

Geßner, Christian; Weinreich, Sigurd

Research Report — Digitized Version

Externe Kosten des Straßen- und Schienenverkehrslärms am Beispiel der Strecke Frankfurt - Basel

ZEW-Dokumentation, No. 98-08

Provided in Cooperation with:

ZEW - Leibniz Centre for European Economic Research

Suggested Citation: Geßner, Christian; Weinreich, Sigurd (1998) : Externe Kosten des Straßen- und Schienenverkehrslärms am Beispiel der Strecke Frankfurt - Basel, ZEW-Dokumentation, No. 98-08, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/39098>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Externe Kosten des Straßen- und Schienenverkehrslärms am Beispiel der Strecke Frankfurt – Basel

Christian Geßner
Sigurd Weinreich

Dokumentation Nr. 98-08

ZEW

Zentrum für Europäische
Wirtschaftsforschung GmbH

Centre for European
Economic Research

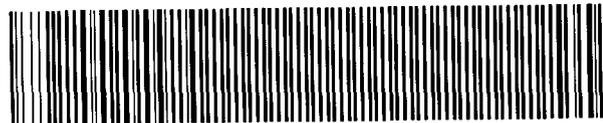
Externe Kosten des Straßen- und Schienenverkehrslärms am Beispiel der Strecke Frankfurt – Basel

von

Christian Geßner und Sigurd Weinreich

851372

C 212283



Juli 1998

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)

Diese Dokumentation basiert auf den Arbeiten des ZEW zu der im Auftrag der EU-Kommission DG VII im Jahre 1997 durchgeführten Studie „QUITS – Quality Indicators for Transport Systems“. Der überwiegende Teil der vorliegenden Arbeit wurde von Herrn Christian Geßner beim Institut für Interdisziplinäre Umweltökonomie, Prof. Requate, an der Universität Heidelberg als Diplomarbeit eingereicht.

Das Wichtigste in Kürze

Die vorliegende Arbeit, die die externen Kosten des Schienen- und Straßenverkehrslärms auf der Beispielstrecke Frankfurt-Basel für das Jahr 1995 ermittelt, stellt zum einen Informationen zur Förderung der ökonomischen Effizienz des jeweiligen Transportsystems bereit; zum anderen werden die Verkehrsträger Straße und Schiene in Hinblick auf ihre spezifische „Lärmproduktion“ verglichen.

Der erste Schritt - die Erstellung des Wertgerüsts - erfordert die Berücksichtigung psychologischer Erkenntnisse, da Lärm von jedem anders empfunden wird. In dieser Arbeit werden einschlägige empirische Studien genutzt, um die subjektiven Belästigungswirkungen des Lärms auf den Menschen in Abhängigkeit von objektiv meßbaren Dezibel-Werten (in 5-dB(A)-Klassen) darzustellen. Durch die Ermittlung der Zahlungsbereitschaften für „Ruhe“ (Tag / Nacht) von Personen, die sich den jeweiligen Lärmklassen ausgesetzt sehen, wird der Schaden durch Verkehrslärm in monetäre Größen gefaßt. Die Beobachtung, daß Schienenlärm meist weniger belästigend wirkt als Straßenlärm führt bei der Berechnung der Schallemissionen dazu, daß für alle Pegelklassen <75 dB(A) ein "Schienenbonus" von 5 dB(A) tagsüber und 10 dB(A) nachts gewährt wird. Die Spannweite der Zahlungsbereitschaften beträgt zwischen 240,-DM/a (bei ca. 50 dB(A)) und 975,-DM/a (bei ca. 75 dB(A)).

Das Mengengerüst bzw. die je 5-dB(A)-Klasse belästigten Personen werden mit Hilfe eines computerisierten Modells ermittelt, welches auf den Berechnungsvorschriften RLS-90 und Schall 03 für Straßen- und Schienenbauplanung basiert. Durch den verwendeten "Bottom-Up"-Ansatz gelingt es, sowohl verkehrsmittel- als auch orts- und streckenspezifische Informationen (Bevölkerungsdichte, Tempolimits, Fahrbahnbeläge, Lärmschutzwälle, etc.) in die Rechnung miteinfließen zu lassen.

Die Bewertung des Mengengerüsts für die Beispielstrecke Frankfurt-Basel liefert Kosten des Verkehrslärms von insgesamt 594 Mio. DM für das Jahr 1995. Davon werden 445,2 Mio. DM durch Straßenverkehr verursacht (ca. 62% durch Lkw). Für Schienenverkehrslärm ergeben sich 148,8 Mio. DM (ca. 65% durch Güterzüge).

Die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten des Personenverkehrs betragen rund 15 DM/1000 pkm für Pkw und 24,8 DM/1000 pkm für die Bahn. Die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten des Güterverkehrs summieren sich zu rund 29 DM/1000 tkm auf der Straße und 12,0 DM/1000 tkm bei der Bahn.

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN.....	v
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN.....	vi
1 EINLEITUNG.....	1
2 DAS PHÄNOMEN LÄRM.....	4
2.1 Definition, Einflußgrößen und Wirkungen auf den Menschen	4
2.2 Messung von Lärm.....	8
2.3 Besonderheiten von Straßen- und Schienenverkehrslärm.....	14
2.3.1 Straßenverkehrslärm.....	14
2.3.2 Schienenverkehrslärm	16
2.3.3 Rechtliche Grundlagen	17
2.4 Interdisziplinäres Fazit	19
3 MONETARISIERUNG DES EXTERNEN EFFEKTES VERKEHRSLÄRM.....	22
3.1 Theorie der externen Effekte.....	22
3.1.1 Definition und Kategorien externer Effekte	24
3.1.2 Der externe Effekt Verkehrslärm	29
3.1.3 Das pareto-optimale Lärmschutzniveau	33
3.2 Vermeidungskostenansatz.....	37
3.2.1 Lärmschutz im Straßen- und Schienenverkehr.....	37
3.2.1.1 Aktiver Lärmschutz Straße.....	37
3.2.1.2 Aktiver Lärmschutz Schiene	39
3.2.1.3 Passiver Lärmschutz.....	40
3.2.2 Einschätzung des Vermeidungskostenansatzes	40
3.3 Schadenskostenansatz	42
3.3.1 Schadensermittlung versus Präferenzenmessung	43
3.3.1.1 Unmittelbare Bestimmung (First-best Lösung).....	43
3.3.1.2 Präferenzenermittlung	43
3.3.2 Kompensationskonzepte der Kosten-Nutzen-Analyse	45
3.3.2.1 Equivalent Variation versus Compensating Variation.....	45
3.3.2.2 Auswahl des geeigneten Kompensationskonzeptes.....	46

3.3.3. Geeignete Bewertungsmethoden für Lärm	47
3.3.3.1 Contingent Valuation Method (CVM).....	48
3.3.3.2 Hedonic Pricing Approach (HPA).....	55
3.4. Auswahl des Monetarisierungsverfahrens für Lärm und Ableitung des eigenen Bewertungsansatzes	58
3.4.1 Die CVM als geeignetes Monetarisierungsverfahren für Lärm.....	58
3.4.2 Die Studie von Weinberger/Thomassen/Willeke (1991)	59
3.4.3 Der eigene Bewertungsansatz.....	62
4 EXTERNE KOSTEN DURCH STRASSEN- UND SCHIENENVERKEHRSLÄRM	
AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL	65
4.1 Methodische Grundlagen	66
4.1.1 Der "Bottom-Up"-Ansatz zur Erstellung des Mengengerüsts	66
4.1.2 Durchschnittskosten versus Grenzkosten	68
4.2 Straße.....	69
4.2.1 Das Mengengerüst der Lärmbelastung	69
4.2.1.1 Emission	71
4.2.1.2 Dispersion und Immission	76
4.2.2 Externe Kosten	78
4.3 Schiene	80
4.3.1 Das Mengengerüst der Lärmbelastung	80
4.3.1.1 Emission	80
4.3.1.2 Dispersion und Immission	84
4.3.2 Externe Kosten	85
4.4 Vergleich Straße-Schiene und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	86
4.5 Methodische Kritik.....	90
4.6 Einordnung der Fallstudienresultate	91
5 SCHLUSSBETRACHTUNG	93
LITERATURVERZEICHNIS.....	96

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

16.BImSchV	Sechzehnte Bundes-Immissions- schutz-Verordnung (=Verkehrs- lärmschutzverordnung)	ICE	InterCityExpress
a	Jahr	INFRAS	Berater für Umwelt, Wirtschaft und Politik, Zürich.
A5	Autobahn 5	IPOS	Institut für praxisorientierte Sozialforschung, Mannheim.
ABL	Alte Bundesländer	IR	InterRegio
B-W	Baden-Württemberg	IWW	Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, Karlsruhe.
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach.	K1	Sensorische Belästigung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz- Gesetz	K2	Attributive Belästigung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit	K3	Belästigung der Kommunikation
BMV	Bundesministerium für Verkehr	km	Kilometer
c.p.	ceteris paribus = unter sonst gleichen Umständen	KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
CV	Kompensierende Variation	KR	Konsumentenrente
CVM	Kontingente Evaluierungs- methode (engl. contingent valuation method)	l	Länge
D	D-Zug	L	Schallpegel
d	Distanz in Metern	L1,L2,L3,L4	Mittlungspegel der jeweiligen Zugklassen nach Pegelhöhe
DB	Deutsche Bundesbahn	LDS	Landesamt für Datenverarbei- tung und Statistik Nordrhein- Westfalen, Düsseldorf
D_B	Korrekturfaktor für baulichen Lärmschutz	L_{eq}	Äquivalenter Dauerschallpegel (= L_m)
dB(A)	Dezibel (A-bewertet)	LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
DBAG	Deutsche Bahn Aktien Gesellschaft	lg	Logarithmus
D_{dist}	Korrekturfaktor für die Entfer- nung von der Schallquelle	LG	Landesgrenze Hessen/Baden- Württemberg
D_{Stro}	Korrekturfaktor für Straßenoberflächen	Lkw	Lastkraftwagen
dt.	deutsch	L_m	Mittelungspegel (=L _{eq})
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr (24-Stunden-Basis)	L_r	Beurteilungspegel
D_v	Korrekturfaktor für Fahrtempo	L_{gesamt}	Aggregierter Mittelungspegel im Schienenverkehr.
D_{v1}	Korrekturfaktor für Zugtempo und Zuglängen	m²	Quadratmeter
EC	EuroCity	n	Anzahl der Züge je Zugtechnologie
engl.	englisch	N	Nahverkehrszug
et al.	und andere	NBL	Neue Bundesländer
EU	Europäische Union	p	Anteil der Lkw am Gesamtverkehr
EV	Äquivalente Variation (engl. Equivalent Variation)	PGK	Private Grenzkosten
ExternE	Externalities of Energy	PGN	Privater Grenznutzen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln	pkm	Personenkilometern
Fz	Fahrzeug	Pkw	Personenkraftwagen
Fzkm	Fahrzeugkilometer	PR	Produzentenrente
G	Güterzug	QUITS	Quality Indicators for Transport Systems
GSK	Grenzschadenskosten	REM	Rapid Eye Movement (Tiefschlafphase).
GVK	Grenzvermeidungskosten	S	Schallintensität
h	Stunde	S₀	Bezugsschallintensität
HaCon	HaCon Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover	SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschland
HPA	Hedonistischer Preis-Ansatz	StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
Hz	Hertz	tkm	Tonnenkilometer
IC	InterCity	v	Geschwindigkeit
		WTA	Willingness to Accept (=WTS)
		WTP	Willingness to Pay
		WTS	Willingness to Sell (=WTA)

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN

ABBILDUNG 1: DER MITTELUNGSPEGEL ALS BELASTUNGSMAß FÜR VERKEHRSLÄRM..	9
ABBILDUNG 2: BEZIEHUNG ZWISCHEN DEN STICHPROBENMITTELWERTEN DER BELÄSTIGUNGS-KOMPONENTEN UND DEN ZUGEHÖRIGEN BELASTUNGSWERTEN L_M .	12
ABBILDUNG 3: ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT ÜBER TYPISCHE GERÄUSCHE, LÄRMWIRKUNGEN UND GRENZWERTE.	21
ABBILDUNG 4: INEFFIZIENZ DES SYSTEMS INFRASTRUKTURNUTZUNG DURCH DIE EXTERNALITÄT VERKEHRSLÄRM.	31
ABBILDUNG 5: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG VON (GRENZ-) VERMEIDUNGSKOSTEN UND (GRENZ-) SCHADENSKOSTEN DER VERKEHRSLÄRMBELASTUNG.	34
ABBILDUNG 6: ÜBERBLICK ÜBER MONTARISIERUNGSANSÄTZE FÜR DIE EXTERNALITÄT VERKEHRSLÄRM.	36
ABBILDUNG 7: RELATIONEN VERSCHIEDENER ENTSCHÄDIGUNGSKONZEPTE.	46
ABBILDUNG 8: JÄHRLICHE ZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN FÜR "NAHEZU KEIN LÄRM" TAGSÜBER NACH LÄRMBELASTUNGSKLASSEN.	63
ABBILDUNG 9: JÄHRLICHE ZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN FÜR "NAHEZU KEIN LÄRM" NACHTS NACH LÄRMBELASTUNGSKLASSEN.	64
ABBILDUNG 10: DER WIRKUNGSPFAD-ANSATZ FÜR LÄRM.	67
TABELLE 1: AN DIE LÄRMBELASTUNG GEKOPPELTE BELÄSTIGUNGSKLASSEN UND DOMINIERENDE KOMPONENTEN.	13
TABELLE 2: IMMISSIONSGRENZWERTE DER LÄRMVORSORGE IN DB(A).	18
TABELLE 3: IMMISSIONSGRENZWERTE DER LÄRMSANIERUNG AN BUNDESFERNSTRABEN IN DB(A).	19
TABELLE 4: DIE SOZIALEN KOSTEN DES TRANSPORTS.	28
TABELLE 5: METHODEN DER MONETARISIERUNG VON UMWELTGÜTERN	47
TABELLE 6: EIGNUNG DER VERFAHREN ZUR PRÄFERENZERMITTLUNG.	47
TABELLE 7: DIE MITTLEREN INDIVIDUELLEN MIETZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN BEI STRABENLÄRM (IN DM, BASISJAHR 1990).	61

TABELLE 8: DIE MITTLEREN INDIVIDUELLEN MIETZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN BEI SCHIENENVERKEHRSLÄRM IN DM, BASISJAHR 1990 (IN KLAMMERN DIE ENTSPRECHENDEN ZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN BEI STRAßENVERKEHRSLÄRM).....	61
TABELLE 9: DIE MITTLEREN INDIVIDUELLEN MIETZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN (ZB) PRO JAHR BEI STRAßENVERKEHRSLÄRM (IN DM, BASISJAHR 1995) FÜR „NAHEZU KEIN LÄRM“.....	62
TABELLE 10: DIE MITTLEREN INDIVIDUELLEN MIETZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN FÜR "NAHEZU KEIN LÄRM" PRO JAHR BEI SCHIENENVERKEHRSLÄRM (IN DM, BASISJAHR 1995).....	63
TABELLE 11: VERLAUF DER AUTOBAHNSTRECKE FRANKFURT-BASEL UND BASISDATEN.....	70
TABELLE 12: ANGENOMMENE DURCHSCHNITTLICHE GESCHWINDIGKEITEN BEI GEGEBENEN ZULÄSSIGEN HÖCHSTGESCHWINDIGKEITEN.....	72
TABELLE 13: DER KORREKTURFAKTOR D_{STRO} FÜR VERSCHIEDENE STRAßENOBERFLÄCHEN.....	72
TABELLE 14: DIE LÄNGE VON LÄRMSCHUTZEINRICHTUNGEN AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.....	73
TABELLE 15: LÄRMSCHUTZMAßNAHMEN AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.....	73
TABELLE 16: AUSWAHL DER LÄRMSCHUTZSEGMENTE AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL.....	74
TABELLE 17: DIE BERECHNUNG DES BEURTEILUNGSPEGELS $L_R(25)$ BEI AUSGEWÄHLTEN SEGMENTEN DER AUTOBAHNSTRECKE FRANKFURT-BASEL.....	75
TABELLE 18: DIE BERECHNUNG DES BELASTETEN GEBIETES IN METERN JE 5-DEZIBEL-KLASSE.....	76
TABELLE 19: DIE BERECHNUNG DES BELASTETEN BEVÖLKERUNG JE 5-DEZIBEL-KLASSE.....	77
TABELLE 20: GESAMTE EXTERNEN KOSTEN DURCH AUTOBAHNLÄRM AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.....	78
TABELLE 21: SPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN EINER PKW- BZW. LKW-FAHRT VON FRANKFURT NACH BASEL IM JAHR 1995.....	79
TABELLE 22: BASISDATEN FÜR DIE BAHNSTRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.....	80
TABELLE 23: ZUSCHLAGSWERTE DURCH ZUGTEMPO UND -LÄNGE NACH ZUGTECHNOLOGIE AM BEISPIEL DES SEGMENTES MANNHEIM-KARLSRUHE.....	82

TABELLE 24: SKALIERUNG DER "LÄRMSCHUTZKILOMETER" AN SCHIENEN IN BADEN- WÜRTTEMBERG AUF DIE STRECKE FRANKFURT-BASEL.....	82
TABELLE 25: DIE BERECHNUNG DES GESAMTBEURTEILUNGSPEGELS $L_R(25)$ BEI AUSGEWÄHLTEN SEGMENTEN DER BAHNSTRECKE FRANKFURT-BASEL.	83
TABELLE 26: DIE GESAMTEN EXTERNE KOSTEN DURCH SCHIENENVERKEHRSLÄRM AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.	85
TABELLE 27: BASISDATEN ZUR BERECHNUNG DER FAHRZEUGSPEZIFISCHEN EXTERNEN KOSTEN DES SCHIENENVERKEHRLÄRMS AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM JAHR 1995.....	85
TABELLE 28: SPEZIFISCHE EXTERNE LÄRMKOSTEN (PRO PERSONEN- BZW. GÜTERZUG) EINER BAHNFAHRT VON FRANKFURT NACH BASEL IM JAHR 1995.	86
TABELLE 29: PERSONEN- BZW. TONNENSPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN FÜR EINE FAHRT TAGSÜBER VON FRANKFURT NACH BASEL IM JAHR 1995.	87
TABELLE 30: PERSONEN- BZW. TONNENSPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN FÜR EINE FAHRT NACHTS VON FRANKFURT NACH BASEL IM JAHR 1995.	87
TABELLE 31: SPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN DES STRAßEN- UND DES SCHIENENVERKEHRS, GETRENNT NACH PERSONEN- UND GÜTERVERKEHR FÜR EINE FAHRT VON FRANKFURT NACH BASEL IM JAHR 1995.	88
TABELLE 32: ZUSAMMENFASSUNG DER HAUPTANNAHMEN UND ERGEBNISSE.....	89
TABELLE 33: SPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL IM VERGLEICH ZU AKTUELLEN "TOP-DOWN"-STUDIEN AUF CVM-BASIS	91

1 EINLEITUNG

„Eines Tages wird der Mensch den Lärm ebenso unerbittlich bekämpfen müssen wie Cholera und Pest.“¹

Robert Koch, Arzt und Forscher (1910)

Der Kampf gegen Cholera und Pest scheint heutzutage zumindest hierzulande gewonnen. Die komplexe Problematik der „Volkskrankheit“ Lärm hat sich hingegen verschärft. Als die störendste unter einer Vielzahl von Schallquellen läßt sich dabei der Verkehr, insbesondere der Straßenverkehr ausmachen. Fühlten sich in den alten Bundesländern (ABL) Anfang der 80er Jahre von zehn Bundesbürgern etwa vier durch Straßenverkehrslärm in ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt, so traf dies im Jahre 1994 bereits auf sieben zu, von denen sich zwei stark belästigt fühlten (Kastka 1984a: 3, Ortscheid 1996: 23).² Andere Verkehrsträger wiesen dagegen im gleichen Jahr eine wesentlich geringere Anzahl Lärmbelästigter auf. Vom Flugverkehr fühlten sich in den ABL (NBL) 46% (27%) belästigt, davon 10% (3%) stark, während der Schienenverkehrslärm, sowohl in den ABL als auch in den NBL, lediglich von 25% der Bevölkerung als störend (von 3% als stark störend) empfunden wurde (Ortscheid 1996: 17).

Es wird deutlich, daß eine Nachfrage nach einer ruhigeren Umwelt durchaus besteht, diese sich aber an einem realen Markt nicht direkt äußern kann. Die Wirtschaftssubjekte einer Volkswirtschaft sind somit gezwungen, ihren Präferenzen durch die Forderung nach verstärkter staatlicher Regulierung Ausdruck zu verleihen (Maddison 1995: 358).³ Das institutionelle Versagen gegenüber dem nicht-marktfähigen Übel Verkehrslärm wird deutlich.

Das Grundproblem liegt darin, daß das bei der Erzeugung von Verkehrsleistung anfallende Kuppelprodukt Lärm für die Verursacher eine kostenlose Größe darstellt. Die Verkehrsteilnehmer sind somit nicht gezwungen, die Lärmschäden in ihrem privaten, internen Entscheidungskalkül zu berücksichtigen, weshalb diese Art von Effekt auch als extern bezeichnet wird. Weitere negative externe Effekte des Verkehrs, die durch die Geschädigten getragen werden müssen, sind insbesondere Unfälle, Luftverschmutzung und Klimawandel.

Um die verursachergerechte Anlastung (Internalisierung) negativer externer Effekte zu ermöglichen, ist zum einen die Erfassung sämtlicher Schäden notwendig (Mengengerüst). In einem zweiten Schritt sind die quantifizierten Wirkungen mit

¹ Zitiert nach Cramer (1978: 11).

² In den neuen Bundesländern (NBL) liegen die Belästigungszahlen noch höher. Von zehn Bürgern fühlten sich nahezu acht durch Straßenverkehrslärm belästigt, vier schätzten ihr Wohlbefinden als stark beeinträchtigt ein (Ortscheid 1996: 17).

³ Dies zeigt sich anhand der hohen Zahl an Lärmbeschwerden, die im Jahre 1986 knapp über die Hälfte aller Eingaben an den Petitionsausschuß des Bundestages betrafen (Jansen 1986: 3).

Geldeinheiten zu bewerten (Monetarisierung), damit schließlich durch die Addition interner und externer Kosten die "wahren" Kosten des Verkehrs sichtbar gemacht werden können. Denn nur durch eine solche „Kostenwahrheit“ kann der Transportfaktor tatsächliche Wirtschaftsentscheidungen unverzerrt und angemessen beeinflussen. Ein gleichberechtigter Wettbewerb aller Verkehrsträger wäre möglich, so daß jeder Konkurrent seine komparativen Vorteile optimal anbieten könnte.

Solange diese Kostenwahrheit jedoch nicht besteht, sind die externen Kosten von der Gesellschaft zu tragen (Gemeinlastprinzip).

Allein die externen Kosten durch Verkehrslärm in Deutschland liegen nach aktuellen Studien zwischen 14,9 Milliarden DM (Huckestein/Verron 1995: 32) und 17,7 Milliarden DM pro Jahr (IWW/INFRAS 1995: 119). Davon lassen sich etwa 70 bis 90 Prozent der Kosten dem Straßenverkehr zurechnen (Bickel/Friedrich 1995: 84).

Die den Kostenermittlungen zugrundeliegenden Mengengerüste werden wie meist üblich nach dem sog. "Top-Down"-Ansatz berechnet, der aus hochaggregierten Daten die Durchschnittskosten der Lärmbelastung kalkuliert. Aus theoretischer Sicht ist hingegen der sog. „Bottom-Up“-Ansatz vorzuziehen, der auf orts- und technologie-spezifischen Daten basiert und geeignet ist, die Grenzkosten des Verkehrslärms bereitzustellen.

Im Gegensatz zu den meisten aktuellen Studien über die externen Kosten des Verkehrslärms, soll in dieser Arbeit der realitätsnahe "Bottom-Up" Ansatz verwendet werden. Als Fallbeispiel für die statische ex-post Analyse wurde dazu die Strecke Frankfurt-Basel im Jahre 1995 verwendet. Die Wahl des Streckenabschnitts spezifiziert eine derjenigen Strecken, die im Rahmen des EU-Projektes QUITTS festgelegt wurden. Denn dort dient neben den Strecken München-Patras und London-Lille auch die Strecke Frankfurt-Mailand als Beispielstrecke (**vgl. dazu Discussionpaper No. 98-06**). Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einem Teilabschnitt der letztgenannten Strecke, da hier die Datenlage weitaus besser einzuschätzen ist als auf den anderen Streckenabschnitten und dabei das Hauptkriterium der Umsteigemöglichkeit (modal switch) zwischen den Verkehrsträgern Straße und Schiene als Grundlage der vergleichenden Analyse erfüllt bleibt.

Dabei werden die externen Lärmkosten der Verkehrsträger Schiene und Straße auf der Basis naturwissenschaftlicher und psychologischer Erkenntnisse ermittelt und gegenübergestellt, um somit auf vorliegende Ineffizienzen aufmerksam zu machen und in Hinblick auf Lärm einen Vergleich der beiden Transportsysteme zu ermöglichen.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut. In **Kapitel 2** wird das Phänomen Lärm aus interdisziplinärer Sicht (Akustik, Psychologie, Umwelthygiene) beleuchtet. Es

werden Einflußgrößen und Wirkungen von Lärm, Möglichkeiten der Messung sowie bisherige Bekämpfungsmaßnahmen und relevante Gesetzestexte vorgestellt, um einen Einblick in die aktuelle Problematik zu ermöglichen. Dabei wird insbesondere auf die Besonderheiten von Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm und die damit verbundenen Implikationen für die Fallstudie Frankfurt- Basel eingegangen.

Das **Kapitel 3** betrachtet das Phänomen Verkehrslärm aus der ökonomischen Perspektive. Es liefert die wirtschaftstheoretische Grundlegung zur Monetarisierung der externen Effekte des Verkehrslärms und diskutiert verschiedene Monetarisierungsmethoden. Unter Einbeziehung der für Lärm wesentlichen psychologischen Aspekte wird daraufhin der eigene Bewertungsansatz entwickelt, welcher sich aus einem als geeignet erachteten Schadenskostenansatz herleitet.

In **Kapitel 4** werden die Verkehrsträger Straßen und Schiene im Hinblick auf ihre Lärmbelastigungswirkung für die Strecke Frankfurt-Basel untersucht. Dazu werden zunächst die benötigten Mengengerüste für Straße und Schiene jeweils aufgeteilt in Personen- und Güterverkehr sowie in Tag- und Nachtverkehre aufgestellt. Nach der Ermittlung der Belastungssituation werden Straßen- und Schienenverkehrslärm gemäß des in Kapitel 3 abgeleiteten Bewertungsansatzes monetarisiert.

Die gesamten und spezifischen externen Kosten der beiden Verkehrsträger werden schließlich gegenübergestellt und aus methodischer Sicht kritisch hinterfragt. Es folgt ein Vergleich mit Werten aus internationalen Studien und eine kurze Einordnung der Lärmkosten in die gesamten externen Kosten des Verkehrs.

Das **Kapitel 5** bildet die Schlußbetrachtung. Nach einem kurzen Überblick über allgemeine Probleme der Monetarisierung werden die Ergebnisse der Fallstudie im Rahmen eines Ausblickes abschließend eingeschätzt.

2 DAS PHÄNOMEN LÄRM

2.1 Definition, Einflußgrößen und Wirkungen auf den Menschen

Offensichtlich fühlen sich viele Menschen durch Lärm belästigt, und zwar auf ganz individuelle Art und Weise. Was vom einen als Wohlklang empfunden wird (z.B. Musik), ist für den anderen einfach nur Krach oder Lärm. Es stellt sich daher die Frage, wie sich Lärm allgemein definieren läßt.

Im deutschen Sprachgebiet taucht der Begriff erstmals im 16. Jahrhundert auf. Das Wort „lerman“ wurde damals in Anlehnung an den Ausruf „allarme“-zu den Waffenbenutzt. Es bezeichnete Schallereignisse, die Furcht und Schrecken auslösen und die Umweltorientierung stören (Hermann 1994: 27). Während damals die archetypische Funktion des Ohres als Warnorgan betont wurde, gilt heutzutage ein eher physikalisch geprägter Lärmbegriff als kleinster gemeinsamer Nenner zahlreicher Definitionsversuche: Lärm als unerwünschter Schall (Höger 1993: 47).

Einflußgrößen

Betrachtet man nun Einflußgrößen, die Schall zu Lärm werden lassen, so sind physikalische und psychologische Faktoren zu unterscheiden.

Die Akustik betreffend ist zunächst die Lautstärke des Geräusches zu nennen. Je lauter ein Geräusch ist, desto belästigender wird es empfunden (sogenannte Lautheitsregel). Desweiteren sind insbesondere die Dauer, der zeitliche Verlauf (Dynamik) sowie die spektrale Zusammensetzung des Geräusches von Bedeutung (Höger 1993: 47). Die akustischen Determinanten allein sind für eine Erklärung der Gesamtbelästigung allerdings unzureichend. Lediglich etwa ein Drittel der Spannweite individueller Reaktionen auf Lärm läßt sich heutzutage durch physikalisch meßbare Größen erklären (Ortscheid 1996: 15). Zwei Drittel hängen vielmehr von nicht-akustischen, psychologischen Faktoren⁴ ab. Anschaulich wird dieser Zusammenhang, wenn man das unterschiedliche Empfinden von Meeres- und Autobahnrauschen bei gleichen Belastungspegeln oder etwa den „Klang“ eines aufheulenden Motors, der den einen begeistert und den anderen verschreckt, betrachtet. Die folgenden psychosozialen Variablen sind im wesentlichen von Bedeutung (Höger 1993: 48, Balke 1983: 2):

⁴ Es lassen sich Moderatorvariablen und Determinanten unterscheiden. Während letztere einen direkten Zusammenhang mit der Schallsituation aufweisen (z.B. momentane Beschäftigung, individuelle Lärmempfindlichkeit), bezeichnen erstere indirekte psychologische Einflußfaktoren (z.B. sozialer Status, Alter und Geschlecht).

- Die Einstellungen der Betroffenen zur Schallquelle, zum Verursacher, zum Schall selbst (Gewöhnungsbereitschaft);
- Die wahrgenommene Möglichkeit, sich vor den negativen Folgen des Lärms zu schützen (Kontrollaspekt);
- Die individuelle Lärmempfindlichkeit (dispositionelle Variable);
- Alter, Geschlecht, Sozialstatus und Gesundheit.

Lärmwirkungen auf den Menschen

„Der Lärm aber ist die impertinenteste aller Unterbrechungen, da er sogar unsere eigenen Gedanken unterbricht, ja, zerbricht.“⁵

Schopenhauer (1947: 680)

Lärm wird offensichtlich von jedem anders empfunden. Doch das heißt nicht, so wie es nahezu liegen scheint, daß man sich an ihn gewöhnen kann (Weinberger et al. 1991: 72). Schädliche Wirkungen setzen, von der Lärmwirkungsforschung bis in die 80er Jahre unterschätzt, bereits bei Pegelbelastungen ein, die von Betroffenen überhaupt nicht als belastend wahrgenommen werden (<60 dB(A)⁶). Die moderne Lärmwirkungsforschung unterscheidet üblicherweise aurale (das Gehör betreffende) und extraaurale Wirkungen. Insbesondere sind die organismischen Funktionsbereiche Gehör, Zentralnervensystem, Herz-Kreislaufsystem und endokrines System⁷ betroffen.

Im Rahmen der auralen Schadwirkungsmechanismen sind zum einen Innenohrschäden, verursacht durch Schallpegel über 85 dB(A), zu nennen, welche von einer vorübergehenden Verminderung des Hörvermögens bis zur irreparablen völligen Taubheit führen können. Zum anderen lassen sich Stoffwechselüberlastungsschäden durch länger andauernde, intensive funktionelle Beanspruchung sowie Störungen der Mikrozirkulation im Innenohr, als Reaktion auf Beschallung mit hohen Pegeln, beobachten (Ising/Rebentisch 1992: 274).⁸ Insgesamt betrachtet sind aurale Lärmschäden durch Verkehr jedoch verhältnismäßig selten. Als Beispiele ließen sich der Lärm eines Flugzeugtriebwerkes in etwa 50-100 m Entfernung (100 bis 130 dB(A)) oder extremer Stadtverkehrs- insbesondere Motorradlärm (bis 100 dB(A)) nennen (Weinberger et al. 1991: 37).

⁵ Zitiert nach Kastka (1984a: 3).

⁶ Das genannte Maß wird in Kapitel 2.2 eingehend erläutert.

⁷ Das endokrine System ist für die Regelung des Hormonhaushaltes zuständig.

⁸ Derartige lokale Störungen führen zur Degeneration der Haarzellen im Corti'schen Organ (Sinnesorgan des Ohres), die für die Umsetzung mechanischer Schwingungen in elektrochemische Reize, die "Sprache des Gehirns" zuständig sind (Mager 1982: 16). Da jene Haarzellen nicht nachwachsen, verbleiben nach deren Absterben irreparable Hörschäden. Diese äußern sich zeitverzögert in einer Verschiebung der Hörschwellen, lassen sich also nur im nachhinein feststellen.

Die extraauralen Schäden sind hingegen von größerer Relevanz. Im folgenden sollen die komplexen Wirkungsmechanismen zum besseren Verständnis getrennt nach physischen und psychischen Komponenten diskutiert werden, obgleich beide zum Teil eng miteinander zusammenhängen.

Aus rein physischer Sicht setzt nach Höger (1993: 49) ab einem Verkehrslärmpegel von ca. 60 dB(A) eine unwillkürliche Erhöhung des Erregungsniveaus des vegetativen Nervensystems ein. Der Störung folgt eine Akutreaktion. Das endokrine System schüttet Stresshormone aus und der Blutdruck steigt, das Herzinfarktrisiko erhöht sich. Der Berliner Tagesspiegel (Kurpjuweit 1997: 17) berichtet von einem im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung 80fach erhöhten Herzinfarktrisiko für Anwohner des Hauptstraßennetzes Berlin, und stützt sich dabei auf eine bislang unter Verschluss gehaltene Studie der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz. Basierend auf epidemiologischen Studien des deutschen Bundesgesundheitsamtes mit dem Medical Research Council in Großbritannien sind dem Verkehrslärm insgesamt mindestens 2% aller Herzinfarkte in Deutschland anzulasten (Ising/Rebentisch 1992: 276).⁹

Der akute Stress ändert zudem den Mineralstoffwechsel. Dem Körper wird vor allem Magnesium entzogen, was ihn gegenüber Lärm wiederum stärker sensibilisiert (Ising/Rebentisch 1992: 276). Desweiteren ändern sich Durchblutung, Atemfrequenz, Muskeltonus und somit insbesondere auch die Schlafqualität. Letztere wird bereits ab einem tagsüber nahezu unbedenklichen Spitzenpegel um 35 dB(A) beeinträchtigt. Die Schlaftiefe verringert sich, REM¹⁰-Phasen werden verkürzt und treten verspätet ein (Heidenblut 1981: 57-58). Aufwachreaktionen und Einschlafstörungen lassen sich bei Maximalpegeln ab etwa 40 dB(A) (im Wohnraum gemessen) feststellen (Ising/Rebentisch 1992: 276). Bei einem Immissionspegel von 50 dB(A) beträgt die Wahrscheinlichkeit des Aufwachens bereits über 50%. In einer Studie von 1993 wurde nachgewiesen, daß nachts bei geöffnetem Fenster bei mehr als 50% der Bevölkerung in Deutschland ein entsprechender Pegel vorherrscht. Bei geschlossenen Fenstern sind noch immer ca. 30% betroffen (Höger 1993: 53, LfU 1995: J-4).

Doch nicht nur die Erholung des Körpers wird durch Lärm beeinträchtigt. Auch das psychische Wohlbefinden ist durch die Störung der Rekreationsfunktion beeinträchtigt, was sich gerade am Feierabend und an Wochenenden bemerkbar macht (Höger 1993: 51). In diesen Zeiträumen besteht ein erhöhtes Bedürfnis nach einer lärmarmen Umwelt, das sich häufig in Form der „Flucht“ in ruhige Erholungsgebiete äußert. Der zunehmende Freizeitverkehr verschärft dabei wiederum

⁹ Ein grundlegendes Problem derartiger Studien liegt darin, den Verkehrslärm als ursächlichen Faktor für Herzinfarkte zu isolieren (Höger 1993: 49). Allein die Abgrenzung Schall und Vibration ist problematisch und führt leicht zu einer falschen Beurteilung der gesamten Reizsituation (Meloni 1991: 5).

¹⁰ REM=Rapid Eye Movement (Tiefschlafphase).

die Problematik und macht eine Regeneration in „Oasen der Stille“ immer schwieriger. Besonders problematisch ist zudem die kumulierte Dauerbelastung durch Verkehrs-, Arbeitsplatz-, Freizeit- und Umweltgeräusche einzuschätzen, der sich der deutsche Durchschnittsbürger heutzutage ausgesetzt sieht (Höger 1993: 48).

Als gravierendste psychische Wirkung von Lärm wird allerdings die Störung der Kommunikation empfunden (Höger 1993: 50). Geräusche behindern dabei den Sprecher stärker als den Zuhörer. Sprache reduziert sich durch den Störeinfluß auf das unbedingt Nötige und verarmt. Die Sprachverständlichkeit für Sätze sinkt bereits auf 50%, wenn der Störpegel um 6 db(A) über dem Sprechpegel liegt. Dies wäre z.B. der Fall, wenn bei geöffnetem Fenster ein Pkw vorbeifährt. (Ortscheid 1996: 8). Beobachtbare Folgen derartiger Kommunikationsstörungen treten ab einem Mittelungspegel von etwa 45 dB(A) auf und äußern sich u.a. in einer verzögerten intellektuellen Entwicklung, insbesondere bezüglich der Lesefähigkeit von Kindern (Ising/Rebentisch 1992: 277). Zudem lassen sich auch bei Erwachsenen Beeinträchtigungen der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit konstatieren (Pohle/Mosdzianowski 1982: 23). Kopfschmerzen und allgemeines Unlustgefühl führen zu Konzentrationsschwächen und erhöhen die Fehlerhäufigkeiten (Höger 1993: 50).¹¹

¹¹ In diesem Zusammenhang sei auf die z.T. leistungsfördernde Wirkung von Lärm hingewiesen, welche bei leichten körperlichen Arbeiten durch eine Erhöhung des Erregungsniveaus eintreten kann. Hierzu scheint Musik allerdings denkbar besser geeignet zu sein als Verkehrslärm.

2.2 Messung von Lärm

Inwieweit lassen sich diese komplexen Expositions-Wirkungszusammenhänge (Schall-Belästigung) nun durch Messung vergleichbar und operationalisierbar machen? Ist Lärm überhaupt meßbar? Dazu werden zunächst die Möglichkeiten der physikalischen Belastungsmessung untersucht, um daraufhin die Abhängigkeiten zwischen Belastung und Belästigung näher zu beleuchten.

