteiligten Wirtschaftsbereichen. Je höher diese ist, um so größer ist der erforderliche Primärintput und um so ausgeprägter sind die Wirkungen. Damit erschöpft sich jedoch die Wirkung einer Investition noch nicht. Hinzu kommen die sekundären Wirkungen, die aus den

8) Diese Zusammenführung der Ergebnisse aus einzelbetrieblicher Kostenrechnung und Input-Output-Rechnung gelingt nicht bei den Versorgungsleitungen, da für diese Straßenarbeiten keine vergleichbaren, mit dem Input-Output-Ansatz durchgerechneten Projekte vorliegen. Um dennoch einen Orientierungswert zu erhalten, wird davon ausgegangen, daß Versorgungsleitungen hinsichtlich der Vorleistungsproduktion mit der Fußgängerzone vergleichbar sind.

Tabelle 7: Beschäftigungswirkungen von Straßenbauinvestitionen auf der Grundlage von Kostenrechnungen (bezogen auf 100 Mio DM Investitionsvolumen)

Straßenbauprojekt	(1) Gesamter Lohnanteil (einschl. Neben- und Gemeinkosten) (in %)	(2) Korrigierter "personalarbeit" Lohnanteil (in %)	(3) Direkte Beschäftigungswirkung in der Bauwirtschaft (in Personen pro Jahr)	(4) Direkte Beschäftigungswirkung (außer Bauwirtschaft) plus Vorleistungsbeschäftigung (in Personen pro Jahr)	(5) Gesamtbeschäftigungseffekt (Spalte 3 + 4) (in Personen pro Jahr)
1) Bundesautobahn	6,87	4,95	227	974	1 201
2) Landstraße	19,72	14,76	676	887	1 563
3) Ortsumgehung	16,51	11,36	520	887	1 407
4) Innerortsstraßen	38,00	25,98	1 190	1 380	2 570
5) Straßen in neuerschlossenem Wohngebiet	37,76	25,79	1 181	1 380	2 561
6) Fußgängerzone	48,15	32,45	1 486	1 087	2 573
7) Brückenbau	36,11	24,13	1 105	834	1 939
8) Versorgungsleitungen	59,11	39,76	1 821	1 087	2 908

Quelle: Eigene Berechnung aus Kostenrechnungen von Straßenbaufirmen, Mai 1981; Umrechnungen aus Tabelle 2 bis 5.

Einkommensänderungen der zur Produktion der Investitionsgüter beschäftigten Erwerbspersonen resultieren. Diese Einkommenssteigerungen führen zu einer Ausweitung der Konsumgüternachfrage der Einkommensbezieher und damit zu zusätzlicher Produktion und Beschäftigung der Konsumgüterhersteller und deren Vorlieferanten. Aus diesen Produktionseffekten entsteht Einkommen bei den in der Konsumgüterindustrie Beschäftigten, woraus wiederum eine Steigerung der Konsumgüternachfrage resultiert. Diese Wirkungfortpflanzung ist um so höher, je größer die marginalen Konsumquoten der Einkommensbezieher im Produktionsprozeß sind. Die marginalen Konsumquoten hängen von der Einkommenshöhe der zusätzlich Beschäftigten ab. Je niedriger das Einkommen, um so höher ist die marginale Konsumquote.

In der Bauwirtschaft ist der Anteil der Arbeiter an der Gesamtzahl der Beschäftigten im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen (bei den Vollzeitbeschäftigten) hoch (Tabelle 8).

Tabelle 8: Arbeiteranteil in den Wirtschaftszweigen (in % der Gesamtbeschäftigten)

Wirtschaftszweige	1961	1970	1979	
			Vollbeschäftigte	Teilzeitbeschäftigte
Land- u. Forstwirtschaft, Fischerei	79,9	79,9	88,6	67,7
Energiewirtschaft, Bergbau	80,0	70,6	68,0	78,9
Chemie	75,9	70,2	55,9	49,2
Steine und Erden			78,2	61,2
Eisen, Stahl, NE-Metalle	80,9	77,7	78,7	48,8
Stahl-, Masch.-, FZ-Bau	70,6	67,4	70,8	38,3
Elektrotechnik, EBM-Waren	73,5	70,3	68,6	63,6
Holz, Papier, Leder, Textilien	81,6	78,3	78,9	77,1
Nahrungs- u. Genußmittel	69,8	64,2	64,7	52,4
Bauwirtschaft	85,5	82,3	85,2	22,4
Handel	27,3	27,9	30,9	23,5
Verkehr, Nachrichtenübermittl.	48,6	44,3	69,3	68,1
Sonstige Dienstleistungen	36,1	33,0	32,7	45,1
Staat	23,0	24,4	35,3	49,2
Private Haushalte u. Org. o. Erw.	25,5	28,8	24,1	42,9

Quelle: Berechnet aus: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1964, 1973 und 1980 (S. 103).

Gleichzeitig liegen die durchschnittlichen Bruttoverdienste der Arbeiter in der Bauwirtschaft unter denen der Arbeiter in der Industrie. Der Bruttoverdienst erfaßt den tariflich und frei vereinbarten Lohn (einschließlich tariflicher und außertariflicher Leistungs-, Sozial- und sonstiger Zahlungen).

Aussagekräftiger als die Gegenüberstellung der Stundenverdienste ist der Vergleich der Bruttojahresverdienste der Arbeiter, weil hier die Auswirkungen der saisonalen Schwan-

kungen in der Bauwirtschaft ihren Niederschlag finden und einmalige Zahlungen (13 Monatslöhne, zusätzliches Urlaubsgeld, einmalig ausgezahlte vermögenswirksame Leistungen) berücksichtigt werden. Diese Gegenüberstellung ist in Tabelle 9 enthalten.

Tabelle 9: *Bruttoverdienste (Männer) von ganzjährig beschäftigten gewerblichen Arbeitnehmern aller Leistungsgruppen*

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
1. Bruttojahresverdienste in DM							
a) Industrie ohne Bau	21 465	23 894	25 062	27 083	28 837	30 412	32 495
b) Hoch- und Tiefbau	19 765	21 543	22 085	23 172	24 590	25 970	27 527
2. Höchster Jahresverdienst in DM (jeweils Mineralölverarb.)	25 202	28 945	31 191	34 000	35 760	38 257	40 873
3. Korrigierter Verdienst im Hoch- und Tiefbau (Schlechtwettergeld, Wintergeld, Wegzeitvergütung) in DM	23 265	25 148	25 788	26 987	28 527	30 053	31 826

Quelle: Wirtschaft und Statistik, Heft 11/1980 (S. 744\*). Berechnungen des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e. V., 1980.

Erforderlich ist darüber hinaus die Einbeziehung der durchschnittlich ausgezahlten Beträge an Schlechtwettergeld und Wintergeld sowie die Wegzeitvergütung. Beim Schlechtwettergeld wird aufgrund der mehrjährigen Durchschnitte von einem Betrag von 1 200 DM netto pro Arbeiter im Jahr 1973 ausgegangen. Dieser Betrag wird jährlich mit der Lohnsteigerungsrate fortgeschrieben. Für Wintergeld wird ein Betrag von 600 DM netto veranschlagt. Die Wegzeitvergütung wird auf 600 DM netto geschätzt. Der Vergleich der korrigierten Jahresverdienste ist ebenfalls in Tabelle 9 dargestellt.

Nach dieser Korrektur ergibt sich zwar eine günstigere Rangstellung der Bauwirtschaft; die Bruttoverdienste liegen aber weiterhin unter den durchschnittlichen Jahresverdiensten der gesamten Industrie.

Durch das Zusammenwirken von überdurchschnittlichem Anteil der ungelerten Arbeiter an der Beschäftigtenzahl und unterdurchschnittlichem Einkommen der ungelerten Arbeiter im Vergleich zum Durchschnitt der Industrie sind von Straßenbauinvestitionen überdurchschnittlich hohe sekundäre Beschäftigungswirkungen zu erwarten.

Hinzu kommt, daß die Einkommensniveaus je nach Bereich innerhalb der Bauwirtschaft unterschiedlich sind, mithin auch die marginalen Konsumquoten und die sekundären Beschäftigungswirkungen. Je höher der Anteil der weniger qualifizierten Beschäftigten

in dem jeweiligen Bereich, um so geringer ist das Einkommen und um so größer sind die marginalen Konsumquoten.

Die Beschäftigungsstruktur nach Qualifikationsgraden in den einzelnen Bausparten gibt Tabelle 10 wieder.

Der Straßenbau hat relativ hohe Quoten hinsichtlich der weniger qualifizierten Fachwerker und Werker an den in diesen Bereichen insgesamt Beschäftigten. Da die Bruttoeinkommen dieser Arbeitskräfte unter denen der Facharbeiter, Meister oder Angestellten liegen, sind die sekundären, konsuminduzierten Beschäftigungseffekte im Straßenbau höher als in den anderen Bereichen der Bauwirtschaft.

Für eine Neuberechnung der sekundären Beschäftigungswirkungen mit Hilfe des „Keynes-Multiplikators“ fehlten hier die empirischen Voraussetzungen. Die zugrunde gelegte Input-Output-Tabelle des DIW enthält keinen Ausweis der primären Inputs, so daß der Anteil des Einkommens aus unselbständiger Arbeit an der Bruttoproduktion nicht festgestellt werden kann. Außerdem liegen marginale Konsumquoten der in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen tätigen Unselbständigen und Selbständigen nur für das Jahr 1970 vor. Die Verwendungsstrukturen der Haushalte sind nach 56 Sektoren gegliedert, so daß für eine Berechnung mit der 34-Matrix Zusammenfassungen, zum Teil aber auch Auseinanderentwicklungen erforderlich wären. Schließlich sind differenzierte marginale Konsumquoten für die verschiedenen Einkommensgruppen innerhalb der Bauwirtschaft nicht bekannt. Wegen dieser unzureichenden Datenlage wird auf eine Berechnung der sekundären Wirkungen verzichtet.

Tabelle 10: *Beschäftigungsstruktur des Bauhauptgewerbes 1980 (in % der in den Bereichen insgesamt Beschäftigten)*

Stellung im Betrieb	Insgesamt	Hoch- und Tiefbau, ohne ausgeprägten Schwerpunkt	Hochbau	Straßenbau	Tiefbau, a.n.g.
Angestellte (einschl. Auszubildende)	12,0	14,7	9,1	11,6	10,4
Angestelltenversicherungspflichtige Poliere, Schachtmeister u. Meister	3,3	4,4	2,7	4,6	4,7
Werkpoliere, Bauvorarbeiter, Baumaschinenfachmeister und -vorarbeiter	6,3	7,9	5,9	7,2	7,9
Facharbeiter	47,1	46,1	53,7	37,7	36,7
Fachwerker, Baumaschinisten und Arbeiter mit angelernten Spezialtätigkeiten	21,9	21,4	17,5	35,4	36,8
Sonstige	9,4	5,5	11,1	3,5	3,5

Quelle: Errechnet aus: Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (Hrsg.), Jahrbuch des Deutschen Baugewerbes, Band 30, 1980, Bonn 1980, S. 311/312.

## Summary

Based on a nationwide input output analysis utilizing sectorial employment coefficients, the effects of road construction investments on production and employment were assessed. To find out the employment differences resulting from the intensity of labor employment of road construction projects, cost estimates from a number of selected construction companies were additionally evaluated. The employment effects of an investment scheme of DM one billion vary between 12,000 (autobahn construction project) and 29,000 jobs (installation of utility lines). Road construction projects within urban areas, road projects in newly development residential areas and street schemes in pedestrian areas have relatively high effects on the employment situation. Low effects are associated with the construction of autobahns, state highways and by-passes. The effects on employment of infrastructure projects on the railroad sector are estimated at 19,000 jobs, on the public transport sector 20,000 jobs. Compared with the average effects on employment in public investment projects, estimated at 19,300 jobs in a previous study, road construction projects produce disproportionately high effects on employment in important sectors.

## Résumé

Sur la base d'une analyse input-output pour la République fédérale d'Allemagne et en utilisant les coefficients de travail sectoriels, les effets des investissements de la construction routière sur la production et sur l'emploi ont été calculés.

Afin de chiffrer les différences des taux d'emploi suivant l'intensité de travail des projets de construction routière, des calculs de coûts d'un certain nombre d'entreprises de construction ont été en outre évalués. Pour un volume d'investissement d'un milliard de DM, les effets varient entre 12.000 personnes (pour la construction d'une autoroute) et 29.000 personnes (pour l'installation de conduites d'approvisionnement). La construction de routes au sein d'agglomérations, dans des régions à urbaniser et des zones piétonnières ont des effets relativement élevés sur la situation de l'emploi. Peu d'effet a la construction d'autoroutes, de routes départementales et de voies de contournement. En ce qui concerne les projets d'infrastructure sur le secteur des chemins de fer, les effets sur l'emploi se chiffrent à 19.000 personnes, pour les projets des transports publics 20.000 personnes. En se basant sur des analyses précédentes de la moyenne des investissements d'état et un emploi de 19.300 personnes, la construction routière a un effet sur l'emploi au-dessus de la moyenne dans des secteurs importants.

Ein Verfahren zur Beurteilung von Rangstabilitäten  
in der Nutzwertanalyse

VON PETER CERWENKA, BASEL

## 1. Problemstellung

Mit Hilfe der Nutzwertanalyse können bekanntlich Handlungsalternativen in eine Präferenzordnung gebracht werden. Das Entscheidungskalkül ist dabei eine aus Mengen- und Wertgerüst aggregierte Größe, der Nutzwert. Für die Aggregation zum Nutzwert einer Alternative  $j$  gibt es mehrere plausible Möglichkeiten, von denen keine allgemein eindeutig überlegen ist. Als sehr anschaulich, gut handhabbar und für viele Fälle geeignet hat sich die additive Wertsynthese erwiesen. Nimmt man an, daß ein für eine Aufgabenstellung relevanter Zielkatalog aus  $m$  Kriterien besteht und bezeichnet man den Zielerreichungsgrad von Kriterium  $i$  für Alternative  $j$  mit  $z_{ij}$  und das Kriteriengewicht für Kriterium  $i$  mit  $g_i$ , so läßt sich diese Aggregierungsform bekanntlich wie folgt anschreiben:

$$N_j = \frac{1}{C} \cdot \sum_{i=1}^m z_{ij} \cdot g_i \quad (1)$$

$$\text{mit } C = \sum_{i=1}^m g_i$$

$C$  wird üblicherweise mit 100 angesetzt. Das Wertgerüst ist dabei durch zwei Vorgänge eingeflossen:

- Die Zielerreichungsgrade  $z_{ij}$  kann man sich als Ergebnis eines *Benotungsvorganges* vorstellen, der darin besteht, daß die Komponenten des ursprünglichen Mengengerüsts, die Zielerträge  $x_{ij}$ , mit Hilfe von Nutzenfunktionen in eine endliche einheitliche Skala abgebildet werden.
- Die Kriteriengewichte  $g_i$  erhält man aus einem *Gewichtungsvorgang*, an dem sich in der Regel mehrere Personen beteiligen, die entweder entscheidungsverantwortlich oder sonstwie entscheidungsbetroffen sind.

Sind die beiden Vorgänge durchgeführt, so erhält man daraus die Nutzwerte für die Alternativen. Die Reihung der Nutzwerte der Größe nach ergibt dann die Präferenzordnung.

*Anschrift des Verfassers:*

Univ.-Doz. Dr. Peter Cerwenka  
Prognos AG  
Steinengraben 42  
CH-4011 Basel

In den meisten Nutzwertanalysen interessiert man sich aber nicht nur für die Präferenzordnung selbst, sondern auch für deren Stabilität. Zu diesem Zwecke wird üblicherweise eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, d. h., in der Regel werden die Nutzwerte mit Hilfe verschiedener Sätze von Kriteriengewichten, die von verschiedenen Personen stammen, wiederholt ermittelt, und dabei wird festgestellt, ob sich die Präferenzordnung ändert oder nicht. Oft werden auch Gewichtsmittelwerte mehrerer Personen herangezogen, von denen dann in gewissen Stufen systematisch abgewichen und wiederum die Stabilität der Präferenzordnung festgestellt wird. Erschwerend wirkt sich in letzterem Fall aus, daß wegen der konstanten Gewichtssumme von  $C$  eine Änderung in einem Kriteriengewicht zugleich eine Änderung in mindestens einem anderen Kriteriengewicht bewirkt. Außerdem sind unendlich viele Konstellationen von Gewichtsveränderungen möglich, von denen oft ein erheblicher Anteil unnötiger Zahlenballast ist, der die Sensitivitätsanalyse unübersichtlich und verwirrend erscheinen lassen kann.

Dieser Umstand, der in einem konkreten Anwendungsfall<sup>1)</sup> besonders akut wurde, hat zur Neuentwicklung einer Prüfgröße geführt, die nachfolgend als „Stabilitätsmaß“ bezeichnet und mit dem Symbol „SM“ versehen wird. Ihrer Definition, konkreten Ermittlung und Interpretation ist der vorliegende Beitrag gewidmet.

## 2. Interpretationsvorgaben für ein Stabilitätsmaß

Das zu definierende Stabilitätsmaß SM möge in einem normierten Wertebereich  $[0; 1]$  liegen, dessen Randwerte  $SM=0$  und  $SM=1$  wie folgt interpretierbar seien:

- Ein Wert  $SM=0$  bedeute, daß jede kleinste Veränderung an irgendeinem Kriteriengewicht das Umkippen einer mit den ursprünglichen Kriteriengewichten ermittelten Rangfolge von Alternativen bewirken würde. (Zunächst wird zur Veranschaulichung die Existenz von nur zwei Alternativen angenommen. Bei mehr als zwei Alternativen muß dann das Stabilitätsmaß paarweise für je zwei rangbenachbarte Alternativen ermittelt werden. Die beiden in die jeweilige Ermittlung von SM einbezogenen Alternativen werden nachfolgend mit den Indizes  $j=1$  und  $j=2$  versehen.) Das Reihungsergebnis ist in diesem Falle absolut instabil.
- Hingegen möge der Wert  $SM=1$  einer Konstellation von Zielerreichungsgraden entsprechen, bei welcher jede beliebige Veränderung der Kriteriengewichte die Beibehaltung der ursprünglichen Rangfolge bewirkt. Dies ist dann der Fall, wenn in allen Kriterien die Differenz der Zielerreichungsgrade zwischen zwei zu reihenden Alternativen dasselbe Vorzeichen hat. Diese Konstellation kann folgerichtig als absolut stabil bezeichnet werden.

