# Können wir uns Verkehrsstaus leisten?

Autor(en): **Fermaud, Charles**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 24

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77121

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

□ Nicht jeder Fall ist eindeutig. Das gilt für die Verordnungen wie z.B. die Luftreinhalteverordnung, welche in bestimmten Fällen (Strassen, Bauten in vorbelasteten Gebieten) einen bestimmten Interpretationsspielraum offenlassen, in sehr viel grösserem Ausmass aber dann, wenn «weiche» Kriterien im Vordergrund der Diskussion stehen, d.h. Aspekte des Natur- und Landschaftsschutzes, für welche keine eindeutigen Festlegungen möglich sind.

□ Die Umweltschutzgesetzgebung ist nicht die einzige, die zu berücksichtigen ist. Letztlich wird es in vielen Fällen um eine Interessenabwägung gehen, in welcher der Umweltschutz ein Gesichtspunkt unter mehreren ist; in der Regel sind denn auch Ausnahmebestimmungen vorgesehen.

□ Der Verfasser des Berichts ist letztlich bloss ein Berater des Bauherrn, und in aller Regel nicht der einzige. Wenn er nun dem Bauherrn von einer Weiterverfolgung seines Projekts abrät, so ist das für diesen noch keine Verpflichtung, dieser Empfehlung Folge zu leisten. Letztlich kann ihm niemand verbieten, ein Projekt zu verfolgen, auch wenn diesem kaum Realisierungschancen eingeräumt werden. Nur der definitive Entscheid der Bewilligungsbehörden (oder der zuständigen richterlichen Instanzen, wenn der Rechtsmittelweg beschritten wird) kann letztlich aufzeigen, welches Verhalten das zweckmässigere gewesen wäre.

Trotz dieser wichtigen Einschränkungen bin ich jedoch überzeugt, dass die eingangs aufgestellte Behauptung im Grundsatz richtig ist.

Adresse des Verfassers: *Dr. R. Zwahlen*, Leiter Projektbereich Ökologie, EWI Ingenieure und Berater, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich

# Können wir uns Verkehrsstaus leisten?

## Problematik

Mit Stichworten wie Elmenrüti, Uri; Härkingen, Solothurn, oder Wassen, Uri, kann wohl jedermann Erinnerun-

VON CHARLES FERMAUD, ZÜRICH

gen und Vorstellungen verbinden: tägliche Radiomeldungen, Umleitungsempfehlungen, Staubilder in Zeitungen, Proteste der ansässigen Bevölkerung, parlamentarische Vorstösse ...

Nicht das Bauwerk mit seinen technischen Schwierigkeiten interessiert. Selbst die Tatsache, dass ein Bauwerk nach kurzer Gebrauchsdauer ersetzt wird oder ersetzt werden muss, hätte bald keinen Gesprächsstoff mehr geliefert, wären nicht die Begleitumstände geblieben: Verkehrsbehinderung, Stau als Dauererscheinung, Umleitungen, Schleichwege durch ansonsten ruhige Orte. Der Verkehrsteilnehmer ist in seiner Bewegungsfreiheit gestört, eine Region fühlt sich als Opfer des Bewegungsdrangs der andern. Und es wird deutlich, dass dies nur der Anfang ist.

Ist das Schwarzmalerei? Kaum, denn allein die 3000 Brücken des Nationalstrassennetzes, alle in den letzten 30 Jahren erstellt, werden die nächsten 30 Jahre ohne Erhaltungsmassnahmen kaum überdauern. Das wären 100 Brükken pro Jahr! Selbst mit einer ausgeklügelten Terminplanung, optimaler Verkehrsführung im Baustellenbereich und bestmöglicher Information der Verkehrsteilnehmer ist die Nutzung des Streckenabschnitts im Bereich des Bauwerks während der Sanierungsarbeit behindert.

Die Behinderungen verursachen volkswirtschaftliche Kosten. Selbst wenn man vom Standpunkt «Geld spielt keine Rolle» ausgeht, bleiben die Umweltbelastung und das Unbehagen in der Bevölkerung zu berücksichtigen. Dieses Unbehagen zu unterschätzen wäre ein Fehler, denn es beeinflusst das Verhalten der Menschen in der Zukunft. Vertrauen, sachliche Diskussion und Konsens werden schwierig, wenn das Unbehagen nicht ernst genommen wird.

Was «kosten» Verkehrsstaus? Welche Geldmittel können, sollen, müssen für die Minimierung der Auswirkungen eingesetzt werden? An dieser Stelle will der vorliegende Aufsatz ansetzen.

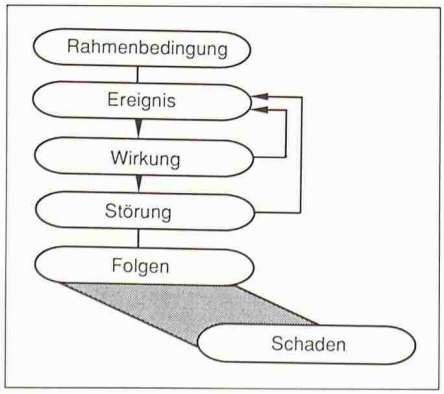



*Bild 1. Ereignisfeld*

## Analyse der Folgen

Einige grundsätzliche Betrachtungen zum Entstehen einer Störung, Zusammenhänge und Begriffe sollen als Einstieg dienen.