Hierzu erscheint es an dieser Stelle notwendig, die Begriffe „Belastung“ und „Belästigung“ gegeneinander abzugrenzen. So ist im folgenden Belastung oder Lärmbelastung als physikalisch meßbare, objektive Schallsituation zu verstehen, während Belästigung ein durch Lärm ausgelöstes Gefühl des Unbehagens bezeichnen soll.¹²

Physikalische Belastungsmessung

Unter vielen Maßen (z.B. "Phon" oder "Sone") hat sich das Dezibel, welches eine Verhältniszahl für unterschiedliche Schallintensitäten (S) liefert, als das bei vertretbarem Meßaufwand geeignetste Lärmmaß herausgestellt (Grigo 1992: 1). Grundlage der Bewertung ist der Schallpegel L. Dieser ist definiert als der 10fache dekadische Logarithmus vom Verhältnis der Schallintensität S zu einer festen „Bezugsschallintensität“ $S_0 = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$. Der Referenzwert S_0 spiegelt dabei die Hörschwelle wider (Dobrinski et al. 1988: 410).

$$L = 10 \lg (S / S_0)$$

Die dimensionslosen (Verhältnis-)Zahlenwerte werden nun als Dezibel (dB) definiert. Die Hörschwelle wird dabei als 1 dB angenommen, so daß die Schmerzgrenze, die 10-billionenfach höher liegt, einen Wert von 130 dB aufweist (BMV 1993: 11). Andere relevante physikalische Einflußgrößen, die bereits kurz vorgestellt wurden, sollen nun in den Schallpegel integriert werden.

Der Einfluß des Frequenzbereiches bei gleicher Intensität eines Geräusches läßt sich näherungsweise mithilfe unterschiedlicher Bewertungskurven (A, B, C, D) für das Maß Dezibel abbilden. Das deutsche Lärmschutzgesetz verzichtet aber auf eine genaue frequenzabhängige Bewertung und schreibt stattdessen die Verwendung der „A-Skala“ vor.¹³ Diese berücksichtigt besonders die Eigenschaften des menschlichen Gehörs, welches im mittleren Frequenzbereich (500 bis 4000 Hz) die größte

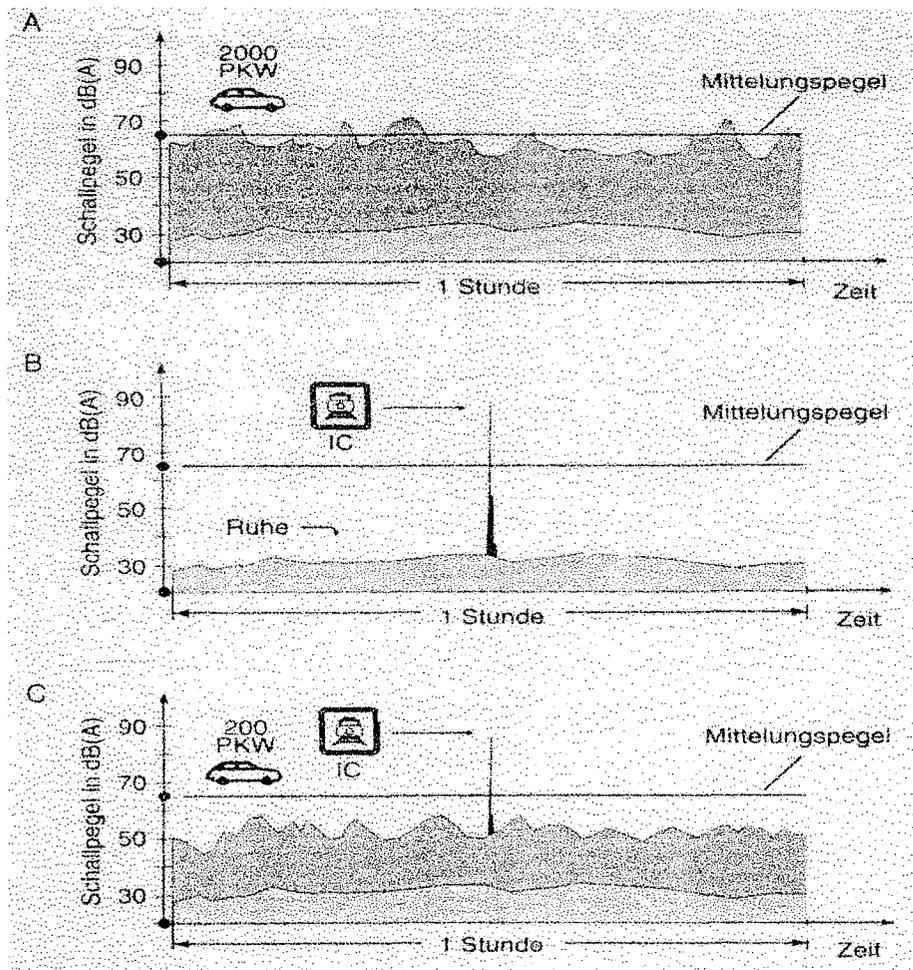
¹² Auf die komplexen Wechselbeziehungen zwischen Belastung und Belästigung wird in diesem Kapitel im Unterabschnitt Abhängigkeiten zwischen Belastung und Belästigung näher eingegangen.

¹³ Dabei werden frequenzabhängige Größen gemäß einer mittleren Frequenz (etwa 500 Hertz) in ein über die Frequenzen gemittelt Ausbreitungsmaß eingesetzt (Weinberger et al. 1991: 42). Eine nähere Beschreibung der verschiedenen Bewertungskurven findet sich etwa bei Dobrinski et al. (1988: 411-413).

Empfindlichkeit besitzt.¹⁴ Allerdings führt die dB(A)-Bewertung somit zu einer systematischen Unterschätzung von niederfrequentem Lärm¹⁵ im Straßenverkehr (insbesondere von Lkw-Lärm) und zu einer Überschätzung von mittel- oder hochfrequenten Lärmquellen (z.B. Schienenverkehr) (Mager 1982: 14).¹⁶

Die Dauer und die Häufigkeit von Schallereignissen können zufriedenstellend berücksichtigt werden, indem man dB(A)-Meßwerte über einen bestimmten Zeitraum, üblicherweise eine Stunde, mittelt. Es ergibt sich der sogenannte „äquivalente Dauerschallpegel“ (L_{eq}) oder auch „Mittelungspegel“ (L_m). Wie in Abbildung 1 deutlich wird, gibt dieser jedoch keinen Aufschluß über die Spitzen und über die Ereignishäufigkeiten.

Abbildung 1: Der Mittelungspegel als Belastungsmaß für Verkehrslärm



Quelle: Fleischer (1990: 123).

¹⁴ Vom menschlichen Gehör können Schalldruckschwankungen im Bereich zwischen 16 Hz (Hz = Hertz = Schwingungen pro Sekunde) und ca. 20.000 Hz wahrgenommen werden (BMV1993: 11).

¹⁵ Dieser ist aber gerade hauptverantwortlich für ein durch Verkehr erhöhtes Herzinfarktrisiko (vgl. dazu den Abschnitt Lärmwirkungen).

¹⁶ In diesem Zusammenhang sei auf neuere frequenzgenaue Meßverfahren hingewiesen, die es ermöglichen, Lästigkeitsunterschiede zwischen zwei Verkehrsarten genauer zu quantifizieren, als dies bisher mithilfe der standardisierten dB(A)-Bewertung möglich war. Siehe dazu genauer (Grigo 1992: 113).

Es wird ersichtlich:

- Die Vorbeifahrt von 2000 Pkw mit einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h, verursacht einen Mittelungspegel von 65 dB(A) in der Stunde (Abbildungsteil A).
- Der gleiche Mittelungspegel ist meßbar bei der Vorbeifahrt eines einzigen InterCity (IC)-Zuges mit 160 km/h (Abbildungsteil B), obgleich dieser in Sekunden vorbeifahrende Zug - wenn ansonsten Ruhe herrscht - weit weniger stört als die 2000 Pkw.
- Die einmalige Vorbeifahrt eines InterCity hebt den Mittelungspegel derart an, daß ein zusätzlicher Verkehr von 200 Pkw pro Stunde im Meßwert nahezu unberücksichtigt bleibt (Abbildungsteil C). So führt die Addition der Mittelungspegel IC (65 dB(A)) und Pkw (55 dB(A)) lediglich zu einem Gesamtpegel von ca. 65,4 dB(A) (berechnet nach BMV 1993: 80).

Aufgrund dieser Problematik wird gegebenenfalls zusätzlich der Spitzen- oder Maximalpegel (L_{max}) zur Bewertung einer Schallsituation herangezogen. Gerade in Intervallen auftretender Lärm (z.B. Fluglärm) kann so genauer beschrieben werden. Für relativ kontinuierliche Belastungen (wie Straßen- und Schienenverkehrslärm) aber ist der Mittelungspegel L_{eq} , gemessen in dB(A), als geeignetes Belastungsmaß anerkannt (Maibach 1996: 192).

Abhängigkeiten zwischen Belastung und Belästigung

Um nun zu einem ganzheitlichen Ansatz der Messung des komplexen Umweltproblems Lärm zu gelangen, ist zunächst eine Untersuchung des Verhältnisses von (physikalisch meßbarer) Belastung und (subjektiv empfundener) Belästigung sinnvoll. Insbesondere soll die Frage diskutiert werden, wie stark herrschende Schallpegel (L_{eq}) gesenkt werden müssen, um die Belästigung spürbar zu vermindern. Gibt es hierbei wissenschaftlich fundierte dB(A)-Schwellenwerte, die es ermöglichen, individuelles Belästigungsempfinden in bewertbare Kategorien einzuteilen? Und wenn ja, welche der physikalischen und psychologischen Einflußfaktoren dominieren in den verschiedenen „Belästigungsklassen“?

Die Sozialforschung unterscheidet üblicherweise Reaktionen wie „gar nicht (unerheblich) belästigt“, „nicht so stark belästigt“, „stark (erheblich) belästigt“ und „unzumutbar belästigt“ (Ortscheid 1996: 16, Jansen 1986: 3). Der Grad der Belästigung wird dabei im Rahmen direkter Befragungen, sinnvollerweise ohne Vorgabe des herrschenden Belastungspegels, ermittelt. Stellt man die Ergebnisse den physikalischen Meßwerten gegenüber, so läßt sich vor allem der folgende Zusammenhang beobachten: Die Minderung des Mittelungspegels um 3 dB(A) entspricht einer 50%-igen Reduktion der Schallbelastung. Um aber die Halbierung der Belästigungsempfindung (von „stark“ zu „nicht so stark“ belästigt) zu erreichen,

wäre eine Abnahme um 10 dB(A) nötig, was in bezug auf Verkehrslärm einer Verringerung des Verkehrs um 90% entsprechen würde. Um zu einem „unerheblichen“ Grad an Belästigung zu gelangen, müßte der Schalldruckpegel, der eine erhebliche Belästigung anzeigt, gar um 50 dB(A) gesenkt werden. Erhöht er sich andererseits um 4 dB(A), ist die Schallsituation bereits als „unzumutbar“ einzustufen (Jansen 1986: 2-3).

Durch diese Relationen ist allerdings noch nichts über (absolute) Schwellenwerte der Belästigung ausgesagt. Außerdem ist bisher unklar geblieben, welche Einflußfaktoren in den unterschiedlichen Belästigungsklassen dominieren. Hierzu hat Kastka (1984a) nähere Untersuchungen durchgeführt. Nach Messung der Belastung¹⁷ entwickelt er durch Fragebogeneinsatz (Stichprobenumfang 274 Befragte an 8 Straßen) ein Mehrkomponentenmodell der Belästigung (Faktorenanalyse). Dem Fragebogendesign liegt das Konzept zugrunde, daß „sich Belästigung als Zustand des verminderten Wohlbefindens über Kausalattribution einstellt, die jemand in bezug auf das Geräusch als Wirkungsauslöser und sich selbst als Wirkungsempfänger entwickelt“ (Kastka 1984a: 164). Sensorische Erfahrungsmerkmale sowie direkte und indirekte Belästigungsparameter (insgesamt 38 Variablen) wurden erhoben und zu Summenskalen zusammengefaßt¹⁸. Es ergaben sich folgende Einflußkomponenten der Belästigungsreaktion auf Verkehrslärm (ebd.: 165):

- Sensorische Erfahrungsbildung (K1),
- Kausal-attributive Reaktionstendenz (K2) und
- Störung der Kommunikation und physikalisch-akustische Sekundärphänomene des Verkehrs (K3).

Die erste Komponente K1 beinhaltet die Items mit schallquellenbezogenen Angaben, vor allem über Lautstärke, Häufigkeit und Dauer des Verkehrsgeräusches, sowie über die Stärke des Störgrades der Geräusche (ebd.: 92). In der Belästigungskomponente K2 finden sich demgegenüber solche Variablen, die negative affektive oder emotionale Reaktionen auf das Verkehrsgeräusch beschreiben (ebd.: 94) und somit den Zustand des Belasteten in seiner eigenen kognitiven Konzeption als Wirkungsempfänger, der sich negativ belastet sieht, charakterisieren (ebd.: 165). Die Komponente K3 beinhaltet spezifische Geräuschwirkungen (wie Kommunikationsstörungen) und akustisch-physikalische Nebenwirkungen des Verkehrs (Klappern, Scheibenklirren, etc.) und hat somit subjektiven *und* objektiven Charakter. Da es jedoch gerade das Ziel der Analyse ist, subjekt- und objektorientierte

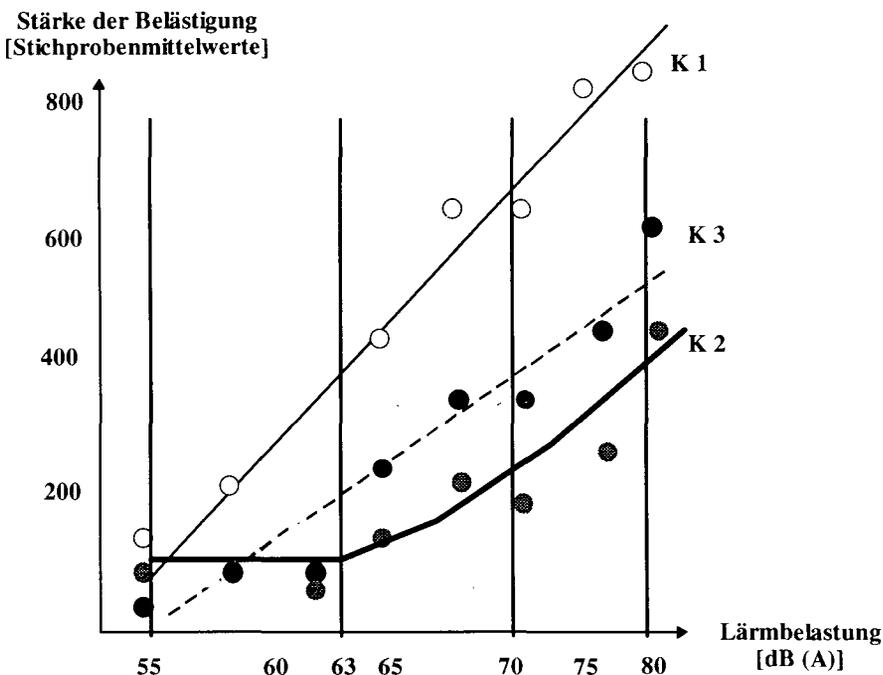
¹⁷ Es wurden Tagesmittelungspegel (L_{eq}) im Bereich von 55-80 dB(A) gemessen (Kastka 1984a: 165).

¹⁸ Eine nähere Diskussion der vielfältigen Belästigungsvariablen findet sich bei Kastka (1984a: 83-84).

Belästigungskomponenten getrennt zu betrachten, wird im weiteren die Komponente K3 nicht weiter diskutiert (ebd.: 96).

Die Belästigungskomponenten K1, K2 und K3 ändern sich bei steigendem Schallpegel L_m wie in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Beziehung zwischen den Stichprobenmittelwerten der Belästigungskomponenten und den zugehörigen Belastungswerten L_m .



Quelle: Kastka (1984a: 106).

Es zeigt sich, daß die Belästigung bei Tagesmittelungspegeln (L_m) bis ca. 63 dB(A) von den Betroffenen lediglich als externer sensorischer Tatbestand eingeordnet wird. Es dominiert die sensorische Belästigungskomponente K1. Die Schallsituation wird noch nicht negativ attribuiert, obwohl, wie in Kapitel 2.1. gezeigt, schädliche Wirkungen bereits nachgewiesen werden können. Erhöht sich nun aber der Pegel, wird das Belastungsmoment subjektiv und negativ wirkungsrelevant (ebd.: 110). Die Befragten fühlen sich „erheblich belästigt“ und in ihrem Wohlbefinden gestört. Für den Anstieg der Belästigung ab diesem Dezibel-Bereich ist die Komponente K2 ursächlich. Im oberen Belastungsbereich von 70-80 dB(A) wird der Verkehrslärm schließlich als Beeinträchtigung wesentlicher eigener Intentionen, Interessen und Bedürfnisse erlebt. Die Befragten fühlen sich unzumutbar belästigt (ebd.: 165).

Zusammenfassend ergeben sich nach Jansen (1986) und Kastka (1984a) folgende Belastungs- und Belästigungsklassen für Verkehrslärm:

Tabelle 1: An die Lärmbelastung gekoppelte Belästigungsklassen und dominierende Komponenten.

Belastung (L_m)	Dominierende Komponente	Belästigung
< 55 dB(A)	K1	unerheblich, gar nicht
55 - 63 dB(A)	K1	nicht so stark
63 - 70 dB(A)	K2	stark, erheblich
70 - 80 dB(A)	K2	unzumutbar

Quelle: Eigene Darstellung nach Jansen (1986: 3) und Kastka (1984a: 165-166).

Auf die Dependenz zwischen den Parametern L_m , K1 und K2 soll hier nur kurz eingegangen werden.¹⁹ Hervorzuheben bleibt, daß K1 eine Vermittlerfunktion zwischen L_m und K2 besitzt. Die Negativ-Attributierung, das Gefühl der subjektiven Bedrohung, orientiert sich also weniger direkt am objektiv meßbaren Belastungspegel, sondern vielmehr an der individuell empfundenen Belastung (abhängig von Aufenthaltsort, momentaner Tätigkeit, individueller Lärmempfindlichkeit, etc.). Auch unabhängig von der Schallbelastung weist K1 eine hohe Korrelation zu K2 auf (Kastka 1984a: 117). Dies trifft insbesondere bei Autobahnlärm zu (Korrelationskoeffizient von 0.72) und läßt schlußfolgern, daß die Negativ-Attribution bei der individuellen Belästigung durch Autobahnlärm stärker ins Gewicht fällt als bei Stadtstraßenlärm (Korrelationskoeffizient von 0.39) (Kastka 1984a: 115-116)²⁰.

Die weitergehende und zugleich naheliegende Vorstellung, daß sich die im Vergleich zu anderen Lärmarten verstärkte Belästigungsreaktion auf Verkehrslärm insbesondere auf Autobahnlärm durch individuelle Unzufriedenheit mit der Gesamtumweltsituation erklären läßt, ist wissenschaftlich nicht zu begründen (Kastka 1984b: 354).

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß der äquivalente Dauerschallpegel die komplexen Ursache-Wirkungszusammenhänge nicht beschreiben kann und daher für die Prognose individueller Belästigungsreaktionen zu grob ist. Jedoch lassen sich durch die Belastungsmessung via Mittelungspegel, vergleichbar mit der Temperaturmessung, gefährdende Lärmpotentiale angeben (Grigo 1992: 2), die die Vorhersage von Belästigungsmittelwerten ermöglichen (Kalveram 1995: 131).²¹

¹⁹ Weiterführende Informationen finden sich bei Kastka (1984a: 111-117).

²⁰ Dieser Zusammenhang zeigt sich auch in Kapitel 2.3.1.

²¹ Vgl. dazu auch die Kapitel 2 zusammenfassende Abbildung 3 in Abschnitt 2.4.

2.3 Besonderheiten von Straßen- und Schienenverkehrslärm

Wie bereits eingangs erwähnt, wird Straßenverkehrslärm als die störendste Schallquelle empfunden. Im Jahre 1994 fühlten sich in den ABL etwa 66% der Bevölkerung hierdurch belästigt. Es folgten die Lärmarten Flugverkehr (46%), Schienenverkehr (25%), Industrie und Gewerbe (21%), Nachbarn (19%) und Sportanlagen (8%)²². Bis auf den Nachbarschaftslärm, welcher im Trend von 1984-1994 zumindest bei den nicht so stark Belästigten abnahm, lassen die restlichen Lärmarten nahezu gleichermaßen eine Negativentwicklung erkennen: Die Zahl der stark Belästigten ist zwar relativ konstant geblieben; die Zahl der nicht so stark Belästigten und somit auch die Gesamtzahl der Belästigten hat im Laufe der Zeit allerdings stetig zugenommen (Ortscheid 1996: 19-20).

Um die unterschiedlichen Belästigungsgrade insbesondere in Hinblick auf Straßen- und Schienenverkehrslärm erklären zu können, soll nachfolgend ein Überblick über die relevanten Charakteristika der beiden Lärmarten gegeben werden.

2.3.1 Straßenverkehrslärm

Das Phänomen Straßenverkehrslärm läßt sich zunächst als das Zusammenwirken einer Vielzahl von Punktschallquellen (Pkw, Lkw, Motorrad) beschreiben. Die Schallentstehung am einzelnen Kraftfahrzeug ist vor allem durch Motor, Getriebe, Reifen und Straßenoberfläche sowie durch den Strömungswiderstand bedingt (Weinberger et al. 1991: 38-39). Obgleich jede dieser Einflußgrößen mit der Geschwindigkeit positiv korreliert, dominiert das Rollgeräusch bereits ab etwa 50 km/h den Lärm der anderen Schallquellen. Dies gilt insbesondere für das bis dahin vorherrschende Motorengeräusch. Bei ausreichender Verkehrsdichte vereinfacht sich die Schallausbreitungssituation, so daß sich der (Autobahn-)Verkehr als Linienquelle betrachten läßt, die den Schall im rechten Winkel zur Fahrbahn abstrahlt.

Im Vergleich zu anderen Lärmarten zeichnet sich Autobahnlärm durch Permanenz und Gleichförmigkeit der Geräusche (Entfernungsrauschen), tiefe Frequenzen und unvorhersehbare Impulse aus (Balke 1983: 12). Letztere werden vor allem durch starke und plötzliche Schwankungen von Geschwindigkeiten und durch die unterschiedlichen Frequenzen von Lkw (tief), Pkw (mittel) und Motorrad (hoch) verursacht. Die insgesamt tiefe Frequenzverteilung des Autobahnlärms ist also durch den hohen Lkw-Anteil auf Autobahnen zu erklären (Grigo 1992: 111).

²² Die Daten zu Belastung und Belästigung durch Schall in den alten Bundesländer (ABL) basieren auf jährlich vom Institut für praxisorientierte Sozialforschung (IPOS) im Auftrag des BMU bundesweit durchgeführten repräsentativen Bevölkerungsumfragen. Die zugrundeliegende Fragestellung lautete stets: „Ich nenne Ihnen jetzt einige Lärmquellen. Bitte sagen Sie mir, ob Sie davon stark, nicht so stark oder gar nicht belästigt werden.“ (Ortscheid 1996: 15-23).

Die **Belästigung durch Autobahnlärm** ist in erster Linie durch dessen Permanenz bestimmt. Das nahezu pausenlose Geräuschereignis läßt den Verlust der Kontrollierbarkeit der Schallsituation in den Vordergrund treten und verurteilt Betroffene zu passivem Schutzverhalten. Störend wirkt allerdings auch der bloße Anblick einer nahegelegenen Autobahn (Zerschneidung der Landschaft). Derartige „optische Effekte“ tragen zu einer bei gleichem Belastungspegel insgesamt höheren Belästigungsreaktion durch Autobahn- im Vergleich zu Stadtstraßenlärm bei (Balke 1983: 12)²³. Dementsprechend kann Kastka (1984a) - in der bereits erwähnten Studie - eine autobahnlärmspezifische Erhöhung der kausal-attributiven Komponente K2 nachweisen. Dies führt dazu, daß Autobahnlärm von 50-60 dB(A) als mindestens doppelt so lästig empfunden wird wie Stadtstraßenlärm, obwohl eine unterschiedliche Wahrnehmung der Lautheit (K1) nicht festgestellt werden kann. Oder anders formuliert: Autobahnlärm wird in diesem Pegelbereich als genauso störend eingestuft wie 10-14 dB(A) lauterer Stadtstraßenlärm (Kastka 1984a: 165).

Im folgenden soll die tatsächliche **Straßenlärmsituation in Baden-Württemberg** empirisch dargestellt werden. Allein im Jahre 1993 fühlten sich über 70% der Einwohner von Straßenverkehrslärm gestört, davon sogar über 21% stark belästigt (LfU 1995: J-4). Diese Werte haben etwa seit Mitte der 80er Jahre Bestand, trotz des um ca. 30% gestiegenen Verkehrsaufkommens. Ein Grund dafür ist sicherlich die Verschärfung der Geräuschemissionswerte für Neuwagen im Jahre 1980²⁴. Die Schallbelastung der Flächen außerhalb der Siedlungsgebiete (offenen Landschaft) ist indes kontinuierlich gestiegen, so daß bereits 60% der gesamten Landesfläche Baden-Württembergs mit einem Mittelungspegel tagsüber von mehr als 40 dB(A) belastet sind. Etwa 23% der Fläche ist mit mehr als 50 dB(A) und über 5% mit einem Pegel von über 60 dB(A) „verlärmt“ (LfU 1995: J-5). Die Autobahnen spielen dabei eine herausragende Rolle. Obwohl sie mit ca. 1000 km nur knapp 4% des gesamten überörtlichen Streckennetzes in Baden-Württemberg ausmachen, sind sie an der Verlärmung der Landschaft im Bereich von 50-60 dB (A) mit etwa 20% und im Bereich über 60 dB(A) sogar mit ca. 36% beteiligt (LfU 1995: J-4).

²³ Auf diesen Zusammenhang machen auch Kastka/Hangartner (1986: 23) aufmerksam. Sie weisen nach, daß häßliche Straßen Verkehrslärm um mindestens 5 dB(A) lästiger machen.

²⁴ Die EU-weit geltenden Geräuschemissionsgrenzwerte wurden für Lkw von 92 auf 84 dB(A) und für Pkw von 84 auf 77 dB(A) gesenkt. Die Einhalteraten sind bei Pkw seit 1987 (79%) bis 1993 (100%) kontinuierlich angestiegen. In bezug auf Lkw ist ein großer Unterschied zwischen den Jahren 1990 (24%) und 1991 (84%) zu beobachten. Seitdem ist die Rate bis auf 98% im Jahre 1993 gestiegen (LfU 1995: J-6).

2.3.2 Schienenverkehrslärm

Die Schallentstehung bei Schienenfahrzeugen ist, korrespondierend zum Straßenverkehr, insbesondere durch den Motor mit Kühlung, die Räder und die Schiene sowie durch die Luftströmung bedingt (Weinberger et al. 1991: 39). In bezug auf Schienenfahrzeuge stellen Rollgeräusche allerdings erst ab 80 km/h die Hauptschallquelle dar. Weitere Aspekte sind vor allem Bremsen-, Kurvenquietschen und akustische (Pfeif-)Signale, die allerdings mit den bereits in Kapitel 2.2. beschriebenen Meßmethoden nur unzureichend erfaßt werden können. Die Frequenzverteilung bei Schienenlärm läßt sich wie folgt charakterisieren. Während Personenschnellzüge (ICE/IC/EC) hochfrequente Geräusche verursachen, lassen sich Güterverkehr, Dieseltraktion oder langsames Fahren als Auslöser von niederfrequenten Geräuschen feststellen (Grigo 1992: 111).

Die Geräuschbelastung durch Schienenverkehr wird in erster Linie von der Zugfrequenz, der Zugart und in geringem Umfang durch den Schienenzustand bestimmt. Zudem hat das Bremssystem der einzelnen Wagen einen wesentlichen Einfluß. Werden die Räder auf der Lauffläche gebremst, erhöht sich das normale Rollgeräusch wegen der aufgerauten, verriffelten Kontaktflächen zwischen Rad und Schiene stark. Ein scheidengebremstes Fahrzeug ist daher c.p. um mindestens 10 bis 15 dB(A) leiser als ein gußklotzgebremstes Fahrzeug. Die Verriffelung der Gleise kann bei Personenzügen zu Unterschieden von bis zu 10 dB(A), bei Güterzügen noch bis zu 5 dB(A) betragen (Zach 1995: 71).

Die Schienenlärmsituation in Baden-Württemberg hat sich von 1983 bis 1993 nicht wesentlich verändert. Für das Jahr 1993 zeigt sich eine im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (22,6%, davon 3% stark) deutlich niedrigere Gesamtbelastung von etwa 17,8% (davon 3,5% stark) (Ortscheid 1996: 17, LfU 1995: J-14).

Von Schienenfahrzeugen verursachter Lärm hat prinzipiell ähnliche Belastungswirkungen wie der von Autos. Jedoch wird Schienenverkehrslärm im allgemeinen wesentlich besser akzeptiert. Als Gründe hierfür sind die Regelmäßigkeit der Vorbeifahrten (Kontrollaspekt), sowie die längeren Ruhezeiten zwischen den Pegelspitzen (Rekreatationsmöglichkeit) zu nennen (Höger 1993: 54). Ein - gemittelt - gleichlautes Schallereignis kann von Betroffenen besser eingeordnet werden. Zudem ist die Einstellung zur Lärmquelle Bahn im Vergleich zum Straßenverkehr allgemein positiver. Diesen Aspekten wird in der Lärmschutzverordnung 16. BImSchV §3/Anlage 2 in Form des sogenannten „*Schienenbonus*“ Rechnung getragen (BMV 1993: 73). Dieser erlaubt es, von den zu berechnenden Tag- und Nachtpegeln jeweils 5 dB(A) abzuziehen. In der Literatur finden sich hingegen wissenschaftlich nachgewiesene Lästigkeitsunterschiede von 5 dB(A) tagsüber und 10 dB(A) nachts (Hauck 1991: 162, Windelberg 1995: 42), so

daß der geltende Bonus als politischer Wert, und nicht etwa als physikalisches Datum zu interpretieren ist. In der Schweizer Lärmschutzverordnung ist bereits eine Spannweite von 5 bis 15 dB(A) für den Bonus, in Abhängigkeit der Zugfrequenz, vorgesehen (Kienzer 1995: 81). Da die Anwendung des Schienenbonus zudem bei hohen Geschwindigkeiten und starkem Güterverkehr als problematisch anzusehen ist, schlägt Haider (1995: 102-103) vor, den Schienenbonus nur bis zu einer Belastung von 70 dB(A) voll zu gewähren. Bei Pegeln zwischen 70 und 75 dB(A) sollte er seiner Meinung nach nur noch reduziert und ab 75 dB(A) überhaupt nicht mehr zur Anwendung kommen.²⁵

2.3.3 Rechtliche Grundlagen

„Mutwillige Buben, welche auf Straßen lärmten oder sonst Unruhe erregen oder grobe Unsittlichkeiten verüben, sollen mit verhältnismäßigem Gefängnis, körperlicher Züchtigung oder Zuchthausstrafe bestraft werden.“²⁶

Das Preußische Allgemeine Landrecht

Der Verkehrslärm findet im deutschen Recht seit dem Jahre 1974 besondere Berücksichtigung. Im Rahmen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), insbesondere in den §§ 41 bis 43, wird die sogenannte Lärmvorsorge behandelt, die den Lärmschutz beim Neubau und der wesentlichen Änderung von Straßen- und Schienenwegen vorschreibt. Eine Konkretisierung dieser Normen stellt die seit 1990 geltende Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) dar. Darüberhinaus wird seit 1978 auch an bestehenden Autobahnen und Bundesstraßen Lärmschutz durchgeführt, die sogenannte Lärmsanierung. Neben baulichen Möglichkeiten des Lärmschutzes bestehen zudem straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen, die in § 45 der Straßenverkehrsordnung (StVO) näher geregelt sind (BMV 1993: 35).

Die Lärmvorsorge

Gemäß den o.g. Vorschriften sind beim Bau oder der wesentlichen Änderung von öffentlichen Straßen sowie von Eisen- und Straßenbahnen schädliche Verkehrsgeräusche soweit als möglich zu vermeiden, vorrangig durch Schutzmaßnahmen am Verkehrsweg (z.B. Lärmschutzwände²⁷). Ist dies nicht möglich, müssen sogenannte "passive" Lärmschutzmaßnahmen (vor allem Schallschutzfenster) an den betroffenen Gebäuden durchgeführt werden. Die dabei dem zuständigen Eigentümer entstehenden Kosten werden in voller Höhe vom Bund

²⁵ Zum eigenen Vorgehen vgl. Kapitel 3.4.3.

²⁶ Zitiert nach Cramer (1978: 10).

²⁷ Weitere Möglichkeiten des aktiven Lärmschutzes werden im Rahmen des Kapitels 3.2.1 vorgestellt und diskutiert.

erstattet. Gelingt es durch den Einsatz von Lärmschutzmaßnahmen nicht, die belasteten Wohnbereiche²⁸ mit vertretbarem Aufwand zu schützen, erhält der Eigentümer für die verbleibenden Beeinträchtigungen eine Entschädigung in Geld (BMV 1993: 35-36).²⁹ Zu beachten ist dabei, daß nur der Bau oder die wesentliche Änderung³⁰ von Verkehrswegen (z.B. zusätzlicher Fahrstreifen oder zusätzliches Gleis) Lärmschutz auslösen, und nicht etwa straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen, die zu einer Steigerung der Lärmbelastung führen (z.B. Verkehrsverlagerungen).

Diese Ausführungen sind sinngemäß ebenfalls für Schienenwege gültig. Auch hier löst die Erhöhung der Zugzahlen ohne gleichzeitigen baulichen Eingriff keine Lärmvorsorge aus (ebd.: 36). Lärmvorsorge an Straßen und Schienenwegen muß durchgeführt werden, wenn der Beurteilungspegel, welcher auf der Basis der prognostizierten Fahrzeugzahlen für eine Strecke basiert, die nachfolgenden Immissionsgrenzwerte übersteigt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte der Lärmvorsorge in dB(A).

Gebietskategorie	Tag	Nacht
	(6 - 22 Uhr)	(22 - 6 Uhr)
Krankenhäuser, Schulen, Kur- und Altenheime.	57	47
Wohn- und Kleinsiedlungsgebiete	59	49
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	64	54
Gewerbegebiete	69	59

Quelle: BMV (1993: 39).

Die Lärmsanierung

Die Lärmsanierung an Straßen richtet sich nach der Dringlichkeit im Rahmen der vorhandenen Haushaltsmittel. Die Dringlichkeit wird vor allem nach der Stärke der Lärmbelastung, der Anzahl der Betroffenen und der Gebietskategorie beurteilt. Die im Vergleich zu den Vorsorgewerten wesentlich höheren Immissionsgrenzwerte der Lärmsanierung an Bundesfernstraßen zeigt Tabelle 3.

²⁸ Hierzu zählen auch Außenwohnbereiche wie Balkone oder Terrassen.

²⁹ Vgl. dazu Parzefall (1995: 35).

³⁰ Zur Konkretisierung des Begriffes der „wesentlichen Änderung“ gemäß § 1 Abs. 2 der Verkehrslärmschutzverordnung siehe BMV (1993: 36-38).

Tabelle 3: Immissionsgrenzwerte der Lärmsanierung an Bundesfernstraßen in dB(A).

Gebietskategorie	Tag	Nacht
	(6 - 22 Uhr)	(22 - 6 Uhr)
Krankenhäuser, Schulen, Kur- und Altenheime, Wohn- und Kleinsiedlungsgebiete	70	60
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	72	62
Gewerbegebiete	75	65

Quelle: BMV (1993: 41).

Im Gegensatz zur Lärmvorsorge werden bei der Lärmsanierung dem betroffenen Eigentümer auf Antrag nur bis zu 75% der lärmbedingten Aufwendungen erstattet (BMV 1993: 40). Der Bund ist dabei nicht zur Zahlung, sondern lediglich zur Prüfung des Antrages³¹ verpflichtet (Parzefall 1995: 35). Dies führt dazu, daß selbst bei deutlich überschrittenen Immissionsgrenzwerten aufgrund leerer öffentlicher Kassen Lärmsanierungsmaßnahmen nicht durchgeführt werden (SPD 1997).

Die Lärmsanierung an Schienenwegen ist ebenfalls problematisch, da sich die Deutsche Bahn AG nach wie vor nicht in der Lage sieht, den Lärmschutz an stark belasteten Strecken aus eigenen Mitteln zu verbessern. Der Bund als Eigentümer der Schienenverkehrswege hat zudem eine Lärmsanierung an bestehenden Eisenbahnstrecken nicht vorgesehen (LfU 1995: J_15-J_16).

³¹ Hierfür zuständig sind die Bundesländer und speziell die jeweiligen Straßenbauämter (BMV 1993: 40).

2.4. Interdisziplinäres Fazit

Nach einer Definition des komplexen Phänomens Lärm als unerwünschten Schall war es Ziel des zweiten Kapitels, dem Leser zu ermöglichen, die Wirkungen von Verkehrslärm auf den Menschen einzuschätzen. Insbesondere sollte die Bedeutung der Unterscheidung von objektiv meßbarer Lärmbelastung und subjektiv empfundener Lärmbelästigung deutlich geworden sein. Die Betrachtung der Abhängigkeiten von Belastung und Belästigung führte dazu, daß Belästigungsmittelwerte an bestimmte Pegelklassen gekoppelt werden konnten und somit eine Vorhersage des Ausmaßes der Belästigung anhand von Belastungspegeln möglich wurde.

Der Mittelungspegel L_{eq} , gemessen in dB(A), stellte sich dabei als geeignetes physikalisches Maß zur Vorhersage von Belästigungsmittelwerten heraus und findet daher ebenso in der Fallstudie in Kapitel 4 Anwendung wie der "Schienenbonus" von 5 dB(A) tagsüber und 10 dB(A) nachts. Die besondere Belästigung durch Autobahnlärm im Vergleich zu Stadtstraßenlärm findet im verwendeten Modell keine explizite Berücksichtigung, sondern führt lediglich zu der qualitativen Aussage, daß die ermittelten Lärmkosten eine Unterschätzung der "wahren" monetarisierten Lärmschäden implizieren.

Abbildung 3 faßt die Ergebnisse aus Kapitel 2 graphisch zusammen, um den Rückgriff auf grundlegende Informationen im weiteren zu erleichtern.

Abbildung 3: Zusammenfassende Übersicht über typische Geräusche, Lärmwirkungen und Grenzwerte.

