
**Entwicklung eines Verfahrens
zur
Aufstellung umweltorientierter
Fernverkehrskonzepte
als
Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung**

F+E-Vorhaben Nr. 10506001(alt) / 295 54 001 (neu)

im Auftrage des Umweltbundesamtes

Schlußbericht

Kurzfassung

März 1998

Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte als Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung

Federführung und Koordination:

Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung,
Universität Karlsruhe

IWW

Astrid Günemann
Karsten Kuchenbecker
Werner Rothengatter
Wolfgang Schade

Projektpartner:

Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH, Heidelberg

IFEU

Jens Borcken
Ulrich Höpfner
Udo Lambrecht

Kessel + Partner, Freiburg

KuP

Peter Kessel
Hans-Paul Kienzler
Thomas Selz

Planungsgruppe Ökologie + Umwelt, Hannover

PÖU

Adrian Hoppenstedt
Dietrich Kraetzschmer

Andreas Preising

PTV Consult GmbH Beratende Verkehrsingenieure, Karlsruhe

PTV

Ulrich Brannolte

Frank Puschner

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Die Bundesverkehrswegeplanung	4
3 Wirkungen durch Abgasbelastungen	6
3.1 Bestehende Bewertungsansätze und Aktualisierungen	6
3.2 Kanzerogene Stoffe	7
3.3 Ozon als bodennaher Schadstoff.....	9
3.4 Zusätzlicher Treibhauseffekt	12
3.5 Fazit	13
4 Lärm außerhalb von Wohnungen	14
4.1 Bestehende Bewertungsansätze	14
4.2 Bewertung der Auswirkungen des Verkehrslärms.....	15
5 Natur und Landschaft	18
5.1 Auswirkungen der Verkehrswege.....	18
5.2 Bisheriger Bewertungsansatz	19
5.3 Monetäre Bewertung verkehrswegebedingter Auswirkungen auf Natur und Landschaft	20
5.4 Operationalisierung der Wirkfaktoren der Verkehrswege.....	27
6 Inner- und außerörtliche Verkehrsanteile	29
6.1 Bestimmung von Inner- und Außerortsanteilen im Verkehr.....	30
7 Behandlung von Langfristrisiken	32
8 Ergebniszusammenfassung und Beurteilung der direkten Methode	33
8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	33
8.2 Beurteilung	35
9 Grundlagen der Bewertung von Umweltwirkungen auf der Basis von Opportunitätskosten	36
9.1 Zielsetzung und Methodik des Verfahrens	36

9.2 Grundlagen des Opportunitätskostenansatzes	37
10 Umweltziele	39
10.1 Umwelthandlungsziele des Umweltbundesamtes	40
10.2 Umweltziele als Grundlage des Backcasting-Ansatzes	42
11 Maßnahmenzenarien	44
11.1 Grundsätzliche Vorgehensweise.....	44
11.2 Maßnahmenkataloge.....	45
11.3 Maßnahmen in den Grobszenarien.....	46
12 Wirkungsanalyse	47
12.1 Verkehrsprognose.....	47
12.2 Modellierung von Umweltbelastungen.....	47
13 Ökonomische Bewertung, Opportunitätskosten und zusammengesetzte Bewertungsfunktionen.....	52
13.1 Vorgehensweise zur Bestimmung der Umweltkosten.....	55
13.2 Bestandteile der Opportunitätskosten.....	57
14 Ergebnisse der Verkehrsprognose	57
14.1 Güterverkehr	57
14.2 Personenverkehr	58
14.3 Verkehrsbelastungen.....	60
15 Ergebnisse der Modellierung von Umweltbelastungen am Beispiel Baden- Württemberg.....	62
15.1 Auswirkungen auf Natur und Landschaft	62
15.2 Schadstoffbelastung.....	66
15.3 Lärm	71
16 Ökonomische Wirkungen und Opportunitätskosten.....	73
16.1 Bewertung der Wirtschaftlichkeit.....	73
16.2 Ermittlung der Schadstoffgewichtung.....	74

16.3 Zuordnung belastungsspezifischer Opportunitätskosten.....	75
17 Zusammenfassung des Verfahrensvorschlags.....	78
17.1 Verfahren zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte	78
17.2 Verfahren zur projektbezogenen Bewertung von Umwelteffekten.....	79
17.3 Verfahren der Projektanmeldung.....	79
17.4 Zusammenhang mit Zielen der Raumordnung.....	80
18 Fazit.....	81

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Mittlere ozonbedingte Schadenskosten abgeschätzt für 1990 und 2010.	10
Abbildung 4-1: Algorithmus des Gesamtverfahrens zur Lärmbewertung	16
Abbildung 5-1: Umsetzung biototypbezogener Wiederherstellungskosten für eine monetäre Bewertung von Maßnahmen des BVWP	26
Abbildung 9-1: Verfahren zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte auf der Basis von Opportunitätskosten.....	37
Abbildung 12-1: Schematische Darstellung des Vorgehens bei der Ermittlung der Konzentrationswerte (am Beispiel von Benzol)	50
Abbildung 12-2: Verfahren zur Modellierung der regionalen Umweltwirkungen.....	51
Abbildung 13-1: Zusammenhang zwischen Gesamtkonzept und Einzelbewertung von Projekten	53
Abbildung 13-2: Zusammengesetzte Kostenfunktion.....	55
Abbildung 14-1: Modal-Split-Anteile in den Szenarien nach Verkehrsträgern.....	58
Abbildung 15-1: Partikelkonzentrationen in den Szenarien.....	71
Abbildung 15-2: Lärmbelastung durch den Straßenverkehr in Baden-Württemberg	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Mittlere spezifische Kostensätze 1990 und 2010 für Ozonvorläufersubstanzen.	11
Tabelle 4-1: Schema einer möglichen Definition und Operationalisierung von Lärm-Raumtypen.....	17
Tabelle 5-1: Monetäre Bewertungen der Auswirkungen unterschiedlicher Verkehrsträger auf Natur und Landschaft	21
Tabelle 5-2: Anwendung der Bewertungsansätze auf verschiedene Vorhabentypen des Fließgewässerausbaus ..	29
Tabelle 6-1: Verzeichnis der Straßentypen (ST) in der EWS-97.....	30
Tabelle 9-1: Bewertungsansätze für Externalitäten	38
Tabelle 10-1: Vorschlag des Umweltbundesamtes für verkehrsbezogene Umwelthandlungsziele (Ausschnitt)....	41
Tabelle 10-2: Zusammenfassung der diesem Projekt zugrundeliegenden Ziele	44
Tabelle 11-1: Wirkungsbeiträge von Maßnahmen (Index).....	46
Tabelle 14-1: Personenfernverkehrsaufkommen nach Reisezwecken.....	59
Tabelle 14-2: Pkw+Lkw-Fahrleistungen auf freien Strecken in Baden-Württemberg.....	62
Tabelle 14-3: Güterverkehrsleistungen der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg	62
Tabelle 15-1: Streckenlängen Straßennetzmodell Baden-Württemberg	63
Tabelle 15-2: Streckenlängen Schienennetzmodell Baden-Württemberg	63
Tabelle 15-3: Klasseneinteilung zur Abschätzung des Risikos für Naturschutzgebiete durch Verkehrswegebau ..	65
Tabelle 15-4: Zusatzkosten für die Vermeidung von Risiken für Ausschlußräume durch den Straßenneu- und ausbau	66
Tabelle 15-5: Annahmen zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr.....	67
Tabelle 15-6: Emissionen des Straßen- und Eisenbahnverkehrs in Baden Württemberg.....	69
Tabelle 15-7: Vergleich der Zielwerte mit den Emmissionsprognosen der Szenarien.....	70
Tabelle 15-8: Lärmbelastung durch den Straßenverkehr an Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen in Baden- Württemberg.....	72
Tabelle 15-9: Lärmbelastung durch den Schienenverkehr in Baden-Württemberg.....	72
Tabelle 16-1: Zusammenstellung der Kostenkomponenten für die Szenarien	73
Tabelle 16-2: Gewichtung der Schadstoffe und Kostenzuordnung	74
Tabelle 16-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Opportunitätskostenberechnung	76
Tabelle 16-4: Kostensätze der Partikelbelastungen bei der Projektbewertung.....	77
Tabelle 16-5: Kostensätze zur Bewertung der Lärmbelastungen	77

Die Gliederung entspricht der Langfassung. Die Verzeichnisse der Abkürzungen, der verwendeten Gesetzestexte und ein ausführliches Literaturverzeichnis sind der Langfassung dieses Berichtes zu entnehmen.

1 Einleitung

Die gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrsprojekten der Bundesverkehrswegeplanung muß deren sämtliche Vor- und Nachteile betrachten. Hierzu zählen insbesondere auch alle von einem Fernverkehrsprojekt ausgehenden Umweltwirkungen. Einige dieser Umwelteffekte werden bereits im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung berücksichtigt. Dazu gehören der innerörtliche Verkehrslärm und einige Emissionen. Sie werden mit Hilfe von monetären, überwiegend schadensbezogenen Ansätzen bewertet, so daß sie mit den übrigen Effekten in der monetären Kosten-Nutzen-Analyse der Bundesverkehrswegeplanung zusammengefaßt werden können. Zusätzlich werden unter der Rubrik *Entlastung der Umwelt* für den Verkehrsträger Straße noch Trennwirkungen und sonstige innerörtliche Beeinträchtigungen betrachtet. Außerhalb der standardisierten Nutzen-Kosten-Bewertung kommt für bestimmte Projekte eine Umweltrisikoeinschätzung hinzu.

Dennoch verbleibt, wie auch vom Bundesverkehrsministerium bestätigt,¹ ein erheblicher Forschungsbedarf, der sich insbesondere auf die problemadäquate Berücksichtigung von Umwelteffekten bezieht. Das Umweltbundesamt hat daher ein Forschungsprojekt angeregt, mit dem Ziel der

*Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter
Fernverkehrskonzepte als Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung.*

Im Forschungsvorhaben werden drei **Forschungsschwerpunkte** gesetzt:

1. Die Erweiterung der monetären Bewertung von Umweltwirkungen mit Hilfe direkter Methoden;
2. die Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte;
3. die Ableitung von Opportunitätskosten und zusammengesetzten Bewertungsfunktionen für das Verfahren.

Diese Forschungsschwerpunkte schließen eine Reihe von Aspekten zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten ein, die aus Sicht der Umwelt eine vertiefte Betrachtung verdienen. Ein Teil der existierenden Bewertungsansätze stammt aus der Mitte der 80er Jahre. Sofern keine Aktualisierungen vorliegen oder gegenwärtige Werteverhältnisse nicht mehr angemessen berücksichtigt sind, müssen neue Bewertungsansätze erarbeitet werden. Methoden wie der Einsatz der CO-Äquivalente zur Bewertung von Abgasemissionen sind zu überprüfen.

¹ BMV 1993 Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen - Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992, Schriftenreihe, Heft 72, Essen-Bonn.

Die Liste der relevanten Umweltwirkungen wird durch die Einbeziehung bisher nicht berücksichtigter Effekte vervollständigt. Hierzu zählen z.B. die Belastungen mit bodennahem Ozon und krebserregenden Schadstoffen aber auch die Beeinträchtigung und Zerstörung von Natur und Landschaft durch den Verkehrswegebau.

Das Verfahren sollte eine Trennung von lokalen und regionalen bzw. globalen Effekten bei der Wirkungsanalyse und der Risikoeinschätzung ermöglichen. Hierfür ist eine Aufteilung des standardisierten Verfahrens in einen projektbezogenen und einen netzbezogenen Verfahrensteil notwendig. Regionale und globale Wirkungen werden in der netzweiten Wirkungsanalyse bewertet, während der Großteil der lokalen Effekte auf der Projektebene behandelt wird. Die Wirkungsanalyse baut auf einem Maßnahmenprogramm auf, das nicht nur die Infrastrukturprojekte umfaßt, sondern auch verkehrspolitische Maßnahmen beinhaltet.

Im folgenden werden die drei Forschungsschwerpunkte und die Anwendung des Verfahrens am Fallbeispiel Baden-Württemberg einleitend erläutert.

(1) Erweiterung der monetären Bewertung von Umweltwirkungen mit Hilfe direkter Methoden

In diesem Teil geht es darum, für Effekte, die *bislang nicht im gesamtwirtschaftlichen Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung enthalten* sind und auch nicht in ergänzenden Studien des BMV (Bundesminister für Verkehr) untersucht werden, Bewertungsansätze zu entwickeln. Dies umfaßt die folgenden Punkte:

- Ansatz eines ökonomischen Wertes für Natur und Landschaft,
- Erarbeitung von Bewertungsansätzen für bodennahes Ozon und krebserregende Stoffe,
- Berücksichtigung von Lärm außerhalb von Wohnungen,
- explizite Berücksichtigung von Risiken bei unvollständiger Information über die Wirkungsketten,
- Überprüfung der Aufteilung zwischen Innerorts- und Außerortsverkehr.

Für diese Aspekte wird die Möglichkeit eines Aufbaus von ökonomischen Bewertungsansätzen untersucht. Begrenzte Möglichkeiten der Wirkungsketten- und Schadensprognostik führen dabei zu Problemen, die im Forschungsschwerpunkt 2 wieder aufgegriffen werden.

(2) Entwicklung eines Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte

Bei der Entwicklung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte ist es naheliegend, von einem umweltpolitischen *Lastenheft* auszugehen, das durch das angestrebte *Niveau von Umweltqualitätszielen* repräsentiert wird. Dabei ist ein Konzept einzusetzen, das den höchsten

wirtschaftlichen Nutzen bei gleichzeitiger Einhaltung ökologischer Ziele verspricht. Diese Vorgehensweise ist an konkret zu definierenden Zielen orientiert, setzt die Anwendung ausgereifter Szenariotechniken mit entsprechenden Simulationsmodellen voraus und baut auf Rückkoppelungen zwischen ökologischen Zielerreichungen und dem Design von Maßnahmenprogrammen auf.

Umwelteffekte sind den jeweils betroffenen räumlichen Bezugsebenen zuzuordnen, um inhaltlich gehaltvolle Bewertungsmaßstäbe für die Folgewirkungen zu ermöglichen. Dies bedeutet in vielen Fällen, daß eine Wirkungsanalyse auf der Projektebene zu eng angelegt und durch eine *verkehrsträgerübergreifende und gesamtnetzbezogene Betrachtung* zu ergänzen ist. Gleichzeitig ist zu sehen, daß die Prüfung ökologischer Unverträglichkeiten in dem BVWP-Verfahren zeitlich relativ spät ansetzt. Aus Sicht der Umweltpolitik ist es dagegen wünschenswert, daß Unverträglichkeiten mit umweltbezogenen Zielen in einem möglichst frühen Planungsstadium identifiziert werden, um Planungen frühzeitig geeignet modifizieren oder Ergänzungs- bzw. Ausgleichsmaßnahmen in die Bewertung einschließen zu können.

Einige entscheidungsrelevante Umwelteffekte lassen sich nur dann quantifizieren, wenn Entstehung und Ursprung relativ detailliert erfaßt und modelliert werden können. Das gilt zum Beispiel für die Beeinflussung von Natur und Landschaft durch Verkehrsprojekte. Daher ist es erforderlich, ein *feineres räumliches Untersuchungsrastrer* zu entwickeln, das die Einbeziehung solcher Effekte erlaubt.

(3) Ableitung von Opportunitätskosten aus den Standards für Umweltqualitätsziele und Verknüpfung mit der direkten Kostenbewertung für Umwelteffekte

Ein ökonomisch/ökologisch optimiertes Fernverkehrskonzept, das die gesetzten Umweltqualitätsziele erfüllt, bietet die Möglichkeit, den Umweltqualitätszielen *Opportunitätskosten* (*Schattenpreise*) zuzuordnen. Opportunitätskosten stellen die Verminderung des ökonomischen Nutzens bei Verschärfung eines Umweltqualitätszieles um eine Einheit dar und lassen sich als *ökonomische Werte der Umweltqualitätsziele* interpretieren.

Unterhalb der Zielwerte für die Umweltqualitätsziele sind die Opportunitätskosten der Umweltbeeinträchtigung gleich Null. Dies kann angesichts der Unsicherheit um die Zielwertfestlegungen dazu führen, daß Restrisiken verbleiben, die dann ökonomisch nicht bewertet werden. Um dies zu vermeiden, soll sich der zu erarbeitende Vorschlag für die ökonomische Bewertung von Umwelteffekten aus *zwei Komponenten* zusammensetzen: den direkten schadens- oder zahlungsbereitschaftsorientierten Kosten unterhalb und den Opportunitätskosten bei Überschreiten der definierten Zielwerte. Mit einer präzisen Erfassung der Mengengrundlagen wird es möglich sein, die direkten und indirekten Komponenten der Umweltkosten nicht nur als konstante Größen (Durchschnitts- oder Grenzkosten an einem Punkt) darzustellen, sondern als *Funktionen der wichtigsten Einflußgrößen*. Diese werden nach Schadstoffen und betroffenen

Regionen typisiert, so daß die Kostengrößen auch die tatsächlichen Empfindlichkeiten in den betroffenen Teilräumen widerspiegeln.

(4) Implementierung des Verfahrens am Beispiel des Landes Baden-Württemberg

Der im Rahmen von den Forschungsschwerpunkten (2) und (3) entworfene Verfahrensvorschlag zur Entwicklung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte und zur Aufstellung von Kostenfunktionen für die Bewertung von Umwelteffekten verlangt eine erhebliche Erweiterung der physischen Wirkungsanalysen. Erstens wird eine Systembetrachtung anstelle der Einzelprojektbetrachtung gefordert, was voraussetzt, daß ein verkehrsträgerübergreifendes Gesamtnetz mit den darauf ablaufenden Verkehrsaktivitäten zu modellieren ist. Dies stellt hohe Anforderungen an die angebots- und nachfrageseitigen Verkehrsmodellierungen für die Szenario-Simulation. Zum zweiten treten bislang nicht berücksichtigte Umwelteffekte hinzu, die eine Erweiterung der Emissions-/Immissionsmodellierung erfordern. Drittens folgt aus der Orientierung an Umweltqualitätszielen, daß für lokal relevante Schadstoffe raumbezogene Zielwerte vorzugeben sind. Dies bedingt eine feine Unterteilung des Untersuchungsraumes in Rasterquadrate von 5 km Kantenlänge.

Angesichts der daraus folgenden Ansprüche an die Modellierung der Netze, der Verkehrsnachfrage, der verkehrsrelevanten Raumeinheiten (Kreise, Mittelbereiche) und der umweltrelevanten Raumeinheiten (Rasterquadrate) ergeben sich so einschneidende Veränderungen auf der Erfassungsseite der Analyse, daß die Realisierbarkeit auf Grundlage eines „Prototyps“ vorgezeigt werden soll. Hierzu wird das Land Baden-Württemberg ausgewählt, weil dort im Rahmen der Generalverkehrsplanung bereits wichtige Analysegrundlagen geschaffen wurden.

2 Die Bundesverkehrswegeplanung

Der Bundesverkehrswegeplan 1992 (BVWP '92) ist ein Investitionsrahmenplan mit dem Ziel einer koordinierten Verkehrsplanung und einer Vernetzung der Verkehrssysteme. Der Realisierungszeitraum ist auf 22 Jahre von 1991 bis 2012 ausgelegt. Ziel seitens der Verkehrspolitik ist es, die Voraussetzungen zu schaffen, die weiterhin Wirtschaftswachstum und Mobilität ermöglichen. Grundsätzlich sollen die Aspekte *Wirtschaftlichkeit, Energieeinsparung, Natur- und Umweltschutz, Raumordnung* und *Städtebau* bei der Bewertung von Projekten beachtet werden.

Die Basis für Projektbewertungen bildet eine Prognose der zukünftigen Verkehrsentwicklung für den Bezugszeitraum ausgehend von einer Strukturdatenprognose. Die für die Projekte prognostizierten Verkehrsdaten bilden schließlich die wesentlichen Eingangsdaten für die gesamtwirtschaftliche Bewertung.

Die standardisierte, einzelprojektbezogene Bewertung im Rahmen des gesamtwirtschaftlichen Bewertungsverfahrens für den BVWP '92 wird anhand folgender Beurteilungsansätze durchgeführt:²

- Im Rahmen der *gesamtwirtschaftlichen Bewertung* wird unter Hinzuziehung von Markt- und Schattenpreisen das Nutzen-Kosten-Verhältnis als Orientierungsgröße für eine Bauwürdigkeit ermittelt.
- Die *ökologische Beurteilung* erfolgt in Form einer nichtmonetären, qualitativen Umwelt-risikoeinschätzung (URE) der für eine Maßnahme in Frage kommenden Korridore.
- Innerhalb der *städtebaulichen Beurteilung* (einzubeziehen seit FStrAbG v. 01.01.1986) werden nur Großprojekte (Bundesfernstraßen) mit deutlichen Verlagerungswirkungen im bebauten Bereich berücksichtigt.³ Beurteilt werden u. a. Wirkungen auf Einzelbauwerke von herausragender Bedeutung, Straßenraum, Aufenthaltsqualität, Stadtökologie.
- Ergänzt werden diese Beurteilungskriterien durch *zusätzliche Kriterien*, die im Einzelfall entscheidungsrelevant sein können. Hervorzuheben sind hier insbesondere wirtschaftliche Interdependenzen zwischen Schiene und Straße. Hierbei werden Nachfrageverlagerungen durch Ausbauvorhaben in funktionaler Parallellage quantifiziert.

Wie im BVWP '85 steht auch im Bewertungsverfahren des BVWP '92 die gesamtwirtschaftliche Bewertung mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse im Zentrum des Bewertungsprozesses. Hier werden im wesentlichen folgende Nutzenkomponenten in die Bewertung einbezogen:

- Verbilligung von Beförderungsvorgängen (NB),
- Erhaltung der Verkehrswege (NW),
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (NS),
- Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen (NE),
- Räumliche Vorteile (NR),
- Entlastung der Umwelt (NU).

Den Nutzenkomponenten werden auf der Kostenseite die Bau- und Grunderwerbskosten bzw. die Mehrkosten für den Unterhalt der Infrastruktur gegenübergestellt. Aus den einzelnen Elementen wird ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) gebildet, indem die Barwerte der Nutzen durch die Barwerte der Kosten dividiert werden. Die Projektauswahl wird primär auf Grundlage des NKV durchgeführt. Ergebnisse der Umweltrisikoeinschätzung und der städtebaulichen Beurteilung können zusätzlich in den Abwägungsprozess einbezogen werden.

² BMV 1993 S.24, a.a.O.

³ BMV 1992 Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Bundesverkehrswegeplan 1992, S. 26, Bonn.

3 Wirkungen durch Abgasbelastungen

3.1 Bestehende Bewertungsansätze und Aktualisierungen

Die in der BVWP verwendeten Kostensätze für Schäden aufgrund von Luftschadstoffen sind aus den folgenden Komponenten zusammengesetzt:

- Gesundheitsschäden,
- Material- und Gebäudeschäden,
- Waldschäden,
- Schädigung von Nutzpflanzen und Nutztieren.

Die Verwendung des schadensorientierten Ansatzes für die Bewertung von Luftschadstoffemissionen ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. So beruhen die zugrundegelegten Mengengerüste auf Hochrechnungen der Ergebnisse regional abgegrenzter Untersuchungen. Der Anteil des Verkehrs an den Schäden läßt sich häufig nur mit sehr pauschalierten Annahmen berechnen, da eine eindeutige Ursache-Wirkungsbeziehung nicht quantifiziert wird. Der Verzicht auf eine Einbeziehung subjektiver Werturteile in die Kostensätze bedeutet insbesondere bei den Gesundheitsschäden, daß ein erheblicher Teil der externen Kosten der Luftverschmutzung nicht berücksichtigt wird.

Im bisherigen Bewertungsansatz werden die gesamthaft ermittelten Schadenskosten mit Hilfe von Toxizitätsfaktoren den verschiedenen betrachteten Schadstoffen zugerechnet. Diese Methode geht davon aus, daß die Immissionsgrenzwerte der einzelnen Luftschadstoffe das jeweilige Gefährdungspotential der Emissionen "zumindest ansatzweise zutreffend widerspiegeln". Dementsprechend werden für die Wichtung der Wirkungen der einzelnen Schadstoffe in den Bereichen Gesundheit, Gebäude/Material, Vegetation verschiedene Grenzwerte zugrundegelegt. Durch Division des Grenzwertes von CO durch den Grenzwert eines betrachteten Schadstoffes ergibt sich das CO-Äquivalent (Wirkungswichtungsfaktor) des jeweiligen Schadstoffes (je Emissionseinheit). Die Anwendung von Toxizitätsfaktoren kann aufgrund der vielen impliziten und expliziten Annahmen nur eine grobe Zuordnung der Schäden zu den einzelnen Emissionen bzw. Verursachern darstellen. Insbesondere sind kritisch zu sehen:

- die implizite Voraussetzung, daß die zugrundeliegenden Grenzwerte tatsächlich das Wirkungspotential der jeweiligen Schadstoffe in der richtigen Relation widerspiegeln;
- die fehlende Unterscheidung der angegebenen Grenzwerte nach Schadensarten;
- die Unterstellung, daß der Schadenswert, der bei der Überschreitung des Grenzwertes eintritt, bei verschiedenen Schadstoffen vergleichbar ist;
- die Voraussetzung einer räumlich und zeitlich homogenen Immissionsverteilung in Deutschland;

- die fehlende Berücksichtigung der Auswirkung einer starken Änderung der Emissions- und damit auch der Immissionssituation auf die Umweltwirkungen zwischen 1992 und 2010.

Das Verfahren der Bewertung der Schadstoffbelastungen durch den Verkehr sollte auf mehreren Ebenen überprüft und gegebenenfalls verbessert oder erweitert werden. Grundsätzliche Arbeiten dazu wurden im Auftrag des BMV durchgeführt, und neue Bewertungsätze für die einzelnen Schadenskategorien angegeben sowie eine neue Bewertungssystematik aufgestellt. Die in ihrem Einwohnerbezug verbesserte Methodik berücksichtigt stärker lokale Unterschiede in der Betroffenheit und Belastung.⁴

Aufgabe in diesem Projekt ist es, Ableitungen für die Bewertungsansätze für Krebserkrankungen, Belastungen durch Sommersmog und Klimaschäden durchzuführen, um diese Schäden in das bisherige System der gesamtwirtschaftlichen Bewertung für den BVWP zu integrieren. Entsprechend werden die durch den Verkehr resultierenden Kosten in diesen Bereichen ermittelt und auf die Emissionsmenge der verursachenden Schadstoffe bezogen dargestellt. Die Möglichkeiten der Integration dieser Kostensätze in die Bundesverkehrswegeplanung werden in Kapitel 3.5 diskutiert.

3.2 Kanzerogene Stoffe

Die Quantifizierung der jährlichen Krebsfälle durch kanzerogene Stoffe aus dem Verkehr erfolgt über die Ermittlung der mittleren Konzentrationen der für den Verkehr relevanten Kanzerogene für verschiedene Besiedlungsklassen, dem Anteil des Verkehrs an diesen Belastungen, der Verknüpfung dieser Information mit den Bevölkerungszahlen und den Unit-Risk-Faktoren. Die ermittelte Anzahl der Krebsfälle wird mit einem Kostensatz bewertet, um eine Abschätzung der Umweltkosten durch Kanzerogene zu erhalten.

Die für den Verkehr relevanten und hier betrachteten kanzerogenen Stoffe sind Benzol, Dieselrußpartikel sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Leitsubstanz Benzo-a-pyren). Diese Substanzen tragen nach Berechnungen des Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) zu über 80 % zum immissionsbedingten kanzerogenen Risiko bei.

Bei der Quantifizierung des Krebsrisikos durch diese Stoffe wird von einem stochastischen Zusammenhang zwischen Inhalation des Kanzerogens und seiner Wirkung (Krebserkrankung) ausgegangen. Bei der Abschätzung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen existiert nach LAI, keine Schwelle für die kanzerogene Wirkung. Die gesamte über die Lebenszeit des Organismus akkumulierte Dosis ist zu betrachten.⁵ Dabei sind Dosis-Wirkungsbeziehungen für Immissions-

⁴ Heusch/Boesefeldt 1997: Ergänzung und Aktualisierung der Verfahren zur Bewertung von Fernstraßenprojekten für die Bundesverkehrswegeplanung, Schlußbericht, Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen, PLANCO 1995 PLANCO - Consulting GmbH: Berücksichtigung wissenschaftlicher Erkenntnisfortschritte im Umweltschutz für die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP), Schlußbericht im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Essen.

⁵ LAI 1992 Länderausschuß für Immissionsschutz Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen - Entwicklung von Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Luftverunreinigungen im Auftrag der Umweltministerkonferenz

konzentrationen, die in der Außenluft auftreten, im allgemeinen weder epidemiologisch noch experimentell meßbar. Sie werden häufig vereinfachend durch lineare Extrapolation von höheren Belastungen zum Nullpunkt geschätzt. Als Maß zur Ermittlung der Kanzerogenität hat sich der sog. Unit-Risk-Faktor etabliert. Dieser gibt an, welches anteilige Krebsrisiko bei einer lebenslangen Exposition mit einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftritt. Unit-Risk-Faktoren wurden z.B. von der EPA, der WHO und dem LAI abgeschätzt.

Mit Hilfe der Unit-Risk-Faktoren des LAI und Annahmen zu Bevölkerungsdichte und Konzentrationswerten wurden von NEUS ⁶ 640 Todesfälle (alte Bundesländer) ermittelt, die auf die Luftbelastung mit kreberzeugenden Luftschadstoffen zurückzuführen sind. Mit derselben Systematik wird in diesem Projekt das Auftreten von 554 Krebsfälle durch verkehrsbedingte Kanzerogene Anfang der 90er Jahre (alte Bundesländer) abgeschätzt. Dabei liegt der Anteil der Dieselrußpartikel bei 71%, der PAH bei 19% und von Benzol bei 9% des Risikos. D.h. der Großteil der Krebsfälle ist nach dieser Abschätzung auf Dieselrußpartikel zurückzuführen.

Wird derselbe Kostensatz wie bei Todesfällen infolge von Atemwegserkrankungen (Basis: 1,4 Mio. je Krebsfall) angesetzt, führt dies zu einem jährlichen Schadenswert infolge luftschadstoffbedingter Krebsfälle von 900 Mio. DM. Der Verkehr hat daran einen Anteil von 780 Mio. DM. Als kritische Größe geht in diese Rechnung der monetäre Wert eines statistischen Lebens ein. Dieser - je nach Erhebungsmethode um eine Größenordnung differierende Wert - führt zu einer entsprechenden Schwankungsbreite des Schadenswertes.

