



Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure SVI 41/96

**K o s t e n - W i r k s a m k e i t v o n
U m w e l t s c h u t z m a s s n a h m e n i m
V e r k e h r**

Markus Maibach, Dr. Silvia Banfi, Christoph Schreyer, Mario Keller, Bettina Baumgartner

12.98 / 510



INFRAS

Gerechtigkeitsgasse 20, Postfach, CH-8039 Zürich, Tel. +41 1 205 95 95, Fax +41 1 205 95 99, E-Mail zuerich@infr.ch
Mühlemattstrasse 45, CH-3007 Bern, Tel. +41 31 370 19 19, Fax +41 31 370 19 10, E-Mail bern@infr.ch

Zertifiziert nach ISO 9001/14001

Vorwort

Die schweizerische Vereinigung für Verkehrsingenieure SVI hat 1996 den Auftrag 'Kosten-Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr' ausgeschrieben. Zentrales Anliegen der Studie ist es, die ökonomischen Zusammenhänge zwischen Massnahmen, deren Kosten und deren Wirksamkeit systematisch darzustellen und praxisgerecht zu dokumentieren. Um den Bezug sowohl zur Praxis als auch zur Politik sicherstellen zu können, sind die Arbeiten von einer Begleitgruppe laufend kommentiert worden. Die Begleitgruppe setzte sich zusammen aus VertreterInnen des Verkehrsingenieurwesens, der Wissenschaft und der Verwaltung.

Der Bericht versucht, sowohl den praktischen als auch den politischen Anliegen gerecht zu werden. Er ist in drei Teile gegliedert. Der **erste Teil** erläutert die methodischen Aspekte und erarbeitet eine Handlungsanweisung, wie aus praktischer Sicht ein Indikator 'Kosten-Wirksamkeit' ermittelt und kommuniziert werden kann. Der **zweite Teil** setzt diese Methodik anhand ausgewählter Beispiele im Verkehrsbereich um. Die Auswahl der Massnahmen versucht dabei die verschiedenen methodischen Aspekte abzudecken. Um verallgemeinerbare Ergebnisse ableiten zu können, sind die Massnahmen in erster Linie flächendeckend ausgestaltet. Jede Massnahme wird aber auch in Bezug auf den konkreten Einzelfall kommentiert. In einem **dritten Teil** (Anhang) sind die einzelnen Vorgehens- und Berechnungsschritte sowie deren Annahmen transparent dargestellt.

Die Berechnung der Kosten-Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehrsbereich ist ein interdisziplinäres Unterfangen, das insbesondere verkehrstechnisches, naturwissenschaftliches und ökonomisches Fachwissen erfordert. Wir betrachten das als wissenschaftliche Herausforderung. Deshalb soll der Bericht auch die Möglichkeiten und Grenzen dieses Unterfangens aufzeigen und dieses in einen Gesamtrahmen stellen.