TYPISCHE GERÄUSCHE	Leq (25m) dB(A)	LÄRMWIRKUNGEN		IMMISSIONSGRENZ- WERTE (T=Tag, N=Nacht)		
		Belastung Belästigung		Leq (25m) dB(A)	Vorsorge Sanierung	
	0	<i>Hörschwelle</i>				
nur unter Labor- bedingungen hörbar	5					
	10					
	15					
	20					
	25					
Grundgeräusch, kein starker Wind	30	gar nicht belästigt				
	35	<i>Schlafstörung</i>				
Bereich der normalen Unterhaltung	40	<i>Aufwachen</i>				
	45	<i>Kommunikationsstörungen</i>				
	50	<i>Wahrscheinlichkeit Auf- zuwachen über 50%</i>		49	Wohngebiet (N)	
	55			54	Mischgebiete (N)	
starker Stadtverkehr	60	nicht so stark belästigt		59	Wohn- (T), Gew.gebiet (N)	
		<i>Erhöhung des Erregungs- niveaus des vegetativen Nervensystems</i>		60	Wohngebiet (N)	
				62	Mischgebiete (N)	
	65	stark belästigt		64	Mischgebiete (T)	
				65	Gewerbegebiet (N)	
Pkw: 70-90 dB(A)	70			69	Gewerbegebiet (T)	
Lkw: 80-90 dB(A)	75			70	Wohngebiet (T)	
	80	unzumutbar belästigt		72	Mischgebiete (T)	
	85	<i>Innenohrschäden</i>		75	Gewerbegebiet (T)	
	Motorrad: 80-100 dB(A)	90				
	95					
Flugzeugtriebwerk in 50-100m Abstand	100					
	105					
	110					
	115					
	120					
	125					
	130					

Quelle: Eigene Darstellung nach BMU (1996: 12-13), Ortscheid (1996: 8), Höger (1993: 49, 53), Ising/Rebentisch (1992: 274, 276-277), Weinberger et al. (1991: 44), Jansen (1984: 210), Heidenblut (1981: 57-58).

3 MONETARISIERUNG DES EXTERNEN EFFEKTES

VERKEHRSLÄRM

Nach einer theoretischen Fundierung, die insbesondere die Relevanz psychologischer externer Effekte betont, werden in diesem Kapitel die in der Literatur üblichen Methoden der Bewertung von Lärmschäden näher diskutiert, um schließlich den für die Fallstudie Frankfurt-Basel geeigneten Monetarisierungsansatz abzuleiten.

3.1 Theorie der externen Effekte

Innerhalb der Wirtschaftstheorie stellt die Theorie der externen Effekte ein klassisches Forschungsfeld dar. Als Begründer des Forschungszweiges gilt Pigou, der bereits im Jahre 1920 in seiner Schrift „The Economics of Welfare“ die allokativen Relevanz von externen Effekten analysierte.³² Nachdem in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg wesentliche Fortschritte vor allem in bezug auf die Internalisierung externer Effekte erzielt wurden, war es schließlich die seit Beginn der 70er Jahre geführte Umweltdebatte, welche dazu geführt hat, daß die externen Effekte des Wirtschaftens eine eigenständige Teildisziplin begründeten - die Umweltökonomie (Tegner 1996: 1).

Werden negative externe Effekte mit Geldeinheiten bewertet (monetarisiert), spricht man von externen Kosten oder sozialen Zusatzkosten. Demgegenüber bezeichnen interne oder private Kosten diejenigen Kosten, die im individuellen Maximierungskalkül der Haushalte und Unternehmen bereits berücksichtigt werden. Die Summe der internen und externen Kosten nennt man soziale Kosten. Für positive Effekte lassen sich analog die Begriffe externer, interner und sozialer Nutzen ableiten.

In den letzten Jahren beschäftigen sich viele Studien mit den externen Kosten im Energie- oder Verkehrsbereich. Insbesondere das mit dem Vorliegen von Externalitäten verbundene Problem der Findung fairer und effizienter Transportpreise wird zur Zeit vor allem auf europäischer Ebene stark diskutiert (European Commission 1995, IWW/INFRAS 1995, Bickel/Friedrich 1995, Willeke 1996, u.a.). Damit sind auch schon zwei der drei Zielrichtungen angesprochen, die nach Greene/Jones (1997:3) aktuelle Externalitäten-Studien motivieren: Ökonomische Effizienz und Fairness. Eine dritte Zielrichtung ist die komparative Analyse von zwei Zuständen, die allerdings oft aufgrund der mangelhaften Abgrenzungsmöglichkeiten der Externalitäten aussendenden Systeme mit Problemen behaftet ist. Jede der drei Zielrichtungen impliziert ein anderes Paradigma und eine andere Analysemethodik, die nach Greene/Jones (1997:3) folgendermaßen charakterisiert werden können.

³² Vgl. Pigou (1920: 115-116, 149-151).

1. **Förderung der ökonomischen Effizienz:** Die Mehrzahl der Externalitäten-Studien basiert auf der neoklassisch fundierten Theorie der externen Kosten und Nutzen und entwickelt in der Tradition von Pigou Strategien zur Maximierung der sozialen Wohlfahrt. Der gebräuchliche Mechanismus ist dabei meist die Internalisierung der marginalen externen Kosten in den Marktpreisen (vgl. z.B. European Commission 1995).
2. **Komparative Analyse von zwei Zuständen:** Einige Studien versuchen soziale Kosten des Verkehrs zu berechnen, um eine Rangfolge der Problembereiche im betrachteten Sektor bestimmen und so politische Ressourcen effizienter allozieren zu können. Andere Studien wiederum haben zum Ziel, alternative Energie- oder Transportsysteme miteinander zu vergleichen. Derartige intermodale Vergleiche werden zumeist auf Mikroebene in Form der Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Bei Analysen auf der Makroebene bleibt häufig unklar, im Vergleich zu welcher Referenzsituation externe Kosten berechnet werden. Die Nutzenkomponente wird oft vernachlässigt.
3. **Einschätzung von Fairness oder Gerechtigkeit:** Politische Entscheidungen und Maßnahmen haben immer auch Auswirkungen auf die Verteilungssituation und die soziale Gerechtigkeit. Dies ist jedoch ein Punkt, der bei Externalitäten-Studien häufig unausgesprochen bleibt. Insbesondere interessiert die Frage, wer von den Entscheidungen (z.B. Internalisierung externer Umwelteffekte des Verkehrs durch höhere Mineralölsteuer) profitiert und wer individuelle Nutzenverluste hinnehmen muß.

In dieser Arbeit steht das Ziel der Förderung der ökonomischen Effizienz im Mittelpunkt. Dem Wirtschaftssubjekt wird ein Hilfsmittel an die Hand gegeben, mit dem individuelle Entscheidungen über die Wahl des Verkehrsträgers (Straße oder Schiene) und das Ausmaß der Nutzung der bestehenden Infrastruktur (Zahl der Fahrten) getroffen werden können, die in stärkerem Maße im Einklang mit dem gesamtgesellschaftlichen Nutzen stehen als lediglich auf dem individuellen Maximierungskalkül beruhende Entscheidungen.

Aus Sicht eines sozialen Planers dient die Analyse der externen Effekte als Informationsgrundlage im Prozeß der politischen Konsensfindung, insbesondere der Aufdeckung von Schwachstellen im institutionellen Gefüge, um letztendlich die gesamtwirtschaftliche Effizienz des betrachteten Systems zu steigern.

Wesentliche Fragen nach Fairness oder Gerechtigkeit³³, insbesondere in bezug auf die Verteilungsaspekte verschiedener Internalisierungsstrategien und die kritische Einschätzung der als pareto-optimal angenommenen Ausgangslage, sollten im Fokus stärker politikorientierter Analysen³⁴ stehen und werden folglich im Rahmen dieser Arbeit nicht näher behandelt.

Als konkrete Motive der Externalitäten-Analyse des Verkehrslärms verbleiben die Steigerung der ökonomischen Effizienz und der intermodale (Lärmkosten-)Vergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehr. Nachdem in Kapitel 2 bereits einige Bemerkungen zu Charakter und Wirkungsweise des Verkehrslärm aus interdisziplinärer Sicht gemacht worden sind, unternimmt nun der folgende Abschnitt eine Abgrenzung des betreffenden Phänomens aus ökonomischer Sicht.

3.1.1 Definition und Kategorien externer Effekte

Ein externer Effekt liegt nach Verhoef (1994: 274) dann vor, wenn die Nutzen- oder Produktionsfunktion eines (betroffenen) Wirtschaftssubjektes eine reale Variable beinhaltet, deren aktueller Wert vom Verhalten eines anderen (verursachenden) Wirtschaftssubjektes abhängt, wobei letzterer diesen Effekt in seiner Entscheidungsbildung nicht berücksichtigt.

Dabei können externe Effekte sowohl durch Konsum als auch durch die Produktion von Gütern und Dienstleistungen ausgelöst werden. Je nachdem, ob die Nutzenfunktion eines Konsumenten oder die Produktionsfunktion eines Unternehmens betroffen ist, lassen sich Konsumexternalitäten und Produktionsexternalitäten unterscheiden. Ein Beispiel für eine positive Konsumexternalität ist es, wenn jemand in seinem Vorgarten ein Blumenbeet anlegt und die Nachbarn den Anblick genießen können, ohne daß sie sich an den Kosten des Beetes beteiligen. Als ein Beispiel für eine negative Konsumexternalität läßt sich die Gesundheitsbeeinträchtigung von Anwohnern einer stark befahrenen Straße durch Autoabgase nennen. Beeinträchtigen die emittierten Luftschadstoffe dagegen eine Wäscherei in ihrem Produktionsprozeß der Reinigung, so ist dies ein Beispiel für eine Produktionsexternalität (Lesser et al. 1997: 110).

Allgemein lassen sich externe Effekte nach Tegner (1996: 2) in die vier Kategorien technische, psychologische, pekuniäre Externalitäten und Kollektivgüter einteilen.

³³ Fragen danach, wieviel Mobilität wir benötigen oder wieviel wir in Hinblick auf die unbeabsichtigten Folgen (wie z.B. Verkehrsunfälle, Luftverschmutzung, Lärm) verantworten können, sowie die Frage, wer zu den Gewinnern und wer zu den Verlierern verschiedener Internalisierungsstrategien gehört, zeigen den Konflikt zwischen ökonomischen und ethischen Gesichtspunkten auf. Eine aktuelle Diskussion dazu findet sich bei Kneese (1995: 32-61).

³⁴ Siehe dazu z.B. European Commission (1995), IWW/INFRAS (1995) und Willeke (1996).

Technische externe Effekte

Wie in der Literatur üblich fokussiert auch die obige Definition von Verhoef auf technische externe Effekte. Das Attribut „technisch“ präzisiert dabei, *wie* das Austauschverhältnis der Argumente der Nutzen- bzw. Produktionsfunktion des Betroffenen durch die Externalität modifiziert wird, beschreibt also den Prozeß der Substitution der einzelnen Nutzen- und Produktionsfaktoren. So kann im Beispiel der durch Luftverschmutzung betroffenen Wäscherei der Einsatz von mehr Waschmittel oder von zusätzlichen Chemikalien (z.B. Bleichmittel) nötig werden, um gleichbleibende Reinigungsergebnisse zu erzielen. Entscheidend für die begriffliche Abgrenzung zu psychologischen Externalitäten ist dabei, daß die Externalität (Luftverschmutzung) rein technische Auswirkungen auf den Produktionsprozeß (mehr Waschpulver) hat.³⁵ Da sich derartige „erzwungene“ technische Veränderungen an einem Markt beobachten lassen (gestiegene Nachfrage nach Waschmittel), werden technische externe Effekte häufig auch als reale oder direkte Externalitäten bezeichnet.

Psychologische externe Effekte

Eine zweite Kategorie externer Effekte bilden psychologische Externalitäten. Psychologische externe Effekte sollen im folgenden nach Tegner (1996: 5)³⁶ als diejenigen Effekte bezeichnet werden, die auf die subjektive Wahrnehmung und das innere Empfinden eines Menschen zurückgehen. Im Gegensatz zu den technischen externen Effekten ist die Frage „*Wie* wird das Austauschverhältnis der Argumente in der Nutzen- bzw. Produktionsfunktion des Betroffenen beeinflußt?“ nun aus der psychologischen Perspektive zu beantworten. Ein Beispiel: Ein Kind, das mit seiner Familie an einer verkehrsreichen Straße wohnt, leidet durch die stark belastete Atemluft an Asthma. Nimmt man einen eindeutigen Ursache-Wirkungszusammenhang an, wäre dieser negative Effekt soweit noch als rein technische Externalität zu beurteilen. Zieht man nun aber in Betracht, daß sich das Risiko eines Asthmaanfalls durch die Angst vor selbigem erhöht, so verursacht der Verkehr neben der technischen zudem eine psychologische Externalität. Ebenso ist die Angst der Eltern vor einem möglichen Asthmaanfall ihres Kindes als psychologischer externer Effekt zu betrachten. An diesem Beispiel wird deutlich, daß psychologische Externalitäten auf der einen Seite schwerwiegende Folgen haben können und daher

³⁵ Als ein Beispiel für eine technische Konsumexternalität können die durch hohe Lärmbelastung verringerten Erholungsmöglichkeiten z.B. eines Stadtbewohners gelten. Die Externalität geht negativ und unkompensiert in die Nutzenfunktion des betroffenen Individuums ein und führt dazu, daß dieses von seiner ursprünglichen Präferenzordnung abweicht und z.B. Lärmschutzfenster einbaut.

³⁶ Eine systematische Unterscheidung psychologischer externer Effekte bietet Tegner (1996: 5-6).

nicht vernachlässigt werden dürfen, auf der anderen Seite jedoch aufgrund ihrer starken Kontextabhängigkeit nur schwer zu erfassen sind.

Pekuniäre externe Effekte

Das klassische Gegenstück zu den technischen direkten externen Effekten bildet die dritte Externalitäten-Kategorie, die Gruppe der pekuniären externen Effekte³⁷. Diese wirken indirekt über den Preis auf Nutzen oder Produktion des Betroffenen. Da pekuniäre externe Effekte jedoch vielmehr das Funktionieren des Preismechanismus als das Versagen eines Marktes signalisieren (IWW/INFRAS 1995: 13), sollen diese im folgenden nicht weiter berücksichtigt werden.

Kollektivgüter

Eine letzte Kategorie externer Effekte stellen kollektive und öffentliche Güter³⁸ dar, die im allgemeinen als extreme Ausprägung von technischen externen Effekten interpretiert werden. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen überfüllten Kollektivgütern (z.B. Verkehrsstau), die durch mangelhafte Nutzungsregime hervorgerufen werden, auf der einen Seite, und reinen öffentlichen Gütern, bei denen keine Rivalität im Konsum besteht, auf der anderen Seite (Tegner 1996: 6).³⁹

Integrierte Sichtweise

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die vorgestellten einzelnen Kategorien externer Effekte zwar zum Verständnis und zur genauen Abgrenzung des zu behandelnden Externalitätenproblemles beitragen, insgesamt gesehen jedoch eine integrierte Sichtweise notwendig erscheint, wie sie Papandreou (1994: 2), Fritsch/Wein/Ewers (1996: 84-85) u.a. vorschlagen, nämlich die Sicht externer Effekte als ein Kennzeichen für institutionelles Versagen. So interpretiert, ist es nicht der Markt oder der Staat der versagt, sondern vielmehr der herrschende institutionelle Rahmen, dem es nicht gelingt, unbeabsichtigte Wirkungen ökonomischen Handelns, die im Sinne der sozialen Wohlfahrt eigentlich erfaßt werden müßten, zu berücksichtigen, geschweige denn zu kompensieren (Tegner 1996: 7). Durch ein derartiges Begriffsverständnis gelingt es, die Debatte Marktversagen⁴⁰ versus Staatsversagen⁴¹ zu umgehen, und „den“ externen Effekt in einem neuen Licht zu

³⁷ Zur Diskussion technologische/pekuniäre Externalitäten siehe auch IWW/INFRAS (1995: 12-13). Zur (Ir)Relevanz pekuniärer externer Effekte insbesondere im Verkehrssektor siehe Tegner (1996).

³⁸ Zur begrifflichen Abgrenzung von kollektiven und öffentlichen Gütern: Während „kollektiv“ das Gut aus Sicht der Nutzer näher beschreibt (Gegensatz: Individualgut), fokussiert der Begriff „öffentlich“ auf die Perspektive der Bereitstellung (Gegensatz: privates Gut).

³⁹ Dieser Aspekt wird in Kapitel 3.1.2 im Abschnitt „Lärm als öffentliches Übel“ wieder aufgegriffen.

⁴⁰ In Anlehnung an Bator (1958) sprechen die meisten Ökonomen von Marktversagen, weil die Märkte das Problem der externen Effekte nicht lösen können (Tegner 1996: 7).

⁴¹ Staatsversagen oder Politikversagen liegt vor, wenn staatliches Handeln oder Nichthandeln zu Fehlallokationen führt (Gabler 1993: 3077). Auf diesen Tatbestand verweisen meist liberale

sehen - als Grenze zwischen der ökonomischen Sphäre und dem „Rest der Welt“ (Greene/Jones 1997: 5).

Im folgenden soll eine systemorientierte Definition externer Effekte benutzt werden, die die integrierte Sichtweise berücksichtigt. Nach Levinson et al. (1996: 3_2) bezeichnen Externalitäten diejenigen Kosten oder Nutzen, die durch ein System verursacht werden und von einer Gruppe außerhalb des Systems zum Teil oder ganz ertragen werden.

Externe Nutzen und Kosten der Infrastrukturnutzung

Betrachtet man nun das komplexe Gesamtsystem Transport, so fällt auf, daß dieses offen, dynamisch und einem ständigen Wechsel unterworfen ist (Levinson et al. 1996: 3_4). Um trotzdem eindeutige Aussagen zu den externen Kosten und Nutzen des Verkehrslärms treffen zu können, ist es notwendig, die Infrastruktur selbst und die Nutzung derselben als zwei unterschiedliche „Güter“ strikt voneinander zu trennen. Vermengt man diese Kategorien oder betrachtet gar den gesamten Verkehrssektor als relevantes System, so lassen sich - aufgrund der unpräzisen Herangehensweise - pekuniäre externe Nutzen identifizieren, die falsche Allokationssignale aussenden können. Zum einen werden Marshall'sche Konsumentenrenten⁴² und Produzentenrenten⁴³ mit externen Nutzen verwechselt (etwa bei Willeke 1996: 156). Zum anderen werden die strukturellen und technologischen Effekte, die der Verkehrssektor auf andere Sektoren überträgt, als positive externe Effekte angesehen (ebd.). Bei einer solchen Betrachtungsweise hat der Begriff Externalität allerdings nichts mehr mit Marktstörungen zu tun (IWW/INFRAS 1995: 10).

Konzentriert man die ökonomische Analyse also auf die Frage, wie eine für die soziale Wohlfahrt optimale individuelle Nutzung der vorhandenen Infrastruktur aussehen müßte, so fällt die Liste externer Nutzen eher kurz aus (ebd.: 18):

- Ermöglichung der Leistungen für öffentliche Sozialdienste;
- Leistungen von Rettungsdiensten, soweit diese öffentlichen Charakter besitzen; Produktion von öffentlichen Leistungen, z. B. Transportleistungen für den Bildungsbereich (Schulbusse), die innere und äußere Sicherheit (Polizei, Verteidigung), usw.

Die externen Kosten des Konsums von Transportleistungen sind dagegen wesentlich vielfältiger. Tabelle 4 zeigt dies und macht zudem die Abgrenzung von internen und externen Kosten am Beispiel des betrachteten Systems deutlich.

Ökonomen, die kritisieren, daß der Staat den freien Kräften des Marktes nicht genügend Spielraum läßt.

⁴² Diese bezeichnet nach Marshall die Differenz zwischen dem Preis, den ein Käufer höchstens zu zahlen bereit ist (maximale Zahlungsbereitschaft oder Nachfragepreis) und dem real gezahlten Marktpreis, multipliziert mit der gehandelten Menge (Gabler 1993: 1899).

⁴³ Im Gegensatz zum rein psychologischen Gewinn der Konsumentenrente, bezeichnet dieser Begriff die tatsächlichen Gewinne (Renten), die beim Produzenten anfallen (Gabler 1993: 2676).

Tabelle 4: Die sozialen Kosten des Transports.

			Interne Kosten		Externe Kosten
			für die Individuen	für den Sektor	
Soziale Kosten	Umwelt kosten	Fauna & Flora	Nutzenverluste der verursachenden Individuen	Nutzenverluste des verursachenden Sektors	ungedeckte Umwelt kosten
		Energie			
		Lärm			
		Luft, Wasser, Boden			
		Zerschnei- dungseffekte			
	Staukosten	Zeitverlust des Nutzers (und Anstieg anderer direkter Kosten)	Zeitverlust anderer Nutzer (u. Anstieg anderer direkter Kosten)	Kosten von Individuen außerhalb des Transportsektors	
	Unfallkosten	eigene Kosten, durch Versicherung gedeckte Kosten	Durch die Versicherung gedeckte Kosten	Ungedeckte Unfallkosten ⁴⁴	
	Kosten der Infra- strukturhaltung	Gebühren, Kfz- und Mineralölsteuer	Fehlallokation der Kosten	Ungedeckte Erhaltungskosten	
	Ausgaben für das Verkehrswesen	Kfz- und Treibstoff- kosten bzw. Fahrscheine	Fehlallokation der Kosten	durch andere gedeckte Kosten ⁴⁵	

Quelle: Viegas/Fernandes (1997: 74).

⁴⁴ Z. B. Schmerz und Leid am Unfall unbeteiligter Personen.

⁴⁵ Z. B. die kostenlose Bereitstellung von Parkplätzen.

3.1.2 Der externe Effekt Verkehrslärm

Der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit liegt in der negativen Externalität Verkehrslärm. Betrachtet man die Belästigungsreaktionen betroffener Individuen, so hängen diese - wie in Kapitel 2.2 erläutert -⁴⁶ zum einen von objektiv ermittelbaren Einflußgrößen (Komponente der Belastung) und zum anderen von psychologischen Faktoren ab. Aus ökonomischer Sicht weist dabei die Lärmbelastung auf die Existenz einer technischen Externalität hin, während die übrigen Belästigungsreaktionen als psychologische externe Effekte zu bezeichnen sind. In Hinblick auf die spezielle Problematik lassen sich drei Gruppen psychologischer Externalitäten unterscheiden.

In erster Linie ist an negative externe Effekte zu denken, die überhaupt erst durch das Auftreten psychologischer Effekte wirksam werden (Tegner 1996: 5).⁴⁷ Betrachtet man beispielsweise zwei benachbarte Ein-Personen-Haushalte A und B an einer Stadtstraße, so mag sich der ruhebedürftige A durch die Vorbeifahrt eines Motorrades (angenommener Pegel: 55 dB(A)⁴⁸) bereits stark belästigt fühlen, während sich beim schwerhörigen Motorradfan B nebenan erst ab z. B. 65 dB(A)⁴⁹ ein (im Extremfall eventuell sogar positiver) externer Effekt feststellen läßt.

Eine zweite Kategorie psychologischer externer Effekte liegt vor, wenn Präferenzänderungen von außen durch Information oder ähnliches angestoßen werden (ebd.). Das Individuum, welches bisher mit seinem Zustand zufrieden war, fühlt sich in der neuen Situation unwohler. Dies wäre etwa für einen Nachbarn C der Fall, der sich nach einer Sendung über die Erhöhung des Herzinfarkttrisikos durch Straßenverkehrslärm plötzlich von dem ehemals nicht als belästigend empfundenen Schallpegel von 55 dB(A) gestört fühlt.

Desweiteren können psychologische externe Effekte auftreten, wenn das individuelle Nutzenniveau von der Konsumstruktur oder vom Nutzen- bzw. Konsumniveau eines Anderen abhängt (ebd.). So könnte man sich vorstellen, daß der vom Motorradlärm stark belästigte A seinem Nachbarn B dessen ruhigere Wohnlage oder dessen geringere individuelle Lärmempfindlichkeit neidet. Auch die entgegengesetzt wirkende Nutzeninterdependenz (Mitleid des B für den A) ist denkbar.

Betrachtet man nun insgesamt das Zusammenwirken technischer und psychologischer Externalitäten, so wird die hohe Komplexität der Externalität Verkehrslärm, welche vor allem durch die starke Kontextabhängigkeit des „Umweltschadstoffes“ Lärm entsteht, deutlich. Zur Vereinfachung der nachfolgenden

⁴⁶ Vgl. insbesondere den Abschnitt Abhängigkeiten zwischen Belastung und Belästigung.

⁴⁷ Dazu sei hier auf den bereits erläuterten komplexen Ursache-Wirkungszusammenhang (Schall-Lärm), insbesondere auf die dependenzanalytischen Betrachtungen bezüglich Belastung und Belästigung in Kapitel 2.2 verwiesen.

⁴⁸ Der Pegelwert von 55 dB(A) bezeichnet im "Normalfall" den Übergang zwischen "gar nicht belästigt" und "nicht so stark belästigt" (vgl. dazu Abbildung 3 in Kapitel 2).

⁴⁹ Bei einem Tagesmittelungspegel von 65 dB(A) fühlen sich die Betroffenen im Durchschnitt bereits "stark belästigt" (vgl. dazu Abbildung 3 in Kapitel 2).

ökonomischen Analyse soll daher angenommen werden, daß die hier betrachteten psychologischen Externalitäten ebenso marktinkonform sind wie technische Externalitäten (Grossekettler 1995: 510) und somit gleichartig auf die ökonomische Effizienz des betrachteten Systems wirken, d. h. zu Marktversagen führen.

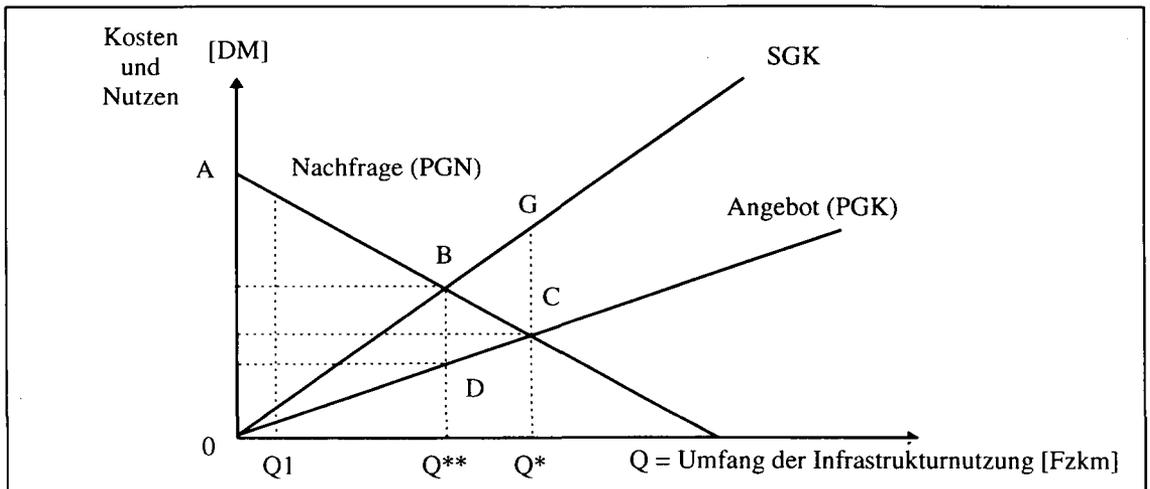
Um nun die Wirkung der Externalität Verkehrslärm auf die ökonomische Effizienz des Systems Infrastrukturnutzung zu verdeutlichen, sei zunächst von einem stark vereinfachenden neoklassischen Modell ausgegangen, welches vollkommene Konkurrenz⁵⁰ bei der Nutzung der Infrastruktur unterstellt. In diesem Fall wird die aggregierte Angebotskurve durch den Verlauf der privaten Grenzkostenkurven (PGK) und die aggregierte Nachfragekurve der Infrastrukturnutzer durch die privaten Grenznutzenkurven (PGN) bestimmt.⁵¹ Aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung seien andere Externalitäten der Infrastrukturnutzung *ceteris paribus* gleich null gesetzt sowie ein linearer Zusammenhang zwischen jeder Fahrt und dem dadurch entstehenden Lärmschaden unterstellt.⁵² Dabei wird angenommen, daß sich Verkehrslärm von anderen Lärmarten (Nachbarschaftslärm, Industrielärm, etc.) isoliert betrachten läßt. Durch die statische Konzeption des Modells können Verursacher und Betroffene der Externalität im Gegensatz zur Realität klar getrennt werden.

⁵⁰ Ein vollkommener Konkurrenzmarkt herrscht im wesentlichen, wenn die Annahmen vollkommener Information aller Marktteilnehmer, gewinnmaximierendes Verhalten der Unternehmen und vollständige Nutzenmaximierung der Haushalte unter der Hypothese rationalen Verhaltens erfüllt sind. Alle Anbieter und Nachfrager handeln hier als Mengenanpasser (Stobbe 1991: 314).

⁵¹ Die aggregierte Angebotskurve ist steigend, da bei vollkommener Konkurrenz die einzelnen Angebotskurven durch den aufsteigenden Teil der privaten Grenzkostenkurven oberhalb des Minimums der durchschnittlichen variablen Kosten bestimmt sind; bei der Aggregation der einzelnen Angebotskurven ergibt sich somit eine aufsteigende aggregierte Angebotskurve. Die aggregierte Nachfragekurve ist hier fallend, da im Regelfall die Nachfrage bei steigenden Preisen sinkt (Siebke 1995: 70-71).

⁵² Zu den komplexen, nicht-linearen Ursache-Wirkungszusammenhängen sei auf Kapitel 2 verwiesen. Es wird klar, daß die Annahme, eine Fahrt per se (gemessen in Fahrzeugkilometer) verursache eine bestimmte Menge Lärm (gemessen in dB(A)) in der Realität nicht haltbar ist. Als Haupteinflußgrößen auf die nicht-lineare „Produktion“ von Verkehrslärm läßt sich das Zusammenwirken von Fahrverhalten und der betrachteten Fahrzeugtechnologie, sowie (eher am Rande) das institutionelle Versagen ausmachen (Greene/Jones 1997: 13).

Abbildung 4: Ineffizienz des Systems Infrastrukturnutzung durch die Externalität Verkehrslärm



Quelle: Maddison et al. (1996: 21).

Eine effiziente Allokation der Ressourcen erfordert, daß die soziale Wohlfahrt bzw. die individuelle Wohlfahrt jedes Individuums in der Ökonomie maximiert wird. Als Wohlfahrtsmaße werden üblicherweise die bereits erwähnten Maße Konsumentenrente (KR) und Produzentenrente (PR) verwendet. Bleiben eventuelle Einkommenseffekte aus der Nutzung der Verkehrsinfrastruktur unberücksichtigt, bezeichnen diese den Unterschied zwischen dem ökonomischen Nutzen einer Aktivität und deren Kosten. Unternimmt nun eine Person üblicherweise Q_1 Fahrten, so würde eine zusätzliche Fahrt ihren Nutzen steigern. Denn bei Q_1 Fahrten (gemessen in Fzkm) sind die marginalen Nutzen größer als die marginalen Kosten. Das betrachtete rationale Individuum wird nun solange weitere Fahrten unternehmen und zusätzliche Konsumentenrente realisieren, bis der fallende Grenznutzen (PGN) die steigenden privaten Grenzkosten (PGK) gerade ausgleicht, also bis zur Menge Q^* . Der Markt ist geräumt. An diesem Punkt C wird sowohl die Konsumentenrente des Individuums als auch die soziale Wohlfahrt gleichzeitig maximiert (Dreieck OCA_0). Denn verfolgen alle Individuen in der Gesellschaft das genannte Maximierungskalkül ($PGN=PGK$), so kann auch die soziale Wohlfahrt insgesamt als maximiert gelten. Ein pareto-optimaler Zustand ist erreicht. Dies bedeutet, daß kein Individuum durch eine Neu- oder Umverteilung bessergestellt werden kann, ohne daß ein anderes schlechter gestellt wird.

Wird nun aber durch die Nutzung der Infrastruktur der externe Effekt Verkehrslärm ausgelöst, so kann die soziale Wohlfahrt in Q^* nicht länger als maximal gelten. Denn die privaten Kosten einer zusätzlichen Fahrt, mit denen das Individuum konfrontiert wird, entsprechen dann nicht mehr den Kosten für die Allgemeinheit, die durch die soziale Grenzkostenkurve (SGK) dargestellt sind. Die

soziale Wohlfahrt bei Vorliegen der Externalität ist dann maximal bei Q^{**} , einer Menge an Fahrten also, die geringer ist als jene, die sich aus dem privaten Optimum ergibt (Q^*). Die bei Q^{**} resultierende maximale soziale Wohlfahrt entspricht der Fläche $OABO$. Diese ist - wie man leicht erkennen kann - größer als die Differenz zwischen (privatem) Wohlfahrtsgewinn $OCAO$ und dem (sozialen) Wohlfahrtsverlust von $OCCO$. Für jede zusätzliche Fahrt, die über Q^{**} hinaus unternommen wird, sind die Kosten für die Gesellschaft höher als der Nutzen für den Fahrer. Der insgesamt durch das Auseinanderfallen von privaten und sozialen Grenzkosten resultierende Wohlfahrtsverlust entspricht somit der Fläche BGC .⁵³

Neben allgemeinen Ursachen für Marktversagen⁵⁴ liegen vor allem auch umweltspezifische Gründe vor, die dazu führen, daß ein volkswirtschaftliches Gleichgewicht nur theoretische Fiktion sein kann. Letztere lassen sich durch das Problem der unzureichend definierten Verfügungsrechte bei Vorliegen einer Externalität charakterisieren.

Dies wird deutlich, wenn wir die Betrachtung des Kollektivgutes Infrastrukturnutzung auf den Verkehrslärm an sich weiter fokussieren. Es zeigt sich das Problem der Nicht-Existenz eines Marktes für „weniger Lärm“.⁵⁵ Die Nutzung eines Kubikmeters Luft als Schallmedium unterliegt zwar konkurrierenden Verwendungen (als „Lärmsenke“ oder als Ort der Stille), jedoch sind Verfügungsrechte an ihm unzureichend definiert, so daß der externe Effekt Verkehrslärm durch private Verhandlungen im *bestehenden* institutionellen Rahmen nicht internalisiert werden kann.

⁵³ Es stellt sich nun die Frage, wie ein solcher Wohlfahrtsverlust bzw. das Marktversagen zu vermeiden ist. Will die Gesellschaft nicht das Gemeinlastprinzip, bei dem die Gemeinschaft bewußt und freiwillig für Schäden haftet, sondern das Verursacherprinzip verfolgen, bieten sich ihr aus umweltökonomischer Sicht vor allem zwei Möglichkeiten. Zum einen die Internalisierung über eine „Pigou-Steuer“. Zum anderen eine „Coase-Verhandlungslösung“. So würde eine „Lärmsteuer“ in Höhe von BD pro Fahrt im Rahmen des Modells ebenso sicherstellen, daß ein pareto-optimaler Zustand erreicht wird, wie eine Verhandlungslösung, bei der sich Verursacher und Betroffener durch Seitenzahlungen auf das optimale Ausmaß der Infrastrukturnutzung (Q^{**}) einigen würden. Während die Coase-Lösung Transaktionskosten von Null unterstellt und somit allenfalls für kleine Gruppen einen Lösungsansatz liefern kann, erscheint das Konzept von Pigou praktikabler. Die externen Kosten würden sich in den realen Preisen der Transportleistungen widerspiegeln und so in das individuelle Maximierungskalkül der Marktteilnehmer mit eingehen. Es bleibt dabei das Problem der genauen Ermittlung der Schadenskosten durch Lärm.

⁵⁴ In Bezug auf Infrastrukturnutzung lassen sich nach Greene und Jones (1997: 22) in der Realität etwa die folgenden allgemeine Ursachen für Ineffizienzen ausmachen: Unvollkommener Wettbewerb (z.B. monopolistische Strukturen im Verkehrsmarkt Schiene); irrationales Verhalten (kein Anschnallen, Trunkenheit am Steuer, etc.) und unvollständige Information (z.B. über die Verkehrslage, oder über die Ursache-Wirkungszusammenhänge von Kuppelprodukten der Infrastrukturnutzung). Die genannten Mängel sind jedoch nicht umweltspezifisch (Requate 1997: 8, 10) und sind daher theoretisch mit Wirtschaftspolitik zu beheben.

⁵⁵ Die Existenz des externen Effektes kann somit auch als Nicht-Existenz eines Marktes für dieses Gut begriffen werden (Masuhr et al. 1992: 191).

Der Verkehrslärm als öffentliches Übel

Aus der Sicht der Theorie öffentlicher Güter läßt sich Lärm demnach als ein „öffentliches Übel“ (public bad) begreifen, welches einen Eingriff des Staates legitimiert. Es liegen beide Charakteristika öffentlicher Güter vor. Zum einen besteht *Nicht-Rivalität* im „Konsum“; denn eine Person, die in ein lärmbelastetes Gebiet hinzuzieht, schmälert nicht die Belastung der anderen Einwohner. Zum anderen ist *Nicht-Ausschließbarkeit* gegeben, da es technisch gesehen unmöglich ist, jedes Individuum in dem belasteten Gebiet vor Schall zu schützen.⁵⁶

3.1.3 Das pareto-optimale Lärmschutzniveau

Will ein sozialer Planer Lärmschutz betreiben, so sieht er sich mit dem Problem konfrontiert, daß die Reduktion von Schäden vermehrten Vermeidungsaufwand notwendig macht, das Unterlassen der Vermeidung jedoch zu einem Anstieg der Schäden führt. Offensichtlich besteht also ein ökonomischer „Trade-off“ zwischen Schaden und Vermeidung, welcher sich anhand zweier Extrema institutionellen Handelns erläutern läßt. Der erste Fall betrifft die Überschätzung des Schadens und daraus resultierend das Setzen überzogener Lärmgrenzwerte. Die zu hohen Standards senden die falschen Allokationssignale aus und führen so zu einer Unterversorgung mit neuer Infrastruktur. Der Weiterentwicklung der vorhandenen Transportsysteme wird somit der Boden entzogen. Auf der anderen Seite steht die Unterschätzung des Schadens und damit das Ausblenden realer sozialer Kosten in Projektfinanzierungsüberlegungen im Verkehrsbereich. Dies führt ebenfalls zu einer suboptimalen Allokation der volkswirtschaftlichen Ressourcen und äußert sich in einer Unterversorgung mit dem Gut Ruhe (Levinson et al. 1996: 3_1).

