

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

1) 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

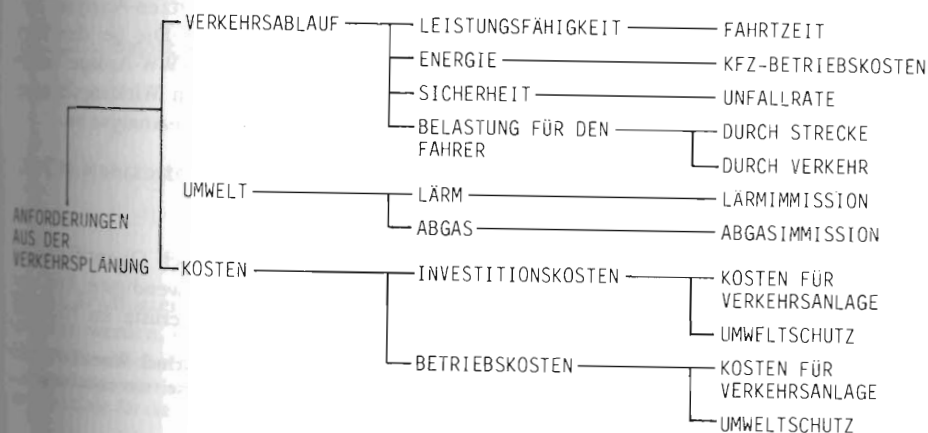
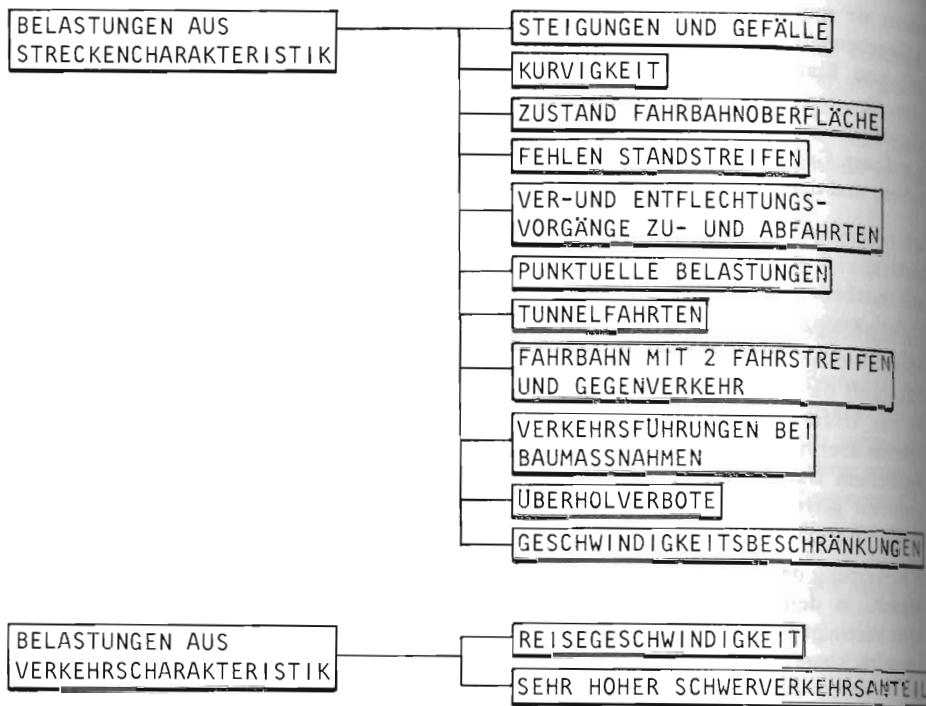