Zusammenfassung

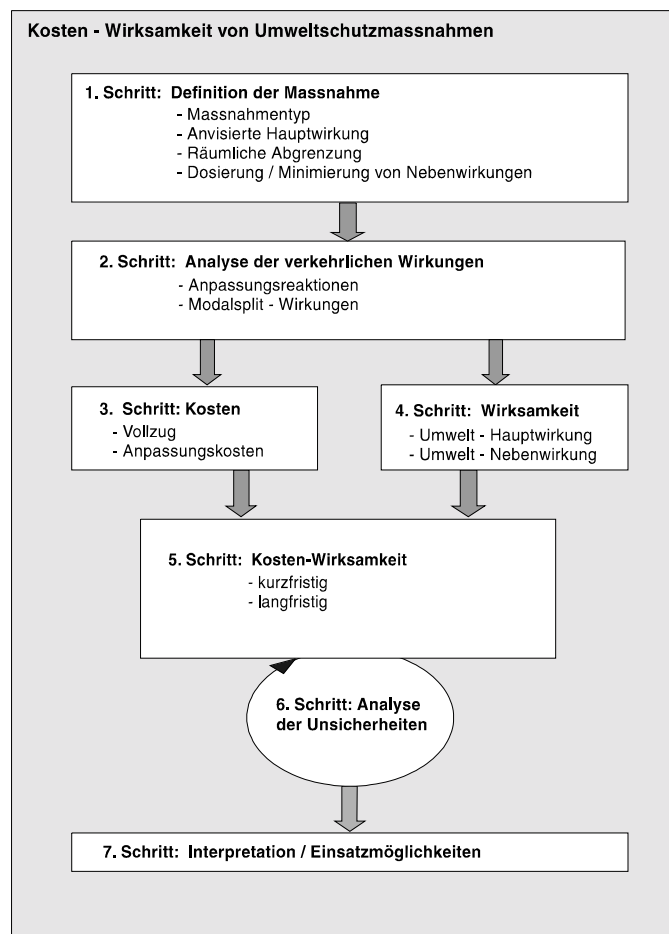
1. Einleitung, Zweck der Studie

Umweltschutz ist nicht gratis. Das Erreichen von Umweltzielen oder das Erfüllen von Umweltschutzaufgaben erfordert deshalb Abklärungen über die Kosten und die Wirksamkeit von verschiedenen möglichen Massnahmen. Aus ökonomischer Sicht ist die Kosten-Wirksamkeit, die erzielbare Wirkung pro eingesetzten Franken, ein sehr wichtiger Beurteilungsindikator. Je grösser die Kosten-Wirksamkeit, desto effizienter ist eine Massnahme, desto sinnvoller ist ihr Einsatz. Gerade im Verkehrsbereich sind Informationen über die Kosten-Wirksamkeit äusserst wichtig, einerseits für die Politik, um einen effizienten Massnahmenmix vorzuschlagen, zum Beispiel für das Erreichen der Reduktionsziele des Luftreinhaltekonzeptes –. Aber auch in der täglichen Praxis sind diese Informationen von grossem Nutzen, um die Verhältnismässigkeit von möglichen Massnahmen (z.B. Lärmschutz, Verkehrsberuhigungsmassnahmen) abzuklären. Die vorliegende SVI-Studie befasst sich mit dieser Problematik und will

1. die methodischen Aspekte der Kosten-Wirksamkeit diskutieren,
2. daraus eine praxisgerechte Handlungsanleitung entwickeln, wie die Kosten-Wirksamkeit zu ermitteln und darzustellen ist,
3. das gewählte Vorgehen anhand von ausgewählten Beispielen (unterschiedliche Massnahmen für verschiedene Umweltbereiche) illustrieren, und
4. daraus Erkenntnisse für eine effiziente Umsetzung von Umweltstrategien im Verkehrsbereich ableiten, sowohl für die Politik als auch für die Praxis des Verkehrsingenieurs.

2. Methodische Schritte

Figur Z-1 zeigt die einzelnen Schritte hin zur Bearbeitung eines Kosten-Wirksamkeits-Indikators.



Figur Z-1: Übersicht: Die einzelnen Schritte zur Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit.

a) Definition der Massnahme und verkehrliche Wirkungen

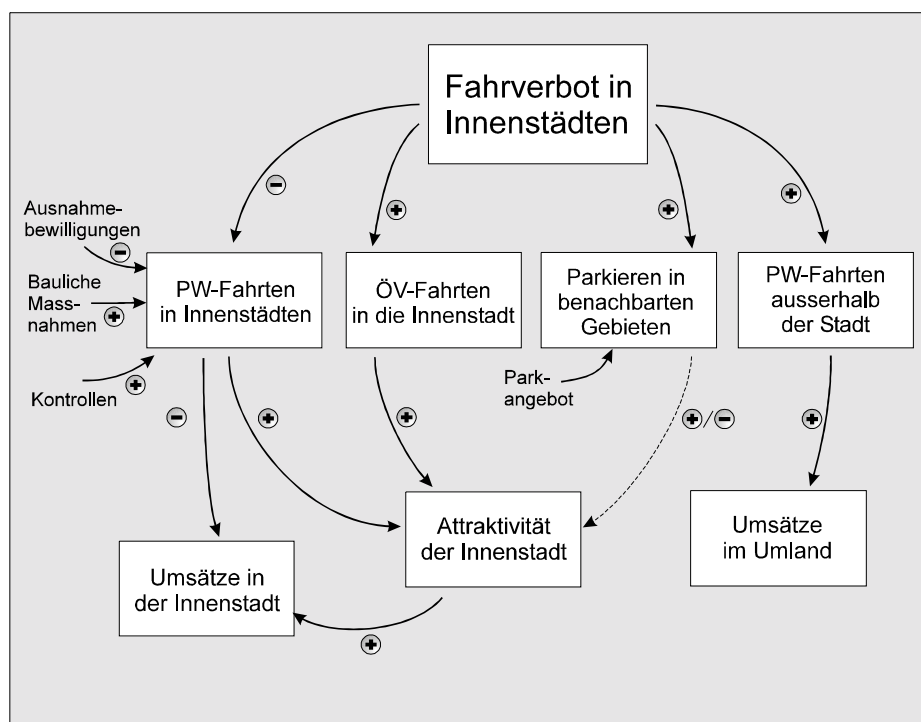
Die Kosten-Wirksamkeit einer Massnahme kann stark variieren, je nachdem wo sie eingesetzt wird und wie sie dosiert ist. Eine zu starke Dosierung kann beispielsweise zu unerwünschten Nebenwirkungen führen und dadurch die Effizienz schmälern. Deshalb ist es wichtig, zu Beginn klare Aussagen zum Vergleichszustand, zur Ausgestaltung und zu den Systemgrenzen einer Massnahme zu machen.