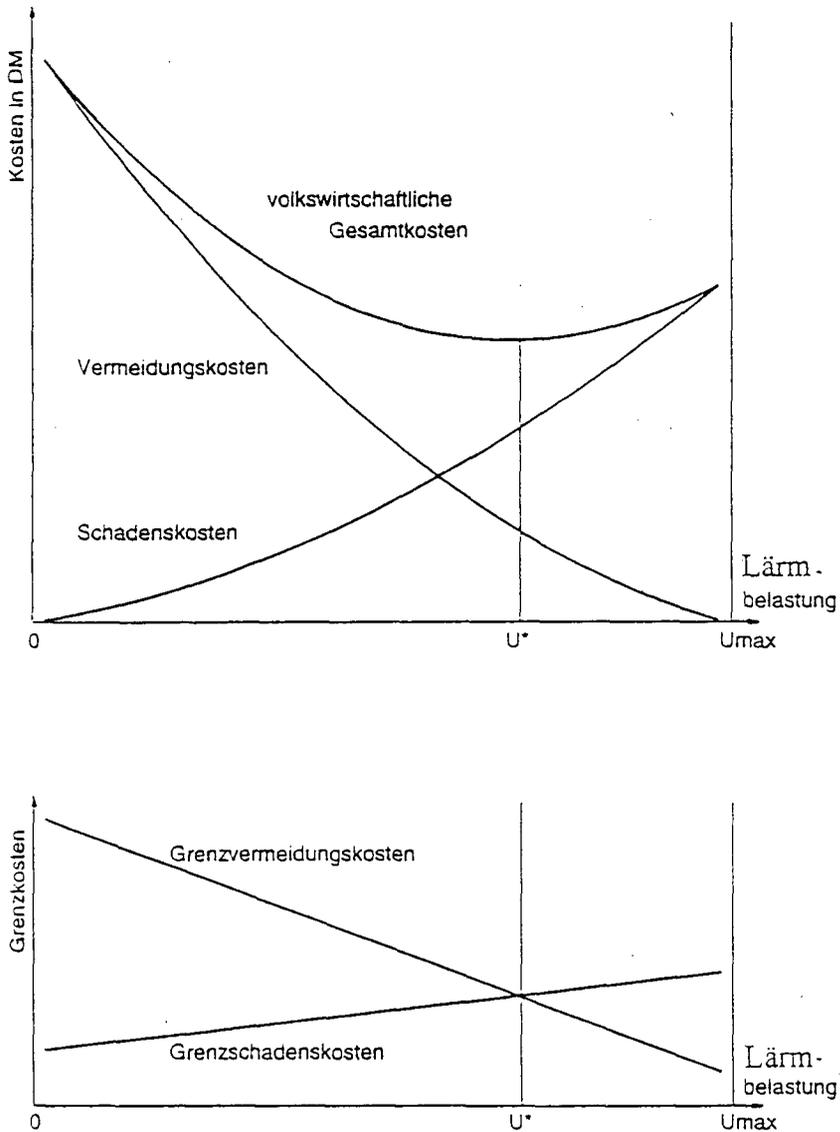
Doch wie läßt sich nun das Lärmschutzniveau ermitteln, welches die gesamten volkswirtschaftlichen Lärmkosten (Schadens- und Vermeidungskosten) minimiert (Vgl. Abbildung 5, oberer Teil) und somit als pareto-optimal gelten kann?

Sind die detaillierten Verläufe der Vermeidungs- und Schadenskostenkurve bekannt, bzw. unterstellt man, daß sämtliche Lärmschäden und -schutzmaßnahmen eindeutig erfaßbar und zudem auch monetarisierbar sind,⁵⁷ so läßt sich das pareto-optimale Lärmschutzniveau U^* aus theoretischer Sicht einfach bestimmen.

⁵⁶ Auf die Implikationen des öffentlichen-Gut-Charakters des Verkehrslärm auf das Verhalten der Marktteilnehmer (z.B. free-rider Problematik) wird in Kapitel 3.3.1.2 näher eingegangen.

⁵⁷ Während sich die Annahme der eindeutigen Erfassbarkeit sämtlicher Schäden auf das Mengengerüst der externen Kosten-Berechnung bezieht, betrifft die Monetarisierbarkeit das Wertgerüst.

Abbildung 5: Schematische Darstellung von (Grenz-) Vermeidungskosten und (Grenz-) Schadenskosten der Verkehrslärmbelastung.



Quelle: Bickel/Friedrich (1995: 12).

Während der obere Teil der Abbildung 5 die schematischen Verläufe vereinfachter Kostenfunktionen darstellt, bildet der untere Teil die zugehörigen Grenzkosten ab, die bei der Veränderung des Lärmbelastungsniveaus um eine Einheit anfallen. Dabei scheint es plausibel, daß die marginalen Schadenskosten mit der Lärmbelastung und die marginalen Vermeidungskosten mit der Regulierung ansteigen (Levinson et al. 1996: 3_10). So ist die erste vermiedene Einheit einer Externalität kostengünstiger als die zweite, diese als die dritte und so weiter, wenn man annimmt, daß die jeweils kosteneffektivste Maßnahme zuerst unternommen wird. Das soll allerdings nicht heißen, daß es keine steigenden Skalenerträge innerhalb einer bestimmten

Vermeidungstechnologie geben kann. Es drückt vielmehr aus, daß zwischen den Technologien (im Maßnahmenbündel) die Kosten wahrscheinlich steigen (Levinson et al. 1996: 3_11).

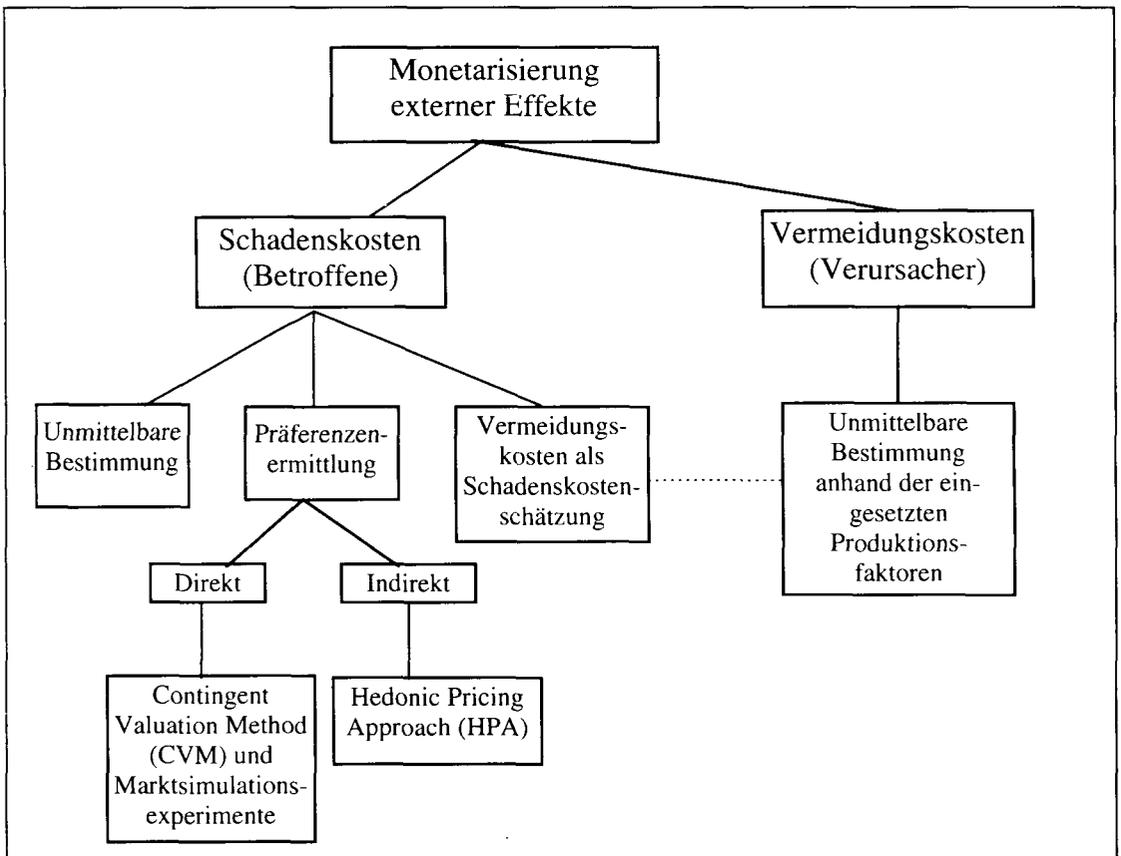
Akzeptiert man die geschilderten Kurvenverläufe, so führt das mikroökonomische Kosten-Nutzenkalkül dazu, daß Kosten und Nutzen einer zusätzlichen Lärmschutzmaßnahme solange abgewogen werden, bis die Grenzvermeidungskosten (GVK) gerade den monetär bewerteten Grenzschäden (GSK) entsprechen. An diesem Punkt, an dem $GVK = GSK$ gilt, resultiert das Lärmbelastungsniveau U^* , bei dem wie der obere Teil der Grafik zeigt, die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten des Verkehrslärms minimal sind. Ziel dieses anthropozentrischen Ansatzes ist somit nicht die maximale Reduktion der Lärmbelastung, sondern vielmehr eine ökonomisch effiziente, die die Kosten der Lärmschutzmaßnahme mitberücksichtigt (Bickel/Friedrich 1995: 11).

Dazu ist aber die allein empirisch zu klärende Frage der genauen Kurvenverläufe zu beantworten. Während sich die Vermeidungskosten häufig am Markt beobachten lassen,⁵⁸ und es somit meist möglich ist, den Verlauf der (Grenz-) Vermeidungskostenkurve grob abzuschätzen, stellt die Ermittlung der (Grenz-) Schadenskostenkurve das Hauptproblem dar.

⁵⁸ Vgl. dazu die Kostenaufstellungen für aktive und passive Vermeidungsmaßnahmen, die im Rahmen des Vermeidungskostenansatzes in Kapitel 3.2 vorgestellt werden.

In Anbetracht dieser Tatsache soll im folgenden, vor allem auch in Hinblick auf die Auswahl des eigenen Bewertungsansatzes, der Schwerpunkt der Diskussion auf den Monetarisierungsmethoden des Schadenskostenansatzes liegen (Kapitel 3.3). Der Vermeidungskostenansatz, der die zweite Hauptkategorie von Ansätzen zur Schätzung von Kostenfunktionen bildet, soll hingegen nur kurz diskutiert werden. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die in dieser Arbeit diskutierten Verfahren der Monetarisierung externer Effekte.⁵⁹

Abbildung 6: Überblick über Monetarisierungsansätze für die Externalität Verkehrslärm.



Quelle: Eigene Darstellung. In Anlehnung an Mechler (1997: 13).

⁵⁹ Während der Vermeidungskostenansatz als Schadenskostenschätzung am Ende des Kapitels 3.3.1.1 (Unmittelbare Bestimmung der Schadenskosten) kurz diskutiert wird, wird das direkte Präferenzermittlungsverfahren der Marktsimulation im Rahmen der Contingent Valuation Method in Kapitel 3.3.3.1 (letzter Abschnitt) vorgestellt und eingeschätzt.

3.2 Vermeidungskostenansatz

Der Vermeidungskostenansatz hat zum Ziel, diejenigen Kosten zu bestimmen, die anfallen, wenn man Schaden abwenden will; wobei gemäß dem ökonomischen Prinzip jeweils die kosteneffektivste Präventivmaßnahme zur Anwendung kommen sollte.⁶⁰

Die zur Vermeidung eingesetzten Produktionsfaktoren (Kapital, Arbeitskraft) bestimmen dabei das Mengengerüst des Ansatzes. Da für die Produktionsfaktoren am Markt beobachtbare Preise vorliegen (z.B. für Lärmschutzfenster und deren Einbau), sind die Vermeidungskosten (engl. costs of control) zumindest aus konzeptioneller Sicht einfach zu ermitteln und lassen sich nach Masuhr et al. (1992: 314-315) in Kosten der konkreten technischen Maßnahme (engl. abatement costs) und Kosten der Erarbeitung und Durchsetzung von Umweltvorschriften (engl. transaction costs) unterscheiden.

Im Hinblick auf die Vermeidungskosten des Lärms ist es wesentlich, daß nicht die Kosten berücksichtigt werden, die Betroffenen aufgrund der herrschenden rechtlichen Bestimmungen⁶¹ entstehen, sondern vielmehr diejenigen Kosten, die bei der Lärmreduktion auf bestimmte „Zielpegel“ verursacht werden (FGSV 1986: 8). Letztere lassen sich jedoch nicht „objektiv“ ermitteln. Wie bereits in Kapitel 2.3.2 erwähnt, führt erst das Zusammenspiel interdisziplinärer Werturteile zu einer schließlich „subjektiven“- Festlegung der Toleranzgrenzen. Hierin ist die normative Implikation von externen Kostenrechnungen auf Grundlage des Vermeidungskostenansatzes begründet und nicht etwa in der ökonomischen Bewertung an sich. Daher ist es stets wichtig, die mit der Formulierung des „Zielpegels“ einhergehenden Annahmen transparent zu machen. Dies betrifft vor allem die angenommene Höhe des Zielpegels, sowie die Frage, ob der Außen- oder der Innenpegel den Berechnungen zugrunde liegt (IWW/INFRAS 1995: 39).

Um den festgelegten Zielpegel zu erreichen, sind vielfältige Maßnahmen denkbar. Es lassen sich aktive und passive Maßnahmen unterscheiden, wobei erstere bei der Schallentstehung und letztere beim Betroffenen selbst ansetzen.

3.2.1 Lärmschutz im Straßen- und Schienenverkehr

3.2.1.1 Aktiver Lärmschutz Straße

Durch vorausschauende *Planung* bei der Trassenführung, insbesondere mit dem Ziel der Trennung lärmintensiver Gewerbe- und lärmarmen Wohngebiete, können Lärmschäden im Sinne der Gefahrenabwehr bereits im Vorfeld verhindert bzw.

⁶⁰ Hinter dem Vermeidungskostenansatz steht der Gedanke, daß der Umweltschaden aus gesellschaftlicher Sicht mindestens so hoch wertgeschätzt wird, wie die Vermeidungskosten, die zu seiner Verhinderung notwendig gewesen wären (Glaser 1992: 97-98).

⁶¹ Zu den rechtlichen Bestimmungen bei Lärmvorsorge und -sanierung siehe Kapitel 2.3.3.

vermindert werden. Weitere Maßnahmen setzen beim *Verursacher* an. Hier steht die Förderung eines lärmbewußten (Fahr-)Verhaltens durch Umwelterziehung im Vordergrund.⁶² Denn durch eine niedrigtourige Fahrweise läßt sich eine Pegelminderung im Vergleich zur hoctourigen Fahrweise von bis zu 10 dB(A) feststellen (LfU 1995: J-6). Neben erzieherischen ist auch an rechtliche Maßnahmen zu denken. Insbesondere die Festlegung von Betriebszeiten, wie z.B. ein Nachtfahrverbot für Lkw, wie es in der Schweiz existiert, birgt große Potentiale der Lärmvermeidung. So läßt sich im Durchschnitt auf schweizerischen Autobahnen im Vergleich zu deutschen ein um mehr als 10 dB(A) niedrigerer Nachtpegel feststellen (ISIS et al. 1997a: Annex 2).

Bezüglich der Maßnahmen an der *Schallquelle* selbst, sind v. a. die Kapselung von Motoren, die Verbesserung der Lager, sowie leisere Reifen zu nennen. Allein durch die letztgenannte Maßnahme, ließe sich der Verkehrslärm im Mittel um etwa 3 dB(A) reduzieren.⁶³ In der Nähe von Autobahnen ist das Lärminderungspotential mit 6 dB(A) sogar noch höher (Huckestein/Verron 1995: 23).

Was den *Übertragungsbereich*⁶⁴ anbelangt, so sind zum einen neuartige Straßenbeläge (Drain-Mowilith oder „Flüsterbeton“) zu nennen, die zu einer Pegelminderung von bis zu 5 dB(A) führen können. Zum anderen ist an bauliche Maßnahmen an der Strecke zu denken. Der Bestand an Lärmschutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen betrug im Jahre 1995 insgesamt etwa 2100 km (1320 km Wände, 720 km Wälle, 34 km Steilwälle) (BMV 1995: 21). Die nach Höhe, Material und Bauart verschiedenen Lärmschutzwände, besitzen eine akustische Dämmwirkung von 10 bis 15 dB(A) (Höger 1993: 57, BMV 1993: 26). Als Durchschnitt aller 1995 errichteten Lärmschutzwände ergeben sich Kosten von 694,-DM/m² (BMV 1995: 21).⁶⁵ Die aus natürlichem Erdreich bestehenden Lärmschutzwälle benötigen bei gleicher Wirkung zwar mehr Fläche als Dämmwände, sind diesen jedoch aus Kostengründen und aus gestalterischen Aspekten⁶⁶ vorzuziehen (BMV 1995: 5). Pro Quadratmeter wirksame Abschirmfläche sind für einen 4m (6m) hohen Wall inklusive Grunderwerb durchschnittliche Preise von lediglich 105,-DM (150,-DM) zu zahlen (BMV 1995: 12). Die Kosten für die selten verwendeten Steilwälle

⁶² Beispielhaft sei hier auf die erfolgreiche Aufklärungskampagne zur Förderung lärmbewußten Verhaltens in den Niederlanden Mitte der 80er Jahre hingewiesen. Die Lärmbelastigung im Wohnbereich nahm um 15% ab. Die Kosten betragen fast 10 Millionen DM, so daß sich die Kampagne als „low-cost-measure“ bezeichnen läßt (Kuiper 1990: 112-113).

⁶³ Die Emissionsunterschiede heute angebotener Reifentypen für Pkw und Lkw betragen bis zu 8 dB(A). Das entspricht etwa dem 6-fachen der erzeugten Schallenergie. Das heißt, daß sechs leise Reifen den gleichen Lärm erzeugen wie ein lauter Reifen.

⁶⁴ Der Übertragungsbereich soll im folgenden als dasjenige Gebiet verstanden werden, das zwischen der Schallquelle und der betroffenen Person liegt.

⁶⁵ Die Kosten pro Quadratmeter variieren von 534,-DM (Stahlwand) bis 996,-DM (transparente Wände).

⁶⁶ Denn Lärmschutzwände erhöhen die Trennwirkung von Verkehrsstrassen und stören das Stadt- und Landschaftsbild.

entsprechen in etwa den Kosten für Dämmwände durchschnittlich ca. 670,-DM/m². Schließlich ist noch auf die teuren, aber innerstädtisch oft nötigen, Teil- oder Vollabdeckungen (Tunnel) hinzuweisen.

3.2.1.2 Aktiver Lärmschutz Schiene

Auch in bezug auf den Verkehrsträger Schiene, ist gemäß dem Vorsorgeprinzip zunächst an *planerische Maßnahmen* zu denken, wie etwa das Ausweisen von „Lärmkorridoren“ (Zach 1995: 73). Desweiteren lassen sich im Bereich der betrieblichen Planung Maßnahmen wie die Optimierung der Betriebsabläufe (Rupp 1995: 146) und die Einschränkung insbesondere der nächtlichen Betriebszeiten (Lemmerer 1995: 68-69) nennen, wobei eine Halbierung der Zuganzahl pro Zeitperiode, ebenso wie eine Halbierung der Zuglänge, zu einer Senkung des Mittelungspegels um 3 dB(A) führt. Die halbe Fahrgeschwindigkeit führt sogar zu einer Pegelminderung von ca. 6 bis 10 dB(A).

Während sich der Handlungsspielraum in bezug auf aktive Lärmbekämpfung beim *Verursacher* im wesentlichen auf entsprechende Schulungen des Bahnpersonals beschränkt, lassen sich am *Emissionsort* vielfältige Ansatzpunkte nennen. Direkt an der Emissionsquelle setzen Maßnahmen wie optimierte Radformen (Hölzl 1995: 42) oder gewichtsoptimierte, sprich möglichst leichte, Räder an (Zöschner 1995: 55). Während Schallabsorber am Rad die Schallbelastung um bis zu 4 dB(A) verringern, wirkt sich das Glätten der Radlaufflächen in Pegelminderungen bis zu 10 dB(A) aus (Deutsche Bahn 1984: 12). Vor allem aber kann die Verwendung von Scheibenbremsen, an Stelle von Klotzbremsen,⁶⁷ einen wesentlichen Beitrag zu mehr Lärmschutz leisten. Es lassen sich Pegelminderungen um etwa 9 dB(A) feststellen (BMV 1993: 21), die sich durch schwingungsoptimierte Bremshängungen noch weiter erhöhen lassen (Griesser 1995: 40).

Betrachtet man den *Übertragungsbereich*, so ist zunächst auf den Einfluß der Belagqualität zu verwiesen. Ein Schotterbett führt im Vergleich zu einer festen Fahrbahn zu Pegelminderungen bis zu 4 dB(A), an Brücken sogar bis zu 15 dB(A) (BMV 1993: 21). Ein weiterer Punkt sind lückenlos verschweißte Gleise, die Schienenverkehrslärm um ca. 10 dB(A) verringern können. Entsprechend dem Verkehrsträger Straße ergeben sich zudem Lärmreduktionsmöglichkeiten durch den Bau von Schallschutzwänden (10 bis 15 dB(A)) oder durch die Bepflanzung des Schutzstreifens (-2 bis -5 dB(A)). Insbesondere in bezug auf den Güterverkehr sind die (allerdings kostenintensiven) Vollabdeckungen (Tunnel) häufig das geeignetste Mittel zur Schallpegelminderung in der Nähe von Wohngebieten (Sommerer 1995: 50).

⁶⁷ Problematisch ist der Wechsel von Klotz- zu Scheibenbremsen bei Güterwaggons, da diese international oft ausgetauscht werden. Der gesamte europäische Fahrzeugpark müßte umgerüstet werden, um von dieser Seite aus die Lärmbekämpfung voranzutreiben (Sommerer 1995: 44-45).

3.2.1.3 Passiver Lärmschutz

Der passive Lärmschutz umfaßt vor allem Schallschutzfenster. Diese besitzen je nach verwendeter Technologie eine Dämmwirkung zwischen 30 db(A) (einfaches Schallschutzfenster) und 45 db(A) (Schallschutzkastenfenster mit getrenntem Rahmen). Im Jahre 1995 betrug der Bestand an Schallschutzfenstern im gesamten Bundesgebiet etwa 605.000 m². Knapp zwei Drittel davon bestehen aus Kunststoff (Durchschnittspreis 740,-DM/m²), knapp ein Drittel aus Holz (779,-DM/m²) und die restlichen 6% aus Metall (1110,-DM/m²). Zudem ergeben sich Kosten für Lüftungseinrichtungen (Durchschnittspreis 1140,-DM). Insgesamt ist bei dieser Betrachtung zu beachten, daß die Kostenermittlung die Gesamtkosten umfaßt und nicht deren 75%-ige Erstattung bei Lärmsanierung (BMV 1995: 25-26). Reichen Schallschutzfenster nicht aus, ist zudem an Verstärkungen von Haustüren, Dächern und Außenwänden zu denken.

3.2.2 Einschätzung des Vermeidungskostenansatzes

In der Realität läßt sich trotz einer gesetzlichen Empfehlung des aktiven Lärmschutzes eine Fokussierung auf passive Maßnahmen beobachten (BMV 1995: 5). Zudem werden häufig Maßnahmenbündel ergriffen. Diese führen zu Problemen der Zurechenbarkeit, da sich die Wirkungen der einzelnen Vermeidungstechnologien häufig überlappen. Bei der Wahl der „richtigen“ Maßnahme bzw. des "richtigen" Maßnahmenbündels ist es dabei wichtig, stets in sozialen Opportunitätskosten zu denken. So stehen z.B. der vordergründig „kostengünstigsten“ Art der Lärmvermeidung, Gehörstöpsel zu verwenden, offensichtliche Nutzeneinbußen in Form von stark eingeschränktem persönlichen Wohlbefinden gegenüber, die dazu führen, daß derartige Lärmbekämpfung nicht ernsthaft diskutiert werden kann (ebd.: 39). Auch Schallschutzfenster, die traditionell als Berechnungsgrundlage von Vermeidungskosten des Verkehrslärms verwendet werden,⁶⁸ führen durch ihre Sekundäreffekte⁶⁹ noch zu erheblichen Nutzeneinbußen bei den Betroffenen (Höger 1993: 57).

Ein Vorteil des Vermeidungskostenansatzes ist sicher seine Praktikabilität aufgrund der am Markt beobachtbaren Preise für Vermeidungstechnologien. Zudem ist das methodische Instrumentarium entwickelt und im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen in der Straßenbauplanung erprobt. Demzufolge könnte der Vermeidungs-

⁶⁸ So basiert insbesondere der Wertansatz in den Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) auf Marktpreisen für Schallschutzfenster (FGSV 1986: 21).

⁶⁹ Denn obgleich sich durch den Einbau von Lärmschutzfenstern neben der Schall- auch en passant die Wärmeisolierung verbessert, impliziert die Maßnahme das Problem, daß Lärm nur in bestimmten Teilen der Wohnung vermieden werden kann. Außenwohnbereiche wie Balkon oder Garten bleiben „verlärmte“. Die Tatsache, daß Lärmvermeidung nur bei geschlossenen Fenstern funktioniert, führt schließlich dazu, daß sich in den geschützten Räumen ein Isolationsgefühl einstellt. Man fühlt sich eingeschlossen und von der akustischen Außenwelt abgeschnitten; zugleich treten Geräusche im Haus (z.B. Nachbarschaftslärm) stärker hervor (Höger 1993: 57).

kostenansatz nach Huckestein/Verron (1995: 24) durch die hohe Objektivität seiner Ergebnisse eine robuste Basis für den politischen Prozeß der Konsensfindung bieten.

Dies ist jedoch gerade zu bezweifeln, da die Zukunftsbezogenheit des Ansatzes problematisch bleibt. Die spekulativen Elemente des Ansatzes, im Bereich Lärm insbesondere die Festlegung des Zielpegels, führen zu unerwünschten Rückkopplungen zwischen Monetarisierung und Politik und somit schließlich zu einer deutlichen Einschränkung der Objektivität der Ergebnisse.

Außerdem umfaßt die traditionelle Lärmbewertung auf der Basis von Lärmschutzfenstern nur einen Ausschnitt der Gesamtbelastung. Lärmwirkungen in den Außenwohnbereichen werden ebenso ausgeblendet wie psychologische Sekundäreffekte.

Somit spiegelt der Vermeidungskostenansatz also lediglich einen Teil der "wahren" Vermeidungskosten wider. Zudem bleibt das Grundproblem bestehen, daß Vermeidungskosten per se solange eine Unterschätzung lärmbedingter Schäden darstellen, wie sich die aktuelle Belastung auf einem Niveau befindet, das von der Mehrzahl der Bevölkerung als belästigend eingestuft wird.⁷⁰

Insgesamt gesehen sollte der Vermeidungskostenansatz daher lediglich Anwendung finden, wenn Methoden des Schadenskostenansatzes zu keinen verlässlichen Ergebnissen gelangen (Glaser 1992: 96). Tritt dieser Fall ein, so sollte man sich jedoch vor Augen halten, daß die Vermeidungskosten als Schadenskostenschätzung nur eine "Unterschätzung der Untergrenze" der Lärmkosten bieten.

⁷⁰ Vgl. dazu auch Abbildung 5 in Kapitel 3.1.3. Dort würde sich die beschriebene Situation darin widerspiegeln, daß die aktuelle Lärmbelastung U größer als U^* ist.

3.3 Schadenskostenansatz

Der Schadenskostenansatz konzentriert sich im Gegensatz zum Vermeidungskostenkonzept ganz auf die Perspektive des Betroffenen. Die Bewertung der Umweltschäden selbst steht im Vordergrund. Als methodisches Grundprinzip wird dabei das neoklassische Konzept der Konsumentensouveränität verwendet, d.h., daß der Wert privater und öffentlicher Güter durch die individuellen Präferenzen der Konsumenten bestimmt und nicht durch eine Institution zentral festgelegt wird (Cansier 1993: 80).

Beim Schadenskostenansatz wird in der Regel in drei Schritten vorgegangen. Zuerst müssen negative Auswirkungen identifiziert werden. In einem zweiten Schritt werden dann die durch die negative Externalität verursachten Schäden in Form des Mengengerüsts erfaßt, um schließlich in einem dritten Schritt die quantifizierten Schäden monetär bewerten zu können (Wertgerüst). Dieses Vorgehen, bei dem der örtliche, zeitliche und logische Weg von der Emission bis zum monetär zu bewertenden Schaden nachgezeichnet wird, nennt man auch den „Wirkungspfad-Ansatz“ (engl. *impact-pathway-approach*) (Endres/Holm-Müller 1998: 141).⁷¹

Zur Identifizierung von Lärmschäden ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge der Fortschritt und die Zusammenarbeit insbesondere außerökonomischer Wissenschaftsbereiche (Medizin; Psychologie, Biologie, etc.) wesentlich, wie sich z.B. an der Frage „Wann wird Schall zu Lärm?“ (vgl. Kapitel 2.1) zeigt.

Auch auf der zweiten Stufe der Quantifizierung erkannter Schäden sind Wissenslücken das Hauptproblem. Obgleich es z.B. Stand der Forschung ist, daß Lärm zu einer Erhöhung des Herzinfarkttrisikos führt, sind noch keine hinreichend abgesicherten "Dosis-Wirkungs"-Beziehungen verfügbar, um konkret die Zahl der lärmbedingten Krankheitsfälle ermitteln zu können (Bickel/Friedrich 1995: 14).

In bezug auf die Monetarisierung lassen sich insgesamt gesehen materielle und immaterielle Schadenskategorien unterscheiden (Weinberger et al. 1991: 73), die jeweils unterschiedliche Bewertungsansätze verlangen. Während materielle Schäden wie Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung meist objektiv ermittelbar sind und sich mit Marktpreisen bewerten lassen, entziehen sich immaterielle Schäden wie Lärmbelästigung dieser Vorgehensweise.

⁷¹ Vgl. zum Wirkungspfad-Ansatz das eigene Vorgehen in Kapitel 4.1.

3.3.1 Schadensermittlung versus Präferenzenmessung

3.3.1.1 Unmittelbare Bestimmung (first-best Lösung)

Im einfachsten Fall der Bewertung von Schäden stehen Marktpreise zur Verfügung. Voraussetzung für eine derartige direkte Schadensbewertung ist jedoch, daß der betrachtete Schaden in seiner "Funktionstüchtigkeit" reversibel ist und somit davon ausgegangen werden kann, daß der Schaden durch Reparaturmaßnahmen zu beheben ist (Masuhr et al. 1992: 324). Beispiele unmittelbar bewerteter Schäden sind Entschädigungsleistungen oder Krankheitskosten. In bezug auf Verkehrslärm wäre etwa eine Ermittlung der direkten Schadenskosten über die Abschätzung von Behandlungs- und Ressourcenausfallkosten⁷² aufgrund ausgelöster Herz-Kreislaufkrankungen denkbar (vgl. Weinberger et al. 1991: 92-109).

Abgesehen von dem Problem, daß durch dieses Vorgehen nur ein Ausschnitt der vielfältigen Lärmwirkungen erfaßt wird, stellt sich die Abgrenzung des Schadensanteils des Lärms z.B. zu jenem der Vibration als sehr schwierig dar (Meloni 1991: 5). Gelingt allerdings die Abgrenzung, so läßt sich durch die Beschränkung auf eindeutig quantifizierbare Schadpositionen eine Untergrenze der gesamtwirtschaftlichen Schadenskosten durch Lärm bereitstellen, die den Vorteil hoher Objektivität für sich in Anspruch nehmen kann (Weinberger et al. 1991: 74).

Außerdem ist es wesentlich für die unmittelbare Bestimmung der Schadenskosten, daß die verwendeten Marktpreise auf funktionierenden Märkten entstanden sind. Nur in diesem Fall bilden die Gleichgewichtspreise die Präferenzen der Marktteilnehmer angemessen ab. Stehen zur Schadensbewertung keine derartigen Preise zur Verfügung, seien sie in der Realität verzerrt oder durch das Fehlen von Märkten (z.B. für Ruhe) nicht existent, so sind andere Methoden denkbar, um die Präferenzen der Betroffenen zu ermitteln (Bickel/Friedrich 1995: 16).

3.3.1.2 Präferenzenermittlung

Um trotz der Nicht-Marktfähigkeit eines Gutes (z.B. Ruhe) die Nachfrage nach diesem abschätzen zu können, ist die Ermittlung der Präferenzen der betroffenen Individuen nötig. Indem die Konsumenten ihre Präferenzen für ein Gut offenbaren, wird dessen Wert deutlich.⁷³ Betrachtet man diesen Wert genauer, so stellt man fest, daß Ruhe neben dem Wert, den es durch Ver- oder Gebrauch stiftet (engl. use-value) auch Nicht-Gebrauchswerte (non-use values) besitzt. Zunächst ist diesbezüglich der Optionswert zu erwähnen. Dieser beschreibt den Wert, welcher der Möglichkeit einer zukünftigen Nutzung des Gutes Ruhe beigemessen wird, unabhängig davon, ob das

⁷² Während in die erste Komponente ambulante und stationäre Behandlungskosten sowie Arzneimittelkosten fallen, umfassen die Ressourcenausfallkosten zeitweise und dauernde Arbeitsunfähigkeit durch Morbidität bzw. Mortalität (Weinberger et al. 1991: 98).

⁷³ Voraussetzung dabei ist die Monotonie der Präferenzen (Requate 1997: Kap. 11).

Individuum zum gegenwärtigen Zeitpunkt von der Option Gebrauch macht oder nicht. Desweiteren ist der Quasi-Optionswert oder Vermächtniswert zu nennen, welcher auf die Bewahrung einer intakten (ruhigen) Umwelt als Ganzes abzielt. Der ansonsten in Hinblick auf andere Umweltgüter (z.B. Artenvielfalt) zum Teil vorliegende Existenzwert, der die Wertschätzung für ein Gut ausdrückt, welches nie benutzt werden wird, scheint hier eher gering zu sein (Bickel/Friedrich 1995: 13-14).

Betrachtet man den gesamten ökonomischen Wert, der sich additiv aus den obigen Komponenten zusammensetzt, so zeigt sich die anthropozentrische Perspektive. Denn der aktuelle gesamte ökonomische Wert definiert sich über die Präferenzen der Individuen und nicht etwa über den Wert des Umweltgutes an sich (Proops et al. 1994: 52).

Insgesamt gesehen bleibt festzuhalten, daß die Ressource Ruhe einen Preis besitzt, obwohl sie nicht an einem Markt gehandelt wird. Dieser hypothetische Preis, der auch Schattenpreis genannt wird, drückt im Gleichgewicht die Präferenzen der Konsumenten aus (IWW/INFRAS 1995: 33).

Im allgemeinen ist bei der Methode der Präferenzermittlung eine Tendenz zur Überbewertung des öffentlichen Übels⁷⁴ (der Unterbewertung des Gutes Ruhe) zu erwarten, da jeder Betroffene - aufgrund der fehlenden Ausschließbarkeit - einen Anreiz hat, sich als sogenannter „free-rider“ zu verhalten („Prisoners-Dilemma“-Situation). Jeder ist bestrebt, einen möglichst hohen Grad an Ruhe in seiner Umgebung bereitgestellt zu bekommen, ohne dafür den seiner Nutzenänderung entsprechenden Preis (maximale Zahlungsbereitschaft) zahlen zu müssen. Kollektives Trittbrettfahrerverhalten führt dann zu einer Unterversorgung mit dem knappen Kollektivgut Ruhe bzw. zu einer für die Gesellschaft unbefriedigenden Lärmsituation. Strategisches Antwortverhalten kann jedoch durch ein sorgfältiges Befragungsdesign ausgeschaltet werden (vgl. dazu Kapitel 3.3.3.1).

⁷⁴ Vgl. zum Charakter des Lärms als öffentliches Übel Kapitel 3.1.2.

3.3.2. Kompensationskonzepte der Kosten-Nutzen-Analyse

3.3.2.1 Equivalent Variation versus Compensating Variation

Um den „Schattenpreis“ korrekt bestimmen zu können, müssen zunächst die Kosten und die Nutzen der Externalität Verkehrslärm ermittelt werden. Wie gesehen (vgl. Kapitel 3.1 insbesondere Abbildung 5) bestimmen aus ökonomischer Sicht die (Vermeidungs-) Kosten das Angebot an und die Nutzen die Nachfrage nach Ruhe.

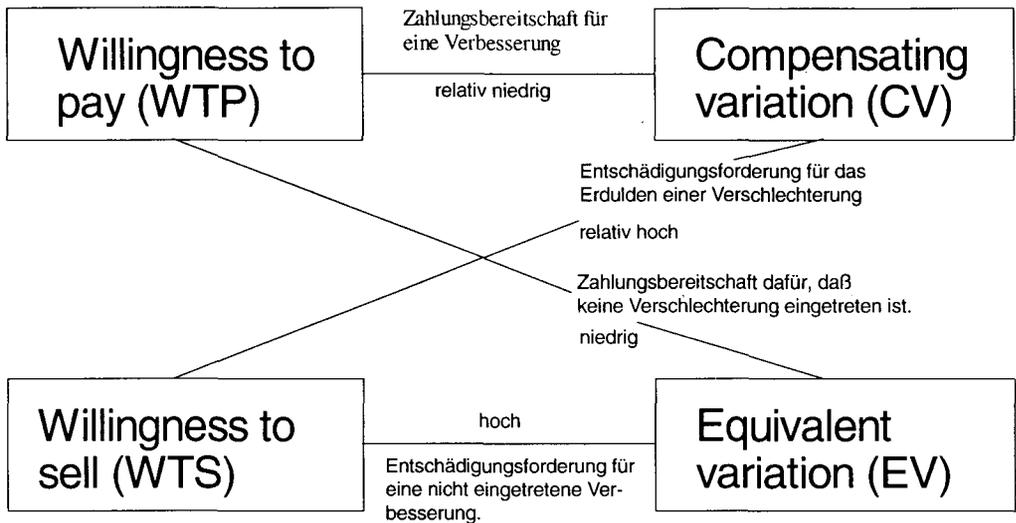
Will man nun (nachfrageorientiert) die Wohlfahrtsänderung durch eine institutionelle Maßnahme messen, so bietet die Kosten-Nutzen-Analyse zwei Kompensationskonzepte zur Nutzenmessung an: Die äquivalente Variation (engl. equivalent variation, EV) und die kompensierende Variation (engl. compensating variation, CV) (Hanusch 1987)⁷⁵. Während die EV vom Niveau der Wohlfahrt nach der Maßnahme (ex-post) ausgeht, legt die CV das Niveau der Wohlfahrt vor der Maßnahme (ex-ante) zugrunde. Je nachdem, ob die Maßnahme zu einer Steigerung oder zu einem Absinken der Wohlfahrt führt, stellt sich die Frage nach der Willingness to Pay (WTP) oder der Willingness to Sell (WTS), wobei letztere häufig auch als Willingness to Accept (WTA) bezeichnet wird. Während die WTP die Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Umweltqualität meint, drückt die WTS die Kompensationsforderung eines Individuums für das Inkaufnehmen einer Verschlechterung aus. Die in Abbildung 7 dargestellten Zusammenhänge lassen sich ausgehend von den zugrundeliegenden Kompensationskonzepten folgendermaßen beschreiben.

Die CV fragt nach der aktuellen WTP des Individuums für eine Maßnahme, die seine zukünftige Lärmsituation verbessern würde. Geht es aber um die Verschlechterung der zukünftigen Lärmsituation, so fragt die CV nach der WTS, also nach der Entschädigungsforderung des Individuums für das Inkaufnehmen/Erdulden des geplanten Projektes.

Die EV nimmt, wie erwähnt, die sich nach der wohlfahrtsändernden Maßnahme einstellende Perspektive ein. Somit ermittelt die WTP hier die Zahlungsbereitschaft des betroffenen Individuums dafür, daß eine Verschlechterung seiner Lärmsituation durch das durchgeführte Projekt nicht eingetreten, also c.p. gleichgeblieben ist. Ist hingegen eine Verschlechterung der Lärmsituation des Individuums festzustellen, so fragt die EV nach der WTS, also nach der Entschädigungsforderung des Individuums für das Erdulden seiner aktuellen Lärmsituation.

⁷⁵ Eine ausführliche Darstellung und Diskussion der Wohlfahrtsmaße, insbesondere der CV und der EV findet sich in: Ahlheim/Rose (1992, insbesondere: 67-75).

Abbildung 7: Relationen verschiedener Entschädigungskonzepte.



Quelle: Masuhr/ Wolff/ Keppler (1992: 321).