Je mehr also SM bei 1 liegt, als desto stabiler kann das Ergebnis angesehen werden. Mit diesen Interpretationsvorgaben kann das Stabilitätsmaß als eine Art Analogon zum Korrelationskoeffizienten der Korrelationsrechnung angesehen werden, der allerdings einen ganz anderen Aussageinhalt hat.

1) Nutzen-Kosten-Untersuchungen zur BAB A26, Untersuchung der Prognos AG im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, abgeschlossen Februar 1981.

## 3. Definition des Stabilitätsmaßes

Aufgrund der Interpretationsvorgaben wird das Stabilitätsmaß in nachstehender Weise definiert.

Wenn man mit  $g_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) die erhobenen und damit vorliegenden Kriteriengewichte eines bestimmten Bewerter für die  $m$  Kriterien in der untersten Ebene des Zielsystems bezeichnet und mit  $w_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) eine veränderte Konstellation von zunächst unbekanntem Kriteriengewichten, die das Umkippen einer Reihung von zwei Alternativen ( $A_1$  und  $A_2$ ) bewirken würde, so ist ein charakteristischer Fall einer veränderten Konstellation dadurch definierbar, daß man die minimale Konstellationsveränderung ermittelt. Als Konstellationsveränderung wird die Quadratsumme der Abweichungen

$$Q = \sum_{i=1}^m (g_i - w_i)^2 \quad (2)$$

vereinbart. Diese Größe soll also minimiert werden:

$$Q_{\min} = \text{Min} \left[ \sum_{i=1}^m (g_i - w_i)^2 \right] \quad (3)$$

Dabei gelten noch die definitorischen Randbedingungen:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m g_i &= C \\ \text{und} \sum_{i=1}^m w_i &= C \end{aligned} \quad (4)$$

Für den Fall, daß eine mit den ursprünglichen Kriteriengewichten  $g_i$  ermittelte Rangfolge von zwei Alternativen ( $A_1$  und  $A_2$ ) gerade umkippen soll, gilt ferner, daß die mit den veränderten Kriteriengewichten  $w_i$  zu ermittelnden Nutzwerte  $NW_1$  und  $NW_2$  gleich groß werden:

$$NW_1 = NW_2$$

Setzt man dafür analog zu Gleichung (1) definitionsgemäß

$$NW_1 = \frac{1}{C} \cdot \sum_{i=1}^m z_{i1} \cdot w_i \quad \text{und} \quad NW_2 = \frac{1}{C} \cdot \sum_{i=1}^m z_{i2} \cdot w_i$$

ein, so lautet mit der abkürzenden Schreibweise für die Differenz der Zielerreichungsgrade

$$\Delta z_i = z_{i1} - z_{i2}$$

die zusätzliche Randbedingung:

$$\sum_{i=1}^m \Delta z_i \cdot w_i = 0 \quad (5)$$

Schließlich gilt natürlich für die veränderten Kriteriengewichte  $w_i$  (wie auch für die ursprünglichen Kriteriengewichte  $g_i$ ), daß sie alle nichtnegativ sein müssen:

$$w_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, m) \quad (6)$$

Damit liegt ein typisches Problem der quadratischen Planungsrechnung vor: Eine (in allen  $w_i$ ) quadratische Zielfunktion ( $Q$ ) soll unter Einhaltung von Randbedingungen, die in Form der (in allen  $w_i$ ) linearen Gleichungen (4) und (5) und in Form der (in allen  $w_i$ ) linearen Ungleichungen (6) auftreten, einen extremen Wert annehmen. Ein für die vorliegende Problemstellung praktikabler Lösungsweg wird im nächsten Abschnitt angegeben. Das Ergebnis ist der gesuchte Satz von minimal veränderten Kriteriengewichten  $w_i$  ( $i=1, \dots, m$ ), der gerade ein Umkippen der Rangfolge bewirken würde. Sie werden daher als „Kippgewichte“ bezeichnet.

Ein weiterer charakteristischer Fall einer veränderten Konstellation von Kriteriengewichten ist dadurch definierbar, daß man die maximale Konstellationsveränderung ermittelt, die ebenfalls gerade ein Umkippen der Rangfolge bewirken würde. In diesem Fall ist unter Einhaltung derselben Randbedingungen (4), (5) und (6) das Maximum von  $Q$

$$Q_{\max} = \text{Max} \left[ \sum_{i=1}^m (g_i - w_i)^2 \right]$$

zu ermitteln, wofür ebenfalls im nächsten Abschnitt ein praktikabler Lösungsweg angegeben wird.

Als im genannten Sinne interpretierbares Stabilitätsmaß  $SM$  läßt sich mit den Werten  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$  die Größe

$$SM = \sqrt{Q_{\min} / Q_{\max}} \quad (7)$$

vereinbaren. Das Stabilitätsmaß ist damit als Quotient aus einer minimalen und einer maximalen Standardabweichung von Kriteriengewichten definiert.

Für den Fall, daß alle Zielerreichungsgraddifferenzen  $\Delta z_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) dasselbe Vorzeichen haben (eine Alternative wäre dann in allen Kriterien besser als die andere), gibt es weder für  $Q_{\min}$  noch für  $Q_{\max}$  eine Lösung, weil die Rangfolge in diesem Fall nicht umschlagen kann, welche Kriteriengewichte auch immer verteilt würden. In diesem Fall ist vereinbarungsgemäß  $SM=1$  zu setzen, da dieser Fall absolute Stabilität repräsentiert.

#### 4. Berechnung der extremen Konstellationsveränderungen ( $Q_{\min}$ und $Q_{\max}$ )

Beide extremen Konstellationsveränderungen,  $Q_{\min}$  und  $Q_{\max}$ , ließen sich grundsätzlich mit einem für die quadratische Planungsrechnung erweiterten Simplex-Algorithmus von Wolfe<sup>1)</sup> berechnen, zumal hierfür sogar ein fertiges FORTRAN-Programm<sup>2)</sup> allgemein verfügbar ist. Allerdings nimmt die Rechenzeit mit zunehmender Kriterienanzahl sehr stark zu. Da im konkreten Anlaßfall, der im nächsten Abschnitt auszugsweise beschrieben wird, die unterste Ebene des Zielsystems aus 20 Kriterien bestand und eine Vielzahl von Gewichtssätzen verschiedener Bewerter aus verschiedenen Gewichtsrunden vorlag, wurde ein anderes Verfahren entwickelt, das nachfolgend beschrieben wird.

##### 4.1 Minimale Konstellationsveränderung ( $Q_{\min}$ )

Läßt man zunächst die Ungleichungen der Nichtnegativitätsbedingungen (6) außer acht, so reduziert sich die Problemstellung darauf, die Konstellationsveränderung  $Q$  nach (2) unter Einhaltung der als Gleichungen vorliegenden Nebenbedingungen (4) und (5) zu minimieren. Diese Aufgabe läßt sich durch Einführung der Lagrange-Multiplikatoren hier explizit lösen. Die Anzahl der Multiplikatoren entspricht bekanntlich der Anzahl der Nebenbedingungen; somit sind hier zwei solcher Multiplikatoren,  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , einzuführen:  $\lambda_1$  für die Nebenbedingung (4) und  $\lambda_2$  für die Nebenbedingung (5). Nach Durchführung des nebenbedingten Optimierungsalgorithmus erhält man für  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  mit dem Hilfwert

$$H = \sum_{i=1}^m \Delta z_i^2 - \frac{1}{m} \cdot \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \right)^2$$

$$\lambda_1 = \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \cdot g_i \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \right) / (m \cdot H) \quad (8)$$

$$\lambda_2 = - \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \cdot g_i \right) / H$$

und für die gesuchten minimal veränderten Kriteriengewichte  $w_i$ :

$$w_i = g_i + \lambda_1 + \lambda_2 \cdot \Delta z_i \quad (i=1, \dots, m) \quad (9)$$

Die minimale Konstellationsveränderung  $Q_{\min}$  erhält man durch Einsetzen von (8) in (9) und von (9) in (2) zu:

$$Q_{\min} = \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \cdot g_i \right)^2 / H \quad (10)$$

1) Wolfe, P., The Simplex Method for Quadratic Programming, in: *Econometrica*, Vol. 27 (1959), Nr. 3, S. 382-398.

2) Kuester, J. L., Mize, J. H., *Optimization Techniques with Fortran*, New York 1973.

Stellt sich bei der Berechnung von  $w_i$  gemäß (9) heraus, daß sich alle  $w_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) nichtnegativ ergeben, so ist die Berechnung von  $Q_{\min}$  abgeschlossen, da die vorerwähnten außer acht gelassenen Nichtnegativitätsbedingungen (6) offensichtlich ohnehin erfüllt sind und somit nicht restriktiv wirken. Ergibt sich jedoch mindestens ein Wert  $w_i$  negativ, so ist dies ein Zeichen dafür, daß mindestens eine Nichtnegativitätsbedingung von (6) greift und somit gemäß der quadratischen Planungsrechnung mindestens ein Wert  $w_i$  zu Null gesetzt werden muß. Zu diesem Zweck wird das Gesamtkollektiv der  $m$  Kriterien in zwei Teilkollektive zerlegt: in ein Teilkollektiv von  $m_1$  Kriterien (Index  $i_1$ ), die positive veränderte Kriteriengewichte erhalten, und in ein weiteres Teilkollektiv von  $m_2$  Kriterien (Index  $i_2$ ), deren veränderte Kriteriengewichte zu Null gesetzt werden ( $m_1 + m_2 = m$ ).

Nach dieser Prozedur erhält man für  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  mit dem Hilfswert

$$\left. \begin{aligned} H &= \sum_{i_1} \Delta z_{i_1}^2 - \frac{1}{m_1} \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \right)^2 : \\ \lambda_1 &= \left[ \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \cdot g_{i_1} \right) \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \right) + \left( \sum_{i_2} g_{i_2} \right) \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1}^2 \right) \right] / (m_1 \cdot H) \\ \lambda_2 &= - \left[ \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \cdot g_{i_1} + \left( \sum_{i_2} g_{i_2} \right) \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \right) / m_1 \right] / H \end{aligned} \right\} (11)$$

und für die neuen Kriteriengewichte  $w_i$ :

$$\left. \begin{aligned} - \text{für Kollektiv mit Index } i_1: w_{i_1} &= g_{i_1} + \lambda_1 + \lambda_2 \cdot \Delta z_{i_1} \\ - \text{für Kollektiv mit Index } i_2: w_{i_2} &= 0 \end{aligned} \right\} (12)$$

Die zugehörige minimale Konstellationsveränderung  $Q_{\min}$  erhält man durch Einsetzen von (11) in (12) und von (12) in (2) zu:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\min} &= \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \cdot g_{i_1} \right)^2 / H + \sum_{i_2} g_{i_2}^2 + \left( \sum_{i_2} g_{i_2} \right) \cdot \left[ \left( \sum_{i_2} g_{i_2} \right) \cdot \right. \\ &\quad \left. \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1}^2 \right) + 2 \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \cdot g_{i_1} \right) \cdot \left( \sum_{i_1} \Delta z_{i_1} \right) \right] / (m_1 \cdot H) \end{aligned} \right\} (13)$$

Ist die Menge der Kriterien mit Index  $i_2$  leer ( $m_2=0$ ; alle Kriteriengewichte sind positiv), so geht naturgemäß (13) in (10) über.

Die noch offene heikle Frage ist nun die, wie man zur richtigen Zerlegung des Kollektivs kommt, d. h. zu jener, bei der letztlich kein negatives  $w_i$  mehr vorkommt und bei der zugleich jede andere Konstellation von nichtnegativen  $w_i$  einen größeren Wert für  $Q$  ergäbe.

Folgender iterativer Algorithmus hat sich in allen untersuchten Fällen als zielführend und rationell erwiesen:

(a) Berechne  $H$ ,  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  nach (8) und damit alle  $w_i$  nach (9).

- (b) Prüfe, ob sich negative  $w_i$  ergeben haben. Ist dies nicht der Fall, so berechne  $Q_{\min}$  nach (10). Es ist dann der gesuchte Wert: Ende des Algorithmus. Haben sich jedoch negative  $w_i$  eingestellt, so gehe nach (c).
- (c) Teile das Kollektiv aus  $m$  Kriterien so in zwei Teile, daß das eine Teilkollektiv (Index  $i_1$ ) jene  $m_1$  Kriterien enthält, die sich nichtnegativ ergeben haben, und daß das andere Teilkollektiv (Index  $i_2$ ) jene  $m_2$  Kriterien enthält, die sich negativ ergeben haben und jetzt zu Null gesetzt werden ( $m_1 + m_2 = m$ ).
- (d) Damit berechne  $H$ ,  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  nach (11) und  $w_i$  nach (12). Sind nunmehr alle  $w_i$  nichtnegativ, so berechne  $Q_{\min}$  nach (13). Es ist der gesuchte Wert: Ende des Algorithmus. Haben sich hingegen nun neuerliche negative  $w_i$  eingestellt (die vereinbarungsgemäß nur aus dem Teilkollektiv mit dem Index  $i_1$  stammen können, da alle  $w_{i_2}$  zu Null gesetzt werden), so löse diese aus dem Teilkollektiv mit dem Index  $i_1$  und füge sie dem Teilkollektiv mit dem Index  $i_2$  hinzu, setze diese also ebenfalls zu Null. ( $m_2$  wird also größer,  $m_1$  kleiner.) Damit sind wiederum  $H$ ,  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  nach (11) und  $w_i$  nach (12) zu berechnen. Wiederhole (d) solange, bis nur noch nichtnegative  $w_i$  übrig bleiben. Dann berechne  $Q_{\min}$  nach (13).

Der obenstehende Algorithmus hat in allen untersuchten Fällen (das waren etwa 50 mit je 20 Kriterien) ausnahmslos zum Ziele geführt. In allen Fällen war im EDV-Dialogbetrieb eine riesige Fülle von Variationen der Teilkollektive von Kriterien mit Index  $i_1$  und Index  $i_2$  durchgeführt worden. Stets stellte sich letztendlich jene Aufteilung ein, die sich auch nach dem geschilderten iterativen Algorithmus, allerdings dann wesentlich rascher, ergeben hätte. Der mathematische Beweis für die Allgemeingültigkeit konnte zwar nicht erbracht werden, doch scheint bei der Koeffizientenkonstellation der quadratischen Planungsrechnung, wie sie mit den Beziehungen (3) bis (6) hier vorliegt, der geschilderte Algorithmus das richtige Ergebnis notwendigerweise herbeizuführen.

Abschließend sei noch erwähnt, daß die vorliegende Problemstellung die Konvexitätsbedingungen von *Kuhn* und *Tucker*<sup>1)</sup> erfüllt, was zur Folge hat, daß – falls es überhaupt eine Lösung gibt – es stets nur eine Lösung gibt.

#### 4.2 Maximale Konstellationsveränderung ( $Q_{\max}$ )

Wie man aus (2) unmittelbar entnehmen kann, würde das Maximum von  $Q$  ohne die Randbedingungen (4) bis (6) gegen unendlich streben. Es wird also auf jeden Fall durch die Randbedingungen eingeschränkt; es ist also ein „Randmaximum“. Läßt man zunächst Randbedingung (5) außer acht, so kann man aufgrund einfacher logischer Überlegungen unmittelbar zur Einsicht gelangen, daß  $Q$  dann ein Maximum ist, wenn alle veränderten Kriteriengewichte bis auf eines zu Null gesetzt werden und eines auf den Maximalwert  $C$  gesetzt wird und wenn überdies jenes eine auf  $C$  gesetzt wird, dessen

<sup>1)</sup> *Kuhn, H. W., Tucker, A. W.*, Nonlinear Programming, in: Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley 1951, S. 481–492.

ursprüngliches Kriteriengewicht das kleinste aller Kriteriengewichte war. Damit würde sich ein  $Q_{\max}$  von

$$Q_{\max} = \sum_{i=1}^m g_i^2 + C^2 - 2 \cdot C \cdot g_{\min}$$

ergeben. Randbedingung (5), die bewirkt, daß  $Q$  gerade ein Maximum wird, engt dieses Maximum in aller Regel noch weiter ein. Sie erfordert, daß im System ein weiterer Freiheitsgrad eingeführt wird. Dies erfolgt dadurch, daß nicht  $m-1$  Kriteriengewichte zu Null gesetzt werden, sondern  $m-2$ . Damit erhält man zwei Freiheitsgrade für die beiden Randbedingungsgleichungen (4) und (5). Für zwei der  $m$  neuen Kriteriengewichte, die mit  $W_a$  und  $W_b$  bezeichnet seien, gilt also gemäß (4) und (5):

$$W_a + W_b = C$$

$$\Delta z_a \cdot W_a + \Delta z_b \cdot W_b = 0 \quad (14)$$

Daraus erhält man für  $W_a$  und  $W_b$ :

$$W_a = -C \cdot \frac{\Delta z_b}{\Delta z_a - \Delta z_b} \quad \text{und} \quad W_b = C \cdot \frac{\Delta z_a}{\Delta z_a - \Delta z_b} \quad (15)$$

Und für  $Q$  erhält man:

$$Q = \sum_{i=1}^m g_i^2 + (W_a^2 + W_b^2 - 2 \cdot W_a \cdot g_a - 2 \cdot W_b \cdot g_b) = \sum_{i=1}^m g_i^2 + \Delta Q$$

Hier gilt es noch jene beiden Indizes  $a$  und  $b$  aus  $i$  zu finden, die  $Q$  bzw.  $\Delta Q$  maximieren, wobei zusätzlich darauf zu achten ist, daß  $W_a$  und  $W_b$  gemäß (15) nichtnegativ sind:

$$\Delta Q_{\max} = \text{Max}_{a,b} (W_a^2 + W_b^2 - 2 \cdot W_a \cdot g_a - 2 \cdot W_b \cdot g_b) \quad (16)$$

$$\text{mit} \quad W_a, W_b \geq 0 \quad (a, b \in i; a \neq b)$$

Hier gibt es keine explizite Anschreibmöglichkeit für das Ergebnis, und man muß alle  $m \cdot (m-1)/2$  Kombinationen durchrechnen, um das Maximum zu finden. (Dies ist aber eine bereits sehr reduzierte Anzahl gegenüber den insgesamt  $m!$  Möglichkeiten, Nullen auf Kriteriengewichte zu verteilen.<sup>1)</sup> Hat man  $\Delta Q_{\max}$  gefunden, so erhält man  $Q_{\max}$  zu:

$$Q_{\max} = \sum_{i=1}^m g_i^2 + \Delta Q_{\max} \quad (17)$$

1) Es bedarf wohl keiner besonderen Hervorhebung, daß das ganze geschilderte Verfahren nur durch EDV-Einsatz zu bewältigen ist.