Bei der Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit nimmt das Wirkungsmodell eine zentrale Stellung ein. Je nach Art und Typ der Massnahme ist dieses Wirkungsmodell unterschiedlich:

- Bei **technischen Massnahmen** kann direkt eine Verbesserung der Umweltsituation (Emissionen, Immissionen) erzielt werden. Die Wirkung lässt sich ableiten aus Informationen über das technische Potential. Die Kosten ergeben sich in Relation zu einer Referenztechnologie. Sie sind relativ einfach zu ermitteln, wenn es sich

um sogenannte 'End of Pipe'-Technologien handelt (z.B. der Einsatz eines Partikelfilters oder einer Lärmschutzwand). Schwieriger wird das bei Verbesserungen von integrierten Technologien (insbesondere bei der Motorentechnik zur Reduktion von Lärm, Abgasen oder Treibstoffverbrauch).

- Bei **verhaltensorientierten Massnahmen** sind die Verhältnisse etwas komplizierter. Sowohl preisliche Massnahmen, Vorschriften und Gebote als auch Infrastrukturmassnahmen lösen bei den einzelnen VerkehrsteilnehmerInnen Verhaltensreaktionen aus, die zu Anpassungskosten führen. Um die Kosten und die Wirkungen zu ermitteln, sind deshalb möglichst genaue Informationen über das Verkehrsverhalten notwendig (vgl. Figur Z-2). Je nach Massnahme können hier beträchtliche Unsicherheiten bestehen. Je komplexer das Wirkungsmodell, desto grösser ist auch der Aufwand zur Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit. Für präzise Aussagen ist oft der Einsatz von Verkehrsmodellen notwendig.



Figur Z-2: Beispiel für eine verhaltensorientierte Massnahme: Wirkungsmodell für ein Fahrverbot in Innenstädten.

b) Ermittlung der Kosten

Der Vergleich von Kosten und Wirkungen erfolgt in der Regel auf **Jahresbasis**. Deshalb ist eine Periodisierung wichtig. Dies gilt insbesondere für die Kostenseite, weil oft

die Ausgaben im Verlaufe der Zeit nicht konstant sind. Vor allem bei technischen Massnahmen fallen Investitionen an, die am einfachsten mit Hilfe von Annuitäten (mittlere Lebensdauer, Zinssatz gemessen an der Rendite für Bundesobligationen) periodisiert werden.

Generell sind nur die durch die Massnahme **zusätzlich ausgelösten Kosten** zu berücksichtigen. Dies kann insbesondere beim Verwaltungsaufwand von Bedeutung sein, wenn zum Beispiel eine zusätzliche Kontrolltätigkeit auch durch bestehendes Personal ausgeführt werden kann. Allfällige **Minderkosten** (z.B. Einsparungen beim Treibstoffverbrauch) sind von diesen Kosten abzuziehen.

Das grösste Problem auf der Kostenseite ist die Ermittlung der **Anpassungskosten**. Grundsätzlich stehen dafür zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Wenn die Reaktionen detailliert ermittelt werden könn(t)en, bilden die veränderten Ressourcenströme (höhere Zeitkosten, Umwegfahrten etc.) die Grundlage. Ein solches Vorgehen eignet sich etwa für die Ermittlung der Kosten von einfachen verhaltensorientierten Massnahmen wie Temporeduktionen. Sobald aber komplexe Anpassungsreaktionen zu erwarten sind (z.B. Verringerung der Fahrten, Umsteigeeffekte), sind die Ressourcenströme äusserst schwierig zu ermitteln. In einem solchen Fall ist eine aggregierte Bewertungsweise der Anpassungskosten einfacher. Sie basiert auf dem ökonomischen Konzept der Nutzenverluste und drückt sich aus als sogenannter Verlust der Konsumentenrente. Eine Massnahme wird interpretiert als Erhöhung der Verkehrskosten. Bei preislichen Massnahmen ist dies direkt möglich. Die Kostenerhöhung löst bei den VerkehrsteilnehmerInnen einen Rückgang der Nachfrage aus, der sich in der Regel mit Hilfe von Preiselastizitäten bestimmen lässt. Der Nachfragerückgang führt zu einem Nutzenverlust, der die Anpassungskosten widerspiegelt. Er drückt sich aus als Produkt des Nachfragerückgangs und der Preiserhöhung.¹ Da man aber in der Regel davon ausgehen kann, dass nicht alle VerkehrsteilnehmerInnen im selben Ausmass auf die Kostenveränderung reagieren², entspricht der gesamte Nutzenverlust der Hälfte dieses Produkts und lässt sich durch folgende Formel ausdrücken:

$$0,5 * \square(\text{Verkehr}_{\text{alt}} \text{ minus } \text{Verkehr}_{\text{neu}}) * (\text{Preis}_{\text{alt}} \text{ minus } \text{Preis}_{\text{neu}})\square$$

1 Der verbleibende Verkehr bezahlt zwar einen höheren Preis, nimmt diesen aber in Kauf. Der Nutzen der Verkehrs ist deshalb höher als die zusätzlichen Kosten. Dies ist (netto betrachtet) kein Nutzenverlust, sondern ein Transfer, da Ressourcen verschoben werden (z.B. in Form von Abgaben von den VerkehrsbenutzerInnen zu Staatseinnahmen) die anderweitig eingesetzt werden können.