3.3.2.2 Auswahl des geeigneten Kompensationskonzeptes

Da eine Kosten-Nutzen-Analyse meist vom status quo ausgeht, ist es üblich mit dem Konzept der CV zu arbeiten. Somit wird der Nutzen, den eine Lärmschutzmaßnahme stiftet, in der WTP der betroffenen Bevölkerung widerspiegelt. Nutzenverluste durch eine lärmverursachende Maßnahme (Ausbau einer Straße) können mit der WTS gemessen werden.

Obgleich das Konzept der CV intuitiv besser verständlich ist, sind beide Konzepte gültig. Die Wahl zwischen ihnen hängt von dem jeweiligen institutionellen Rahmen, insbesondere von der Verteilung der Eigentumsrechte im status quo ab.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß die Kompensationskonzepte in den Vordergrund der Diskussion zu stellen sind, und nicht WTP und WTS. Denn letztere können jeweils für beide Konzepte sinnvoll sein.

Betrachtet man nun den Umweltbereich Lärm, so erscheint die CV als das geeignete Konzept, um Veränderungen gegenüber dem status quo zu messen. Die Wahl der CV ist zudem aus praktischen Gründen sinnvoll, da es im Rahmen der direkten Befragung der Einschätzung von Umwelt-niveaus leichter fällt, einen bekannten Zustand als Referenz zu betrachten als einen hypothetischen, wie dies bei der EV gemacht werden müßte (Masuhr et al. 1992: 321-323).

WTP und WTS können jeweils direkt oder indirekt gemessen werden. Wie Tabelle 5 zeigt, ermitteln direkte Methoden die WTP/WTS durch Umfragen oder Marktsimulationen, während indirekte Methoden diese anhand von beobachtbaren

Marktdaten ableiten und so einen Zusammenhang zwischen privaten Gütern und Umweltveränderungen herstellen.

Tabelle 5: Methoden der Monetarisierung von Umweltgütern

Direkte Methoden	Indirekte Methoden
Contingent Valuation Method (CVM) Simulierung von Märkten	Hedonistische Preisanalyse (HPA) Vermeidungskostenansatz Reisekosten-Ansatz

Quelle: ISIS et al. (1997b: 51).

Die in Tabelle 5 dargestellten Methoden sollen nun auf ihre Eignung zur Bewertung von Lärmbelastung betrachtet werden.

3.3.3 Geeignete Bewertungsmethoden für Lärm

Um sich im folgenden auf die kritische Diskussion der für Lärm geeigneten bzw. bedingt geeigneten Verfahren konzentrieren zu können, wird die in Tabelle 6 dargestellte Eignung der Verfahren zur Präferenzermittlung von Pommerehne/Römer (1992: 205) als "Vorauswahl" angenommen.

Tabelle 6: Eignung der Verfahren zur Präferenzermittlung.

Bewertungsobjekt	Verfahren der indirekten Präferenzermittlung			Verfahren der direkten Präferenzermittlung	
	Reisekostenansatz	Vermeidungskostenansatz	Hedonische Preis-Analyse (HPA)	Contingent Valuation Method (CVM)	Markt-simulation
Städtische Luftqualität	nein	mit starkem Vorbehalt	ja	ja	mit Vorbehalt / ja
Luftqualität in Erholungsgebieten	mit Vorbehalt	nein	nein	ja	mit Vorbehalt / ja
Lärmbelastung	nein	mit Vorbehalt	ja	ja	mit Vorbehalt / ja
Erholungswert von Seen und Flüssen	ja	nein	kaum	ja	mit Vorbehalt / ja
Grundwasserqualität	nein	kaum	kaum	ja	mit Vorbehalt / ja
Berufsbedingte Risiken	nein	mit Vorbehalt	ja	ja	nein
Öffentliche Risiken	nein	mit starkem Vorbehalt	mit Vorbehalt	mit Vorbehalt / ja	ja
Öffentliche Infrastrukturgüter (Straßen, etc.)	kaum	nein	mit Vorbehalt / ja	mit Vorbehalt / ja	ja
(Öffentliche) Bildungs- und Kultureinrichtungen	mit Vorbehalt / ja	nein	mit Vorbehalt / ja	mit Vorbehalt / ja	mit Vorbehalt / ja

Quelle: Pommerehne/Römer (1992: 205).

Die abgebildete Klassifizierung auf der Basis hier nicht näher ausgeführter Kriterien⁷⁶ spiegelt dabei gleichzeitig die Häufigkeit wider, mit der die dargestellten Methoden angewandt werden (ebd.).

Fokussieren wir die Betrachtung direkt auf den relevanten Lärmbereich, so erscheinen insbesondere die CVM und der HPA diskussionswürdig, sowie in geringerem Maße die Marktsimulation und der Vermeidungskostenansatz.

Da der Reisekostenansatz gemäß der "Vorauswahl" nicht betrachtet werden braucht und der Vermeidungskostenansatz bereits erörtert wurde, sind im folgenden lediglich die direkten Präferenzermittlungsverfahren und der HPA abzuarbeiten.

Im Mittelpunkt der Diskussion steht dabei die CVM (Kapitel 3.3.3.1), in deren Rahmen auch der nach Pommerehne/Römer nur bedingt geeignete Ansatz der Marktsimulation kurz behandelt werden soll (letzter Abschnitt von Kapitel 3.3.3.1). Als eine mögliche Alternative zur CVM wird daraufhin der HPA diskutiert (Kapitel 3.3.3.2), bevor in Kapitel 3.4 ein in Hinblick auf die Bewertung von Verkehrslärm geeigneter Monetarisierungsansatz ausgewählt wird.

3.3.3.1 Contingent Valuation Method (CVM)

„What do you mean the maximum I would be willing to pay? You mean when someone has a gun to my head?“

Whittington (1996: 6)

Seit den 70er Jahren zählt die kontingente Evaluierungsmethode (engl. contingent valuation method⁷⁷, CVM) zu den am häufigsten angewandten und zugleich am stärksten diskutierten Methoden der Präferenzermittlung.⁷⁸

Ansatz

Das Basisprinzip der CVM ist einfach und ermöglicht so die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der Bewertungsmethode. Ziel ist es, die betroffenen Individuen dazu zu bringen, ihre Präferenzen für eine Verbesserung des öffentlichen oder Umweltgüterangebotes in Form von Zahlungsbereitschaften *direkt* zu offenbaren und somit den Schattenpreis des Umweltgutes zu ermitteln (Ahlheim 1996b: 12). Die Individuen werden dabei mit einem genau spezifizierten hypothetischen (engl. contingent) Markt konfrontiert, auf dem sie die Möglichkeit haben, ein in der Realität nicht marktfähiges Gut (z.B. Reduktion der Lärmbelastung) zu kaufen. Der umgekehrte Fall der Betroffenen als Anbieter ist ebenso denkbar. In diesem Fall fragt der Interviewer nach der WTA, d.h. nach der Bereitschaft der Betroffenen, für eine

⁷⁶ Siehe zum angewandten Kriterienkatalog Pommerehne/Römer (1992: 202-203).

⁷⁷ Die CVM wird auch als „market creation method“ bezeichnet (Proops et al. 1994: 54).

⁷⁸ Während sich die Hauptkritikpunkte an der CVM bei Diamond/Hausman (1994) nachschlagen lassen, liefert Hanemann (1994) eine Apologie der Methode.

Verschlechterung der Umweltqualität kompensiert zu werden (Soguel 1994: 1-2). Die Variation der WTP- bzw. WTA-Werte für vorgegebene Umweltqualitätsniveaus (z.B. Lärmbelastungsklassen) bestimmt dann den Verlauf der gesuchten Schadenskostenkurve, die auch als Nachfragekurve nach Ruhe interpretiert werden kann (Proops et al. 1994: 54).

Vorgehensweise in drei Schritten

Die Struktur einer CVM-Befragung läßt sich nach Soguel (1994: 3) in drei Hauptschritte aufteilen. Im ersten Schritt wird dem Befragten das zu bewertende Umweltgut beschrieben und die Funktionsweise des „virtuellen“ Marktes erklärt. In einem zweiten Schritt folgen dann die Befragungen, aus denen sich die gesuchten WTP- bzw. WTA-Werte ableiten lassen. Schließlich werden sozioökonomische Faktoren erhoben, die das Verhalten der Befragten am kontingenten Markt beeinflussen (z.B. Alter, Geschlecht, Bildung, etc.) (ebd.).

Auf der *ersten Stufe* ergibt sich in bezug auf die *Beschreibung des Umweltgutes* das Hauptproblem, daß das zu bewertende Umweltgut zur Zeit der Befragung häufig nicht existiert. Der Befragte muß also ein Gut bewerten, welches er nie gesehen hat. Dies gilt z.B. für den Bau eines geplanten Badesees. Im Gegensatz zu marktmäßigen Entscheidungen (z.B. Autokauf), bei dem man Güter vergleichen kann bevor man sich für oder gegen den Kauf entscheidet (z.B. durch Testfahrten), haben die Befragten keine Möglichkeit, das Anlegen des Sees zu testen. Daher ist eine exakte Beschreibung des geplanten Projektes für den Erfolg einer kontingenten Befragung äußerst wichtig. Dies kann durch den Einsatz von Medien (Photos, Videofilme, etc.), detaillierter verbaler Beschreibung und Hintergrundinformationen zu den potentiellen gesundheitlichen Auswirkungen des geplanten Projektes erreicht werden (Ahlheim 1996a: 18).

Die Erklärung der *Funktionsweise des kontingenten Marktes* impliziert weitere Probleme. Um unseriöse Antworten zu verhindern, muß der kontingente Marktmechanismus den Befragten plausibel gemacht werden. Dies betrifft v.a. zwei Grundfragen. Zum einen geht es um die Bedingungen, unter denen das geplante Projekt realisiert wird. Wird es nur durchgeführt, wenn die in der CVM-Studie ermittelten Zahlungsbereitschaften auch die Kosten der Maßnahme decken, oder ist die Realisierung des Projektes unabhängig von den Befragungsergebnissen? Die zweite Grundfrage bezieht sich auf die Relation zwischen der geäußerten Zahlungsbereitschaft des Befragten und der Zahlung, die er denkt, bei Durchführung des Projektes leisten zu müssen. Wird er zur Zahlung seiner maximalen Zahlungsbereitschaft herangezogen, oder werden die Kosten des Projektes gleichmäßig auf alle Nutznießer verteilt? Grundsätzlich sind die Anreize, die wahre Zahlungsbereitschaft zu äußern, dann am größten, wenn der Befragte glaubt, daß die

Bereitstellung des zu bewertenden Gutes von seinen geäußerten Präferenzen abhängt und er den vollen Betrag seiner genannten Zahlungsbereitschaft auch tatsächlich zahlen muß (Willeke/Weinberger 1992: 110, Ahlheim 1996b: 12). Zudem kann eine Verzerrung der Ergebnisse durch die Wahl des Zahlungsmodus entstehen (sog. „payment vehicle bias“), da die Antworten je nach „Gestalt“ (Steuern, Gebühren) der potentiellen Zahlung differieren (Perman et. al. 1996: 270).

Der *zweite Schritt* beinhaltet die eigentliche Befragung der Haushalte nach ihrer maximalen Zahlungsbereitschaft für die nicht-marktfähigen Güter.⁷⁹ Es lassen sich insbesondere offene Befragungstechniken und die Referendumsmethode unterscheiden.⁸⁰

Die einfachste Form der offenen Befragung ist die sog. „*direct response method*“, die fragt: „Welches ist der höchste Preis, den Sie bereit sind für dieses Gut zu zahlen?“ Aufgrund der in Schritt eins erläuterten Probleme kann diese Methode allerdings nicht zu zuverlässigen⁸¹ Resultaten führen (Ahlheim 1996a: 19). Eine andere offene Befragungstechnik ist das sog. „*bidding game*“. Der Interviewer startet mit einem bestimmten Geldbetrag und fragt dann den Probanden, ob er bereit ist, diesen Preis für das fragliche Umweltgut zu zahlen. Ist die Antwort „Ja“, so nennt der Interviewer einen höheren Betrag. Das Vorgehen wiederholt sich so lange bis der Befragte mit „Nein“ antwortet. Die Zahlungsbereitschaft des Konsumenten wird nun als derjenige Betrag angenommen, bei dem er zum letzten Mal mit „Ja“ geantwortet hat. Ein wesentlicher Nachteil der „*bidding game*“-Methode ist der sog. „*starting point bias*“. Dieser mögliche Fehler ergibt sich aus der Tatsache, daß der Startpunkt der Versteigerung möglicherweise einen Hinweis darauf gibt, welchen Wert der Interviewer als „richtig“ ansieht. Diese Art von Fehler kann umgangen werden, wenn die sog. „*payment card method*“ angewandt wird. Dabei bekommen die Befragten eine Karte ausgehändigt, auf der alternative Geldbeträge von Null beginnend in aufsteigender Rangfolge abgedruckt sind. Neben einigen Beträgen stehen zur zusätzlichen Information durchschnittliche Zahlungen für andere öffentliche Programme, wie zum Beispiel für den Bau einer Straße oder für die nationale Verteidigung. Die Befragten werden nun gebeten, ihre maximale Zahlungsbereitschaft z.B. für die Erhaltung oder Schaffung eines Nationalparks durch ein Kreuz auf der Skala zu markieren. Doch auch diese Methode hat einen

⁷⁹ Das Hauptproblem in diesem Kontext ist, daß die kreierte Märkte völlig unterschiedlich zu den „normalen“ (den Befragten vertrauten) Märkten sind. So hat ein Konsument im Supermarkt die Möglichkeit ein bestimmtes reales Gut zu einem festen Preis zu kaufen, oder dieses im Regal stehen zu lassen. Im Rahmen der CVM sollen Befragte nun aber maximale Zahlungsbereitschaften für Güter äußern, die ihnen unvertraut sind und für die sie sich dementsprechend meist auch keine „fairen“ Preise vorstellen können.

⁸⁰ Eine Diskussion der jeweiligen Fehlerquellen der beiden Hauptansätze findet sich bei Bjornstad/Kahn (1996: 106-110).

⁸¹ Die Zuverlässigkeit bezieht sich hier auf den Erklärungsgehalt der untersuchten Variablen für die marginale Zahlungsbereitschaft (Endres/Holm-Müller 1998: 75)

wesentlichen Nachteil. Denn durch die Spannweite der vorgegebenen Beträge kann ebenfalls die Antwort manipuliert werden. Man tendiert automatisch zur Mitte der Skala (ebd.: 20).

Als eine gute Alternative zu den offenen Befragungstechniken gilt die sog. „*dichotomous choice*“- oder Referendumsmethode, die in den letzten Jahren vermehrt Anwendung findet. Hier wird jedem Testsubjekt nur eine Frage gestellt. „Ziehen Sie es vor, für das fragliche Umweltgut den vorgegebenen Geldbetrag zu zahlen oder wollen Sie auf es verzichten?“. Dieses auch als „discrete response method“ bekannte Verfahren versucht so die Standard-Wahlsituation eines Konsumenten zu simulieren. Es stellt den Befragten vor die vertraute „take-it-or-leave-it“-Entscheidung und wird daher als ein im Vergleich zu den offenen Befragungstechniken verlässlicheres Verfahren der direkten Präferenzermittlung eingeschätzt. Dadurch, daß jede Person nur eine Frage gestellt bekommt, ist es natürlich nicht möglich, die maximale Zahlungsbereitschaft jedes einzelnen für das fragliche Umweltgut zu ermitteln. Jedoch läßt sich aus den unterschiedlichen Referenden, denen verschiedene Beträge für das Umweltgut „angeboten“ werden, eine Art aggregierte Zahlungsbereitschaftsfunktion abschätzen, die die Nachfrage nach dem fraglichen Umweltgut widerspiegelt. Problematisch ist die Anwendung der Referendumsmethode bei der Abschätzung bereits eingetretener Schäden (ebd.). Ein Hauptnachteil von Studien, die auf einer solchen Methodik basieren, ist die Überschätzung der wahren Zahlungsbereitschaften, weil bei vielen Leuten eine starke Tendenz vorliegt, „Yeah!“ zu sagen (vgl. Hoevenagel 1994: 206-208). Ein weiterer Nachteil ist der große Aufwand bei der Erhebung der Daten, da ein im Vergleich zu offenen Befragungstechniken wesentlich höherer Stichprobenumfang notwendig ist. Trotz der genannten Nachteile wird die *dichotomous choice method* in den meisten aktuellen CVM Studien verwendet (Ahlheim 1996a: 21).

Im **dritten Schritt** werden schließlich sog. „*follow up questions*“ gestellt, die dazu dienen zu überprüfen, ob die befragte Person das zugrundeliegende Szenario richtig verstanden hat, und um insbesondere Informationen über deren sozioökonomischen Hintergrund (z.B. Alter, Geschlecht, Bildung, etc.) zu bekommen, welcher einen starken Einfluß auf die Antworten haben kann.

Wahl des Interviewtypes

Am besten geeignet, jedoch auch am teuersten, ist das sog. „*In Person-Interview*“, das beim Befragten zu Hause und ohne Zeitdruck durchgeführt wird. Der Vorteil besteht darin, daß der Interviewer detailliert (ggf. mit Medieneinsatz) erklären und auf Verständnisschwierigkeiten und Nachfragen des Befragten direkt reagieren kann. Ihm ist es außerdem möglich, die Aufmerksamkeit und Konzentration des Befragten sowie die Ernsthaftigkeit seiner Antworten einzuschätzen. Kostengünstiger, aber

weniger zuverlässig, ist das *Telephoninterview*. Optische Erklärungshilfen können nicht genutzt werden und das Interview selbst muß meist kürzer sein als das „In-Person“-Interview. Die *schriftliche Befragung* weist zwar diese beiden Nachteile nicht auf und ist zudem auch noch billiger als das Telephoninterview, jedoch fehlt der persönliche Kontakt zwischen Interviewer und der befragten Person. Dies macht die Klärung von Verständnisfragen schwer möglich und führt so zu qualitativ schlechteren Antworten bei oft geringen Rücklaufquoten. Die billigste und zugleich auch am wenigsten zuverlässige Art der Befragung ist die Umfrage auf der Straße (sog. „*mall-stop interview*“), die meist durch große Hektik geprägt ist und deren wissenschaftliche Signifikanz nahe Null liegt (Ahlheim 1996a: 21). Insgesamt gesehen erweist sich im Rahmen der CVM somit das „In-Person“-Interview in Verbindung mit der „dichotomous choice method“ als die sinnvollste Kombination zur direkten Ermittlung von Präferenzen nicht-marktfähiger Güter (ebd.).

Das Ausmaß und damit die Kosten der CVM hängen also von der Wahl und der Ausgestaltung des Interviewtyps ab. In Hinblick auf die Repräsentativität der ermittelten Zahlungsbereitschaften liefert die deskriptive Statistik das Grundwerkzeug. So wird meist der Mittelwert oder der Median als Referenzwert der Zahlungsbereitschaft verwendet. Ökonometrische Schätzverfahren werden zudem zur internen Validierung der Ergebnisse eingesetzt. Die multiple Regression ist ein geeignetes Mittel, die erklärenden Variablen der Zahlungsbereitschaft zu identifizieren.

Welche Schlußfolgerungen sich aus den ermittelten Zahlungsbereitschaften ergeben (Relevanz der Analyse), hängt von der Qualität der Stichprobe, der Antwortquote und der Art und Weise ab, mit der Nicht-Antworten und zweifelhafte Antworten behandelt werden (Soguel 1994: 3).

„*Hypothetical bias*“ und „*strategic bias*“

Unabhängig davon, welcher der vorgestellten offenen Befragungstechniken angewandt wird besteht stets das Problem, daß sich die Befragten in einer unvertrauten Situation wiederfinden und sich am hypothetischen Markt schlecht orientieren können (Ahlheim 1996a: 20). Sie scheinen mit der Offenbarung ihrer Präferenzen (z.B. mit der Antwort auf die Frage „Wieviel würden Sie zahlen, damit es Ihnen gesundheitlich besser ginge?“) überfordert. Von Konsumentensouveränität kann aufgrund der „virtuellen“ Situation kaum mehr gesprochen werden. Die durch dieses Abstraktionsproblem verursachten Schätzverzerrungen werden auch „*hypothetical bias*“ genannt und manifestieren sich meist in einer bimodalen Verteilung der Umfrageergebnisse. Entweder werden Zahlungsbereitschaften mit Null bzw. gar nicht angegeben, oder es werden sehr hohe Wertschätzungen für das betreffende Umweltgut genannt.

Desweiteren entstehen Verzerrungen durch strategisches Verhalten der Befragten („*strategic bias*“), das durch den öffentlichen-Gut-Charakter des Umweltgutes ausgelöst wird. Das strategische Verhalten bezieht sich auf die Weigerung der Befragten am kontingenten Markt teilzunehmen. Die potentiellen Konsumenten des Umweltgutes verheimlichen den ihnen aus dem fraglichen Projekt entstehenden Nutzen, da sie wissen, daß ihnen weder der Zugang beschränkt werden kann, noch daß der Konsum des Gutes (z.B. Ruhe) durch andere ihren Nutzen mindern kann (vgl. Kapitel 3.1.2 den Abschnitt Lärm als öffentliches Übel). Der existierende institutionelle Rahmen gibt also einen Anreiz zu diesem sog. „free-rider“- oder Trittbrettfahrer-Verhalten (Soguel 1994: 4). Es wird allerdings behauptet, daß es kaum einen empirischen Hinweis darauf gibt, daß der „*strategic bias*“ von Bedeutung ist (Proops et al. 1994: 55), bzw. daß diese überschätzt wird (Willeke/Weinberger 1992: 110). Soguel (1994) ermittelt hingegen in einer CVM-Analyse zur Reduktion von Verkehrslärm, daß sich von 141 Personen, die sich von Lärm betroffen fühlen, immerhin 30 Befragte als Trittbrettfahrer verhalten (ebd.: 7).

Referenzbedingungen für eine zuverlässige Befragung

Um die Durchführung einer zuverlässigen Befragung zu erleichtern, haben Cummings et al. (1986: 95-109; Soguel 1994: 4) folgende vier Referenzbedingungen identifiziert:

1. Die Befragten müssen den Charakter des zu bewertenden Gutes verstehen und mit dem Gut vertraut sein.
2. Sie müssen bereits Erfahrungen mit der Bewertung und der Konsumwahl bezüglich des Gutes gemacht haben (z.B. durch einen „pretest“).
3. Das Maß an Unsicherheit muß möglichst gering gehalten werden (z.B. durch geeignete Szenarioauswahl und mögliche Rückfragen).
4. Es sollte eher die WTP als die WTA erfragt werden.

Sind diese Bedingungen erfüllt, so kann nach Soguel (1994: 5) erwartet werden, daß die WTP-Werte im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Methoden in der Spannweite um 50% differieren. Sind eine oder mehrere Bedingungen nicht erfüllt, erweitert sich diese Spannweite (z.B. auf 300%, wenn WTA-Werte erfragt werden). Eine mögliche Ursache des großen empirischen Unterschiedes zwischen der WTP und der WTA könnte nach Proops et al. (1994: 55) der sog. „*endowment effect*“ sein. Dieser bezeichnet den Effekt, daß Verluste höher bewertet werden als Gewinne und weist gleichzeitig auf ein weiteres Problem hin: Die Verzerrung der Ergebnisse aufgrund der Zugehörigkeit der Befragten zu unterschiedlichen Einkommensklassen. Dieser durch die unterschiedlichen Budgetrestriktionen der befragten Haushalte

verursachte sog. „*income bias*“ wird durch die Notwendigkeit des möglichst realitätsnahen Designs des kontingenten Marktes ausgelöst. Denn um aussagekräftige Zahlungsbereitschaften zu ermitteln, interessiert die Frage, wieviel die Befragten gewillt *und* in der Lage sind zu bezahlen (ebd.: 55, Whittington 1996: 6).

Einschätzung

Umweltbelastungen, insbesondere Verkehrslärm, differieren stark nach Ort, Zeit und der momentanen Aktivität des Betroffenen. Hier liegt der große Vorteil der CVM, da sie in vielen Kontexten anwendbar ist. Darüber hinaus arbeitet die CVM nicht mit Annäherungen, wie es andere Techniken tun, sondern deutet, auch wenn die Ermittlung der „wahren“ Werte ebensowenig gelingt wie bei anderen Verfahren, auf exakte Zahlungsbereitschaften hin (Maddison et al. 1996: 89).

Die Kehrseite der Betonung der situationsabhängigen individuellen Präferenzen ist dabei, daß die Antworten oft emotionsreich und daher schwer zu erklären sind (Proops et al. 1994: 55). Auch gelten die ermittelten Werte stets nur für die jeweiligen Kontexte und sind so schwierig auf andere Situationen zu übertragen (Endres/Holm-Müller 1998: 116-117).

Marktsimulationsexperimente zur Unterstützung der CVM

Um in einer Befragungssituation die Budgetrestriktionen und die damit notwendige Abwägung zwischen verschiedenen, insbesondere öffentlichen Gütern deutlich zu machen, wurde das Verfahren der Marktsimulation entwickelt. Die Versuchspersonen bekommen dabei ein fiktives Budget zugeteilt, welches für einen bestimmten „Warenkorb“ ausgegeben werden kann (Pommerehne/Römer 1992: 196). Meist über mehrere Runden, in denen sich die Preise für die zu bewertenden öffentlichen Güter gemäß den geäußerten Zahlungsbereitschaften und Kompensationsforderungen verändern, wird den „Mitspielern“ ein Wettbewerbsmarkt für das nicht-marktfähige Gut simuliert. Der so entstehende Preis für das jeweilige öffentliche Gut soll helfen, die möglicherweise im Rahmen der CVM vorliegende Überschätzung von Zahlungsbereitschaften für den Umweltschutz durch die einfache Addition getrennt ermittelter Zahlungsbereitschaften einzugrenzen und somit die verzerrende Wirkung dieses sog. „*embedding effect*“⁸² zu verringern. Der stark experimentelle Charakter von Marktsimulationsexperimenten sowie deren hoher Aufwand legen allerdings die Empfehlung nahe, das Verfahren nur stichprobenartig zur besseren Einschätzung von CVM-Resultaten einzusetzen (Enders/Holm-Müller 1998: 118-122, Holm-Müller 1992: 36).

⁸² Eine nähere Diskussion bzw. Klassifizierung des „*embedding effect*“ findet sich bei Jakobsson/Dragun (1996: 78-82, insbesondere : 80).

3.3.3.2 Hedonic Pricing Approach (HPA)

Um das für direkte Präferenzermittlungsverfahren wie CVM und Marktsimulation spezifische Problem absichtlicher Falschäußerungen und unernster Antworten zu umgehen, ist es notwendig, die geäußerten Zahlungsbereitschaften mit dem am Markt beobachtbaren Verhalten der Wirtschaftssubjekte in Verbindung zu setzen (Maddison et al. 1996: 89). Die entsprechende Technik ist der von Ridker im Jahre 1967 entwickelte hedonistische⁸³ Preisansatz (engl. hedonic pricing approach, HPA).⁸⁴

Ansatz

Der HPA macht sich also die Komplementaritäten zwischen marktfähigen und nicht-marktfähigen Gütern zunutze, um die Präferenzen der Wirtschaftssubjekte für das zu bewertende Umweltgut *indirekt* zu ermitteln. Dem Konzept liegt die Beobachtung zugrunde, daß öffentliche Übel sowie öffentliche Güter, die keine eigenen Marktpreise besitzen, häufig die Marktpreise anderer (privater) Güter beeinflussen. So führt z.B. Lärm dazu, daß nahe am Flughafen gelegene Gebäude meist günstiger zu erwerben sind als vergleichbare Häuser an einem ruhigeren Ort. Ein weiteres Beispiel sind Immobilien, die aufgrund ihres schönen Meeresblickes teurer sind als innerstädtisch gelegene, ansonsten identische Anwesen. Die Beispiele zeigen, daß sich Preisdifferenzen privater Güter oft durch Unterschiede in den vielfältigen nicht-marktfähigen Charakteristika erklären lassen, die diesen Gütern innewohnen. So läßt sich der Marktpreis einer Immobilie als eine Funktion der Attribute der Immobilie selbst begreifen. Denkbare Charakteristika sind Qualität der Nachbarschaft, Höhe der lokalen Steuern, lokales Angebot an öffentlichen Gütern und Dienstleistungen sowie Variablen, die die lokal herrschende Umweltqualität näher beschreiben (Maddison et al. 1996: 89-90). Durch eine multiple Regression kann nun die Beziehung zwischen Immobilienpreisen und z.B. Lärm abgeschätzt werden, während sämtliche andere Determinanten des Immobilienpreises konstant gehalten werden. So wird es möglich, Aussagen darüber zu treffen, wieviel einer beobachtbaren Immobilienpreisdifferenz auf eine Änderung der jeweils herrschenden Lärmbelastung zurückzuführen ist (Lesser et al. 1997: 276, Jakobsson/Dragun 1996: 68).

⁸³ Hedonistisch = genießend, dem Lustprinzip folgend. Dies soll ausdrücken, daß wir nicht-marktfähigen Gütern (z.B. Meeresblick) einen positiven Wert beimessen, da wir deren Konsum genießen. Auf der anderen Seite kann ebenfalls die Nicht-Existenz von Umweltgütern wie z.B. Lärm oder Gestank als Genuß empfunden werden (Lesser et al. 1997: 276).

⁸⁴ Der HPA wird auch als Immobilienpreisansatz bezeichnet.

Vorgehen

Wie erwähnt ist es also zunächst das Ziel, mithilfe von statistischen Verfahren festzustellen, wie sich ein beobachtbarer Immobilienpreis (Häuserpreis oder Mietpreis) mit steigender Umweltqualität erhöht. Es läßt sich so theoretisch ein impliziter Preis (hedonistischer Preis oder Schattenpreis) für das „versteckte“ nicht-marktfähige Charakteristikum Umweltqualität ermitteln. Der festgestellte funktionale Zusammenhang liefert jedoch nicht die aus der Mikroökonomie bekannte Nachfragefunktion, sondern gibt lediglich Auskunft über die *gesamte* Zahlungsbereitschaft für die Erreichung einer bestimmten Umweltqualität (Endres/Holm-Müller 1998: 61).

Im zweiten Analyseschritt soll nun die *marginale* Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit von der „Menge“ an Umweltqualität bestimmt werden, um so einen ökonomischen Gesamtwert für das betrachtete Umweltgut abschätzen zu können. Dazu wird die im ersten Schritt ermittelte Funktion des impliziten Preises differenziert. Es ergibt sich die Funktion der marginalen impliziten Preise (engl. marginal bid function), welche als Nachfragefunktion nach Umweltqualität interpretiert werden kann (ebd.: 62, Perman et al. 1996: 263).

Voraussetzungen, Anwendungsprobleme und Grenzen

Damit die marginal bid function auch wirklich die maximale Zahlungsbereitschaft (bzw. Nachfrage nach Umweltqualität) widerspiegelt, muß jeder beobachtete Punkt ein Gleichgewichtspunkt sein, in welchem dem Haushalt für die letzte Einheit keine Konsumentenrente mehr verbleiben darf. Dies ist jedoch in der Realität, insbesondere bei einem regulierten Markt, nicht der Fall. Die Annahme eines effizienten Wohnungsmarktes führt so zu einer Unterschätzung der marginalen Zahlungsbereitschaft für mehr Umweltqualität (Endres/Holm-Müller 1998: 64, Bickel/Friedrich 1995: 17).

Selbst wenn hedonistische Preise und marginale Zahlungsbereitschaften nicht auseinanderfallen, so besteht immer noch die problematische Annahme identischer Nutzenfunktionen der Haushalte. Aber nur wenn diese gilt, können Aussagen über die Bewertung einer nicht-marginalen Veränderung der Umweltqualität gemacht werden (Endres/Holm-Müller 1998: 64). Zudem muß die Nutzenfunktion der betrachteten Konsumenten schwach separabel sein, m.a.W. muß die Grenzrate der Substitution zwischen zwei Charakteristika unabhängig von den Mengen der anderen Charakteristika der Nutzenfunktion sein. Die Separabilität der Nutzenfunktion ist jedoch vor allem bei großen (nicht-marginalen) Sprüngen in der Umweltqualität fraglich (Hanley/Spash 1993: 74-75, Perman et al. 1996: 265-266).

Desweiteren erfaßt der HPA nur beobachtete regionale Umweltqualitätsunterschiede und ist daher zur Bewertung einer globalen Externalität (z.B. Ozonloch)

wenig geeignet. Anwendung findet er hingegen insbesondere bei lokal stark differierenden Effekten wie Luftverschmutzung und Lärm, die Immobilienpreisdifferenzen nachweislich beeinflussen (vgl. bzgl. Luftverschmutzung Brookshire et al. 1982 und bzgl. Lärm Jeanrenaud et al. 1993).

Ein weiteres Problem ist die Annahme unbegrenzter Mobilität der Wirtschaftssubjekte. Denn die Möglichkeit des Ausweichens der betroffenen Individuen in weniger belastete Gebiete ist die Voraussetzung dafür, daß diesen die souveräne Wahl zwischen unterschiedlich stark belasteten Orten freigestellt bleibt (Bickel/Friedrich 1995: 16, Maddison et al. 1996: 89).⁸⁵ Dies ist jedoch unrealistisch. Offensichtliche Einflußfaktoren der Wohnqualität wie z.B. Gewöhnung, Trägheit oder vermiedene Umzugskosten würden Nutzen bedeuten, die sich nicht im Mietzins niederschlagen. Es läßt sich daraus die Folgerung ziehen, daß der HPA eher in städtischen als in ländlichen Gebieten anwendbar ist (Masuhr et al. 1992: 330).

Schließlich sind in Verbindung mit dem HPA generelle und spezifische statistische Probleme zu konstatieren.⁸⁶

Einschätzung

Aussagekraft und Nützlichkeit einer HPA-Analyse können nur im Einzelfall bewertet werden und hängen von der Sorgfalt bei der Identifikation der Kernattribute, von der Datenqualität und vor allem von der Möglichkeit ab, unterschiedliche Wirkungen eindeutig zu identifizieren (Lesser et al. 1997: 277). Selbst bei lokalen Umweltbelastungen wie Lärm sind mit der Anwendung des HPA eine Reihe von Problemen verbunden. Insbesondere bei Analysen auf der Basis von Mietpreisdifferenzen ist die Anwendung des HPA aufgrund des stark regulierten Wohnungsmarktes und der geringen Mobilität der Bevölkerung - zumindest in Deutschland - stark in Zweifel zu ziehen (Endres/Holm-Müller 1998: 68).

Auch ist der partialanalytische Charakter des HPA zu beachten. Zum einen bleiben aufgrund der jeweils zugrundegelegten speziellen Komplementarität (z.B. „Wohnen und Lärm“) Belastungen in anderen Bereichen der Wohnung unberücksichtigt (Bickel/Friedrich 1995: 17). Zum anderen berücksichtigt der HPA wie alle anderen Verfahren der indirekten Präferenzermittlung keine „non-use values“, so daß die aus dem HPA abgeleiteten marginalen Zahlungsbereitschaften

⁸⁵ Damit eine souveräne Wahl möglich ist, muß sich der Konsument zudem der Qualität der einzelnen Charakteristika voll bewußt sein (Perman et al. 1996: 265), d.h. insbesondere vollständige Information über die jeweiligen Schadwirkungszusammenhänge besitzen (Jakobsson/Dragun 1996: 68).

⁸⁶ Da alle nicht zu bewertenden Variablen in ihrem Einfluß auf die Umweltqualitätsveränderung kontrollierbar sein müssen, sind besonders genaue Daten nötig (Jakobsson/Dragun 1996: 68). Die ökonometrischen Probleme betreffen vor allem die Unsicherheit bei der Wahl der Variablen, den zu kleinen Stichprobenumfang, Fehler bei der Stichprobenauswahl sowie die Wahl der funktionalen Form der hedonistischen Preisfunktion (Perman et al. 1996: 266).

allenfalls als Untergrenze des wahren Schattenpreises des zu bewertenden nicht-maktfähigen Gutes gelten können (Perman et al. 1996: 265).

3.4 Auswahl des Monetarisierungsverfahrens für Lärm und Ableitung des konkreten Bewertungsansatzes

3.4.1 Die CVM als geeignetes Monetarisierungsverfahren für Lärm

Wie aus der Diskussion des Vermeidungskostenansatzes (Kapitel 3.2) deutlich geworden ist, kann dieser allenfalls zur Abschätzung einer Untergrenze dienen und sollte lediglich Anwendung finden, wenn Schadenskostenschätzungen durch Präferenzenermittlung nicht zu einem aussagekräftigen Ergebnis kommen.

Da jedoch mit dem HPA und der CVM zwei Präferenzenermittlungsverfahren zur Verfügung stehen, die als geeignete Monetarisierungsansätze für Verkehrslärm gelten können, wird dem Vermeidungskostenansatz hier nicht weiter gefolgt.

Durch die kritische Einschätzung des indirekten Präferenzermittlungsverfahrens HPA in Kapitel 3.3.3.2 wurde bereits neben den Vorteilen auch auf die Schwächen des Konzeptes hingewiesen. Insbesondere die Schwierigkeiten bei der Identifikation der Lärmkomponente im Marktpreis einer Immobilie und die restriktive Annahme über identische Präferenzen der Betroffenen führen in dieser Arbeit dazu, daß der HPA nicht als Bewertungsansatz gewählt wird.

Mit der CVM steht ein Ansatz zur Verfügung, der über die direkte Präferenzermittlung gerade die Integration der individuell stark differierenden psychosozialen Einflußgrößen ermöglicht, die - wie in Kapitel 2.1 erläutert - über 60% der Lärmbelastungsreaktion beschreiben. Das betroffene Individuum wird somit wie bei keinem anderen Ansatz in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt. Den Schwächen der CVM (vor allem „embedding effect“ und „hypothetical bias“) kann dabei, wie sich im folgenden Kapitel zeigt, durch ein sorgfältiges Fragebogendesign entgegengewirkt werden.

3.4.2 Die Studie von Weinberger/Thomassen/Willeke (1991)

Die dem eigenen Bewertungsansätze zugrundeliegende Studie von Weinberger/Thomassen/ Willeke aus dem Jahr 1991 greift zur Erfassung und monetären Bewertung der subjektiv empfundenen Belästigung durch Lärm auf individuell geäußerte Zahlungsbereitschaften für Ruhe zurück, die mithilfe einer bundesweiten schriftlichen Befragung von 7.000 Personen ermittelt wurden.

Zwei Besonderheiten des Umweltbereiches Lärm bestimmen dabei das Vorgehen. Zum einen die Tatsache, daß jeder die Umweltqualität in bezug auf Lärm ohne aufwendige Meßgeräte wahrnehmen und individuell beurteilen kann und zum zweiten der Umstand, daß sich Lärmbelastung durch sehr starke und gut registrierbare lokale Unterschiede auszeichnet.

Diese Besonderheiten führen zu der Notwendigkeit, Zahlungsbereitschaften für verschiedene Lärmbelastungen zu ermitteln. Voraussetzung dafür ist, daß die objektive Lärmbelastungssituation der Befragten bekannt ist. Diese wurde ermittelt und dem jeweiligen Fragebogen zugeordnet, welcher wiederum die subjektive Einschätzung der Lärmsituation lieferte (Willeke/Weinberger 1992: 111-112).