In der Kosten-Nutzen-Analyse für den BVWP'92 sowie in deren Überarbeitung ist der Schadenswert für krebsbedingte Todesfälle noch nicht integriert. Als Begründung werden unter anderem fehlende Emissionsfaktoren genannt. Diese Lücke konnte bei Benzol aufgrund neuerer Arbeiten geschlossen werden.⁷ Die Situation für Benzo-a-pyren (B(a)P) und Dieselabgase stellt sich schwieriger dar. Bei B(a)P existieren unseres Wissens für heutige Fahrzeuge keine verlässlichen repräsentativen Emissionsfaktoren und für zukünftige Fahrzeuge (EURO 3, EURO 4) keine Emissionsfaktoren. Während die Abschätzung der kanzerogenen Wirkung von Dieselpartikeln auf den Rußkern bezogen werden soll, erfassen die Emissionsmessungen die Gesamtheit der Dieselpartikel. Die Bestimmung des Anteils des Rußkerns an den Dieselpartikeln beruht auf Abschätzungen des Umweltbundesamtes (UBA). Aus einem laufenden UBA-Projekt werden bis

Herausgegeben vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (LV 172), Düsseldorf

⁶ Neus, H. et al. 1994: Quantitative risk assessment in environmental health policy - The example of road traffic, In: Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie, Bd. 25, Heft 4.

⁷ IFEU 1995b Patyk, A. et al.: Komponentendifferenzierte Kohlenwasserstoff-Emissionsfaktoren - Ermittlung von Faktoren zur Bestimmung der differenzierten Kohlenwasserstoffemissionen bei Kfz zur Erfüllung der Anforderungen des § 40.2 BImSchG, i. A. des Umweltbundesamt, UFOPLAN-Nr. 105 06 069, Heidelberg.

Juni 1998 neue Ergebnisse für beide Kanzerogene erwartet, die dann in ein aktualisiertes Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung integriert werden könnten.⁸

Bis zum Vorliegen dieser Ergebnisse werden die Dieseluß- und Benzolemissionen als Leitindikatoren für die Belastung mit Kanzerogenen aus dem Verkehr angesetzt. Dabei wird für die Abschätzung der spezifischen emissionsbezogenen Schadenswerte angenommen, daß etwa je die Hälfte der B(a)P-Emissionen durch Otto-Fahrzeuge und durch Dieselfahrzeuge emittiert wird. Somit können 80% der straßenverkehrsbedingten Krebsfälle den Dieselpartikelemissionen und 20% den Benzolemissionen im Innerortsbereich zugeordnet werden. Mit den von IFEU ermittelten Emissionsmengen des Verkehrs im Innerortsbereich ergibt sich ein mittlerer spezifischer Schadenswert von 6.500 DM pro innerorts emittierter Tonne Benzol und 65.000 DM pro innerorts emittierter Tonne Dieselpartikel (110.000 DM/t Ruß).

Bei hoher Einwohnerdichte führt die gleiche Emission von Schadstoffen wegen der höheren Anzahl von Betroffenen zu einer höheren Anzahl von Krebsfällen. In diesem Projekt werden die Schadenskosten in einem Raster von 5x5 km betrachtet. Um die Schadenskosten rasterspezifisch zu ermitteln, werden die durchschnittlichen Schadenskosten in Deutschland pro Einwohner und Tonne t innerorts emittierter Schadstoffe ermittelt. Sie liegen bei 100 DM/(t*Mio. Einwohner) bei Benzol und 1.750 DM/(t*Mio. Einwohner) bei Dieseluß.

Um die Belastungen durch Kanzerogene in die Kosten-Nutzen-Analyse auf der *Projektebene* wirkortbezogen einbeziehen zu können, werden in neueren Verfahren die Belastungen der Einwohner an den Straßen mit Hilfe eines Ausbreitungsmodelles ermittelt.⁹ Dieses Vorgehen ist sinnvoll, um die direkte Wirkung der innerörtlichen Emissionen auf die Einwohner im Bereich der Infrastrukturprojekte abzubilden. Dieser Ansatz sollte in einer zukünftigen BVWP stärkere Berücksichtigung finden.

3.3 Ozon als bodennaher Schadstoff

Die oft als Sommersmog bezeichneten hohen Konzentrationen von Photooxidantien, deren Leitsubstanz Ozon ist, werden in einem komplexen Bildungsprozeß erzeugt. Dabei spielen Sonneneinstrahlung Temperatur und die Verfügbarkeit der sogenannten Vorläufersubstanzen - speziell Kohlenwasserstoffe und Stickoxide - eine große Rolle. Durch den Ferntransport von Ozon sowie seiner Vorläufersubstanzen ist der Sommersmog ein großräumiges Problem, bei dem Emission und Schaden räumlich und zeitlich getrennt sind. Schädlich für den Menschen ist insbesondere eine hohe Kurzzeitexposition, während für Pflanzen auch eine Dauerexposition bei niedriger Konzentration Schäden hervorruft.

⁸ ITA 1997: ITA/IFEU et al.: „Durchführung eines Risikovergleichs zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkungen“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, in Bearbeitung.

⁹ EWS 1997: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen - EWS -97, Ausgabe 1997.
Heusch/Boesefeldt 1997, a.a.O.

In diesem Projekt wird ein neuer Ansatz zur Bestimmung der Schadenskosten durch Ozon in Deutschland entwickelt. Dabei werden folgende Verfahrensschritte verfolgt:

- Ermittlung bzw. Abschätzung der Exposition in Deutschland im Jahre 1990 und im Jahre 2010. Dabei wird für die Bestimmung der Gesundheitsschäden die Exposition während der Sommersmogepisoden zugrundegelegt, bei der Bestimmung der Pflanzenschäden die Exposition während des gesamten Sommers.
- Auswahl von Dosis-Wirkungsbeziehungen und statistischen Größen. Dosis-Wirkungsbeziehungen für Gesundheits- sowie Pflanzenschäden sind der ExternE-Studie der Europäischen Kommission entnommen. Als statistische Größen liegen der Berechnung z.B. der Produktionswert von Nutzpflanzen, Daten zur Bevölkerungsgröße und Mortalität zugrunde.
- Ermittlung von Kostensätzen für verschiedene Gesundheitssymptome, wie z.B. von Infektionen der Atemwege, Einschränkung der Aktivitäten sowie der Produktionswert verschiedener ozonempfindlicher Pflanzensorten.
- Zurechnung der Schadenskosten zu den Emissionen der Vorläufersubstanzen.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der folgenden Graphik dargestellt. Die Gesundheitskosten liegen dabei sowohl im Jahr 1990 als auch im Jahr 2010 über denjenigen der Pflanzenschäden. Die Berechnungen beruhen auf mittleren Dosis-Wirkungsbeziehungen. Setzt man den oberen oder unteren Schätzwert der Dosis-Wirkungsbeziehungen an, dann ändern sich die berechneten Gesundheitskosten um eine Größenordnung.

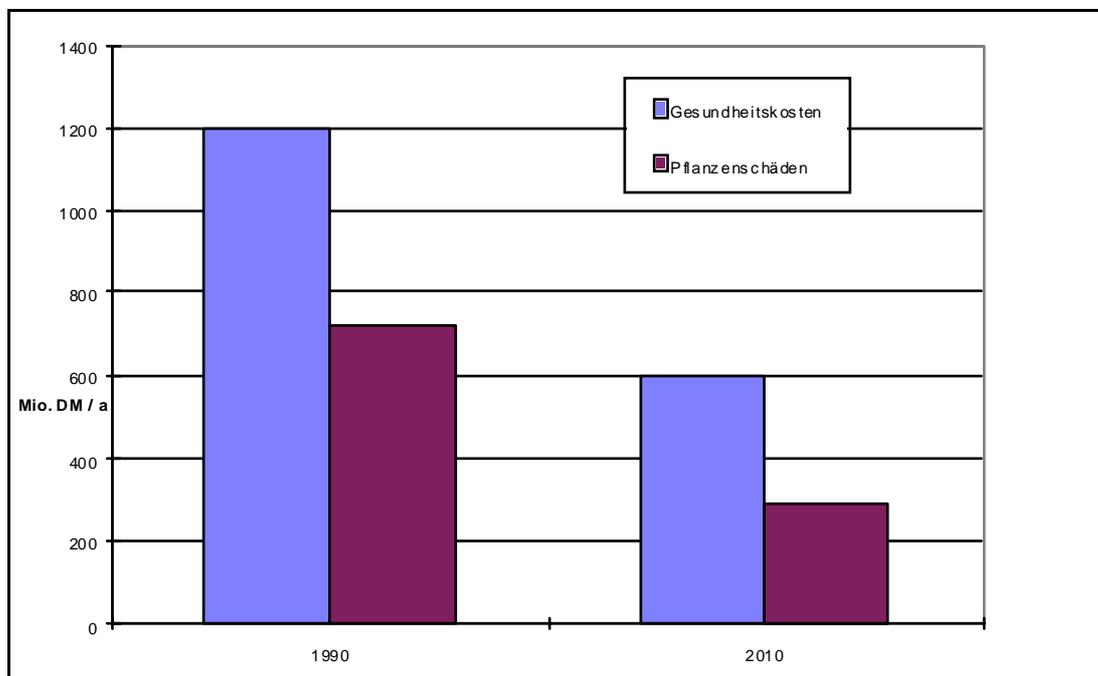


Abbildung 3-1: Mittlere ozonbedingte Schadenskosten abgeschätzt für 1990 und 2010.

Die mittleren Gesundheitskosten 1990 sind niedriger als die von HUCKESTEIN & VERRON abgeschätzten 4,6 Mrd. Schadenskosten, die aus einer linearen Übertragung einer amerikanischen Studie stammen.¹⁰ Dieser Wert wäre aber mit der Bandbreite der hier abgeleiteten Kosten verträglich.

Die von uns ermittelten Pflanzenschäden resultieren aus einer Minderung des Ertrags von Nutzpflanzen aufgrund anthropogen erzeugten Ozons im Jahr 1990 um 3,7%, im Jahr 2010 um 1,5%. Waldschäden werden nicht berücksichtigt. Der Wert für 1990 ist vergleichbar mit einer Abschätzung aus den Niederlanden (3,4%). Für Sommerweizen wird eine Ertragsminderung von 10% abgeschätzt.

Die gesamten ermittelten Schadenskosten werden in einem letzten Schritt den Vorläufer-substanzen angelastet, um sie in das Bewertungssystem der Bundesverkehrswegeplanung zu integrieren. Dabei wird für Stickoxide und Kohlenwasserstoffe das gleiche Ozonbildungspotential pro t Vorläufersubstanz zugrundegelegt. Eine Unterscheidung nach Emittenten wird nicht vorgenommen, da alle zur Ozonbildung, teilweise weit entfernt vom Ort der Emission, beitragen. Die ermittelten spezifischen Kostensätze sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 3-1: Mittlere spezifische Kostensätze 1990 und 2010 für Ozonvorläufersubstanzen.

		NO _x DM / t *a	VOC DM / t *a
1990	Gesundheitskosten	199	200
	Pflanzenschäden	120	120
	Summe	319	320
2010	Gesundheitskosten	275	356
	Pflanzenschäden	131	170
	Summe	406	526
Annahme: Mittlere Dosis-Wirkungsbeziehungen,			

Spezifische Ozonkosten liegen unseres Wissens bisher nur im Rahmen des ExternE-Projektes¹¹ als Grenzkosten im europäischen Durchschnitt vor. Gesundheitseffekte werden dort mit 1440 bzw. 1200 DM / t NO_x bzw. VOC angesetzt; Emteeinbußen mit 380 bzw. 320 DM / t NO_x bzw. VOC. Diese Grenzkosten sind nicht mit den von uns ermittelten Schadenskosten vergleichbar. Sie liegen aber in der gleichen Größenordnung wie die von uns vorgeschlagenen spezifischen Kostensätze.

¹⁰ Huckestein, B. et al. 1995: Externe Effekte des Verkehrs in Deutschland, In FGU 1995.

¹¹ Rabl & Eyre 1997: An estimate of regional and global O₂ damage from precursor NO_x and VOC emissions, Report to the ExternE Project.

3.4 Zusätzlicher Treibhauseffekt

Ergebnisse intensiver Forschungen in den letzten Jahren lassen erwarten, daß sich durch die Emission verschiedener sogenannter Treibhausgase (CO₂, FCKW, Methan, ...) das globale Klima massiv verändern wird. Man geht davon aus, daß es relativ bald zu einer Verschiebung der Klimazonen, einem Anstieg des Meeresspiegels, Veränderungen in der Struktur der Niederschläge, erhöhter Verdunstung, Veränderungen im Ablauf von Oberflächenwasser, veränderten Stumaktivitäten, vermehrten und längeren Dürreperioden kommt. Diese Wirkungen können zu erheblichen Schäden führen, die im wesentlichen sechs Bereichen zugeordnet werden können :

- Schäden an Ökosystemen und Artensterben
- Landwirtschaftliche Schäden
- Reduzierte Wasserverfügbarkeit
- Schäden an Infrastruktur und Kapitalgütern
- Gesundheitsschäden
- Direkte Auswirkungen auf den Menschen durch Überschwemmungen.

Gegenüberstellungen von Schadenswerten aus den verschiedenen Untersuchungen zeigen eine große Spannbreite der Ergebnisse.¹² Dies ist Folge der Schwierigkeiten bei der Quantifizierung dieser Schäden, hauptsächlich aufgrund der langen Zeithorizonte und der hohen Prognoseunsicherheiten.

- Die zukünftige Entwicklung der Emissionsmengen ist schwer vorherzusagen. Hier spielt insbesondere die ökonomische Entwicklung in den Schwellenländern eine Rolle.
- Die Abschätzung der Auswirkungen der Emissionsmengen auf die Änderung der Temperatur ist mit Unsicherheiten behaftet.
- Die Auswirkung der Temperaturänderung auf verschiedene klimarelevante Effekte, wie z.B. Änderungen in den Meeresströmungen und der Stärke und Häufigkeit von Stürmen kann schwer eingeschätzt werden.
- Die Auswirkung der klimatischen Effekte auf die landwirtschaftliche Produktion, den Verlust von Sachgütern usw. wird im Augenblick noch mit relativ einfachen Annahmen abgeschätzt.

Die ermittelten Schadenskosten sind dabei sehr stark abhängig von der Bewertung des Menschenlebens und dem Diskontsatz und können um mehrere Größenordnungen variieren.

¹² Hohmeyer, O. 1996: Externe Kosten möglicher Klimaveränderungen - Grenzen und Schwierigkeiten von Kostenschätzungen, In Externe Kosten von Energieversorgung und Verkehr, VDI-Berichte 1250, Düsseldorf.
IPCC 1992, Intergovernmental Panel on Climate Change: The IPCC Response Strategies.
IPCC 1995, Intergovernmental Panel on Climate Change: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
PLANCO 1995, a.a.O.

Aufgrund der angegebenen Unsicherheiten werden hier anstelle der Schadenskosten Vermeidungskosten, die bei der Reduzierung von CO₂ - Emissionen auftreten, zugrundegelegt.

Diese verändern sich stark mit der Strenge des Reduktionsziels. Aufgrund der Untersuchungen des IPCC und anderer Organisationen wurde festgestellt, daß die Industrieländer langfristig ihre CO₂-Emissionen um etwa 80% reduzieren müssen. Durch die Inbetriebnahme von einzelnen Infrastrukturprojekten ist mit erheblichen, dauerhaft wirkenden CO₂-Emissionen über den gesamten Nutzungszeitraum zu rechnen. In die Kosten-Nutzen-Analyse sollten deshalb die Vermeidungskostensätze für eine langfristig angestrebte Reduzierung eingehen.

Mehrere Studien kommen zu Vermeidungskosten von 319,- bis 400,- DM/t CO₂.¹³ Wir übernehmen den oberen Kostensatz von 400,- DM/t CO₂ als Rechengröße in die Kosten-Nutzen-Analyse, um die Wirkung der CO₂-Emissionen zu berücksichtigen. Wegen der beschriebenen Probleme bei der direkten Schadensberechnung weichen wir damit bei CO₂ von dem Prinzip der Schadenskostenberechnung ab.

3.5 Fazit

Bei einer Überarbeitung des Verfahrens zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Verkehrsprojekten des BVWP sollten neben den bisher erfaßten Schäden die bisher nicht berücksichtigten Klimaschäden, Belastungen durch den Sommersmog sowie Krebserkrankungen eingehen. Die mit diesen Schäden verbundenen Kosten werden hier ermittelt und dem Verkehr als Verursacher anteilig zugerechnet. Die somit ermittelten Schadenskosten pro Menge eines Schadstoffes aus dem Verkehr lassen sich in das für den BVWP '92 angewendete Bewertungsverfahren integrieren.

Bei der Ableitung der Kostensätze zeigt sich, daß die großen Unsicherheiten insbesondere in der Quantifizierung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen (Sommersmog), der Unit-Risk-Faktoren (Kanzerogene) und der möglichen Schäden (Treibhauseffekt) liegen und damit eine große Bandbreite der ermittelten verkehrsbedingten Schäden zur Folge haben. Weiterhin spielt die Höhe des „Wertes eines statistischen Lebens“ eine große Rolle bei der Ermittlung der Kosten. Eine genaue Bestimmung der Wirkung und der Kosten ist nach heutigem Stand der Wissenschaft nicht möglich. Die angegebenen Kostensätze stellen damit Abschätzungen dar, die unter bestimmten Prämissen abgeleitet wurden. Sie sind aber ein Ansatz, wichtige bisher nicht betrachtete Umweltwirkungen des Verkehrs in die Bundesverkehrswegeplanung aufzunehmen.

Die vorgenommene Ableitung der Kosten orientiert sich - dem bisherigen Vorgehen entsprechend - an der Emissionsmenge eines bestimmten Stoffes. Eine solche Schadenzurechnung kann bei den Schäden durch Sommersmog und dem Treibhauseffekt wegen der regionalen bzw. globalen

¹³ Prognos AG et al. 1991: Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Reduktion der verkehrlichen CO₂ - Emissionen bis zum Jahr 2005, Basel.

PLANCO 1995, a.a.O.

Heusch/Boesefeldt 1997, a.a.O.

Wirkung ohne größere Probleme erfolgen. Bei der Ermittlung der lokal auftretenden kanzerogenen Wirkungen ist im Grundsatz jedoch zu berücksichtigen, daß unterschiedliche Einwohnerdichten mit unterschiedlich hohen Immissionskonzentrationen beaufschlagt werden, was die Schadenshöhe sehr unterschiedlich ausfallen läßt. Daher müßte eine bessere Zuordnung von Emissionen und Schäden über die Ermittlung von Einwohnerdichten oder die Berechnung realer einwohnerbezogener Immissionskonzentrationen in Ausbreitungsrechnungen erfolgen.

4 Lärm außerhalb von Wohnungen

4.1 Bestehende Bewertungsansätze

Die monetäre Bewertung von Störwirkungen durch Verkehrslärm ergibt sich im gesamtwirtschaftlichen Bewertungsverfahren zum BVWP' 92 aus der Höhe der vorliegenden Zielpiegelüberschreitung, der Zahl und dem Grad der Beeinträchtigung von betroffenen Einwohnern sowie den Kosten für Schallschutzfenster. Aus den RAS-W '86 kommt das Näherungsverfahren mit seinen Stadtmodell-Bausteinen zum Einsatz. Abweichend hiervon wird jedoch der Kostensatz zur Bewertung der Lärmbelastung auf 72,50 DM/(Einwohner*a) festgesetzt, der aus den Vermeidungskosten für den Einbau von Schallschutzfenstern abgeleitet wurde.¹⁴

Die Verwendung des Vermeidungskostenansatzes auf der Grundlage von Immissionszielpegeln, die mit Hilfe von Schallschutzfenstern erreicht werden können, birgt einige Nachteile. Der gewünschte Effekt der Lärmvermeidung wird nur bei geschlossenen Fenstern erreicht. Auf diese Weise wird aber lediglich ein Mißstand durch Schaffung eines anderen beseitigt. Die Problematik der Lärmbelastung außerhalb von Wohnungen kann mit diesem Ansatz ebenfalls nicht behandelt werden.

In der Aktualisierung der Kostensätze für die Bundesverkehrswegeplanung durch PLANCO¹⁵ wird vorgeschlagen, einen auf der Grundlage von Zahlungsbereitschaftsbefragungen, die von Weinberger und anderen¹⁶ durchgeführt wurden, entwickelten Wertansatz zu verwenden. Danach wird ab einem Schwellenwert von 42 dB(A) für den Straßenlärm bzw. 47 dB(A) für den Schienenverkehr tagsüber eine Zahlungsbereitschaft von 23,60 DM je dB(A), ab 36 dB(A) nächtlichem Straßenlärm und 41 dB(A) nächtlichem Schienenlärm jeweils 25,70 DM je dB(A) angesetzt.

Es wird deutlich, daß insbesondere der nächtliche Verkehrslärm eine höhere Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung hervorruft, als die Vermeidungskosten mit Schallschutzfenstern betragen. Dies ist angesichts der oben angesprochenen Problematik der Nutzeneinbuße bei geschlossenen Fenstern

¹⁴ BMV 1993, a.a.O.

¹⁵ PLANCO 1995, a.a.O.

¹⁶ Weinberger; Thomassen; Willecke 1991: Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland (Forschungsbericht UBA), Berlin.

ein plausibles Ergebnis. Weder in der Aktualisierung der Kostensätze für die Bundesverkehrswegeplanung noch in anderen Regelwerken (RAS-W '86, EWS) wird die Verkehrslärmproblematik beim Aufenthalt im Freien außerhalb des Wohnbereiches erfaßt. Hierzu wird im folgenden ein Bewertungsansatz entwickelt.

4.2 Bewertung der Auswirkungen des Verkehrslärms

Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise (vgl. Abbildung 4-1) soll den Rahmen eines Verfahrens darstellen, mit dessen Hilfe bereits in frühzeitigen Planungsphasen einer Bundesverkehrswegeplanung die Auswirkungen des Verkehrslärms auf geplante Vorhaben quantitativ und monetär abgeschätzt werden können. Der geographischen Ausrichtung eines BVWP entsprechend soll das Verfahren nur grobgerasterte Aussagen liefern. Für kleinräumigere und detailliertere Fragestellungen müßten andere Berechnungsverfahren zum Einsatz kommen.

Die Ausgangsdatenbasis für das Bewertungsverfahren ist durch das vorhandene verkehrliche Mengengerüst der Bundesverkehrswegeplanung vorgegeben. Es soll eine möglichst frühzeitige Bewertung der zu erwartenden Verkehrslärmbelastung durch die vorgesehenen Eingriffe in das Verkehrsgeschehen (Maßnahmen) erreicht werden.

Im ersten Schritt des hier vorgeschlagenen Verfahrens werden die aus den Verkehrsprognosen streckenbezogen vorliegenden Verkehrsleistungen demjenigen Planquadraten eines raumbezogenen Katasters zugeordnet, in denen sie anfallen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß zum einen der vorhandene Unschärfebereich der Wegtrassierung in zeitlich frühen Planungsphasen pragmatisch umgangen werden kann. Zum anderen bietet die raumbezogene Vorgehensweise mit größenmäßig definierten, aber auch parametrisierbaren Katastern die Möglichkeit, in Analogie zu anderen im Bewertungsverfahren behandelten Komponenten (z.B. Luftschadstoffen) Bewertungen vorzunehmen.

Für ein Planquadrat liegen damit die erfaßten Verkehrsleistungen in gebräuchlichen Größenordnungen (z.B. Fzg-km pro Tag im Jahresdurchschnitt) vor. Diese Verkehrsleistungen können der Einwohnerzahl des jeweiligen Planquadrats zugeordnet werden; insofern lassen sich bereits qualitative Aussagen z.B. in Form von Kennzahlen wie $Fzg\text{-}km / (Einwohner * \text{Raster})$ ableiten. Für innerstädtische Bereiche wird in BMV¹⁷ über die sogenannten Stadtmodell-Bausteine eine Wohnbevölkerung in Einwohnern je Kilometer Streckenlänge angegeben. Bei der Problematik "Lärm im Freien" kann die Bevölkerungszahl zwar ein Kriterium darstellen. Sie ist als alleinige erklärende Variable zur Beschreibung der Betroffenheit jedoch in vielen Fällen nicht ausreichend, wenn beispielsweise Naturräume mit sehr wenigen Einwohnern zu betrachten sind oder wenn es sich um funktionale bzw. soziale Nutzungen handelt (z.B. Kurgelände).

¹⁷ BMV 1993, a.a.O.

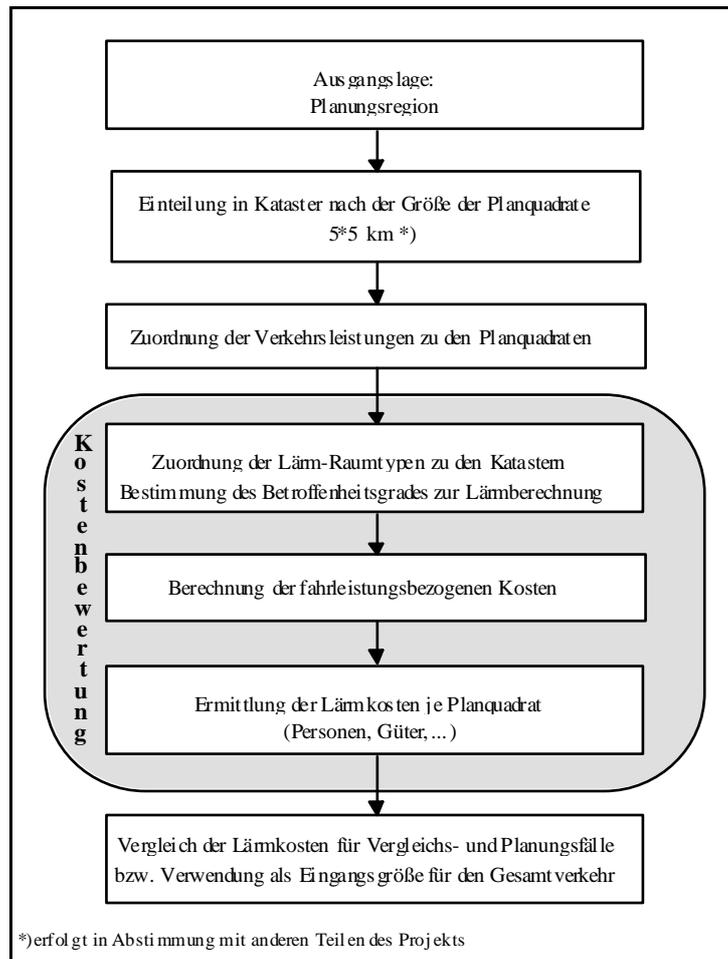


Abbildung 4-1: Algorithmus des Gesamtverfahrens zur Lärmbewertung

Hier können Lärmsensibilitäten und Betroffenheiten auftreten, die durch die Einwohnerzahl nicht beschreibbar sind. Andererseits können Räume vorliegen, bei denen eine durchaus hohe Affinität zu denjenigen Verfahren gegeben erscheint, die in den Regelwerken auf "betroffene Einwohner" aufbauen. Aus diesen Überlegungen heraus werden Raumtypen mit unterschiedlichen Sensibilitäten gegenüber Lärmbelastungen definiert und den Planquadraten zugeordnet.

Zur Definition und Klassifizierung der Lärm-Raumtypen können raumbezogen folgende Charakteristika eingeführt werden:

- Wohnbesiedlung (W)
- Funktionale Nutzung (F)
- Naturnahe Erholung (N)

Im Hinblick auf die jeweiligen Lärmsensibilitäten werden vier Klassifizierungsstufen "gering" "mittel", "hoch" und "höchste" gebildet. Diese Klassen werden für das Charakteristikum *Wohnbesiedlung* anhand der Einwohnerdichte im betrachteten Planquadrat operationalisiert. Die

funktionale Nutzung wird anhand des Gebietstyps z.B. Industrie-, Misch- und Wohngebiet erfaßt. Das dritte Charakteristikum *naturnahe Erholung* wird anhand der Bedeutung der Erholungsfunktion z.B. siedlungsnah oder Naherholung in Lärm-Raumtypen eingeteilt. Den Lärm-Raumtypen (LRT) der einzelnen Charakteristika werden Betroffenheitswerte (nach spezifischen Verfahren) und Zielschallpegel (nach DIN 18005) zugeordnet. Da jedes Rasterquadrat mehrere verschiedene LRT enthalten kann, muß für die rasterbezogene Berechnung der relevante LRT bestimmt werden. Hierfür wird jedem Rasterquadrat der dort auftretende maximale Betroffenheitswert und der minimale Zielschallpegel aus den drei Charakteristika für die abschließende Bewertung zugeordnet.

Tabelle 4-1: Schema einer möglichen Definition und Operationalisierung von Lärm-Raumtypen

Gradder Sensibilität	Wohnnutzung (W)		funktionale Nutzung (F)		Naturnahe Erholung (N)		ZSP [dB (A)]	
	Einwohner / km ²	BHW		BHW		BHW	Tag	Nacht
keine bzw. geringe	0 < E-Dichte ≤ 250	0,25	Industrie- und Gewerbegebiet (ohne Wohnnutzung)	0,23	siedlungsnah ohne Erholungsqualität	0,48	60	50
mittlere	250 < E-Dichte ≤ 750	1,00	Wohn- und Gewerbenutzung (Mischnutzung)	1,00	siedlungsnah mit Erholungsqualität	1,00	55	45
hohe	750 < E-Dichte ≤ 1.750	2,50	Naherholung, reines Wohngebiet	2,73	Naherholungsräume bzw. -wälder	2,25	50	40
höchste	1.750 < E-Dichte	5,80	Bildungs-, Pflege- und Rehabilitationseinrichtung	6,55	Ferienerholungsräume bzw. -wälder	3,24	50	40

BHW: Betroffenheitswerte, ZSP: Zielschallpegel

Die abschließende Berechnung der Lärmkosten eines Rasterquadrates berücksichtigt:

- den Betroffenheitswert des Rasters,
- die Verkehrsbelastung nach Personen-, Güterverkehr und Verkehrsträger,
- die Abweichung der berechneten Lärmwerte vom Zielschallpegel des Rasters,
- für Lärmpegel unterhalb 65 dB(A) werden fahrleistungsbezogene Kostenwerte nach INFRAS/IWW¹⁸ angesetzt und
- falls Lärmpegel oberhalb von 65 dB(A) auftreten, werden diese anhand der Opportunitätskostenwerte berücksichtigt.

¹⁸ INFRAS/ IWW 1995: External Effects of Transport. Studie im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), Paris. Jährliche fahrleistungsbezogene Lärmkosten: Personenverkehr: Pkw 3,4; Bus 2,77; Bahn 2,38 [DM/1.000 Pkm], Güterverkehr: Lkw 2,38; Bahn 2,92 [DM/1.000 Tkm].