2 Unterstellt wird eine linear abnehmende Nachfragekurve.

Die Kosten verteilen sich in der Regel unterschiedlich auf die verschiedenen Akteure. Eine Umweltschutzmassnahme in der Innenstadt (vgl. Figur Z-2) beispielsweise kann einen negativen Einfluss auf die Umsätze in der Innenstadt haben, umgekehrt aber an anderen Orten zu Umsatzsteigerungen führen. Netto ergeben sich dadurch unter Umständen keine Kosten. Die Verteilungswirkungen sind aber signifikant und können auch Akzeptanzprobleme auslösen. Deshalb empfiehlt sich bei solchen Massnahmen eine Darstellung der Kosten nach Akteurgruppen.

c) Aggregation der Umweltwirkungen

Das Wirkungsspektrum von Umweltschutzmassnahmen im Verkehrsbereich ist höchst unterschiedlich. Nur schon der Vergleich einer Lärmschutzwand und eines Lärmschutzfensters kann zu Problemen führen, wenn neben der Hauptwirkung (Lärm) auch die möglichen Nebenwirkungen berücksichtigt werden sollen (Trennwirkungen oder Beeinträchtigung von Natur und Landschaft bei Lärmschutzwänden, fehlender Lärmschutz bei offenem (Lärmschutz-)Fenster). Tempo 30 im Quartier oder preisliche Massnahmen wie eine Abgabe auf Treibstoffen haben ein relativ breites Wirkungsspektrum und erhöhen unter anderem auch die Sicherheit im Verkehr. Die Beurteilung der Kosten-Wirksamkeit muss diesen möglichen Synergien (oder auch Konflikten) von Massnahmen Rechnung tragen. Für die Aggregation stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- Der Bezug der Kosten zu einer einzigen Umweltbelastung (Leitschadstoff) steht dann im Vordergrund, wenn die Wirkung einer Massnahme sehr homogen ist. Dies ist sinnvoll bei punktuellen technischen Massnahmen (z.B. Partikelfilter) oder bei fahrzeugbezogenen Lärmschutzmassnahmen.
- Eine Aggregation der Umweltbelastungen mit Hilfe einer Ökobilanz-Methode (z.B. Umweltpunkte) empfiehlt sich dann, wenn eine Massnahme in erster Linie emissionsseitige Verbesserungen zeitigt (z.B. verschiedene Luftschadstoffe und CO₂-Emissionen). Die verschiedenen Umweltverbesserungen lassen sich so in Ökopunkte-Einheiten ausdrücken.
- Falls eine Massnahme ein sehr breites Wirkungsprofil aufweist (z.B. Luft, Lärm, Sicherheit) ist eine Aggregation mit Schattenpreisen (Kosten der Umweltschäden) möglich. Die einzelnen Umweltbelastungen lassen sich hier in monetären Einheiten ausdrücken.

Generell weisen die verschiedenen Aggregationsmethoden grosse Unsicherheiten auf, In jedem Fall sollten deshalb auch die einzelnen Wirkungen gesondert dargestellt werden.

d) Kosten-Wirksamkeits-Indikator

Der Indikator fasst die einzelnen Teilberechnungen zusammen und lässt sich dreistufig darstellen:

**Kosten-Wirksamkeits-Indikator =
Einsparung Umweltbelastung pro Franken**

1. Darstellung der Kosten
 - direkte Kosten
 - Anpassungskosten
(evtl. Aufteilung nach Akteuren)
2. Darstellung der Wirkungen
 - Hauptbelastung (Leitschadstoff)
 - weitere Belastungen (quantitativ, qualitativ)
 - evtl. Aggregation
 - weitere Nebenwirkungen
3. Kosten-Wirksamkeits-Indikator
(disaggregiert, evtl. ergänzend aggregiert)

Um die Kosten-Wirksamkeit von Massnahmen beurteilen zu können, ist der Vergleich mit Referenzmassnahmen sinnvoll. Diese können je nach Umweltbereich und Anwendung sehr unterschiedlich sein. Denkbar sind Massnahmen aus anderen Bereichen (z.B. Gebäudebereich, einfache technische Massnahmen im Verkehrsbereich, netzweite Massnahmen als Referenz für lokale Massnahmen).

Weil die verschiedenen Berechnungsschritte grosse Unsicherheiten mit sich bringen, ist eine systematische Analyse mittels Sensitivitätsanalysen von grosser Bedeutung, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden.