Wie man aus (14) ersehen kann, können  $W_a$  und  $W_b$  nur dann positiv sein, wenn  $\Delta z_a$  und  $\Delta z_b$  verschiedenes Vorzeichen haben<sup>1)</sup>. Daher gibt es – wie bereits in Abschnitt 3 erwähnt – für  $Q_{\max}$  (und damit auch für  $Q_{\min}$ ) keine Lösung, wenn alle  $\Delta z_i$  gleiches Vorzeichen haben. Dieser Zustand bedeutet zugleich vereinbarungsgemäß absolute Stabilität, d. h., das Stabilitätsmaß gemäß (7) ist in diesem Fall  $SM=1$  zu setzen.

## 5. Eine Ausweitung des Verfahrens

In konkreten Anwendungsfällen stellt sich nicht nur die Aufgabe, die Stabilität eines Einzeibewertungsergebnisses zu prüfen, sondern auch die Stabilität der Reihungsergebnisse von ganzen Bewertungsrunden.

Wenn eine Bewertungsrunde aus  $K$  gewichtverteilenden Bewertern besteht, so kann die Konstellationsveränderung  $\bar{Q}$  analog zu (2) mit

$$g_{ki} \dots \text{Kriteriengewicht des Bewerter } k \text{ für Kriterium } i \\ (k=1, \dots, K; i=1, \dots, m)$$

wie folgt angeschrieben werden:

$$\bar{Q} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m (g_{ki} - \bar{w}_i)^2$$

Minimiert man diese Größe, so erhält man wiederum die im Zähler von (7) enthaltene Größe, die hier mit  $\bar{Q}_{\min}$  bezeichnet sei:

$$\bar{Q}_{\min} = \text{Min} \left[ \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m (g_{ki} - \bar{w}_i)^2 \right]$$

Hierin bedeuten  $\bar{w}_i$  die in Abschnitt 3 als Kippgewichte bezeichneten veränderten Kriteriengewichte, die zunächst wiederum unbekannt sind. Die Randbedingungen (4), (5) und (6) bleiben wie bisher erhalten, wobei jedoch  $\bar{w}_i$  für  $w_i$  einzusetzen ist. Ebenso läßt sich die maximale Konstellationsveränderung  $\bar{Q}_{\max}$  anschreiben:

$$\bar{Q}_{\max} = \text{Max} \left[ \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m (g_{ki} - \bar{w}_i)^2 \right]$$

Damit ergibt sich das Stabilitätsmaß analog zu (7):

$$SM = \sqrt{\bar{Q}_{\min} / \bar{Q}_{\max}}$$

1) Diese Eigenschaft kann sehr sinnvoll dazu herangezogen werden, die  $m \cdot (m-1)/2$  Kombinationen von  $W_a$  und  $W_b$  weiter zu reduzieren. Haben etwa je  $m/2$  Kriterien in den Zielerreichungsgaddifferenzen positives bzw. negatives Vorzeichen, so beträgt die Anzahl der Kombinationen nur noch  $m^2/4$ .

Die konkrete Berechnung von  $\bar{Q}_{\min}$  und  $\bar{Q}_{\max}$  ist mit folgenden Änderungen analog zu den Unterabschnitten 4.1 und 4.2 durchzuführen.

Gegenüber Unterabschnitt 4.1 ergeben sich mit den arithmetischen Mittelwerten  $\bar{g}_i$  aus den jeweils  $K$  Kriteriengewichten  $g_{ki}$  für jedes Kriterium  $i$

$$\bar{g}_i = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K g_{ki}$$

folgende Modifikationen bisheriger Formeln:

- In (8) ist mit unverändertem  $H$  in  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  überall  $\bar{g}_i$  statt  $g_i$  einzusetzen, ebenso in (9), wo auch  $w_i$  durch  $\bar{w}_i$  zu ersetzen ist.
- Formel (10) für  $Q_{\min}$  ist mit unverändertem  $H$  zu ersetzen durch:

$$\bar{Q}_{\min} = K \cdot \left( \sum_{i=1}^m \Delta z_i \cdot \bar{g}_i \right)^2 / H$$

- Nach Aufteilung des Kriterienkollektivs in ein Teilkollektiv (Index  $i1$ ) mit  $m1$  Kriterien und  $K \cdot m1$  Kriteriengewichten  $g_{ki1}$  und in ein Teilkollektiv (Index  $i2$ ) mit  $m2$  Kriterien und  $K \cdot m2$  Kriteriengewichten  $g_{ki2}$  sind mit

$$\bar{g}_{i1} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K g_{ki1} \quad \text{und} \quad \bar{g}_{i2} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K g_{ki2}$$

in (11) bei unverändertem  $H$  in  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  alle Werte  $g_{i1}$  bzw.  $g_{i2}$  durch  $\bar{g}_{i1}$  bzw.  $\bar{g}_{i2}$  zu ersetzen, ebenso in (12), wo zusätzlich  $w_{i1}$  durch  $\bar{w}_{i1}$  und  $w_{i2}$  durch  $\bar{w}_{i2}$  auszutauschen ist.

- Formel (13) für  $Q_{\min}$  ist schließlich mit unverändertem  $H$  durch folgende zu ersetzen:

$$\bar{Q}_{\min} = K \cdot \left( \sum_{i1} \Delta z_{i1} \cdot \bar{g}_{i1} \right)^2 / H + \sum_{k=1}^K \sum_{i2} g_{ki2}^2 + K \cdot \left( \sum_{i2} \bar{g}_{i2} \right) \cdot \left[ \left( \sum_{i2} \bar{g}_{i2} \right) \cdot \left( \sum_{i1} \Delta z_{i1}^2 \right) + 2 \cdot \left( \sum_{i1} \Delta z_{i1} \cdot \bar{g}_{i1} \right) \cdot \left( \sum_{i1} \Delta z_{i1} \right) \right] / (m1 \cdot H)$$

In Unterabschnitt 4.2 ist überall  $\bar{W}_a$  bzw.  $\bar{W}_b$  für  $W_a$  bzw.  $W_b$  einzusetzen, ferner für  $g_a$  bzw.  $g_b$  die Größen

$$\bar{g}_a = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K g_{ka} \quad \text{bzw.} \quad \bar{g}_b = \frac{1}{K} \cdot \sum_{k=1}^K g_{kb}$$

und für  $Q_{\max}$  die Größe

$$\bar{Q}_{\max} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m g_{ki}^2 + K \cdot \Delta Q_{\max}$$

## 6. Beispiel für das Stabilitätsmaß einer Einzelbewertung

Das folgende Beispiel ist jener bereits zitierten Hamburger Untersuchung entnommen, die auch die Anregung zur Entwicklung des Stabilitätsmaßes lieferte. Die Aufgabenstellung bestand darin, eine Entscheidungshilfe dafür zu liefern, ob ein bestimmtes Teilstück der geplanten Bundesautobahn A26 im Grenzbereich zwischen Hamburg und Niedersachsen unterlassen (Alternative A<sub>1</sub>) oder gebaut (Alternative A<sub>2</sub>) werden soll. Das Zielsystem war hierarchisiert und in der obersten Ebene unter anderem in die drei Kriteriengruppen

- A: Aspekte der Benutzer
- B: Aspekte der Anrainer
- C: Aspekte der Allgemeinheit

gegliedert<sup>1)</sup>. Das Zielsystem, das in der untersten Ebene 20 Kriterien enthält, ist mit den zugehörigen Zielerreichungsgraden<sup>2)</sup>  $z_{i1}$  und  $z_{i2}$  und  $\Delta z_i = z_{i1} - z_{i2}$  in folgender Tabelle 1 dargestellt. Die Zielerreichungsgrade sind dabei in einer Skala von 0 bis 100 Nutzenpunkten definiert, wobei 0 den Schlechtestwert und 100 den Bestwert markiert.

Ebenfalls enthalten sind in Tabelle 1 die von einem der 12 Bewerter in einer Gewichtungsrunde vergebenen Kriteriengewichte in der untersten Zielebene, die gleichfalls Werte von 0 bis  $C = 100$  annehmen können. Mit diesen Werten stellt sich gemäß (1) für Alternative 1 ein Nutzwert von  $N_1 = 48,68$  Nutzenpunkten und für Alternative 2 ein Nutzwert von  $N_2 = 64,72$  Nutzenpunkten ein, so daß für diese Bewertung Alternative A<sub>2</sub> höherwertig eingeschätzt wird.

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt das Teilergebnis von Unterabschnitt 4.1, nämlich die Kippgewichte  $w_i$ , in Gegenüberstellung zu den ursprünglich vergebenen Kriteriengewichten  $g_i$ , wobei zusätzlich die Zwischensummen der drei Kriteriengruppen A, B und C ausgewiesen sind.

Man ersieht aus Tabelle 2, daß die Kippgewichte der Kriterien A 2.2, B 5, C 1, C 5 und C 10 Null sind. Sie waren ursprünglich negativ und wurden – wie beschrieben – zu Null gesetzt. Nach dem ersten Schritt des in Unterabschnitt 4.1 beschriebenen iterativen Optimierungsalgorithmus, der in diesem Beispiel insgesamt drei Schritte aufwies, waren nur die Kippgewichte der Kriterien C 1 und C 10 negativ, nach dem zweiten Schritt kamen die Kippgewichte der Kriterien A 2.2, B 5 und C 5 hinzu. Nach dem dritten Schritt wurde kein weiteres Kippgewicht mehr negativ. Nach Ermittlung der Kippgewichte läßt sich  $Q_{\min}$  entweder über (3) oder aber über (13) ausrechnen<sup>3)</sup>. Es hat den Wert:

1) Im Zuge der Sensitivitätsanalyse wurden nicht nur die Kriteriengewichte, sondern es wurde auch die Struktur des Zielsystems variiert.

2) Ihre Ermittlung hat einen Großteil der Arbeiten im Rahmen der genannten Untersuchung ausgeglichen. Sie ist jedoch nicht Gegenstand dieses Beitrages.

3) Die Kippgewichte selbst sind nur ein Nebenprodukt der Berechnung. Gleichwohl vermitteln sie aber einen Eindruck von den für ein Umkippen erforderlichen Bewertungsverschiebungen, die als quantitativer Niederschlag des heute im gesellschaftlichen Raum oft als „Wertewandel“ bezeichneten Vorganges aufgefaßt werden können.

Tabelle 1:

Kriterium i	Zielerreichungsgrade		$\Delta z_i$	$g_i$
	$z_{i1} (A_1)$	$z_{i2} (A_2)$		
A 1 Kfz-Betriebskosten	85,9	94,4	- 8,5	5
A 2.1 Reisezeiten (Personenverkehr werktags)	70,9	86,9	-16,0	8
A 2.2 Reisezeiten (Personenverkehr sonntags)	69,3	86,2	-16,9	4
A 2.3 Reisezeiten (Güterverkehr)	81,5	91,0	- 9,5	8
A 3 Unfälle	0,0	37,0	-37,0	25
<hr/>				
B 1 Lärmeinwirkung auf Anrainer und Schüler	50,6	57,7	- 7,1	9
B 2 Schadgasimmissionen in bebauten Gebieten	64,2	84,9	-20,7	9
B 3 Sichtwirkung auf Wohnbevölkerung	54,0	45,9	+ 8,1	6
B 4 Trennwirkung durch die bauliche Anlage	100,0	79,9	+20,1	3
B 5 Trennwirkung durch den Verkehrsfluß	38,5	54,8	-16,3	3
<hr/>				
C 1 Erreichbarkeit von Naherholungsgebieten	29,0	72,6	-43,6	4
C 2 Lärmeinwirkung auf Erholungssuchende	67,9	62,2	+ 5,7	2
C 3 Sichtwirkung auf Erholungssuchende	55,4	46,5	+ 8,9	1
C 4 Energieverbrauch	84,3	91,6	- 7,3	2
C 5 Schadgasemissionen	80,3	91,9	-11,6	2
C 6 Emissionen fester und flüssiger Schadstoffe	50,0	41,6	+ 8,4	2
C 7 Flächenbedarf	52,6	42,9	+ 9,7	1
C 8 Anteil des ÖPNV am Gesamtpersonennahverkehr	55,1	53,1	+ 2,0	2
C 9 Veränderung des Potentials an Beschäftigten und Einwohnern	72,5	54,0	+18,5	2
C 10 Verträglichkeit mit der Achsenkonzeption	62,6	87,9	-25,3	2
				100

Tabelle 2:

HAMBURG BAB A26: GEMICHTUNGSRUNDE VOM 25. SEPTEMBER 1980  
 ZIELSYSTEM BENUTZER(A) - ANRAINER(B) - ALLGEMEINHEIT(C)

KIPPGEWICHTE: BEWERTER B 09

K R I T E R I U M	G E W I C H T	I	K I P P G E W .
<hr/>			
A 1 Kfz-Betriebskosten	5.00	I	3.43
A 2.1 Reisezeiten Pers. Werktag	8.00	I	3.62
A 2.2 Reisezeiten Pers. Sonntag	4.00	I	.00
A 2.3 Reisezeiten Güterverkehr	8.00	I	6.05
A 3 Unfälle	25.00	I	12.74
<b>SUMME A</b>	<b>50.00</b>	<b>I</b>	<b>25.84</b>
<hr/>			
B 1 Lärm auf Anrain./Schule	9.00	I	7.95
B 2 Schadgasimmissionen	9.00	I	2.85
B 3 Sicht auf Wohnbevölk.	6.00	I	10.66
B 4 Trennwirkung Anlage	3.00	I	12.16
B 5 Trennwirkung Verkehrsfl.	3.00	I	.00
<b>SUMME B</b>	<b>30.00</b>	<b>I</b>	<b>33.62</b>
<hr/>			
C 1 Erreichbarkeit Naherhol.	4.00	I	.00
C 2 Lärm auf Erholungssuch.	2.00	I	5.76
C 3 Sicht auf Erholungssuch.	1.00	I	5.96
C 4 Energieverbrauch	2.00	I	.88
C 5 Schadgasemissionen	2.00	I	.00
C 6 Emissionen fest+flüssig	2.00	I	6.77
C 7 Flächenbedarf	1.00	I	6.26
C 8 ÖPNV-Anteil	2.00	I	4.37
C 9 Potential Besch./Einw.	2.00	I	10.56
C 10 Achsenkonzeption	2.00	I	.00
<b>SUMME C</b>	<b>20.00</b>	<b>I</b>	<b>40.54</b>

$$Q_{\min} = 538,1$$

Für  $Q_{\max}$  stellt sich ein Wert von

$$Q_{\max} = 9.799,7$$

ein, der sich für  $a=C 1$  und  $b=C 8$  mit

$$g_a = 4,00 \text{ und } g_b = 2,00 \text{ sowie}$$

mit  $W_a = 4,39$  und  $W_b = 95,61$  gemäß (15)

mit (16) aus (17) ergibt. Die Kriterien C 1 und C 8 sind also hier jene beiden Kriterien, die mit von Null abweichenden neuen Kriteriengewichten zu versehen sind, damit man  $Q_{\max}$  erhält.

Damit kann man als Endergebnis SM aus (7) zu

$$SM = \sqrt{538,1 / 9.799,7} = 0,23$$

berechnet werden.

## 7. Folgerungen und Ausblick

Da das Stabilitätsmaß für die zitierte und im Beispiel skizzierte Aufgabenstellung neu entwickelt wurde, können noch keine verallgemeinerten Erfahrungen vorliegen. So mutet etwa das im Beispiel ermittelte Stabilitätsmaß mit  $SM=0,23$  bei Einordnung in den Definitionsbereich  $[0 ; 1]$  relativ gering an, d. h., die vorgenommene Bewertung erschien dort nicht sehr stabil. Allerdings darf – unter Einbeziehung aller Einzelbewertungen aus der genannten Untersuchung – vermutet werden, daß Problemstellungen etwa mit  $SM \geq 0,5$  wegen ihrer dann bereits stark reduzierten Konfliktrichtigkeit überhaupt nicht mehr Gegenstand derartiger Untersuchungen sind, sondern sofort entschieden werden. Das Stabilitätsmaß ist also auch Ausdruck für die Konfliktrichtigkeit der Problemstellung: Ein niedriges Stabilitätsmaß signalisiert hohe Konfliktrichtigkeit, ein hohes niedrige.

Der Nutzenvorsprung ( $\Delta N = N_1 - N_2$ ) einer Alternative  $A_1$  gegenüber einer Alternative  $A_2$  selbst ist für die Beurteilung der Rangstabilität ungeeignet. Beispielsweise könnte bei allen Kriterien der Zielerreichungsgradvorsprung und damit auch der Nutzenvorsprung nur 1 % für eine und dieselbe Alternative betragen; dennoch wäre diese Konstellation völlig konfliktlos. (Es würde sich dabei übrigens ein Stabilitätsmaß von  $SM=1$  ergeben.)

Im Zuge weiterer konkreter Anwendungen sollte geprüft werden, ob Transformationen von SM, welche die Bereichsgrenzen 0 und 1 beibehalten, vielleicht zu besser interpretierbaren Relevanzabgrenzungen führen. Würde man etwa aus dem Beispielswert von  $SM=0,23$  noch einmal die Wurzel ziehen (was einer solchen Transformation entspricht), so erhielte man einen Wert von 0,48, der etwa in der Mitte zwischen 0 und 1 liegt. Eine derartige Transformation müßte natürlich begründet sein, damit nicht die Gefahr einer Manipulation entsteht.

Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, ist die Ermittlung der Kippgewichte selbst nicht der eigentliche Zweck, sie ist nur Mittel zum Zweck. Ihre Angabe könnte gleich-

sam als Einladung zur Manipulation aufgefaßt werden, da die Kippgewichte ja angeben, wie (minimal verändert) hätte gewichtet werden müssen, um eine Umkehr des Reihungsergebnisses zu erzielen. Diese mißbräuchliche Verwendung ist zwar nicht ausgeschlossen, aber jeder, der dies beabsichtigt, deklariert sich zugleich. Der Vorgang ist jedermann offenkundig und nachvollziehbar. Die Angabe von Kippgewichten hat jedoch den Vorteil, daß sie sehr übersichtlich und anschaulich zeigen, welcher minimale „Wertewandel“ zu einem Umkippen der ursprünglichen Reihenfolge führen würde. Sie tragen so wesentlich dazu bei, das Systemverständnis zu verbessern.

Zugleich mit der Präsentation und konkreten Angabe der Ermittlung des Stabilitätsmaßes in diesem Beitrag wird die Einladung ausgesprochen, sich des Verfahrens zu bedienen. Daran knüpft sich die Hoffnung, Erfahrungen aus unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zu sammeln und anschließend einen kritischen Erfahrungsaustausch durchzuführen.

## Summary

As is known, action alternatives can be brought into a rank order by means of the utility value analysis. In most utility value analyses, however, one is not only interested in the rank order itself but also in its stability. For this purpose usually a sensitivity analysis is carried out, which, as a rule, is based on variation of criteria weights. Basically, there is possible an infinity of weight variations many of which being redundant numerical ballast. This fact initiated the development of a new check quantity called measure of stability. It is defined within a numerical scope between 0 and 1. 0 shall represent absolute instability (i. e., the least change of any weight causes a change of the rank order) and 1 shall represent absolute stability (i. e., a change of the rank order is impossible regardless of any change of the weights). Postulating this interpretation facilities the measure of stability can be defined as a quotient of minimum and maximum standard deviation of criteria weights. Thus, the problem is solved by quadratic programming for which a concrete procedure is revealed. Applicability is proved by an example. Furthermore, it is shown that the measurement of stability also can be interpreted as an indicator of propensity for conflict potential.

## Résumé

Il est connu qu'on peut classer des alternatives d'actions par ordre de préférence à l'aide d'une analyse multi-critères. Dans la plupart des analyses multi-critères, on ne s'intéresse pas seulement pour cet ordre de préférence, mais également pour sa stabilité. A cet effet, on procède normalement à une analyse de sensibilité qui se base en général sur les variations du poids des critères. Un nombre infini de variations de poids est en principe possible; une grande partie en sont des chiffres inutiles. Ce fait a entraîné le développement d'une nouvelle variable à tester qui est définie comme mesure de stabilité. Elle est définie dans une zone de valeurs entre 0 et 1, 0 étant l'instabilité absolue (effondrement des résultats des séries pour chaque modification minimale des poids des critères) et 1 étant la stabilité absolue (un effondrement des résultats des séries pour toute modification des poids des critères étant impossible). Avec ces données d'interprétation, on peut définir la mesure de stabilité comme le quotient d'un écart-type minimal et maximal de poids des critères. Le problème est résolu à l'aide d'un carré du calcul de planification pour lequel est indiqué un procédé concret. L'applicabilité est démontrée sur un exemple. Il est en outre démontré que la mesure de stabilité peut être également interprétée comme un indice pour la matière à conflit que peut être ce problème.

## Die Standortveränderungen in der Eisen- und Stahlindustrie und ihre Auswirkungen auf die Seetransportmärkte

VON GÖSTA B. IHDE UND UWE BARWIG, MANNHEIM

### 1. Die Veränderung der Standortstruktur der Eisen- und Stahlindustrie

Als mengen- und entfernungsmaßiges Äquivalent des Welthandels reflektieren die internationalen Transportprozesse den Grad der weltwirtschaftlichen Arbeitsteilung und Spezialisierung sowie die räumliche Verteilung der Produktions- und Weiterverarbeitungsprozesse.

Eisenerz ist für die Eisen- und Stahlindustrie, die als die Schlüsselindustrie der weltwirtschaftlichen Entwicklung gilt, der wichtigste Rohstoffeinsatzfaktor und für die Schifffahrt das bedeutendste Bulkgut.

Im Durchschnitt der Jahre von 1950 bis 1974 nahm der Eisenerztransport jährlich um 11 v. H. zu. In den letzten 20 Jahren, von 1960 bis 1979, verdreifachte sich das Ladungsaufkommen von 101 Millionen Tonnen auf 327 Millionen Tonnen, die Transportleistung stieg im gleichen Zeitraum um über das Sechsfache, nämlich von 264 Milliarden Tonnenmeilen auf 1 599 Milliarden Tonnenmeilen. Untersucht man die für diese Entwicklung relevanten Produktionszuwächse und ihre regionale Verteilung für die letzten Jahre genauer, so ergibt sich folgendes Bild<sup>1)</sup>:

Tabelle 1: Regionale Verteilung der Weltrohstahlerzeugung 1974 und 1979

	1974		1979	
	in Mio t	in v. H.	in Mio t	in v. H.
OECD = Industrieländer	457,7	64,2	432,2	57,9
Soz. Planwirtschaften	220,7	31,0	251,7	33,7
Entwicklungsländer	34,4	4,8	62,2	8,8
Welt	712,8	100,0	746,1	100,0

*Anschrift der Verfasser:*

Prof. Dr. Gösta B. Ihde  
Dr. Uwe Barwig  
Universität Mannheim  
Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre  
und Logistik, insbesondere Verkehrsbetriebslehre  
L 5,5  
6800 Mannheim 1

1) Statistische Jahrbücher der Eisen- und Stahlindustrie.

Insbesondere die Stahlerzeugung in den traditionellen Erzeugungsländern, nämlich in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft, in den Vereinigten Staaten und in Japan blieb um fast 35 Millionen Tonnen unter dem im Jahre 1974 erreichten Spitzenniveau. Dagegen erhöhten die Entwicklungsländer ihr Produktionsvolumen von 34,4 Millionen Tonnen auf fast 62,2 Millionen Tonnen, was einer Steigerung auf 181 v. H. entspricht.

Die für die Seeschifffahrt wesentliche Frage lautet zunächst: Handelt es sich bei der skizzierten Entwicklung lediglich um eine zyklische Schwankung, um eine Wachstumsschwäche oder um eine nachhaltige Veränderung der internationalen Arbeitsteilung mit veränderten Standorten der Eisen- und Stahlindustrie derart, daß daraus strategische Veränderungen der betroffenen Verkehrsströme resultieren. Ist letzteres der Fall, dann sind neben der Schiffbauindustrie und ihren Zulieferern sowie den Hinterlandverkehren vor allem die Reedereien und die Seehäfen betroffen, da die Höhe des zu erwartenden Transportaufkommens und seine Verteilung auf die Relationen deren langfristige Beschäftigungsmöglichkeiten entscheidend bestimmen.

Es wird hier die These vertreten, daß die den Bedarf an Schiffsraum in der Vergangenheit bestimmenden Gesetzmäßigkeiten in der Zukunft nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt gelten werden, da die Standortstruktur der Stahlproduktion einem grundlegenden Wandel unterworfen ist. Die damit verbundenen politischen, technologischen, ökonomischen und ökologischen Daten sollen im folgenden kurz angesprochen werden.

Mit den *politischen* Rahmenbedingungen sind die Forderungen der Entwicklungsländer nach einer Neuordnung der Weltwirtschaft angesprochen. In der „Deklaration von Lima“ konkretisieren die Entwicklungsländer ihre Forderungen nach einer Umverteilung der Weltindustrieerzeugung. Danach soll bis zum Jahre 2000 ein Anteil von 25 v. H. an der Weltindustrieerzeugung erreicht werden (1970: 6 v. H.). Aufgrund der Basisfunktion, die dem Bereich Eisen und Stahl beigemessen wird, soll der Anteil in diesem Bereich sogar auf 30 v. H. der Weltproduktion gesteigert werden.

Alein die Tatsache, daß die Kosten der Entwicklungsländer für importierte Stahlprodukte aus den Industrieländern pro Tonne um das 15 bis 30fache über den Erlösen liegen, die sie im Export für eine Tonne Eisenerz erhalten, erklärt die Leitlinien ihrer Politik (Verschlechterung der terms of trade).

Diesen strukturverändernden Entwicklungen stehen allerdings protektionistische Maßnahmen zur Standortverteidigung in den Industrieländern gegenüber (vgl. das Trigger-Preissystem in den USA sowie Exportsubventionen und Produktionsbeihilfen in Europa).

Was die *technologischen* Veränderungen anbetrifft, so sind für die vergangenen Jahrzehnte bedeutsame Entwicklungen festzustellen. Von besonderer Bedeutung für die hier diskutierte Problematik ist die Elektrostaehlerzeugung auf der Basis von direkt reduziertem Eisenerz. Für sie wird in Zukunft mit einem überproportionalen Anstieg im Vergleich zur Rohstahl-Gesamterzeugung gerechnet.

Die Verschiebung der Erzeinsatzstruktur von Armerzen mit Fe-Gehalten von nur 30 bis 40 v. H. über Reicherze mit 50 bis 60 v. H. hin zu Agglomeraten (Sinter und Pellets) mit bis zu 70 v. H. und Eisenschwamm mit bis zu 95 v. H. Fe-Gehalt führt zu erheblichen Auswirkungen auf Transportvolumen und Transportkosten, je nach dem, wo die Aufbereitungsprozesse stattfinden: am Fundort, Verhüttungsort oder an anderen Plätzen.

Als Standorte für Direktreduktionsanlagen sind diejenigen Länder besonders geeignet, in denen sowohl Energie (insbesondere Erdgas) als auch Eisenerze vorkommen oder die zumindest mit einem der beiden Produktionsfaktoren reichlich ausgestattet sind.

Es ist durchaus denkbar und wird erwogen, Erz aus Brasilien in Saudi-Arabien mit den heute noch abgefackelten Gasmengen in Eisenschwamm umzuwandeln und dann nach Japan weiterzutransportieren, ebenso wie der Bau eines Großstahlwerks in Westaustralien auf der Basis von großen Naturgasvorkommen und riesigen Eisenerzlagern, von wo aus Rohstahl beziehungsweise Halbzeug zu weltweitem Export gelangt. Diese Vorgehensweise ist ein Musterbeispiel für den von *Predöhl*<sup>2)</sup> behandelten Ersatz von Transport durch Produktionsleistungen. Auch die Reduzierung des Einsatzes von Gewichtsverlustmaterialien könnte hier zitiert werden<sup>3)</sup>.

Die durch Entwicklungen dieser Art ausgelösten Strukturveränderungen der Erztransportströme lassen sich zwar in ihrem Umfang noch nicht exakt quantifizieren, grundlegende Tendenzen sind jedoch erkennbar. Der Fächer der direkten Quell-Ziel-Verkehre der Roh-erze beziehungsweise Agglomerate von den Rohstoffundorten zu den verschiedenen Destinationen wird ersetzt durch gebrochene Verkehre (entsprechend dem Übergang von transferring zu transforming) von den Gruben beziehungsweise Aufbereitungsanlagen zu den Standorten von Direktreduktionsanlagen, von wo aus nach der Bearbeitung zu Eisenschwammprodukten eine Verteilung auf die Endabnehmer erfolgt. Das zuletzt geschilderte Beispiel geht noch eine Stufe weiter, da in diesem Falle sogar der Weitertransport des Eisenschwammes durch den Export von Halbprodukten substituiert wird.

Was die *ökologischen* Faktoren anbelangt, so werden die dichtbevölkerten Industriezentren in bezug auf die stark umweltbelastenden Grundstoffindustrien zunehmend sensibler.

Die Kostenbelastung für Umweltschutzmaßnahmen werden sich für die Stahlindustrie der Industrieländer deshalb besonders nachteilig auswirken, weil die Umweltproblematik in den meisten Entwicklungsländern nicht oder noch nicht zum Tragen kommt und somit deren Wettbewerbsfähigkeit für die Errichtung von umweltbelastenden Industrien verbessert.

Als ein Land, das den Produktionsfaktor Umwelt noch als relativ freies Gut zur Verfügung stellen kann, gilt zum Beispiel Brasilien. Mitglieder der brasilianischen Regierung forderten in diesem Zusammenhang die Welt auf: "Send us your pollution". Inzwischen sind zum Beispiel die Japaner dieser Aufforderung nachgekommen und investieren in die brasilianische Eisen- und Stahlindustrie (vgl. den Export von public bads<sup>4)</sup>).

Bei den Überlegungen zu den *ökonomischen* Randbedingungen sollen nur zwei Entwicklungen kurz angesprochen werden: Die sinkenden Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Stahl in den Industrieländern sowie die Frachtkostensteigerung seit Beginn des Jahres 1973.

2) *Predöhl, A.*, Außenwirtschaft, 2. Aufl., Göttingen 1971, insbesondere S. 28 ff.

3) *Weber, A.*, Über den Standort der Industrien, Tübingen 1922.

4) *Siebert, H.*, Environmental Protection and International Specialization, in: Weltwirtschaftliches Archiv, Band 110 (1974), S. 494–508.

Der nachlassenden Stahlnachfrage in den traditionellen Stahlerzeugungsländern aufgrund von Marktsättigungstendenzen steht ein erhöhter Verbrauch in einer Reihe von Entwicklungsländern gegenüber, die den Punkt des 'Economic Take-Off' bereits überschritten haben oder kurz davor stehen, und die somit auch vom Potential der heimischen Märkte her für den Aufbau eigener Kapazitäten geeignet sind.

Zum zweiten sind die Auswirkungen der Energieverteuerung auf die Transportkosten anzusprechen. Der scharfe Anstieg der Preise für Bunkeröl (von 1973 bis 1979 sind die Bunkerölpreise um das Siebenfache gestiegen) führen zu steigenden Bezugskosten der transportkostenempfindlichen Rohstoffe Erz- und Kokskohle und verschlechtern die Standortbedingungen der Stahlindustrien in den alten Industrieländern ständig.

In dem folgenden Kausaldiagramm soll versucht werden, die dargelegten Gedanken zusammenzufassen und die wesentlichen Interdependenzen deutlich zu machen.

## 2. Die Auswirkungen der Standortveränderungen auf den Seeverkehrsmarkt

Im folgenden wird versucht, die Implikationen der möglichen Strukturveränderungen auf den Seeverkehrsmarkt für Eisenerz aufzuzeigen. Dabei stehen folgende Fragen im Mittelpunkt:

- Wie verändern sich die Transportströme, das heißt, wie verändert sich die Verflechtungsmatrix der Eisenerztransporte?
- Wie ändert sich die Größe „Transportleistung“, genauer: Wie ändern sich die beiden Faktoren „Transportaufkommen“ und „Durchschnittliche Transportweite“?
- Und schließlich:
- Wie entwickelt sich die Nachfrage nach Schiffsraum?

Zur Beantwortung der beiden ersten Fragen ist zu sagen, daß die Verlagerung der ersten Verarbeitungsstufen in Richtung Erzquellen zu einer Substitution der Eisenerztransporte durch Produktion führt, so daß das Transportaufkommen bei Eisenerz nicht nur nicht weiter anwächst, sondern langfristig sogar rückläufig sein wird. Die sich abzeichnenden neuen Produktionsstandorte werden dislozierter sein und damit die vorherrschende Kernbildung auflockern. Der Anteil der sich selbst versorgenden Volkswirtschaften wird ständig zunehmen.

Das um so mehr, als die neuen Technologien der Stahlerzeugung weniger 'economies of scale' versprechen, also ein geringerer Zwang zur Größe besteht<sup>5)</sup>.

Die bisherige Konzentration auf relativ wenige, aber massierte Transportströme wird somit entsprechend aufgelockert, so daß eine größere Vielfalt von Transportbeziehungen entsteht. Die differenziertere Transportstrommatrix vor allem auf der Empfangsseite führt gleichzeitig zu abnehmenden durchschnittlichen Transportweiten.

Zur Erläuterung sei auf die Transportstrommatrix für 1979 hingewiesen (vgl. Tab. 2)<sup>6)</sup>. Danach ergab sich für das Jahr 1979 eine durchschnittliche Transportweite von 5003 sm.

5) *Molsberger, J.*, Zwang zur Größe? Köln-Opladen 1967.

6) *Fearnley & Egers Co. Ltd.*, World Bulk Trades 1979, Oslo 1980, S. 18.