Bild 2: Subsystem psycho-physische Fahrerbelastung – Fahrkomfort



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

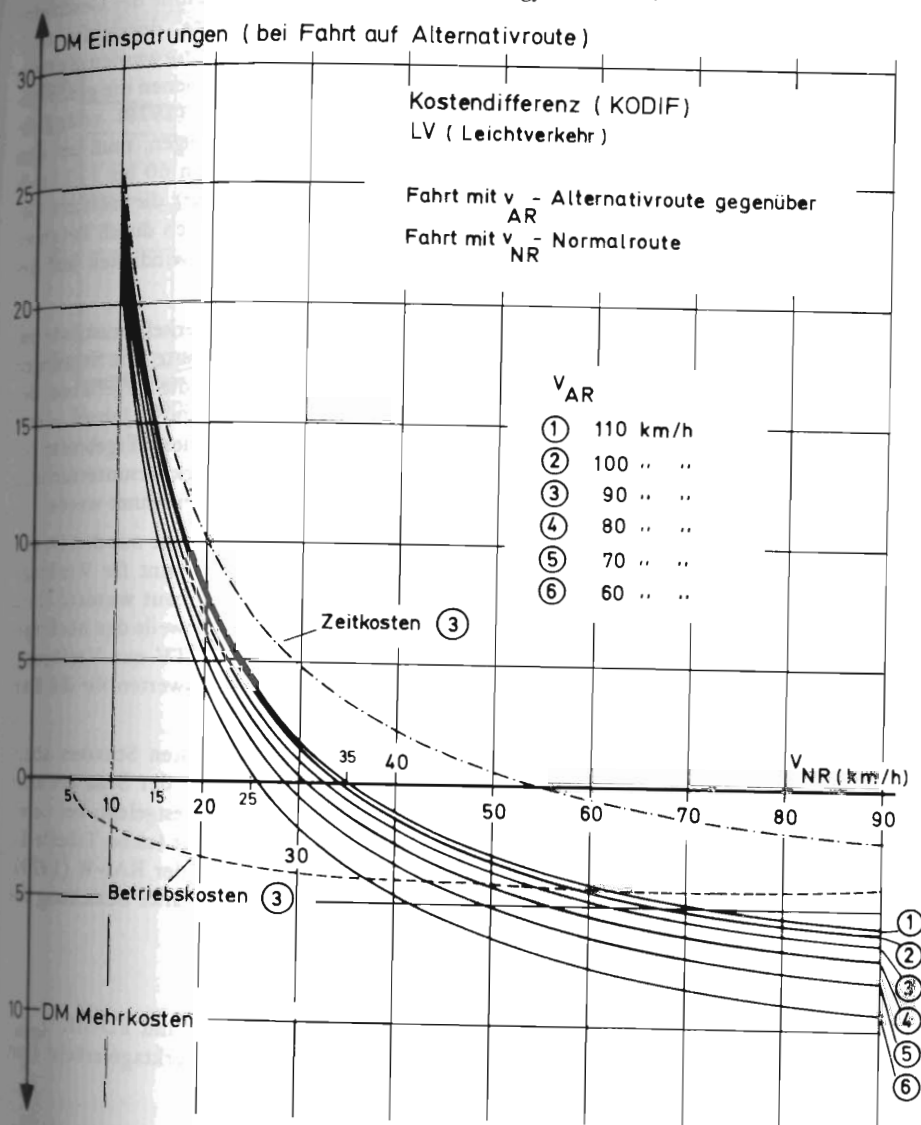
Für die ex post Untersuchung fanden vergleichend eine Kosten-Nutzen-Analyse, eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse und eine Nutzwertanalyse Anwendung. Die bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu Tage tretenden Eigenarten der WWW-Anlage ließen für die ex ante Untersuchung – die Ermittlung der nicht monetären 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):  $max(q_{LV} + 2q_{SV}) = 3\ 200\ Fz/h$  für die Geschwindigkeits-Verkehrsstärke Beziehung des Leichtverkehrs