3. Empirische Beispiele

Um die vorgeschlagene Methodik zu testen, sind für verschiedene Massnahmen konkrete Beispiele untersucht worden. Die Beispiele dienen einerseits dem Praktiker als Illustration (Berechnungsschritte, Annahmen, Resultate), andererseits können die Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzformen aufgezeigt werden. Schliesslich dienen

die Berechnungen auch als Referenz für die Einschätzung von verschiedenen Massnahmen im Rahmen einer umweltorientierten Verkehrspolitik.

a) Technische Massnahmen Luftreinhaltung

Berechnungen zur Kosten-Wirksamkeit von Massnahmen sind vor allem auf EU-Ebene durchgeführt worden, als Grundlage für die Festlegung der EURO-Abgasnormen.³ Diverse Studien haben dazu die Kosten und Wirkungen (vor allem Franken pro Tonne NO_x) für einzelne motorentechnische Massnahmen untersucht. Damit konnten die EURO-Normen auch aus ökonomischer Sicht legitimiert werden. Weil sich das Wirkungsspektrum im wesentlichen auf die Luftschadstoffemissionen beschränkt, ist die Interpretation eines Kosten-Wirksamkeits-Indikators relativ problemlos. Die Wirkungen lassen sich auch mit Hilfe von Umweltbelastungspunkten einfach aggregieren. Oft sind aber Aussagen über die Kosten unsicher. In der Regel werden sie überschätzt, da die andauernde technische Entwicklung und der Wettbewerb in der Motorenindustrie dafür sorgt, dass die Preise für moderne umweltschonende Technologien laufend sinken. In der Praxis dient die Kosten-Wirksamkeit dieser Massnahmen als Referenz für die Effizienz von weiteren – eher punktuell ausgerichteten – Massnahmen.

b) Technische Massnahmen im Lärmbereich

Im Gegensatz zu den technischen Massnahmen im Bereich Luftreinhaltung stehen im Lärmbereich konkrete räumliche Optimierungen im Vordergrund. Interessant ist die Kosten-Wirksamkeit vor allem bei der Optimierung von Lärmschutzmassnahmen an der Quelle (Fahrzeug) und infrastrukturbezogenen Lärmschutzmassnahmen (z.B. Lärmschutzwände). Vor allem die SBB haben diesbezüglich vertiefte Untersuchungen angestellt, um die Kostenfolgen der Massnahmen zur Einhaltung der Lärmschutzvorschriften abschätzen zu können. Am besten eignet sich der Vergleich der Kostenfolgen in Bezug auf das Potential (Anzahl geschützte Personen) anhand verschiedener Massnahmenszenarien.

c) Geschwindigkeitsbeschränkungen

Geschwindigkeitsmassnahmen weisen ein sehr breites Wirkungsspektrum auf. Neben verschiedenen Umweltbereichen sind auch Auswirkungen auf die Sicherheit zu er-

3 Ähnliche internationale Untersuchungen liegen für die Kosten-Wirksamkeit von technischen Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen vor (insbesondere für den PW-Verkehr).

warten. Ein eindimensionaler Indikator (z.B. Emissionsminderungen pro eingesetzten Franken) ist hier wenig aussagekräftig. Die einzelnen Beispiele (Autobahnen, Tempo 30 im Quartier) haben gezeigt, dass insbesondere die Annahmen über die Zeitkosten (relevante Zeitverluste und entsprechender Zeitwert) einen grossen Einfluss auf das Ergebnis haben können. Bei flächendeckenden Reduktionen sind diese Kosten bedeutender als bei punktuellen Massnahmen.

d) Preisliche Massnahmen

Preisliche Massnahmen (z.B. eine Erhöhung des Treibstoffpreises) lassen die individuellen Verhaltensmuster der einzelnen VerkehrsteilnehmerInnen bewusst offen. Deshalb sind konkrete Annahmen über das Wirkungsmodell notwendig. Der vorgeschlagene Ansatz zur Ermittlung der Anpassungskosten (Konsumentenrentenverluste) eignet sich gut. Sensitiv sind die Annahmen allerdings bezüglich der Elastizitäten. Für Reaktionen auf den Treibstoffpreis liegen national und international verlässliche Schätzungen vor. Wenn allerdings Reaktionen auf andere Preise (z.B. Km-Preis, Parkplatzpreis) ermittelt werden müssen, sind die Unsicherheiten grösser. Gleichzeitig ist das Wirkungsprofil relativ breit. Eine Aggregation der Wirkungen mit der Hilfe von Schattenpreisen, die die einzelnen Wirkungen monetär ausdrücken, ist zwar möglich, aber auch mit grossem Aufwand und Unsicherheiten verbunden. In der praktischen Anwendung ist deshalb eine präzise Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit von lokalen preislichen Massnahmen relativ schwierig.