Versetzen wir uns in den Autofahrer, der ein Nationalstrassenstück befährt. Seine Fahrt richtet sich nach der Witterung, den anderen Verkehrsteilnehmern, der Strasse, dem Fahrzeug und seinen eigenen Fähigkeiten. Diese Faktoren bilden die Rahmenbedingungen. Jede Änderung der Rahmenbedingungen ist ein Ereignis, auf das der Fahrer reagieren muss, so auch auf eine Baustelle mit Signalisation, Fahrstreifenverengung und Geschwindigkeitsreduktion. Lassen es die Rahmenbedingungen zu (kleine Verkehrsstärke, genügende Leistungsfähigkeit des Baustellenabschnitts), bleibt die Wirkung des Ereignisses ohne Bedeutung für den Fahrt- und Verkehrsablauf. Verändern Ereignis oder Wirkung die Rahmenbedingungen in kritischem Mass, tritt eine Störung ein. Für den Fahrtablauf bedeutet dies einen Halt, einen Umweg, vielleicht einen Unfall, für den Verkehrsablauf Stau, Umleitung. Die Folgen sind: Zeitverlust, erhöhter Betriebsaufwand, Emissionen, Unfallfolgen, Polizeieinsatz, Aggressionen ...

Mit dem geschilderten Ablauf sind gleichzeitig einige Begriffe erfasst, die sich als Ereignisfeld (Bild 1) darstellen lassen. Die Dynamik des Verkehrs bewirkt, dass während der Fahrt laufend Ereignisse eintreten, der Fahrer dauernd zu Reaktionen gezwungen wird, deren Wirkung im günstigen Fall keinen Einfluss auf den Verkehrsablauf zeigen. Strasse, Mensch und Fahrzeug

bilden einen Regelkreis. Erst eine ausgeprägte Wirkung führt zur Störung, die selbst wiederum ein Ereignis darstellt. Eine Verkehrsbehinderung kann anhand der Häufigkeit und Intensität dieses Zusammenspiels beurteilt werden: Brems- und Beschleunigungsvorgänge, Lenkkorrekturen, Fahrspurwechsel, Fast-Unfälle... u.a. Die Kenntnis dieser Abläufe ist wichtig im Hinblick auf die Massnahmenplanung zur Verhütung einer Störung.

Werden eingetretene Folgen im nachhinein beurteilt, können die Ursachen beobachtet und die Merkmale gemessen werden. Der Schaden lässt sich ermitteln. Muss eine Situation à priori beurteilt werden, sind die Folgen, ihre Ursachen und die Merkmale zu schätzen (Tabelle 1).

Neben den einzelnen konkreten Folgen interessiert auch, wer sie zu tragen hat und inwieweit sie als Kosten fassbar sind. Nach den beiden Kriterien unterteilt, ergibt sich eine überraschende Übereinstimmung: die Folgen, die den Nutzer, hier den Verkehrsteilnehmer treffen, sind weitgehend als Kosten erfassbar. Folgen, die die Allgemeinheit, die Umwelt und alle nicht am Verkehr teilnehmenden Personen treffen, sind kaum bezifferbar. Es tritt eine Polarisierung auf (Bild 2).

Es gilt also, beide Seiten in angemessener Weise zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck werden in den nächsten Abschnitten die Folgen der Verkehrsbehinderungen diskutiert und bewertet.

| *Folge* | *Ursache* | *Merkmal* | *Schaden* |
|---|---|---|---|
| *Zeitverlust* | Langsame Fahrt<br>Warten<br>Mehrweg | Freizeitstunden<br>Arbeitsstunden<br>Standzeit | Entgangener Freizeitgewinn<br>Lohnkosten<br>Standkosten |
| *Betriebskosten* | Stop-and-go<br>Mehrweg | Treibstoffverbrauch<br>Betriebs- und Unterhaltseinheiten | Treibstoffkosten<br>Betriebskosten |
| *Unfallfolgen* | Kollision<br>Selbstunfall | Anz. leicht Verletzte<br>Anz. schwer Verl.<br>Anz. Todesopfer<br>Sachschaden | Medizinische Kosten<br>Administrative Kosten<br>Rechtskosten<br>Reparaturkosten |
| *Schadstoffe*<br>*Lärm* | Stop-and-go<br>Mehrweg | Abgase (CO, NO, HC usw.)<br>Lärm (Dezibel) | Umweltschaden<br>Gesundheitsschaden |
| *Ablehnung*<br>*Unzufriedenheit* | Schleichverkehr<br>Stau | Volksmeinung<br>Volksverhalten<br>politische Aktivitäten, Demonstrationen | Wirschaftlicher Schaden (z.B. Tourismus, Baugewerbe), Imageverlust (Ingenieure, Entscheidungsträger) |
| *Verkehrsregelung* | Baustelle<br>Stau<br>Umleitung | Signalisation<br>Polizeieinsatzstunden, Information über Medien | Signalisationskosten<br>Polizei-Einsatzkosten<br>Kosten für Information |

*Tabelle 1. Folgen von Verkehrsbehinderungen*

## Zeitverlust

Der durch äussere Bedingungen aufgezwungene Zeitverlust als Wartezeit wegen eines Staus oder als zusätzliche Fahrzeit infolge eines Umweges bedeutet, dass eine Tätigkeit unterbrochen werden muss oder eine neue Tätigkeit nicht begonnen werden kann. Die Bewertung des Zeitverlustes richtet sich deshalb nach der vorher oder nachher ausgeübten Tätigkeit. Als Teil eines Produktionsprozesses, ist er gleichbedeutend mit Verzögerung oder Ausfall der Produktion. Das gleiche gilt für andere Tätigkeiten. Dies entspricht einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise. Doch Zeitverluste lassen sich ebenso aus dem Verhalten, aus der «willingness-to-pay» (der Bereitschaft für etwas zu zahlen) bewerten (Bild 3). Die Fragestellung lautet: was ist eine Person oder die Allgemeinheit bereit, für die Vermeidung von Zeitverlusten zu bezahlen?