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

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

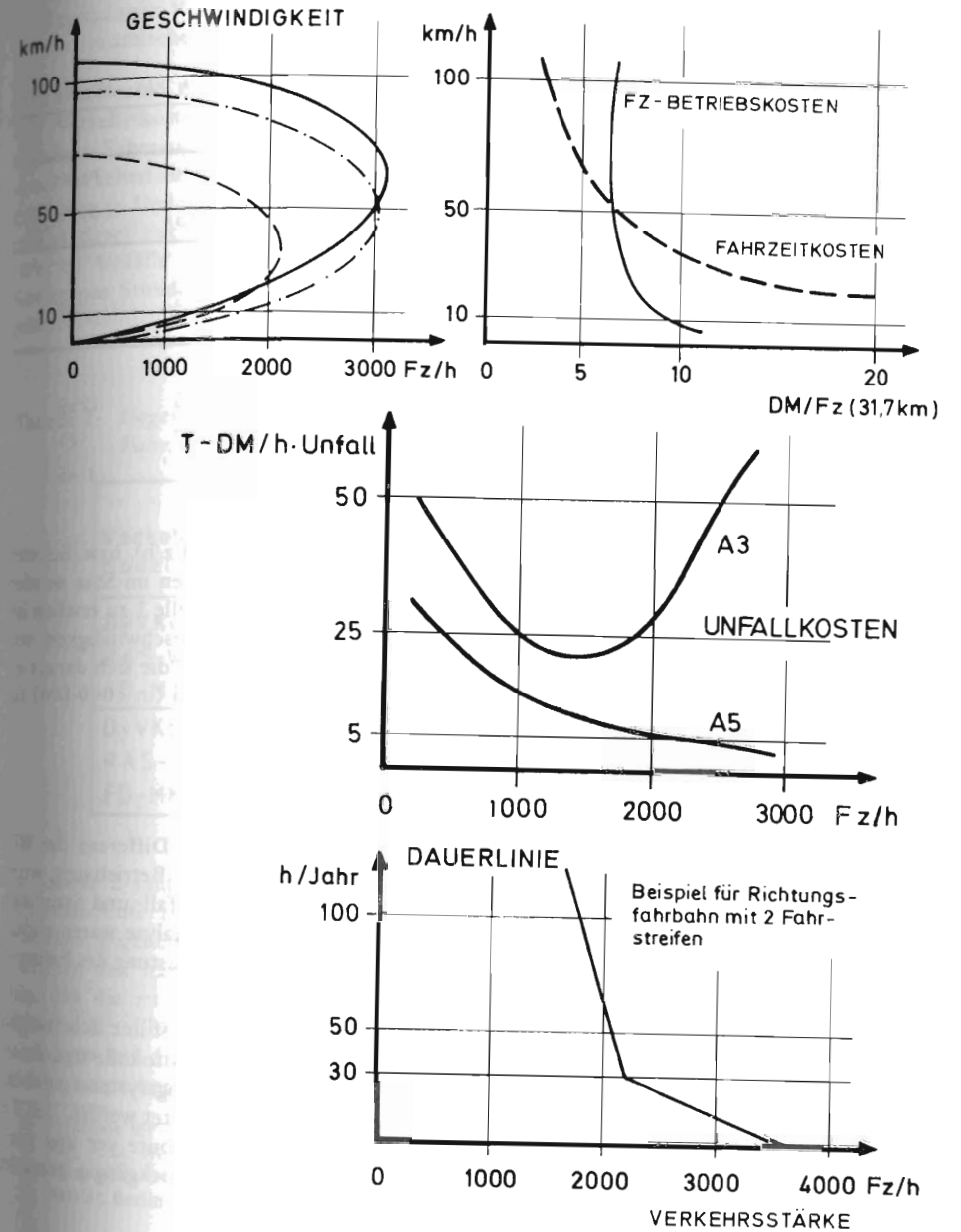


Tabelle 1: Modellannahmen für Grenzverkehrsstärke  $q_{gr}$  (Fz/h) und Staugeschwindigkeit  $V_{Stau}$  (km/h) für die Zeitkostenberechnung sowie jährliche Nutzen (in Tsd DM) aus Zeit- und Fz-Betriebskostenvorteilen für die 5 Modellansätze (A bis E)

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.