e) Freiwillige Massnahmen

Freiwillige Massnahmen, zum Beispiel die Aktionen im Rahmen von 'Energie 2000' (Fahrkurs-Angebote 'Eco-Drive') stellen einen Sonderfall dar. Die Kosten der Massnahmen sind oft sehr gering, weil hier davon ausgegangen wird, dass die VerkehrsteilnehmerInnen die gewünschten Aktivitäten freiwillig durchführen, da sie davon ausgehen, dass sie in Zukunft Kosten (z.B. Treibstoffausgaben) sparen können. Dadurch fallen keine Anpassungskosten an.

f) Städtische Massnahmenpakete

Die Untersuchung von einzelnen städtischen Umweltschutzmassnahmen ist ein klassisches praktisches Anwendungsbeispiel, wie es etwa bei der Umsetzung der Luftreinhalte- resp. Lärmschutzverordnung auftritt. Die Kosten-Wirksamkeit kann als Indikator für die Optimierung von Massnahmenpaketen verwendet werden. Für eine solche Optimierung sind verschiedene Schritte notwendig:

- Kosten-Wirksamkeit von verschiedenen Dosierungen von Massnahmen, die als Hauptwirkungsträger bezeichnet werden können (z.B. Parkraummassnahmen, Kapazitätsbeschränkungen, Niedriggeschwindigkeitsszenario)
- Kosten von flankierenden Massnahmen (z.B. Kontrollkosten)
- Kosten von Ersatzkapazitäten (v.a. öffentlicher Verkehr)

Die untersuchten Beispiele zeigen, wie komplex die Wirkungsmechanismen sein können. Für eine detaillierte Ermittlung ist der Einsatz von differenzierten Verkehrsmodellen notwendig. Schwierig ist vor allem die Abgrenzung der Kosten für Ersatzkapazitäten. Würden etwa notwendige Investitionen von Erweiterungen im öffentlichen Verkehr den Massnahmen voll angerechnet werden, verschlechtert sich die Kosten-Wirksamkeit rapide. Auf der Wirkungsseite sind in der Regel Immissionen (anstelle von Emissionen) zu berücksichtigen und daher detaillierte Einwirkungsindikatoren (z.B. Anzahl weniger belastete Personen) in die Betrachtungen einzubeziehen.

4. Interpretation der Ergebnisse und Folgerungen

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Massnahmen in einer Übersicht.

a) Möglichkeiten und Grenzen des Ansatzes

Die Anwendung an konkreten Beispielen hat aufgezeigt, dass die Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit für technische Massnahmen sehr sinnvoll und nützlich sein kann, für verhaltensorientierte Massnahmen allerdings oft mit viel Aufwand und grossen Unsicherheiten verbunden ist. Die Grenzen und Interpretationsprobleme sollten deshalb offen kommuniziert werden. Auch die Anwendungsformen auf politischer Ebene (EU, UNO-Klimakonvention, Luftreinhalte- und Lärmschutzpolitik) machen deutlich, dass der Wert der Ermittlung der Kosten-Wirksamkeit vor allem darin liegt, dass Massnahmen optimiert werden können. Die Ansätze des Least-Cost-Planning gehen in diese Richtung, indem für bestimmte Ziele diejenigen Massnahmen gesucht werden, die am wenigsten Kosten verursachen. Generell aber gilt: Die Kosten-Wirksamkeit sollte nicht als alleiniges Entscheidungskriterium verwendet werden. Mindestens ebenso wichtig sind Kriterien wie Effektivität (Ausmass/Potential der Umweltverbesserung), Flexibilität und Nachhaltigkeit einer Massnahme (dynamische Anreizwirkungen für die betroffenen Akteure, soziale Wirkungen, etc.).