Das Erhebungskonzept

Das Ziel, diese beiden Komponenten (subjektive Belästigung und objektiv meßbare Belastung) zu koppeln, bestimmte somit auch das Erhebungskonzept. Da lärmbelastete Menschen Veränderungen des Mittelungspegels um 1 dB(A) nicht wahrnehmen können, erscheint es zunächst sinnvoll, 5 dB(A)-Klassen zu bilden.

Innerhalb jeder Lärmbelastungsklasse werden nun Personen gemäß Zufallsprinzip ausgewählt und schriftlich befragt.⁸⁷ Dem Problem des fehlenden persönlichen Kontaktes wurde dabei versucht durch mehrmalige persönliche Anschreiben und durch den Hinweis auf telefonische Rückrufmöglichkeiten entgegenzuwirken. Durch die mehrmaligen „Nachfaßaktionen“ konnte zudem eine recht hohe Rücklaufquote von ca. 55% erreicht werden (Willeke/Weinberger 1992: 112). Mithilfe des zuvor durchgeführten Pretestes (vgl. Referenzbedingung 2, Seite 53) und einem Stichprobenumfang von 400 je Belastungsgruppe in der Haupterhebung konnten Ergebnisse erwartet werden, die bei einem (üblichen)⁸⁸ Sicherheitsgrad von 95% zu einem Fehler von 5,5% führen und damit innerhalb eines akzeptablen Fehlerbereiches liegen (Weinberger et al. 1991: 131).

Während beim Straßenverkehrslärm Zahlungsbereitschaften für sieben Klassen ermittelt wurden (<45, 45-50, 50-55, 55-60, 60-65, 65-70, >70), beschränkte sich die Analyse beim Schienenverkehrslärm auf zwei Belastungsstufen (60-65, 65-75).

⁸⁷ Zur detaillierten Beschreibung des Auswahlverfahrens siehe Willeke/Weinberger (1992: 112).

⁸⁸ Vgl. z.B. Kaplitza (1982: 172).

Die Fragestellung

Wie bereits bei der Auswahl des geeigneten Kompensationskonzeptes dargelegt, ist die Frage nach der WTP im Rahmen der CV der geeignete Ansatz (vgl. Referenzbedingung 4). Da die Wohnkosten in der Regel eine vertraute und gegenwärtige Größe im Gesamtbudget des Befragten ist, kann die Frage nach der Zahlungsbereitschaft für eine ruhigere Wohnung als besonders gut geeignet gelten, dem „hypothetical bias“ durch die Nachbildung einer möglichst realistischen Entscheidungssituation entgegenzuwirken. Es wurde daher im Rahmen der offenen Befragung mittels „payment card method“⁸⁹ die folgende Formulierung gewählt:

„Stellen Sie sich bitte vor, Sie hätten die Möglichkeit, in einer ruhigen Nachbarstraße ihrer Wohngegend zu leben, ohne daß sich sonst etwas an Ihrer Wohnsituation ändert. Um wieviel dürften die monatlichen Wohnkosten maximal steigen, damit Sie diese ruhige Wohnung Ihrer jetzigen gerade noch vorziehen,

- a) wenn dort *nahezu kein* Lärm zu hören ist?
- b) wenn dort *wenig* Lärm zu hören ist?“

Das Gut „Ruhe“ wird hier also durch die beiden Qualitäten „*nahezu kein* Lärm“ und „*wenig* Lärm“ beschrieben. Aufgrund des am Ziel der Koppelung von Belastung und Belästigung ausgerichteten Erhebungskonzeptes gelingt es nun, den Qualitätsstufen jeweils objektive Geräuschbelastungen zuzuordnen. Durch die Frage nach der Zahlungsbereitschaft für „ruhigeres Wohnen“ bekommt zudem das ehemals öffentliche Übel Verkehrslärm privaten Gut-Charakter, da es ausschließlich von den Befragten genutzt werden kann. Die Gefahr des „strategic bias“ wird somit verringert (Willeke/Weinberger 1992: 113)⁹⁰ (vgl. Referenzbedingungen 1 und 3).

Insgesamt gesehen sind alle vier Referenzbedingungen nach Cummings et al. (1986) erfüllt und die nachfolgenden Ergebnisse der Zahlungsbereitschaftsbefragung können als zuverlässig betrachtet werden.

⁸⁹ Die vorgegebenen anzukreuzenden maximalen monatlichen Zahlungsbereitschaften waren dabei 10,-DM, 20,-DM, 40,-DM, 60,-DM, 80,-DM, 100,-DM, 200,-DM, 300,-DM, 500,-DM und mehr als 500,-DM (Weinberger et al. 1991: Anhang I / 1).

⁹⁰ Trittbrettfahrerverhalten ist lediglich für den Fall zu erwarten, daß der Befragung eine Bedeutung für die Höhe von öffentlich finanzierten Lärmbekämpfungsmaßnahmen beigemessen wird (ebd.).

Die Ergebnisse

Wie nun die Lärmbelastung durch Straßenverkehr die Mietzahlungsbereitschaften beeinflusst, zeigt die Ergebnistabelle 7.

Tabelle 7: Die mittleren individuellen Mietzahlungsbereitschaften bei Straßenlärm (in DM, Basisjahr 1990).

Geräuschbelastung tagsüber in dB(A)	45- <45	50- <50	55- <55	60- <60	65- <65	65- >70
Zahlungsbereitschaft pro Monat für:						
- „nahezu kein Lärm“	3	18	17	25	36	47
- „weniger Lärm“	2	8	8	17	25	33
Geräuschbelastung nachts in dB(A)	40- <40	45- <45	50- <50	55- <55	60- <60	65- >65
Zahlungsbereitschaft pro Monat für:						
- „nahezu kein Lärm“	3	18	17	35	48	57
- „weniger Lärm“	2	9	10	22	35	36

Quelle: Weinberger et al. (1991: 181).

Zu beachten ist hier neben der absoluten Höhe der maximalen monatlichen Zahlungsbereitschaften insbesondere der Tag-Nacht-Unterschied, der sich bei „weniger Lärm“ in allen und bei „nahezu kein Lärm“ in den unteren 5dB(A)-Klassen durch eine Verschiebung der Zahlungsbereitschaften um eine Klasse zeigt.

Für Schienenverkehrslärm wurden die in Tabelle 8 dargestellten Werte ermittelt (in Klammern die entsprechenden Zahlungsbereitschaften bei Straßenlärm).

Tabelle 8: Die mittleren individuellen Mietzahlungsbereitschaften bei Schienenverkehrslärm in DM, Basisjahr 1990 (in Klammern die entsprechenden Zahlungsbereitschaften bei Straßenverkehrslärm).

Geräuschbelastung tagsüber in dB(A)	60- <65	65- <75
Zahlungsbereitschaft/ Monat für „nahezu kein Lärm“	41 (36)	48 (53)
Zahlungsbereitschaft/ Monat für „weniger Lärm“	18 (25)	41 (37)
Geräuschbelastung nachts in dB(A)	65- <70	über 70
Zahlungsbereitschaft/ Monat für „nahezu kein Lärm“	41 (47)	57 (72)
Zahlungsbereitschaft/ Monat für „weniger Lärm“	33 (33)	31* (47)

Quelle: Weinberger et al. (1991: 184). * Da die hier dargestellten Zahlungsbereitschaften bei Schienenverkehrslärm nicht in den eigenen Ansatz einfließen, soll dieser unplausible Wert (sinkende Zahlungsbereitschaft bei mehr Lärm), für den auch bei Weinberger et al. (ebd.) keine Begründung geliefert wird, hier vernachlässigt werden.

Wie sich zeigt, unterscheiden sich die Zahlungsbereitschaften für Straßen- und Schienenverkehrslärm nur geringfügig, betrachtet man die Lärmbelastung tagsüber. Bei den Nachtwerten sind jedoch deutliche Abweichungen zu erkennen. Insgesamt gesehen scheint also die Störwirkung von Schienenverkehrslärm geringer zu sein als die von Straßenverkehrslärm. Allerdings läßt sich aus der vorliegenden Untersuchung lediglich für nachts der gesetzlich festgelegte und in Kapitel 2.3.2 diskutierte Schienenbonus von 5 dB(A) untermauern. Denn tagsüber sind hier die für Straße und Schiene gemessenen Zahlungsbereitschaften bei gleichen Belastungspegeln, wie erwähnt, nahezu gleich (ebd.: 184-185).

3.4.3 Der eigene Bewertungsansatz

Um nun jährliche individuelle Zahlungsbereitschaften für das der eigenen Fallstudie zugrundeliegende Basisjahr 1995 ermitteln zu können, ist zunächst eine Umrechnung der von Weinberger et al. (1991) ermittelten monatlichen Zahlungsbereitschaften auf Jahreswerte notwendig. Daraufhin werden die auf dem Jahr 1990 basierenden Werte mit Hilfe des deutschen Konsumentenpreisindexes angepaßt (Deutsche Bundesbank 1995: 68). Zudem wird angenommen, daß sich Straßenverkehrslärm aufgrund des üblicherweise herrschenden Hintergrundpegels erst ab 50 dB(A) als ursächlicher Faktor für die Belästigungsreaktion isolieren läßt, so daß lediglich die Zahlungsbereitschaften für die Dezibel-Klassen größer 50 dB(A) in die Berechnung eingehen.

Die gerundeten Ergebnisse der umgerechneten Zahlungsbereitschaften für "nahezu kein Lärm" liefert Tabelle 9.⁹¹

Tabelle 9: Die mittleren individuellen Mietzahlungsbereitschaften (ZB) pro Jahr bei Straßenverkehrslärm (in DM, Basisjahr 1995) für „nahezu kein Lärm“.

<i>STRASSE</i>	50 -	55 -	60 -	65 -	70 -	
Belastung in dB(A)	< 55	< 60	< 65	< 70	< 75	> 75
ZB-Tag in DM/a	240	353	509	664	975	975*
ZB-Nacht in DM/a	494	678	805	932	932*	932*

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage von Weinberger et al. (1991: 181). * Da explizit kein Wert für die jeweilige Klasse ermittelt wurde, wird hier die gleiche Zahlungsbereitschaft wie für die vorhergehende Klasse angenommen.

Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, werden vom Schienenverkehr ausgehende Geräusche als weniger belästigend empfunden als Straßenverkehrslärm. Der aktuellen Literatur folgend wird hier daher für tagsüber ein Schienenbonus von 5 dB(A) und für nachts von 10 dB(A) angenommen (Windelberg 1995: 42, Hauck 1991: 162). Das bedeutet,

⁹¹ In Kapitel 4 wird mit den exakten, nicht mit den gerundeten Werten gerechnet.

daß sich die Lärmbelastigung nicht wie beim Straßenlärm annahmegemäß bereits ab 50 dB(A), sondern erst ab einem Tagespegel von 55 dB(A) bzw. ab einem Nachtpegel von 60 dB(A) einstellt. In Tabelle 10 werden die Schienenboni in einer Verschiebung der Zahlungsbereitschaftswerte um eine bzw. zwei Klassen deutlich.

Tabelle 10: Die mittleren individuellen Mietzahlungsbereitschaften für "nahezu kein Lärm" pro Jahr bei Schienenverkehrslärm (in DM, Basisjahr 1995).

<i>SCHIENE</i>	50 -	55 -	60 -	65 -	70 -	
Belastung in dB(A)	< 55	< 60	< 65	< 70	< 75	> 75
ZB-Tag in DM/a	-	240	353	509	664	975
ZB-Nacht in DM/a	-	-	494	678	805	932

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von Weinberger et al. (1991: 181).

Zu beachten ist, daß die Verschiebung in der obersten Schienenlärm-Klasse (>75 dB(A)) dazu führt, daß kein Schienenbonus mehr gewährt wird (vgl. Tabelle 9). Das Vorgehen ist somit konsistent mit dem in Kapitel 2.3.2 vorgestellten Vorschlag von Haider (1995: 102-103). Die folgenden Abbildungen verdeutlichen noch einmal die Entwicklung der Zahlungsbereitschaften Straße und Schiene über die Lärmbelastungsklassen, insbesondere deren Konvergenz in den oberen Dezibel-Bereichen für Tag (Abbildung 8) und Nacht (Abbildung 9).

Abbildung 8: Jährliche Zahlungsbereitschaften für "nahezu kein Lärm" tagsüber nach Lärmbelastungsklassen.

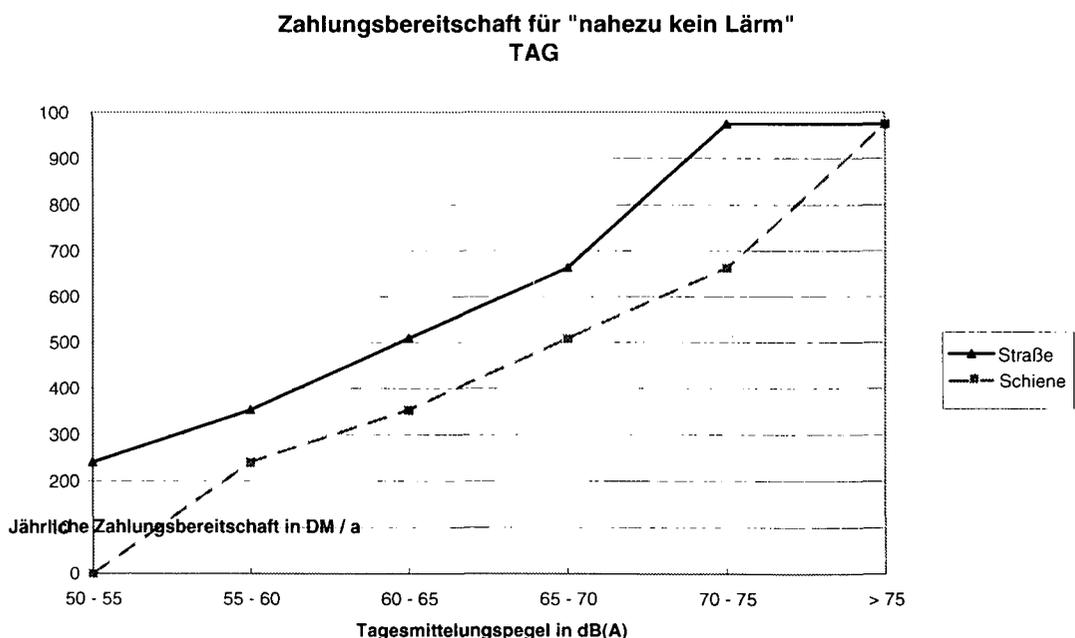
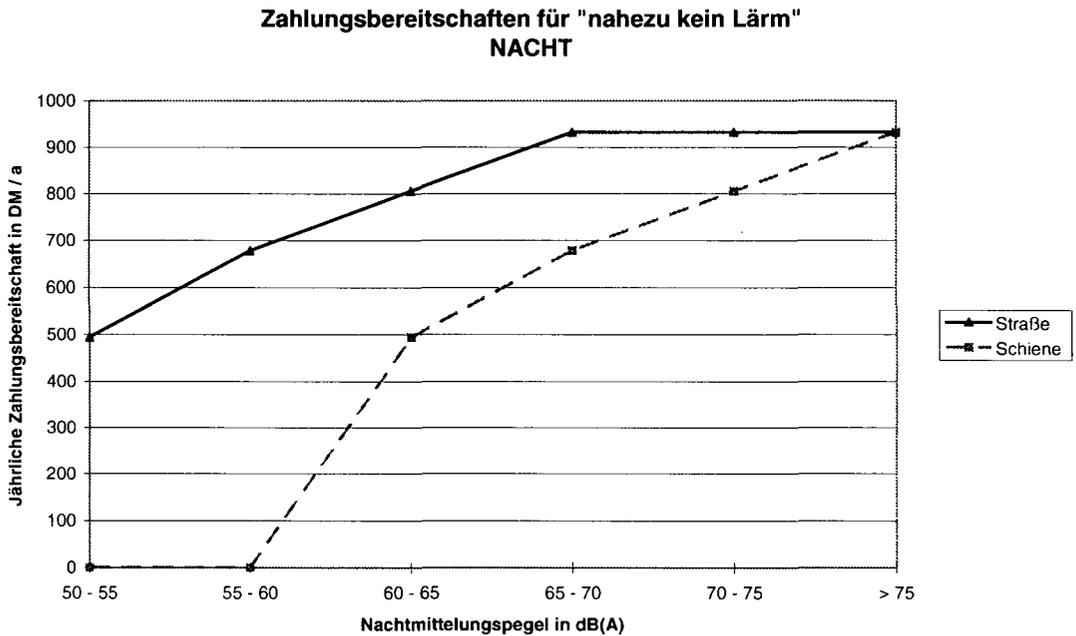


Abbildung 9: Jährliche Zahlungsbereitschaften für "nahezu kein Lärm" nachts nach Lärmbelastungsklassen.



Somit ist für die Externalitäten Straßen- und Schienenverkehrslärm das Wertgerüst differenziert für Tag und Nacht beschrieben. Auf die Unterscheidung nach Personen- und Güterverkehr wird in Kapitel 4 eingegangen, in dem die Bestimmung des Mengengerüsts ("Wieviele Personen sind je Lärmklasse belastet?") und die Ermittlung der gesamten und spezifischen externen Kosten der Verkehrsträger Straße und Schiene für das Fallbeispiel Frankfurt-Basel im Mittelpunkt stehen.

4. EXTERNE KOSTEN DURCH STRASSEN- UND SCHIENEN- VERKEHRSLÄRM AN DER STRECKE FRANKFURT-BASEL

Zu Beginn dieses Kapitels soll zunächst auf die der Fallstudie zugrundeliegenden methodischen Aspekte näher eingegangen werden. Neben der Darstellung des "Bottom-Up"-Ansatzes zur Erstellung des Mengengerüsts (Kapitel 4.1.1) wird die Begründung dafür geliefert, warum hier im Rahmen der Ermittlung spezifischer Kostenwerte für Lärm nicht die aus theoretischer Sicht korrekten Grenzkosten, sondern vielmehr Durchschnittskosten berechnet werden sollen (Kapitel 4.1.2).

Im Anschluß wird die beschriebene Methodik auf die zwei Hauptziele dieser Arbeit gerichtet. Zum einen sollen Informationen zur Förderung der ökonomischen Effizienz des jeweiligen Transportsystems bereitgestellt werden. Zum anderen ist es das Ziel, die Verkehrsträger Straße und Schiene in Hinblick auf Lärm zu vergleichen.⁹²

Während das erste Ziel in den Kapiteln 4.2 und 4.3 für Straße und Schiene verfolgt wird, steht der leistungsbezogene intermodale Vergleich im Mittelpunkt von Kapitel 4.4. Hier werden auch die Hauptannahmen und Ergebnisse der Fallstudie tabellarisch zusammenfaßt. Die Übersicht dient daraufhin als Systematik für die konstruktive Kritik der konkreten Methodik (Kapitel 4.5).

In Kapitel 4.6 werden schließlich die Ergebnisse der Fallstudie mit internationalen Werten verglichen. Außerdem wird durch die Einordnung der Lärmkosten in den Kontext der externen Gesamtkosten des Verkehrs die Bedeutung des Lärms im Vergleich zu anderen Verkehrsexternalitäten wie Unfällen, Luftverschmutzung und Klimawandel deutlich.

⁹² Vgl. dazu auch den Beginn von Kapitel 3.

4.1 Methodische Grundlagen

4.1.1 Der "Bottom-Up"-Ansatz zur Erstellung des Mengengerüsts

Wie bereits zu Beginn dieser Arbeit erwähnt, liegt die Besonderheit der vorliegenden Untersuchung in der Verwendung des "Bottom-Up"-Ansatzes. Die zur Erstellung des Mengengerüsts verwendete Methodik zeichnet sich durch einen hohen Grad an Disaggregation bezüglich der verwendeten Daten aus und fokussiert auf die Nachfrageseite der Ökonomie. Somit können durch die Berücksichtigung verschiedener Technologien und ortsspezifischer Charakteristika stark kontextbezogene Umweltbelastungen wie Lärm gut erfaßt werden.

Insgesamt gesehen ist es somit möglich, ein umfassenderes und damit realitätsnäheres Mengengerüst aufzustellen, als mithilfe des "Top-down"-Ansatzes.

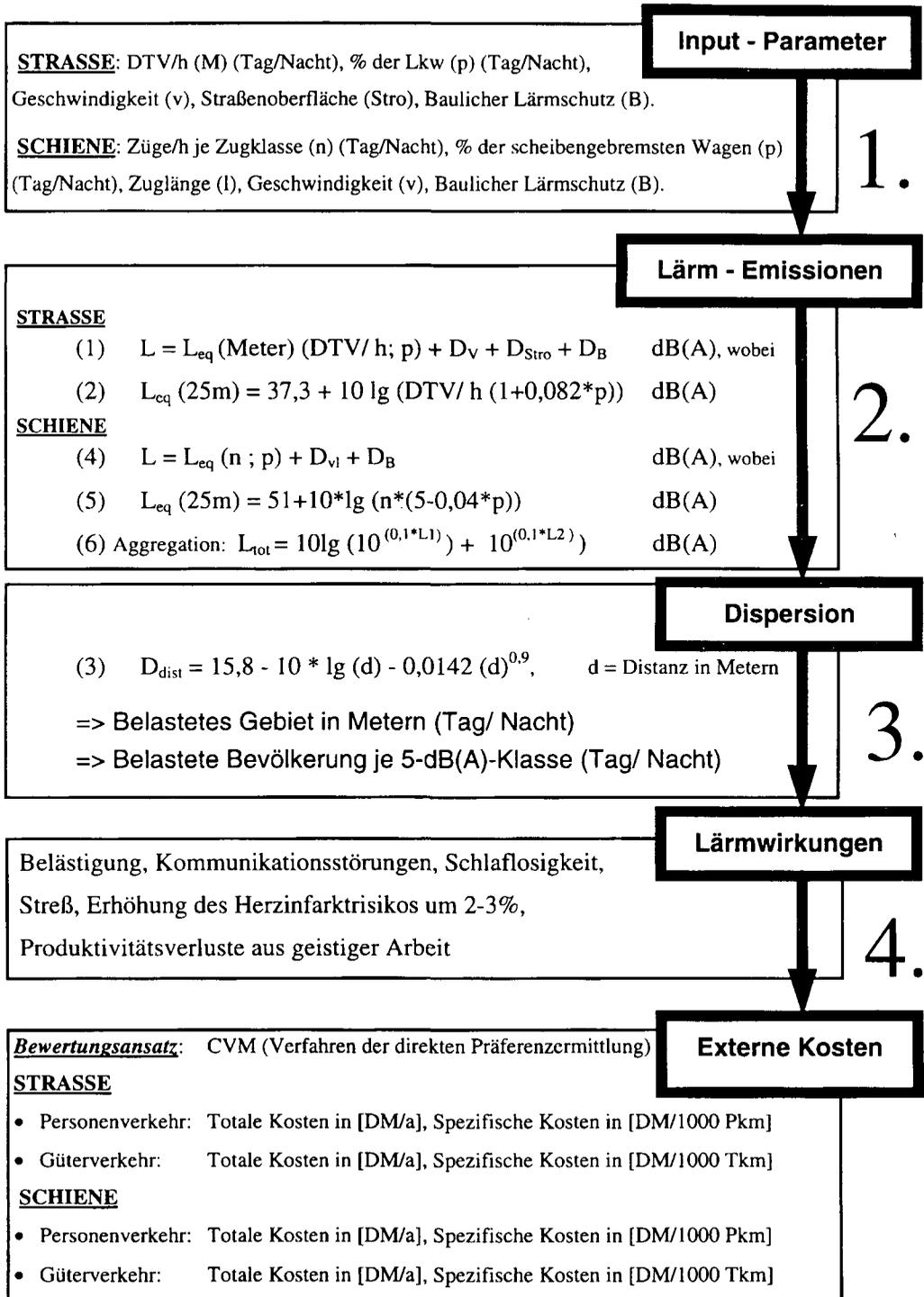
Insbesondere aufgrund des großen Aufwandes, der mit dem "Bottom-Up"-Ansatz verbunden ist, findet dieser erst in den letzten Jahren vermehrt Verwendung. Zu erwähnen ist insbesondere die Anfang der 90er Jahre im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführte Studie "Externalities of Energy (ExternE)" (European Commission 1994a), die den sog. Wirkungspfad-Ansatz als methodische Grundlage der Externalitätenforschung etablierte (vgl. European Commission 1994b: 7-30). Die Anwendung des Ansatzes auf den Verkehrssektor stand daraufhin im Mittelpunkt des EU-Projektes QUITs⁹³, dessen Ziel eine umfassende Analyse der internen und externen Kosten des Verkehrs auf verschiedenen europäischen Strecken war (ISIS et al. 1997: 4). Einen Ausschnitt der Externalitätenanalyse bildete dabei der Umweltbereich Verkehrslärm (vgl. ebd.: 23-28, 51-56, 86-96), der in der vorliegenden Arbeit im Mittelpunkt steht.

Die Methodik des "impact-pathway"-Ansatzes für Verkehrslärm besteht aus den vier Schritten Emissionsberechnung, Dispersionsberechnung, Quantifizierung der Lärmwirkungen und Kalkulation der externen Kosten (European Commission 1995: 8). Einen Überblick über die Vorgehensweise gibt Abbildung 10.

⁹³ QUITs = Quality Indicators for Transport Systems. Das Projekt wurde von der Europäischen Kommission DG VII im Rahmen des Forschungsprogramms Verkehr in Auftrag gegeben. Die Projektkoordination lag beim Istituto di Studi per l'Informatica e i Sistemi (ISIS), Rom. Die Hauptkooperationspartner waren die staatliche italienische Energieagentur Ente per le Nuove Technologie, Energia e l'Ambiente (ENEA), Rom, das Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement en Europe (INESTENE), Paris und das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim. Das für die Externalitätenanalyse verantwortliche ZEW wurde dabei vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe unterstützt.

Abbildung 10: Der Wirkungspfad-Ansatz für Lärm.

Externe Kosten des Lärms - Der Wirkungspfad-Ansatz



Der erste Schritt der *Emissionsberechnung* basiert auf der Anzahl der Fahrten auf der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995, getrennt nach Personen- und Güterverkehr sowie auf streckenspezifischen Charakteristika. Eine grundlegende Annahme ist, daß Lärmemissionen, die durch den Zugang zur Autobahn bzw. zum Bahnhof anfallen, hier nicht betrachtet werden. Die Kalkulation wird in enger Anlehnung an die Lärmschutzverordnung (16. BImSchV 1990) durchgeführt. Mithilfe eines computer-gestützten Modells konnten somit die durch den täglichen und nächtlichen Verkehr entstehenden Lärmemissionen für die Strecke Frankfurt-Basel für das Jahr 1995 ermittelt werden.

Auf der zweiten Stufe wird die in der Lärmschutzverordnung gegebene *Schallausbreitungformel* genutzt, um über das belastete Gebiet in Metern auch die durch Lärm belasteten Personen differenziert nach Tag und Nacht sowie nach Straße und Schiene zu ermitteln.

Die dritte Stufe ist die *Quantifizierung der Lärmwirkungen*. Wie bereits erläutert, lassen sich für Lärm kaum eindeutig quantifizierbare Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge identifizieren. Durch die Koppelung der Belästigungsreaktion an die objektiv meßbare Belastung gelingt jedoch eine Abschätzung über das Ausmaß der Lärmbelästigung (vgl. Abbildung 3 in Kapitel 2).

Diese Koppelung nutzt auch der vierte Schritt der Wirkungspfad-Analyse, der die Lärmwirkungen bewertet. Zur monetären Bewertung des ermittelten Mengengerüsts dient der in Kapitel 3.4.3 hergeleitete Ansatz, dem die Methodik der CVM zugrunde liegt. Die Ergebnisse des Bewertungsprozesses werden schließlich in Geldeinheiten (externen Lärmkosten) ausgewiesen.

4.1.2. Durchschnittskosten versus Grenzkosten

Um die oben genannten Ziele erreichen zu können, sind aus theoretischer Sicht, wie in Kapitel 3.1 gesehen, die Grenzkosten des Lärms zu berechnen. Durch die Besonderheiten des Umweltbereichs Lärm sind in der Praxis jedoch Abweichungen vom Marginalansatz nötig. Zum einen erschwert die Tatsache, daß eine Lärmveränderung um 1 dB(A) vom menschlichen Ohr nicht wahrgenommen werden kann, die Messung der marginalen Auswirkungen der Lärmbelastung. Zum zweiten sind selbst für äußerst geringe Verkehrsdichten die marginalen Kosten des Verkehrslärms sehr nahe an Null, da die physikalische Regel der Addition von Schallquellen durch eine logarithmische Funktion beschrieben wird (vgl. Formel 6).

Demzufolge erscheinen die Durchschnittskosten als eine geeignete Größe, den spezifischen Anteil eines weiteren Fahrzeuges an der Lärmbelastung und somit an den gesamten Lärmkosten abzuschätzen.

4.2 Straße

4.2.1. Das Mengengerüst der Lärmbelastung

Zunächst soll in Tabelle 11 ein Überblick über den Streckenverlauf der Autobahn A5 zwischen Frankfurt und Basel gegeben werden. Die Übersicht enthält zudem die wesentlichen Basisdaten der Emissionsberechnung. Um eine höhere Realitätsnähe zu erreichen, wurde ein Segment als Stau- und eines als Baustellensegment angenommen.⁹⁴

⁹⁴ Die veränderten Verkehrssituationen in diesen Segmenten spiegeln sich in der Geschwindigkeit wider (vgl. in Kapitel 4.2.1.1 den Abschnitt D₁). Zur Herleitung und näheren Diskussion von Stau- und Baustellensegment siehe Weinreich et al. (1998a: 65-67).

Tabelle 11: Verlauf der Autobahnstrecke Frankfurt-Basel und Basisdaten.

Zählstation	Zählstation	km	DTV/h Tag	davon Lkw in %	DTV/h Nacht	davon Lkw in %
Frankf. Kreuz	Zeppelinheim	2.1	7529	9.92	1380	14.4
Zeppelinheim	Langen/Mörfelden	2.8	6960	10.66	1392	18.8
Langen/Mörfelden	Weierstadt	9.5	6512	11.87	1302	21
Weierstadt	Darmstadt	3.1	6527	11.94	1197	17.4
Darmstadt	Darmst. Kreuz	1.4	5710	12.15	1142	21.5
Darmst. Kreuz	Pfungstadt	6.4	4268	11.41	853	20.1
Pfungstadt	Seeheim-Jugenh.	4.1	4043	10.20	809	17.9
Seeheim-Jugenh.	Zwingenberg	6.3	3924	9.91	785	17.5
Zwingenberg	Bensheim	5.7	3646	9.36	851	21.2
Bensheim	Heppenheim	3	3514	10.47	703	18.5
Heppenheim	Landesgrenze He/Bw	3.7	3931	11.56	720	16.8
Landesgrenze He/Bw	Hemsbach	2.6	3931	11.23	720	16.8
Hemsbach	Weinheim	5	3931	11.23	720	16.8
Weinheim	Hirschberg	4.6	4101	11.37	752	16.5
Hirschberg	Ladenburg	3.4	4101	11.37	752	16.5
Ladenburg	Heidelberg/Dossenheim	3.3	4101	11.37	752	16.5
Heidelberg/Dossenhei	AK Heidelberg	3.6	4101	11.37	752	16.5
AK Heidelberg	Heidelberg/Schwetzig.	5.5	4100	10.89	752	15.8
Heidelberg/Schwetzig..	Walldorf/Wiesloch	7.5	4182	10.89	767	15.8
Walldorf/Wiesloch	AK Walldorf	2.5	4182	10.89	767	15.8
AK Walldorf	Kronau	6.3	5046	14.40	1009	25.4
Kronau	t+r Bruchsal	7.8	4667	14.40	934	25.4
t+r Bruchsal	Bruchsal	2.8	4667	14.40	934	25.4
Bruchsal	Karlsruhe-Durlach	17.2	4814	14.67	963	26
Karlsruhe-Durlach	Karlsruhe-Mitte; Stau	1.7	5032	13.74	1007	24.3
Karlsruhe-Mitte	AD Karlsruhe	1.9	6262	13.74	1253	24.3
AD Karlsruhe	Ettlingen	2.6	5307	15.70	1062	27.8
Ettlingen	Karlsruhe-Süd	2.1	5307	15.70	1062	27.8
Karlsruhe-Süd	Rastatt	15	4472	15.55	1044	35.2
Rastatt	t+r Baden-Baden; Baustelle	7.7	4145	15.10	967	34.2
t+r Baden-Baden	Baden-Baden	2.6	4145	15.10	967	34.2
Baden-Baden	Bühl	8.8	3156	16.06	737	36.5
Bühl	Achern	10.3	3156	16.06	737	36.5
Achern	Appenweier	14.3	3156	16.06	737	36.5
Appenweier	Offenburg	7.6	3400	16.07	793	36.5
Offenburg	Lahr	15.4	3066	15.89	614	28.1
Lahr	Ettenheim	9.2	3073	12.97	717	29.5
Ettenheim	Herbolzheim	6.2	3073	12.97	717	29.5
Herbolzheim	Riegel	8.2	3176	12.10	741	27.4
Riegel	Teningen	5	3406	12.19	795	27.6
Teningen	Freiburg-Nord	6.2	3396	12.19	793	27.6
Freiburg-Nord	Freiburg-Mitte	5.1	3098	14.66	723	33.2
Freiburg-Mitte	Freiburg-Süd	6.1	2720	14.66	634	33.2
Freiburg-Süd	Bad Krozingen	6.1	2720	14.66	634	33.2
Bad Krozingen	Muellheim/Neuenburg	18.8	2273	12.81	531	29
Muellheim/Neuenburg	Neuenburg	4.5	2273	12.81	531	29
Neuenburg	Efringen-Kirchen	11.9	2038	12.81	476	29
Efringen-Kirchen	Weil am Rhein	8.2	2078	12.81	485	29
Weil am Rhein	Weil am Rhein/Hueng.	2.5	2069	10.23	483	23.3
Weil a. Rhein/Hueng.	Grenzübergang Weil	0.7	1711	10.23	399	23.3
Grenzübergang Weil	Bundesgrenze CH	1.2	1711	10.23	399	23.3
Frankfurt - Basel		310.1	205008	Ø 12.80	41746	Ø 25.42

Quellen: Eigene Berechnungen auf der Basis von BASt (1996).

4.2.1.1. Emission

Auf Basis der Lärmschutzverordnung 16. BImSchV aus dem Jahre 1990 wird im folgenden für jedes Segment der Strecke Frankfurt-Basel ein Schallemissionswert (L) pro Stunde in dB(A) für Tag (6-22 Uhr) und Nacht (22-6 Uhr) nach den folgenden Gleichungen berechnet (BMV 1993: 65).

$$(1) \quad L = L_{eq}(25m) + D_V + D_{Stro} + D_B \quad \text{dB(A), wobei}$$

$$(2) \quad L_{eq}(25m) = 37,3 + 10 \lg (DTV/h (1+0,082*p)) \quad \text{dB(A).}$$

Die Kalkulation geht vom bereits in Kapitel 2.2. erläuterten äquivalenten Dauerschallpegel (L_{eq}) aus, der im Normfall in einer Entfernung von 25 Metern zur Schallquelle gemessen bzw. berechnet wird und eine Durchschnittsbelastung pro Stunde (Tag/Nacht) angibt. Der $L_{eq}(25)$ ist, wie sich in Formel (2) erkennen läßt, im wesentlichen eine Funktion des durchschnittlichen täglichen Verkehrs pro Stunde (DTV/h) und des Lkw-Anteils am Gesamtverkehr in Prozent (p). Der zu berechnende Wert $L_{eq}(25)$ unterstellt dabei eine Standard-Schallsituation mit folgenden Charakteristika (BMV 1993: 74):

- Nicht geriffelter Gußasphalt,
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h,
- Freie Schallausbreitung,
- Vertikaler Höhenunterschied zwischen Emissionsquelle (0,5 m über dem Boden) und dem Immissionsort von 2,25 m.

Um nun eine stärker am "Bottom-Up"-Ansatz ausgerichtete Methodik zu verfolgen, werden einige segmentspezifische Informationen zusätzlich berücksichtigt. Diese finden in Form von Zu- oder Abschlägen zum standardisierten $L_{eq}(25)$ Eingang in die Berechnung (Gleichung 1):

- Verkehrssituation, Geschwindigkeit (D_V),
- Straßenoberfläche (D_{Stro}),
- Lärmschutzeinrichtungen (Lärmschutzwände, -wälle, Steilwälle) (D_B).

D_V

D_V ist der Korrekturfaktor für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf der Strecke, die, wie in Tabelle 12 abgebildet, angenommen werden sollen.

Tabelle 12: Angenommene durchschnittliche Geschwindigkeiten bei gegebenen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

Zulässige Höchstgeschwindigkeit bzw. Verkehrssituation	Angenommene durchschnittliche Geschwindigkeiten in km/h	
	PKW	LKW
kein Tempolimit	130	86,08
Tempo 120	120	86,08
Tempo 100	110	86,08
Baustelle	95	82,38
Stauender Verkehr	30*	30*

Quelle: ISIS et al. (1997). * Dieses ist der minimal mögliche Inputparameter für die Formel zur Berechnung des geschwindigkeitsbedingten Zu- oder Abschlags. Daher wird dieser Wert als durchschnittliches Tempo auf dem virtuellen Stausegment angenommen.⁹⁵

Der Korrekturfaktor D_V hängt ebenso wie L_{eq} von p ab. Liegt die zulässige Höchstgeschwindigkeit über 100 km/h, ist D_V positiv. Der Zuschlagsfaktor ist für diesen Fall maximal bei $p = 0$ (+3 dB(A)) und minimal bei $p = 100$ (0 dB(A)). Liegt das Tempolimit jedoch unter 100 km/h, wird D_V negativ. Im extremen Fall des stauenden Verkehrs führt die niedrige Geschwindigkeit zu einem Abschlag von 6,5 dB(A). Dies zeigt sich auch in Tabelle 17 (am Ende dieses Abschnittes) anhand des "virtuellen" Stausegmentes Karlsruhe-Durlach bis Karlsruhe-Mitte.

D_{Stro}

Die deutsche Lärmschutzverordnung unterscheidet die in Tabelle 13 dargestellten Kategorien von Straßenoberflächen und ordnet diesen die abgebildeten Ab- bzw. Zuschläge D_{Stro} zu.

Tabelle 13: Der Korrekturfaktor D_{Stro} für verschiedene Straßenoberflächen.

Kategorie	Beschaffenheit der Straßenoberfläche	D_{Stro} in dB(A)
0	"Drain-Mowilith"-Asphalte ("Flüsterbeton")	-5
1	Offenporige Asphalte	-3
2	nicht geriffelte Gußasphalte, Splittmastixasphalte	0
3	geriffelte Gußasphalte, Betone	+ 2
4	Pflaster mit glatter Oberfläche	+ 3
5	Sonstiges Pflaster	+ 6

Quelle: BMV (1993: 67).⁹⁶

⁹⁵ Da wir keinen zusätzlichen Lärm durch das häufige Anfahren und Bremsen während eines Staus berücksichtigen, erscheint eine Erhöhung des Rechenwertes durch die relativ hoch angesetzte Staugeschwindigkeit als angemessen.

⁹⁶ Die Kategorie 0 wurde dabei gemäß Anmerkung in der Quelle den explizit genannten hinzugefügt.