5 Natur und Landschaft

5.1 Auswirkungen der Verkehrswege

Straßen und Schienenwege

Natur und Landschaft bzw. die Schutzgüter Boden, Wasser, Klima, Tiere und Pflanzen mit ihren Lebensräumen und das Landschaftsbild werden sowohl durch den Bau, als auch durch die Anlage und den Betrieb von Straßen und Schienenwegen in Mitleidenschaft gezogen.¹⁹ Dabei sind verschiedene Arten der Belastung zu unterscheiden:

- Auswirkungen der anlagebedingten Flächenbeanspruchung. Hierunter ist der Fahrweg mit seinen Nebenflächen (Dämme, Einschnitte, Nebenanlagen, Querungsbauwerke usw.) zu verstehen.
- Auswirkungen auf angrenzende Flächen, die vom Betrieb des Verkehrsweges, teilweise auch von der Anlage selbst verursacht werden, wie Immissionen von Schadstoffen (Gase, Stäube, Flüssigkeiten), von Lärm, Licht und Erschütterungen sowie Veränderung der Standortverhältnisse (Boden, Wasser, Lokalklima).
- Auswirkungen auf angrenzende Flächen, die durch die Trennwirkung von Anlage und Betrieb des Verkehrsweges herrühren. Diese Zerschneidung oder Verkammerung ist in ihrer Ausprägung vom Nutzungszusammenhang in der Umgebung des Verkehrsweges abhängig. Die Zerschneidung kann großflächige Dimensionen annehmen.

Wasserstraßen

Generell muß im Hinblick auf anlagebedingte Wirkungen die Nutzung der Flußsysteme als Wasserstraße von der Anlage künstlicher Wasserstraßen unterschieden werden. Betriebsbedingte Auswirkungen können in beiden Fällen vernachlässigt werden.

Fluß und Auenlandschaft sind einerseits als Gesamtökosystem sowie in der Flächensumme der beteiligten Biotopsysteme äußerst stabil, weisen aber andererseits im kleinräumigen eine extreme Dynamik auf. Im natürlichen Zustand unterliegen Flußbett und Aue den ständig wechselnden Einwirkungen durch die Dynamik des frei fließenden Flusses, die in Form von Erosion, Sedimentation und stark schwankendem Wasser- und Grundwasserstand die Standortbedingungen prägen.

Bei der Nutzung von Flüssen ist für eine Sicherstellung der Schiffbarkeit über möglichst große Zeiträume von entscheidender Bedeutung, die für einen reibungslosen Transportablauf

¹⁹ Im folgenden werden nicht betrachtet: baubedingte Wirkungen, *kumulative Effekte*, die durch Überlagerung mit Auswirkungen anderer Vorhaben entstehen, sowie, vor allem für Straßen, *Sekundäreffekte*, die durch Veränderungen der Raumnutzung als Folge einer durch den Verkehrsweg veränderten (verbesserten) Erreichbarkeit entstehen.

erforderliche Mindestwasserführung bzw. -tauchtiefe bereitzustellen. Diese hat einen Eingriff in die Dynamik des Flußsystems zur Folge. Weitere wesentliche Umweltkonflikte treten bei der Neuanlage und dem Ausbau von Wasserstraßen sowie z. T. bei der Durchführung der Unterhaltungsmaßnahmen auf. Durch eine Kombination einmaliger und unregelmäßig wiederkehrender Eingriffe im Rahmen baulicher Maßnahmen sowie auch der Unterhaltung (Baggerarbeiten, Geschiebeausgleich) und durch die gemeinsame Richtung ihres Zusammenwirkens wird die Dynamik der hydrologischen und morphologischen Verhältnisse dauerhaft und u.U. großräumig eingeschränkt.

Demgegenüber ist bei einem Bau von Schifffahrtskanälen die typische Problematik eines linienhaften Bauwerkes in der Landschaft mit Flächenbeanspruchung, Biotopverlusten und Trennwirkung gegeben.

5.2 Bisheriger Bewertungsansatz

Auswirkungen auf Natur und Landschaft wurden in der Bundesverkehrswegeplanung für die Verkehrsträger Straße und Schiene auf zwei verschiedene Arten berücksichtigt. Zum einen im Rahmen einer Umweltrisikoeinschätzung (URE), die ausgehend von den geschilderten Zusammenhängen eine dem Planungsmaßstab angemessene Einschätzung der lokalen Auswirkungen auf Natur und Landschaft darstellt.

Auf der anderen Seite erfolgte für den Verkehrsträger Straße die Einbeziehung einer Kostenpauschale für Maßnahmen für Natur und Landschaft im Rahmen der gesamtwirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnung.

Ein entscheidendes Problem für die Abschätzung der Folgewirkungen des Bundeswasserstraßenbaus auf Natur und Landschaft ist, daß es hierfür – im Gegensatz zu den Verkehrsträgern Straße und Schiene – bislang keine geeigneten Bewertungsverfahren aus der bisherigen Bundesverkehrswegeplanung gibt. Darüber hinaus ist festzuhalten, daß es auch noch kein allgemein anerkanntes Verfahren für die Zustandsbewertung der großen Flüsse gibt, das ohne weiteres zugrunde gelegt werden könnte.

In der Gesamtabwägung aller Belange genießen die mit der Kosten-Nutzen-Analyse monetär bewerteten wirtschaftlichen und verkehrlichen Belange eine deutliche Priorität gegenüber den im Rahmen der URE ermittelten Umweltrisiken. Andererseits wird das Erfordernis einer Vereinheitlichung der ökologischen Beurteilung der verschiedenen Verkehrsträger (Straße, Schiene und auch Wasserstraße) zum Zweck des systematischen Vergleichs deutlich.

5.3 Monetäre Bewertung verkehrswegebundener Auswirkungen auf Natur und Landschaft

5.3.1 Konzeption

Wesentliches Ziel ist eine differenzierte Einbeziehung des Strukturzieles "Schonung von Natur und Landschaft" in die monetäre Bewertung im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse der Bundesverkehrswegeplanung. Damit soll die bisher fehlende oder stark pauschalisierte Einbeziehung der Ausgaben für Naturschutz und Landschaftspflege bei der monetären Bewertung von Infrastrukturneu- bzw. -ausbaumaßnahmen verbessert werden.

Die Konzeption geht von der Prämisse aus, daß eine monetäre Bewertung immer nur auf der Grundlage und als Ergänzung einer dem Maßstab entsprechend differenzierten ökologisch-fachlichen Bewertung Anwendung finden soll. Sie ist für die Bewertung von Einzelvorhaben der Verkehrsträger Straße und Schiene sowie die Beurteilung künstlicher Wasserstraßen auf eine Maßstabsebene von ca. 1:100.000 ausgerichtet. Für die Beurteilung von Binnenwasserstraßen an Flüssen ist demgegenüber eine detailliertere Beurteilungsgrundlage erforderlich mit Rauminformationen auf einer Maßstabsebene von 1:25.000 - 1:50.000 sowie Informationen über die entscheidenden Zustands- bzw. Wertmerkmale des Flußsystems.

Der Bearbeitung werden drei sich ergänzende Umweltziele für Natur und Landschaft im unbesiedelten Bereich zugrundegelegt:

- Die **Vermeidung** von Beeinträchtigungen besonders wertvoller Bereiche (naturschutzrechtliches Vermeidungsgebot, BNatSchG, § 8). Fachliche Basis soll die Definition von Ausschlußräumen sein, die aufgrund von prioritären Umweltzielen künftig von jeglichem Verkehrswegebau bzw. zusätzlichen Beeinträchtigungen freigehalten werden sollen
- **Kompensation** (Ausgleich) für naturräumliche Gegebenheiten und Funktionen, die durch die Anlage und den Betrieb von Verkehrswegen verloren gehen (naturschutzrechtliches Ausgleichsgebot, BNatSchG, § 8). Grundlage soll eine flächendeckende umweltfachliche Untersuchung sein (s.o.). Einbezogen werden anlagebedingte Flächenbeanspruchung betriebsbedingte randliche (lokale) Beeinträchtigungen durch Schadstoffe und Lärm sowie die Beeinflussung der Standortverhältnisse durch sich ergebende Folgeeffekte der Flächenbeanspruchung auf angrenzenden Flächen.
- Die Forderung, künftig **keine zusätzlichen Flächen** durch den Bau von Verkehrswegen **zu versiegeln**. Daraus leitet sich die Erfordernis einer gleichzeitigen Flächenentsiegelung bei Neubau von Verkehrswegen ab. Grundfunktionen der Schutzgüter Boden, Grundwasser und Klima werden so berücksichtigt.

Darauf aufbauend werden drei monetär-quantifizierende Ansätze vorgeschlagen und in einer dem Maßstab entsprechenden Form entwickelt:

- 1. Vermeidungskostenansatz:** Eine monetäre Quantifizierung kann auf der Basis von Kosten für Maßnahmenalternativen, -varianten bzw. technischen Vermeidungs- bzw. Minimierungsmaßnahmen erfolgen.
- 2. Kompensationskostenansatz:** Eine monetäre Quantifizierung kann auf der Basis von Wiederherstellungskosten betroffener Wertmerkmale der Biotopstrukturen erfolgen.
- 3. Entsiegelungskostenansatz:** Eine monetäre Quantifizierung kann auf der Grundlage einer Abschätzung der Neuversiegelung über die Kosten entsprechender Entsiegelungsmaßnahmen erfolgen.

Durch Kombination dieser Ansätze können Funktionsverluste für das Schutzgut Arten und Biotope und die Schutzgüter Boden, Grundwasser und Klima im Rahmen gewisser Standardausprägungen in monetären Dimensionen erfaßt werden.

Besondere Werte und Funktionen der Schutzgüter Arten und Biotope sowie der Landschaft können im Rahmen einer Definition von Ausschlußräumen über Vermeidungskosten einfließen.

Tabelle 5-1: Monetäre Bewertungen der Auswirkungen unterschiedlicher Verkehrsträger auf Natur und Landschaft

Zugrundeliegende Konvention	Kostenermittlung	Straße	Schiene	Binnenwasserstraße	
				Kanäle	Flußsysteme
Eingriffsregelung - Vermeidung bzw. Minderung von Beeinträchtigungen (§ 8 BNatSchG)	Vermeidungskosten Basis: Ausschlußräume für Verkehrswegebau,	Anwendung für <i>Neubaumaßnahmen</i> bei Umgehung bzw. Untertunnelung von Ausschlußräumen Anwendung für <i>Ausbaumaßnahmen</i> bei Beeinträchtigung von Ausschlußräumen, soweit Verkehrsprojekt vorrangig			Anwendung für Neu- bzw. Ausbaumaßnahmen bei Beeinträchtigung der Dynamik des Flußsystems
Eingriffsregelung - Ausgleich bzw. Ersatz von Beeinträchtigungen (§ 8 BNatSchG)	Kompensationskosten Basis: umweltfachliche Bewertung	Flächenbeanspruchung bei Neu- und Ausbau randliche Beeinträchtigung bei Neubaumaßnahmen	Flächenbeanspruchung bei Neu- und Ausbau randliche Beeinträchtigung b. Neubaumaßnahmen	Flächenbeanspruchung und Wertverlust bei Neu- und Ausbau	Flächenbeanspruchung terrestrischer Biotope durch Ausbaumaßnahmen
Keine zusätzliche Versiegelung durch Fernstraßen (UBA) ²⁰	Entsiegelungskosten Basis: Neuversiegelung	Flächenversiegelung bei Neu- und Ausbau	Die zugrundeliegende Konvention wird nicht oder nur eingeschränkt auf den Bau von Schienenwegen und Wasserstraßen bezogen.		

²⁰ UBA 1997d Umweltbundesamt: Maßnahmenplan Umwelt und Verkehr - Ein Konzept für eine nachhaltig umweltverträgliche Verkehrsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin.

5.3.2 Vermeidungskostenansatz

Der Vermeidungskostenansatz repräsentiert den Ansatz der strong sustainability. Ihm liegt die Forderung zugrunde, daß eine Beeinträchtigung oder ein Verlust von nicht ersetzbaren Bestandteilen von Natur und Landschaft zu vermeiden ist. Eine Umsetzung erfolgt über folgende Schritte:

- Definition von Ausschlußräumen für die Verkehrsträger Schiene und Straße sowie für den Neubau von Kanälen: Für Bestandteile von Natur und Landschaft, die aufgrund ihrer spezifischen Ausprägung ihrer Großräumigkeit, ihrer Seltenheit und von sehr langen Regenerationszeiträumen usw. einmalige und nicht ersetzbare Werte darstellen, wird vorausgesetzt, daß hier künftig kein Neubau von Straßen und Schienenwegen des Bundes erfolgen soll.
- Bezogen auf die Nutzung bzw. den Ausbau von Flußsystemen als Bundeswasserstraßen ist aufgrund der grundsätzlichen Nutzungskonkurrenz zwischen einem Erhalt des natürlichen Systems und der Fahrrinnenstabilität eine differenzierte Betrachtung erforderlich. Um die Beeinträchtigung nicht ersetzbarer Werte zu vermeiden, muß eine Definition von prioritären Umweltzielen erfolgen, diese bestimmen Art und Umfang eines möglichen Ausbaues in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des betroffenen Flußsystems.
- Zur Umsetzung des Vermeidungsgrundsatzes für Straßen und Schienenwege sowie Kanäle ist für die Neuplanung von Verkehrswegen eine (großräumige) Umgehung des Gebietes als geeignete Vermeidungsmaßnahme zugrunde zu legen. Vermeidungskosten können aus der größeren Streckenlänge hergeleitet werden. Auch Mehrkosten für eine Untertunnelung können in diesem Sinne eingesetzt werden. Für Ausbauvorhaben sind Mehrkosten gegenüber einer herkömmlichen technischen Ausführung des Verkehrsweges anzurechnen, die aus bautechnischen Vermeidungsmaßnahmen resultieren. Allerdings fehlt bislang eine exakte, abgesicherte Datenbasis zur Festlegung durchschnittlicher Kosten für technische Vermeidungsmaßnahmen.
- Für den Ausbau von Flüssen zu Bundeswasserstraßen sind bei Verzicht bzw. Begrenzung eines Ausbauvorhabens Vermeidungskosten aus den Kosten für den Ausbau alternativer Verkehrsträger entsprechend der nicht realisierten Kapazität der Wasserstraße herzuleiten.

5.3.3 Kompensationskostenansatz

Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung besagt, daß Werte und Funktionen des Naturhaushaltes, die durch einen nicht vermeidbaren Eingriff im Rahmen baulicher Vorhaben beeinträchtigt werden oder verloren gehen, durch geeignete Maßnahmen im räumlichen, zeitlichen und funktionalen Zusammenhang gleichwertig auszugleichen, oder wenn dies nicht möglich ist, nach erfolgter Abwägung bei Priorität des Vorhabens gleichartig zu ersetzen sind (§8 BNatSchG).

Hieraus leitet sich der Kompensationskostenansatz ab, der dem Ansatz der weak sustainability entspricht.

Ausgangspunkt für die Ableitung monetärer Werte sind naturschutzfachliche Anforderungen an die Dimensionierung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen hinsichtlich funktionaler sowie zeitlicher Anforderungen an eine Wiederherstellung des Ausgangsbiotopes. Als Datenbasis ist eine dem Maßstab entsprechende umweltfachliche Untersuchung von Natur und Landschaft erforderlich.²¹

Für die Ableitung von Kosten wird von einer flächenmäßigen 1:1-Kompensation ausgegangen. Ausgehend von den Vorschlägen des IFL sind bei der Bemessung von biototypbezogenen Geldleistungen zur Kompensation von Eingriffsfolgen folgende Bestandteile der Herstellungskosten zu berücksichtigen:

- Kosten für die Flächenbeschaffung von Ausgleichsflächen.
- Kosten der Erstinstandsetzung einer Fläche für standardisierte Ausgangsfälle (als Kostenspannen).
- Kosten für jährlich bzw. in bestimmten Abständen erforderliche Pflegemaßnahmen sowie für jährliche Ertragsausfallzahlungen an land- und forstwirtschaftliche Nutzer.

Den zweiten Hauptbestandteil bilden Kosten zur Berücksichtigung erheblicher, zeitlich befristeter Funktionsverluste ("time-lag-Effekt") bei Regenerationszeiträumen von mehr als 5 Jahren. Als Grenze des Betrachtungszeitraumes wird von 150 Jahren ausgegangen. Diese Zeitspanne kann als obere Grenze einer Wiederherstellbarkeit angesehen werden. Der Aufschlag berechnet sich aus den 1:1 Wiederherstellungskosten und dem Zinssatz einer langfristigen Kreditaufnahme, multipliziert mit der Entwicklungszeit des jeweiligen Biotops. Damit wird dem Problem Rechnung getragen, daß die Kompensationsmaßnahmen, um einen funktionalen Ausgleich im Sinne des Gesetzes zu erreichen, bereits in der Vergangenheit hätten durchgeführt werden müssen.

Als Grundlage für die Ableitung von Kosten können Kostendateien verwendet werden. Aus den genannten Kostenbestandteilen leitet sich die folgende Formel zur Berechnung der Gesamtkosten ab:²²

²¹ IFL 1996 Institut für Landschaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover: Methodik der Eingriffregelung. Gutachten i. A. d. LANA.

²² Die Formel zur Berechnung der Gesamtkosten GK wurde bezogen auf das Konzept einer vorsorgenden Biotopneuschaffung entwickelt. Sie wird hier auf eine im Grundsatz ähnliche Problematik angewendet.

Schwepe-Kraft, B. 1992: Ausgleichszahlungen als Instrument der Ressourcenbewirtschaftung im Arten- und Biotopschutz, In: Natur und Landschaft, 67. Jahrgang, Heft 9, S.410-413.

Schemel et al. 1993: Büro für Umweltforschung und Umweltplanung Dr. Schemel: Methodik zur Entwicklung von Geldwertäquivalenten im Rahmen der Eingriffregelung - Naturhaushalt - (Ausgleichsabgabe), Forschungsvorhaben i. A. d. BFANL (BfN).

Bosch & Patner 1993: Faktische Grundlagen für die Ausgleichsabgabenregelung (Wiederherstellungskosten), Forschungsvorhaben i. A. d. BFANL (BN).

$$Gk = Hk + (Hk * tw * z) \quad \text{mit}$$

$$Hk = f + i + p + n \quad \text{wobei}$$

Gk	-	Gesamtkosten (als Annuität).
Hk	-	Herstellungskosten
f	-	Kosten für die Flächenbeschaffung
i	-	gemittelte Kosten der Erstinstandsetzung einer Fläche
p	-	gemittelte Kosten für Pflegemaßnahmen ¹⁾
n	-	Kosten für jährliche Ertragsausfallzahlungen (Zeitraum: 150 Jahre) ¹⁾
tw	-	gemittelter Regenerationszeitraum (zwischen 5 und 150 Jahren)
z	-	Kapitalmarktkosten (Zinssatz für langfristige Kredite, hier: 3%)

¹⁾ Da diese Kosten zukünftig anfallen würden, sind die abdiskontierten Kosten für den Wiederherstellungszeitraum (Pflegetmaßnahmen) bzw. für einen angenommenen Zeithorizont (Ertragsausfallzahlungen) aufzusummieren.

Auf diese Weise werden biototypspezifische, aber vom konkreten räumlichen Zusammenhang losgelöste durchschnittliche Kostenspannen für eine Wiederherstellung bezogen auf 1 ha Eingriffsfläche ermittelt.

Generalisierung der Aussagen

Zur Anwendung des Berechnungsverfahrens auf der Ebene der BVWP, sind mehrere Generalisierungsschritte erforderlich (vgl. Abbildung 5-1). Diese beruhen auf den folgenden Rahmenbedingungen:

- **Begrenzung des Zeithorizontes:** Als obere Begrenzung der Regenerierbarkeit für die Anwendung des Kompensationskostenansatzes werden 150 Jahre angenommen.
- **Festlegung relevanter Zieltypen:** Zieltypen mit in der Regel kleinräumiger bzw. ausschließlich linearer Ausprägung werden ausgeklammert. Die Zieltypen werden um die intensiv genutzten Biotop-Standorte des Grünlandes, des Ackerlandes sowie der Sonderkulturen ergänzt.
- **Generalisierung der Ausgangssituationen und Maßnahmenbündel:** Als Ausgangsbiotop einer Regeneration wird in der Regel von intensiv genutzten Acker-, Grünland- oder Waldstandorten ausgegangen. Die sogenannte „Vorwertigkeit“ dieser Flächen fließt im Zusammenhang mit dem Entsigelungskostenansatz ein.
- **Raumbezogene Generalisierung:** Erst für räumlich generalisierte Informationen ist eine Bearbeitung auf der Maßstabebene der Bundesverkehrswegeplanung machbar. Die Biototypen werden daher in Biotop-Standortgruppen zusammengefaßt, die unter Einbeziehung insbesondere der abiotischen Standortverhältnisse entstehen.

Modifikation für den Ausbau von Flüssen

Aufgrund des für Binnenwasserstraßen bei Nutzung von Flüssen vorgeschlagenen detaillierteren Bearbeitungsmaßstabs der zugrundeliegenden umweltfachlichen Untersuchung kann eine Monetarisierung ohne Generalisierung von Biotopzieltypen erfolgen. Eher wird eine

weitergehende Differenzierung oder Ergänzung der Biotopzieltypen von Fluß- und Auenlandschaften sinnvoll sein. Entsprechende Vorschläge sind in nächster Zeit aus einem derzeit noch in Bearbeitung befindlichen Forschungsvorhaben des BfN zu erwarten.²³

²³ AG Bosch & Partner, ARSU, Prof. Wolf 1997: Ermittlung von Beurteilungskriterien für die Auswirkungen des Neu- und Ausbaus von Bundeswasserstraßen auf Natur und Landschaft. F+E- Vorhaben i.A. des BfN. unveröff. 2. Zwischenbericht.

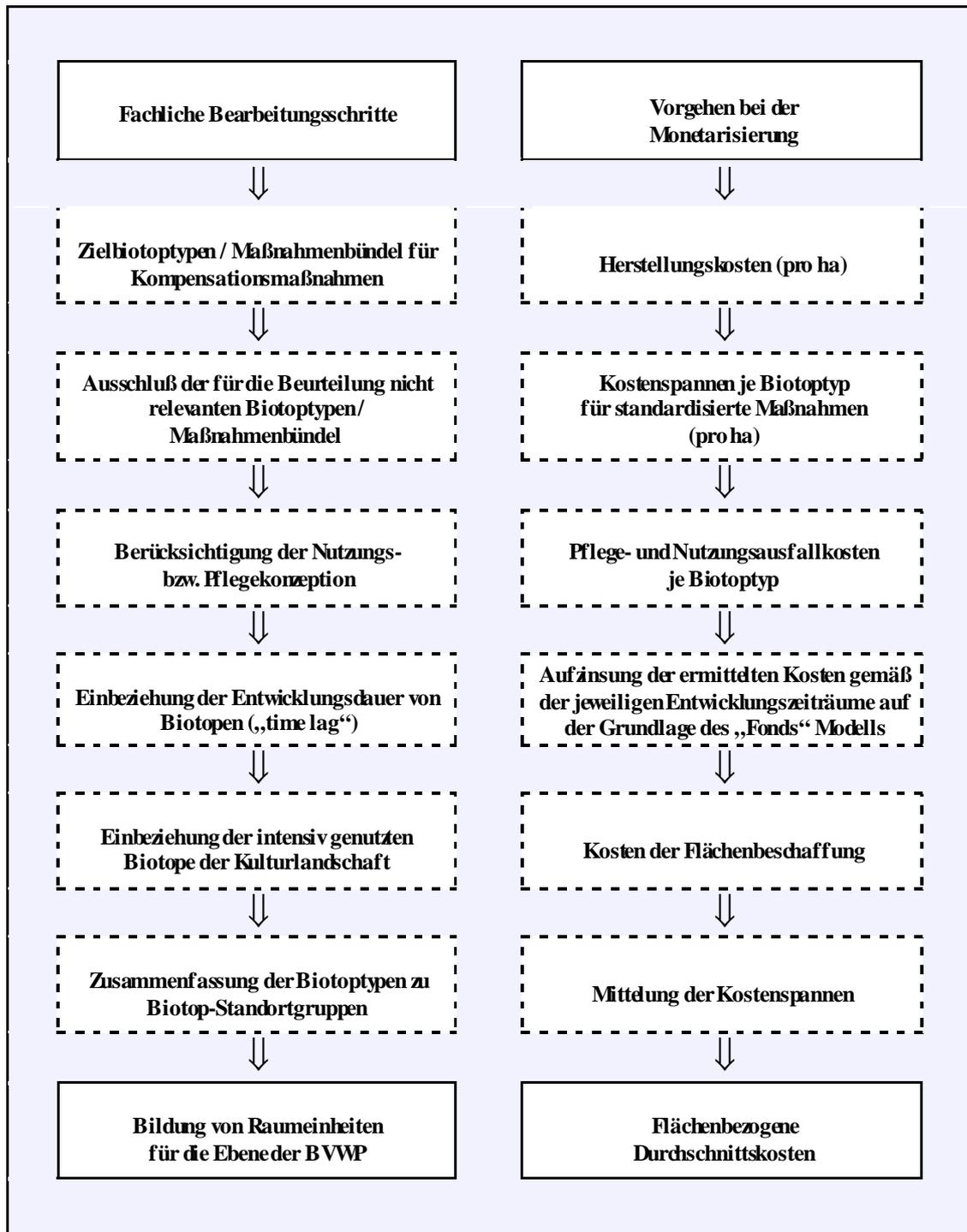


Abbildung 5-1: Umsetzung biotypbezogener Wiederherstellungskosten für eine monetäre Bewertung von Maßnahmen des BVWP

5.3.4 Entsiegelungskostenansatz

Dieser Ansatz leitet sich aus einer vom UBA (1997) als Konventionsentwurf aufgestellten Forderung her, nach der keine zusätzliche Flächenversiegelung durch Verkehrswege mehr zuzulassen ist. Für jeden Hektar durch neue Verkehrswege versiegelte Fläche wäre demnach eine entsprechende Fläche zu entsiegeln. Dies ist aus naturschutzfachlicher Sicht als eine Wiederherstellung von Grundfunktionen der abiotischen Schutzgüter, insbesondere aber der Filter-, Puffer- und Speicherfunktionen des Bodens anzusehen. Damit ergänzt die Anwendung dieser Konvention den schwerpunktmäßig auf das Schutzgut Arten und Biotope bezogenen Kompensationskostenansatz.

Anwendung für Straßen:

Ausgehend von der Größenordnung der vorgesehenen Versiegelung können einer neu zu bauenden Straße die Kosten für Entsiegelungsmaßnahmen relativ einfach zugeordnet werden. Dazu wird die Entsiegelung einer entsprechenden Straßenfläche inklusive der anfallenden Transport- und Deponiekosten zugrundegelegt.

Anwendung für Schienenwege:

Wenngleich durch den Unterbau der Trasse und die tragende Schotterdecke schwerwiegende Eingriffe in den Boden erfolgen, so ist dies doch nicht mit einer völligen Versiegelung gleichzusetzen. Soll eine Anwendung erfolgen, so kann für den Bereich des Fahrwegs ein prozentualer Wertverlust bestimmt werden. Dementsprechend wäre eine Quantifizierung der zu entsiegelnden Flächen möglich.

Anwendung für Wasserstraßen:

Vor dem Hintergrund der Vorhabenscharakteristik der Bundeswasserstraßen wird vorgeschlagen, den Entsiegelungskostenansatz allenfalls für den Neu- oder Ausbau von künstlichen Wasserstraßen für die durch an Böschungen, Nebenanlagen und Wegen erfolgende Versiegelung anzuwenden.

5.4 Operationalisierung der Wirkfaktoren der Verkehrswege

Straßen und Schienenwege

Flächenverbrauch und Versiegelung: Bei der Abschätzung dieser Flächen wird auf die Verkehrswegetypisierung zurückgegriffen, die auch im Rahmen der Modellrechnungen des Forschungsvorhabens einfließen. Dies sind beispielsweise für Straßen die in der EWS-97²⁴ dargestellten Straßentypen und Fahrbahnbreiten. Für eine größenordnungsmäßige Ermittlung des gesamten Flächenverbrauches spielen die Reliefverhältnisse zusammen mit systembedingen

²⁴ FGSV 1997 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Entwurf: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, „EWS“, Aktualisierung der RAS-W '86, Köln.

Trassierungsparametern eine entscheidende Rolle. Dieser Zusammenhang läßt sich über einen reliefabhängigen Zuschlag auf den Flächenbedarf abbilden.

Randliche Beeinträchtigungen: Ergänzend wird auf der Grundlage einer Literaturlauswertung²⁵ vorgeschlagen randliche Effekte als prozentuale Wertverluste bei Beeinträchtigung naturnaher Lebensräume zu berücksichtigen. Der Vorschlag berücksichtigt für Straßen die Prognose der künftigen Verkehrsbelastung und unterscheidet für Schienenwege Strecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr und herkömmliche Strecken.

Wasserstraßen

Neu- oder Ausbau von künstlichen Wasserstraßen (Kanäle): Bei Neu- oder Ausbau von Kanälen werden terrestrische Standorte in Anspruch genommen. Im Ergebnis entstehen die Wasserflächen des eigentlichen Schiffahrtsweges, technisch gestaltete Ufer und sonstige Nebenanlagen, sowie Böschungen und Einschnitte. Für Kanäle können die für Straßen und Schienenwege entwickelten Bausteine mit geringen Modifikationen Anwendung finden.

Aufgrund der spezifischen Eingriffscharakteristik muß die Ermittlung von Kompensationskosten modifiziert werden. Sowohl die Wasserflächen als auch Böschungen und damit bis auf die versiegelten Nebenanlagen alle Teile des Verkehrsweges entwickeln nach Fertigstellung wieder eine gewisse Funktion für Natur und Landschaft. Vielfach wird dadurch der Kompensationsbedarf vermindert werden. Soweit intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen betroffen sind, ist davon auszugehen, daß Böschungsbewuchs und Wasserflächen eine Aufwertung der Qualität für Natur und Landschaft mit sich bringen können.

Ausbau von Flußsystemen als Bundeswasserstraße: Maßnahmen mit lediglich lokalen Wirkungen sind von solchen zu unterscheiden, die zusätzlich großräumige Auswirkungen nach sich ziehen. Für die Beurteilung entscheidend sind die großräumigen Auswirkungen. Eine Grobdifferenzierung großräumiger Auswirkungen nach Intensität und Art der Auswirkungen ist möglich. Im Hinblick auf Art, Umfang und Lokalisierung der sich letztlich ergebenden lokalen Auswirkungen ist eine Verallgemeinerung problematisch, da die verursachenden Maßnahmen sich aus den spezifischen lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Flußsystems und deren Anpassung an Anforderungen des Binnenschiffahrtsweges ergeben.

Dies macht eine gegenüber den Verkehrsträgern Straße und Schiene detailliertere Bearbeitung erforderlich. Die Bewertung für die Fließgewässer muß stärker auf den Einzelfall abgestellt sein. Ein Konzept für die Anwendung der Bewertungsansätze für die betroffenen Bestandteile des Fluß-Aue-Systems und unterschiedliche Maßnahmetypen ist in Tabelle 5-2 dargestellt. Eine ausführliche Darstellung der Anwendungstests des Verfahrens findet sich im Anhang der Langfassung

²⁵ PÖU 1995: Richtwerte für Kompensationsmaßnahmen beim Bundesfernstraßenbau. Forschungsvorhaben i. A. d. BMV, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 714 1996. (Hrsg): Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau.