Beispiele für die individuelle «willingness-to-pay» im Strassenverkehr: Zahlungspflichtige Benützung von Tunnel, Brücken und Autobahnen. Meist ist jedoch Zeit nicht der alleinige Entscheidungsfaktor. Betriebskosten und Komfort kommen hinzu. Ähnliche Überlegungen gelten für die soziale «willingness-to-pay»: schnellere, kürzere Verkehrsverbindungen ergeben einen Zeitgewinn. Damit wird die Hoffnung auf einen langfristigen wirtschaftlichen Nutzen verbunden.

Wird von der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ausgegangen und auf die einzelne Zeiteinheit einer beliebigen Person geschlossen, entspricht dies einer äusserst groben Mittelbildung. Differenziertere Überlegungen, bei der zum Beispiel nur Arbeitstätige und Arbeitszeit erfasst werden, werfen neue Fragen auf. Wie soll Freizeit bewertet werden, wann ist der Anteil der Arbeitstätigen am Verkehr wie gross? Der wirtschaftliche Ansatz bringt deshalb trotz vorhandenem Datenmaterial keine befriedigenden Ergebnisse. Umgekehrt verhält es sich mit dem Ansatz der «willingness-to-pay»: weniger Zahlen, dafür ein klares Konzept; aus dieser Sicht ist es vorzuziehen.

Die Werte für den «willingness-to-pay»-Ansatz wurden aus dem Verhalten bei der Benützung eines gebührenpflichtigen Autobahnabschnitts in Frankreich ermittelt. Ob mit wirtschaftlichem Ansatz oder über «willingness-to-pay» ermittelt, die Ergebnisse weichen nicht wesentlich voneinander ab (Tabelle 2). Ein Vergleich mit Werten, wie sie für Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Deutschland ermittelt wurden, festigt die Erkenntnis: Der

| *Methode* | *Resultat* | |
|---|---|---|
| *wirtschaftlicher Ansatz [1]* | Personenbezogen: | |
| | BSP/Stunde | 5 Fr./h |
| | BSP/Arbeitsstunde | 38 Fr./h |
| | Konsum/Freizeitstunde | 4 Fr./h |
| | Fahrzeugbezogen: | |
| | BSP/Fz und Stunde | 14 Fr./h |
| *«willingness-to-pay» Ansatz* | Personenbezogen: | |
| | Berufsverkehr | 7 Fr./h |
| | Privatverkehr | 4 Fr./h |
| | Fahrzeugbezogen: | |
| | Berufs- und Privatverkehr | 9 Fr./h |
| | Güterverkehr | 23 Fr./h |

*Tabelle 2. Bewertung eines Zeitverlustes*

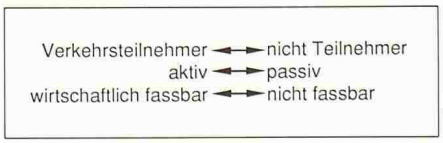



*Bild 2. Polarisierung*

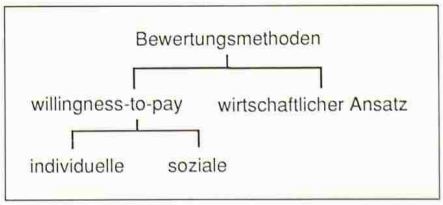



*Bild 3. Methoden zur Bewertung eines Zeitverlustes*

| Fz-Art | Pw | Lastw. |
|---|---|---|
| Treibstoff | 9.40 | 21.60 |
| Öl | 0.80 | 0.50 |
| Reifen | 1.40 | 4.00 |
| Wartung | 10.20 | 23.10 |
| Summe | 21.80 | 49.20 |

*Tabelle 3. Betriebskosten in Fr./100 km*

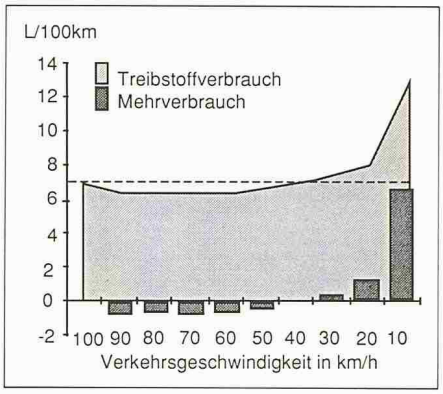



*Bild 4. Treibstoffverbrauch von Personenwagen und Mehrverbrauch gegenüber einer Geschwindigkeit von 100 km/h*

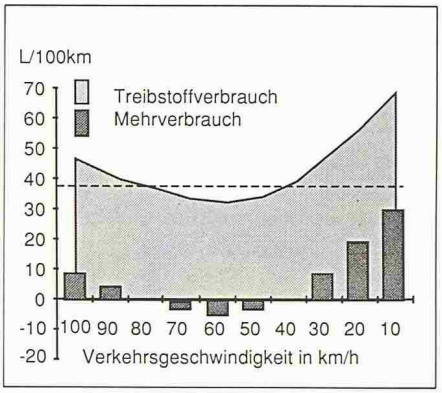



*Bild 5. Treibstoffverbrauch von Lastwagen und Mehrverbrauch gegenüber einer Geschwindigkeit von 80 km/h*

Zeitverlust muss mit 14 DM für Personenwagen, 19 und 33 DM für Schwere Motorwagen pro Stunde eingeführt werden [2].