Massnahmenbereich	Massnahme	Kosten-Wirksamkeit		Weitere Wirkungen
		Luftschadstoffe [Gramm/Fr.]	Lärm [dB(A)/100'000Fr.]	
Technische Massnahmen Luftreinhaltung	PW (Benzin): EURO 2->3 EURO 3->4	NO _x UBP 20 2'200 19 2'200	--	Weitere Schadstoffreduktionen: HC CO
	LKW: EURO 2->3 EURO 3->4 Partikelfilter	NO _x PM UBP 100 - 7'300 54 3'900 3.1 340	--	Weitere Schadstoffreduktionen: HC CO
	Busse: Raps-Methyl-Ester Flüssiggas Alkohol Erdgas	NO _x UBP - 600 22 1'900 24 1'600 24 1'700	--	CO ₂ : 1,8 kg/Fr.
Technische Massnahmen Strassenverkehr Lärm (Kosten-Wirksamkeit in Modellraum)	Lärmschutzwand Schallschutzfenster	--	inn. auss. 3.1 3.4 3.3 6.6	Landschaft Wirkung nur bei geschl. Fenster
	Fahrbahnbeläge Motorenkapselung		7.6 10.4 55 35	
Technische Massnahmen Schienenverkehr Lärm (Kosten-Wirksamkeit in Modellraum)	Kunst.klotzbremesen mit. Monobloc-Räder PV+GV Kunstst./Monobloc GV Scheibenbremsen GV+PV Radschallabsorber GV Radschürzen GV	--	Tag Nacht 34 13 6.8 11 8.1 4.4 7.1 10 29 49	neg: Sicherheit neg: Sicherheit
Geschwindigkeitsbegrenzungen	Tempo 120->100 auf Autobahnen generell	NO _x PM 3-4 0.1-0.2	leicht positiv (Lärmreduktion: minus 0.9-1.2 dB(A))	CO ₂ : 0.4-0.5 kg/Fr. Unfallred: 1.7-2.3% Nutzen-Kosten-Verhältnis: 0.2-1.1
	Tempo 30 im Quartier flächendeckend	NO _x 3.1-4.8	leicht positiv (Lärmreduktion: minus 2 dB(A))	CO ₂ : 0.75 kg/Fr. Unfallred: 1-1.3% Nutzen-Kosten-Verhältnis: 1-4
Treibstoffpreiserhöhungen	Treibstoffabgabe 0.5 Fr./Liter	NO _x PM 60 6	leicht positiv (Lärmreduktion: minus 0.4-0.5 dB(A))	CO ₂ : 11.5 kg/Fr. Unfallred: 2.5% Nutzen-Kosten-Verhältnis: 3.8-5.4
Freiwillige institutionelle Massnahmen	Energiesparsame Fahrweise Mobilitätsmanagement	unsicher	leicht positiv	CO ₂ : 200-300 kg/Fr. 30-120 kg/Fr.
Städtische Massnahmen	Parkraumpolitik Fahrverbote Niedriggeschwind.	NO _x 8-47 4-16 3-13	leicht positiv	positiv: Stadtbild, Sicherheit, weitere Schadstoffe, CO ₂

Legende: UBP: Umweltbelastungspunkte PV: Personenverkehr
 PM: Partikel PM10 GV: Güterverkehr
 inn: innerorts
 auss: ausserorts
 Unfallred.: Reduktion der Unfälle, auf die Schweiz bezogen
 Nutzen-Kosten-Verhältnis: Eine Massnahme ist wirtschaftlich, falls das Verhältnis >1 ist.

Tabelle 1: Übersicht über die Kosten-Wirksamkeit der berücksichtigten Massnahmen: Je höher der Wert, desto besser die Kosten-Wirksamkeit. (Es werden immer die **Gesamtkosten** einer Massnahme der jeweiligen Wirkung angerechnet).

b) Folgerungen für die Praxis

Ein wichtiges Ziel der Studie sind praxisgerechte Vorschläge zuhanden von Verkehrsingenieuren, die es erlauben, die Kosten-Wirksamkeit verschiedener umweltbezogener Massnahmen in einfacher und transparenter Weise zu berechnen. Die Ausführungen haben gezeigt, dass

- der Betrachtungsrahmen und die Systemgrenzen am Anfang genau festgelegt werden müssen (Ausgestaltung der Massnahmen, zeitliche und räumliche Abgrenzungen) und gleichzeitig der zu betreibende Aufwand einzuschätzen ist.
- die durchgeführten empirischen Beispiele vor allem als Referenz- und Plausibilisierungsgrössen für die Kosten-Wirksamkeit von spezifischen lokalen Massnahmen dienen.
- die Ergebnisse (Kosten, Wirkungen, Nebenwirkungen) möglichst disaggregiert darzustellen sind, um eine transparente Kommunikation zu ermöglichen. Die Einschätzung der Unsicherheiten sollte einen hohen Stellenwert einnehmen.

c) Folgerungen für eine umweltorientierte Verkehrspolitik**Luftschadstoffe:**

Erwartungsgemäss weisen die technischen Massnahmen, die für die Einhaltung von verschärften Abgasgrenzwerten notwendig sind, ein relativ gutes Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis auf, insbesondere im Dieselmotorbereich (bei PKW und LKW) und bei alternativen Treibstoffen im öffentlichen Strassenverkehr. Im Vergleich zum Katalysator allerdings wird deutlich, dass die Effizienz von zusätzlichen technischen Luftreinhaltmassnahmen abnimmt.

Etwa gleich gut wie die technischen Massnahmen schneiden Treibstoffpreiserhöhungen ab. Andere verhaltensorientierte Massnahmen (Geschwindigkeitsbeschränkungen) haben dann eine geringere Kosten-Wirksamkeit, wenn man die anfallenden Kosten vollumfänglich den Emissionswirkungen zuschreibt. Dies ist allerdings nicht gerechtfertigt, da diese Massnahmen ein breiteres Wirkungsspektrum aufweisen. Für örtlich gezielte Wirkungen einerseits, aber auch für effizient veränderte Rahmenbedingungen sind diese Massnahmen sehr kostenwirksam.