Kausaldiagramm zur Standortstruktur der Stahlerzeugung

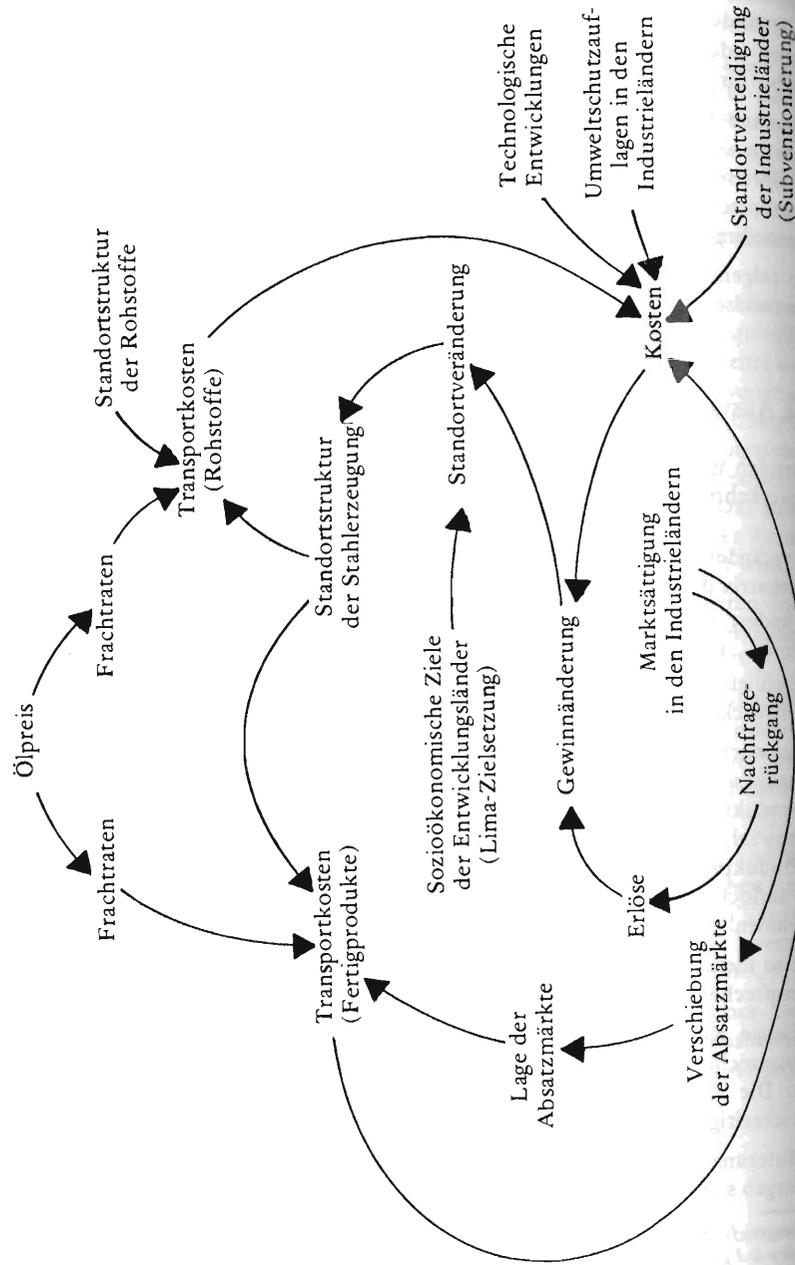


Tabelle 2: Die Haupt-Eisenerz-Seetransportströme im Jahre 1979  
(Mio t – Mrd tm – durchschnittliche Transportweite, erfaßt sind 90 v. H. des über See transportierten Eisenerzes)

von \ nach	Europa	USA	Japan	Mio t Mrd tm
Skandinavien	27 Mio t 30 Mrd tm 1 110 sm	–	–	27 Mio t 30 Mrd tm
West-Afrika	25 Mio t 91 Mrd tm 3 640 sm	2 Mio t 10 Mrd tm 500 sm	–	27 Mio t 101 Mrd tm
Süd-Ost-Afrika	9 Mio t 60 Mrd tm 6 670 sm	–	8 Mio t 63 Mrd tm 7 875 sm	17 Mio t 123 Mrd tm
Nord-Amerika	21 Mio t 71 Mrd tm 3 380 sm	11 Mio t 18 Mrd tm 1 640 sm	5 Mio t 21 Mrd tm 4 200 sm	37 Mio t 110 Mrd tm
Süd-Amerika (Atl.)	47 Mio t 230 Mrd tm 4 895 sm	8 Mio t 19 Mrd tm 2 375 sm	26 Mio t 295 Mrd tm 11 350 sm	91 Mio t 629 Mrd tm
Süd-Amerika (Paz.)	–	–	10 Mio t 85 Mrd tm 8 500 sm	10 Mio t 85 Mrd tm
Asien	2 Mio t 18 Mrd tm 9 000 sm	–	21 Mio t 93 Mrd tm 4 430 sm	23 Mio t 111 Mrd tm
Australien	12 Mio t 127 Mrd tm 10 580 sm	–	59 Mio t 235 Mrd tm 3 980 sm	71 Mio t 362 Mrd tm
Mio t Mrd tm	143 Mio t 627 Mrd tm	21 Mio t 47 Mrd tm	129 Mio t 792 Mrd tm	293 Mio t 1 466 Mrd tm

Unter Berücksichtigung der Lima-Zielsetzung der Entwicklungsländer, nach der sie bis zum Jahre 2000 einen Anteil an der Weltstahlproduktion von 30 v. H. erreichen wollen, kann folgendes Szenario angenommen werden:

- Die Transportmenge von Skandinavien nach Europa steigt leicht an, da die europäische Stahlindustrie abnehmende Erzbezüge aus den Entwicklungsländern kompensieren muß. (Transportkosten!)
- Westafrika wird sein Erz zunehmend selbst verarbeiten. Es wird angenommen, daß sich die nach Europa abgesetzten Mengen ungefähr halbieren.
- Ähnliches wird für die Erzexporte von Südafrika nach Europa und Japan angenommen.
- Die Eisenerzexporte Kanadas werden unter den getroffenen Voraussetzungen (ähnlich wie bei Skandinavien) in etwa gleich bleiben.
- Die Exportstruktur Südamerikas wird in etwa gleich bleiben, da sowohl neue Erzlagerstätten erschlossen werden als auch in den Aufbau einer eigenen Stahlindustrie investiert wird. Bereits angesprochene mögliche Sonderbewegungen wie eine Brechung brasilianischer Erztransportströme nach Japan im Nahen Osten und Umwandlung in Eisenschwamm bleiben unberücksichtigt.
- Für die Eisenerzexporte Indiens nach Europa und Japan gilt, daß sie in dem Maße abnehmen wie der Ausbau der eigenen Stahlproduktion voranschreitet.
- Australien wird weiterhin der wichtigste Versorger Japans und auch Europas bleiben, jedoch muß beachtet werden, daß aus ökonomischen, ökologischen und technischen Gründen tendenziell eine Verlagerung der Halbzeugstufe aus den Industrieländern nach Australien erfolgen wird.
- Im Ergebnis werden diese Entwicklungen zu tendenziell abnehmenden Erztransportmengen führen, da der Transport von Roherzen durch die Umwandlung zu hochverdichtetem Eisenschwamm bzw. Halbzeug substituiert wird.

Die aus diesen Annahmen resultierende Transportstrommatrix würde wie folgt aussehen (vgl. Tab. 3). In Verbindung damit würde sich eine Verringerung der durchschnittlichen Transportweite auf 4 413 sm ergeben. Der dramatische Rückgang des Verkehrsaufkommens zeigt neben der dargestellten Substitution von Transport durch Produktion den zunehmenden Selbstversorgungsgrad junger Stahlländer. Darüber hinaus erklärt sich dieser Rückgang des Seeverkehrsaufkommens aus der Substitution von long-distance-Verkehrern durch Landtransporte beziehungsweise short-haul-trades innerhalb einer Region.

### 3. Der Transportraumbedarf für Eisenerze

Etwas ausführlicher soll auf die Frage nach dem erforderlichen Schiffsraum eingegangen werden, für die neben den eben skizzierten Entwicklungen die Zusammensetzung des zu transportierenden Eisenerzes bedeutsam ist. Die Bestimmungsfaktoren sind wiederum Aufkommen und Versandweite.

Das Aufkommen steht in Verbindung mit der Weltstahlproduktion und dem Fe-Gehalt der Erze, das heißt bei konstanter Transportentfernung und gegebener Stahlproduktion ließe sich folgende direkte Abhängigkeit formulieren:

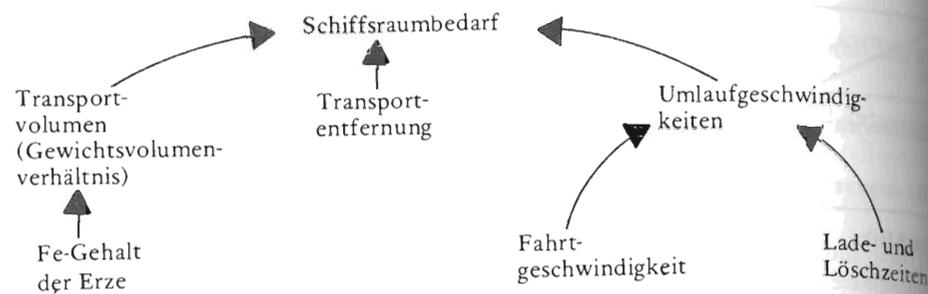
$$\text{Transportraumbedarf} = f(\text{Fe-Gehalt der Erze})$$

Tabelle 3: Mögliches Szenario der Haupt-Eisenerz-See-Transportströme im Jahr 2000 (Mio t – Mrd tm – durchschnittliche Transportweite)

von \ nach	Europa	USA	Japan	Mio t Mrd tm
Skandinavien	35 Mio t 39 Mrd tm 1 110 sm	–	–	35 Mio t 39 Mrd tm
West-Afrika	15 Mio t 55 Mrd tm 3 640 sm	–	–	15 Mio t 55 Mrd tm
Süd-Ost-Afrika	5 Mio t 33 Mrd tm 6 670 sm	–	5 Mio t 39 Mrd tm 7 875 sm	10 Mio t 72 Mrd tm
Nord-Amerika	25 Mio t 14 Mrd tm 3 380 sm	15 Mio t 25 Mrd tm 1 640 sm	10 Mio t 42 Mrd tm 4 200 sm	50 Mio t 151 Mrd tm
Süd-Amerika (Atl.)	30 Mio t 147 Mrd tm 4 895 sm	5 Mio t 12 Mrd tm 2 375 sm	15 Mio t 170 Mrd tm 11 350 sm	55 Mio t 371 Mrd tm
Süd-Amerika (Paz.)			5 Mio t 42 Mrd tm 8 500 sm	
Asien	–	–	15 Mio t 66 Mrd tm 4 430 sm	15 Mio t 66 Mrd tm
Australien	10 Mio t 106 Mrd tm 10 580 sm	–	50 Mio t 199 Mrd tm 3 980 sm	60 Mio t 309 Mrd tm
Mio t Mrd tm	120 Mio t 464 Mrd tm	20 Mio t 37 Mrd tm	100 Mio t 558 Mrd tm	240 Mio t 1 059 Mrd tm

Schließlich ist als weiterer Bestimmungsfaktor für den Schiffsraumbedarf die Umlaufgeschwindigkeit des Schiffsraumes zu nennen, die sich aus den Faktoren Fahrtgeschwindigkeit einerseits sowie Lade- und Löszeiten andererseits zusammensetzt.

Die Zusammenhänge lassen sich wie folgt verdeutlichen:



Der Fe-Gehalt der Erze stieg in Folge der Anreicherungsverfahren der Agglomerate von circa 45 v. H. Anfang der 60er Jahre auf circa 60 v. H. Ende der 70er Jahre, so daß der Transportraumbedarf relativ gesehen zurückgehen mußte, absolut gesehen allerdings zunahm, da die Steigerungen des Bedarfs an Fe-Stoff-Tonnen den geringer werdenden Anteil an Totlast (Gestein) überkompensierten. Darüber hinaus nahm die zweite Komponente des Transportraumbedarfs, die durchschnittliche Entfernung im gesamten Zeitraum, sehr stark zu, so daß beide Einflußgrößen die Nachfrage nach Schiffsaumbedarf positiv beeinflussten.

Für die Zukunft muß davon ausgegangen werden, daß diese Entwicklung für beide Faktoren zum Stillstand gekommen ist.

Die durchschnittliche Transportentfernung wird sich, wie bereits erläutert, nicht mehr erhöhen, ja sogar verringern. Der Fe-Gehalt der transportierten Erze wird ebenfalls bei ca. 60 v. H. verharren, da diese Konzentration den heute gefundenen hochwertigen Erzen entspricht und Armerze mit 35 bis 45 v. H. Fe-Gehalt durch die beschriebenen Anreicherungsverfahren (Sinterung, Pelletierung) auf diese Qualität angehoben werden. Lediglich die Direktreduktion bringt eine noch höhere Konzentration mit circa 90 v. H. Fe-Anteil, was die skizzierte Entwicklung beschleunigen könnte.

Die Nachfrage nach Schiffsaumbedarf könnte dadurch zunehmen, daß größere Mengen unbehandelter Armerze transportiert werden, so daß über einen größeren Totlastanteil eine Verschlechterung des Gewichtsvolumenverhältnisses eintritt. Dazu ist jedoch festzuhalten, daß die Rentabilitätsschwelle für die Ausbeutung von Armerzvorkommen erst in sehr wenigen Fällen erreicht ist. Zum anderen ist zwar nicht auszuschließen, daß auch Quellen dieser Art erschlossen werden, dann jedoch wird, wie das auch bei den bereits heute abgebauten Armerzen der Fall ist, eine Verdichtung zu Fe-reichen Konglomeraten vor dem Seetransport durchgeführt werden müssen. Damit sind von dieser Seite keine Impulse für einen zusätzlichen Transportraumbedarf zu erwarten.

Grundsätzlich ist bei der Frage nach dem erforderlichen Transportraum beziehungsweise der Transportkapazität eine statische und dynamische Kapazität zu unterscheiden<sup>7)</sup>.

7) Kern, W., Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung, Köln 1962.

Bei einer statischen Betrachtungsweise ist Transportraum mit dem Schiffsraum identisch, der auf dem Markt verfügbar ist (gemessen in tdw.). Eine realistische Betrachtungsweise verlangt die Berücksichtigung der Zeit derart, daß als dynamische Kapazität die Umläufe des Transportraumes pro Jahr bezeichnet werden kann.

Die dynamische Kapazität des Transportraumes ist damit abhängig von der Fahrtgeschwindigkeit der Schiffe sowie den Lade- und Löschzeiten in den Häfen.

Zur Bedeutung der Geschwindigkeit und ihrer Veränderung, z. B. zur Vermeidung des Auflegens von Tonnage, kann angeführt werden, daß der Brennstoffeinsparung durch Langsamfahrt (slow steaming) höhere Kosten für die nunmehr längere Reise gegenüberstehen. Außerdem sind zusätzliche Zinskosten für die Ladung zu beachten.

Es bleibt die Frage, wie sich die zweite Komponente der Umlaufgeschwindigkeit, die Lade- und Löschzeiten in Zukunft entwickeln werden, und ob von dieser Seite Einflüsse auf den Transportraumbedarf zu erwarten sind.

Was die Beladung anbelangt, so schlagen die großen brasilianischen Erzverladehäfen heute schon mit Stundenleistungen von 10 000 bis 15 000 t um, so daß die Beladung selbst der größten Erzfrachter von 250 000 tdw kaum länger als einen Tag dauert. Diese Techniken werden sich allgemein durchsetzen.

Die Löschzeiten in den Entladehäfen werden dahinter aber auch in Zukunft zurückbleiben, weil die Greiferentladung trotz sehr moderner Brücken nicht die Leistung bringen kann wie die Beladung über Förderbänder. So wird in Hamburg-Hansaport mit drei Brücken eine durchschnittliche Löschleistung von 3 000 t pro Stunde erzielt. Aus einem 80 000-Tonner werden am ersten Tag ca. 50 000 bis 60 000 t entladen und am zweiten Tag die restlichen 20 000 bis 30 000 t, wobei die Zeitverluste am zweiten Tag durch die notwendigen Trimmerarbeiten entstehen.

Die modernsten und leistungsfähigsten Löschrücken werden auf dem neuen Rotterdamer Erzterminal Maasvlakte errichtet, so daß auch die größten Erzschiffe in längstens zwei Tagen entladen werden können.

Weitere Zeiteinsparungen auf der Be- und Entladeseite scheinen für die Zukunft nicht absehbar, da insbesondere in Relation zur Fahrtzeit (z. B. Tubarao in Brasilien nach Rotterdam ca. 14 Tage) eine zusätzliche Beschleunigung des Umschlags kaum weitere Kosteneinsparungen zuläßt. Somit werden auch von dieser Stelle keine wesentlichen Auswirkungen auf den Transportraumbedarf ausgehen.

Insgesamt kann geschlossen werden, daß der Schiffsaumbedarf für Eisenerztransporte in den nächsten zehn Jahren nicht weiter anwachsen wird, im Gegenteil scheint eine Bedarfsreduzierung um 10 v. H. wahrscheinlich.

Diese Aussage trifft jedoch nur zu, wenn von einer unveränderten Organisation der Seeschiffahrtsmärkte für Massengüter ausgegangen werden kann. Sollten die Entwicklungsländer die Forderung nach einem bilateralen cargo sharing im Massengüterverkehr durchsetzen können, so wird der o. a. Bedarfsreduzierung ein steigender Anteil von Leerfahrten gegenüberstehen. Dadurch werden die Möglichkeiten der Ladung, sich das geeignete Schiff zu suchen (optimale Verkehrsteilung) eingeschränkt, woraus eine tendenzielle Erhöhung der Frachtraten resultiert. Das wiederum wird zu einer weiteren

Bevorzugung kürzerer Erztransportrelationen führen und damit die durchschnittliche Versandweite tendenziell weiter verringern, wie auch die Wirtschaftlichkeit der Fe-Anreicherung der Erze vor dem Transport erhöhen.

### Summary

To find a convincing answer to the question about future developments of worldwide transport flow of iron ore is of great importance not only for the ship-building industry and their suppliers but even more for shipping companies and sea ports since the level of expected transport volume and its directions determine their opportunities for employment in the long run.

The authors cannot agree with existing quantitative forecasts which expect increasing volume and tonne-miles with iron ore following extrapolation of past trends.

Laying more emphasis on qualitative factors like ambitious goals of industrialization in developing countries, implementation of new technologies in the steel industry, environmental protection efforts, increasing costs of transportation caused by rising oil prices, as well as a shift in demand following a saturation of markets in traditional steel producing countries — a different course in the future is seen as more likely.

On one side moving the primary stages of steel production closer to the raw material producing areas leads to a substitution of production for transport which in consequence will reduce transport volume and tonne-miles of iron ore in the future.

On the other side the present concentration upon relatively few but massed transport lines will become dissolved since the appearing new production sites will be more dislocated and will change the predominant agglomerations. The average distance of transport will go down, the bulk shipping requirements for transport of iron ore will no longer grow.

### Résumé

La réponse à la question quant au développement des canaux de transport du minerai de fer est à l'avenir aussi importante pour l'industrie navale et ses fournisseurs que pour les sociétés d'armement et les ports de mer. En effet la capacité de volume de transport qu'on attend et sa distribution aux relations décident de ses possibilités d'emploi à long terme.

On n'admet pas aux prévisions quantitatives existants qui partent d'après les soi-disantes extrapolations de tendance d'un volume de transport et de rendement de transport croissants.