## Fahrzeugkosten

Die Fahrzeugkosten können in einen festen und beweglichen Anteil getrennt werden. Die festen Jahreskosten sind unabhängig von Betriebsbedingungen und gefahrenen Kilometern. Eine Verkehrsbehinderung hat keinen Einfluss auf ihre Höhe. Es interessieren demnach nur die Mehrkosten des beweglichen Anteils. Sie setzen sich zusammen aus geschwindigkeits- und streckenabhängigen Treibstoffkosten und den Wartungskosten.

Für die weiteren Betrachtungen können zwei Fälle unterschieden werden: Kann eine Strecke trotz Behinderung befahren werden, oder ist eine Umleitung notwendig. Im ersten Fall verändert sich die zurückgelegte Strecke nicht. Damit entstehen keine Mehrkosten für die Wartung des Fahrzeugs und es gilt der folgende Zusammenhang:

$$\Delta K = S \cdot \Delta T$$

$\Delta K$: Mehrkosten in Fr./Fahrzeug
S: Länge der behinderten Fahrt in km
$\Delta T$: Kosten des Treibstoffmehrverbrauchs in Fr./km

Führt die Behinderung zu einer Umleitung, ist eine getrennte Ermittlung von Treibstoff- und Wartungskosten nicht sinnvoll. Die Betriebskosten werden in einem Ausdruck zusammengefasst.

$$\Delta K = B \cdot \Delta S$$

B: Betriebskosten in Fr./km und Fahrzeug
$\Delta S$: Mehrlänge durch Umweg in km

Somit kann vereinfachend festgehalten werden, dass sich die Mehrkosten für den Betrieb bei Fahrbehinderungen auf die Kosten aus erhöhtem Treibstoffverbrauch, bei Umleitungen auf die beweglichen Betriebskosten für den Mehrweg beschränken.

## Betriebskosten

Die in Tabelle 3 aufgeführten Betriebskosten der Personenwagen entsprechen dem Mittelwert aus einer repräsentativen Fahrzeugauswahl aus den Jahren 1980, 1982 und 1984. Alle Beträge sind auf den Preisstand 1987 korrigiert [3]. Die Betriebskosten der Lastwagen wurden aus einer Stichprobe von 15 Fahrzeugen mit verschiedenen Einsatzzwecken erhoben [4].

## Geschwindigkeitsabhängige Treibstoffkosten

*Personenwagen:*

Der Mehrverbrauch hängt im wesentlichen von zwei Grössen ab: der momentanen, durch Behinderung aufgezwungenen Durchschnittsgeschwindigkeit und der ohne Behinderung möglichen Geschwindigkeit. Daraus ist ersichtlich, dass jeder Streckenabschnitt eine eigene charakteristische Treibstoffverbrauchskurve aufweist. Bild 4 zeigt ein Beispiel: Die Geschwindigkeit bei freier Fahrt beträgt 100 km/h, der Verbrauch bei dieser Geschwindigkeit 7 Liter/100 km. Durch Behinderung sinkt die Geschwindigkeit. Der Treibstoffverbrauch nimmt im Vergleich zur ungestörten Fahrt vorerst ab, steigt anschliessend wieder an, bis der Verbrauch unterhalb Geschwindigkeiten von 40 km/h 7 Liter/100 km übersteigt. Die Darstellung von Bild 4 stützt sich auf die ORL-Studie Nr. 26 [5], wobei aktuelle Verbrauchswerte einer repräsentativen Auswahl von Fahrzeugen mit Produktionsjahrgängen zwischen 1980 und 1984 verwendet wurden [3].

*Schwere Motorwagen:*

Die in Bild 5 eingefügten Balkendiagramme zeigen den Mehrverbrauch gegenüber einer Geschwindigkeit von 80 km/h. Auffallend ist der deutliche Anstieg der Kurve bei Geschwindigkeiten unter 40 km/h.

## Unfallfolgen

Sachschaden, Polizeieinsatz, Rechtsfolgen, Tote und Verletzte sowie medizinische Behandlung einerseits, Produktionsausfälle, Wohlfahrtsverluste, Freizeitausfälle anderseits. Die Aufzählung ist nicht vollständig. Sie zeigt aber bereits ein wesentliches Problem der Bewertung. Ein Teil der Folgen ist messbar, der andere unter Annahmen lediglich schätzbar. Dies ist auch der Anlass der regen Diskussion unter Fachleuten. Die tatsächlichen Kosten zur Wiederherstellung der ursprünglichen Lebenssituation sind kaum umstritten. Doch die Bewertung des entgangenen persönlichen und wirtschaftlichen Nutzens bereitet grosse Schwierigkeiten. Am deutlichsten zeigen sich die Widersprüche bei der Bewertung von Todesfällen: Ist eine Mensch-Investitionsgut-Analogie zutreffend und ethisch überhaupt tragbar? Wie sollen Arbeitskraftausfälle angesichts der Arbeitslosigkeit erfasst werden? Welchen wirtschaftlichen Stellenwert haben Rentner, Kinder? Kann der Wert eines Menschenlebens beziffert werden? Bei aller Vielfalt der Meinungen kristallisiert sich doch eine gewisse Systematik heraus, die bereits 1972 [7] aufgezeigt wurde (Bild 6).