Tabelle 5-2: Anwendung der Bewertungsansätze auf verschiedene Vorhabentypen des Fließgewässerausbaus

Maßnahmentyp	Wirkraum	betroffene Bestandteile des Fließgewässer-Aue-Systems		
		Flußschlauch	Ufer	Aue
Sperwerke,	großräumig	<i>Definition von prioritären Umweltzielen; Ausschluß für bislang zusammenhängend unverbaute Gewässerabschnitte</i>		
Staufufen Staufufengruppen	lokal	Vermeidungskosten	Morphologie: Vermeidungskosten (Rückbau) Biotopstruktur: Kompensationskosten (Wiederherstellung)	Kompensationskosten (Biotope, Morphologie)
Strombaumaßnahmen	großräumig	<i>Definition von prioritären Umweltzielen zur Festlegung zulässiger Maßnahmen</i>		
Unterhaltungsmaßnahmen	lokal	ggf. Vermeidungskosten	Morphologie: Vermeidungskosten (Rückbau) Biotopstruktur: Kompensationskosten (Wiederherstellung)	Kompensationskosten (Biotope, Morphologie)

6 Inner- und außerörtliche Verkehrsanteile

Das vorläufige Endergebnis der Verkehrsprognose in den Maßnahmenzenarien sind die Netzbelastungen für Straße, Schiene und Wasserstraße. Für die hieraus abzuleitenden Folgewirkungen für den Umweltbereich ist eine zusätzliche Differenzierung der Netzmodelle nach innerorts/außerorts notwendig, weil innerorts auftretende Umweltbelastungen meist eine wesentlich größere Bedeutung für die Bewertung haben. Deshalb ist im Bewertungsverfahren für die Bundesverkehrswegeplanung beispielweise die getrennte Ermittlung der innerorts und außerorts von Lärmwirkungen betroffenen Einwohner vorgesehen. Die Schadenskostensätze liegen innerorts teilweise um den Faktor 5 höher.

Für die Untersuchung von Maßnahmenwirkungen im Rahmen der Maßnahmenzenarien ist eine detaillierte Aufnahme von inner- und außerörtlichen Streckenanteilen, möglichst mit zusätzlicher Differenzierung nach Art der Bebauung, sachgerecht.

Im Rahmen einer Literaturanalyse war die relevante Literatur zu folgenden Fragestellungen auszuwerten:

- Zweckmäßige Abgrenzung in innerörtliche und außerörtliche Verkehre,

- Datenlage hinsichtlich der Genauigkeit, Lückenlosigkeit, Übertragbarkeit auf andere Verkehrsträger und Standardisierungsgrad der vorgeschlagenen Typologien.

Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Vorschlag zur Wahl einer standardisierten Typologie, die den genannten Anforderungen entspricht.

6.1 Bestimmung von Inner- und Außerortsanteilen im Verkehr

Als geeigneter Ansatz zur Abgrenzung der Inner- und Außerortsanteile des Straßenverkehrs hat sich aus der Literaturanalyse der Vorschlag der EWS-97 herausgestellt.

Für die EWS-97 werden 6 Straßentypen mit 47 Untertypen gebildet. Für das laufende Forschungsvorhaben von Bedeutung sind die in der folgenden Tabelle 6-1 aufgeführten Typen.

Tabelle 6-1: Verzeichnis der Straßentypen (ST) in der EWS-97

Sraßentyp	Beschreibung
1	Planfreie Richtungsfahrbahnen, außerhalb bebauter Gebiete
2	Sonstige Außerortsstraßen
2.11	1 Fahrstreifen Fahrbahnbreite über 8m
2.12	1 Fahrstreifen Fahrbahnbreite über 7 bis 8 m
2.13	1 Fahrstreifen Fahrbahnbreite über 6 bis 7 m
2.14	1 Fahrstreifen Fahrbahnbreite unter 6m
3	Planfreie Richtungsfahrbahnen, innerhalb bebauter Gebiete (Stadt - autobahnen)
4	Vorfahrtsberechtigte Innerortsstraßen ohne Behinderung, plangleich
5	Vorfahrtsberechtigte Innerortsstraße mit Behinderungen durch Kno- tenpunktseinflüsse, ruhenden Verkehr, ÖV, plangleich
5.11	1 Fahrstreifen je Richtung, offene mehrgeschossige Bebauung
5.12	1 Fahrstreifen je Richtung, geschlossene Bebauung
5.13	1 Fahrstreifen je Richtung, Geschäftsstraße
6	Innerortsstraßen mit Behinderungen durch fehlende Vorfahrt, ruhen- den Verkehr (Erschließungsstraßen)
6.01	offene Bebauung, bauliche Geschwindigkeitsbegrenzung
6.02	geschlossene Bebauung, bauliche Geschwindigkeitsbegrenzung
6.03	verkehrsberuhigter Bereich
6.11	offene Bebauung

6.12	geschlossene Bebauung
------	-----------------------

Aus den in der Tabelle 6-1 dargestellten Straßentypen nach der EWS-97 ergeben sich 15 Straßentypen mit unmittelbarem Bezug zum Forschungsvorhaben. In den Straßentypen der Klasse 2 werden die Außerortsstraßen nach Fahrbahnbreiten differenziert, was für die Berechnung der Trennwirkung von einiger Bedeutung ist. Bei den Straßentypklassen 5 und 6 wird auf die angrenzende Bebauung abgehoben. Bei den Straßentypen 6.01 - 6.03 werden zusätzlich Maßnahmen zur Geschwindigkeitsreduktion einbezogen. Vor der Verwendung der Straßentypen nach der EWS-97 ist allerdings zu prüfen, inwieweit die Daten flächendeckend standardisiert vorliegen. Aufgrund des hohen Standardisierungsgrades ist es - zumindest näherungsweise - möglich, die Innerortsstraßen weiter zu differenzieren. Allerdings ist eine Netzattributierung nach Straßentypen unumgänglich.

Als Ergebnis ausgewerteter Veröffentlichungen im Hinblick auf die empirische Aufteilung der Fahrleistungen auf Inner- und Außerortsstraßen ist festzuhalten, daß im Personenverkehr rund 63 % der Fahrleistung außerorts und entsprechend 37 % innerorts erbracht werden. Demgegenüber wird die Fahrleistung im Güterverkehr zu mehr als drei Vierteln (78 %) auf Außerortsstraßen abgewickelt. Der Güterverkehr mit Fahrzeugen über 2,8 t (mit Anhänger) und von Sattelzügen spielt sich sogar zu 86 bzw. 91 % auf Außerortsstraßen ab.

Im Straßengüterverkehr liegen die Verflechtungsmatrizen aus den Maßnahmenprognosen jeweils differenziert nach gewerblichem bzw. Werknah- und -fernverkehr vor. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Innerorts- bzw. Außerortsanteile entsprechend diesen Kategorien zu untergliedern. In diesem Zusammenhang kann auf empirisch ermittelte Anteile zurückgegriffen werden. Es folgt, daß der Außerortsanteil im Fernverkehr über 95%, derjenige im Nahverkehr immerhin noch zwischen 75 und rund 80 % liegt.²⁶

Im Gegensatz zum Straßenverkehr liegen für den Eisenbahn- und Binnenschiffsverkehr flächendeckend keine standardisierten Inner- /Außerortsanteile vor. Bei den Fachgesprächen mit der DB-AG wurde dargestellt, daß sich ein Näherungswert für den Innerortsverkehrsanteil nach folgender Überlegung ergibt: Im Durchschnitt beträgt der Abstand zwischen bebauten Gebieten in Deutschland 5 km. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß auch im Ballungszentrum Grünflächen die geschlossene Bebauung unterbrechen, beträgt die durchschnittliche Knotenlänge der Bahnstrecken innerhalb der geschlossenen Bebauung 1 km. Hieraus ergibt sich ein Innerortsanteil von 20 %.

Sehr viel differenzierter lassen sich - allerdings nur für die Hauptabfuhrstrecken und einige wenige Nebenfernstrecken - Inner- und Außerortsanteile aus einer Untersuchung im Auftrag des Bundesbahnzentralamtes München ableiten. Die Streckenabschnitte mit einem Schallpegel von mindestens 65 dB(A), der Lärmschutzmaßnahmen erfordert, wurden in der Untersuchung

²⁶ Heusch/Boesefeldt 1995: Nutzfahrzeug - Jahresfahrleistungen 1990 (1986) auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland. In: Internationales Verkehrswesen, Band 47, Heft 3, S. 93 - 99.

bundesweit aufgenommen. Allerdings sind in dieser Datei die Nebenstrecken und die meisten Nebenfernstrecken nicht enthalten. Außerdem sind Innerortsteile, die mehr als 100 m von der Bahnstrecke entfernt liegen, nicht enthalten. Dennoch eignen sich diese Daten als Basis für eine Innerorts-/Außerorts-Netzattributierung, die noch durch die fehlenden Strecken ergänzt werden muß.

7 Behandlung von Langfristrisiken

Bei der Bewertung von Umweltwirkungen können aufgrund von Langfristrisiken Unsicherheiten auftreten, die aus drei Quellen entstehen: Die Emissionsmengen die kritischen Konzentrationen / Belastungen und die Informationen über Schadwirkungen können unsicher sein. Für den Fall, daß sich die Quellen der Unsicherheit nicht eingrenzen lassen (Fall der "echten" *Unsicherheit*) ist die Anwendung eines strikten Vorsorgeprinzips zur Risikovermeidung begründet. Dies wird durch die Fixierung von Umweltqualitätszielen und Maßnahmen zu deren Einhaltung umgesetzt, ist also im ökonomisch/ökologischen Ansatz dieser Untersuchung erfaßt.

Eine *Risikosituation* ist dagegen dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Eintreten der Umweltreaktionen bekannt oder zumindest näherungsweise abschätzbar ist. Als sinnvolle Entscheidungsregel für einen solchen Fall gilt das Erwartungswert/Varianz - Prinzip, das besagt, daß dem Erwartungswert einer Wirkung noch ein Teil der Varianz (Schwankungsbreite) hinzugefügt wird. Technisch läßt sich dieser Ansatz durch Risikozuschläge auf die im direkten Ansatz ermittelten Umweltkosten umsetzen. Häufig sind keine quantitativen Grundlagen für eine Risikoabschätzung im Sinne einer versicherungsmathematischen Behandlung gegeben. Daher wird empfohlen, auch die Risikosituation mit Hilfe des Vorsorgeprinzips zu behandeln. Dies geschieht in dieser Untersuchung durch die Sicherung von „safe minimum standards“ mittels eines geeigneten Maßnahmenprogrammes, so daß die Wahrscheinlichkeiten für den Schadenseintritt minimiert werden.

Bei Langfristwirkungen stellt sich die Frage, inwieweit die künftig eintretenden Erwartungswerte der Kosten mit Hilfe eines *sozialen Diskonts* auf den Gegenwartszeitpunkt zu diskontieren sind. Anschauungsbeispiele für die Wirkung einer solchen Vorgehensweise liefern angelsächsische Untersuchungen zu den Klimaeffekten. Werden die in hundert Jahren möglichen Schäden mit Hilfe eines Diskonts abgezinst, so wird deren Gegenwartswert niedrig ausfallen.

Die Höhe des sozialen Diskonts ist von ethischen Einstellungen der Gesellschaft abhängig, wie

- der Vorliebe der Gegenwartsgeneration für den *Gegenwartskonsum* (rate of impatience),
- der Bereitschaft der Gegenwartsgeneration, *auf Kosten der Zukunftsgenerationen* zu leben (rate of rapacity) und
- der Vorliebe der heutigen und künftigen Generationen für den *Erhalt von Umweltressourcen* (environmental preference).

Sind die beiden erstgenannten Faktoren niedrig und der dritte Faktor hoch, so nimmt der soziale Diskont einen sehr niedrigen Wert, weit unterhalb des Kapitalmarktzinsfußes, an. Wenn die Gegenwartsgeneration aus Altruismus oder Empathie gegenüber künftigen Generationen prioritär an einer nachhaltigen Entwicklung interessiert ist, so verbietet sich ein sozialer Diskont für Umweltkosten künftiger Generationen ganz. In der Bundesverkehrswegeplanung müßten die Umweltkosten und- nutzen entsprechend von der Diskontierung ausgenommen werden.

8 Ergebniszusammenfassung und Beurteilung der direkten Methode

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ozon als bodennaher Schadstoff

Die Vorhersage von Ozonkonzentrationen ist nur mit sehr komplexen Ausbreitungsmodellen möglich. Auch die Zuordnung der Schäden durch hohe Ozonwerte zu den Vorläufersubstanzen ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Daher wird ein Verfahren angewendet, bei dem die Schäden durch Ozon auf Grundlage vereinfachter Ozonmodellierungen mit Hilfe von Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Gesundheitsschäden sowie Pflanzenschäden ermittelt werden. Diese Schäden werden mit spezifischen Kostensätzen verknüpft und den Vorläufersubstanzen zugerechnet. Die so berechneten Kosten betragen für NO_x und Kohlenwasserstoffe je 320 DM/t Schadstoff im Jahre 1990. Im Jahre 2010 ergeben sich bei niedrigerem Schadensniveau ein Kostensatz von 406 DM/t NO_x und von 526 DM/t Kohlenwasserstoffe.

Kanzerogene Stoffe

Für den Verkehr relevante kanzerogene Stoffe sind Benzol, Dieseldrußpartikel sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Basierend auf dem Unit-Risk-Ansatz beträgt die Anzahl der Todesfälle aufgrund der Luftbelastung mit krebserzeugenden Stoffen in den alten Bundesländern 640 Krebstote. Dies entspricht nach PLANCO²⁷ einem jährlichen gesamtwirtschaftlichen Schaden von 900 Mio. DM. Nach den Abschätzungen in dieser Studie führen die kanzerogenen Belastungen aus dem Verkehr zu 554 Krebsfällen pro Jahr. Bei Ansatz des gleichen Kostensatzes von 1,4 Mio. DM pro Todesfall resultiert daraus ein jährlicher Schadenswert von 780 Mio. DM. Werden diese Kosten auf die Vorläufersubstanzen bezogen, so ergibt sich ein spezifischer Schadenswert von 6.500 DM/t innerorts emittierten Benzol und 65.000 DM/t innerorts emittiertem Dieselpartikel (110.000 DM/t Dieseldruß).

²⁷ PLANCO 1995, a.a.O.

Zusätzlicher Treibhauseffekt

Durch den Anstieg der Konzentration verschiedener Treibhausgase wird eine über den natürlichen Treibhauseffekt hinausgehende zusätzliche Erwärmung mit erheblichen Auswirkungen auf die Lebens- und Überlebensbedingungen von Mensch, Tier und Vegetation erwartet. Die Höhe der in verschiedenen Studien ermittelten Schadenskosten kann wegen der großen Unsicherheiten bei den Schadenswirkungen sowie dem angesetzten Diskontsatz um mehrere Größenordnungen variieren. Aus diesem Grunde wird vorgeschlagen einen Kostensatz von 400 DM/t CO₂ einzusetzen, der auf Grundlage einer Vermeidungsstrategie für eine empfohlene langfristige Reduktion der Klimagase um 80% ermittelt wurde.

Lärm außerhalb von Wohnungen

Basierend auf dem Zahlungsbereitschaftsansatz lassen sich aus INFRAS/IWW²⁸ verkehrsleistungsbezogene Kostensätze nach Verkehrsträgern und Fahrzeugarten ermitteln. Die eigentliche Lärmbewertung erfolgt risterelementbezogen. Hierbei wird jedes Raster hinsichtlich der Nutzungsarten Wohnumfeld, funktionelle Nutzung und naturnahe Erholung in spezifische Lärm-Raumtypen klassifiziert. Den nutzungsspezifischen Raumtypen wiederum sind Betroffenheitswerte und Zielpegel zugeordnet. Über die Multiplikation der oben genannten Durchschnittskostensätze mit den Betroffenheitswerten und den Verkehrsleistungen innerhalb eines Rasters lassen sich nun die verkehrsleistungsbezogenen Kosten bzw. die Lärmkosten je Risterelement pro Jahr und Raumtyp bestimmen.

Natur und Landschaft

Bei der Erweiterung des bisherigen Ansatzes der Bundesverkehrswegeplanung liegt der Schwerpunkt in der zusätzlichen Einbeziehung von Beeinträchtigungen bestimmter Aspekte von Natur und Landschaft in die Kosten-Nutzen-Analyse. Die monetäre Bewertung von Natur und Landschaft für die Entscheidungsebene des BVWP muß gesellschaftlich fixierte Konventionen über den wünschenswerten Zustand von Natur und Landschaft zum Ausgangspunkt haben. Aus dieser zentralen Forderung lassen sich drei sich ergänzende Umweltziele ableiten:

1. Vermeidungskostenansatz

Eine monetäre Quantifizierung der Vermeidung von Beeinträchtigungen besonders wertvoller Bereiche kann auf der Basis von Kosten für Maßnahmenalternativen oder -varianten bzw. Mehrkosten für technische Vermeidungs- bzw. Minimierungsmaßnahmen erfolgen.

²⁸ INFRAS/ IWW 1995, a.a.O.

2. *Kompensationskostenansatz*

Umsetzung der Forderung nach Ausgleich bzw. Ersatz für Gegebenheiten und Funktionen, die durch Flächenbeanspruchung beim Bau von Verkehrswegen verloren gehen. Diese Kompensation führt zu folgenden Kosten:

1. Kosten für die Flächenbeschaffung / den Flächenankauf
2. Kosten der Erstinstandsetzung einer Fläche spezifisch nach Biotoptypen
3. Kosten für erforderliche Pflegemaßnahmen
4. Kosten des zeitlich befristeten Funktionsverlustes

3. *Entsiegelungskostenansatz*

Die Forderung, künftig keine zusätzlichen Flächen durch den Verkehrswegebau zu versiegeln.

8.2 Beurteilung

Im bisherigen Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung wird angestrebt, die externen Effekte aus der Umweltbeeinflussung möglichst weitgehend in direkter Weise zu bewerten. Dies bedeutet, daß Schadenskostenansätze, kontingente Bewertungen oder Marktsimulationen zur Ermittlung der Kostenwerte eingesetzt werden. Diese Vorgehensweise stößt dann an Grenzen, wenn die konstitutiven Bedingungen des neoklassischen Wohlfahrtsansatzes nicht gegeben sind (insbesondere die Substitutions- und die Markthypothese) und wenn die Information über die Wirkungsmechanismen und Schadenshöhen so unvollständig ist, daß keine Mengengröße für eine direkte monetäre Bewertung gebildet werden kann.

Die Diskussion über die Erweiterung monetärer Bewertungen von Umweltwirkungen in der Kosten-Nutzen-Analyse hat ergeben, daß es in einigen Fällen möglich und auch notwendig ist, die Bewertungsansätze der Bundesverkehrswegeplanung zu aktualisieren. Zum zweiten ist gezeigt worden, daß die Liste der in der Bundesverkehrswegeplanung bewerteten Umwelteffekte unvollständig ist und erweitert werden muß. Ein Teil dieser Effekte läßt sich mit Hilfe direkter Bewertungsansätze quantifizieren, solange die o.g. Voraussetzungen gegeben sind. Bei den Klimaeffekten sowie bei der Bewertung von Einflüssen auf Natur und Landschaft ist die Anwendbarkeit der direkten Bewertungsverfahren jedoch wegen der beschränkten Information über Wirkungsketten und mögliche Schäden sehr beschränkt. Aus diesem Grunde basieren die für die letztgenannten Effekte vorgeschlagenen Bewertungsansätze bereits auf indirekten Bewertungen wie Vermeidungskosten oder Kompensationskosten.

Für die meisten Umwelteffekte gilt, daß sie bei geringen Intensitäten bzw. Konzentrationen als nutzenmindernde Lästigkeiten empfunden werden, die sich prinzipiell mit wirtschaftlichen Gütern vergleichen und auf dieser Grundlage bewerten lassen. Von bestimmten Größenordnungen an, die durch Umweltqualitätsziele reflektiert werden, treten Risiken für die menschliche Gesundheit bzw. das Leben oder für den Fortbestand von Naturräumen auf, die aus ethischen und

gesellschaftlichen Gründen begrenzt werden müssen. Stößt die Umweltbeeinflussung durch den Verkehr an solche Zielwerte, so ist eine direkte Bewertung von Schäden oder Zahlungsbereitschaften nicht mehr sinnvoll. Denn trotz einer Anlastung der entsprechenden Kosten werden die Zielwerte entweder über- oder unterschritten. Im Falle der Zielwertüberschreitung sind die Kosten offenbar zu niedrig bemessen; sie reichen nicht aus, um die notwendige Änderung der Verhaltensweisen zu stimulieren. Im Falle der Zielwertunterschreitung sind die Kosten zu hoch und es wäre ausreichend, mit niedrigeren Kostenanlastungen das gewünschte Verhalten herbeizuführen. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, die direkte Bewertungsmethode um einen Ansatz zu ergänzen, der im Falle expliziter Zielwertvorgaben geeignet ist, bei einer Umsetzung in Preise die Verhaltensweisen so zu beeinflussen, daß eine Überschreitung der Zielwerte vermieden wird.

9 Grundlagen der Bewertung von Umweltwirkungen auf der Basis von Opportunitätskosten

9.1 Zielsetzung und Methodik des Verfahrens

Ein wesentliches Ziel dieses Forschungsvorhabens besteht darin, ein Verfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, die Umweltwirkungen von Verkehrsprojekten verkehrsträgerübergreifend und gesamtnetzbezogen abzuschätzen, um eine sorgfältige Abwägung mit den übrigen Zielen der Verkehrspolitik zu ermöglichen. Um Planungen möglichst frühzeitig modifizieren oder Ergänzungs- bzw. Ausgleichsmaßnahmen in die Bewertung einschließen zu können, ist es aus Sicht der Umweltpolitik wünschenswert, Unverträglichkeiten mit umweltpolitischen Zielen möglichst frühzeitig zu identifizieren. Dazu dient der in Abbildung 9-1 dargestellte Untersuchungsablauf. Ausgangspunkt des Verfahrens sind umweltpolitische Zielvorstellungen bezogen auf als kritisch erachtete Umwelteffekte. Ausgehend von den Umweltzielen und einem angestrebten Infrastrukturangebot werden Maßnahmenzenarien entwickelt, mit denen sichergestellt werden soll, daß die Umweltziele in Zukunft eingehalten werden. Nach der Definition der Szenarien gehen diese in eine verkehrsträgerübergreifende Systemprognose und eine Prognose der globalen, regionalen und lokalen Umweltwirkungen ein. Auf Basis von deren Ergebnissen wird beurteilt, ob mit dem Maßnahmenzenario die Umweltziele erreicht werden oder ob diese modifiziert und erneut beurteilt werden müssen. Falls mehrere Maßnahmenzenarien das Gültigkeitskriterium erfüllen, kann über eine Bewertung der wirtschaftlichen Konsequenzen das ökonomisch effizienteste Szenario abgeleitet werden. Dieses dient dann der Bestimmung der Opportunitätskosten.

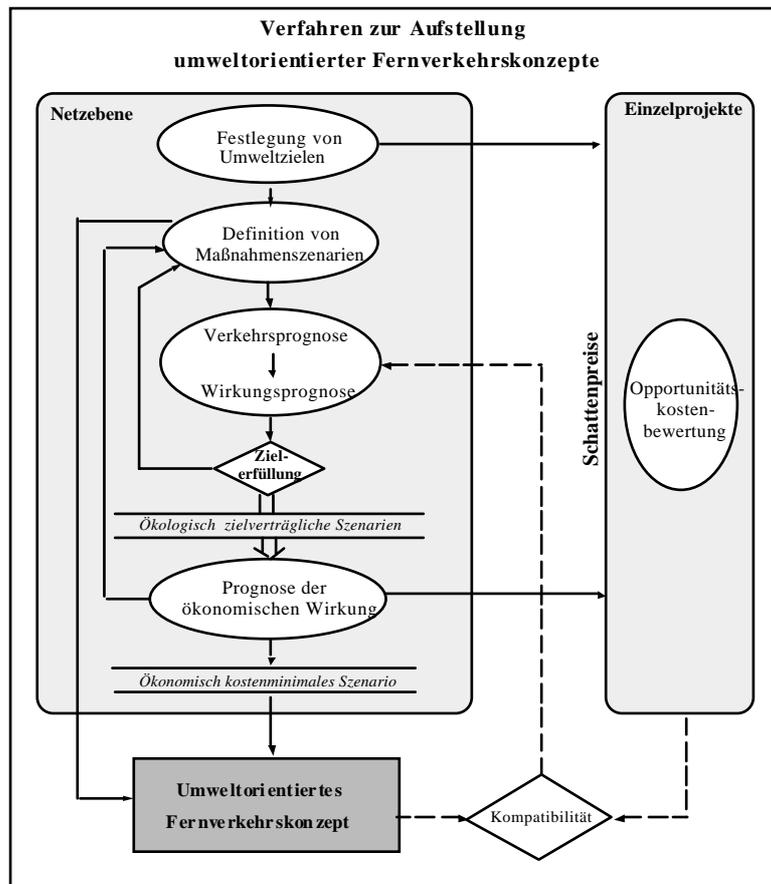


Abbildung 9-1: Verfahren zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte auf der Basis von Opportunitätskosten

9.2 Grundlagen des Opportunitätskostenansatzes

Umwelteffekte zählt man zu den externen Effekten, die durch folgende Merkmale charakterisiert sind:

- Einflüsse von Wirtschaftsaktivitäten auf unbeteiligte Dritte,
- die nicht durch den Marktmechanismus kompensiert werden und
- die dynamische Markteffizienz in relevanter Weise beeinträchtigen.

Solche Effekte, die außerhalb des Marktes ablaufen, können nicht mit Hilfe von Marktpreisen bewertet werden. Tabelle 9-1 enthält eine Reihe von Möglichkeiten, Ersatzmaßstäbe für fehlende Marktpreise zu entwickeln.

Tabelle 9-1: Bewertungsansätze für Externalitäten²⁹

	Indirekte Bewertung		Direkte Bewertung
	Marktsphäre	politische Sphäre	
Ausgang: Gleichgewicht	Komplementärkostenansatz Ausweichkostenansatz Vermeidungskostenansatz Opportunitätskostenansatz	Medianwähleransatz	Schadensansatz Kontingente Bewertung Marktsimulation Hedonischer Ansatz
Ausgang: Ungleichgewicht	Wanderungsanalyse	Analyse von Referendenergebnissen	

Die Grundlagen des Opportunitätskostenansatzes werden nachfolgend beschrieben. Zur Abgrenzung des Begriffes „Kosten“ existieren in der Betriebswirtschaftslehre zwei Richtungen: Die erste Richtung die *pagatorische Kostentheorie*, geht davon aus, daß Kosten grundsätzlich mit Zahlungsvorgängen verknüpft sind. Im Sinne der *wertmäßigen Kostentheorie* sind Kosten periodisierter und bewerteter Verzehr an Ressourcen. Beim Verzehr von Umweltressourcen, die nicht mit Marktpreisen belegt sind, treten Zahlungsvorgänge dann auf wenn Vermeidungstechnologien zur Ressourcenschonung eingesetzt werden (z.B. der Einsatz von Katalysatoren in Pkw). Diese stellen demnach pagatorische Kosten der Umwelt dar. Weitere, nicht direkt mit Zahlungen verbundene Kosten treten auf, wenn durch Verschärfung von Umweltzielen weniger Ressourcen zur Verfügung stehen und auf Wirtschaftsaktivitäten verzichtet werden muß. Diese ökonomischen Einbußen werden als Opportunitätskosten bezeichnet. Die wertmäßigen Kosten ergeben sich so aus der Beziehung

$$\text{wertmäßige Kosten} = \text{pagatorische Kosten} + \text{Opportunitätskosten}^{30}$$

Die wertmäßigen Kosten sind eng an Zielen und Restriktionen orientiert. Es gibt dementsprechend keine objektiv richtigen Kostenwerte (*Unmöglichkeitstheorem der Kostentheorie*), sondern nur Kosten, die mit dem Zielsystem zusammenpassen. In der praktischen betrieblichen Kostenrechnung versucht man, dieses Zielproblem der Kostenbewertung durch standardisierte Vorgehensweisen und Konventionen (Beispiel: Abschreibungen, kalkulatorische Zinsen) zu behandeln und gelangt so auf direkte Weise zu pragmatischen Wertansätzen.

Bei der ökonomischen Bewertung von Umwelteffekten hat man in der Regel Analogien zur betrieblichen Praxis der Kostenbewertung gesucht, was zu einer *direkten Bewertung* unter Umgehung der Prüfung von Zielen und Restriktionen führte. Die Kritik an der großen Bandbreite der Ergebnisse solcher direkter Bewertungsansätze im Umweltbereich zeigt aber, daß es

²⁹ Pommerehne, W. und Römer, A. U. 1992: Ansätze zur Erfassung der Präferenzen für öffentliche Güter. Ein Überblick. Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Band 43, S. 171-210.

³⁰ Adam, D. 1970: Entscheidungsorientierte Kostenbewertung, Wiesbaden.

angebracht ist, auch den *originären Ansatz der wertmäßigen Kosten* aufzugreifen, um diesen später mit der pragmatischen direkten Methode zu verknüpfen.

Die Opportunitätskostenmethode zur Bewertung von Umweltwirkungen im Verkehr geht in Form eines *Backcasting-Ansatzes* vor. Ausgangspunkt sind vorgegebene Umweltqualitätsziele. Basierend auf diesen Zielen werden Maßnahmenzenarien entwickelt, welche die gesteckten Ziele einhalten. Aus mehreren dieser gültigen Maßnahmenzenarien wird das ökonomisch effizienteste Maßnahmenzenario abgeleitet, welches das vorgegebene Umweltzielsystem erfüllt und eine monetär definierte Wohlfahrtsfunktion (hier: Einsparung an Zeit- und Betriebskosten) maximiert. Dieses bietet gleichzeitig die Möglichkeit, die ökonomischen Werte der Einzelziele, die *Opportunitätskosten*, aus dem optimalen Maßnahmenprogramm zu bestimmen. Diese ergeben sich als Nutzenverlust, der entsteht, wenn ein Umweltqualitätsziel um eine Einheit verschärft wird.

Zentrales Problem bei der Anwendung des Opportunitätskostenansatzes ist die Bestimmung der anzusetzenden Umweltqualitätsziele und deren Operationalisierung. Von diesen hängt nicht nur das optimale Maßnahmenprogramm, sondern auch die Höhe der ermittelten Opportunitätskosten ab. Ökonomisch gesehen steht jeder Ressourcenbeschränkung ein wirtschaftlicher Nutzenverlust gegenüber. Ist ein Umweltstandard zu restriktiv gesetzt, kann dies bedeuten, daß der entstehende Nutzenverlust den Schaden, der beim Überschreiten des Standards auftreten würde, deutlich überschreitet. Auf der anderen Seite kann ein zu großzügig ausgelegtes Umweltziel dazu führen, daß Ressourcen ausgeschöpft werden und irreversible Schäden entstehen, deren Kosten für die Gesellschaft nicht mehr bezifferbar sind.