Si on prend plus en considération les facteurs qualitatifs — comme les buts d'industrialisation des pays en voie de développement, la naissance de nouvelles technologies dans la production d'acier, la protection de la nature, l'augmentation des frais de transport causée par l'encherissement du pétrole et le déplacement de la demande en raison des tendances de satiété du marché dans les pays d'acier traditionnels — le développement suivant semble acceptable:

Le transfert des premières entreprises vers les lieux de découverte de matière première entraîne d'une part une substitution du transport par la production si bien que les facteurs "volume de transport" et "rendement de transport" diminuent à long terme.

D'autre part la concentration qui durait jusqu'alors sur les faisceaux du canal de transport relativement peu mais concentrés est moins forte si bien que les nouveaux lieux de production que se dessinent seront plus disloqués et changeront les formations des points centraux actuels.

La distance moyenne pour le transport diminuera et le besoin de l'emplacement de bateaux n'augmentera plus.

## Nutzen-Kosten-Untersuchungen für das Verkehrsleitsystem Wechselwegweisung Rhein/Main

VON HARTMUT KELLER UND HELLMUT HAMPE, MÜNCHEN

### 1. Problemstellung

Verkehrslenkungsmaßnahmen als Alternative zum Ausbau der Verkehrsanlagen zur Bewältigung der Verkehrsnachfrage in einem nur begrenzt ausbaufähigen Wegenetz und als Bestandteil der Verkehrsinfrastrukturplanung haben zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Ein wesentliches Ziel bei Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen ist die Erhaltung der Stetigkeit des Verkehrsflusses. Im Hinblick auf dieses Ziel und in Anbetracht der vergleichsweise geringen Kosten für derartige Anlagen wurden Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen kaum durchgeführt. Erst mit der Errichtung kostenintensiver Anlagen, bei denen neben den Investitionskosten noch Ausgaben für Betrieb, Unterhalt und Reinvestition anfielen, wurde die Frage nach der Wirtschaftlichkeit gestellt.

Der Nachweis der Wirtschaftlichkeit kann hierbei auf zwei Ebenen geführt werden: Der Betreiber muß sich einerseits fragen, ob durch eine derartige Maßnahme über absehbare Zeit hinweg die Verkehrsnachfrage gedeckt werden kann, oder ob es nicht wirtschaftlicher ist, bei zu erwartender steigender Nachfrage von vornherein einen Verkehrsausbau einzuplanen. Andererseits muß untersucht werden, ob Aufbau und Betrieb der Anlage auch im Hinblick auf die zu erzielenden Einsparungen beim Nutzer von gesamtwirtschaftlichem Interesse sind, wobei u. a. die Verkehrskosten (hier Zeit-, Fz-Betriebs- und Unfallkosten) zu berücksichtigen sind.

Im folgenden wird die zweite Fragestellung behandelt, und zwar für die großräumige Wechselwegweisungsanlage (WWW) im Autobahnteilnetz Rhein/Main. Dabei soll zunächst auf die Arbeitsweise der Anlage und die Besonderheiten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung eingegangen werden. Nach der Formulierung des Zielsystems wird als schwierigster Arbeitsschritt der Aufbau des Mengengerüsts behandelt und das Wertgerüst dargestellt. Die grundlegende Vorgehensweise und die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden für die Betrachtungsrichtungen ex ante und ex post wiedergegeben und interpretiert<sup>1)</sup>.

#### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr./UCB Hartmut Keller  
Dipl.-Ing. Hellmut Hampe  
Technische Universität München  
Arcisstraße 21  
8000 München 2

<sup>1)</sup> Hampe, H., Keller, H., Müller, W., Bewertung von Verkehrsleitsystemen. Nutzen-Kosten-Untersuchungen für die Wechselwegweisungsanlage Rhein/Main (= Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 348), Bonn 1981.

## 2. Wechselwegweisungsanlage Rhein/Main

### 2.1 Arbeitsweise

Die Notwendigkeit der WWW-Anlage ergab sich 1969 bei den Planungen für den Ausbau von Abschnitten der A 3 und A 5 im Autobahnteilnetz Rhein/Main. Der vorgesehene on-line-Betrieb konnte erst 1976 aufgenommen werden, so daß der geplante Ausbauzustand nur für die Baumaßnahmen auf der A 5 voll wirksam wurde. Die Arbeitsweise dieses ersten größeren Verkehrsleitsystems in der Bundesrepublik Deutschland ist mehrfach dokumentiert<sup>2), 3)</sup>.

Ziel dieser Anlage war es, zur Ausdünnung des Verkehrs auf der A 5 zwischen den Autobahnkreuzen Frankfurt Nord-West und Darmstadt – der Normalroute – den Durchgangsverkehr in beiden Fahrrichtungen auf eine Alternativroute über Wiesbadener Kreuz und Mönchhofdreieck, d. h. über Teilstrecken der A 66, A 3, A 67, zu verlagern. Bei einer Länge der Normalroute von 31,7 km ergibt sich für die Alternativroute ein sehr hoher Umwegfaktor von 1.65. Die Steuerung der dazu an den Eingangsknoten Frankfurt Nord-West und Darmstadt aufgestellten substitutiven Wechselwegweiser erfolgt von der Verkehrszentrale in der Autobahnmeisterei Rüsselsheim, wo ein Prozeßrechner aufgrund der ihm aus 114 Meßquerschnitten im Netz zugehenden Verkehrsstärkeinformationen und eines auf Zeit- und Unfallkostenminimierung ausgerichteten Steuerungsprogramms<sup>4)</sup> die jeweils günstigste Route ermittelt und wo im on-line- oder off-line-Betrieb die entsprechende Wegweisung geschaltet wird, bzw. wo durch Schaltungen von Hand der Verkehrsablauf bei zu erwartenden Überlastungen oder bei Unfällen beeinflusst werden kann.

### 2.2 Besonderheiten der WWW-Anlage hinsichtlich der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Aus der Eigenart des Betriebes der Wechselwegweisung ergeben sich Besonderheiten bei der Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, auf die zum Verständnis der gewählten Vorgehensweise hinzuweisen ist.

Die Umleitungsempfehlung spricht vornehmlich den Durchgangsverkehr an, der auf der Normalroute zwischen 20 – 28 % des Gesamtverkehrs ausmacht. Nur ein Teil dieses Verkehrs wird der Umleitungsempfehlung folgen. Die Abschätzung des Befolgungsgrades bzw. die Feststellung der oft nur geringen Anzahl von umgeleiteten Fahrzeugen ist bei dem stark fluktuierenden Verkehrsablauf an den Eingangsknoten nicht unproblematisch.

Die Auswirkungen solcher, oft sehr geringen Verkehrsverlagerungen auf das Unfallgeschehen lassen sich empirisch nur schwer nachweisen, wobei in diesem Fall kaum ein Nutzen zu erwarten sein wird, weil die Umleitungen erhöhte Fahrleistungen unter ungünstigeren Bedingungen (kurvenreichere Strecke und zweimal Einbiegen in vorfahrtsberechtigten Streckenabschnitten) erfordern.

2) Everts, K., Zackor, H., Untersuchung von Steuerungsmodellen zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern (= Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 199), Bonn 1975.

3) Knoll, E., Zackor, H., Spies, G., Die Wechselwegweisung in Hessen (= Informationen des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik), Wiesbaden 1976.

4) Everts, K., Zackor, H., Untersuchung von Steuerungsmodellen . . . , a.a.O.

Die Untersuchung kann sich nicht nur auf die umgeleiteten Fahrzeuge beschränken, sondern sie muß auf alle Fahrzeuge im betrachteten Netz ausgedehnt werden, da bei den Gegebenheiten auf Normal- und Alternativroute zu erwarten ist, daß auch der Ziel-, Quell- und Binnenverkehr aus den Umleitungen Nutzen zieht. Bei der Wahl der Verfahren für eine Effizienzanalyse muß bedacht werden, daß im Ohne-Fall – also bei Nichtvorhandensein einer WWW-Anlage – keine Investitionskosten anfallen. Verfahren, die auf der Gegenüberstellung der beiden Kosten-Nutzen-Paare im Ohne- und Mit-Fall beruhen, sind daher zur Untersuchung von WWW-Anlagen weniger geeignet.

## 3. Zielsystem und Bewertungsmethoden

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen können unter zwei Betrachtungsrichtungen erstellt werden: Mit einer ex ante Untersuchung wird unter Projizierung vorhandener Daten in die Zukunft die zu erwartende Wirtschaftlichkeit festgestellt; durch eine ex post Analyse wird mit Hilfe der im Betrieb angefallenen Daten die Anlage im Nachhinein auf ihre Effizienz überprüft. Die jeweils erforderlichen Mengengerüste werden somit aus unterschiedlichem Datenmaterial aufgebaut, wobei für Mit- bzw. Ohne-Fall unterschiedliche Annahmen getroffen werden müssen. Für die ex ante Analyse werden zudem der zu wählende Planungshorizont und die zu erstellende Verkehrsprognose bedeutungsvoll.

Zur Bewertung der WWW-Anlage Rhein/Main wurde das in Bild 1 dargestellte Zielsystem verwandt, in dem sowohl monetär als auch nicht monetär erfaßbare Wirkungskomponenten vereinigt sind. Ein Subsystem (siehe Bild 2) diente zur Erfassung der nicht monetär ausdrückbaren Fahrerbelastung. Die einzelnen Fahrerbelastungen aus diesem Spektrum konnten aus den Merkmalen der Streckencharakteristik und den fallweise auftretenden Gegebenheiten des Verkehrsablaufs mittels Zielwertfunktionen in Zielwerte umgesetzt werden, die in die weitere Untersuchung eingingen. Im Rahmen einer Voruntersuchung zeigte es sich, daß durch die Verkehrsverlagerungen die Umwelteinwir-

Bild 1: Zielsystem zur Bewertung der Wechselwegweisungsanlage Rhein/Main

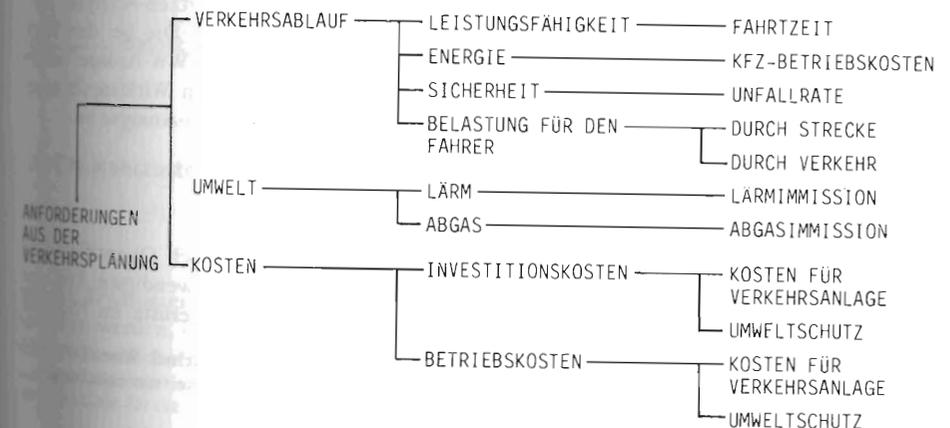
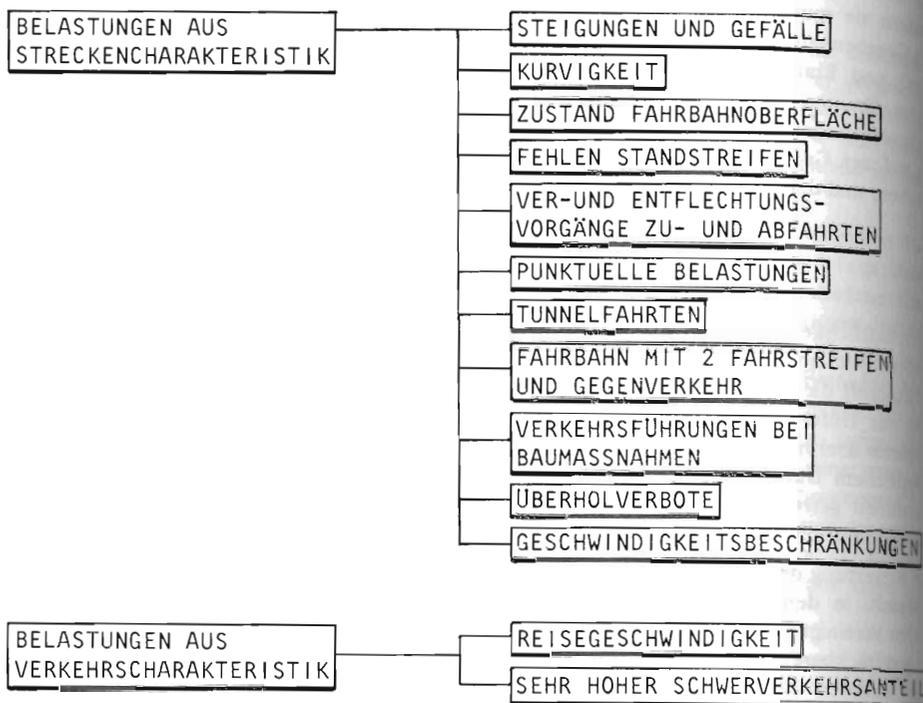


Bild 2: Subsystem psycho-physische Fahrerbelastung – Fahrkomfort



kungen nicht in einem Maß verändert wurden, daß ihre Berücksichtigung erforderlich wurde. Die eine gesonderte Analyse nach sich ziehenden Differenzwerte,  $1 \text{ mg/m}^3$  bei Schadstoffimmissionen und  $2 \text{ dB(A)}$  beim Schallpegel<sup>5)</sup> wurden an keiner Stelle durch die Umleitungen erreicht.

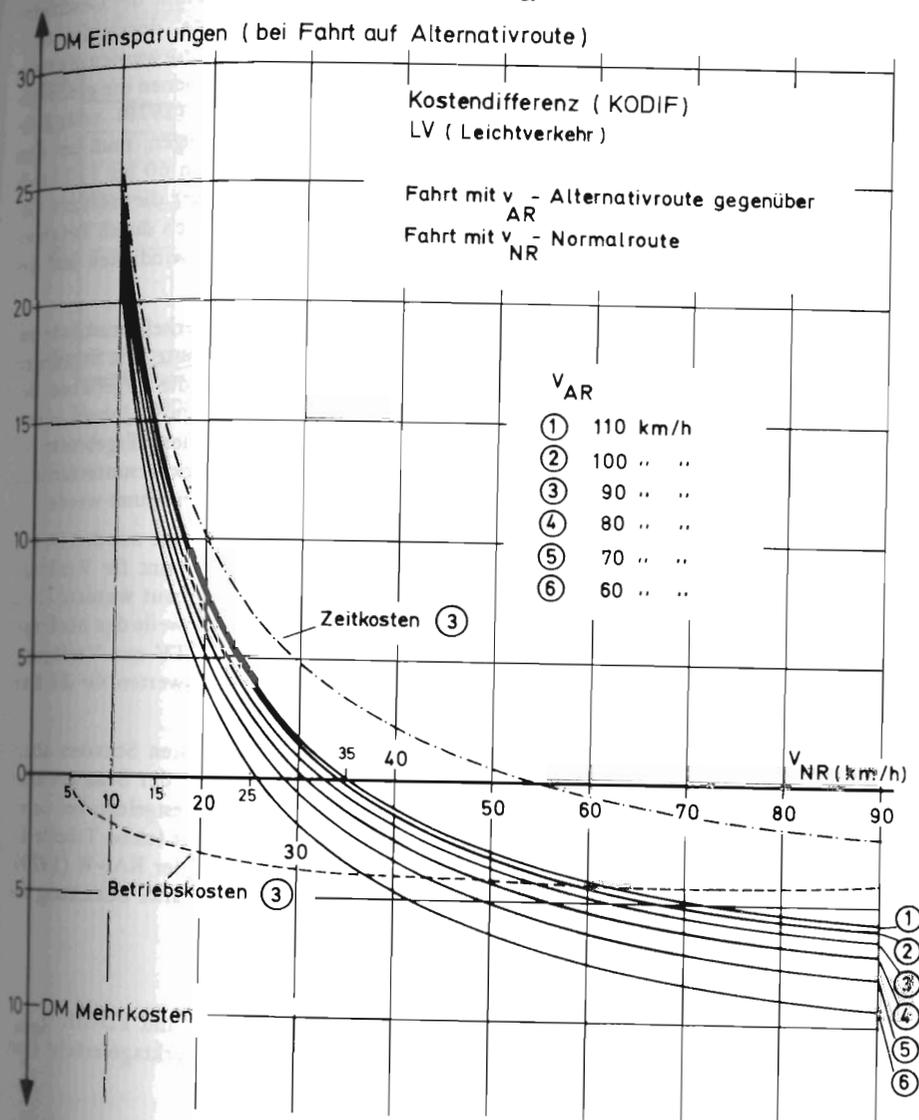
Für die ex post Untersuchung fanden vergleichend eine Kosten-Nutzen-Analyse, eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse und eine Nutzwertanalyse Anwendung. Die bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu Tage tretenden Eigenarten der WWW-Anlage ließen für die ex ante Untersuchung – die Ermittlung der nicht monetären Wirkungskomponenten hätte zu grobe Schätzungen erfordert – nur eine Kosten-Nutzen-Analyse zu.

#### 4. Mengen- und Wertgerüst

Die Erstellung des Mengengerüsts der analysierten Zielkriterien durch Quantifizierung der Wirkungen der Veränderungen im Verkehrsablauf ist der aufwendigste Teil der Nutzen-Kosten-Untersuchungen. Der Forderung, Mengen- und Wertgerüste im Hinblick

5) Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuß Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, Richtlinie für die Anlage von Straßen-Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, Entwurf, Köln 1979.

Bild 3: Kostendifferenzkurven zwischen Fahrten auf Normal- und Alternativroute im Autobahnnetz Rhein/Main (Umfwegfaktor 1.65)



auf die Transparenz der Bewertungsverfahren getrennt zu ermitteln, konnte nicht entsprechen werden, da die Ermittlung in Anlehnung an die RAS-W (1979)<sup>6)</sup> erfolgte und in dieser wesentliche Zielerträge in bereits bewerteter Form dargestellt werden.

6) Richtlinie für die Anlage von Straßen-Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, a. a. O.