Die Bewertungsmethoden können grundsätzlich in «subjektive» und «objektive» Ansätze unterteilt werden. Der subjektive Ansatz versucht zu ermitteln, was Personen oder die Gesellschaft bereit sind, für die Rettung eines Menschenlebens zu bezahlen. Der objektive Ansatz schätzt ab, welcher wirtschaftliche und persönliche Nutzen durch den Todesfall verloren geht (Ertragswert), resp. welche Vorleistungen der Familie und der Gesellschaft ohne Nutzung bleiben (Kostenwert).

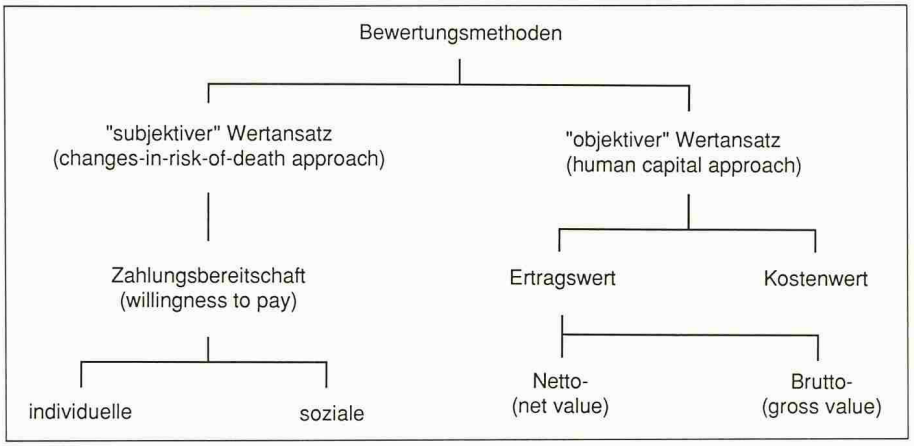



*Bild 6. Methoden zur Bewertung des menschlichen Lebens*

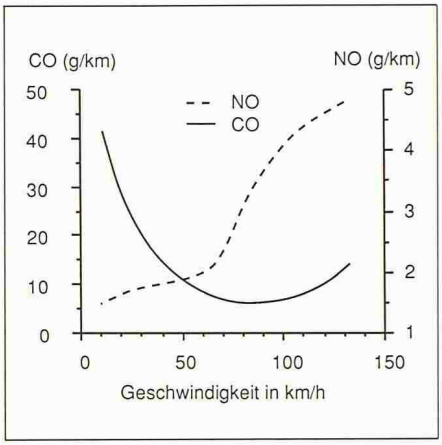



*Bild 7. CO- und NO-Ausstoss von Personenwagen*

Ohne auf Schwachpunkte und fragwürdige Ansätze einiger Methoden einzugehen, sind die Resultate in Tabelle 4 zusammengefasst. Werden Umrechnungskurse, Kaufkraft und Datierung berücksichtigt, ergeben sich für objektive Ansätze annähernd gleiche Resultate, nämlich 50 000 Fr. für Schwerverletzte, 2500 Fr. für Leichtverletzte und 900 000 Fr. für Todesopfer. Subjektive Ansätze, das liegt in ihrer Natur, können zu stark unterschiedlicher Bewertung eines Todesfalls führen. Im in Tabelle 4 erwähnten Beispiel (Canada, 1980, es geht um die Risikobereitschaft am Arbeitsplatz), wird ein Todesopfer mit 500 000 Fr. bewertet.

## Luftschadstoffe

Die Erstellung eines Strassenbauwerks ist ein Eingriff in die Natur, die anschliessende Nutzung belastet die Umwelt. Wird im Laufe der Lebensdauer die Nutzung behindert, verändert sich auch die Wirkung auf die Umwelt. Während die Auswirkungen des Bauwerks (Flächenverlust, Trennwirkung, visuelle Beeinträchtigung) gleich bleiben, steigen die Emissionen aus dem Verkehr (Luftschadstoffe, Lärm, Erschütterungen) und verlagern sich durch Umleitungen und Schleichwege. Anwohner und Verkehrsteilnehmer sind davon direkt betroffen, indirekt die gesamte Bevölkerung, indem die Natur als Lebensgrundlage leidet.

Die Folgen können wirtschaftlich nicht befriedigend bewertet werden, da der tatsächliche Schaden überhaupt nicht erfassbar ist, eine Feststellung, die für alle Umweltschäden zutrifft. In Teilbereichen lassen sich Verhütungskosten, Kosten für die Minderung von Emissionen und für die Behebung von Schäden ermitteln. Es bleiben jedoch immer Massnahmen, die sich gegen wenige als schwerwiegend betrachtete Emissionen richten. Dazu gibt es Beispiele: durch Gesetzgebung werden Grenzen für den Ausstoss von Schadstoffen in Luft und Wasser festgelegt. Die Einhaltung erfordert einen erheblichen finanziellen Aufwand. Die Reduktion um $\Delta E(S)_M$ Einheiten eines Schadstoffes erfordert Massnahmen M mit dem Aufwand $UK_M$ (als Umweltsicherungskosten bezeichnet). Die Verhütungskosten VK sind der Betrag, den die Gesellschaft ausgibt, um die Emission einer Schadstoffeinheit zu vermeiden.

$$VK = \frac{UK_M}{\Delta E(S)_M}$$

Diese Betrachtungsweise ist vergleichbar mit der Definition der Rettungskosten RK [14].

$$RK = \frac{SK_M}{\Delta [p \cdot E(S)]_M}$$

$SK_M$: Sicherheitskosten der Massnahme M

$\Delta[p \cdot E(S)]_M$: Risikoreduktion durch die Massnahme M

Es bleibt nicht allein bei der formalen Übereinstimmung, denn sowohl Sicherheits- als auch Umweltsicherungskosten unterliegen ähnlichen Gesetzmässigkeiten. Persönliche Erfahrung, Betroffenheit, Aversionen und die absoluten Grössen des Risikos und der Schadstoffmenge E(S) spielen eine Rolle. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da sowohl der Wunsch nach Sicherheit als auch derjenige nach einer intakten Umwelt als Lebensgrundlage einem Schutzbedürfnis entspricht.