Eine Bewertung der Umwelteffekte mit Opportunitätskosten hat den Vorteil, daß die entstehenden Kostenwerte kompatibel mit den Standards der Umweltqualitätsziele sind. Nachteilig ist, daß die Opportunitätskosten unterhalb dieser Standards zu Null werden und somit das dann noch vorhandene Restrisiko nicht berücksichtigt wird. Aus diesem Grund werden in dem hier entwickelten Bewertungsmodell die direkten und indirekten Ansätze verknüpft: unterhalb der fixierten Standards soll entsprechend erwarteter Schäden oder Zahlungsbereitschaften bewertet werden, während bei Erreichen bzw. Überschreiten der Standards der Opportunitätskostenansatz zum Einsatz kommt.

10 Umweltziele

Als Grundlage für die Durchführung des Backcasting-Ansatzes werden die Umweltwirkungen, die in verschiedenen Szenarien aus dem Verkehr resultieren, den angestrebten Umweltzielen gegenübergestellt und damit der Grad der Zielerreichung festgestellt. Dabei sollten sich die Umweltziele am Leitbild einer *nachhaltigen/zukunftsfähigen Entwicklung*³¹ orientieren.

³¹ Die vier Handlungsgrundsätze für eine nachhaltige Entwicklung lauten:

1: Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll ihre Regenerationsrate nicht überschreiten.

Voraussetzung für die Umsetzung des Leitbildes sind z.B. konkrete Vorstellungen über die zu erhaltende bzw. zu erreichende Umweltqualität. Zur Charakterisierung dieser angestrebten Umweltqualität wurden vom Umweltbundesamt Umweltqualitäts- und Umwelthandlungsziele aufgestellt, die Schritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung darstellen. Dabei charakterisieren die objekt- bzw. medienbezogenen *Umweltqualitätsziele* einen angestrebten Zustand der Umwelt unter Berücksichtigung des naturwissenschaftlichen Kenntnisstands und gesellschaftlicher Wertungen. *Umwelthandlungsziele* geben die Schritte an, die notwendig sind, um die in den Umweltqualitätszielen beschriebenen Zustände zu erreichen. Umwelthandlungsziele werden möglichst verursachernah aufgestellt und sollten am besten durch Messungen überprüfbar sein.³²

Im folgenden werden die für dieses Projekt wichtigsten Umwelthandlungsziele des Umweltbundesamtes und anschließend die auf den Bezugszeitraum und Bezugsraum in diesem Projekt angepaßten Ziele abgeleitet. Die Modellierungen der Umweltwirkungen in diesem Projekt werden entsprechend durchgeführt, um die Erreichung der angestrebten Umweltziele überprüfen zu können.

10.1 Umwelthandlungsziele des Umweltbundesamtes

Das Umweltbundesamt hat in einem Konzept für eine dauerhaft umweltverträgliche Verkehrsentwicklung in Deutschland,³³ Umwelthandlungs- und Umweltqualitätsziele für den Verkehrsbereich abgeleitet. Diese dienen als Grundlage der Ableitung der Ziele in diesem Projekt. Sie werden im folgenden dargestellt und für die Anwendung im vorliegenden Projekt untersucht sowie erweitert oder ergänzt. Als wichtige Umweltwirkungskategorien, in denen der Verkehr einen relevanten Anteil an den Umweltwirkungen hat, werden vom Umweltbundesamt die Bereiche

- Klimaschutz,
- Gesundheit (kanzerogene Luftschadstoffe, Sommersmog, Lärmschutz)

2: Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.

3: Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion.

4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muß im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen. (ENQUETE 1994).

³² Enquête 1997: Konzept Nachhaltigkeit. Fundamente für die Gesellschaft von morgen. Zwischenbericht der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages, Bonn.

UBA 1997b Umweltbundesamt: Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung, Berlin.

³³ UBA 1997d, a.a.O.

UBA 1998 Umweltbundesamt (Hrsg.): F+E-Vorhaben Nr. 29896108, „Strategien und Maßnahmen für eine dauerhaft umweltgerechte Verkehrsentwicklung“, Berlin.

- Wald-, Boden- und Gewässerschutz
- Ressourcenschonung
- Natur und Landschaft
- Wohnumfeldverbesserungen/Stadtverträglichkeit

angesehen. Eine Zusammenstellung der für die Bundesverkehrswegeplanung wichtigsten Vorschläge des UBA wird in Tabelle 10-1 dargestellt. In diesem Projekt werden aus den Zielen des Umweltbundesamtes diejenigen ausgewählt, die sich auf der angestrebten Netz- und Projektebene modellieren lassen. Eine Ableitung der verwendeten konkreten Ziele ist im nächsten Kapitel dargestellt.

Tabelle 10-1: Vorschlag des Umweltbundesamtes für verkehrsbezogene Umweltschutzziele (Ausschnitt)

Schutzgut/-Zweck	Umweltschutzziel	von	bis
Klima CO ₂	-25% der verkehrsbedingten CO ₂ -Emissionen	1990	2005
Gesundheit: kanzerogene Luftschadstoffe	-90% der Benzol, PAH- und Dieselausgasemissionen -99% der Benzol-, PAH und Dieselausgasemissionen	1988	2005 2010
Gesundheit (Sommersmog), Wald-, Boden- und Gewässerschutz	-80% der NO _x und VOC-Emissionen -40% der NO _x und VOC-Emissionen (Ozonalarm)	1987	2005 sofort
Gesundheit Lärmschutz	1. Abbau von Belastungen auf ≤ 65 dB(A) tags („Schutz der Gesundheit“) 2. Reduzierung der Belastung auf ≤ 59 dB(A) T./ 49 dB(A) N. (Wohngebiete) 3. Reduzierung der Belastung auf 50 dB(A) T./ 40 dB(A) N. (Wohngebiete)	sofort	2000 2010 2030
Natur und Landschaft	a) Umsetzung des UMK-Handlungskonzeptes „Naturschutz und Verkehr“, z.B. Erhalt unzerschnittener verkehrsarmer Räume, Erhalt und Entwicklung von Naturvorrangflächen, Schutz von ökologischen Freiraumfunktionen b). In wertvollen Landschaftsräumen kein weiterer Neu- und Ausbau von Straßen, kein Neubau von Schienenwegen und Wasserstraßen c) Mit nächstem Bundesverkehrswegeplan keine Erweiterung des Fernstraßennetzes (Beschränkung auf Ausbau, Neubau nur in Ausnahmefällen bei gleichzeitigem Rückbau an anderer Stelle) d) Übernahme des Prinzips „Ausgleich von Neubau durch Rückbau“ in die Verkehrsentwicklungs- und Raumordnungspläne	sofort sofort 1998 sofort	
Wohnumfeldverbesserung/Stadtverträglichkeit	a) Minderung des Lebenszeitrisikos, durch einen Verkehrsunfall innerorts als Fußgänger oder Radfahrer getötet (auf 1:2.500) oder schwer verletzt (auf 1:125) zu werden. b) Wartezeiten für querende Fußgänger sollen an Strecken 30 sek und an Knoten 40 sek nicht überschreiten. c) Fahrbahn plus Parkstreifen dürfen nicht mehr als 50% der Straßenbreite einnehmen;		2005 2005 2020
Quelle: UBA 1997d, Umweltbundesamt (Hrsg): Abteilung Umwelt und Verkehr „Maßnahmenplan Umwelt und Verkehr - Ein Konzept für eine nachhaltig umweltverträgliche Verkehrsentwicklung (Environmentally Sustainable Transport) in der Bundesrepublik Deutschland. Berlin. UBA 1997b, Umweltbundesamt: Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. Berlin. Erich Schmidt 1997			

10.2 Umweltziele als Grundlage des Backcasting-Ansatzes

Der Zeithorizont für dieses Vorhaben weicht von den Vorschlägen des UBA ab. Deshalb müssen die Umwelthandlungsziele auf den Zeithorizont 1992 - 2010 angepaßt werden. Weitere Anpassungen z.B. für Kanzerogene sind erforderlich, um regionale Gegebenheiten wie die Vorbelastung zu berücksichtigen. Im folgenden wird dargestellt, welche Ziele des Umweltbundesamtes in diesem Projekt zugrunde gelegt werden und wie diese operationalisiert sind.

Klima:

Zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau, das eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems vermeidet und den Ökosystemen ausreichend Zeit für eine natürliche Anpassung an Klimaänderungen läßt, wird von verschiedenen Seiten eine starke Minderung der CO₂-Emissionen gefordert.

Das Umweltbundesamt legt das Minderungsziel der Bundesregierung - welches alle Emittenten betrifft - zugrunde und schlägt vor, daß der Verkehr im gleichen Maße zur Minderung beitragen soll (25% zwischen 1990 und 2005). Dieses Ziel gilt für Deutschland ohne regionale Differenzierung, weil die CO₂-Emissionen global wirken. Da der Verkehr auch für Emissionen bei der Kraftstoff- bzw. Stromherstellung verantwortlich ist, werden diese Emissionen ebenfalls berücksichtigt. Die verschiedenen Bezugsjahre sowie die Emissionssteigerung zwischen 1990 und 1992 erforderten eine Anpassung des Minderungsziels für dieses Projekt:

Ziel: Verminderung der durch den Verkehr emittierten CO₂-Emissionen um 30% zwischen dem Jahr 1992 und 2010.

Gesundheit

Kanzerogene Luftschadstoffe: Der Verkehr trägt nach Angaben des LAI (Länderausschuß für Immissionsschutz) mit den Stoffen Dieselruß, PAH und Benzol mit über 80% zum kanzerogenen Risiko bei. Dieses Risiko soll in einem ersten Schritt bis 2005 in Ballungsräumen auf das doppelte Risiko des ländlichen Raums (1:2500) vermindert werden. Bis 2020 ist eine Anpassung des Risikos von Ballungsräumen und ländlichem Raum geplant. Das Krebsrisiko sollte nicht nur im Mittel über die Gesamtbevölkerung das angestrebte Risiko unterschreiten, sondern auch für Bewohner an hochbelasteten Straßen. Das Umweltbundesamt schlägt deshalb im Straßenraum einen Zielwert für die Immissionskonzentration der wichtigsten Kanzerogene - angepaßt an die Zielwerte des LAI vor. Mit Hilfe einer Ausbreitungsmodellierung soll überprüft werden, ob und an wievielen Stellen dieser Immissionszielwert in Baden-Württemberg in den verschiedenen Szenarien überschritten wird. PAH (Leitsubstanz Benzo-a-pyren) werden trotz ihres großen

Anteiles an dem vom Verkehr ausgehenden Krebsrisiko nicht betrachtet, da die Qualität der Emissionsfaktoren nicht ausreichend ist. Damit lautet das diesem Projekt zugrundeliegende Ziel:

Ziel: Einhaltung eines Immissionszielwertes im Innerortsbereich von

- Benzol: 2,5 µg/m³
- Dieselruß: 1,5 µg/m³

Photosmog sowie Wald-, Boden- und Gewässerschutz: Zur Verringerung der bodennahen Ozonkonzentration auf ein für die Belastung von Mensch und Natur akzeptables Niveau muß der Ausstoß der Vorläufersubstanzen (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe) reduziert werden.

In diesem Projekt wird das im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung modellierbare Ziel einer Reduktion der Vorläufersubstanzen zugrundegelegt. Ziele liegen hierfür von verschiedenen Gremien, wie der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, der 35. Umweltministerkonferenz und des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) vor. Das Umweltbundesamt schließt sich der Forderung des SRU (80 % Reduktion der verkehrsbedingten VOC- und NO_x-Emissionen) an und fordert diese Reduktion auch im Verkehrsbereich.

Auch die direkte Ermittlung der Auswirkung des Verkehrs auf die Überdüngung der Meere, die Versauerung der Böden sowie die Schädigung von Ökosystemen ist mit einem enormen methodischen Aufwand verbunden und kann kaum auf wenige Zielgrößen festgelegt werden. Zur Verminderung dieser Schäden durch die Verkehrsaktivitäten scheint das oben genannte Ziel der NO_x-Reduktion von 80% genügend. Wegen der leichten Abnahme der VOC-Emissionen zwischen 1987 und 1992 wird das Umwelthandlungsziel des UBA angepaßt:

Ziel: Reduktion der Vorläufersubstanzen zur Ozonbildung zwischen 1992 und 2010 aus dem Verkehr ohne regionale Differenzierung um

- NO_x: -80%
- VOC: -70%

Lärm: Die Gesundheitsbelastung durch Lärm besteht aus einer subjektiven und einer objektiven Komponente. Die subjektive Wirkung hängt von der Einstellung des Individuums zur Art des Lärms ab und ist nur schwer zu bestimmen. Die objektive Komponente von Lärmbelastungen besteht in meßbaren biologischen Reaktionen des menschlichen Organismus. Experimentelle und epidemiologische Untersuchungen deuten auf ein erhöhtes Herzinfarktrisiko für Menschen, die an Straßen mit Außenlärmpegeln größer 65-70 dB(A) wohnen, hin.³⁴

³⁴ Ising, H.; Babisch, W.; Günther, T.; Kruppa, B. 1997: Risikoerhöhung für Herzinfarkt durch chronischen Lärmstreß. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Band 44, Heft 1, S.1-7.

Ziel: Absenkung der Mittelungspegel (außen) an allen Straßen mit Wohnbebauung unter 65 dB(A) am Tag bis zum Jahr 2010.

In Tabelle 10-2 werden die Umwelthandlungsziele dieses Vorhabens dargestellt.

Tabelle 10-2: Zusammenfassung der diesem Projekt zugrundeliegenden Ziele

Schadstoff / Belastung	Umweltziel	von	bis
CO ₂	Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen um 30%	1992	2010
NO _x	Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen um 80%	1992	2010
VOC	Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen um 70%	1992	2010
Benzol	Vermeidung einer Überschreitung von 2,5 µg/m³ im Innerortsbereich		2010
Dieseldruß	Vermeidung einer Überschreitung von 1,5 µg/m³ im Innerortsbereich		2010
Lärm	Einhaltung von Mittelungspegeln (tags, außen) an Wohnbauten von < 65 dB(A)		2010
Wirkungen auf Natur und Landschaft ³⁵	keine weitere Zerschneidung geschützter Gebiete keine weitere Bodenversiegelung		2010

Die in diesem Projekt zugrunde gelegten Umweltziele stellen zunächst einen Vorschlag für ein Zielbündel dar, anhand dessen die Durchführbarkeit des vorgeschlagenen Verfahrens zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte gezeigt werden kann.

11 Maßnahmenzenarien

11.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

In den Anleitungen des BMV für die Bewertung im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung³⁶ schließt sich an die Kapitel, in denen das Bewertungsverfahren dargestellt und erklärt wird, jeweils

Maschke, C.; Ising, H.; Hecht, K. 1997: Schlaf- nächtlicher Verkehrslärm - Streß - Gesundheit: Grundlagen und aktuelle Forschungsergebnisse. In: Bundesgesundheitsblatt, Band 40, Heft 1 S.3-10 und Heft 3 S.86-95.

³⁵ Zur Definition der Umweltziele für Natur und Landschaft siehe Kapitel 5.

ein Kapitel „Fallstudie“ an, in dem das Bewertungsverfahren für die drei Verkehrsträger Bahn, Straße und Binnenschiff jeweils auf ein Beispiel angewendet wird. In analoger Weise wird in dieser Untersuchung das weiterentwickelte Bewertungsverfahren beispielhaft angewendet. Im Gegensatz zum bisherigen Verfahren, bei dem vorwiegend eine Bewertung von Einzelprojekten stattfand, soll hier eine umfassendere Prognose von Maßnahmenwirkungen in einem Netzzusammenhang vorgenommen werden, wie es in einem Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim BMV von 1995 gefordert worden war. Als Datengrundlage stehen dazu bei den Auftragnehmern detaillierte Verkehrsaufkommensmatrizen aus dem Generalverkehrsplan Baden-Württemberg³⁷ zur Verfügung. Die hier zu berechnenden Maßnahmenzenarien wirken auf diese Datenbasis.

Die Berechnung der Maßnahmenzenarien erfolgt stufenweise:

- Zusammenstellung aller denkbaren Maßnahmen, die Einfluß auf die Umweltwirkungen des Verkehrs haben. Die Auswahl lehnt sich an den Maßnahmenkatalog des Umweltbundesamtes an.³⁸
- Auswahl von möglichst wirkungsvollen Maßnahmen für die Grobszenarien.
- Operationalisierung der Maßnahmen für die Modellrechnung.
- Maßnahmenprognosen mit den im Anhang dargestellten Verkehrsmodellen.
- Wirkungsanalyse im Hinblick auf die Zielerreichung der Umweltziele.
- "Feinjustierung" der ausgewählten Maßnahmen im sog. "Feinszenario" durch die Variation der Eingriffsintensität der jeweiligen Maßnahmen der Grobszenarien.

11.2 Maßnahmenkataloge

In einer Zusammenstellung erster Maßnahmenkataloge für den Güterverkehr und für den Personenverkehr wird systematisch aufgelistet, welche Maßnahmen einen Einfluß auf das Verkehrsaufkommen, die Verkehrsverteilung, den Modal-Split, die Fahrzeugauslastung im Güterverkehr bzw. den Besetzungsgrad im Personenverkehr und die Routenwahl haben. Die Stärke des Einflusses wird aus Vorerfahrungen von anderen Projekten zunächst qualitativ dargestellt. Sie berücksichtigt noch nicht die mögliche gegenseitige Kompensation bzw. Verstärkung von Einzelmaßnahmen in Maßnahmenbündeln.

³⁶ BMV 1986 Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen; Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1985, Schriftenreihe Heft 69, Bonn. BMV 1993, a.a.O.

³⁷ IWW, IVT, K + P et al. 1995: Generalverkehrsplan Baden-Württemberg, Prognosen und Wirkungsanalysen (Untersuchung im Auftrag des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg), Karlsruhe / Heilbronn.

³⁸ UBA 1997d, a.a.O.

11.3 Maßnahmen in den Grobszenarien

Der Entwicklung des ersten Grobszenarios geht zunächst eine Abschätzung der Wirkungsbeiträge von Maßnahmenkomplexen in Form einer Reihenfolge der Wirkungsbeiträge auf die Verkehrsaufkommen (Rang 1 = größter Wirkungsbeitrag) voraus. Die relativen Unterschiede in den Wirkungsbeiträgen lassen sich ebenfalls qualitativ vergleichend darstellen. Dafür wird den Preismaßnahmen, die die höchsten Wirkungen erzielen, der Wirkungsindex 100 gegeben. Die Maßnahmengruppe auf Rang 2 "Transport- bzw. Reisezeiterhöhungen im Straßenverkehr" erzielen dann noch einen Wirkungsindex von ca. 40 Punkten. In Tabelle 11-1 sind die Zusammenhänge dargestellt.

Tabelle 11-1: Wirkungsbeiträge von Maßnahmen (Index)

Rang	Maßnahmenkomplex	(Index)
1	Preismaßnahmen	100
2	Transport-/reisezeiterhöhung im Straßenverkehr	40
3	Erhöhung der Auslastungsgrade im Güterverkehr	25
4	Verbesserung der Verkehrsabwicklung	20
5	Infrastrukturmaßnahme Schiene	15
6	Organisatorische Verbesserung im Güterverkehr	5

Die Einstufung der Wirkungsbeiträge von Maßnahmen dient der Erstellung der Maßnahmenkombinationen für die Grobszenarien. Eine detaillierte Darstellung dieser Maßnahmen findet sich in der Langfassung dieses Berichts.

Der Schwerpunkt des Grobszenarios 1 liegt bei ordnungspolitischen Maßnahmen sowie Maßnahmen, die auf die Umsetzung technologischer Entwicklungen abzielen. Hier seien die Parkraumbewirtschaftung in Ballungsräumen, die Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, Angebotsverbesserungen im ÖV, eine Ausdehnung der Nachtfahrverbote für Lkw, die verschärfte Überwachung der Lenk- und Ruhezeiten im Straßengüterverkehr sowie ein Lkw-Überholverbot für den ersten Maßnahmenschwerpunkt genannt. Technologische Maßnahmen beziehen sich unter anderem auf die Verbesserung der Treibstoffqualität, Emissionsminderungstechnologien, Absenkung der Durchschnittsverbräuche, Verminderung der Geräuschpegel durch Maßnahmen am Fahrzeug. Aber auch Maßnahmen, die auf die Kostenstruktur der Verkehrsteilnehmer Einfluß haben, werden unterstellt. Beispiele sind das Road-Pricing für Pkw, die Schwerverkehrsabgabe für Lkw, die Gleichbesteuerung von Diesel- und Benzinfahrzeugen und eine Erhöhung der Parkgebühren in Innenstädten.

Das Grobszenario 2 basiert auf den Ergebnissen und Erfahrungen, die beim Grobszenario 1 erzielt worden sind. Bestimmte Maßnahmen, die im Saldo nur geringe Wirkungsbeiträge liefern oder in ihrer Ausprägung zu stark sind, werden aus dem Maßnahmenpaket des Grobszenarios 2 entfernt oder konzeptionell verfeinert. Darüber hinausgehend erweist es sich als erforderlich, weitere Maßnahmen zu ergreifen, um eine weitgehende Einhaltung der Umweltziele zu erreichen.

Neben einem leicht reduzierten Infrastrukturausbau beim Verkehrsträger Straße werden im Grobszenario 2 verschiedene Maßnahmen ergriffen, die das Mobilitätsverhalten beeinflussen. Verkehrsarme Siedlungsstrukturen, Mobilitätspädagogik, Beschränkung der Nutzbarkeit von Dienstfahrzeugen für private Zwecke und die Förderung des nichtmotorisierten Verkehrs sind Beispiele hierfür. Desweiteren werden die bereits genannten Maßnahmenkategorien des Grobszenarios 1 um einzelne Maßnahmen ergänzt, um so die Wirksamkeit des Gesamtszenarios zu erhöhen.

In beiden Szenarien wird von einem ausgebauten Hochgeschwindigkeitsnetz der Bahn und der flächendeckenden Umsetzung des Integralen Taktfahrplans ausgegangen.

Eine explizite Modellierung von Feinszenarien wird nicht durchgeführt, da die zentrale Zielsetzung die Durchführbarkeit des Gesamtverfahrens zu zeigen, erreicht werden konnte. Dabei sind bei der Formulierung des Grobszenarios 2 auch Verfeinerungen der Maßnahmendosierung integriert, um Maßnahmen einzuschränken, die auf der ökologischen Seite wenig wirksam sind, andererseits aber die ökonomischen Aktivitäten der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen. Es ist daher nicht zu erwarten, daß eine weitere Verfeinerung der Szenarien wesentliche Änderungen der Ergebnisse bringen würde.

12 Wirkungsanalyse

12.1 Verkehrsprognose

Die Verkehrsprognosen für den Personen- und Güterverkehr werden grundsätzlich auf Basis der in der Bundesverkehrswegeplanung üblichen Methoden und der für den BVWP'92 erarbeiteten Verkehrsnachfragematrizen durchgeführt. Im Unterschied zur Bundesverkehrswegeplanung

- ist die räumliche Gliederung feiner (Mittelbereichsebene),
- wird der induzierte Verkehr explizit berücksichtigt und
- werden alle Verkehrsdaten direkt mit den regional bedeutsamen Umweltdaten unter Zuhilfenahme von Rastermodellen (5 km Kantenlänge) verknüpft.

Eine ausführliche Darstellung der Verkehrsmodelle und ihrer Anpassung an die hier vorliegenden Untersuchungsaufgaben findet sich im Anhang der Langfassung dieses Berichts.

12.2 Modellierung von Umweltbelastungen

Bei der Analyse der mit den Maßnahmenkatalogen verbundenen Umweltbelastungen durch Luftschadstoffe werden Emissionsmengen aus dem Verkehr sowie daraus resultierende Immissionskonzentrationswerte ermittelt. Der erste Schritt ist nötig um die Änderungen der netzbezogenen verkehrlichen Emissionen zwischen den Jahren 1992 und 2010 zu bestimmen. Der

zweite Schritt, um das Erreichen der Zielwerte bei der Belastung durch Kanzerogene zu überprüfen.

Die den Berechnungen zugrundeliegenden Emissionsfaktoren für die Verkehrsträger Straße Schiene und Wasserstraße, sind für die Jahre 1992 und 2010 mit dem vom IFEU im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelten Programm „TREMODO“ (Transport Emission Estimation Model) ermittelt.

Für dieses Projekt sind die Emissionsfaktoren entsprechend aufbereitet, um streckenfeine Datengrundlagen in hoher Differenzierung zu berücksichtigen und damit regional differenzierte Aussagen zu erhalten. Beim Straßenverkehr bilden die aus den Verkehrsmodellen resultierenden Belastungen (DTV-Werte) für die Fahrzeugkategorien MIV (Pkw und motorisierte Zweiräder), leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge und Busse sowie die Klassifizierung der einzelnen Streckenabschnitte nach der EWS-97 eine gute Datengrundlage.

Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr werden in der folgenden Differenzierung ermittelt:

- 4 Fahrzeugkategorien (MIV, Leichte Nutzfahrzeuge, Schwere Nutzfahrzeuge, Busse)
- 4 Straßenklassen (EWS-Typen 1xx+3xx; 2xx; 4xx; 5xx)
- 3 Belastungsklassen (kein Stau; 5% Stau, 10% Stau)
- 3 Längsneigungsgruppen (-6%, -5% bis +5%, +6%)

Betrachtet werden die Schadstoffe NO_x, Benzol, VOC, Ruß und CO sowie der Kraftstoffverbrauch, getrennt nach Otto- und Dieselmotoren, und die Kohlendioxidemissionen. Neben den „warmen Emissionen“ spielen besonders im Innerortsbereich die Emissionen durch den sogenannten Kaltstart eine große Rolle. Für dieses Projekt werden die gesamten Kaltstartemissionen des Kfz-Verkehrs, getrennt nach Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, in Westdeutschland ermittelt. Diese Kaltstartemissionen werden dann auf die Emissionsfaktoren im Innerortsbereich gleichmäßig prozentual aufgeschlagen. Die Verdunstungsemissionen der Fahrzeuge werden für Westdeutschland für die Jahre 1992 und 2010 ermittelt. Sie werden über die Einwohnerdichte den betrachteten Rasterfeldern zugerechnet.

Sofern die Umwelthandlungsziele des UBA als Reduktionsraten vorliegen (Schadstoffe NO_x, VOC und CO₂) können diese direkt mit den Ergebnissen der Emissionsmodellierungen verglichen werden.

Zur Überprüfung der Umweltqualitätsziele für Benzol und Ruß wird in diesem Projekt eine Immissionsmodellierung vorgenommen. Da in der durchgeführten Netzanalyse für eine große Anzahl von Straßen, für die teilweise nur sehr pauschale Informationen über die Bebauung vorliegen, die Immissionskonzentrationen berechnet werden, scheiden bei der Auswahl der Verfahren höherwertige Ausbreitungsmodelle wegen des hohen Daten- und Rechenaufwandes aus. Zur Ermittlung kritischer Belastungspunkte (z.B. Überschreitung von Zielwerten) im Netz und des Einflusses von Maßnahmen auf diese Belastungspunkte werden - unter Berücksichtigung der aus den Verkehrsmodellen vorliegenden Daten - einfachere Modelle als angemessen angesehen. Für den Bereich außerhalb bewohnter Gebiete basiert die Immissionsmodellierung auf dem Verfahren nach MLuS-92³⁹ und innerhalb der Städte auf einem Verfahren, welches vom Büro Lohmeyer im Auftrag des BMV für eine Aktualisierung der Bundesverkehrswegeplanung⁴⁰ entwickelt wurde. In der folgenden Abbildung ist die Modellierung der Emissionen des Straßenverkehrs sowie der Immissionskonzentrationen am Beispiel von Benzol dargestellt.

³⁹ MLuS-1992 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: Merkblatt über Luftverunreinigung an Straßen, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, Ausgabe 1992, Geänderte Fassung 1996, Köln.

⁴⁰ Heusch/Boesefeldt 1997, a.a.O.

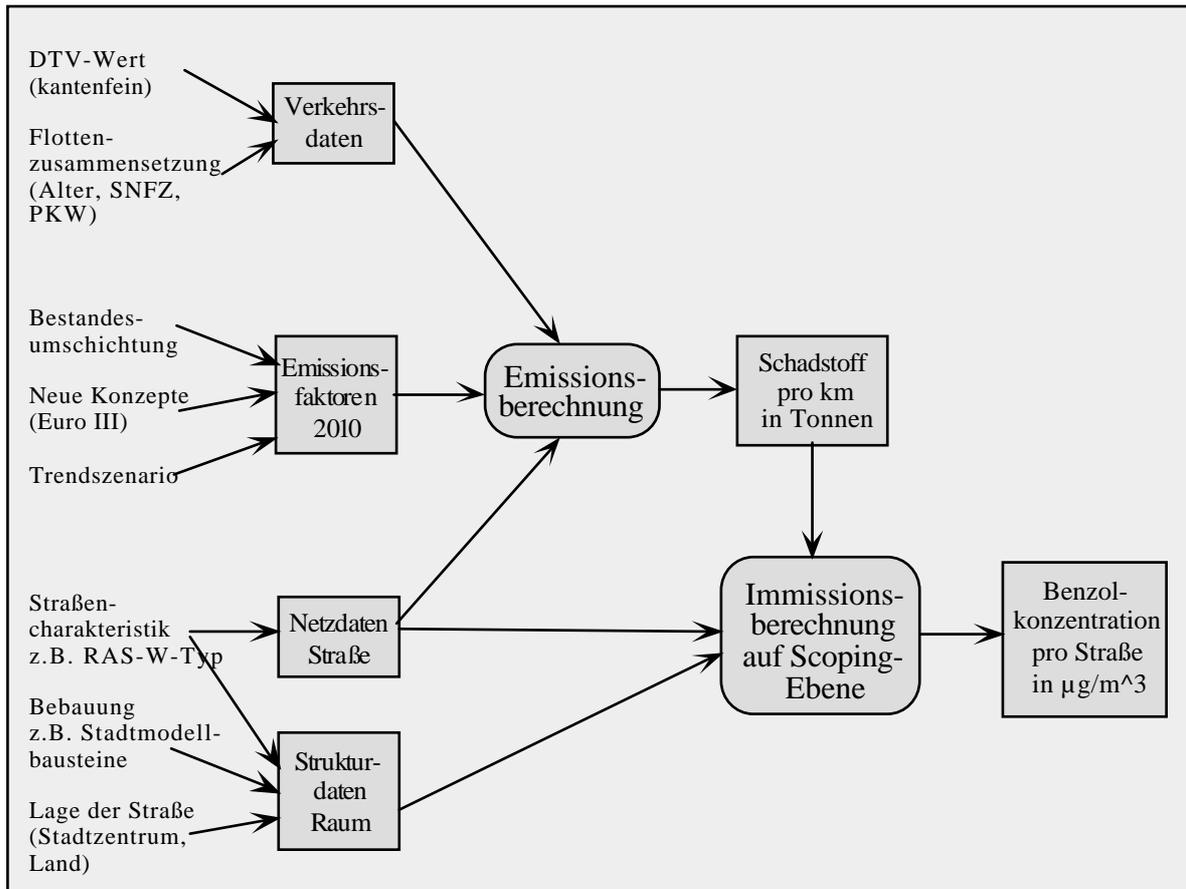


Abbildung 12-1: Schematische Darstellung des Vorgehens bei der Ermittlung der Konzentrationswerte (am Beispiel von Benzol)

Modellierung der Lärmbelastung

Die Modellierung der Lärmbelastung erfolgt auf der Netzebene aufgrund der Vielzahl lokaler Einflußgrößen nach Screening-Verfahren. Für die Abbildung der Lärmbelastungen durch den *Straßenverkehr* wird zunächst der Mittelungspegel am Straßenrand aus den Verkehrsbelastungen mit einem Verfahren in Anlehnung an die RLS-90⁴¹ berechnet. Die durch Straßenverkehrslärm oberhalb eines ausgewählten Zielpegels belasteten Einwohner werden dann entsprechend des von HEUSCH-BOESEFELDT⁴² modifizierten Verfahrens der BVWP über die Stadtmodellbausteine ermittelt. Für den *Schieneverkehr* beruhen die Berechnungen der Lärmbelastungen auf der Verkehrs-lärmschutzverordnung - 16. BImSchV. Anschließend wird für jede Strecke die Entfernung bestimmt, bis zu der ein ausgewählter Zielpiegel überschritten wird, und über die Einwohnerdichten die innerhalb dieses Bereiches betroffene Bevölkerung berechnet.