4.1 Ex ante Untersuchung – Kosten-Nutzen-Analyse

Durch den hohen Umwegfaktor (1.65) stellt sich die Frage nach der Höhe der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Fahrten auf Normal- und Alternativroute, durch die wirtschaftliche Vorteile bei Nutzung der Umleitung möglich werden. Dazu wurden Kosten-differenzkurven zwischen Fahrten auf den beiden Routen erstellt, denen die geschwindigkeitsabhängigen Fahrzeugbetriebskosten-Funktionen der RAS-W (1979) und Zeitkosten-Funktionen zugrunde liegen (s. Bild 3). Wie diese Kurven zeigen, muß bei den auftretenden mittleren Geschwindigkeiten auf der Alternativroute von 60 bis 110 km/h für den Leichtverkehr (bzw. 60 bis 80 km/h für den Schwerverkehr) die mittlere Geschwindigkeit auf der Normalroute unter 30 km/h absinken, wenn sich durch Befahren der Umleitung Vorteile einstellen sollen. Eine solche mittlere Geschwindigkeit auf der 31,4 km langen Normalroute setzt längere Stauungen voraus.

Für den Aufbau des Mengengerüsts waren somit die Anzahl der Verkehrszustände im Jahr zu ermitteln, an denen bedingt durch Überlastung der Normalroute mit Stauungen gerechnet werden muß. Grundlage für diese Untersuchung waren die Ergebnisse der Straßenverkehrszählung 1975. Für den gewählten Prognosezeitraum von 10 Jahren – entsprechend der geschätzten Nutzungsdauer der Anlage – dienten diese Ergebnisse als Basis für die Verkehrsprognose, wobei unter Bezugnahme auf die Verkehrsuntersuchung Rhein-Main (VURM) mit einer jährlichen Verkehrszunahme von 1 % gerechnet wurde.

Die Ermittlung der für Nutzenvorteile relevanten Fahrzeugmengen wurde mit den Dauerlinien der Verkehrsstärken durchgeführt, die als Polygonzüge – getrennt für Werktags- und Feiertagsverkehr – für jeden einzelnen Streckenabschnitt aufgebaut wurden. Dazu standen aus den Ergebnissen der Verkehrszählung bzw. -prognose jeweils der höchstgezählte Stundenwert, die Verkehrsstärke der 30. Stunde und der DTV zur Verfügung. Die Verwendung dieser Daten unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten für die Darstellung der Modelldauerlinien zeigt Bild 4.

Für das Mengengerüst waren aus den Dauerlinien die nutzenrelevanten Stunden abzugreifen, d. h. die Anzahl der Stunden mit einer Verkehrsstärke, bei der Stau erwartet werden mußte. Hierzu wurden Grenzwerte der Verkehrsstärke  $q_{gr}$  festgelegt, bei deren Überschreiten mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Stau zu rechnen war (siehe Tabelle 1). Darin bedeuten RAS-W  $q_{max}$ : Höchstwert aus der Grenzbedingung der RAS-W (1979):  $\max(q_{LV} + 2q_{SV}) = 3\ 200\ \text{Fz/h}$  für die Geschwindigkeits-Verkehrsstärke Beziehung des Leichtverkehrs

$$v_{LV} = 114.5 - 0,5 e^{1.5 \cdot 10^{-3} (q_{LV} + 2q_{SV})} \quad [\text{km/h}].$$

wobei ein Schwerverkehrsanteil von  $SV = 12\ %$  angesetzt wurde, und FD-MK  $q_{max}$ : Maximalwert des Fundamentaldiagramms nach May, Keller<sup>7)</sup> für Werktagsverkehr (mit SV)

$$q = 110 k (1 - (k/170)^{1.8})^5$$

für Feiertagsverkehr (ohne SV)

$$q = 105 k (1 - (k/305)^{1.5})^6$$

7) May, A. D., Keller, H., Non-Integer Car Following Models (= Highway Research Record, No. 199), Washington D.C. 1968.

Bild 4: Dauerlinie der Verkehrsstärken sowie Geschwindigkeit, Fahrzeit-, Fz-Betriebs- und Unfallkosten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke für einen Streckenabschnitt

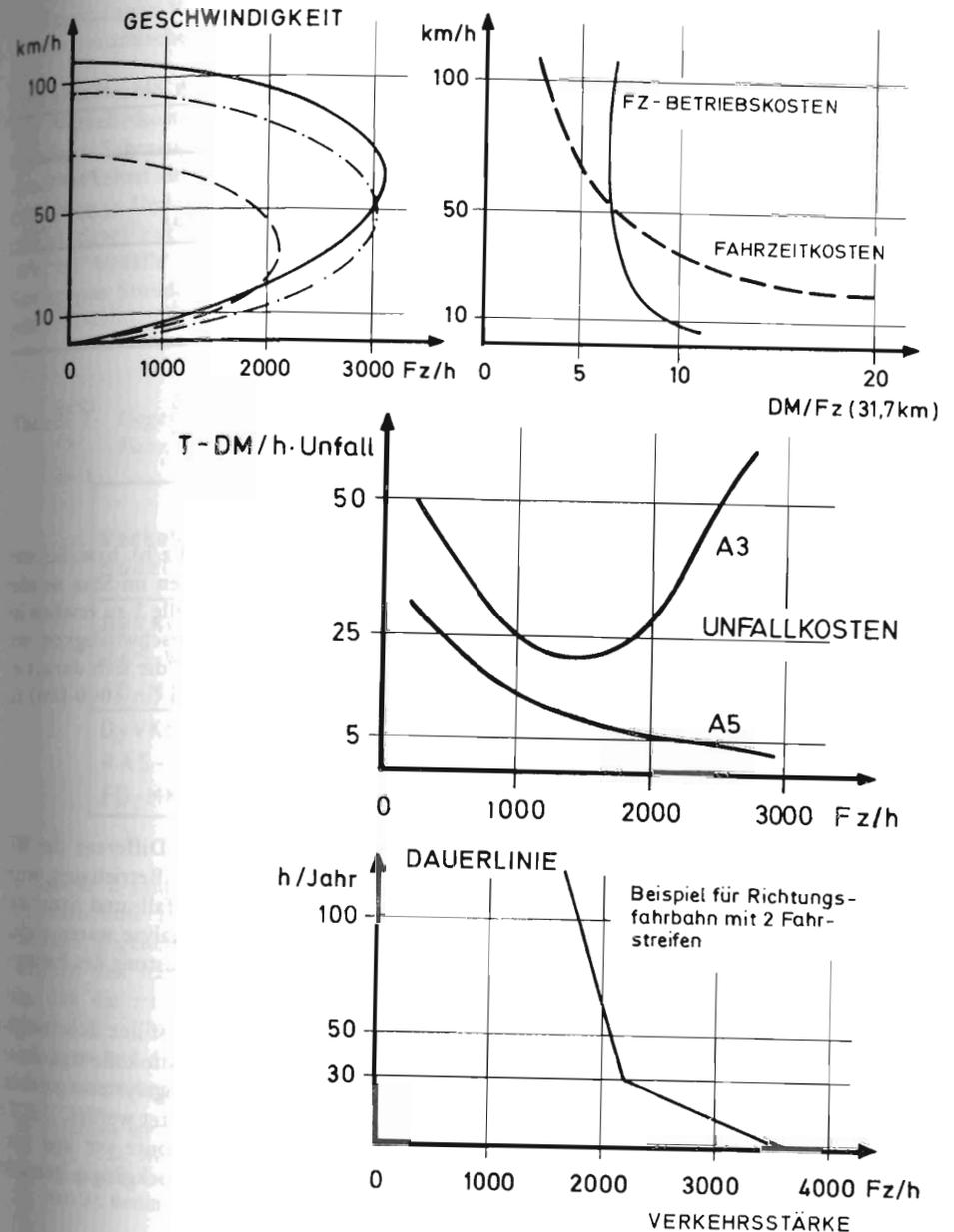


Tabelle 1: Modellannahmen für Grenzverkehrsstärke  $q_{gr}$  (Fz/h) und Staugeschwindigkeit  $V_{Stau}$  (km/h) für die Zeitkostenberechnung sowie jährliche Nutzen (in Tsd DM) aus Zeit- und Fz-Betriebskostenvorteilen für die 5 Modellansätze (A bis E)

MODELL	$v = v(q)$ nach RAS-W (79)		$v = v(q)$ nach MAY, KELLER (68)		
	A	B	C	D	E
Variante					
	RAS-W	RAS-W	FD-MK	FD-MK	FD-MK
$q_{gr}$ (Fz/h)	$q_{max}$	$q_{max}$	$q_{max}$	$q_{max}$	$0,9 \cdot q_{max}$
ZEITKOSTEN					
$v_{Stau}$ (km/h)	30	15	30	15	30
NUTZEN (1000 DM)					
im Jahr 1977	1344	3800	246	658	2255
∴ pro Jahr	76	217	14	37	123
im Jahr 1984	1874	5322	342	917	3115

mit Verkehrsdichte  $k$  (Fz/km) und Verkehrsstärken des Leicht-  $q_{LV}$  (Fz/h), bzw. Schwerverkehrs  $q_{SV}$  (Fz/h) (siehe Bild 4). Für die Berechnung der Zeitkosten im Stau wurden unterschiedliche Staugeschwindigkeiten zugrunde gelegt, wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, während für die Abschätzung der Fz-Betriebskosten stets eine Geschwindigkeit von 15 km/h nach RAS-W (1979) gewählt wurde. In Tabelle 1 sind auch die sich daraus ergebenden jährlichen Nutzen aus Zeit- und Fz-Betriebskostenvorteilen (in 1000 DM) für diese fünf alternativen Modellvarianten A bis E zusammengestellt.

#### 4.2 Ex post Untersuchung

Das Mengengerüst für die ex post Untersuchung ergibt sich aus der Differenz der Wirkungskomponenten im Mit- und Ohne-(Umleitungs-)Fall während der Betriebszeit, wozu alle den Verkehrsablauf beschreibenden Daten einschließlich der Unfall- und Staudaten herangezogen werden. Für die Kosten-Wirksamkeits- und Nutzwertanalyse waren zudem für jeden Umleitungs-Schaltfall die Wirkungen für den Komplex „Belastung des Fahrers“ zu ermitteln.

Der Verkehrsablauf im Mit-Fall – sowohl bei on-line als auch bei off-line Schaltungen bei Unfällen, Stauungen oder Bautellen – war durch die Betriebsprotokolle und durch die in 5 min.-Intervallen verfügbaren Verkehrsstärkedaten des Erfassungssystems gegeben. Die Verkehrsdaten für den Ohne-Fall mußten hieraus dadurch abgeleitet werden, daß die sich in den Verkehrsstärkedifferenzen auf Normal- und Alternativroute vor und nach einer Umleitungsschaltung zeigenden Auswirkungen rechnerisch rückgängig gemacht wurden.

Für die Beschreibung der Verkehrsabläufe im einzelnen (gefährdete Geschwindigkeiten, auftretende Stauungen) wurden drei alternative Modelle herangezogen:

- das statische Verkehrsflußmodell der RAS-W (1979)<sup>8)</sup>, siehe Bild 4;
- das statische Verkehrsflußmodell nach dem Fundamentaldiagramm nach May-Keller<sup>9)</sup>,
- das dynamische Verkehrsflußmodell nach Payne/Cremer<sup>10)</sup>.

Letzteres wurde in ein Simulationsprogramm DYVKOS (Dynamisches Verkehrsmodell mit Verkehrskosten Simulation) eingebettet, um gleichzeitig die Geschwindigkeiten einzelner Fahrführungen und daraus die Verkehrskosten aus Zeit, Fz-Betrieb und Unfallgeschehen je Umleitungsschaltung ermitteln zu können. Die Berechnung der Unfallkosten erfolgt dabei mit streckenspezifischen Unfallkostenhäufigkeiten. Dazu waren alle registrierten Unfälle je Streckenabschnitt hinsichtlich ihrer Anzahl und ihrer mittleren Kosten pro Stunde im Untersuchungszeitraum in Beziehung zur aktuellen Verkehrsstärke gebracht worden (s. Bild 4).

Tabelle 2: Gegenüberstellung der nach unterschiedlichen Modellansätzen errechneten Fahrzeiten auf Normal- und Alternativroute für zwei Schaltungsstichproben

Verkehrsfluß Modell	Ohne-Fall		Mit-Fall	
	N-Route Min.	A-Route Min.	N-Route Min.	A-Route Min.
DyVKos	24,7	29,5	24,2	29,8
RAS-W (79)	20,3	28,4	19,6	29,9
FD-MK	19,3	27,7	18,9	28,3
DyVKos	25,0	30,6	24,3	31,0
RAS-W (79)	21,5	29,5	20,3	29,9
FD-MK	19,9	29,9	19,0	30,0

In Tabelle 2 sind beispielhaft für zwei Schaltvorgänge die Fahrzeiten auf Normal- und Alternativroute im Mit- und Ohne-Fall, berechnet mit den alternativen Verkehrsflußmodellen, gegenübergestellt. Die im Gegensatz zur Alternativroute größeren Unterschiede zwischen den statischen und dynamischen Modellen auf der Normalroute weisen darauf hin, daß die zu Stauungen führenden Auswirkungen von Verkehrsabläufen mit einem dynamischen Flußmodell besser beschrieben werden können. Die entsprechenden Auswirkungen auf die Verkehrskosten zeigt Tabelle 3, in der die Ergebnisse von sechs Vergleichsstichproben zusammengefaßt und gegenübergestellt wurden.

8) Richtlinie für die Anlage von Straßen-Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, a. a. O.

9) May, A. D., Keller, H., Non-Integer Car Following Models, a. a. O.

10) Cremer, M., Der Verkehrsfluß auf Schnellstraßen (= Fachberichte Messen-Steuern-Regeln, Heft 3), Berlin-Heidelberg-New York 1979.

Tabelle 3: Vergleich der Ergebnisse der Verkehrskostenberechnungen nach den verwendeten Modellansätzen für sechs Schaltungsstichproben

Kostenarten	Ergebnisse DyVKos	Differenz DyVKos zu RAS-W (79)	Differenz DyVKos zu FD-MK
	DM/Schaltminute	DM/Schaltminute	DM/Schaltminute
Betriebskosten	731	-75	-47
Zeitkosten	460	-83	-98
Unfallkosten	276	-15	-8
Gesamtkosten	1468	-174	-154

5. Bewertung

Die Durchführung der Nutzen-Kosten-Untersuchungen von Verkehrsleitsystemen ist geprägt durch den erheblichen Aufwand bei der Erstellung des Mengengerüsts, der hier dadurch noch erheblich vergrößert wird, daß im Bewertungszeitraum die WWW-Anlage nicht in ihrem voll funktionsfähigen Zustand, sondern in ihren einzelnen Entwicklungsstufen bewertet werden mußte. Die zahlreichen Betriebsstörungen, die im Zuge des Ausbaus der A 5 (Frankfurt NW-Kreuz – Darmstädter Kreuz) durch Ausfall des Erlassungssystems ausgelöst wurden, erforderten hinsichtlich der jeweiligen Quantifizierung des Nutzens weitere Differenzierungen. Die in den einzelnen Jahren des Bewertungszeitraums sehr unterschiedlichen Beiträge für den Nutzen sind hierauf zurückzuführen.

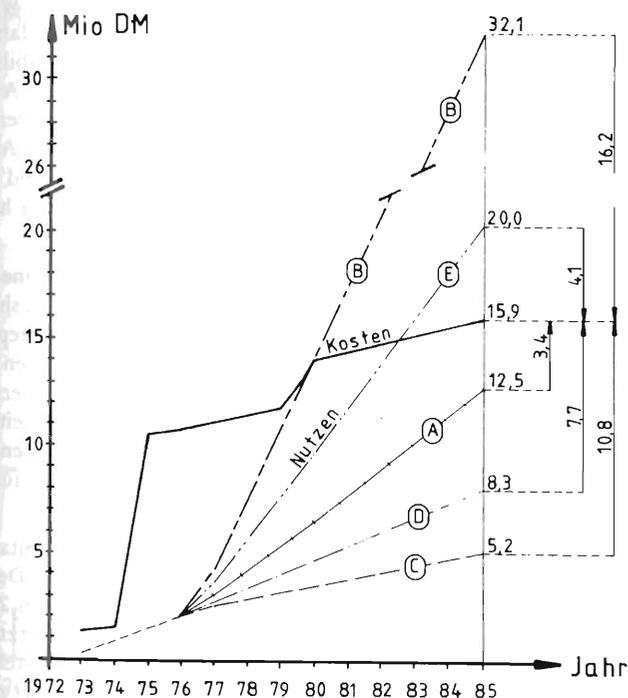
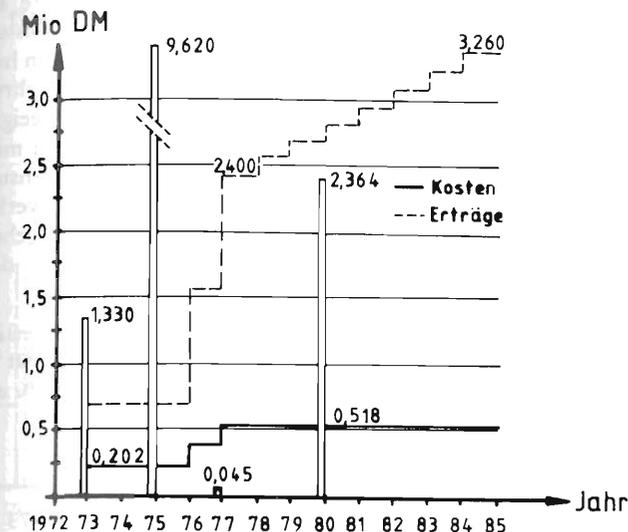
5.1 Ex ante Kosten-Nutzen-Analyse

Als Bewertungszeitraum wurde die Zeitspanne vom 1. 1. 1973 bis 31. 12. 1984 gewählt, wobei bis zum 30. 6. 1976 die Anlage in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstufen zu bewerten war und für das Jahr 1979 eine erste Ersatzinvestition für Teile kürzerer Nutzungsdauer einzuplanen war.