Am Beispiel der Luftschadstoffe und deren Reduktion durch die Katalysatortechnik bei Fahrzeugen lässt sich der Betrag, den die Gesellschaft in diesem Fall bereit ist aufzuwenden, abschätzen. Wird stellvertretend für alle anderen Schadstoffemissionen nur der CO-Ausstoss betrachtet (Bild 7) und vergleicht man Kosten, Lebensdauer und Wirkung des Katalysators, ergibt sich $UK_{Kat}$ = 0.15 Rp./g CO. Diese Zahl sagt nichts aus über den tatsächlichen Schaden, den ein Gramm CO anrichtet. Sie beschreibt lediglich, welches wirtschaftliche Gewicht ihm die Gesellschaft, unter den getroffenen Annahmen, beimisst. Ähnliche Abschätzungen liessen sich für Schadstoffe im Wasser herleiten. Dem Auwand zur Abwasserreinigung wird die Schadstoffreduktion (P, N, BSB usw.) gegen-

| *Quelle* | *Resultate* | | *Bemerkungen* |
|---|---|---|---|
| *Deutschland, 1977 [10]* | Schwerverletzte<br>Leichtverletzte | 50 616 DM<br>1 978 DM | nur tatsächliche Kosten zur Wiederherstellung der ursprünglichen Lebenslage berücksichtigt |
| *Deutschland, 1985 [11]* | Tote<br>Schwerverletzte<br>Leichtverletzte | 1 200 000 DM<br>54 000 DM<br>4 100 DM | berücksichtigt auch Produktionsausfälle |
| *Dänemark, 1984 [12]* | Tote<br>Schwerverletzte<br>Leichtverletzte | 3 554 700 kr<br>144 800 kr<br>30 200 kr | enthält tatsächliche Kosten und Wohlfahrtsverluste |
| *Canada, 1980 [13]* | Tote | 300 000 Can $ | «subjektiver Wertansatz» über die willingness-to-pay, anhand eines Beispiels aus der engl. Stahlindustrie |

*Tabelle 4. Bewertung von Unfallfolgen*

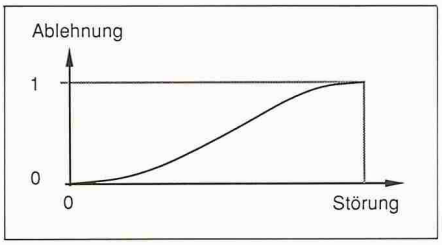



Bild 8. Prinzipieller Zusammenhang von Ablehnung und Verkehrsbehinderung

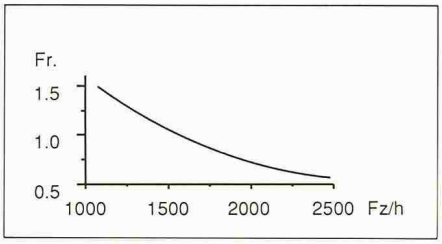



Bild 9. Wirtschaftliche Kosten pro Fahrzeug und Staukilometer, abhängig von der Leistungsfähigkeit an der Engstelle

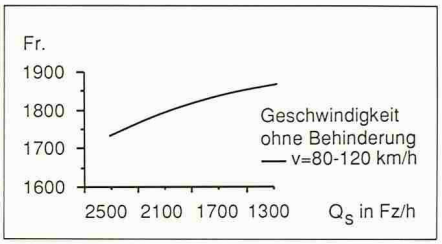



Bild 10. Wirtschaftliche Kosten, die ein Stau von einem Kilometer Länge und einer Stunde Dauer auf Autobahnen verursacht

übergestellt. Der jeweils als vertretbar empfundene Betrag ist weitgehend abhängig von der Wahrnehmbarkeit der Schäden an Umwelt und Klima. Er steigt rasch an, sobald Schäden deutlich sichtbar werden und einzelne Schadstoffe als Ursache nachgewiesen sind.

Die Vielzahl der Faktoren, welche die Umwelt beschreiben, und die Kompliziertheit der Zusammenhänge verunmöglichen eine umfassende wirtschaftliche Bewertung von Umweltbelastungen.

## Ablehnung, Unzufriedenheit

Subjektive Kriterien, wie Ansehen, Ablehnung und Unzufriedenheit in eine systematische Beurteilung einfliessen zu lassen, scheint zunächst fragwürdig. Doch ist oft gerade subjektives, persönliches Empfinden der wichtigste Beweggrund für ein bestimmtes Verhalten, für die Meinungsbildung oder Entscheidung. Deshalb sollte es in einer angemessenen Form erfasst und berücksichtigt werden.