⁴¹ Bundesminister für Verkehr (Hrsg) 1992: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Ausgabe 1990 (RLS-90), berechtigter Neudruck, Bonn.

⁴² Heusch / Boesefeldt 1997, a.a.O.

Regionale Wirkungen

Bei der Modellierung der Umwelteffekte spielen neben den Variablen zu den Verkehrsaktivitäten und den hiervon ausgehenden Umweltbelastungen außerdem die Belastungen durch andere Quellen und die Charakteristika der betroffenen Räume eine entscheidende Rolle. Ziel der Wirkungsanalyse ist es nun, die vom Verkehr ausgehenden Umwelteffekte mit relevanten *Raumcharakteristika* zu verknüpfen, um auf regionaler Ebene Aussagen über die vom Verkehr ausgehenden ökologischen Wirkungen treffen zu können. Hierzu wird das in Abbildung 12-2 dargestellte Vorgehen vorgeschlagen.

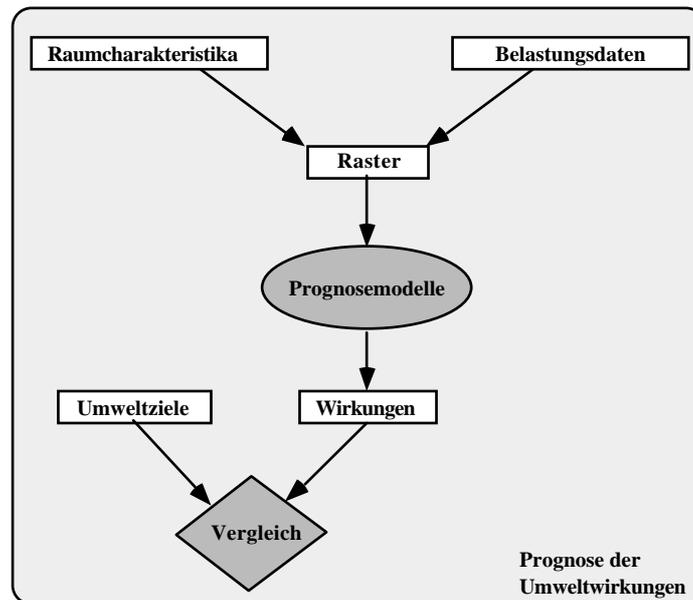


Abbildung 12-2: Verfahren zur Modellierung der regionalen Umweltwirkungen

Damit die Daten auf der Ebene der Bundesverkehrswegeplanung noch handhabbar bleiben, muß eine begrenzte Anzahl an Indikatoren zur Charakterisierung der Räume ausreichen (Bevölkerungsdichte, Schutzgebiete, Windstärken). Aus diesen Einzelindikatoren werden Raumtypen gebildet, die den einzelnen Elementen eines Rasters, das die Untersuchungsregionen überlagert, zugeordnet werden können. In diesem Forschungsvorhaben wird ein Raster in der Auflösung von 5 x 5 km angewendet. Die sich aus der Verkehrsprognose ergebenden Belastungen können ebenfalls direkt über die digital vorliegenden Verkehrsnetze den Rasterelementen zugewiesen werden. Anschließend können für jedes Raster die verkehrsbedingten Umwelteffekte anhand der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Prognosemodelle ermittelt und mit den in Kapitel 10 spezifizierten Umweltzielen verglichen werden.

13 Ökonomische Bewertung, Opportunitätskosten und zusammengesetzte Bewertungsfunktionen

Zur Herleitung eines umweltorientierten Fernverkehrskonzeptes werden die Umweltbelange in Form von Umwelthandlungszielen definiert und als Restriktionen bei der Bestimmung des wirtschaftlich optimalen Fernverkehrsplanes behandelt. Addiert man die mit dem optimalen Programm verbundenen Opportunitätskosten der Umweltziele zu den Vermeidungskosten, die den Werteverzehr aus dem technologischen Beitrag zur Umweltbelastungsproduktion darstellen, so erhält man die *wertmäßigen Kosten der Umwelteffekte*.

Solange keine fundamentale Änderung des Gesamtkonzeptes durch die Einzelbewertung von Projekten eintritt, trägt die Verwendung der wertmäßigen Kosten aus der Herleitung des umweltorientierten Fernverkehrskonzeptes auf Projektebene dazu bei, daß der entstehende Gesamtplan die wirtschaftlichen Ziele und Umweltrestriktionen weitgehend erfüllt. Wegen der unterschiedlichen Informationsvoraussetzungen kann es aber zu Abweichungen zwischen dem Gesamtkonzept und der Summe der Einzelprojekte kommen. In einem solchen Fall wird nach der Phase der Projektbeurteilung eine *Rückkoppelung* notwendig, um die Einhaltung nicht verhandelbarer Umweltqualitätsziele zu sichern. Ein schematischer Ablauf für die gewählte Vorgehensweise ist in Abbildung 13-1 dargestellt.

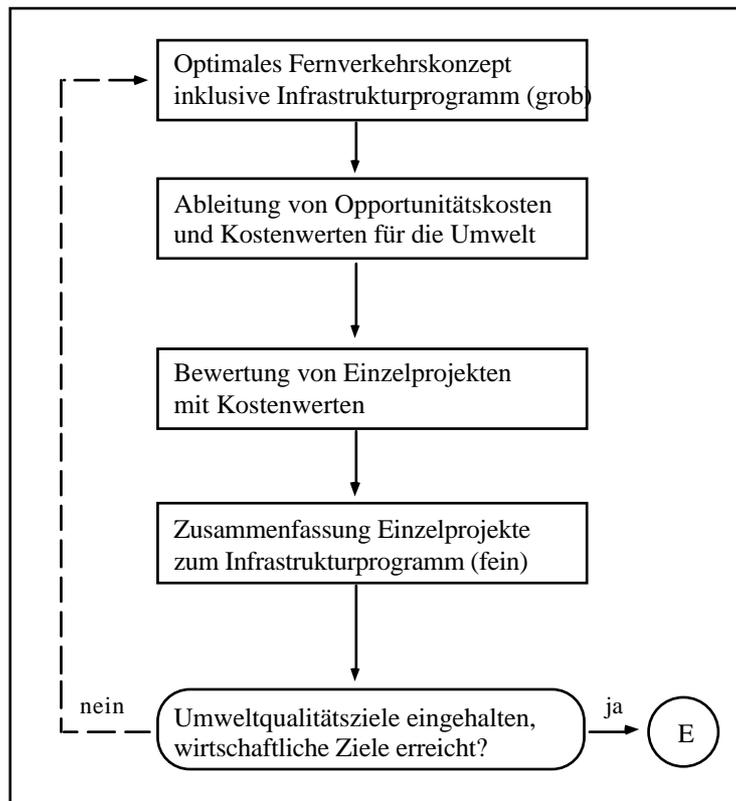


Abbildung 13-1: Zusammenhang zwischen Gesamtkonzept und Einzelbewertung von Projekten

Die Quantifizierung des Opportunitätskostenansatzes müßte theoretisch mit Hilfe eines in sich geschlossenen Optimierungsmodells für die Ermittlung des bestmöglichen Gesamtkonzeptes aufgebaut werden. In der Praxis ist dies allerdings mit großen Schwierigkeiten verbunden, da die Modellierungen des Verkehrs und seiner Umweltwirkungen so komplex sind, daß es nur unter starken Informationseinbußen möglich ist, die abzubildenden Strukturen in Form eines Optimierungsmodelles zusammenzufassen. Aus diesem Grunde wird ein Ansatz zur Ermittlung der wertmäßigen Kosten gewählt, der auf die Ergebnisse der Verkehrssimulationsmodelle zurückgreift und somit keine zusätzlichen Modellierungen erfordert.

1. Im ersten Schritt werden die *Vermeidungskosten* quantifiziert, die durch Einsatz anderer Technologien entstehen. Für einige Schadstoffe gibt es bereits weitgehend standardisierte Verfahren der Vermeidungskostenrechnung.⁴³
2. Der Einsatz von Vermeidungsmaßnahmen führt entweder zu einer unvollständigen Kompensation von Schäden (Beispiel: Schallschutzfenster gegen den Verkehrslärm) oder zu

⁴³ ECN, IWW et al. 1996: External Costs of Transport and Internalisation, Synthesis report on Topic A: External costs of Transport.

Folgekosten durch die Vermeidungsmaßnahmen (z.B.: Zeitverluste bei Geschwindigkeitsreduktionen). In beiden Fällen ist der *zusätzliche Nutzenentgang* zu bewerten.

3. Es ist zu prüfen, ob die gewünschten Wirkungen in anderen Wirtschaftssektoren zu geringeren Kosten erzielt werden könnten (*least-cost principle*). Da keine vollständige quantitative Informationsbasis hierfür vorliegt, muß dieser Untersuchungsteil auf qualitativer Basis durchgeführt werden.

Die Bewertung des Nutzenentgangs kann mit Hilfe der zentralen Wirtschaftlichkeitskriterien aus der Bundesverkehrswegeplanung durchgeführt werden. Diese bestehen aus Veränderungen der Betriebskosten, Infrastrukturkosten (variabel), Zeitkosten und Unfallfolgekosten.

Die Bewertung mit Hilfe von Opportunitätskosten hat den Vorteil, daß keine a priori-Bewertungen der Umwelteffekte erforderlich sind. Nachteilig dagegen ist, daß keine Bewertung der Effekte unterhalb der gesetzten Umweltstandards erfolgt, da dann die Opportunitätskosten gleich Null sind. Somit bleibt das *Restrisiko* und die unterhalb der Standards auftretenden Schäden unberücksichtigt. Es gibt auch keine kostengestützten Anreize für die Planung, möglichst weit unterhalb der Standards/Zielwerte zu bleiben. Aus diesen Gründen wird vorgeschlagen, die *Bewertungsfunktionen für Umwelteffekte* zusammensetzen

- aus einem *ersten Abschnitt*, in dem die *direkten Kosten* der Umweltbeeinträchtigung unterhalb des Umweltzielwertes abgebildet werden; hier gilt die Hypothese, daß Umweltqualität gegen materielle Wohlfahrt ausgetauscht werden kann;
- aus einem *zweiten Abschnitt* oberhalb des Zielwertes, in dem die Kosten auf Grundlage des *Opportunitätsprinzips* abgebildet werden; hier gilt die Hypothese, daß Umweltqualitäten nicht gegen materielle Vorteile ausgetauscht werden können, also keine Verhandelbarkeit der Umweltziele vorliegt (vgl. Abbildung 13-2).

Es gibt Umweltziele, für die beide Abschnitte sinnvoll ausgefüllt werden können (Lärm, lokale Abgasbelastung). Im Falle der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft ist dagegen der erste Abschnitt nicht ausfüllbar. Mit dem Prinzip der vollen Kompensation (Ausgleichstatbestände oder Ausschluß des Naturraums für die verkehrliche Nutzung) werden die Möglichkeiten einer direkten Bewertung von vornherein ausgeschlossen, so daß für solche Effekte nur der zweite Abschnitt bewertungswirksam wird.

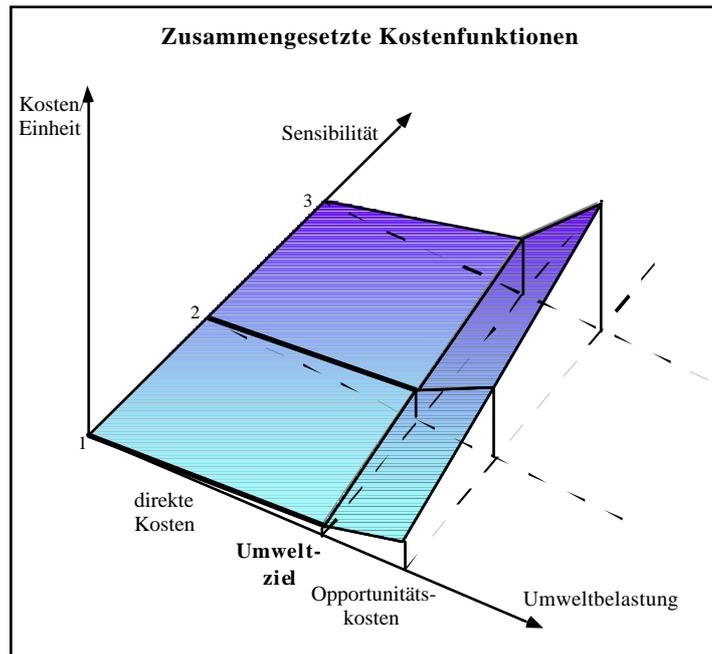


Abbildung 13-2: Zusammengesetzte Kostenfunktion

13.1 Vorgehensweise zur Bestimmung der Umweltkosten

Die Berechnung der Umweltkosten erfolgt in Anlehnung an das oben vorgestellte Konzept der zweigeteilten Kostenfunktionen wie folgt:

Fall 1: Die Zielwerte für die betrachtete Umweltbelastung werden nicht überschritten.

In diesem Fall erfolgt die Berechnung der Umweltkosten der Umweltbelastung nach dem Schadensansatz bzw. Willingness-To-Pay-Ansatz aus dem ersten Projektteil unter Einbeziehung der Erweiterung und Aktualisierung der direkten Kosten.

Fall 2: Es tritt eine Zielwertüberschreitung auf.

In diesem Fall werden die Umweltkosten nach dem Opportunitätskostenansatz berechnet. Im folgenden wird für jede Umweltbelastung ein Verfahrensvorschlag zur Bestimmung dieser Kosten gemacht. Die Vorgehensweise orientiert sich hierbei am Least-Cost-Prinzip.

Vorgehensweise und Verfahren für den Fall 1 sind bereits in den Kapiteln zur Erweiterung und Aktualisierung der direkten Kosten ausführlich beschrieben worden, so daß sich der folgende Abschnitt auf den Fall 2 bezieht.

Verfahren zur Bestimmung der Umweltkosten bei Zielwertüberschreitung

Vermeidungsmaßnahmen werden ergriffen, wenn bei einer bestimmten Umweltbelastung Zielwertüberschreitungen auftreten. Diese Maßnahmen wirken aber in der Regel nicht nur belastungsspezifisch. Es muß daher ein Verfahren entwickelt werden, daß die komplexe Interdependenz zwischen Maßnahmen zur Verringerung einer spezifischen Belastung und dadurch gleichzeitig verringerten anderen Umweltwirkungen (Seiteneffekt einer Maßnahme) berücksichtigt und eine Zuordnung der Kosten der Maßnahmen zu den einzelnen Umweltbelastungen zuläßt. Der Ansatz verfolgt sowohl hinsichtlich der betrachteten Umweltbelastungen als auch in Bezug auf die Einhaltung der Umweltziele in unterschiedlichen Sektoren das Least-Cost-Prinzip. Das Verfahren besteht dann aus den folgenden Ablaufschritten:

Schritt 1

Im ersten Schritt werden für jede Umweltbelastung die prozentualen Abweichungen zwischen Zielwert und Istwert im Trendszenario bestimmt. Die Höhe der prozentualen Zielwertüberschreitung dient als Gewichtung zur Bestimmung des Kostenanteils der jeweiligen Belastungsart. Je größer die Zielwertüberschreitung desto größer der Kostenanteil der Umweltbelastung. Das Ausmaß der Zielwertüberschreitung ist zugleich ein Maß für die Bedeutung von Reduktionsmaßnahmen für diese Belastung. Es definiert die Untersuchungsreihenfolge für die Umweltbelastungen im weiteren Verfahren. Für Belastungen, bei denen der Zielwert bereits eingehalten ist, endet das Verfahren mit diesem Schritt.

Schritt 2

In Schritt 2 werden die verbleibenden Umweltbelastungen einzeln und nacheinander in der vorher festgelegten Reihenfolge untersucht. Es werden verschiedene Maßnahmenkategorien entworfen, die im Endeffekt eine Einhaltung der Umweltziele gewährleisten. Diese Kategorien werden, wiederum nach dem Least-Cost-Prinzip, nacheinander solange angewendet, bis der Zielwert für die betrachtete Umweltbelastung eingehalten wird. Bei jedem Umwelteffekt werden die Nebeneffekte durch bereits vorher getroffene Maßnahmen mitberücksichtigt.

Insgesamt können für eine Umweltbelastung 8 Maßnahmenkategorien nacheinander umgesetzt werden. Vor der Umsetzung jeder weiteren Maßnahmenkategorie wird überprüft, ob das Umweltziel mit den vorangesetzten Maßnahmenkategorien bereits eingehalten wird.

Kategorie 1: Maßnahmen des Grobszenario 1.

Kategorie 2: Wirkungen weiterer Reaktionen der Verkehrsteilnehmer, die einen zusätzlichen Reduktionseffekt bewirken. Umsetzung im Grobszenario 2.

Kategorie 3: Reduktionen aufgrund eventuell erforderlicher Fahrleistungsminderungen zur Einhaltung der Umweltziele für die bereits betrachteten Umweltbelastungen.

Kategorie 4: Prüfung nach dem Least-Cost-Prinzip, ob es sinnvoller ist, weitere Minderungen zunächst in anderen Sektoren vorzunehmen.

- Kategorie 5: Reichen die vorangegangenen Maßnahmen nicht aus, um eine Zielwertehaltung zu gewährleisten, werden Maßnahmen erforderlich, die direkt die Mobilität der Verkehrsteilnehmer beeinflussen. Dies führt im allgemeinen zu einer Fahrtweitenreduktion, die kostenmäßig bewertet werden muß.
- Kategorie 6: Verteilung der Kosten für globale Maßnahmen zur Reduktion an kanzerogenen Schadstoffen auf die räumlichen Rasterquadrate.
- Kategorie 7: Ermittlung der Kosten für die Reduktion des Verkehrslärms an der Quelle (Fahrzeug).
- Kategorie 8: Ermittlung der Kosten für zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung der Lärmzielpiegel (z.B. Lärmschutzwälle).

Zielwertüberschreitungen sowohl bei Lärm als auch bei kanzerogenen Stoffen stellen ein lokales Problem dar. Daher ist es hier notwendig bei Zielwertüberschreitungen, die nach der Umsetzung der Maßnahmenkategorien 1-5 auftreten, weitere belastungsspezifische lokale Maßnahmen zu ergreifen (Kategorien 6 bis 8). Diese sind in der Langfassung ausführlich beschrieben.

13.2 Bestandteile der Opportunitätskosten

Die zur Erreichung der Umweltziele erforderlichen Maßnahmen verursachen sowohl Kosten auf der Seite der technologischen Vermeidung als auch Folgekosten bei der Verlagerung und Vermeidung von Verkehren. Basierend auf dem Wertgerüst der Bundesverkehrswegeplanung 1992 werden für alle Szenarien diese Kostenkomponenten durch Änderungen der

- Beförderungskosten,
- Erreichbarkeit von Zielen,
- Unfallkosten und
- Infrastrukturkosten

gegenüber dem Trendfall berechnet. Außerdem werden die mit Mobilitätsveränderungen verbundenen Nutzeneinbußen monetär bewertet.

14 Ergebnisse der Verkehrsprognose

14.1 Güterverkehr

Die transportierten Güterverkehrsmengen aller Verkehrsträger im Untersuchungsgebiet können aus dem Generalverkehrsplan Baden-Württemberg übernommen werden. Weil die Maßnahmen der Bewertungsszenarien fast ausschließlich die Verkehrsträger Bahn und Straße betreffen, wird nur für diese eine vollständige Modellierung des Verkehrsaufkommens durchgeführt. Als Bezugsfall für das Prognosejahr 2010 wird für die hier vorzunehmenden Berechnungen nicht der Referenzfall

des GVP Baden-Württemberg, sondern ein Trendfall gewählt, bei dem der Modal-Split-Anteil der Bahn niedriger ist. Die seinerzeit vom Bundesministerium für Verkehr für den BVWP'92 vorgegebenen Angebotsverbesserungen im Bahnverkehr werden inzwischen als zu optimistisch angesehen.

Im Vergleich zum Trendfall steigt das Aufkommen des Bahngüterverkehrs im Grobszenario 1 um 42 %. Die relativ hohe Zunahme erklärt sich durch den einschneidenden Charakter der unterstellten Restriktionen für den Straßengüterverkehr. Der Kraftstoffpreis steigt um 35%; gleichzeitig wird die Höchstgeschwindigkeit faktisch um etwa 20% abgesenkt, weil die vorgeschriebene Verwendung von Temporeglern und die verschärften Kontrollen zu einer tatsächlichen Einhaltung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit führen. Das partielle Nachtfahrverbot betrifft besonders den gewerblichen Güterfernverkehr über größere Entfernungen. Die verschärfte Überwachung der Lenk- und Ruhezeiten erhöht die Lohnkosten durch die häufigere Notwendigkeit einer Besetzung der Lkw mit zwei Fahrern. Aufgrund des höheren Ausgangsniveaus bedeutet die oben genannte Steigerung des Bahnverkehrs um 42 % für den Lkw nur eine entsprechende Abnahme um 21%.

In Abbildung 14-1 ist das Transportaufkommen im Vergleich der Szenarien Trend, Grobszenario 1 und Grobszenario 2 für Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsverkehr mit den entsprechenden Modal-Split-Anteilen zusammengestellt. Die erläuterte Steigerung des Schienenaufkommens schlägt sich zwischen Trend und Grobszenario 1 in einer Verschiebung des Schienenanteils von 33 auf 47% nieder. 1992 hatte der Schienenanteil bei etwa 27% gelegen.

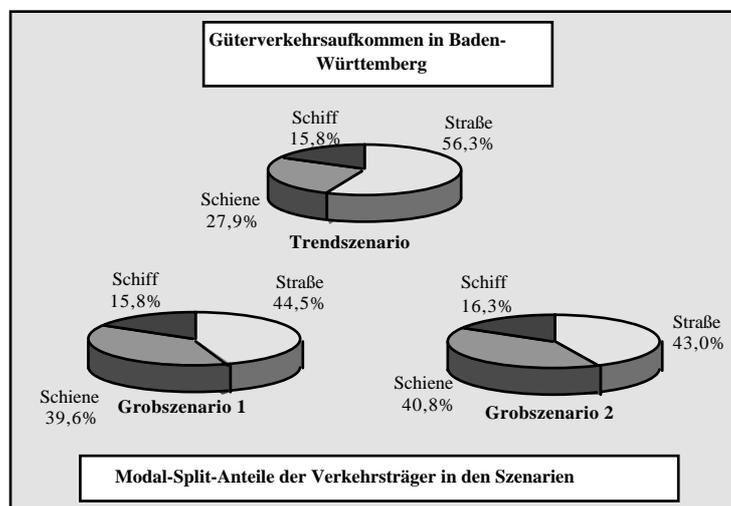


Abbildung 14-1: Modal-Split-Anteile in den Szenarien nach Verkehrsträgern

14.2 Personenverkehr

Die Hochrechnungen und Prognosen zum *Personenfernverkehrsaufkommen* werden auf Basis der Verkehrsprognose für den Bundesverkehrswegeplan 1992, unter Berücksichtigung einer

revidierten Bevölkerungsprognose für Baden-Württemberg, durchgeführt. Das Fernverkehrsaufkommen der Quell-, Ziel, und Binnenverkehre Baden-Württembergs wird von 538 Mio. Fahrten im Jahre 1992 auf 618 Mio. Fahrten im Jahre 2010 ansteigen. Dies entspricht einer Steigerung von knapp 15%. Aufgrund der Maßnahmen des Grobszenarios 2, u.a. der eingeschränkten Verfügbarkeit von privat genutzten Geschäftsfahrzeugen, verringert sich das Fahrtenaufkommen im Grobszenario 2 auf 601 Mio. Fahrten. Die Steigerung gegenüber 1992 reduziert sich auf 11,7%. Eine detaillierte Aufstellung der zweckspezifischen Fahrtenaufkommen ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 14-1: Personenfernverkehrsaufkommen nach Reisezwecken

Personenfernverkehrsaufkommen nach Reisezwecken													
Szenario	Beruf	%	Ausbildung	%	Einkauf	%	Geschäft	%	Urlaub	%	Privat	%	Summe
1992	59,84	11%	19,49	4%	22,85	4%	90,47	17%	23,79	4%	322,12	60%	538,55
2010Tren	71,99	12%	17,22	3%	22,86	4%	98,27	16%	33,91	5%	374,06	60%	618,31
2010 H'	71,99	12%	17,22	3%	22,86	4%	98,27	16%	33,91	5%	374,06	60%	618,31
2010gsz1	71,99	12%	17,22	3%	22,86	4%	98,27	16%	33,91	5%	374,06	60%	618,31
2010gsz2	71,99	12%	17,22	3%	22,86	4%	98,27	16%	33,91	6%	356,90	59%	601,15

(Angaben in Mio. Fahrten pro Jahr)

Die Prognose der *Verkehrsmittelwahl* im Personenverkehr berücksichtigt die für die Verkehrsnachfrage wesentlichen Angebotsmerkmale der Verkehrsträger Straße, Bahn und Luft, wie zum Beispiel Reisezeiten, Reisekosten, Bedienungsfrequenzen, Umsteigevorgänge oder An- und Abflugzeiten im Luftverkehr. Darüber hinaus gehen auch die für die jeweiligen Quellregionen charakteristischen Merkmale wie Altersstruktur und Erwerbstätigkeit der Wohnbevölkerung oder Fahrtzweckstruktur der Quellverkehre in das Modell ein.

Im Quell-, Ziel- und Binnenverkehr Baden-Württembergs liegt der Anteil der Bahn 1992 am Fernverkehr bei 6,89 %, im Regionalverkehr bei 7,28 %. Während aufgrund der Annahmen des H'-Szenarios der Bundesverkehrswegeplanung mit einem Anteil der Bahn von 9 Prozent zu rechnen ist, kommt die Bahn im Trendszenario 2010 auf einen Verkehrsmittelanteil von nur 7,78 Prozent.

Erst durch die insbesondere für den Autoverkehr restriktiven Maßnahmen der Grobszenarien, wie Road Pricing, Parkraumbewirtschaftung, Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen und sonstigen Außerortsstraßen, Erhöhung der Mineralölsteuer sowie der Abschaffung der Kilometerpauschale für Pkw, kann es der Bahn in Verbindung mit einem europaweiten Hochgeschwindigkeitsnetz (Fertigstellung der im BVWP als vordringlich eingestuften Infrastruktur-Maßnahmen und Umsetzung des UIC-Masterplans für das europäische Schienennetz bis 2005) gelingen, nennenswerte zusätzliche Verkehrsanteile im Personenfernverkehr zu gewinnen. So steigt der Fernverkehrsanteil der Bahn im Grobszenario 1 auf beachtliche 13,27 %, im Grobszenario 2 sogar auf 13,44 %.

Aufgrund der Angebotsverbesserung im Bahnverkehr treten *primäre induzierte Neuverkehre* in Form von zusätzliche Fahrten von knapp 0,1 % des Ausgangsniveaus sowie Substitutionen von

nicht-motorisierten Wegen durch Fahrten in Höhe von etwa 0,3 % der Fahrtenmenge des Trendfalls auf. Den induzierten Neuverkehren der Bahn stehen beim Straßenverkehr wegfallende Fahrten und Substitutionen von Fernverkehrsfahrten durch Nahverkehrsfahrten bzw. von Nahverkehrsfahrten durch Wege zu Fuß und per Fahrrad gegenüber. Die Effekte beim Straßenverkehr sind mit - 0,9 % des Trendaufkommens deutlich größer als bei der Bahn, da die Angebotsverschlechterung des Straßenverkehrs mengenmäßig stärker als die Verbesserung des Bahnangebots ins Gewicht fällt. Da die Substitutionsreaktionen auch die Zielwahl betreffen, sind die reinen Verkehrsleistungsänderungen durch geänderte Zielwahl ohne gleichzeitige Substitution nur schwach. Sie machen bei der Bahn 0,1 % und bei der Straße 0,3 % der Verkehrsleistung des Trendfalls aus.

Die Abschätzung der primären induzierten Neuverkehre ist für eine verursachungsgerechte Abbildung von Maßnahmenwirkungen wichtig, obwohl sie nur eine geringe Größenordnung aufweisen.

14.3 Verkehrsbelastungen

Bahnverkehre

Aus dem GVP Baden-Württemberg liegen Zugbelastungen für einen Referenzfall 2010 auf der Basis von Linienkonzepten des Personenfernverkehrs, von Bedienungsstandards im Personennahverkehr sowie einer Betriebssimulation im Güterverkehr vor. Zur Ableitung von Zugbelastungen im Rahmen dieser Untersuchung werden zunächst die Verkehrsmengen auf das Bahnnetz umgelegt. Die Änderungen der Zugbelastungen des Trendfalls im Vergleich zum Referenzfall sowie in den Grobszenarien gegenüber dem Trend werden dann anhand von Minimal- und Maximal-Auslastungsgraden der Züge des Personenverkehrs sowie mit Minimal- und Maximal-Anhängelasten beim Güterverkehr ermittelt. Die Belastungszunahmen in den Szenarien konzentrieren sich auf die Rheinstrecke, auf die Verbindung Mannheim - Stuttgart - Ulm und auf die Ballungsräume Mannheim und Stuttgart. Belastungszunahmen sind jedoch auch im ländlichen Raum spürbar.