In bezug auf die Beschaffenheit der Straßenoberfläche an der betrachteten Strecke konnte auf sehr stark disaggregierte Daten für das Basisjahr 1995 zurückgegriffen werden. Die errechneten Auf- bzw. Abschläge variieren dabei zwischen +2 dB(A) (Kategorie 3) und -1 dB(A) (halb Kategorie 1, halb Kategorie 3).

Im Durchschnitt ergibt sich durch die Beschaffenheit der Straßenoberfläche auf der betrachteten Route ein Aufschlag von 1,59 dB(A) (Hessisches Landesamt für Straßenbau 1997, Landesamt für Straßenwesen Baden-Württemberg 1997).

D_B

Bezüglich Lärmschutzeinrichtungen werden für das Straßennetz von Baden-Württemberg vorliegende Lärmschutzdaten auf die Länge der Route in diesem Gebiet herunterskaliert, so daß sich die jeweils durch Lärmschutzwälle, -wände und Steilwälle abgeschirmten Autobahnkilometer ermitteln lassen. Dabei wird für alle Lärmschutzeinrichtungen gleichermaßen ein Lärmreduktionspotential von 12,5 dB(A) angenommen. Dieser Wert basiert auf der in der Literatur geäußerten Spannweite von 10 und 15 dB(A) (Höger 1993: 57, BMV 1993: 26). Für den hessischen Teil der Strecke wird der gleiche Anteil Lärmschutz an der Länge der Autobahnen unterstellt wie für Baden-Württemberg. Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 14 und 15.

Tabelle 14: Die Länge von Lärmschutzeinrichtungen an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahre 1995.

Lärmschutz in 1995	A5 (Frankfurt-Basel)				
	Lärmschutz an Autobahnen in km	Länge der Autobahnen in km	Länge der Strecke in km	Anteil an AB-km in %	Lärmschutz in km
B-W	94,9	1020	262,0	25,69	24,36
Hessen	80,4*	957	48,1	5,03	4,04
GESAMT	175,3	1977	310,1		28,41

Quellen: Eigene Berechnungen nach BMV (1995: 112) und BMV-Abtlg. Straßenbau (1995: 13-14, 17-18, 23). * Unter der Annahme berechnet, daß der Anteil Lärmschutz an der Länge der Autobahnen in B-W und Hessen gleich ist.

Tabelle 15: Lärmschutzmaßnahmen an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahre 1995 .

Lärmschutz in 1995	Wälle	Wände	Steil- wälle	einseitig gesamt in km	beidseitig* gesamt in km
B-W	5,37	18,28	0,71	24,36	12,2
Hessen	1,00	2,95	0,09	4,04	2,0
GESAMT	6,37	21,23	0,80	28,41	14,2

Quellen: Eigene Berechnungen nach BMV-Abtlg. Straßenbau (1995: 23) und BMV (1996: 112). * Da für die Lärmschutzsegmente beidseitiger Lärmschutz unterstellt werden soll, ergeben sich die Werte aus der Division der vorhergehenden Spalte durch zwei.

Die Tabelle 15 liefert die Kilometer-Werte für den beidseitigen Lärmschutz an der A5. Diese "Lärmschutzkilometer" werden nun in einem nächsten Schritt auf diejenigen Segmente verteilt, die vor der Berücksichtigung des Lärmschutzes die am stärksten belastete Bevölkerung aufgewiesen haben. Diese Segmente zeigt Tabelle 16. Da das auf der hessischen Teilstrecke betroffene Segment in seiner Länge nur um 100 Meter vom in Tabelle 15 berechneten Wert (2,0 km) abweicht, wurde das gesamte Segment als Lärmschutzsegment angenommen.

In Hinblick auf die baden-württembergische Teilstrecke mußte das Segment Freiburg-Nord bis Freiburg-Mitte unterteilt werden, um die in Tabelle 15 berechneten Werte zufriedenstellend verteilen zu können. Aus dem "normalen" Streckensegment (Länge 5,1 km) werden nun die Segmente "Freiburg-Nord bis *Lärmschutz*" (Länge: 4,1 km) und "*Lärmschutz* bis Freiburg-Mitte" (Länge: 1,0 km).

Insgesamt gesehen werden somit die in Tabelle 16 dargestellten Segmente als Lärmschutzsegmente definiert und unterliegen daher in der Emissionsberechnung einem Abschlag D_B von 12,5 dB(A) auf den jeweiligen Tages- oder Nachtmittelungspegel.

Tabelle 16: Auswahl der Lärmschutzsegmente an der Strecke Frankfurt-Basel.

	Lärmschutzsegment		Länge	D_B
	von	nach	km	dB(A)
Hessen	Frankfurter Kreuz	Zeppelinheim	2,1	-12,5
B-W	Heidelberg/ Dossenheim	AK Heidelberg	3,6	-12,5
	Karlsruhe-Mitte	AD Karlsruhe	1,9	-12,5
	AD Karlsruhe	Ettlingen	2,6	-12,5
	Freiburg-Nord	<i>Lärmschutz</i>	4,1	-12,5

Quelle: Eigene Berechnungen.

Nachdem nun die streckenspezifischen Charakteristika in Form von Zu- bzw. Abschlägen operationalisiert wurden, kann auf Grundlage des Mittelungspegels L_{eq} der Beurteilungspegel L_r für Tag und Nacht berechnet werden. Hier soll nur auf einen Ausschnitt der Ergebnisse hingewiesen werden, der geeignet erscheint, das Ausmaß der unterschiedlichen Einflußfaktoren deutlich zu machen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Die Berechnung des Beurteilungspegels $L_r(25)$ bei ausgewählten Segmenten der Autobahnstrecke Frankfurt-Basel.

Segment von	Segment nach	Länge km	Tag/ Nacht	DTV / h	p in %	$L_{eq}(25)$	D_V	D_{Stro}	D_B	$L_r(25)$
						dB(A)				
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Tag	6960	10,7	78,5	1,9	2	0	82,32
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Nacht	1392	18,8	72,8	1,4	2	0	76,20
Karlsruhe- Durlach	Karlsruhe- Mitte	1,7	Tag	5032	13,7	77,6	-6,5	2	0	73,14
Rastatt	t+r Baden- Baden	7,7	Tag	4145	15,1	77,0	-0,2	-1	0	75,80
Frankf. Kreuz	Zeppelin- heim	2,1	Tag	7529	9,9	78,7	1,9	2	-12,5	70,07

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die ersten beiden Ergebniszeilen liefern die maximalen Belastungen an der betrachteten Strecke und zeigen gleichzeitig den Unterschied zwischen Tagesbeurteilungspegel und dem entsprechenden Nachtwert. Der Lärm verringert sich zwar nachts durch den wesentlich geringeren DTV/h, jedoch führt der hohe nächtliche Lkw-Anteil dazu, daß mit mehr als 76 dB(A) immer noch ein relativ hoher Belastungswert verursacht wird.⁹⁷

Der Einfluß des Korrekturfaktors für Geschwindigkeiten macht sich vor allem im angenommenen Stausegment Karlsruhe-Durlach bis Karlsruhe-Mitte bemerkbar. Aber auch bei anderen Segmenten zeigt sich, daß die Wirkung des Tempolimits einen stärkeren Einfluß auf den Beurteilungspegel ausübt als z.B. die Straßenoberfläche. Zumal letztere an der betrachteten Strecke noch größtenteils aus Beton besteht und hier somit durch den Einsatz von "Flüsterbeton" nur auf Segmentteilstücken eine merkliche Lärmreduktion erzielt werden kann.

In Hinblick auf aktiven Lärmschutz an Autobahnen läßt sich erwartungsgemäß feststellen, daß diese die Lärmemissionen deutlich (-12,5 dB(A)) reduzieren, so daß die entsprechenden Beurteilungspegel die Untergrenze der Belastung an der Strecke beschreiben. Betrachtet man lediglich die Segmente ohne Lärmschutz, liegt der minimale $L_r(25)$ tagsüber bei 75,6 dB(A) und nachts bei 70,8 dB(A) (Streckenabschnitt Weil am Rhein bis Bundesgrenze Schweiz).

⁹⁷ In der Schweiz, wo ein Nachtfahrverbot für Lkw herrscht, liegt der entsprechende Pegel bei vergleichbarem DTV/h noch knapp unter 70 dB(A) (Weinreich et al. 1998a: Annex 2).

4.2.1.2. Dispersion und Immission

Die Schallausbreitungsformel, die ebenfalls in der deutschen Lärmschutzverordnung gegeben ist (BMV 1993: 70), liefert Dezibelwerte, welche den Schallemissionspegel $L_r(25)$ um den Korrekturfaktor D_{dist} dezimieren. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$(3) \quad D_{dist} = 15,8 - 10 * \lg(d) - 0,0142 (d)^{0,9} \quad , d = \text{Distanz in Metern.}$$

In dieser Arbeit wird, bis auf die Lärmschutzsegmente,⁹⁸ für die betrachtete Strecke freie Schallausbreitung angenommen. Der Einfluß von Boden- oder Meteorologiedämpfung kann hier aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden.⁹⁹

Mithilfe der Ausbreitungsformel (3) läßt sich nun eine Matrix der je 5-Dezibel-Klasse belasteten Meter erstellen (Tabelle 18).

Tabelle 18: Die Berechnung des belasteten Gebietes in Metern je 5-Dezibel-Klasse.

Segment von	nach	Länge km	Tag/ Nacht	$L_r(25)$ dB(A)	Belastetes Gebiet in Metern je 5-Dezibel-Klasse in dB(A)					
					>75	70-75	65-70	60-65	55-60	50-55
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Tag	82,32	155	190	320	430	530	600
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Nacht	76,20	45	80	170	290	400	510
Karlsruhe- Durlach	Karlsruhe- Mitte	1,7	Tag	73,14	25	40	110	210	340	450
Rastatt	t+r Baden- Baden	7,7	Tag	75,80	45	70	160	280	400	500
Frankf. Kreuz	Zeppelin- heim	2,1	Tag	70,07	15	20	60	150	260	380

Quelle: Eigene Berechnungen.

Um nun die belastete Bevölkerung ermitteln zu können, werden zunächst die Personen errechnet, die an dem jeweiligen Segment wohnen. Dabei wird die Gleichverteilung der Bevölkerung im erfaßten Gebiet angenommen.¹⁰⁰ Die aus Gemeinde- und Kreisdaten gegebene Bevölkerungsdichte in Personen pro

⁹⁸ Bei Lärmschutzsegmenten wird die Formel (3) ebenso auf den Beurteilungspegel angewandt wie bei allen anderen Segmenten. Nur daß dieser im Fall des Lärmschutzes bereits einen Abschlag von 12,5 dB(A) impliziert.

⁹⁹ Abschläge bis zu 5 dB(A) sind möglich (BMV 1993: 71). Für eine genauere Berechnung wäre ein geografisches Informationssystem (GIS-Software) notwendig.

¹⁰⁰ Aufgrund des hohen Einflusses der Bevölkerungszahlen auf die externen Kosten des Lärms wären disaggregiertere Populationsdaten ein wesentlicher Ansatzpunkt, um das Modell zu verbessern.

Quadratkilometer (LDS 1994) wird also mit der Länge des Segmentes multipliziert und daraufhin verdoppelt, da sich der Schall zu beiden Seiten der Trasse ausbreitet. Die errechneten Personen pro Entfernungskilometer (vom Segment) werden schließlich durch Tausend geteilt, um einen "Personen pro Meter"-Wert ausweisen zu können.

Dieser braucht nun nur noch mit den belasteten Metern je dB(A)-Klasse aus Tabelle 18 multipliziert zu werden, und es ergibt sich die belastete Bevölkerung je Dezibelklasse. Die Ergebnisse für die ausgewählten Segmente zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Die Berechnung des belasteten Bevölkerung je 5-Dezibel-Klasse.

Segment		Länge km	Tag/ Nacht	L _r (25) dB(A)	Pers. /m	Belastete Bevölkerung je 5-Dezibel-Klasse in dB(A)					
von	nach					>75	70- 75	65- 70	60- 65	55- 60	50- 55
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Tag	82,32	2,99	463	568	956	1285	1584	1793
Zeppelin- heim	Langen/ Mörfelden	2,8	Nacht	76,20	2,99	134	239	508	867	1195	1524
Karlsruhe- Durlach	Karlsruhe- Mitte	1,7	Tag	73,14	5,45	136	218	599	1144	1853	2451
Rastatt	t+r Baden- Baden	7,7	Tag	75,80	4,54	204	318	727	1272	1817	2271
Frankf. Kreuz	Zeppelin- heim	2,1	Tag	70,07	11,16	167	223	670	1674	2901	4240

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Basis von LDS (1994).

Das Mengengerüst für Straßenverkehrslärm ist hiermit aufgestellt. Die Wirkungen des Lärms wurden bereits in Kapitel 2.1 näher beschrieben und in der Abbildung 10 zur Wirkungspfad-Analyse zusammenfassend dargestellt, so daß die ermittelte Lärmbelastung nun mithilfe des entwickelten Monetarisierungsansatzes bewertet werden kann.

4.2.2. Externe Kosten

Die Ergebnisse aus der Multiplikation der belasteten Bevölkerung (Tabelle 19) mit den in Kapitel 3.4.3 ermittelten jährlichen Zahlungsbereitschaften für "nahezu kein Lärm" sind in Tabelle 20 dargestellt.

Da es aufgrund der zugrundeliegenden Berechnungsformeln nicht möglich ist, getrennte Mengengerüste für Pkw und Lkw zu erstellen (vgl. Kapitel 4.2.1), wird hier, analog zu aktuellen Studien, dem Vorgehen der PLANCO-Studie (1990) gefolgt und eine Aufteilung der externen Kosten des Straßenverkehrslärms auf Personen- und Güterverkehr gemäß dem Verhältnis eins zu zehn angenommen (PLANCO 1990: 5_37, vgl. IWW/INFRAS 1995: 118). Es ergeben sich somit die in den Tabellen 20 und 21 dargestellten relativ hohen Kostenwerte für den Lkw-Verkehr. Insgesamt ergeben sich durch den Straßenverkehr gesamte Lärmkosten von 445,18 Mio. DM.

Tabelle 20: Gesamte externen Kosten durch Autobahnlärm an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995.

GESAMTE KOSTEN 1995 STRASSE	Länge km	TAG		NACHT		TAG + NACHT	
		Pkw	Lkw	Pkw	Lkw	Pkw	Lkw
		Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM
Frankf.- LG*	48,1	23,70	31,76	21,79	29,25	45,49	61,00
LG*-Basel	262,0	62,18	109,84	59,81	106,86	121,99	216,70
Frankf.-Basel	310,1	85,88	141,59	81,60	136,11	167,48	277,70

Quelle: Eigene Berechnungen. * LG = Landesgrenze Hessen/Baden-Württemberg.

Die für nachts im Vergleich zu tagsüber nur unwesentlich niedrigeren gesamten Kosten werden durch den kürzeren Bewertungszeitraum (acht statt sechzehn Stunden) verursacht. Die Kosten pro Stunde sind demnach, wie zu erwarten, nachts deutlich höher als tagsüber.

Die im Verhältnis zur Länge des jeweiligen Abschnitts höheren Lärmkosten auf dem hessischen Teilstück erklären sich vor allem durch den starken Verkehr und die relativ hohe Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet von Frankfurt und Darmstadt.

Diese Aussage spiegelt sich auch in Tabelle 21 wider, die in den ersten beiden Ergebnisspalten für Pkw und Lkw die "längenbereinigten" Lärmkosten pro Tausend Fahrzeugkilometer ausweist.

Tabelle 21: Spezifische Lärmkosten einer Pkw- bzw. Lkw-Fahrt von Frankfurt nach Basel im Jahr 1995.

SPEZIFISCHE KOSTEN 1995 <i>STRASSE</i>	Länge km	TAG + NACHT			
		Pkw		Lkw	
		DM/1000 Fzkm	DM/1000 Fzkm	DM/ Fz	DM/ Fz
Frankf.- LG	48,1	33,43	337,33	1,61	16,23
LG-Basel	262,0	24,29	238,45	6,36	62,47
Frankf.-Basel	310,1	26,24	254,86	7,97	78,70

Quelle: Eigene Berechnungen.

Zur Berechnung der spezifischen Lärmkosten werden zunächst die in der Streckenübersichtstabelle 11 dargestellten von Pkw und Lkw pro Tag gefahrenen Kilometer auf Jahreswerte hochgerechnet, um anschließend die Fahrzeugkilometer für Lkw, gemäß der obigen Annahme, mit zehn zu multiplizieren. Teilt man nun die auf den jeweiligen Segmenten ermittelten Kosten durch die bewerteten Fahrzeugkilometer, so ergeben sich für Pkw und Lkw die abgebildeten spezifischen Kosten in DM/1000 Fzkm.

Die gesamten externen Kosten einer Fahrt je Verkehrsmittel, die wiederum direkt im Hinblick auf die Länge des Streckenabschnittes zu interpretieren sind, lassen sich in den beiden Spalten von Tabelle 21 ablesen. Es wird nochmals der hohe Anteil der Lkw an den Lärmkosten des Straßenverkehrs deutlich.

4.3 Schiene

4.3.1. Das Mengengerüst der Lärmbelastung

Die Hauptannahme bei der Ermittlung des Mengengerüsts der Schallbelastung ist, daß Personenzüge nur tagsüber (06.00 bis 22.00 Uhr) und Güterzüge nur nachts (22.00 bis 06.00 Uhr) die 343 Kilometer lange Bahnstrecke Frankfurt-Basel befahren. Diese Annahme läßt sich durch eigene Berechnungen, die auf der Basis des elektronischen Fahrplans HaCon (1996/1997) durchgeführt wurden, stützen. Demnach findet mehr als 95% des Personenzugverkehrs auf der betrachteten Strecke tagsüber statt. Da die Hauptbelastung zur Nachtzeit in erster Linie von Güterzügen hervorgerufen wird (LfU 1995: J_14), erscheint auch die diesbezügliche Annahme plausibel.

Die betrachteten Zugtechnologien tagsüber sind InterCityExpress (ICE), InterCity/EuroCity (IC/EC), InterRegio/D-Zug (IR/D) und Nahverkehrszüge (N), während für nachts lediglich Güterzüge (G) relevant sein sollen.

Die Anzahl der jeweiligen Zugklasse pro Stunde auf der Strecke Frankfurt-Basel zeigt Tabelle 22.

Tabelle 22: Basisdaten für die Bahnstrecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995.

Segmente <i>SCHIENE</i>	Länge km	Anzahl der Züge /h (beide Richtungen)				
		ICE	IC/EC	IR/D	N	G
Frankfurt-Mannheim	88	3,13	1,13	0,25	2,88	5,00
Mannheim-Karlsruhe	53	1,00	2,13	0,13	3,50	5,00
Karlsruhe-Offenburg	73	0,75	2,00	1,50	2,50	5,00
Offenburg-Lärmschutz*	10	0,75	2,00	0,50	3,63	5,00
Lärmschutz*-Freiburg	52	0,75	2,00	0,50	3,63	5,00
Freiburg-Basel SBB	67	0,75	1,88	0,38	3,38	5,00
Frankfurt-Basel SBB	343					

Quellen: DBAG (1997a), elektronischer Fahrplan HaCon (1996/1997), LfU (1995: 83). * Zusätzlich eingeführtes "virtuelles" Lärmschutzsegment. Siehe dazu Kapitel 4.3.1.1 Abschnitt D_B.

4.3.1.1. Emission

Wie schon beim Straßenverkehr werden die Schallemissionen in Anlehnung an die 16. BImSchV §3 Anlage 2 kalkuliert. Dabei wird für jede Zugtechnologie und für jedes Streckensegment der entsprechende Lärmpegel (L) pro Stunde in dB(A) gemäß Formel (4) berechnet (BMV 1993: 73).

$$(4) \quad L = L_{eq}(25m) + D_{vl} + D_B \quad \text{dB(A); wobei}$$

$$(5) \quad L_{eq}(25m) = 51 + 10 \cdot \lg(n \cdot (5 - 0,04 \cdot p)) \quad \text{dB(A).}$$

Die Basis der Kalkulation ist wiederum der äquivalente Dauerschallpegel (L_{eq}), der die durchschnittliche Schallbelastung für eine Stunde nachts und tagsüber liefert. Der L_{eq} für Schienenverkehr ist, wie Formel (5) erkennen läßt, eine Funktion der Zuganzahl pro Stunde (n) und des Prozentsatzes der schiebengebremsten Wagen eines Zuges (p). Die Einflüsse dieser beiden Parameter auf den L_{eq} werden später anhand von Tabelle 25 diskutiert. Der L_{eq} unterstellt die wie folgt charakterisierbare Schallsituation (ebd.: 74):

- Entfernung: 25 m von der Mitte der Trasse,
- Schotterbett, Holzschwelle,
- Geschwindigkeit: 100 km/h,
- Länge des Zuges: 100 m,
- Freie Schallausbreitung,
- Vertikaler Höhenunterschied zwischen der Emissionsquelle und dem Immissionsort: 2 m (ab Gleiskante).

Wiederum sollen nun zusätzlich die folgenden segmentspezifischen Eigenschaften berücksichtigt werden:

- Geschwindigkeit und Länge des Zuges (D_{vl}),
- Lärmschutzeinrichtungen (D_B).

D_{vl}

Für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Längen der jeweiligen Zugklasse sind in der Lärmschutzverordnung allgemeine Durchschnittswerte angegeben (ebd.: 75). Gemäß dem Ziel, möglichst realitätsnahe Daten zu verwenden, werden hier aber auf der Grundlage der Fahrpläne der Deutschen Bahn AG eigene Berechnungen angestellt. Aus den reinen Fahrtzeiten von Bahnhof zu Bahnhof werden die Geschwindigkeiten (v) der Personenzüge für die jeweiligen Segmente errechnet. Für Güterzüge wird die durchschnittliche Geschwindigkeit im Fernverkehr von 100 km/h angenommen (DBAG 1997a). Die durchschnittlichen Längen (l) der diversen Zugtechnologien wurden ebenfalls von der DBAG bereitgestellt, so daß sich gemäß der Formel (5/1) (BMV 1993: 76) die entsprechenden Zuschlagswerte (D_{vl}) für jede Technologie berechnen lassen.

$$(5/1) \quad D_{vl} = 10 \cdot \lg(l \cdot v^2) - 60 \quad \text{dB(A)}$$

Für das beispielhaft herausgegriffene Segment Mannheim-Karlsruhe ergeben sich die in Tabelle 23 dargestellten Zuschlagswerte auf den Mittelungspegel.

Tabelle 23: Zuschlagswerte durch Zugtempo und -länge nach Zugtechnologie am Beispiel des Segmentes Mannheim-Karlsruhe.

Segment		Länge km	Tag/ Nacht	Zugart	Tempo (v)	Länge (l)	D _{lv}
von	nach				km/h	m	db(A)
Mannheim	Karlsruhe	53	Tag	ICE	144,5	420	9,43
			Tag	EC/IC	132,5	340	7,76
			Tag	IR/D	85,9	205	1,80
			Tag	N	60,0	340	0,88
			Nacht	G	100,0	500	6,99

Quellen: Eig. Berechnungen auf Basis von Deutsche Bahn AG (1997a, 1997b), HaCon (1996/1997).

Es zeigt sich in Tabelle 23, daß bei allen Zugarten die im Vergleich zur oben charakterisierten Standardsituation erheblich höhere Zuglänge zu signifikanten Änderungen des Standardpegels führt. Selbst bei Nahverkehrszügen (N), deren Tempo mit 60 km/h deutlich unter dem in der Referenzsituation angenommenen von 100 km/h liegt, ist noch ein Aufschlag zu verzeichnen. Ist - wie beim EC/IC - das Tempo bei gleicher Länge (340 m) deutlich höher als 100 km/h (132,5 km/h), so kommt es bereits zu einer starken Erhöhung des Mittelungspegels um fast 8 dB(A). Der ICE als die Zugtechnologie mit dem höchsten Aufschlag (D_{lv} = 9,43) wird schließlich als nahezu doppelt so laut empfunden wie der in der Standardschallsituation beschriebene Zug.

D_B

Generell entspricht das Vorgehen in bezug auf Lärmschutzeinrichtungen an der Schiene dem für Straße genannten. Für Baden-Württemberg vorliegende Daten werden auf die betrachtete Strecke umgerechnet. Das Ergebnis zeigt Tabelle 24.

Tabelle 24: Skalierung der "Lärmschutzkilometer" an Schienen in Baden-Württemberg auf die Strecke Frankfurt-Basel.

	Streckenlänge km	Lärmschutz-Schiene km
Baden-Württemberg	1823*	47,5**
Frankfurt-Basel	343	10***

Quellen: Eigene Berechnungen auf der Basis von LfU (1995: B_5, J_14). *Elektrifiziertes Netz der DB 1992. **Gültig für das Jahr 1993. ***Aus der Berechnung ergibt sich ein gerundeter Wert von neun Kilometern. Für das hessische Teilstück liegen keine expliziten Daten vor. Da jedoch festgestellt werden kann, daß aktiver Lärmschutz in Hessen in den letzten Jahren intensiver betrieben wurde als in B-W (BMV 1995: 13, 17, 23, 27), werden hier insgesamt zehn "Lärmschutzkilometer" angenommen.

Die so ermittelten "Lärmschutzkilometer" werden wiederum gemäß der Lärmbelastung an der Strecke verteilt. Das ursprüngliche Segment Offenburg-Freiburg wird daher in zwei "virtuelle" Segmente aufgeteilt (Offenburg-Lärmschutz und Lärmschutz-Freiburg). Analog zum Straßenverkehr ergibt sich somit für das Segment "Offenburg-Lärmschutz" ein Abschlag von $D_B=12,5$ dB(A). Hier wird dieser Abschlag allerdings, gemäß Lärmschutzverordnung, auf die je nach Zugtechnologie unterschiedlichen Mittelungspegel einzeln angewandt (BMV 1993: 73).

Aggregation der Schallpegel der einzelnen Zugtechnologien

Durch die Berücksichtigung der routenspezifischen Charakteristika erhalten wir für jede Zugklasse einen Schallemissionspegel je Segment. Gemäß der Lärmschutzverordnung sind diese für den Schienenverkehr tagsüber wie folgt zu addieren (BMV 1993: 80):

$$(6) \quad L_{\text{gesamt}} = 10 \lg (10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} + 10^{0,1 \cdot L_3} + 10^{0,1 \cdot L_4})$$

Für den Nachtverkehr ist eine Aggregation aufgrund der eingangs erwähnten Annahme nur einer Technologie (Güterzug) nicht notwendig.

Die Ergebnisse der Aggregation sind beispielhaft für zwei Segmente in Tabelle 25 dargestellt, die zudem einen Gesamtüberblick über die Emissionsberechnung gibt.

Tabelle 25: Die Berechnung des Gesamtbeurteilungspegels $L_r(25)$ bei ausgewählten Segmenten der Bahnstrecke Frankfurt-Basel.

Segment	Länge	Tag/	Zug-	Züge/h	p	$L_m(25)$	D_{iv}	$L_r(25)/$	$L_r(25)$
von-nach	km	Nacht	art	beid-	in			Zugart	total
						dB(A)			
						inkl. D_B			
Mannheim -Karlsruhe	53	Tag	ICE	1,00	95	51,8	9,4	61,2	67,3
			EC/IC	2,13	95	55,1	7,8	62,8	
			IR/D	0,13	95	42,8	1,8	44,6	
			N	3,50	30	62,2	0,9	63,1	
		Nacht	G	5,00	0	65,0	7,0	72,0	72,0
Offenburg -Lärmsch.	10	Tag	ICE	0,75	95	50,5	8,4	46,4	55,2
			EC/IC	2,00	95	54,8	7,5	49,8	
			IR/D	0,50	95	48,8	3,2	39,4	
			N	3,63	30	62,4	2,8	52,6	
		Nacht	G	5,00	0	65,0	7,0	59,5	59,5

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Basis von DBAG (1997a, 1997b).

Betrachtet man zunächst die Mittelungspegel von Zugtechnologien mit gleichem Scheibenbremsenanteil an der Strecke Mannheim-Karlsruhe, so zeigt sich, daß - aufgrund der zugrundeliegenden logarithmischen Funktion (Formel 5) - eine Verdoppelung der Zugzahl pro Stunde zu einer Erhöhung des L_{eq} um 3 dB(A) führt (vgl. ICE und EC/IC) und eine Verachtfachung zu einer Steigerung um 9 dB(A) (vgl. IR/D und ICE). Vergleicht man den ICE mit dem Nahverkehrszug (N) und dem Güterzug (G), so müßten letztere bei gleichem Scheibenbremsenanteil einen Mittelungspegel von etwa 57 dB(A) bzw. knapp 59 dB(A) aufweisen. Betrachtet man aber die tatsächlichen Werte, so wird der Einfluß des niedrigen Scheibenbremsenanteils von 30 bzw. 0% in Form eines Aufschlages um etwa 5 dB(A) bzw. 6 dB(A) deutlich.

In bezug auf den bereits diskutierten Korrekturfaktor D_{IV} sei hier lediglich noch einmal auf die beträchtliche Höhe des Zuschlages auf den Mittelungspegel von ICE, EC/IC und Güterzug verwiesen.

Die hohe Zugzahl und der geringe Scheibenbremsenanteil der Nahverkehrszüge führen schließlich dazu, daß letztere - noch stärker als EC/IC und ICE - den Tagesgesamtbeurteilungspegel von 67,3 dB(A) an der Strecke Mannheim-Karlsruhe bestimmen. Die genannten beiden Einflußgrößen sind es auch, die dazu führen, daß die nächtliche Schallbelastung durch Güterzüge mit 72 dB(A) noch einmal deutlich über dem aggregierten Tagespegel liegt.

Am Segment Offenburg-*Lärmschutz* zeigt sich der deutliche Einfluß von aktiven Lärmbekämpfungsmaßnahmen durch einen Pegelminderung um 12,5 dB(A).

4.3.1.2 Dispersion und Immission

In bezug auf die Dispersion besteht die Grundannahme darin, daß für Straße und Schiene ein paralleler Routenverlauf unterstellt wird. Daher besitzen die zur Schallausbreitung beim Straßenverkehr gemachten Aussagen auch für den Schienenverkehr Gültigkeit (vgl. Kapitel 4.2.1.2).

Das Vorgehen in bezug auf die Ermittlung des belasteten Gebietes und der belasteten Bevölkerung ist also analog. Die "Personen pro Meter"-Werte für die 310,1 Autobahnkilometer werden dabei auf die 343 Bahnkilometer umgerechnet.

Die unterschiedliche Wirkung von Schienen- und Straßen-, insbesondere Autobahnlärm wurde bereits in Kapitel 2.3.2 und Kapitel 3.4.3 thematisiert (Stichwort: "Schienenbonus"). Es folgt nun die ökonomische Bewertung der erfaßten Lärmbelastung, sprich die Berechnung der externen Kosten des Schienenverkehrslärms.

4.3.2 Externe Kosten

Aus dem beschriebenen Vorgehen ergeben sich die in Tabelle 26 dargestellten gesamten externen Kosten des Schienenverkehrslärms an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995.

Tabelle 26: Die gesamten externe Kosten durch Schienenverkehrslärm an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995.

GESAMTE KOSTEN		TAG	NACHT	TAG + NACHT
1995	Länge	Personenverkehr	Güterverkehr	Gesamt
<i>SCHIENE</i>	km	Mio. DM	Mio. DM	Mio. DM
Frankfurt-Basel	343	52,49	96,33	148,82

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich die hohe Belastung durch den nächtlichen Güterverkehr, insbesondere wenn man bedenkt, daß sich die ermittelten Kosten lediglich auf acht Stunden, statt wie beim Personenverkehr auf sechzehn Stunden, beziehen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die auf der Strecke Frankfurt-Basel festgestellte Güterzuganzahl von vierzig pro Nacht als überdurchschnittlich hoch gelten kann.¹⁰¹

Um die Aussagekraft der Kostenwerte zu erhöhen, sollen nun spezifische Lärmkosten berechnet werden. Die notwendigen Basisdaten zu deren Berechnung zeigt Tabelle 27.

Tabelle 27: Basisdaten zur Berechnung der fahrzeugspezifischen externen Kosten des Schienenverkehrslärms an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995.

BASISDATEN	Personenverkehr	Güterverkehr
1995	gesamt	gesamt
<i>SCHIENE</i>	1000 Fzkm	1000 Fzkm
Frankfurt-Basel	12976,79	5011,09

Quelle: DBAG (1997a).

Die Division der Kostenwerte aus Tabelle 26 durch die Basisdaten führt zu den in Tabelle 28 dargestellten spezifischen Lärmkosten.

¹⁰¹ So befahren z.B. im entsprechenden Zeitraum lediglich etwa fünf Güterzüge die Strecke London-Lille (Weinreich et al. 1998a: Annex 2).

Tabelle 28: Spezifische externe Lärmkosten (pro Personen- bzw. Güterzug) einer Bahnfahrt von Frankfurt nach Basel im Jahr 1995.

SPEZIFISCHE KOSTEN	Länge	TAG		NACHT	
		Personenverkehr		Güterverkehr	
<i>SCHIENE</i>	km	DM/1000 Fzkm	DM/ Fz	DM/1000 Fzkm	DM/ Fz
Frankfurt-Basel	343	4044,94	1387,41	19223,76	6593,75

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich, daß die Lärmkosten des Güterzuges knapp fünfmal so hoch sind wie die des Personenzuges. Dies ist neben der für nachts höheren Zahlungsbereitschaft für "nahezu kein Lärm" insbesondere durch die hohe Zugzahl und den Scheibenbremsenanteil von Null zu erklären, die im wesentlichen die starke Lärmbelastung verursachen.

4.4 Vergleich Straße-Schiene

Um nun einen *leistungsbezogenen* intermodalen Vergleich durchführen zu können, sind die ermittelten Lärmkosten in Relation zu der Verkehrsleistung von Straße und Schiene zu setzen. Die Verkehrsleistung für den Personenverkehr wird üblicherweise in Personenkilometern (pkm) gemessen. Diese berechnen sich durch die Multiplikation der Fahrzeugkilometer mit der Anzahl der transportierten Personen. Analog lassen sich für den Güterverkehr Tonnenkilometer (tkm) aus den Fahrzeugkilometern und dem Gewicht der transportierten Güter kalkulieren.

Für den Straßenverkehr wird zur Berechnung der transportierten Personen bzw. Tonnen ein durchschnittlicher Pkw-Besetzungsgrad von 1,81 Personen/Fz¹⁰² bzw. ein Lkw-Auslastungsgrad von 8,77 Tonnen/Fz angenommen (Weinreich et al. 1998: 20).

In bezug auf den Schienenverkehr wird von einem Besetzungsgrad von 183,8 Personen pro Zug ausgegangen, der einen Durchschnittswert für alle vier Technologien darstellt (ebd.). Für Güterzüge wird aus Ermangelung genauerer Daten die von der Deutschen Bahn AG angegebene Vollaustattung von 1600 Tonnen/Fz unterstellt (DBAG 1997a).

Bevor der intermodale Vergleich für Lärm durchgeführt wird, sollen in Tabelle 29 und Tabelle 30 zunächst die nach Tag und Nacht differenzierten leistungsbezogenen Lärmkosten des Straßenverkehrs vorgestellt werden.

¹⁰² Dieser Wert wurde speziell für den Fernverkehr angenommen (Weinreich et al. 1998b: 20).

Tabelle 29: Personen- bzw. tonnenspezifische Lärmkosten für eine Fahrt tagsüber von Frankfurt nach Basel im Jahr 1995.

SPEZIFISCHE KOSTEN 1995 STRASSE	Länge km	TAG			
		Pkw	Lkw	Pkw	Lkw
		DM/1000 pkm	DM/1000 tkm	DM/ Person	DM/ Tonne
Frankf.- LG	48,1	10,47	23,50	0,50	1,13
LG-Basel	262,0	7,43	16,82	1,95	4,41
Frankf.-Basel	310,1	8,08	17,96	2,45	5,54

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 30: Personen- bzw. tonnenspezifische Lärmkosten für eine Fahrt nachts von Frankfurt nach Basel im Jahr 1995.

SPEZIFISCHE KOSTEN 1995 STRASSE	Länge km	NACHT			
		Pkw	Lkw	Pkw	Lkw
		DM/1000 pkm	DM/1000 tkm	DM/ Person	DM/ Tonne
Frankf.- LG	48,1	106,29	124,58	5,11	5,99
LG-Basel	262,0	79,82	74,17	20,91	19,43
Frankf.-Basel	310,1	85,51	81,23	26,02	25,42

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die um mehr als eine Zehnerpotenz höheren Nachtwerte für Pkw erklären sich durch die geringe nächtliche Verkehrsdichte, die dazu führt, daß sich die Kosten der Lärmbelastung auf weniger Personen bzw. Personenkilometer verteilen. Verstärkt wird dieser Effekt durch die großen Unterschiede in den Zahlungsbereitschaften Tag und Nacht, gerade in bezug auf die nachts vorherrschenden mittleren Belastungsklassen (vgl. Tabelle 9 in Kapitel 3.4.3).

Da die Lkw-Verkehrsstärke sich zwischen Tag und Nacht nicht so extrem unterscheidet wie beim Pkw-Verkehr (vgl. Tabelle 11), sind die Lärmkosten des Lkw-Verkehrs nachts lediglich vier bis fünfmal so hoch wie tagsüber.

Um die spezifischen Lärmkosten des Straßenverkehrs mit denen des Schienenverkehrs vergleichbar machen zu können, wird nun die Tag/Nacht-Unterscheidung aufgehoben. Durch die Gewichtung mit den jeweiligen Zeiträumen werden durchschnittliche 24-Stunden-Werte für Pkw und Lkw berechnet. Die Ergebnisse sind neben den Berechnungen zum Schienenverkehrslärm in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Spezifische Lärmkosten des Straßen- und des Schienenverkehrs, getrennt nach Personen- und Güterverkehr für eine Fahrt von Frankfurt nach Basel im Jahr 1995.

SPEZIFISCHE LÄRMKOSTEN	Länge Frankfurt-Basel 1995 km	Personenverkehr		Güterverkehr	
		DM/1000 pkm	DM/ Person	DM/1000 tkm	DM/ Tonne
Straße	310,1	14,46	4,39	29,06	8,97
		<	<	>	>
Schiene	343	24,78	8,50	12,01	4,12

Quelle: Eigene Berechnungen.

Es zeigt sich im leistungsbezogenen Vergleich, daß der Schienenverkehr knapp doppelt so hohe Lärmkosten pro Person bzw. Personenkilometer verursacht wie der Straßenverkehr.

In bezug auf Güterverkehr kehrt sich das Bild um. Dabei sind die durch Lkw verursachten Lärmkosten sogar mehr als doppelt so hoch wie die entsprechenden Werte für Güterzüge.

Eine wesentliche Rolle im leistungsbezogenen Vergleich spielen die Besetzungs- bzw. Auslastungsgrade. Insbesondere die angenommene Vollausslastung der Güterzüge mit 1600 Tonnen führt hier noch eher zu einer Unterschätzung der spezifischen "wahren" Lärmkosten des Schienenverkehrs.

Die Abhängigkeit der getroffenen Aussagen für die Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995 von den in der Fallstudie gemachten Annahmen wird deutlich. Um die Transparenz der Ergebnisse zu erhöhen sollen in Tabelle 32 die Hauptannahmen und Ergebnisse zusammenfassend dargestellt werden.