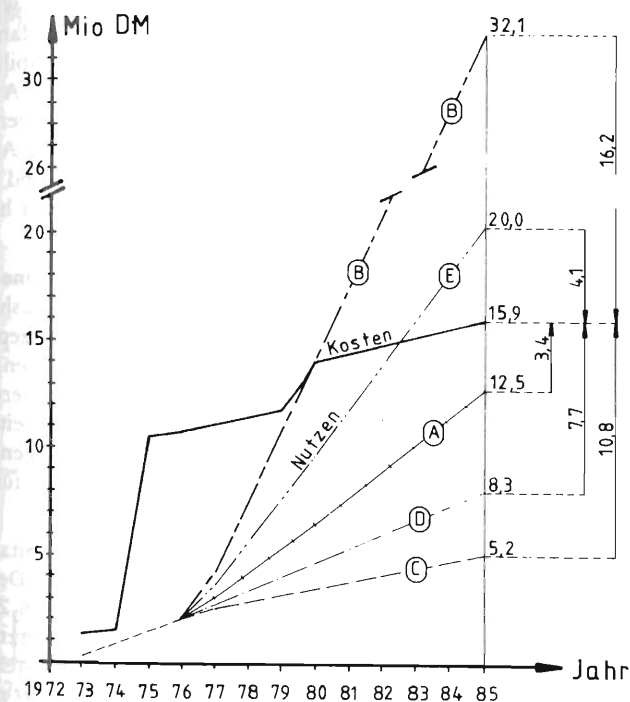
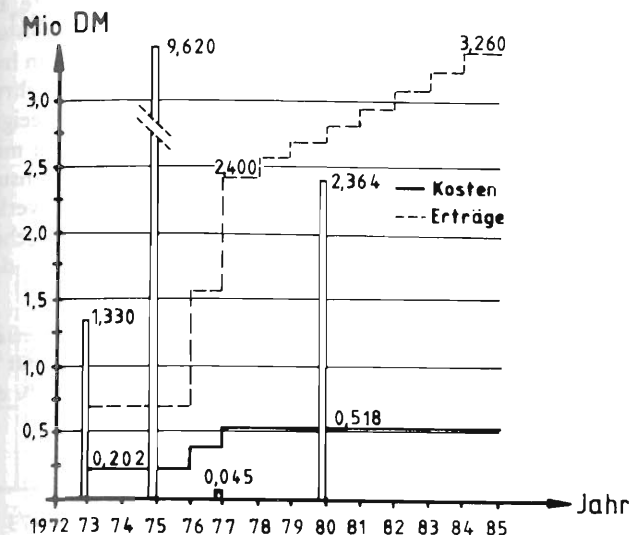
5.1 Ex ante Kosten-Nutzen-Analyse

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.