Straßenverkehre

Die Belastungen auf den Verkehrswegen Baden-Württembergs sind Ausgangspunkt für alle nachfolgenden verkehrlichen, gesamtwirtschaftlichen und insbesondere ökologischen Wirkungsanalysen. Die Verkehrsbelastungen des Straßennetzes 1992 werden im Rahmen der Berechnungen mit den Daten der rund 90 in Baden-Württemberg betriebenen automatischen Dauerzählstellen abgestimmt. Ausgehend von den Verflechtungsmatrizen für den Personen- bzw. Güterverkehr werden für die Szenarien 2010 die Fahrleistungen auf den Bundesautobahnen und den außerörtlichen Bundes- und Landesstraßen prognostiziert. Die im Nahverkehr erbrachten Fahrleistungen für die beiden Szenarien werden durch vereinfachte Berechnungen ermittelt.

Für die Fahrleistungsprognose werden zunächst aus den reisezweckspezifischen Fahrtenaufkommen des Modalwahlmodells über relationenspezifische Besetzungsgrade Pkw-Ströme bestimmt, die anschließend vom Umlegungsmodell in das Straßennetz verteilt werden. Als weitere Eingangsdaten dienen die Fahrzeugaufkommen der Regionalverkehre für Pkw und Lkw sowie die aus der Güterfernverkehrsmodellierung ermittelten Lkw-Fernverkehrsströme. Die resultierenden Belastungsmatrizen enthalten für jeden Netzabschnitt die durchschnittliche tägliche Kfz-Belastung. Aus Kfz-Belastung und Netzabschnittslänge werden die Fahrleistungen bestimmt.

Im Basisjahr 1992 haben Pkw auf den freien Strecken des Straßennetzes Baden-Württemberg 39,3 Mrd. Fahrzeugkilometer und Lkw 5,0 Mrd. Fahrzeugkilometer zurückgelegt (auf Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen). Diese Fahrleistungen verteilen sich je nach Fahrzeuggruppe unterschiedlich auf die verschiedenen Straßenklassen. Während ca. 50 % der Lkw-Fahrleistungen auf Bundesautobahnen erbracht werden, trifft dies nur für 38 % aller Pkw-Kilometer zu.

Unter den Bedingungen des Trendszenarios 2010 steigen die Pkw-Fahrleistungen von 1992 bis 2010 um knapp 19 % auf einen Wert von 46,7 Mrd. Demgegenüber wäre im Szenario H' der Bundesverkehrswegeplanung mit 45,9 Mrd. Fahrzeugkilometer, also 2 % weniger, zu rechnen.

In beiden Szenariofällen sind die Zuwächse im Autobahn- und Bundesstraßennetz überproportional stark. Mit den Maßnahmen der Grobszenarien kann der Anstieg der Pkw-Fahrleistungen bis 2010 gebremst werden. Die Steigerung gegenüber 1992 beträgt dabei nur noch etwa 8 % im Grobszenario 1 bzw. 2 % im Grobszenario 2. Insbesondere im Grobszenario 2 erweisen sich die Maßnahmen für das nachgeordnete und innerörtliche Straßennetz als besonders wirksam.

Die Lkw-Fahrleistungsprognosen 2010 ergeben einen Anstieg gegenüber 1992 um 36,7 % im Trendszenario (zum Vergleich: 33 % im H'-Szenario). Im Grobszenario 1 kann der Anstieg der Lkw-Fahrleistungen auf 21 % begrenzt werden, im Grobszenario 2 insbesondere aufgrund der deutlich erhöhten Auslastungsgrade mit knapp 3 % sogar fast auf den Ausgangswert 1992 zurückgeführt werden. Aufgrund des gegenüber dem Straßengüterfernverkehr deutlich höheren Anstiegs der Aufkommen im Straßengüternah- und -regionalverkehr sind die Fahrleistungssteigerungen des Trendszenarios 2010 im nachgeordneten Netz, insbesondere auf den Bundesstraßen, höher als auf den Bundesautobahnen. Da die Maßnahmenwirksamkeit im Straßengüterverkehr beim Nah- und Regionalverkehr gegenüber dem Fernverkehr als deutlich geringer angesehen wird, zeigt sich diese Tendenz in allen Prognoseszenarien. Der gegenüber den anderen Szenarien im Grobszenario 1 nochmals verstärkte Rückgang der Lkw-Fahrleistungen auf den Autobahnen ist in erster Linie auf Verdrängungseffekte auch des Regionalverkehrs durch die Annahmen zu Geschwindigkeitsbeschränkungen dieses Szenarios zu erklären. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die Entwicklung der Fahrleistung und des durchschnittlichen täglichen Verkehrs in Baden-Württemberg in den einzelnen Szenarien.

Tabelle 14-2: Pkw+Lkw-Fahrleistungen auf freien Strecken in Baden-Württemberg

Pkw-Fahrleistungen in Mio. km				
Szenario	Bundesautobahn	Bundesstraße	Landesstraße	Gesamt
1992	15.062	12.972	11.299	39.332
2010 Trend	18.383	15.486	12.852	46.721
2010 GS 1	16.914	13.446	12.038	42.398
2010 GS 2	18.108	11.615	10.384	40.107
Lkw-Fahrleistungen in Mio. km				
Szenario	Bundesautobahn	Bundesstraße	Landesstraße	Gesamt
1992	2.670	1.347	1.017	5.035
2010 Trend	3.513	2.001	1.368	6.882
2010 GS 1	2.835	1.931	1.327	6.093
2010 GS 2	2.490	1.626	1.061	5.177

Aus den Güterverkehrsaufkommen der Binnenschifffahrt wird in den weiteren Prognoseschritten die Verkehrsbelastung auf den Abschnitten des Wasserstraßennetzes und daraus resultierend die Güterverkehrsleistung der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg ermittelt.

Tabelle 14-3: Güterverkehrsleistungen der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg

Güterverkehrsleistung auf den Wasserstraßen in Baden-Württemberg					
Wasserstraße	1992 [Mio. tkm]	2010 Trend, GS1 [Mio. tkm]	Änderung gegenüber 1992	2010 GS2 [Mio. tkm]	Änderung gegenüber 1992
Oberhein	7.293	9.262	27,0%	9.535	30,7%
Neckar	1.518	1.690	11,4%	1.748	15,1%
Main	199	234	17,6%	256	28,5%
Summe	9.011	11.187	24,1%	11.539	28,1%

15 Ergebnisse der Modellierung von Umweltbelastungen am Beispiel Baden-Württemberg

15.1 Auswirkungen auf Natur und Landschaft

Die Auswirkung der Verkehrsinfrastruktur auf Natur und Landschaft lassen sich in einer netzweiten Analyse zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte in der Form von Risikoassessungen anhand von Indikatoren abschätzen. Als Indikatoren werden in diesem Projekt die Flächeninanspruchnahme, die Zerschneidung von Schutzgebieten und die Betroffenheit von Ausschlußräumen durch den Verkehrswegebau gewählt.

Flächeninanspruchnahme

Für die in den Netzmodellen enthaltenen Verkehrsnetze der Verkehrsträger Straße und Schiene wird die Flächeninanspruchnahme durch die Verkehrsinfrastruktur zunächst global über den Indikator Streckenlänge ermittelt.

Tabelle 15-1: Streckenlängen Straßennetzmodell Baden-Württemberg

Straßentypklasse	1992	2010	2010 GS 2	Differenz 1990 / 2010		Differenz 1992 / GS 2	
	Straßenlänge [km]			[km]	Prozent	[km]	Prozent
Planfrei	1.361	1.504	1.481	143	10,5%	120	8,8%
Sonst. Außerorts	11.235	11.562	11.458	327	2,9%	223	2,0%
Sonst. Innerorts	2.541	2.573	2.563	32	1,3%	22	0,9%
Summe	15.137	15.639	15.502	502	3,3%	365	2,4%

Tabelle 15-2: Streckenlängen Schienennetzmodell Baden-Württemberg

Trassenart	1992	2010	Differenz 1992 / 2010	
	Trassenlänge [km]		km	Prozent
konventionell	3.592	3.680	88	2,4%
Hochgeschwindigkeit	133	303	170	127,8%
Summe	3.725	3.983	258	6,9%

Durch den Verzicht auf den Neubau von nur gering belasteten Straßen im Grobszenario 2 können 137 km Straßenlänge gegenüber den anderen Szenarien eingespart werden. Der überwiegende Teil der Straßenneubauten bezieht sich auf Außerortsstrecken. Diese sollen zumeist bisherige Ortsdurchfahrten entlasten. Da diese Entlastung auf Kosten des Natur- und Landschaftsschutzes geschieht, müssen die einzelnen Projekte einer genauen Eingriffsprüfung, wie in Kapitel 5 beschrieben, unterzogen werden. Gleiches gilt für den Aus- und Neubau der übrigen Straßen sowie der Schienenverkehrswege, insbesondere der Hochgeschwindigkeitsstrecken.

Anhand der Streckenlänge und der Straßentypen kann als globaler Indikator für die Inanspruchnahme von Flächen durch Verkehrswege die versiegelte Fläche abgeleitet werden. Die Zunahme der durch Straßen versiegelten Fläche liegt mit 5,6% für 2010 und 4,6% im Grobszenario 2 deutlich über der Zunahme der Straßenlängen. Dieses ist durch die geplanten Ausbaumaßnahmen bedingt. Wird der in Kapitel 5 vorgeschlagene Entsiegelungskostenansatz auf die betrachteten Straßenflächen angewendet, so bedeutet der reduzierte Straßenneubau des Grobszenarios 2 eine Ersparnis von 103 Mio. DM.

Zerschneidung von Schutzgebieten

Die digitale Repräsentation der Verkehrsnetze und der Schutzgebiete Baden-Württembergs ermöglicht es, erste Aussagen über die Betroffenheit besonders empfindlicher Räume durch den Verkehrswegebau zu treffen. Durch die Überlagerung der Verkehrsnetze und der erfaßten Schutzgebiete wird die Gesamtlänge der durch diese Gebiete führenden Streckenabschnitte berechnet. Diese wird als Indikator für die Zerschneidung von Schutzgebieten herangezogen. Im Falle des Straßennetzes wird die Straßenfläche mit angegeben, um die Wirkungen des Ausbaus von Straßen ebenfalls zu erfassen. Durch die Verminderung des Straßenneubaus im Grobszenario 2 wird die zusätzliche Zerschneidung und Versiegelung von Schutzgebieten gegenüber dem Trendfall leicht reduziert (circa 1%), durch den Ausbau des Schienenverkehrsnetzes wird dagegen die Streckenlänge in Schutzgebieten um circa 2% leicht erhöht. Der Verkehrswegebau ist auch im Grobszenario 2 noch mit zusätzlichen Risiken für Natur und Landschaft verbunden. Eine quantitative Einschätzung dieser Risiken ist auf der Netzebene anhand des Zerschneidungsindikators nicht möglich. Erforderliche Abwehr- und Kompensationsmaßnahmen müssen für die Einzelprojekte nach dem in Kapitel 5 beschriebenen Verfahren quantifiziert und bewertet werden. Nachfolgend wird darüber hinaus ein Verfahren vorgestellt, das im Rahmen der Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte bereits auf der Netzebene eine Bewertung der Risiken des Verkehrswegebaus auf Ausschlußräume ermöglicht.

Risiken für Ausschlußräume

Die Inanspruchnahme von Flächen mit besonders erhaltenswerter naturräumlicher Ausstattung soll über die Definition von Ausschlußräumen (siehe Kapitel 5) bereits im frühestmöglichen Stadium der Verkehrsplanung vermieden werden. Dieser Grundsatz muß daher bei der Aufstellung eines umweltorientierten Fernverkehrskonzeptes berücksichtigt werden. Bei großräumigen Ausschlußgebieten kann die Vermeidung der Flächeninanspruchnahme durch den Verkehrswegebau nur durch entsprechend großräumige Umgehung oder durch den Verzicht auf diese Infrastruktur erreicht werden. In diesem Projekt wird beispielhaft auf die bereits in digitaler Form erfaßten Naturschutzgebiete des Landes Baden-Württemberg zurückgegriffen.

Für jedes Element des verwendeten Gitternetzes wird der Anteil an Naturschutzgebietsflächen berechnet. Liegt dieser Flächenanteil oberhalb eines definierten Wertes, ist mit erheblichen Risiken für die Betroffenheit eines Schutzgebietes durch den Verkehrswegebau zu rechnen. Folgende Klasseneinteilung für die Rasterelemente wird daher vorgeschlagen:

Tabelle 15-3: Klasseneinteilung zur Abschätzung des Risikos für Naturschutzgebiete durch Verkehrswegebau

Klasse	Anteil Naturschutz- gebietsflächen	Annahmen zur Einschätzung des Risikos für Wirkungen auf Naturschutzgebiete
0	0 %	kein Risiko
1	0 % bis 10 %	geringes Risiko
2	10 % bis 25 %	mittleres Risiko, auf Projektebene vermeidbar
3	25 % bis 50 %	hohes Risiko, erhöhter Aufwand zur Vermeidung
4	über 50 %	beträchtliches Risiko, kaum vermeidbar

Durch Überlagerung der Verkehrswegenetze mit den so klassifizierten Rasterelementen lassen sich dann die Infrastrukturprojekte identifizieren, für die bereits auf der Netzebene ein hohes Risiko der Flächeninanspruchnahme von Ausschlußräumen festgestellt werden kann. Eine Bewertung des Risikos wird nun für diejenigen Aus- und Neubaustrecken vorgenommen, die ein Raster der Klassen 3 oder 4 berühren. Es wird vorausgesetzt, daß in Ausschlußräumen kein weiterer **Straßenneubau** erfolgen darf. Durch die Umgehung der betroffenen Räume ergeben sich je betroffenem Raster der Klasse 3 Mehrkosten für den Neubau von rund 4 km zusätzlicher Straße, bei der Klasse 4 durch Zurechnung von Pufferzonen für etwa 7,5 km Straßenneubau. Diese werden dann mit den Investitionskosten des betreffenden Straßentyps monetär bewertet.

Beim **Straßenausbau**, der in als Ausschlußgebiete gekennzeichnete Raster fällt, kann die Vermeidung von Risiken nur durch entsprechend ausgestaltete Ausbauvarianten und Abwehrmaßnahmen erfolgen. Bei Rastern der Klasse 4 ergibt sich auf der gesamten Ausbaulänge plus jeweils zwei Kilometern an den Enden ein erhöhter Investitionsaufwand. Dieser wird mit 20 % der anfallenden Baukosten für diese Strecke bewertet. Bei Rastern der Klasse 3 werden die zusätzlichen Kosten für die halbe Länge der Ausbaustrecke plus ein mal zwei Kilometer angesetzt.

Aus der Überlagerung des Straßennetzes mit den Ausschlußräumen und der monetären Bewertung nach den vorgestellten Ansätzen für Neu- und Ausbaumaßnahmen ergeben sich die in Tabelle 15-4 zusammengefaßten Werte. Durch die Annahmen zu Neubaumaßnahmen im Grobszenario 1 ergeben sich 19 km zusätzlicher Umgehungslänge, im Grobszenario 2 wird diese auf 15 km reduziert. In beiden Szenarien muß auf insgesamt 35 km Straßenlänge mit erhöhten Aufwendungen für Ausbaumaßnahmen gerechnet werden.

Durch die geänderten Annahmen zur Verkehrsinfrastruktur, insbesondere des Straßenneubaus, ändern sich ebenfalls die damit verbundenen Nutzungsstrukturen. Durch die vergrößerten Streckenlängen ändern sich die streckenabhängigen Kosten der potentiellen Reisenden. Dadurch ergeben sich im Grobszenario 1 weitere 31 Mio. DM, im Grobszenario 2 weitere 25 Mio. DM zusätzlicher Nutzerkosten (Betriebs- und Zeitkosten).

Tabelle 15-4: Zusatzkosten für die Vermeidung von Risiken für Ausschlußräume durch den Straßenneu- und ausbau

2010	2010 Trend, GS1			2010 Grobszenario 2		
	Ausbau- strecken	Neubau- strecken	Summe	Ausbau- strecken	Neubau- strecken	Summe
	Streckenlänge [km]			Streckenlänge [km]		
Klasse 3	15,6	7,8	23,4	15,6	-	15,6
Klasse 4	7,1	10,8	17,9	7,1	10,8	17,9
Summe	22,7	18,6	41,3	22,7	10,8	33,5
	Zusatzkosten [Mio. DM/a]			Zusatzkosten [Mio. DM/a]		
Investitionen	7,5	10,2	48,8	7,5	8,1	15,6
Nutzung		31,1	31,1		24,6	24,6
Summe	7,5	41,3	79,9	7,5	32,6	40,2

Die hier berechneten Kosten für Maßnahmen zur Vermeidung des Risikos für Ausschlußräume bilden eine Kostenuntergrenze zur Beurteilung des gesamtwirtschaftlich günstigsten Szenarios, bei dem alle Umweltziele eingehalten werden.

Bei der Bewertung der Einzelprojekte ist weiterhin das in Kapitel 5 vorgestellte Verfahren mit den entsprechenden Kompensationskosten anzuwenden. Ein Verfahren wie das oben beschriebene erzwingt die Berücksichtigung der durch den Natur- und Landschaftsschutz auftretenden Kosten bereits bei der Zusammenstellung von Infrastrukturplänen.

15.2 Schadstoffbelastung

Zur Ermittlung der Schadstoffbelastungen ist ein mehrstufiges Verfahren erforderlich. Zunächst müssen die in den Maßnahmen-szenarien getroffenen Annahmen zur technologischen Entwicklung in Emissionsfaktoren für den Straßen-, den Schienen- sowie den Schiffsverkehr umgesetzt werden. Mit diesen können anschließend die Emissionsmengen sowohl netzweit als auch für jede Kante des Straßennetzes bestimmt werden. Die kantenfein vorliegenden Emissionsmengen gehen dann in die Immissionsmodellierung für Partikel und Benzol ein.

Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für den *Straßenverkehr* werden die in den Maßnahmen-szenarien getroffenen Annahmen zur technologischen Entwicklung in dem Programm TREMOD (siehe Kapitel 12) operationalisiert. Insbesondere werden folgende Entwicklungen für die Parameter 'Einführungszeiträume für neue Fahrzeugschichten' und 'Kraftstoffverbrauch' unterstellt:

Tabelle 15-5: Annahmen zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr

	Einführungszeiträume für neue Fahrzeugschichten	Kraftstoffverbrauch
Trend-szenario:	Bis 1999 werden alle Fahrzeuge der Kategorien leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge und Busse sowie die Diesel-Pkw gemäß der Stufe EURO 2 zugelassen, ab 2000 gemäß der Stufe EURO 3. Bei motorisierten Zweirädern erfolgt keine Verbesserung im Emissionsverhalten. Bei Otto-Fahrzeugen werden 1998 50%, 1999 100% der Fahrzeuge nach EURO 3 zugelassen. EURO 4 ab 2000 50%, 2001 70%, 2002 90% und 2003 100 % der Neufahrzeuge.	Ab 1996 verbrauchen alle neuzugelassenen Pkw und leichte Nutzfahrzeuge pro Zulassungsjahrgang 1% weniger Kraftstoff als die Neuzulassungen im Vorjahr. Schwere Nutzfahrzeuge und Busse der Stufe EURO 1 verbrauchen 5% weniger Kraftstoff als die Fahrzeuge der Baujahre bis 1990. Fahrzeuge der Stufen EURO 2 und 3 haben keine weitere Verbesserung im Durchschnittsverbrauch. Bei motorisierten Zweirädern erfolgt keine Verbesserung im Verbrauchsverhalten.
Grob-szenario 1	Abweichend vom Trendszenario werden bis 1999 alle Fahrzeuge der Kategorien Diesel-Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge und Busse gemäß der Stufe EURO 2 zugelassen, ab 2000 gemäß der Stufe EURO 3, ab 2005 gemäß der Stufe EURO 4. Bei motorisierten Zweirädern erfolgt keine Verbesserung im Emissionsverhalten.	1996 verbrauchen alle neuzugelassenen Pkw und leichte Nutzfahrzeuge 1% weniger Kraftstoff als die Neuzulassungen im Vorjahr, 1997 sind es 2 %, 1998 4% und in 1999 und allen Folgejahren 6%. Schwere Nutzfahrzeuge und Busse der Stufe EURO 1 verbrauchen 5% weniger Kraftstoff als die Fahrzeuge der Baujahre bis 1990. Bei Fahrzeugen der Stufen EURO 2 liegt die Absenkung bei 8%, EURO 3 bei 10% und EURO 4 bei 13%, immer bezogen auf die Fahrzeuge der Baujahre bis 1990. Bei motorisierten Zweirädern erfolgt keine Verbesserung im Verbrauchsverhalten.
Grob-szenario 2	Wie Grobszenario 1. Zusätzlich wird die Wirkung der Maßnahme „Außerbetriebsetzung von Fahrzeugen, die nicht der EURO 2 - Norm entsprechen“, modelliert.	Entspricht Grobszenario 1

Die Kraftstoffverbrauchsannahmen für das „Trend-Szenario“ entsprechen in etwa den Annahmen, wie sie in TREMOD für die „Basisszenarien Deutschland“ angesetzt werden. In den Gestaltungsszenarien wird das im Generalverkehrsplan Baden-Württemberg unterstellte Ziel eines durchschnittlichen Verbrauchs von 5 l/100 km Otto- bzw. 4 l/100 km Dieselmotoren übernommen.

Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren für den *Schieneverkehr* wird zunächst der Energieverbrauch der Eisenbahnen in TREMOD auf Basis der Betriebsartenrechnung der Deutschen Bundesbahn für 1992 abgeleitet. Die Entwicklung des Energieverbrauchs wird analog zu den Annahmen im GVP Baden-Württemberg modelliert. Die Änderungen fallen recht moderat aus, da unterstellt wird, daß technische Verbesserungen und die Reduzierung der Fahrzeuggewichte in Konkurrenz stehen zu höheren Fahrgeschwindigkeiten, insbesondere im Personennahverkehr. Die direkten Emissionsfaktoren der dieselbetriebenen Bahnen werden analog

zu früheren IFEU-Arbeiten angesetzt⁴⁴, da aktuellere Werte mit der Deutschen Bahn AG für die Berechnungen in TREMOD noch abgestimmt werden müssen. Die Emissionsfaktoren für die Dieseltraktion in den Szenarien 2010 wurden - außer bei Partikeln - in Anlehnung an den GVP-Baden-Württemberg formuliert. Die Emissionsfaktoren der Bahnstrombereitstellung in g/kWh ergeben sich aus nach Brennstoffen differenzierten Brennstoffeinsatz-bezogenen Emissionsfaktoren in g/MJ, den eingesetzten Mengen der einzelnen Brennstoffe und der erzeugten Strommenge. Änderungen der Emissionsfaktoren in g/kWh zwischen 1992 und 2010 resultieren im wesentlichen aus Änderungen des Brennstoffplits und der Kraftwerks- und Übertragungswirkungsgrade.

Die Emissionsfaktoren für *Binnenschiffe* werden für vier Schiffstypen unterschiedlicher Tragfähigkeit ermittelt. Grundsätzlich hängt die Höhe der Emissionen einer Reihe von Schadstoffen mit Parametern wie Motortechnik, Nennleistung und Motorauslastung zusammen. Die Datenlage gestattet eine solche Differenzierung jedoch nur ansatzweise. Aus diesem Grunde werden die Emissionsfaktoren auf den Verbrauch (in g/l Diesel) bezogen ermittelt. Dabei werden Emissionsfaktoren für 1992, für das Trend- und ein Verminderungsszenario 2010 bestimmt. Der zugrundeliegende Kraftstoffverbrauch der Binnenschiffe wird für die gleichen Bezugsjahre differenziert nach vier Schiffstypen, Berg- und Talfahrt, beladen und leer sowie beispielhaft für den Rhein und den Neckar ermittelt.

Emissionen des Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsverkehrs

Aus den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Emissionsfaktoren und den Ergebnissen der Verkehrsprognose werden die Emissionsmengen des Straßen-, Schienen-, und Binnenschiffsverkehrs bestimmt. Die Entwicklung der Emissionsmengen ist in Tabelle 15-7 zusammengefaßt.

⁴⁴ IFEU 1993a Knörr, W. und Höpfner, U. IFEU: Arbeitspaket „Auswirkungen auf die Umwelt“ im Rahmen des Gesamtprojekts Generalverkehrsplan Baden-Württemberg; im Auftrag des IWW Karlsruhe / Verkehrsministerium Baden-Württemberg, Heidelberg.

Tabelle 15-6: Emissionen des Straßen- und Eisenbahnverkehrs in Baden Württemberg

Schad- stoff	Verkehrs- art	Verkehrs- träger	Emissionen [1000 t/a]					prozentuale Veränderung 1992 zu				
			1992	2010 Trend	2010 H'- Szenario	2010 GS 1	2010 GS 2	Trend	H'-Szen.	GS 1	GS 2	
CO ₂	Personen	Straße	12.769	12.871	12.694	8.416	7.618	1%	-1%	-34%	-40%	
		Bahn	183	284	288	354	367	55%	58%	94%	101%	
	Güter	Straße	5.204	6.575	6.402	5.300	4.402	26%	23%	2%	-15%	
		Bahn	340	522	538	564	551	53%	58%	66%	62%	
		Schif	263	280	280	219	217	7%	7%	-17%	-17%	
	Vorkette	Straße	1.261	1.144	1.122	712	722	-9%	-11%	-44%	-43%	
		Schif	17	15	15	12	12	-11%	-11%	-30%	-31%	
Summe			20.036	21.692	21.340	15.576	13.888	8%	7%	-22%	-31%	
NO _x	Personen	Straße	85,2	18,0	17,7	13,2	10,5	-79%	-79%	-84%	-88%	
		Bahn	1,8	2,5	2,5	1,8	1,8	40%	41%	3%	2%	
	Güter	Straße	54,5	31,9	31,0	19,6	16,7	-41%	-43%	-64%	-69%	
		Bahn	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	35%	37%	23%	31%	
		Schif	5,0	5,3	5,3	2,9	2,9	7%	7%	-42%	-42%	
	Vorkette	Straße	1,5	1,2	1,2	0,7	0,7	-21%	-22%	-51%	-50%	
		Schif	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	37%	-24%	7%	-41%	
Summe			148,7	59,8	58,6	39,2	33,5	-60%	-61%	-74%	-77%	
HC	Personen	Straße	54,06	8,91	8,78	7,99	7,57	-84%	-84%	-85%	-86%	
		Bahn	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16	15%	15%	13%	13%	
	Güter	Straße	7,99	4,10	3,98	3,33	2,81	-49%	-50%	-58%	-65%	
		Bahn	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	12%	14%	28%	38%	
		Schif	0,40	0,34	0,34	0,27	0,26	-15%	-15%	-33%	-34%	
	Vorkette	Straße	11,04	4,43	4,35	2,77	2,86	-60%	-61%	-75%	-74%	
		Schif	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	-31%	-31%	-46%	-47%	
Summe			73,7	18,0	17,7	14,6	13,8	-76%	-76%	-80%	-81%	
Ruß*	Personen	Straße	0,919	0,622	0,615	0,392	0,208	-32%	-33%	-57%	-77%	
		Bahn	0,046	0,060	0,060	0,039	0,039	31%	31%	-14%	-15%	
	Güter	Straße	1,378	0,420	0,408	0,277	0,234	-70%	-70%	-80%	-83%	
		Bahn	0,021	0,026	0,027	0,020	0,021	25%	26%	-6%	2%	
		Schif	0,133	0,085	0,085	0,055	0,055	-36%	-36%	-58%	-59%	
	Summe			2,497	1,213	1,194	0,783	0,557	-51%	-52%	-69%	-78%
	Benzol	Personen	Straße	2,979	0,414	0,408	0,376	0,371	-86%	-86%	-87%	-88%
Bahn			0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	17%	17%	15%	15%	
Güter		Straße	0,188	0,080	0,078	0,064	0,054	-57%	-59%	-66%	-71%	
		Bahn	0,001	0,001	0,001	0,005	0,007	13%	14%	350%	527%	
		Schif	0,008	0,007	0,007	0,005	0,005	-15%	-15%	-33%	-34%	
Vorkette		Straße	0,098	0,035	0,034	0,022	0,023	-64%	-65%	-77%	-77%	
		Schif	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	-29%	-29%	-44%	-45%	
Summe			3,179	0,505	0,496	0,453	0,440	-84%	-84%	-86%	-86%	

*gerechnet mit einem Anteil der Rußpartikel von 50% an den gesamten Dieselpartikelemissionen des Straßenverkehrs

sowie 80% an den Partikelemissionen des Schienen- und entsprechend des Binnenschiffsverkehrs

Anhand dieser Ergebnisse läßt sich nun die Erreichung der in Kapitel 10 formulierten Emissionsminderungsziele überprüfen:

Tabelle 15-7: Vergleich der Zielwerte mit den Emissionsprognosen der Szenarien

Schadstoff	Ziel	Trend-szenario	Ergebnis	
			Grobszenario 1	Grobszenario 2
CO ₂	- 30%	+9%	- 21%	- 31%
NO _x	- 80%	-63%	- 74%	- 77%
HC	- 70%	-79%	- 81%	- 81%

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die dominierenden Emissionen des Straßenverkehrs durch Verlagerung von Verkehren auf die Bahn und durch technische Maßnahmen so weit vermindert werden können, daß mit dem Grobszenario 2 bezogen auf die globalen zu bewertenden Emissionen ein weitgehend gültiges Fernverkehrskonzept vorliegt.

Schadstoffkonzentrationen

Wie in Kapitel 12 vorgestellt, wird in diesem Forschungsvorhaben eine Immissionsmodellierung für Luftschadstoffe vorgenommen, um die Einhaltung der als Konzentrationswerte formulierten Umweltqualitätsziele für Benzol und Ruß prüfen zu können. Hierfür werden sowohl die Hintergrund- als auch die Zusatzbelastung am Straßenrand im Modell ermittelt. Zur Prognose der Hintergrundbelastung werden gebietstypisch vorliegende Konzentrationswerte über die Emissionsentwicklung für die Szenarien hochgerechnet. Die Zusatzbelastung am Straßenrand wird getrennt für Außerorts- und Innerortsstrecken nach dem in Kapitel 12 vorgestellten Verfahren modelliert.

Die in den Grobszenarien erreichte Minderung der Partikelkonzentrationen führt dazu, daß in der überwiegenden Mehrheit der betrachteten Rastergebiete das Umweltziel $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht wird (siehe Abbildung 15-1). Im Grobszenario 2 verbleiben circa 50 Gebiete des Rasters, an denen weitere Maßnahmen zur Minderung der Partikelkonzentrationen getroffen werden müssen. Dieses betrifft im wesentlichen die Stadtkerne und städtischen Bereiche, wo die Hintergrundbelastung bereits einen großen Anteil an den vorhandenen Konzentrationen erreicht. Der für die Benzolimmissionen angestrebte Zielwert von $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird bereits im Trendszenario 2010 im überwiegenden Teil der Gebiete erreicht. Im Grobszenario 2 verbleiben lediglich 4 Rasterelemente in den Stadtkernbereichen von Karlsruhe und Stuttgart, bei denen weitere Maßnahmen zur Schadstoffabsenkung ergriffen werden müssen.