Tabelle 32: Zusammenfassung der Hauptannahmen und Ergebnisse.

Zusammenfassung der Fallstudie Frankfurt-Basel 1995	
Hauptannahmen:	
<ul style="list-style-type: none"> • Mengengerüst 	<p>⇒ <u>ortsspezifisch</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung verschiedener Verkehrssituationen (insbesondere Stau, Baustelle) durch die Annahme segmentspezifischer Geschwindigkeiten. - Routenzugang verursacht keine Lärmemissionen. - Paralleler Routenverlauf Straße und Schiene. - Freie Schallausbreitung bis auf Lärmschutzsegmente. - Boden- oder Meteorologiedämpfung werden nicht berücksichtigt. - Gleichverteilung der Bevölkerung in den anliegenden Kreisen und kreisfreien Städten (Datenbasis LDS 1994). <p>⇒ <u>technologiespezifisch</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - In bezug auf Schienenverkehr wird angenommen, daß Personenzüge nur tagsüber und Güterzüge nur nachts die betrachtete Strecke befahren. - Besetzungsgrade: 1,81 Pers./Pkw, 138,8 Pers./Personenzug (Durchschnitt über die Technologien ICE, EC/IC, IR/D und Nahverkehrs zug). - Auslastungsgrade: 8,77 t/Lkw, 1600 t/Güterzug (Vollauslastung).
<ul style="list-style-type: none"> • Wertgerüst 	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenbestimmung auf der Basis der CVM. - Als Referenzkosten werden die Werte von Weinberger/Thomassen/Willeke (1991) verwendet. Diese werden für das Basisjahr 1995 angepaßt. - Das Wertgerüst Straße berücksichtigt nur Zahlungsbereitschaften für Lärmbelastungen über 50 dB(A). - Es wird ein Schienenbonus von 5 dB(A) tagsüber und 10 dB(A) nachts angenommen. Daher werden nur Belastungen über 55 bzw. 60 dB(A) relevant. - Im Bereich Straßenverkehr werden die jährlichen Lärmkosten den Pkw und Lkw entsprechend ihrer spezifischen Lärmproduktion zugewiesen.
Ergebnisse:	
<ul style="list-style-type: none"> - Die gesamten Kosten des Verkehrslärms an der Strecke Frankfurt-Basel betragen insgesamt 594 Mio. DM. Davon werden 445,2 Mio. DM durch Straßenverkehr verursacht (Anteil des Lkw-Verkehrs ca. 62%). Die Kosten des Schienenverkehrslärms betragen 148,8 Mio. DM (etwa 65% durch Güterzüge). - Die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten des Personenverkehrs betragen 14,5 DM/1000 pkm für Pkw und 24,8 DM/1000 pkm für die Bahn. - Die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten des Güterverkehrs betragen 29,1 DM/1000 tkm auf der Straße und 12,0 DM/1000 tkm bei der Bahn. 	

4.5 Methodische Kritik

Die methodische Kritik an der Fallstudie betrifft sowohl die Erstellung des Mengengerüstes als auch den verwendeten Bewertungsansatz.

Im Hinblick auf das *Mengengerüst* ist zunächst zu beachten, daß nicht nur der Direktverkehr zwischen Frankfurt-Basel berücksichtigt wird, sondern vielmehr alle Fahrten auf der Strecke Eingang in die Berechnung finden. Dies führt ebenso zu Ungenauigkeiten in der ökonomischen Analyse wie die Nicht-Berücksichtigung der Lärmkosten, die durch den Zugang zur Autobahn bzw. zum Bahnhof in Frankfurt und Basel entstehen.¹⁰³

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Annahme der Gleichverteilung der Bevölkerung in den anrainenden Kreisen und kreisfreien Städten. Gerade in Hinblick auf den hohen Einfluß dieser Größe auf die Lärmkosten wäre hier die Verwendung detaillierterer Angaben wünschenswert. Dies betrifft ebenso meteorologische, topographische Daten, die im Rahmen des Modells nicht berücksichtigt werden konnten.

In bezug auf die technologiespezifischen Parameter des Mengengerüstes erscheinen lediglich die ungenauen Daten in bezug auf Güterzüge (insbesondere Auslastungsgrade) als nicht zufriedenstellend.

Es zeigt sich insgesamt, daß durch die Verwendung des "Bottom-Up"-Ansatzes streckenspezifische Aussagen zur konkreten Lärmbelastung gemacht werden können. Die Ergebnisse sind jedoch nur schwer übertragbar. Durch die Koppelung des Lärmmodells an ein Geographisches Informations System (GIS), welches die ortsspezifischen Daten bereitstellt, könnte man diesem Problem entgegenwirken. Der sonst hohe Aufwand einer "Bottom-Up"-Analyse könnte so auf die Erhebung der in Kapitel 4.1 vorgestellten streckenspezifischen Inputparameter beschränkt werden.

Im Mittelpunkt der Kritik der Ermittlung des *Wertgerüstes* steht ebenfalls die Übertragbarkeit der in einem spezifischen Kontext ermittelten Werte. Da in der hier zugrundeliegenden CVM-Studie von Weinberger/ Thomassen/ Willeke (1991) keine Differenzierung des Straßenverkehrslärms nach Autobahn- und Stadtstraßenlärm vorgenommen wird, sind die ermittelten Zahlungsbereitschaften als eine Unterschätzung der "wahren" Zahlungsbereitschaften zu verstehen. Denn der in der Fallstudie betrachtete Autobahnlärm wird, wie bereits in Kapitel 2.3.1 erläutert, als ebenso störend empfunden wie 10-14 dB(A) lauterer Stadtstraßenlärm.

Auch die Tatsache, daß Schäden bereits bei niedrigen Pegelbereichen verursacht werden, der Schall aber von den Befragten noch nicht als Lärm empfunden wird, führt zu einer Unterschätzung der Lärmkosten.

¹⁰³ Im QUITTS-Projekt wurde dieser Problematik Rechnung getragen, indem virtuelle Segmente am Anfang und am Ende der Strecke definiert wurden, die innerstädtische Verkehrssituationen widerspiegeln (Weinreich et al. 1998a: 37). Die hohen Lärmkosten, die sich auf diesen Segmenten ergaben (v.a. durch die höheren Einwohnerzahlen und die geringere Entfernung), zeigten deutlich die Grenzen des hier verwendeten Lärmmodells auf, welches u.a. freie Schallausbreitung annimmt.

Insgesamt gesehen können die ermittelten Werte, die im folgenden mit den Ergebnissen anderer Studien verglichen und zu den gesamten externen Kosten des Verkehrs in Beziehung gesetzt werden sollen, als eine Untergrenze der "wahren" Lärmkosten an der Strecke Frankfurt-Basel im Jahr 1995 gelten.

4.6 Einordnung der Fallstudienresultate

Die Tabelle 33 stellt den eigenen Ergebnissen die Resultate aktueller CVM-Studien gegenüber und zeigt zudem die Kosten anderer Externalitäten des Verkehrs.

Tabelle 33: Spezifische Lärmkosten der Strecke Frankfurt-Basel im Vergleich zu aktuellen "Top-down"-Studien auf CVM-Basis.

Werte für 1995 1ECU=1.85 DM	EU- Grünbuch	IWW / INFRAS	IWW / INFRAS	ZEW QUITS	Eigene "Bottom- Up"-Analyse
Basisjahr	1994	1991	1991	1995	1995
Land	EU	EU 17*	D	Frankfurt- Mailand	Frankfurt- Basel
PERSONENVERKEHR					
Straße [ECU/1000 pkm]				634,8 km	310.1 km
Unfälle	18.3	35.7	51.8	19.6	-
Lärm	2.5	4.9	7.2	3.8	7.8
Luftverschmutzung	15.3	7.3	7.5	15.6	-
Klimawandel	-	7.3	8.6	5.2	-
Gesamt	36.1	55.3	75.1	44.3**	-
Schiene [ECU/1000 pkm]				715 km	343 km
Unfälle	3.1	2.1	2.4	0	-
Lärm	2.5	3.4	5.0	1.6	13.4
Luftverschmutzung	2.5	2.3	2.7	1.7	-
Klimawandel	-	3.3	5.1	1.5	-
Gesamt	8.1	11.1	15.2	4.9**	-
GÜTERVERKEHR					
Straße [ECU/1000 tkm]				634,8 km	310.1 km
Unfälle	13.2	24.5	20.3	3.5	-
Lärm	3.3	14.0	12.4	8.0	15.7
Luftverschmutzung	17.3	14.3	11.6	15.7	-
Klimawandel	-	11.6	8.5	3.4	-
Gesamt	33.8	64.4	52.8	28.7**	-
Schiene [ECU/1000 tkm]				715 km	343 km
Unfälle	2.0	1.0	1.1	0	-
Lärm	1.8	5.1	6.1	1.5	6.5
Luftverschmutzung	1.5	0.8	0.7	0.6	-
Klimawandel	-	1.2	1.7	0.7	-
Gesamt	5.4	8.1	9.7	2.8	-

Quellen: IWW/INFRAS (1995: 121), European Commission (1995: 43), ISIS et al. 1997d: 150, Eig. Berechnungen. *EUR17 = Österreich, Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz und Großbritannien. ** Summe der genauen Zahlen, gerundet.

Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Lärmkosten liegen über den Werten der vier "Top-Down"-Studien für diese Kostenkategorie. Dabei spielt sicherlich die im Vergleich zum gesamten deutschen bzw. europäischen Streckennetz relativ hohe Anzahl der Fahrzeuge bei gleichzeitig überdurchschnittlicher Bevölkerungsdichte an der betrachteten Strecke Frankfurt-Basel eine gewisse Rolle.¹⁰⁴

Es zeigt sich jedoch, daß alle Werte in Tabelle 33 um weniger als eine Größenordnung voneinander abweichen. In bezug auf Straßenverkehr fällt auf, wie nah die eigenen Werte mit denen von IWW/INFRAS berechneten zusammenliegen. Dabei haben die jeweils zugrundeliegenden Zahlungsbereitschaftsfunktionen einen sehr unterschiedlichen Verlauf. IWW/INFRAS legen ihrer Berechnung die schwedische CVM-Studie von Hansson (1993) zugrunde, welche einen exponentiellen Verlauf der Zahlungsbereitschaftsfunktion evaluiert und damit eher die in Kapitel 2.2 dargestellte Entwicklung der Belästigungsreaktion bei steigender Belastung widerspiegelt. Im Gegensatz dazu ist der nahezu lineare Verlauf der von Weinberger/Thomassen/Willeke (1991) geschätzten Zahlungsbereitschaftsfunktion zu sehen. Letztere bewertet allerdings wiederum die mittleren Pegelklassen höher als Hansson.

Dies könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, daß die Schienenlärmbelastung im Personenverkehr, die vorwiegend Personen in den mittleren Pegelbereichen betrifft, von IWW/INFRAS niedriger bewertet wird als in der vorliegenden Arbeit.

Würde man die hier gemachte (nicht verifizierte) Annahme der Vollauslastung der betrachteten Güterzüge auflösen und stattdessen lediglich Halbauslastung unterstellen, so würde sich der im Personenverkehr Schiene beschriebene Unterschied auch im Güterverkehrsbereich widerspiegeln.

Insgesamt gesehen erscheinen die Ergebnisse des eigenen Vorgehens und der "Top-down"-Studie von IWW/INFRAS jedoch konsistent und können daher als verlässliche Abschätzung der spezifischen Lärmkosten im Verkehr dienen.

Im folgenden sollen die Lärmkosten kurz mit den Kosten anderer externer Effekte des Verkehrs verglichen werden. Dazu werden die Ergebnisse von IWW/INFRAS für Deutschland näher betrachtet.

Im Hinblick auf den Pkw-Verkehr nehmen die berechneten Lärmkosten neben den Kosten für Luftverschmutzung und Klimawandel eine relativ geringe Stellung im Vergleich zu den Unfallkosten ein, die etwa zwei Drittel des gesamten Kostenwertes ausmachen.

¹⁰⁴ So lassen sich die in der QUITs-Studie ermittelten niedrigen Werte insbesondere auch durch die niedrige Bevölkerungsdichte an der schweizerischen Teilstrecke erklären. Das in der QUITs-Studie verwendete Bewertungsverfahren orientiert sich dabei ebenso wie IWW/INFRAS (1995) an der Studie von Hansson (1993).

Mit knapp einem Drittel Anteil an den Kosten des Personenzugverkehrs stellt Lärm zusammen mit der Externalität Klimawandel den wesentlichen Kostenblock.

Betrachtet man den Güterverkehr, so ist augenscheinlich, daß der externe Effekt Verkehrslärm hier eine wesentlich größere Rolle spielt als im Personenverkehr; dies sowohl absolut als auch relativ zu den anderen externen Kostenblöcken des Verkehrs. Sein Kostenanteil an den externen Kosten des Lkw-Verkehrs beträgt knapp ein Viertel und wird lediglich von den Unfallkosten übertroffen. In bezug auf die durch Güterzüge verursachten Lärmkosten läßt sich feststellen, daß diese bei weitem den größten externen Kostenblock darstellen.

Insgesamt gesehen zeigt sich somit, daß im Personen- wie in noch höherem Maße im Güterverkehr beträchtliche Kosten durch Lärm anfallen, die die Gesellschaft zu tragen hat.

5 SCHLUSSBETRACHTUNG

Bevor ein abschließender Ausblick über die Aussagekraft der ermittelten Lärmkosten und die Einsatzmöglichkeiten des verwendeten Modells gegeben wird, soll zunächst auf zwei allgemeine Probleme der Monetarisierung von Umweltschäden eingegangen werden, die in bezug auf Lärm diskutiert werden. Zum einen betrifft dies die Unsicherheiten in der Datenbasis der ökonomischen Bewertung, zum anderen die Aggregation partialanalytischer Ergebnisse.

Die Unsicherheiten in der Datenbasis der ökonomischen Bewertung stellen sicher die wichtigste methodenbedingte Grenze der Monetarisierung des externen Effektes Verkehrslärm dar. Denn es müßten, sämtliche Wirkungszusammenhänge im Rahmen des "impact-pathway"-Ansatzes bekannt sein, um die Schadenskosten korrekt ermitteln zu können. Zudem wird durch die vorliegende Multikausalität die eindeutige Zurechenbarkeit von Lärmwirkungen erschwert, so daß eine Internalisierung der externen Kosten gemäß dem Verursacherprinzip erschwert wird.

Das zweite Hauptproblem ist, daß partialanalytisch gewonnene Ergebnisse nicht einfach addiert werden können, weil dann die "ceteris-paribus"-Bedingung verletzt ist. Eine Überschätzung der gesamten externen Kosten des Verkehrs scheint somit "vorprogrammiert".

Dem Problem der Multikausalität wurde durch die Koppelung der subjektiven Belästigungsreaktion an objektiv ermittelbare Belastungspegel versucht zu entgehen. Durch die Wahl des direkten Präferenzermittlungsverfahrens der CVM als Monetarisierungsmethode gelang es zudem, die individuell stark differierenden

psychosozialen Einflußgrößen, die über 60% der Lärmbelastungsreaktion beschreiben, zu berücksichtigen. Schließlich wurde der "Bottom-Up"-Ansatz als diejenige Methodik zur Ermittlung des Mengengerüsts angewandt, die am geeignetsten erscheint, die spezifische zu bewertende Umweltsituation zu erfassen und somit die Unsicherheiten in der Datenbasis der ökonomischen Bewertung möglichst gering zu halten.

Dem Aggregationsproblem entgeht die hier vorliegende Arbeit zu den externen Kosten des Verkehrslärms solange, wie man die ermittelten Werte isoliert betrachtet. Sobald aber die Lärmkosten einen Beitrag zu den externen Transportkosten liefern sollen, wird das beschriebene Problem relevant. Das Marktsimulationsverfahren als eine Möglichkeit, der Aggregationsproblematik entgegenzutreten, wurde in Kapitel 3.3.3.1 erläutert.

Lenkt man die Betrachtung vom Verfahren der Monetarisierung auf den Denkansatz an sich, so wird das Problem der Abgrenzung von Kosten und Nutzen, bzw. externen Kosten und externen Nutzen des Transportsystems deutlich. So läßt sich der negative externe Effekt Straßenverkehrslärm z.B. auch als Kuppelprodukt einer besseren Verkehrsanbindung ansehen, die einen hohen Nutzen stiftet (Weinberger et al. 1991: 118). Zwar scheint auf den ersten Blick die Antwort auf die Frage nach der Abgrenzung in den Implikationen der Neoklassik zu liegen; bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß das Problem neben der ökonomischen effizienzorientierten Sicht auch eine ethische Komponente hat. Denn die unbeabsichtigten Folgen von Verkehr sind zahlreich und komplex und zwingen zu einem Abwägen ökonomischer und ethischer Werte, will man die Diskussion um eine "nachhaltige Mobilität" nicht ad absurdum führen.

Vor diesem Hintergrund, insbesondere mit Blick auf die Gefahr der Partialisierung der Realität durch die Ökonomie (Masuhr 1992: 358), sollen im folgenden die Ergebnisse der Fallstudie und die Einsatzmöglichkeiten des verwendeten Modells abschließend eingeschätzt werden.

Die in dieser Arbeit zentrale ökonomische Analyse fokussierte auf zwei Ziele. Zum einen sollten Ineffizienzen in den Transportsystemen Straße und Schiene aufgedeckt werden, zum zweiten sollte im Rahmen eines leistungsabhängigen intermodalen Vergleiches eine "Lärmbilanz" der beiden Verkehrsträger erstellt werden.

Die anhand der Beispielstrecke Frankfurt-Basel für das Jahr 1995 durchgeführte statische ex-post Analyse kam dabei zu den in Kapitel 4.4 genannten Ergebnissen. An dieser Stelle seien lediglich noch einmal die wesentlichen spezifischen externen Lärmkosten dargestellt, die sich, wie erwähnt, auch im Vergleich mit der aktuellen Literatur als plausible Werte erweisen. So betragen die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten des Personenverkehrs 14,5 DM/1000 pkm für Pkw und 24,8

DM/1000 pkm für die Bahn. Es zeigt sich also, daß die Bahn bei gleicher Transportleistung in bezug auf Lärm deutlich höhere Kosten für die Allgemeinheit verursacht als der Pkw-Verkehr. Im Hinblick auf den Güterverkehr kehrt sich das Bild um. Die durchschnittlichen spezifischen Lärmkosten betragen hier 29,1 DM/1000 tkm auf der Straße und 12,0 DM/1000 tkm bei der Bahn.

Die genannten Werte weisen insgesamt auf deutliche Ineffizienzen in den betrachteten Transportsystemen hin und zeigen das beträchtliche Nutzenpotential weiterer Lärmschutzmaßnahmen an der Strecke Frankfurt-Basel. Um nun im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen den meist bekannten Kosten einer orts- und technologiespezifischen Lärmbekämpfungsmaßnahme auch deren monetarisierten Nutzen durch Pegelminderungen gegenüberstellen zu können, erscheint das hier verwendete Modell als ein sinnvolles Hilfsmittel. Die ermittelten spezifischen Lärmkosten können zudem als Informationsgrundlage für eine mögliche Internalisierung des negativen externen Effektes Verkehrslärm dienen. So wäre etwa eine nach Lärmemissionskennziffern differenzierte Staffelung der Kraftfahrzeugsteuersätze ebenso denkbar wie eine Erhöhung der Mineralölsteuer.

„Geräusch ist oft nur Unrast des Gemütes, Ungeduld, Verdrießlichkeit; nicht selten auch Grobheit des Herzens, Unachtsamkeit, liebloser Sinn. Der gütigen Hand, der ruhigen Bewegung, fügen sich die Dinge leicht. Welch wunderbare Aufgabe: Ein Dasein ohne Lärm!“¹⁰⁵

Romano Guardini

¹⁰⁵ Zitiert nach Eckermann (1984: 141).

LITERATURVERZEICHNIS

- Ahlheim, M. (1996a):** The Economic Assessment of Changes in Environmental Quality by the Contingent Valuation Method. Diskussionschrift 2/ 96. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Ahlheim, M. (1996b):** Contingent Valuation and the Budget Constraint. Diskussionschrift 3/ 96. Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Ahlheim, M./ Rose, M. (1992):** Messung individueller Wohlfahrt. Zweite Auflage. Berlin-Heidelberg-New York.
- Balke, V. (1983):** Das Moderatorkonzept der Belästigung durch Autobahnlärm unter besonderer Berücksichtigung der gesundheitlichen Selbsteinschätzung der Autobahn-anlieger. Dissertation Universität Düsseldorf.
- Bator, F. M. (1958):** The Anatomy of Market Failure. In: Quarterly Journal of Economics 72. S. 351-379.
- Bickel, P./ Friedrich, R. (1995):** Was kostet uns die Mobilität? Externe Kosten des Verkehrs. Berlin-Heidelberg-New York.
- Brookshire, D./ Thayer, M./ Schulze, W./ D'Arge, R. (1982):** The Valuation of Public Goods: A Comparison of Survey and Hedonic Approaches. In: American Economic Review 72 (1). S. 165-177.
- Bjornstad, D.J./ Kahn, J.R. (1996):** The Contingent Valuation of Environmental Resources. Cheltenham-Brookfield.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (1996)** (Hrsg.): Laut ist out! Lärmschutz in Deutschland. Broschüre. Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr (BMV) (1993)** (Hrsg.): Lärmschutz im Verkehr. Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr (BMV), Abteilung Straßenbau (1990):** Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90). Ausgabe 1990. Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr (BMV), Abteilung Straßenbau (1995):** Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 1995. Bonn.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) (1996):** Straßenverkehrszählung 1995 in der Bundesrepublik Deutschland. Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes. Reihe 1, Heft 10. Flensburg.
- Cansier, D. (1993):** Umweltökonomie, Stuttgart-Jena.
- Cramer, P. (1978):** Schutz gegenüber Strassenverkehrslärm. In: Cramer (Hrsg.): Schutz gegen Verkehrslärm. Frankfurt am Main. S. 9-26.
- Cummings, R. G./ Brookshire, D.S./ Schulze, W. D. (1986)** (Hrsg.): Valuing Environmental Goods: An Assessment of the Contingent Valuation Method. New York.
- Deutsche Bahn AG (DBAG) (1997a):** Persönliche Mitteilung vom 21.10.97.
- Deutsche Bahn AG (DBAG) (1997b):** Zugbegleiter EC Tiziano.

- Deutsche Bundesbahn (1984)** (Hrsg.): Schienenlärm: Ursachen, Zusammenhänge, Gegenmaßnahmen. München.
- Deutsche Bundesbank (1995)**: Saisonbereinigte Wirtschaftszahlen November 1995. Statistisches Beiheft zum Monatsbericht 4. Frankfurt.
- Diamond, P. A./ Hausman, J.A. (1994)**: Contingent valuation: Is some number better than no number? In: Journal of Economic Perspectives. 8. S. 45-64.
- Dobrinski, P./ Krakau, G./ Vogel, A. (1988)**: Physik für Ingenieure. 7. Auflage. Stuttgart.
- Eckermann, G. (1984)**: Motivierung zu lärmbewußtem Verhalten. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 31. S. 137-141.
- Endres, A./ Holm-Müller, K. (1998)**: Die Bewertung von Umweltschäden. Theorie und Praxis sozioökonomischer Verfahren. Stuttgart-Berlin-Köln.
- European Commission (1994a)**: Externalities of Fuel Cycles - ExternE-Project. Summary Report. Brüssel.
- European Commission (1994b)**: Externalities of Energy (ExternE). Volume 2. Methodology. Brüssel-Luxemburg.
- European Commission (1995)**: Green Paper on Fair and Efficient Pricing in Transport. Brüssel.
- Ewers, H.-J. (1995)**: Ansätze und Grenzen der Monetarisierung externer Kosten des Verkehrs. In: Mobilität um jeden Preis? Expertenworkshop vom 06. Nov 1995. Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. (FGU). Berlin.
- Fleischer, G. (1990)**: Lärm - der tägliche Terror. Stuttgart.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1986)**: Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS. Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen RAS-W. Köln.
- Fritsch, M./ Wein, T./ Ewers, H.-J. (1996)**: Marktversagen und Wirtschaftspolitik. Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns. 2. Aufl. München.
- Gabler, T. (1993)** (Hrsg.): Gabler-Wirtschafts-Lexikon. Bände 3,4,6 und 7. Wiesbaden.
- Glaser, C. (1992)**: Externe Kosten des Straßenverkehrs. Darstellung und Kritik von Meßverfahren und empirischen Studien. Dissertation Universität München.
- Greene, D.L./ Jones, D.W. (1997)**: The Full Costs and Benefits of Transportation: Conceptual and Theoretical Issues. In: Greene, D.L./ Jones, D.W./ Delucchi, M.A. (Hrsg.): The Full Costs and Benefits of Transportation. Berlin-Heidelberg-New York. S. 1-26.
- Griesser, H. (1995)**: Allgemeine Aspekte der Schallemissionen von Schienenfahrzeugen. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Institutes für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 37-40.
- Grigo, R. (1992)**: Zur Addition spektraler Anteile des Verkehrslärms. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität (TH) Karlsruhe Nr. 47. Dissertation. Karlsruhe.

- Grosseketteler, H. (1995):** Öffentliche Finanzen. In: Bender, D. et al. (Hrsg.): Vahlens Kompendium der Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik. Band 1. Sechste Auflage. München. S. 483-628.
- HaCon Ingenieurgesellschaft mbH (1997):** Fahrplanauskunft Version 3.49w (Fahrplan: DBAG 1996/ 97). Hannover.
- Haider, M. (1995):** Medizinisch-umwelthygienische Beurteilung des Lärms an Eisenbahnstrecken. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Institutes für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 101-103.
- Hanemann, W. M. (1994):** Valuing the Environment through Contingent Valuation. In: Journal of Economic Perspectives 8. S. 19-43.
- Hanley, N./ Splash, C.L. (1993):** Cost-benefit Analysis and the Environment. Hants.
- Hansson, L. (1993):** Traffic User Charges in Swedish Transport Policy. Lund.
- Hanusch, H. (1987):** Kosten-Nutzen-Analyse. München.
- Hauck, G. (1991):** Lästigkeitsunterschied zwischen den Geräuschen des Straßenverkehrs und Schienenverkehrs. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 38. S. 162-166.
- Hauck, G. (1995):** Emissionsschutz-Fahrweg. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 1-11.
- Heidenblut, G. (1981):** Experimentelle Untersuchungen über den REM-Rhythmus und seine Beeinflussung durch Verkehrslärm. Dissertation Technische Universität München.
- Hermann, M. (1994):** Schutz vor Fluglärm bei der Planung von Verkehrsflughäfen im Lichte des Verfassungsrechts. Schriften zum Umweltrecht, Band 40. Berlin.
- Hessisches Landesamt für Straßenbau (1997):** Persönliche Mitteilung.
- Hoevenagel, R. (1994):** An assessment of the contingent valuation method. In: Pethig, R. (Hrsg.): Valuing the environment: Methodological and Measurement Issues. Dordrecht. S. 195-227.
- Höger, R. (1993):** Lärmwirkungsforschung - Ergebnisse, Perspektiven, Praxis. In: Günther, R./ Timp, D. W. (Hrsg.): Umweltpsychologische Mitteilungen. Band 1. S. 47-60.
- Holm-Müller, K. (1992):** Die Nachfrage nach Umweltqualität in der Bundesrepublik Deutschland. In: Junkernheinrich (Hrsg.): Wirtschaftlichkeit des Umweltschutzes. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung. Sonderheft 3. S. 35-46.
- Hölzl, G. (1995):** Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung des Rollgeräusches. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Institutes für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 41-42.
- Huckestein, B./ Verron, H. (1995):** Externe Effekte des Verkehrs in Deutschland. In: Mobilität um jeden Preis? Expertenworkshop vom 06. Nov 1995. Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. (FGU). Berlin. S. 3-52.

- Hugo, K. (1995):** Das Lärmreduktionsprogramm der Deutschen Bahn AG. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Institutes für Straßenbau und Verkehrsplanung, Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 113.
- Ising, H./ Rebentisch, E. (1992):** Zur Wirkung von Lärm auf den Menschen. In: psychomed 4, S. 274-278.
- ISIS et al. (1997):** Final Report of the QUITs project, submitted to the European Commission DGVII in December 1997. Rom.
- ISIS et al. (1997a):** Deliverable 3.1 „Database“ of the QUITs project, submitted to the European Commission DGVII in December 1997. Rom.
- ISIS et al. (1997b):** Deliverable 3.2 and Deliverable 3.3 „Quality Indicators Elaboration and Measurement“ of the QUITs project, submitted to the European Commission DGVII in December 1997. Rom.
- ISIS et al. (1997c):** Deliverable 3.4 „Integrated Methodology“ of the QUITs project, submitted to the European Commission DGVII in December 1997. Rom.
- ISIS et al. (1997d):** Deliverable 3.5 „Validation“ of the QUITs project, submitted to the European Commission DGVII in December 1997. Rom.
- IWW/ INFRAS (1995):** Externe Effekte des Verkehrs. Beteiligte Institute: Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) Universität Karlsruhe und INFRAS AG Zürich. Studie im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC). Paris.
- Jakobsson, K. M./ Dragun A. K. (1996):** Contingent Valuation and Endangered Species. Cheltenham-Brookfield.
- Jansen, G. (1986):** Zur „erheblichen Belästigung“ und „Gefährdung“ durch Lärm. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 33. S. 2-7.
- Jeanrenaud, C./ Soguel, N./ Grosclaude, P./ Stritt, M.-A. (1993):** Coûts sociaux du trafic urbain. Une évaluation monétaire pour la Ville de Neuchâtel. Rapport 42 du PNR „Ville et Transport“. Zürich.
- Kalveram, K. T. (1995):** Psychologische Test-Theorie und der Zusammenhang zwischen physikalischer Schallenergie-Dosis und Belästigungswirkung. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 42, S. 131-140.
- Kaplitza, G. (1982):** Die Stichprobe. In: Holm (Hrsg.): Die Befragung. Band 1: Der Fragebogen - Die Stichprobe. 2. Auflage. München.
- Kastka, J. (1984a):** Untersuchungen zur Belästigung durch Verkehrslärm. Umweltpsychologische Analysen zu einem umwelthygienischen Konzept. Dissertation Universität Oldenburg.
- Kastka, J. (1984b):** Zum Beitrag kausal-attributiver Konzepte bei einer Analyse von Umweltgeräuschbelastung und Belästigungsreaktion. In: Schick, A./ Walcher, K.P. (Hrsg.): Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Frankfurt am Main. S. 337-356.

- Kastka, J./ Hangartner, M. (1986):** Machen häßliche Strassen den Verkehrslärm lästiger? In: Arcus Zeitschrift für Architektur und Naturwissenschaft, 1. S. 23-29.
- Keppler, J. (1991):** Wieviel Geld für wieviel Umwelt? Entschädigungskonzepte und ihre normativen Grundlagen. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (ZfU), 4/ 1991. S. 397-410.
- Kienzer, K. (1995):** Immissionsschutz - Grundlagen und Randbedingungen. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 80-83.
- Kneese, A.V. (1995):** Natural Resource Economics. Aldershot.
- Kuiper, J. (1990):** Eine Aufklärungskampagne zur Förderung lärmbewußten Verhaltens. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 37. S. 112-114.
- Kurpjuweit, K. (1997):** Dreck und Lärm töten im Jahr 50 Menschen. In: Der Tagesspiegel Berlin vom 5. Mai 1997/ Nr.15971, S. 17.
- Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik (LDS) Nordrhein-Westfalen (1994):** Statistik Regional. Daten und Informationen der statistischen Ämter des Landes und des Bundes. Datenbank EASYSTAT Version 2.01. Düsseldorf.
- Landesamt für Straßenwesen Baden-Württemberg (1997):** Persönliche Mitteilung vom 12.8.97.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) B-W (1995):** Umweltdaten 93/ 94. Karlsruhe.
- Lemmerer, E. (1995):** Einfluß von Lärmschutzeinrichtungen auf die Produktion. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 66-69.
- Lesser, J.A./ Dodds, D.E./ Zerbe, R.O. (1997):** Environmental Economics and Policy. Reading-Menlo Park-New York.
- Levinson, D./ Gillen, D./ Kanafani, A./ Mathieu, J.-M. (1996):** The Full Cost of Intercity Transportation- a comparison of High Speed rail, Air and Highway Transportation in California. Institute of Transport Studies University of California at Berkeley. Research Report UCB-ITS-RR-96-3.
- Maddison, D. (1995):** The True Costs of Road Transport in the United Kingdom. In: Hohmeyer, O./ Ottinger, R.L./ Rennings, K. (Hrsg.) (1996): Social costs and sustainability: A valuation and implementation in the energy and transport sector. Berlin-Heidelberg-New York. S.357-379.
- Maddison, D./ Pearce, D./ Johansson, O./ Calthrop, E./ Litman, T./ Verhoef, E. (1996):** The True Costs of Road Transport. London.
- Mager, N. (1982):** Fluglärm und ökonomische Planung. Erfassung und gesamtwirtschaftliche Bewertung der Lärmbelastungen durch den Luftverkehr. Gießen.

- Maibach, M. (1996)**(Hrsg.): Die vergessenen Milliarden. Externe Kosten im Energie- und im Verkehrsbereich. Bern-Stuttgart-Wien.
- Masuhr, K.P./ Wolff, H./ Keppler, J. (1992)**: Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung. Prognos AG. Basel.
- Mechler, R. (1997)**: Externe Kosten der Umweltnutzung und ihre Implementierung am Beispiel der „adders“ in den USA. Diplomarbeit am Lehrstuhl Faber. Universität Heidelberg.
- Meloni, T.M. (1991)**: Wahrnehmung und Empfindung von komplexen, kombinierten Belastungen durch Vibration und Schall. Dissertation ETH Zürich (Mikrofiche-Ausgabe). Zürich.
- Ortscheid, J. (1996)**: Daten zur Belästigung der Bevölkerung durch Lärm. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 43. S. 15-23.
- Papandreou, A. A. (1994)**: Externality and Institutions, Clarendon Press, Oxford.
- Parzefall, H. (1995)**: Entschädigung des Straßennachbarn bei Eigentumsbeeinträchtigung durch Verkehrslärm. Jenaer Schriften zum Recht. Band 6. Stuttgart-München-Hannover.
- Perman, R./ Ma, Y./ McGilvray, J. (1996)**: Natural Resource & Environmental Economics. London-New York.
- Pigou, A.C. (1920)**: The Economics of Welfare. London.
- PLANCO Consulting GmbH (1990)**: Externe Kosten des Verkehrs. Schiene, Straße, Binnenschifffahrt. Autoren: Dogs, E. / Platz, H. Gutachten im Auftrag der Deutschen Bundesbahn. Essen.
- Pohle, G./ Mosdzianowski, G. (1982)**: Physikalische Grundlagen für Lärmschutz an Hoch- und Tiefstraßen. In: Beyer, E. (1982) (Hrsg.): Konstruktiver Lärmschutz, Forschung und Praxis für Verkehrsbauten. Düsseldorf. S. 21-61.
- Pommerehne, W.W./ Römer, A.U. (1992)**: Ansätze zur Erfassung der Präferenzen für öffentliche Güter - Ein Überblick. In: Jahrbuch für Sozialwissenschaft 43. S. 171-210.
- Proops, J./ Steele, P./ Ozdemiroglu, E./ Pearce, D. (1994)**: The Internalization of Environmental Costs and Resource values: A Conceptual Study. United Nations Conference On Trade and Development (UNCTAD). Internetadresse: http://iisd1.iisd.ca/trade/unctad/intern_a.txt.
- Rennings, K./ Koschel, H. (1995)**: Externe Kosten der Energieversorgung und ihre Bedeutung im Konzept einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. ZEW-Dokumentation Nr. 95-06. Mannheim.
- Requate, T. (1997)**: Umweltökonomik. Skript zur Vorlesung WS 1996/ 97. Universität Heidelberg.
- Ridker, R. (1967)**: Economic Costs of Air Pollution. New York.
- Rupp, F. (1995)**: Schienenverkehrsproblematik aus der Sicht des Umweltschutzbeauftragten. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung

11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 140-149.

Schopenhauer, A. (1947): Über Lärm und Geräusch. In: Sämtliche Werke. Band 6. Wiesbaden. S. 679-683.

Siebke, J. (1995): Preistheorie. In: Bender, D./ Berg, H./ Cassel, D. et al. (Hrsg.): Vahlens Kompendium der Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik. Band II. 6. Aufl. München. S. 61-121.

Soguel, N. (1994): Measuring Benefits from Traffic Noise Reduction Using a Contingent Market. The Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) Working Paper GEC 94-03. London.

Sommerer, R. (1995): Konstruktive Maßnahmen zur Reduktion der Schallemission von Alt- und Neufahrzeugen. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 44-51.

Sozialdemokratische Partei Deutschland (1997): Infobrief der Landesgruppe der BayernSPD im Bundestag. Infobrief Nr. 87 vom 21.02.1997 (8.Woche): Lärmschutz abgelehnt. Internetadresse: http://www.bayernspd.de/lg_inf87.htm#m7.

Stobbe, A. (1991): Mikroökonomik. Berlin-Heidelberg-New York.

Tegner, H. (1996): Zur (Ir)Relevanz pekuniärer externer Effekte. In: Volkswirtschaftliche Diskussionsbeiträge der Westfälischen Wilhelms Universität Münster, Nr. 237.

Umweltministerium Baden-Württemberg/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (1995): Umweltdaten 93/ 94. Karlsruhe.

Verhoef, E. (1994): External Effects and Social Costs of Road Transport. In: Transportation Research A, 28 A (4). S. 273-287.

Viegas, J./ Fernandes, C. (1997): Pricing European Transport Systems (PETS). Review of the current situation. Deliverable D1. Leeds.

Weinberger, M./ Thomassen, H.G./ Willeke, R. (1991): Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte 9/ 91 des Umweltbundesamtes. Berlin.

Weinreich, S./ Rennings, K./ Schlomann, B./ Geßner, C./ Engel, T. (1998): External Costs of Road, Rail and Air Transport - a Bottom-Up Approach. Discussion Paper No. 98-03. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). Mannheim.

Whittington, D. (1996): Administering Contingent Valuation Surveys in Developing Countries. Chapel Hill. Internet: <http://www.idrc.org.sg/eepsea/papers/conVal/>.

Willeke, R. (1996): Mobilität, Verkehrsmarktdrdenung, externe Kosten und Nutzen des Verkehrs. Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie e.V. (VDA) Nr. 81. Frankfurt am Main.

Willeke, R./ Weinberger, M. (1992): Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. In: Junkernheinrich (Hrsg.): Wirtschaftlichkeit des Umweltschutzes. Sonderheft 3 der Zeitschrift für angewandte Umweltforschung. S. 103-117.

- Windelberg, D. (1995):** Lästigkeit und Schienenbonus. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung 42, S. 42-49.
- Zach, A. (1995):** Zweckmäßigkeit und Grenzen betrieblicher Maßnahmen zur Lärmreduktion. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 70-75.
- Zöschner, K. (1995):** Maßnahmen zur verminderten Schallabstrahlung am Eisenbahnrad. In: Lärmschutz an Eisenbahnstrecken. Tagungsband. Vortragsveranstaltung 11.-13. April 1995 des Instituts für Straßenbau und Verkehrsplanung. Universität Innsbruck. Lochau a. Bodensee. S. 53-64.