Lärmbereich:

Eine hohe Kosten-Wirksamkeit weisen vor allem aktive Schallschutzmassnahmen (an der Quelle) auf. Im Schienenverkehr ist dabei das Lärm-Reduktionspotential deutlich

höher als im Strassenverkehr. Im Zentrum stehen Massnahmen zur Reduktion der Radschallausbreitung am Wagenmaterial (Bremsen, Radkasten). Die Analyse hat aber auch gezeigt, dass die eigentliche Kosten-Wirksamkeit erst im konkreten Raum (lokale Immissionen) umfassend interpretiert werden kann. Ein optimaler Lärmschutz kann teilweise erst in Kombination mit lokalen Infrastrukturmassnahmen, die punktuell die Immissionen wirksam senken, erzielt werden.

Energie und Klima:

Bei weitem das beste Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis bezüglich CO₂-Emissionen weisen die untersuchten freiwilligen Massnahmen des Ressorts 'Treibstoffe' im Rahmen von 'Energie 2000' auf. Es ist deutlich höher als vergleichbare preisliche oder ordnungspolitische Massnahmen. Dies zeigt, dass gezielt eingesetzte und erfolgsversprechende institutionelle Massnahmen sehr effizient sein können. Auf der anderen Seite ist sichtbar geworden, wie schwierig es ist, die erzeugten Wirkungen direkt auf die Aktivitäten des Ressorts zurückzuführen. Gleichzeitig sind aber die absoluten Wirkungspotentiale eher gering und beziehen sich – insbesondere bei der 'Eco-Fahrweise' – praktisch ausschliesslich auf CO₂.⁴

Ebenfalls ein sehr gutes Verhältnis weisen Treibstoffabgaben auf. Diese Tendenz verstärkt sich, wenn gleichzeitig auch noch andere positive Umwelteffekte dieser Massnahmen einbezogen werden.

Sicherheit und weitere Auswirkungen

Die meisten verhaltensorientierten Massnahmen weisen grosse Synergien auf und verbessern auch die Sicherheit. Dies gilt ganz speziell für Verkehrsberuhigungsmassnahmen wie Tempo 30. Bei städtischen Massnahmen sind auch positive Auswirkungen auf das Stadtbild zu erwarten. Bezieht man diese Effekte mit ein, indem die positiven Wirkungen mit Hilfe von Kostensätzen monetarisiert werden, so ergeben sich Nutzen/Kosten-Verhältnisse, die über 1 liegen, das heisst die Nutzen (vermiedene Kosten) sind grösser als die Kosten von Massnahmen. Sowohl Tempo 30 als auch Treibstoffpreiserhöhungen sind wirtschaftliche Massnahmen, deren volkswirtschaftlich messbare Nutzen die Kosten deutlich übersteigen. Demgegenüber schneiden flächendeckende Temporeduktionen auf Autobahnen schlechter ab, da hohe Zeitkos-

4 Bezüglich Luftschadstoffemissionen können sogar kontraproduktive Wirkungen erzeugt werden.

ten ins Gewicht fallen. Nur gezielt eingesetzte Tempolimits (auf einzelnen sensiblen Abschnitten) können ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielen.

d) Offene Forschungsfragen

Die Analyse der Kosten-Wirksamkeit befasst sich mit einer breiten und interdisziplinären Thematik und äussert sich gleichzeitig zur ökologischen und ökonomischen Effizienz von Massnahmen. Diese integrale Sichtweise erfordert eine Menge von Informationen und ruft vom wissenschaftlichen Standpunkt her zwangsläufig diverse offene Fragen auf. Zukünftige Forschungsaktivitäten in diesem Themenbereich sollte sich vor allem mit folgenden Problemstellungen befassen:

- Verbesserung der Kenntnis über Kosten und Wirkungen (Durchführung von Evaluationen, Verbesserung der Wirkungsmodelle, ökonomisch orientierte Verkehrsmodelle). Insbesondere die umweltseitigen Auswirkungen von Tempo 30 sind für die Schweiz noch relativ schlecht untersucht.
- Verbesserung der Grundlagen für die Anwendung der Indikatoren (Benchmarkanalyse und Vergleich mit anderen Bereichen, Least Cost Planning). Defizite sind auch punkto Aggregation von Wirkungen sichtbar. Ähnlich wie in Deutschland (EWS) erscheint es sinnvoll, Kosten-Wirksamkeits-Analysen in (umfassendere) Kosten-Nutzen-Analysen für Massnahmen bzw. Projekte im Verkehrsbereich zu standardisieren. Dazu müssten die einzelnen Wirkungsindikatoren mit standardisierten Aggregationsmethoden (oder mit Hilfe von Kostensätzen) stärker miteinander verknüpft werden.