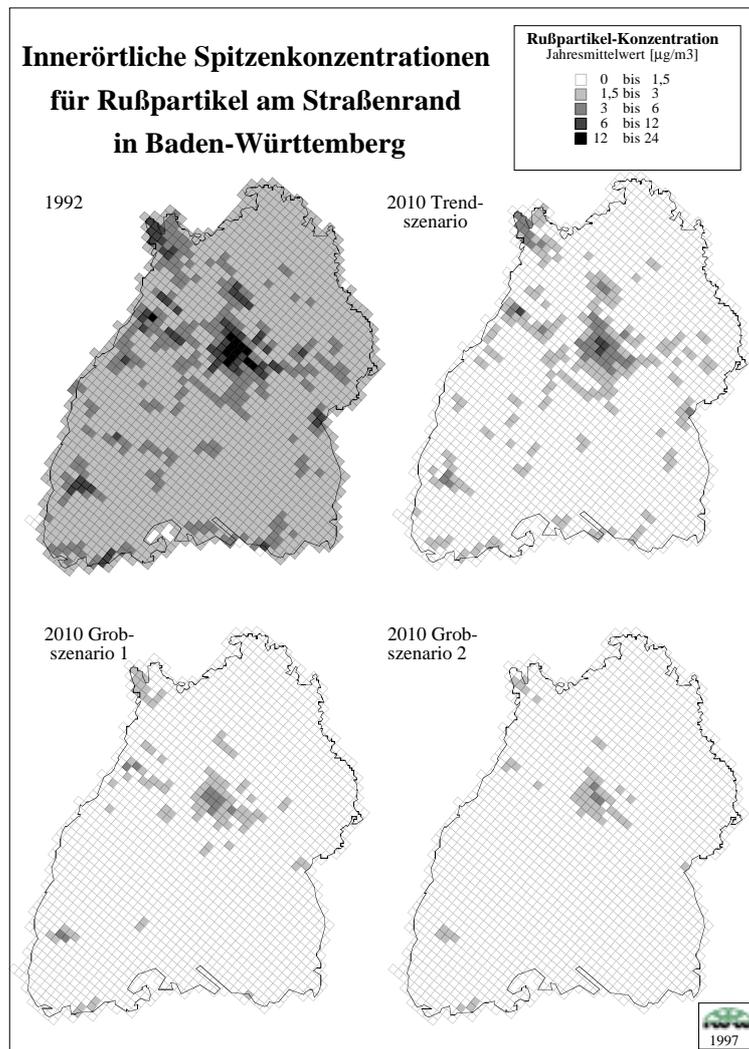


Abbildung 15-1: Partikelkonzentrationen in den Szenarien

15.3 Lärm

Wie bei den Schadstoffkonzentrationen handelt es sich bei Lärm um eine lokale Umweltbelastung, für deren Modellierung auf der Netzebene pauschale "Screening-Modelle" herangezogen werden. In diesem Forschungsvorhaben werden für den Straßen- und Eisenbahnverkehr streckenbezogene Mittelungspegel der Lärmbelastung sowie daraus die durch Lärm oberhalb von festgelegten Zielwerten betroffene Einwohnerzahl ermittelt. Das aggregierte Ergebnis für Baden-Württemberg ist in Tabelle 15-8 und Tabelle 15-9 dargestellt.

Tabelle 15-8: Lärmbelastung durch den Straßenverkehr an Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg

Lärmbelastung	1992	2010 Trendszenario	2010 H'- Szenario	2010 Grobszenario 1	2010 Grobszenario 2
Betroffene Einwohner					
= 65 dB(A) tags	1.069.499	1.204.443	1.199.662	977.705	720.246
= 50 dB(A) nachts	2.498.657	2.627.789	2.612.878	2.420.373	2.109.103
Anteil Betroffener an der Gesamtbevölkerung					
= 65 dB(A) tags	10,4%	11,8%	11,7%	9,5%	7,0%
= 50 dB(A) nachts	24,4%	25,6%	25,5%	23,6%	20,6%
Differenz zu 1992					
= 65 dB(A) tags		12,6%	12,2%	-8,6%	-32,7%
= 50 dB(A) nachts		5,2%	4,6%	-3,1%	-15,6%

Tabelle 15-9: Lärmbelastung durch den Schienenverkehr in Baden-Württemberg

Lärmbelastung	2010 Trendszenario	2010 Grobszenario 1	2010 Grobszenario 2
Betroffene Einwohner			
= 65 dB(A) tags	174.039	174.754	172.377
= 50 dB(A) nachts	469.018	507.323	465.169
Anteil Betroffener an der Gesamtbevölkerung			
= 65 dB(A) tags	1,7%	1,7%	1,7%
= 50 dB(A) nachts	4,6%	5,0%	4,5%
Differenz zum Trendszenario			
= 65 dB(A) tags		0,4%	-1,0%
= 50 dB(A) nachts		8,2%	-0,8%

Die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr kann in einer großen Anzahl an Gebieten durch die im Grobszenario 2 angenommenen Maßnahmen unter den angestrebten Zielpiegel von 65dB(A) tagsüber gesenkt werden (siehe Abbildung 15-2). In den übrigen Gebieten müssen lokal angepasste Maßnahmen zur Erreichung dieser Mindestgröße für die Lebensqualität ergriffen werden. Durch die starke Erhöhung des Schienenverkehrs in den Grobszenarien 1 und 2 steigt die Lärmbelastung der Bevölkerung an den betroffenen Schienenstrecken an. Im Grobszenario 2 kann diese Belastung durch die verbesserte Ausstattung der Züge zum Teil kompensiert werden, im übrigen Netz kommt es zu Entlastungen, so daß sich insgesamt eine Minderung der durch Schienenverkehrslärm betroffenen Einwohner ergibt.

Abbildung 15-2: Lärmbelastung durch den Straßenverkehr in Baden-Württemberg

16 Ökonomische Wirkungen und Opportunitätskosten

Basierend auf den Ergebnissen der Wirkungsanalyse können die Opportunitätskosten der Einhaltung von Umweltzielen nach dem in Kapitel 13 beschriebenen Verfahren bestimmt werden. Die erste Aufgabe besteht darin, die Zielerreichung für die einzelnen Umweltbelastungen abzuprüfen. Werden bereits im Trendszenario die Zielwerte eingehalten, so entstehen keine Opportunitätskosten, und die Berechnung der Umweltkosten des Schadstoffes erfolgt ausschließlich anhand der direkten Kosten nach dem Schadensansatz bzw. Willingness-To-Pay-Ansatz aus dem ersten Projektteil. Dieser Fall tritt für die HC-Emissionen ein. Für alle anderen Umweltbelastungen werden im folgenden die Opportunitätskosten bestimmt. Dabei werden 3 Schritte durchgeführt:

1. Bewertung der Wirtschaftlichkeit
2. Gewichtung der Umweltbelastung anhand der Zielerreichung
3. Zuordnung von Kosten zu Umweltbelastungen

16.1 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Basierend auf dem Wertgerüst der BVWP'92, das zunächst auf die Preise des Jahres 1992 hochgerechnet wird, werden für die Grobszenarien 1 und 2 die Änderungen der Beförderungskosten, der Kosten der Erreichbarkeit von Zielen, der Unfallkosten und der Infrastrukturkosten gegenüber dem Trendszenario errechnet. Zusätzlich werden die mit Veränderungen des Mobilitätsverhaltens verbundenen Nutzenverluste monetär bewertet.

Die berechneten Kostenkomponenten sind in Tabelle 16-1 zusammengestellt, um die gesamten, mit den Maßnahmen der Grobszenarien verbundenen ökonomischen Wirkungen abzuschätzen. Die Kostensteigerung im Grobszenario 2 fällt gegenüber dem Grobszenario 1 verhältnismäßig gering aus. Die Ursache ist darin zu sehen, daß im zweiten Grobszenario angestrebt wird, die ökonomischen Nachteile durch die Szenarienmaßnahmen möglichst zu reduzieren. So können z.B. aufgrund der angepaßten Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr die Zeitverluste des Grobszenarios 1 im Grobszenario 2 teilweise wieder kompensiert werden.

Tabelle 16-1: Zusammenstellung der Kostenkomponenten für die Szenarien

Komponente	Verkehrsträger	2010	2010	2010	GS 1 -	GS 2 -	GS 2 -
		Trend-szenario	GS 1	GS 2	Trends.	Trends.	GS 1
Kosten [Mio. DM]				Kostendifferenz [Mio. DM]			
Beförderungskosten	Bahn	2.764	4.315	4.307	1.551	1.543	-8
	Straße	19.896	18.946	19.091	-950	-805	145
	Schiff	450	423	427	-26	-23	4
Zeitkosten	Bahn	2.013	4.343	4.297	2.331	2.284	-47
	Straße	7.763	6.662	6.443	-1.101	-1.320	-219
Unfallkosten	Bahn	85	143	140	58	55	-4

	Straße	3.575	2.788	2.683	-787	-892	-105
Instandhaltung	Straße	532	532	527	0	-5	-5
Entsiegelung	Straße	501	501	398	0	-103	-103
Infrastrukturkosten	Int. Taktf.				95	95	0
	GVZ					2	2
	Straße					-81	-81
Mobilität	Freizeit				227	685	458
	Pendler					7	7
Ausschlußräume	Straße	80	80	40	0	-40	-40
Summe ohne Ausschlußräume					1.397	1.442	45
Summe aller Szenarienkosten					1.397	1.403	5

16.2 Ermittlung der Schadstoffgewichtung

Die in den Grobszenarien formulierten und im vorangegangenen Abschnitt monetär bewerteten globalen Maßnahmen zielen vorrangig auf die Verminderung von Schadstoffbelastungen. Lärm als lokales Problem erfordert ein eigenständiges Vorgehen. Daher werden die Kosten der globalen Maßnahmen ausschließlich den Luftschadstoffen zugeordnet.

Im folgenden Schritt werden für jeden Schadstoff die prozentualen Abweichungen zwischen Zielwert und Istwert im Trendszenario bestimmt. Die Höhe der prozentualen Zielwertüberschreitung dient als Gewichtung zur Bestimmung des Kostenanteils des jeweiligen Schadstoffes. Dabei wird das Minderungsziel für die Partikel- und Benzolmissionen mit der Anzahl der mit der Zielüberschreitung gewichteten Rasterelemente [$R_{\mu g}$] angegeben.

Tabelle 16-2: Gewichtung der Schadstoffe und Kostenzuordnung

Schadstoff	Einheit	Minderungsziel	Ergebnis Trend	Abweichung	Gewichtung	Kosten Schadstoff [Mio. DM]
CO ₂	Emissionen	-30%	8%	128%	0,77	1.081,1
NO _x	Emissionen	-80%	-60%	25%	0,15	214,2
Ruß	R $_{\mu g}$	2583	2261	12%	0,08	105,8
Benzol	R $_{\mu g}$	5244	5235	0%	0,001	1,4
HC	Emissionen	-70%	-76%	-	-	-
Gesamt					1,00	1.402,5

Je größer die Zielwertüberschreitung, desto größer der Kostenanteil des Schadstoffes. Da bei den HC-Emissionen bereits im Trendszenario das Minderungsziel erreicht ist, werden diesen keine Opportunitätskosten zugewiesen. Das Ausmaß der Zielwertüberschreitung ist zugleich ein Maß für die Bedeutung von Reduktionsmaßnahmen für diesen Schadstoff. Daher werden die Schadstoffe in der Reihenfolge und mit dem Gewicht ihrer Zielwertüberschreitung bei der Zuordnung der Opportunitätskosten berücksichtigt.

16.3 Zuordnung belastungsspezifischer Opportunitätskosten

In dem nun folgenden Verfahrensschritt werden die Schadstoffüberschreitungen einzeln und nacheinander in der soeben ermittelten Reihenfolge untersucht. Die in Kapitel 13 entwickelten Maßnahmenkategorien werden nach dem Least-Cost-Prinzip nacheinander solange angewendet, bis das Umweltziel für die betrachtete Belastung eingehalten wird. Bei jeder Belastung werden die bereits bei den vorher betrachteten Schadstoffen getroffenen Maßnahmen mitberücksichtigt. Tabelle 16-3 faßt die berechneten Kostensätze nach Kategorien und Umweltbelastungen zusammen.

Die Kosten zur Erreichung des Zieles, die verkehrsbezogenen **CO₂-Emissionen** um 30% bis zum Jahr 2010 zu senken, fallen niedriger aus als die in Kapitel 3 angegebenen Kosten von 400 DM/Tonne CO₂. Dies bedeutet, daß die hierfür notwendigen Maßnahmen zur Minderung des Kraftstoffverbrauchs trotz der damit verbundenen Eingriffe ökonomisch relativ günstig sind. Wird das Minderungsziel im Hinblick auf die inter- und intragenerationelle Fairneß schärfer gesetzt, z.B. die Erreichung einer 80%igen Minderung bis zum Jahre 2050, werden die Kosten ungleich höher ausfallen, da dann entweder starke Änderungen des Mobilitätsverhaltens notwendig werden oder bisher noch nicht verfügbare Technologien unter hohem Kapitaleinsatz entwickelt und eingesetzt werden müssen.

Tabelle 16-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Opportunitätskostenberechnung

Umwelt- effekt	Einheit	Zielvergleich nach Kategorie						
		Trend	1,2 / 6	3	4	5	7	8
CO ₂	Emissionsminderung	8%	-31%					
NO _x	Emissionsminderung	-60%	-77%	-	-	-80%		
HC	Emissionsminderung	-76%						
Partikel	gewichtete Rasterelemente	323	44	39	-	0		
Benzol	gewichtete Rasterelemente	9	5	0				
Lärm Straße	>65 dB(A) belastete Einwohner in Tausend	1.204	720				306	0
Lärm Bahn	>65 dB(A) belastete Einwohner in Tausend	174	172				85	0
Umwelt- effekt	Einheit	Kostensatz nach Kategorie						
		direkt	1,2 / 6	3	4	5	7	8
CO ₂	DM je Tonne Emission	400	177					
NO _x	DM je Tonne Emission	406	10.375	-	-	7.082		
HC	DM je Tonne Emission	526						
Partikel	DM je Tonne Emission innerorts und Mio. Einwohner	1.750	800	-	-	1.500		
Benzol	DM je Tonne Emission innerorts und Mio. Einwohner	100	1.900	0				
Lärm Straße	DM je Einwohner an Autobahnen		41	-	-		68	2.212
	Außerortsstraßen		41	-	-		68	3.547
	Innerortsstraßen		41	-	-		68	5.215
Lärm Bahn	DM je Einwohner		4.420	-	-		5.245	11.015

Da im Grobszenario 2 das Minderungsziel von 80 % für die **NO_x-Emissionen** noch nicht erreicht wird, müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden. Entsprechend Kapitel 13 folgt nun nach dem Least-Cost-Principle die Maßnahmenkategorie 4, in der überprüft wird, ob die Minderung in anderen Sektoren mit geringeren Kosten erreicht werden kann, als im Verkehrssektor. Um das Opportunitätskostenverfahren auch in den weiteren Verfahrensschritten vorzustellen, wird angenommen, daß dies nicht der Fall sei. Damit kommt die Maßnahmenkategorie 5 zum Tragen. Das bedeutet, daß über Einschränkungen der Mobilität durch Verzicht auf Fahrten oder Reduktion von Fahrtweiten die Emissionen von NO_x weiter gesenkt werden. Hieraus folgt ein Opportunitätskostensatz von 17.850 DM je Tonne NO_x.

Zur Bewertung der **Partikelkonzentrationen** werden zunächst die Szenarienkosten nach Kategorie 6 auf die mit der Pegelüberschreitung gewichteten Rasterelemente verteilt. Aus den Fahrleistungsabsenkungen durch die Emissionsminderungen der Maßnahmenkategorie 5 für NO_x ergibt sich bereits eine Absenkung der Spitzenkonzentrationen in den Rasterelementen um 13 %, so daß 38,5 konzentrationsgewichtete Rasterelemente verbleiben, in denen weitere Maßnahmen zur Schadstoffminderung ergriffen werden müssen. Diese Reduktion wird über die Verminderung

von Fahrten im innerörtlichen Bereich erreicht und entsprechend monetär bewertet. Damit ergeben sich folgende rasterspezifischen Kostensätze für die Bewertung von Einzelprojekten:

Tabelle 16-4: Kostensätze der Partikelbelastungen bei der Projektbewertung

	Direkte Kosten	Oppor- tunitäts- kosten 1	Oppor- tunitäts- kosten 2	Summe
[DM/(Tonne Dieselruß * Mio. Einwohner)]				
1. Projekte in Rastern, in denen im Trend der Zielpegel von 1,5 µg/m ³ eingehalten wird	1.750,-	-	-	1.750,-
2. Projekte in Rastern, in denen erst im Grobszenario 2 der Zielpegel von 1,5 µg/m ³ eingehalten wird	1.750,-	800,-	-	2.550,-
3. Projekte in Rastern, bei denen noch im Grobszenario 2 der Zielpegel überschritten wird	1.750,-	800,-	1.500,-	4.050,-

Das Vorgehen bei der Bestimmung von Opportunitätskosten der **Benzolbelastung** entspricht dem Ansatz für die Partikel mit dem Unterschied, daß die durch die Minderung der Partikelbelastungen erreichten Konzentrationsminderungen mitberücksichtigt werden. Nach dieser Minderung tritt in keinem der Rasterfelder mehr eine Zielpegelüberschreitung auf, so daß lediglich die spezifischen Minderungskosten des Grobszenarios 2 angewendet werden.

Nach Berücksichtigung der Maßnahmenwirkungen des Grobszenarios 2 verbleiben weiterhin Überschreitungen des angestrebten Zielpegels der **Lärmbelastung** von 65 dB(A) tagsüber. Das Ziel ist es, mit weiteren Maßnahmen die Anzahl der Einwohner, die einer Lärmbelastung über dem Zielpegel ausgesetzt sind, auf Null zu reduzieren. Die Bestimmung der Opportunitätskosten erfolgt demnach entsprechend der in Kapitel 13 beschriebenen Maßnahmenkategorien 1+2, 7 und 8. Bei Zielpegelüberschreitungen um ein bestimmtes Maß müssen dann die angegebenen Kostensätze in der in Tabelle 16-5 aufgeführten Staffelung angesetzt werden.

Tabelle 16-5: Kostensätze zur Bewertung der Lärmbelastungen

zu erreichende Minderung	Kosten der Minderung [DM je über 65dB(A) belasteten Einwohner]			Schiene
	Straße			
	Autobahnen	Außerorts- straßen	Innerortsstraßen	
2 dB(A)	41	41	41	4.420
weitere 3 dB(A)	68	68	68	5.245
alle weiteren	2.212	3.547	5.215	11.015

Für die Bewertung des Lärms außerhalb von Wohnungen können diese Kostensätze dann in das in Kapitel 4 beschriebene Verfahren als Referenzkostensätze bei Zielpiegelüberschreitungen eingesetzt werden.

17 Zusammenfassung des Verfahrensvorschlags

17.1 Verfahren zur Aufstellung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte

Die Schritte für die Entwicklung umweltorientierter Fernverkehrskonzepte ergeben sich aus dem in Abbildung 9-1 dargestellten zusammenfassenden Verfahrensablauf, wobei alle Quantifizierungen verkehrsträgerübergreifend auf der Netzebene ablaufen:

- 1 Festlegung von Umweltqualitätszielen und den zugehörigen Umwelthandlungszielen (siehe Tabelle 10-1).
- 2 Stufenweise Definition von Maßnahmen szenarien zur Erreichung der Zielwerte (siehe Kapitel 11.1).
- 3 Verkehrsprognose und Wirkungsprognosen bezüglich der Umweltziele und der wirtschaftlichen Ziele (siehe Kapitel 12.1 und 12.2).
- 4 Rückkoppelungsschleife:
 - Verbesserung der ökologischen Zielerfüllung
 - Maßnahmenänderung
 - Ergebnis: ökologisch zielverträgliches Szenario.
- 5 Rückkoppelungsschleife:
 - Verbesserung der ökonomischen Zielerfüllung
 - Maßnahmenänderung bei Sicherung der ökologischen Zielerfüllung
 - Ergebnis: ökonomisch günstiges und ökologisch zielverträgliches Szenario.

⇒ **Umweltorientiertes Fernverkehrskonzept**

Auf der inhaltlichen Seite des Verfahrensablaufs sind die Definition von Umweltqualitätszielen und die Festlegung von Maßnahmenprogrammen die entscheidenden Stellgrößen. Es wird vorgeschlagen, die Festlegungen von Standards für Umweltqualitätsziele durch die Arbeitsergebnisse nationaler und internationaler Gremien abstützen zu lassen. Die Maßnahmenfestlegung kann durch einen heuristischen, expertengestützten Auswahlprozeß geschehen, so daß das Verfahren prinzipiell offen für den Wettbewerb von Expertengremien und Fachinstituten ist.

17.2 Verfahren zur projektbezogenen Bewertung von Umwelteffekten

Bei projektbezogenen Bewertungen geht es generell um drei Probleme: Feststellung der Wirtschaftlichkeit, Dringlichkeitenreihung und Variantenvergleich. Obwohl in der Literatur für jeden Problembereich ein eigenes Entscheidungskriterium vorgeschlagen wird, behandelt das Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung alle Problemstellungen mit Hilfe *eines* Kriteriums: dem Nutzen-Kosten-Verhältnis. Das Kriterium und die grundlegenden Verfahrensweisen bei der Nutzen- und Kostenermittlung sind bei den zuständigen Verwaltungen des Bundes und der Länder eingeführt und bekannt, so daß nicht zu erwarten ist, daß an dieser Stelle die Grundstruktur dieses Bewertungsverfahrens mittelfristig weitreichende Änderungen erfahren wird.

Auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können jedoch eine Reihe von Verbesserungen für das BVWP-Bewertungsverfahren und seine Anwendung auf der Projektebene vorgeschlagen werden:

1. Die Bewertungsansätze für Umwelteffekte, die in die bestehende Bewertung eingehen, sind im Hinblick auf den heutigen Forschungsstand zu aktualisieren.
2. Die Liste der Umwelteffekte wird erweitert, so daß der Bewertungsrahmen vervollständigt wird (Ozon, Benzol, Partikel, CO₂, Natur- und Landschaft).
3. Die direkten Kostenbewertungen werden um die Opportunitätskosten ergänzt, wenn vorgegebene Zielwerte für die Umweltqualitätsziele überschritten werden. Die resultierenden Kostensätze sind nach betroffenen Teilräumen (räumlichen Rastereinheiten) differenziert, wobei die Empfindlichkeit der Teilräume und das Ausmaß der Zielwertüberschreitung zu Differenzierungen der Kostenwerte führen.

Diese teilweise aktualisierten und teilweise neuen Kostensätze, wie sie aus dem integrierten Systemmodell abgeleitet werden, lassen sich zur Bewertung von Einzelprojekten verwenden, so daß die Umweltaspekte vollständiger, differenzierter und stärker zielorientiert bestimmt werden, als dies in der bisherigen Verfahrenspraxis der Fall war.

17.3 Verfahren der Projektanmeldung

Bislang gibt es keine Systematik für die Feststellung derjenigen Projekte, die in die Prüfung durch das BVWP-Verfahren eingehen sollen. Der Wissenschaftliche Beirat beim Bundesminister für Verkehr hat bereits vor Jahren auf diesen Mangel hingewiesen und eine vorgeschaltete Schwachstellenanalyse zur Identifizierung möglicherweise geeigneter Projekte vorgeschlagen. Dieser Vorschlag wird hier wieder aufgegriffen und konkretisiert.

Im einzelnen werden vier Bereiche definiert, in denen Schwachstellen in den Verkehrsinfrastrukturnetzen auftreten können. So lassen sich

- technische Engpässe (einschließlich Verkehrssicherheit),

- wirtschaftliche Engpässe,
- Umweltengpässe und
- raumordnerische Engpässe

mit Hilfe der Verknüpfung von Verkehrsanalysen und fachspezifischer Information identifizieren. Im Anschluß an die Identifikation und Quantifizierung eines Engpasses sind Maßnahmen zur Schwachstellenbehebung abzuleiten. Diese Maßnahmen können aus einzelnen Infrastrukturprojekten bestehen oder auch, wenn komplexere Simulationsansätze zur Engpaß-identifizierung eingesetzt werden, Maßnahmenprogramme bestehend aus Infrastrukturprojekten und Verbesserungen von Organisation oder Management enthalten. Die vorliegende Untersuchung gibt ein Beispiel für die Ermittlung eines Maßnahmenprogrammvorschlages aus der Sicht der Umweltpolitik, wobei wichtige Aspekte der übrigen Politikbereiche berücksichtigt werden.

17.4 Zusammenhang mit Zielen der Raumordnung

Bei der Planung der Verkehrsinfrastruktur sind räumliche Entwicklungs-, Verteilungs- und Schutzziele zu beachten. Bei Entwicklungszielen geht es darum, das ökonomische Potential von Regionen durch die Herstellung guter Erreichbarkeiten zu erschließen. Die Verteilungsziele dokumentieren sich in der Leitvokabel der „Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse im Raum“. Schutzziele betreffen die Erhaltung der Umweltqualität, vor allem in ökologisch sensiblen Räumen. Ein Teil des raumordnerischen Zielspektrums ist somit mit dem der Umweltschutzpolitik kongruent. Dies zeigt sich insbesondere in den sog. „Krickenbeck-Beschlüssen“ von 1992, in denen die für Raumordnung und Umweltschutz zuständigen Minister des Bundes und der Länder die Grundsätze für eine mit den Zielen der Raumordnung und des Umweltschutzes kompatible Verkehrsinfrastrukturpolitik niedergelegt haben.

Die weitgehende Übereinstimmung der Anforderungen der Raumordnung und des Umweltschutzes an die Verkehrsplanung dokumentiert sich in den folgenden Forderungen einer vom BM Bau eingesetzten Expertengruppe:

1. Die verkehrsträgerübergreifende Systembetrachtung sollte Grundprinzip auf allen Stufen des Planungsprozesses werden. Bisher ist dies - in Ansätzen - nur in der Verkehrsprognose realisiert.
2. Vor der Rangreihung von Einzelmaßnahmen sollten die Wirkungen der Maßnahmen im verkehrsträgerübergreifenden Netzzusammenhang dargestellt werden. Dies erfordert die Definition von Maßnahmenprogrammen bzw. Planungsnetzvarianten in denen die größeren Aus- und Neubaumaßnahmen für alle Verkehrsträger enthalten sind.
3. Die raumordnerisch-regionalwirtschaftlichen Wirkungsanalysen von Planungsnetzvarianten sollten eher auf Potentialindikatoren (Erreichbarkeiten/Lagegunst) beruhen, als auf dem Versuch, projektbezogene Arbeitsplatzeffekte zu quantifizieren.

4. Die raumordnerisch-umweltbezogenen Kriterien sollten über Funktionsbestimmungen von Räumen/Regionen (z.B. Räume mit Entwicklungs-, Ordnungs- oder Schutzbedarf) Berücksichtigung finden.

18 Fazit

In der vorliegenden Untersuchung ist gezeigt worden, daß ein Fernverkehrskonzept entwickelt werden kann, das den Anforderungen der langfristigen Umweltverträglichkeit entspricht und gleichzeitig die ökonomische und raumwirtschaftliche Funktionalität des Verkehrssystems steigert. Der methodische Ablauf zur Erstellung eines solchen umweltorientierten Fernverkehrskonzeptes basiert auf dem Ansatz des „Backcasting“, bei dem zuerst die angestrebten Umweltqualitätsziele möglichst präzise in Form von Standards beschrieben werden. Mit Hilfe eines mehrstufigen und rückgekoppelten Prozesses der Maßnahmenentwicklung und Wirkungsanalysen auf Szenariobasis wird ein Maßnahmenprogramm abgeleitet, das langfristig die Umweltverträglichkeit des Verkehrs sicherstellt und gleichzeitig den wirtschaftlichen Anforderungen für die Verbesserung der Standortqualität genügt. Gewissermaßen als Nebenprodukt fallen bei diesem Verfahren die „Opportunitätskosten“ heraus, die entstehen, um die festgesetzten Standards für die Qualitätsziele mit Hilfe kostenwirksamer Maßnahmen einzuhalten. Diese Opportunitätskosten können als Bewertungsfaktoren der Umwelteffekte bei Projektbeurteilungen eingesetzt werden. Damit wird eine Abstimmung zwischen den angestrebten Umweltstandards und den in der Projektbewertung benutzten Kostenwerten für Umwelteffekte hergestellt. Die vorliegende Untersuchung hat eine Reihe von Erkenntnissen gebracht, die für die Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens in der Bundesverkehrswegeplanung von Bedeutung sind. Dies betrifft die

- integrierte Systembetrachtung mit Hilfe einer simultanen Modellanalyse für alle konkurrierenden Verkehrsträger,
- verkehrsträgerübergreifende Definition von Maßnahmenprogrammen und die modellgestützte Bewertung beim Entwurf des Verkehrssystems,
- Verbesserung der Bewertungsgrundlagen für Umwelteffekte durch Einbeziehung des aktuellen Forschungsstandes,
- Ausdehnung der in die Bewertung einfließenden Umwelteffekte durch Anwendung neuerer Bewertungsansätze,
- Verbindung zwischen Kostenansätzen und Standardfestlegungen für die Umweltqualitätsziele mit Hilfe des Opportunitätskostenansatzes und
- Möglichkeit einer Abstimmung zwischen Expertenurteilen, Präferenzenerhebungen und Feldbeobachtungen im Bereich der Umweltbewertung.

Das Verfahren der Bundesverkehrswegeplanung galt bis zu Beginn der 90er Jahre als besonders fortschrittliche Methode für die Bewertung von Verkehrsprojekten, weil die Aspekte des

Umweltschutzes und der Raumordnung zu einem Teil in das Schema der standardisierten Bewertung aufgenommen wurden. In der Zwischenzeit sind in anderen europäischen Ländern und bei der Europäischen Kommission Verfahren entwickelt worden, die eine umfassende Systemanalyse anstreben. Vor diesem Hintergrund erscheint es angebracht, das Verfahren der Bundesverkehrswegeplanung vor der Neuauflage des BVWP im kommenden Jahrtausend gründlich zu überprüfen und im Hinblick auf zukünftige Anforderungsprofile zu erweitern. Die vorliegende Forschungsarbeit hat aufgezeigt, daß es verfahrens- und datentechnisch möglich ist, die projekt- und verkehrsträgerübergreifenden Aspekte des Umweltschutzes in Form eines Systemansatzes zu behandeln. Dies läßt sich in ähnlicher Form auf andere Aspekte der langfristigen strategischen Planung von Verkehrsnetzen, wie zum Beispiel die raumordnerischen Belange, erweitern. Damit ist ein erster Schritt in Richtung auf eine grundlegende Reformierung des BVWP-Verfahrens konzipiert und implementiert worden, der auf dem bestehenden und bewährten Konzept aufsetzt und mit begrenztem Zusatzaufwand eine Erweiterung zur integrierten Systemanalyse ermöglicht.