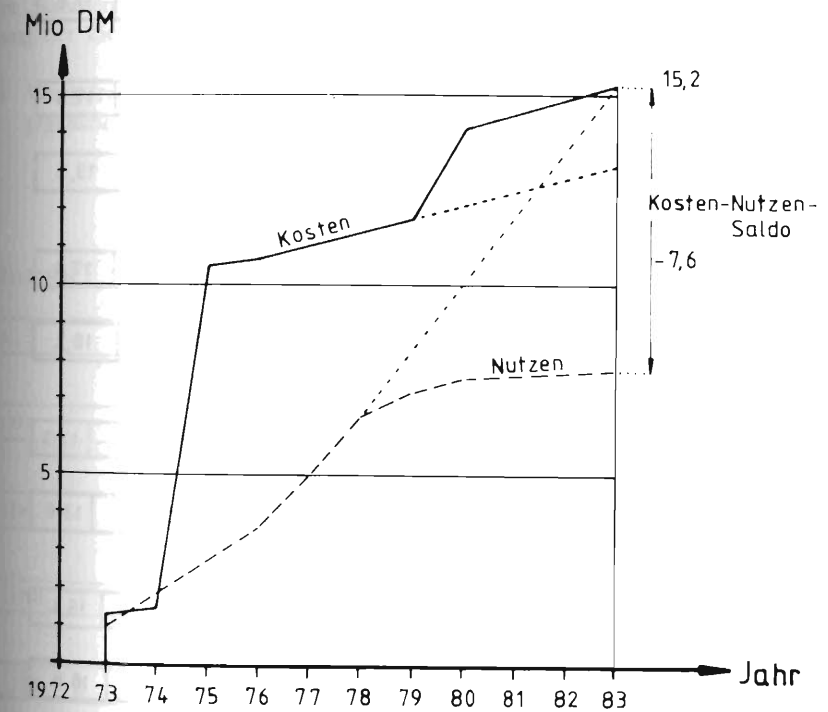
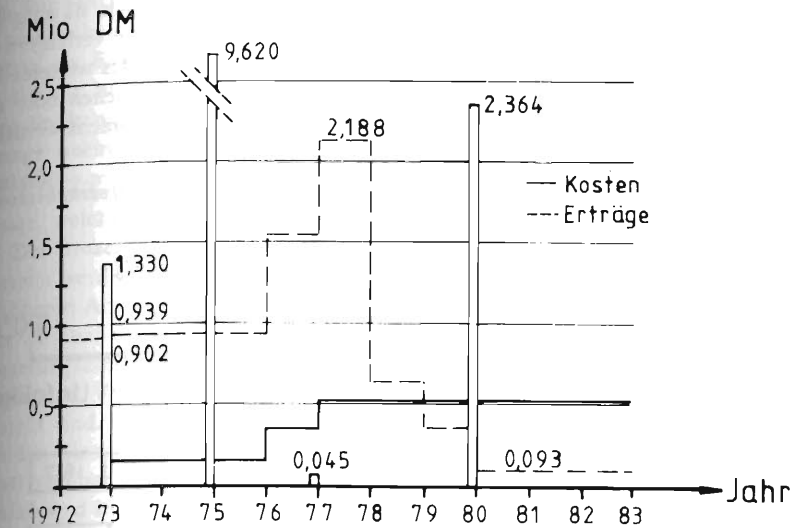
### 5.2 Ex post Nutzen-Kosten-Untersuchungen

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

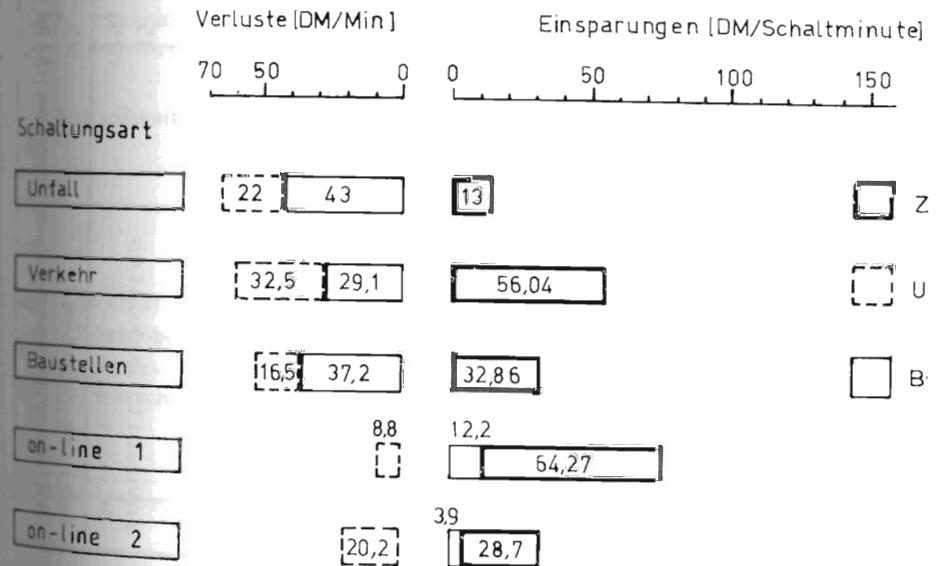
Schaltungsart		KOSTENANTEIL IN %		
		Betriebskosten	Zeitkosten	Unfallkosten
Unfall	OFall	48,6	34,7	16,7
	MFall	49,8	32,7	17,5
Verkehr	OFall	47,1	35,5	17,4
	MFall	48,9	31,5	19,5
Baustellen	OFall	49,0	33,6	17,4
	MFall	51,0	30,7	18,3
on-line 1	OFall	53,1	34,1	12,3
	MFall	54,3	32,1	13,6
on-line 2	OFall	51,5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