Gerät ein Autofahrer regelmässig auf einer gewohnten Strecke in Behinderungen oder hat Kenntnis davon, wird er sich die Fahrt überlegen: Entweder unterlässt er die Fahrt, verschiebt sie, sucht einen Schleichweg, wählt ein anderes Transportmittel oder führt die Fahrt trotz Behinderung durch. Sein Entscheid hat Folgen. Unterlässt er die Fahrt, entgehen möglicherweise anderen Personen wirtschaftliche Gewinne (z.B. Tourismus). Befährt er einen Schleichweg, ist es für die Anwohner eine Zumutung. Verschiebt er die Fahrt oder führt sie trotz Behinderung durch, kann das für ihn selbst ärgerlich sein.

Im Bereich der Verkehrsbehinderung wird die Lebensqualität der dort ansässigen Bevölkerung gemindert. Mehrverkehr auf Schleichwegen und Behinderungen setzen ihre eigenen Bewegungsfreiheit im lokalen Bereich herab, bedeuten Lärm, Gestank und erhöhtes Unfallrisiko. Ablehnung und Unzufriedenheit richten sich gegen die in ihren Augen für diesen Zustand Verantwortlichen: Verkehrsteilnehmer (auch wenn man selbst dazu gehört), politische Instanzen, Behörden.

Die Ablehnung wächst mit steigender Störwirkung. Die prinzipielle Verknüpfung ist in Bild 8 dargestellt, wobei für den verkehrsteilnehmer die Störwirkung als Zeitverlust $\Delta t$, für den Anwohner als Mehrverkehr $\Delta Fz/h$ eingeführt werden kann.

## Was «kostet» ein Staukilometer?

Es geht nicht darum, eine möglichst präzise, eine bestimmte Behinderung beschreibende Antwort zu geben. Die Antwort soll sich auf wenige, für jedermann sichtbare Merkmale stützen. Unter Vereinfachungen genügen dazu der individuelle Zeitverlust im Stau und die Staulänge. Beide Grössen sind geläufig, werden in Verkehrsmeldungen der Massenmedien bekanntgegeben, oder, wie der Zeitverlust, vom Autofahrer direkt gemessen.

Zur Abschätzung der Staufolgen bedarf es einiger Grundlagen. Für die Geschwindigkeit im Stau gilt der Zusammenhang [2] $v_s = Q_s/k_s$

$v_s$: Verkehrsgeschwindigkeit im Stau in km/h
$Q_s$: Abfluss an der Engstelle in Fz/h
$k_s$: Fahrzeugdichte im Stau in Fz/km

Der Abfluss $Q_s$ entspricht der Leistungsfähigkeit der Engstelle. Sie hängt unter anderem von der Fahrstreifenbreite, der Anzahl Fahrstreifen, der Topographie und der Ursache der Verengung (Unfall, Baustelle, usw.) ab. Dies bewirkt, dass die Leistungsfähigkeit stark unterschiedliche Werte annehmen kann. Auf Autobahnen beträgt sie unter günstigen Witterungsbedingungen 1300 bis 2500 Fz/h und Fahrstreifen [8]. Im Gegensatz zur Leistungsfähigkeit ist die Fahrzeugdichte $k_s$ wesentlich unempflindlicher auf veränderte Randbedingungen. Sie liegt im Stau zwischen 90 und 110 Fz/h und Fahr-

**Literatur**

[1] Bundesamt für Statistik: Statistisches Jahrbuch der Schweiz, 1986, Strassenverkehrsunfälle in der Schweiz, 1985

[2] *Bolte F.-F.*, u.a.: Stauberechnung zur Planung und Terminierung von Strassenbauarbeiten, Strassenverkehrstechnik Nr. 4, 1984

[3] Automobilrevue: Katalogjahrgang 1980, 1982, 1984, 1987

[4] Lastauto Omnibus, Katalog 1988

[5] ORL: Bewegliche Betriebskosten von Personenwagen in Abhängigkeit von den Strassen- und Verkehrsbedingungen, Bericht Nr. 26, 1970

[6] Bundesamt für Umweltschutz: Geschwindigkeitsreduktion und Schadstoffausstoss, Bericht Nr. 22, 1984

[7] *Kentner W.*: Die Verkehrssicherheit als wirtschaftliche Planungsgrösse, Strasse und Autobahn Nr. 12, 1972

[8] *Knoflacher H.*, Heidemann D.: Leistungsfähigkeit von Hauptverkehrsstrassen, Strassenverkehrstechnik, Nr. 5, 1985

[9] *Hoffmann G.*, u.a.: Auswirkungen von Reparatur- und Baumassnahmen auf der Bundesautobahn Stadtring Berlin auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 321, 1981

[10] *Elsholz, G.*: Zur Methodik der Bewertung von Verkehrsunfallfolgen, Zeitschrift für Verkehrswissenschaften 1981

[11] *Emde W.*, u.a.: Kostensätze für die volkswirtschaftliche Bewertung von Strassenverkehrsunfällen, Strasse und Autobahn, Nr. 4, 1985

[12] Danish Ministry of Transport: Trafikokonomiske enhedspriser, Økonomisk-statistisk afdeling, Februar 1985

[13] *Needleman L.*: Methods of Valuing Life, Technological Risk, edited by Lind N.C., ISBN 0-88898-040-X

[14] *Stiefel U., Schneider J.*: «Was kostet Sicherheit?» Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 47, 1985

streifen [2]. Die ohne Behinderung mögliche Durchschnittsgeschwindigkeit $v_u$ beträgt auf Autobahnen 80 bis 120 km/h.