Die ex ante Bewertung erfolgte im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse, wobei als Investitionskriterien die Kapitalwertmethode und die Methode des internen Zinsfußes Anwendung fanden. Die nominellen Kosten der Anlage, aufgeschlüsselt nach Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten sowie nach dem Zeitpunkt ihres Entstehens zeigt Bild 5. Die entsprechenden Barwerte, bezogen auf den 31. 12. 1972, wurden mit einem Kalkulationszinssatz von 3,5 % errechnet und als Barwertsummenlinien ebenfalls in Bild 5 dargestellt. In beiden Bildern sind die mit Hilfe des Mengen- und Wertgerüsts errechneten Erträge eingetragen.

Für die Kapitalwertmethode erfolgte die Auswertung dieser Ergebnisse mit Hilfe der Barwertsummenlinien der Kosten und Erträge. Deren Schnittpunkt in Bild 5 gibt den Zeitpunkt an, von dem an die untersuchte Anlage nutzenbringend arbeitet. In den Unter-

Bild 5: Nominelle Kosten und Erträge sowie deren Barwertsummenlinien für die ex ante Kosten-Nutzen-Analyse des WWW Rhein/Main



schieden der Barwertsummenlinien der Erträge für die Varianten A bis E kommen die Auswirkungen der verschiedenartigen verkehrstechnischen Ansätze zum Ausdruck. Die Beurteilung des Ergebnisses muß berücksichtigen, daß die Variante B durch extrem niedrige Geschwindigkeitswerte im Stau, die Varianten C und D durch sehr hohe Grenzwerte für das Eintreten einer Stauung gekennzeichnet sind. Es werden hier also verkehrstechnische Fälle verallgemeinert, die nur zeitweise in extremen Verkehrssituationen auftreten und die daher für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen weniger geeignet sind. Die auf realistischeren Stauannahmen aufbauenden Varianten A und E liegen mit ihren Summen der Erträge in etwa gleichem Abstand unter- und oberhalb der Kostensumme. Da keiner dieser beiden Varianten eine besondere Präferenz hinsichtlich ihrer verkehrstechnischen Grundlagen zugewilligt werden kann, muß das obige Ergebnis dahingehend interpretiert werden, daß in etwa Rentabilität der Anlage erwartet werden kann, d. h. daß mit größeren Gewinnen oder Verlusten nicht zu rechnen ist.

Betrachtet man das Ergebnis der auf der Basis des empirisch abgesicherten Fundamentaldiagramms aufgebauten Variante E, dann ergibt sich eine Rentabilität ab dem 10. Betriebsjahr. Für diese Variante wurde ein interner Zinsfuß von 10,1 % ermittelt, der die Wirtschaftlichkeit der Anlage bestätigt.

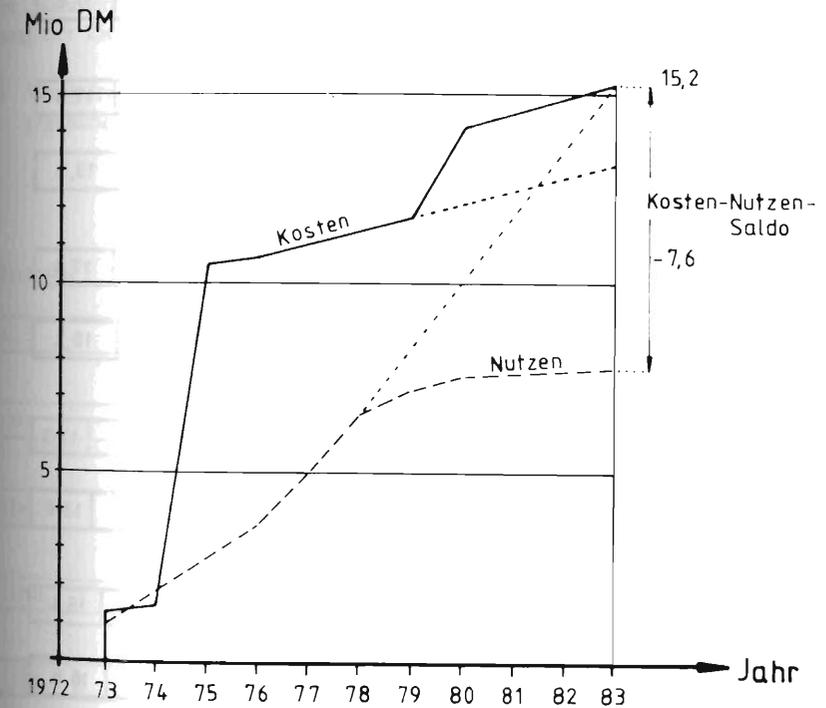
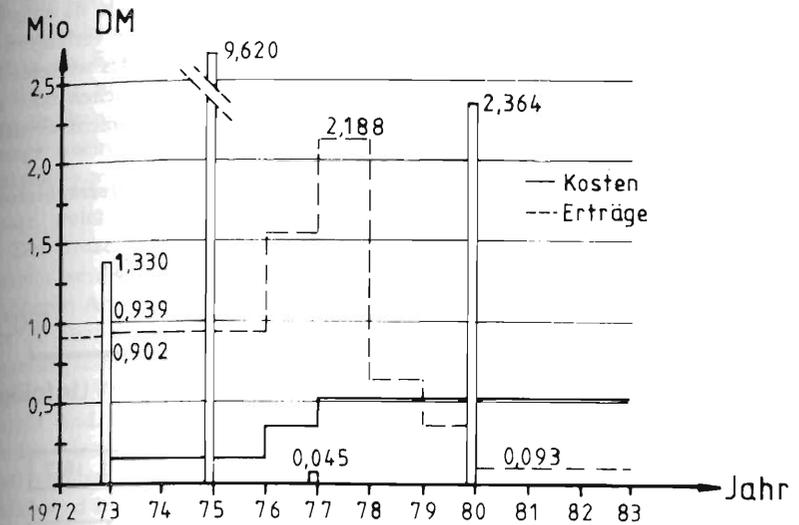
### 5.2 Ex post Nutzen-Kosten-Untersuchungen

Der Bewertungszeitraum für diese Untersuchung wurde vom 1. 1. 1973 bis 31. 12. 1983 festgelegt. Der noch in der Zukunft liegende Bewertungshorizont widerspricht einer ex post Bewertung, doch mußte dieser Zeitrahmen gewählt werden, damit die Nutzungszeit einiger größerer Anlagenteile im Interesse einer größeren Rentabilität ausgeschöpft werden konnte. Die zwischenzeitliche Fertigstellung des Ausbaus der A 5 auf acht Fahrstreifen im Jahre 1978 erleichterte diese Festlegung, da abgesehen werden konnte, daß in den folgenden Jahren bei den zu erwartenden Verkehrsstärken die Anlage nur in Sonderfällen (hauptsächlich bei Unfällen) eingesetzt werden würde und die aus solchen Schaltungen resultierenden Nutzen aus bereits bekannten Werten sich hinreichend genau ableiten ließen.

Es stand zu erwarten, daß die beiden Schaltarten on-line und off-line unterschiedliche Beiträge zur Rentabilität der Anlage leisten; dies insbesondere deshalb, weil erstere aufgrund des auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Steuerungskonzeptes und letztere aufgrund der subjektiven Beurteilung der Verkehrslage bei Unfällen, stärkerem Verkehr und bei Baustellen ausgelöst werden. Eine weitere Differenzierung war bei den on-line Schaltungen vorzunehmen, nachdem während der Betriebszeit das Steuerungsprogramm durch Minderung der Empfindlichkeit auf Veränderungen im Verkehrsablauf umgestellt worden war (on-line 1 für Schaltungen vor, on-line 2 für solche nach der Umstellung, siehe auch Bild 7 und 8).

Die Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse auf der Basis der Kapitalwertmethode ist in Bild 6 mit Nominalwerten und Barwertsummenlinien dargestellt. Der hieraus ersichtliche negative Kosten-Nutzen-Saldo ist vornehmlich in der zu kurzen Zeit begründet, in der die Anlage entsprechend ihrer eigentlichen Konzeption eingesetzt werden konnte. In den Abbildungen ist deutlich die Abnahme der Erträge mit Fertigstellung des Ausbaus der A 5 auf acht Fahrstreifen im Jahre 1978 zu erkennen. Extrapoliert man die Summen-

Bild 6: Nominelle Kosten und Erträge und deren Barwertsummenlinien für die ex post Kosten-Nutzen-Analyse der WWW Rhein/Main (Modellvariante E)



linie der Erträge in Bild 5 von 1978 an mit der bisherigen Steigung, dann schneidet diese die Summenlinie der Kosten noch im Bereich des Bewertungszeitraumes.

Der rechnerische Fehlbetrag von 7,6 Mio DM reduziert sich erheblich, da aufgrund der gemachten Erfahrungen die Nutzungszeiten von Teilen der Anlage so verlängert werden können, daß die Reinvestitionen im Jahre 1979 entfallen können. Des weiteren können andere Teile der Anlage nach dem Bewertungszeitraum einer ähnlichen oder anderen Nutzung zugeführt werden, so daß ihr Restwert in den Saldo eingebracht werden kann.

Bild 7: Anteil der Zeit-, Fz-Betriebs- und Unfallkosten an den Gesamtverkehrs-kosten bei unterschiedlichen Schaltungsarten im Mit- und Ohne-Fall

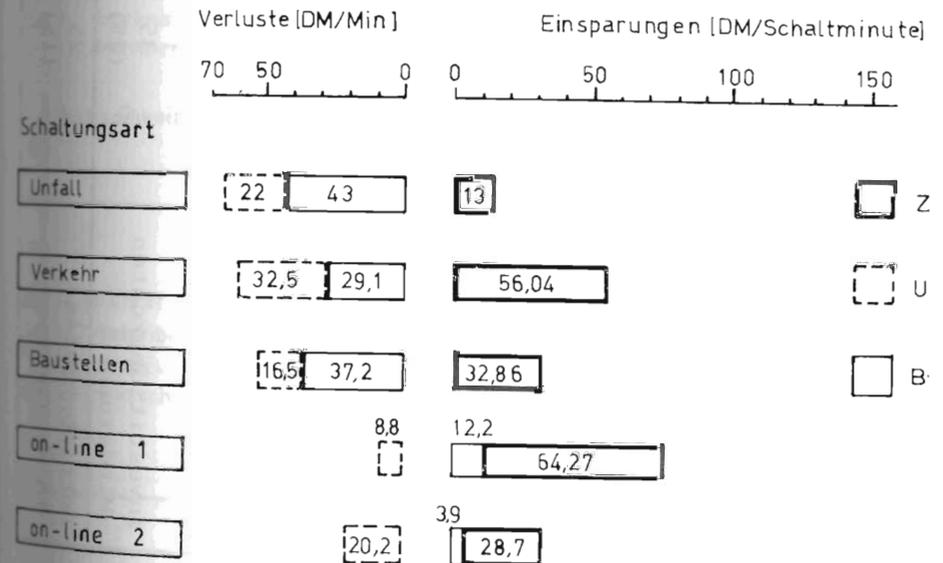
Schaltungsart		KOSTENANTEIL IN %		
		Betriebskosten	Zeitkosten	Unfallkosten
Unfall	OFall	48,6	34,7	16,7
	MFall	49,8	32,7	17,5
Verkehr	OFall	47,1	35,5	17,4
	MFall	48,9	31,5	19,5
Baustellen	OFall	49,0	33,6	17,4
	MFall	51,0	30,7	18,3
on-line 1	OFall	53,1	34,1	12,3
	MFall	54,3	32,1	13,6
on-line 2	OFall	51,5	33,1	15,4
	MFall	51,6	31,8	16,6

Der Barwert der Kosten beträgt dann 13,4 Mio DM, von dem ein Restwert von 2,1 Mio DM abgezogen werden kann, so daß der negative Kosten-Nutzen-Saldo auf 3,6 Mio DM absinkt. Für Einrichtung und Betrieb dieser ersten größeren Verkehrsbeeinflussungsanlage waren praktische Erfahrungen nicht vorhanden, so daß es gerechtfertigt erscheint, diesen Fehlbetrag als Entwicklungskosten zu deklarieren. Andererseits trägt zu diesem Fehlbetrag die nur auf etwa 1 1/2 Jahre beschränkte Nutzung der voll funktionsfähigen Anlage bei. Stellt man die barwertbezogenen Kosten und Nutzen des Jahres 1977, in dem die Anlage uneingeschränkt lief, gegenüber, dann ergibt sich ein Ertragssaldo von ca. DM 100 000,- pro Jahr.

Die Frage, welche Schaltarten negative Erträge eingebracht haben, klären die Bilder 7 und 8. Der prozentualen Aufteilung der Verkehrskosten mit Mit- und Ohne-Fall kann entnommen werden, daß im Mit-Fall, d. h. bei Umleitung, die Betriebs- und Unfallkosten einen höheren Anteil als im Ohne-Fall haben, während dagegen der Anteil der Zeitkosten geringer ist. Dies weist u. a. darauf hin, daß auch die Minimierung der Betriebskosten in das Steuerungskonzept aufzunehmen wäre. Dies wird bestätigt in Bild 8, in dem die Einsparungen und Verluste je Schaltminute für die einzelnen Verkehrskostenanteile zusammengestellt sind. Hier zeigt sich der verhältnismäßig geringe Anteil, den die Betriebskosten an den Einsparungen im Vergleich zu den Zeitkosten haben. Des weiteren ist ersichtlich, daß Verluste in erster Linie bei den off-line-Schaltungen – und zwar durchweg bei den Unfall- und Betriebskosten – entstanden sind.

Die im Rahmen der Kosten-Wirksamkeits-Analyse und Nutzwertanalyse verwendete Wichtung der Zielkriterien ist aus der Sicht von Fahrer, Betreiber und Volkswirtschaft

Bild 8: Veränderung der Zeit- (Z), Fz-Betriebs- (B) und Unfallkosten (U) im Mit- gegenüber dem Ohne-Fall bei unterschiedlichen Schaltungsarten





Die Bewertung der Anlage aus der ex ante Sicht erfolgte mit einer Kosten-Nutzen-Analyse, wobei Kapitalwertmethode und Methode des internen Zinsfußes als Investitionskriterien Verwendung fanden. Die Bewertung der Anlage im Rahmen einer ex post Untersuchung erfolgte sowohl durch eine Kosten-Nutzen-Analyse als auch durch eine Kosten-Wirksamkeits- und Nutzwertanalyse.

Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse der drei Verfahren bei der ex post-Untersuchung wurden die Unterschiede in der Betrachtungsweise – ökonomisch und/oder fahrkomfortbezogen – durch Umschlagen des Bewertungsergebnisses sichtbar. Für Beurteilungen speziell von Verkehrslenkungsmaßnahmen sollten daher Kosten-Nutzen-Analyse und Nutzwertanalyse einander ergänzend verwandt werden.

Ganz allgemein zeigte sich bei dieser Untersuchung eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse von den jeweils zur Anwendung gekommenen Ansätzen und Modellen, so daß es für die Entscheidungsvorbereitung zweckmäßig ist, die Sensitivitätsprüfung mit auf unterschiedlichen Grundlagen aufgebauten Analysen durchzuführen.

Die Untersuchung hat im weiteren die Größenordnung für mögliche Erträge bei Durchführung verkehrsbeeinflussender Maßnahmen aufgezeigt. Trotz des hier sehr ungünstigen Umweltfaktors von 1,65 konnten für die Wechselwegweisungsanlage Rhein/Main Gewinne im Bereich der Zeitkosten nachgewiesen werden. Größere Gewinne bei den Betriebskosten werden sich insbesondere mit steigenden Fz-Betriebsstoffpreisen einstellen, so daß die Wirtschaftlichkeit solcher Verkehrsleitsysteme – insbesondere in Verkehrskorridoren – gegeben ist.

### Summary

The application of cost-benefit-analysis for area wide traffic control systems is shown in a case study for the changeable message sign system Rhein/Main. Specific problems related to this application, in particular in the quantification of the effects of traffic control are reported and ways for their overcoming are given for an ex ante and ex post analysis. All three methods cost-benefit-analysis, cost-effectiveness-analysis and utility analysis were performed and their relative qualification for the evaluation of the advantages of control systems as basis for the political decision process are discussed.

### Résumé

L'exemple de la banalisation automatique d'une voie d'une partie du réseau d'autoroutes de la région Rhin-Main montre l'essai d'une analyse avantages-coûts pour les installations de signalisation sur portique plus grandes et de plus grande efficacité. Les difficultés résultant des caractéristiques qui présentent les installations de mise en circulation alternée pour une telle analyse, en particulier lors de l'établissement de la quantité, sont mises en évidence pour une analyse ex ante et une analyse ex post, ainsi que les possibilités de les éliminer. Les trois procédés d'analyses avantages-coûts sont traités: analyse avantages-coûts, analyse coûts-efficacité et analyse multi-critères. Il est ensuite discuté lequel des trois procédés d'analyse des installations de signalisation sur portiques est plus adéquate dans le cadre d'une décision politique.

## ZEITSCHRIFT FÜR VERKEHRS- WISSENSCHAFT

### INHALT DES HEFTES:

- |  |           |
|--|-----------|
| Die Abwrackaktion der deutschen Binnenschifffahrt<br>Von Dieter Wulf, Bonn   | Seite 75  |
| Aktivitätenbezogene Verkehrserzeugungsmodelle<br>– Ein neues Konzept zur Personenverkehrsprognose –<br>Von Heinz Hautzinger, Heilbronn | Seite 92  |
| Richtlinien für ökonomische Systemanalysen?<br>Von Erhard Moosmayer, Bonn  | Seite 115 |
| Die Illusion vom freiwilligen Verzicht auf den PKW<br>Von Gottfried Ilgmann, Hamburg   | Seite 124 |

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  
Institut für Wirtschaftspolitik  
Hochschule der Bundeswehr Hamburg  
Holstenhofweg 85, 2000 Hamburg 70

Herstellung - Vertrieb - Anzeigen:  
Verkehrs-Verlag J. Fischer, Paulusstraße 1, 4000 Düsseldorf 14  
Telefon: (02 11) 67 30 56, Telex: 8 58 633 vvf

Einzelheft DM 16,-, Jahresabonnement DM 58,-,  
zuzüglich MWS<sup>t</sup> 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 Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.