Ausgehend von diesen Angaben können die wirtschaftlichen Kosten $K_o$ pro Staukilometer und Fahrzeug ermittelt werden. In Bild 9 sind sie als Funktion des Abflusses $Q_s$ und der Annahme, $k_s$ sei konstant und betrage 200 Fz/km (Stau auf zwei Fahrstreifen), dargestellt. Wird die Betrachtung auf eine Staudauer von einer Stunde ausgedehnt und die Kosten aller Beteiligten summiert, entstehen unter den genannten Bedingungen wirtschaftliche Kosten $K_1 = K_o \cdot Q_s$. Sie betragen unabhängig vom Abfluss $Q_s$ und der ohne Behinderung möglichen Durchschnittsgeschwindigkeit $v_u$ rund 1800 Fr. pro Staukilometer und Stunde Staudauer (Bild 10).

Auffallend ist der überragende Beitrag des Zeitverlustes und der kleine Anteil der Unfallfolgekosten. Selbst die mögliche Unschärfe der Unfallrate [1, 9] hat kaum einen Einfluss auf das Resultat (Tabelle 5).

Neben den wirtschaftlich erfassbaren Kosten werden 40 bis 80 kg CO (und andere Schadstoffe) mehr ausgestossen, das sind fünf mal mehr Schadstoffe als ohne Behinderung. Und schliesslich entstehen eine nicht näher beschreibbare Menge von Aggression und Unzufriedenheit.

## Staus verhindern darf etwas kosten

Die Träger des Schadens sind einerseits die Strassenbenützer, anderseits die Umwelt und darin eingeschlossen die betroffene Bevölkerung. Die wirtschaftlichen Kosten werden vor allem vom Strassenbenützer getragen, d.h. vom Verursacher selbst.

Anders verhält es sich mit den schädigenden Umwelteinflüssen: Verursacher und Geschädigte sind nicht identisch, die zusätzliche Umweltbelastung trifft vorab die nicht am Verkehr beteiligten Personen und die Umwelt als Ganzes. Massnahmen zu deren Schutz sind gerechtfertigt. Solche Massnahmen kann nur der Staat, im Falle der Nationalstrassen als Bauherr auftretend, einleiten.

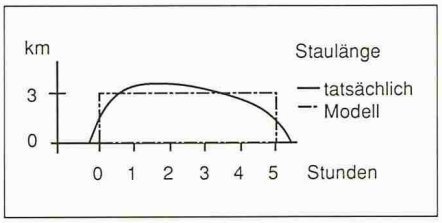



*Bild 11. Beispiel eines Stauereignisses*

Die zusätzliche Umweltbelastung und der volkswirtschaftliche Schaden sind jedoch miteinander verknüpft. Die Schadstoffemissionen und der Treibstoffverbrauch sind beide in ähnlicher Weise geschwindigkeitsabhängig. Werden demnach die Emissionen gemindert, verkleinern sich auch die volkswirtschaftlichen Kosten. Es ist gerechtfertigt, zur Minimierung der beiden Grössen Mittel einzusetzen.

Dass es sich bei diesen «Kosten» um einen beträchtlichen Betrag handelt, soll mit dem folgenden Beispiel gezeigt werden: Eine Engstelle auf der Autobahn, verursacht durch eine Baustelle, bewirkt täglich einen fünfstündigen Stau ($\Delta t$) von 3 km Länge ($\Delta s$) (Bild 11). Dies entspricht einem Stauereignis, wie es z.B. in Härkingen häufig auftrat.

Diese täglich auftretende Behinderung «kostet» $K_s = K_1 \cdot \Delta t \cdot \Delta s = 25\,000$ Fr.! Hinzu kommt der Mehrausstoss von 1000 kg CO (nebst anderen Schadstoffen) und eine beträchtliche Menge Aggression. Der Betrag $K_s$ steht für zweckgerichtete Massnahmen, die Umweltbelastung und Staukosten mindern, zur Verfügung, ohne dass zusätzliche volkswirtschaftliche Kosten entstehen.

| | *Kosten* |
|---|---|
| *Zeitverlust* | 90% |
| *Treibstoff* | 8% |
| *Unfallfolgen* | 2% |

*Tabelle 5. Aufteilung der wirtschaftlichen Kosten*

## Zusammenfassung

Die Belastung der Umwelt und des unbeteiligten Menschen durch den Strassenverkehr ist unbestritten. Verkehrsbehinderungen erhöhen diese Belastung zusätzlich und ziehen volkswirtschaftliche Kosten nach sich. Diese erreichen Beträge, die nicht vernachlässigt werden können. Die möglichen Folgen von Verkehrsbehinderungen müssen deshalb in der Planung von Unterhalts-, Reparatur- und Sanierungsarbeiten berücksichtigt werden. Die Bewertung der Verkehrsbehinderung muss als eine wesentliche Grundlage der Planung in diese eingehen. Es gilt nicht nur volkswirtschaftliche Verluste zu vermeiden, sondern in erster Linie die Belastung der Umwelt und der Wohnbevölkerung zu minimieren. Verkehrsbehinderungen müssen am Entstehungsort bekämpft werden, um den Verkehr auf der ursprünglichen Axe zu halten und ein unkontrolliertes Ausbreiten zu verhindern. Zu diesem Zweck können ein Teil, die ganzen oder sogar mehr als die Staukosten eingesetzt werden, ohne dass gesamthaft betrachtet ein volkswirtschaftlicher Schaden entsteht.

Adresse des Verfassers: *Ch. Fermaud*, dipl. Kult.-Ing. ETH, ETHZ, Institut für Baustatik und Konstruktion, 8039 Zürich.