

# Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 370945140  
UBA-FB 001728

## **Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr**

von

**Claus Doll**

**Johannes Hartwig**

**Florian Senger**

**Wolfgang Schade**

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI,  
Karlsruhe

**Markus Maibach**

**Daniel Sutter**

**Damaris Bertschmann**

INFRAS, Zürich

**Udo Lambrecht**

**Wolfram Knörr**

**Frank Dünnebeil**

IFEU, Heidelberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4440.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung  
der Studie:

Fraunhofer-Institut für System-  
und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Str. 48  
76139 Karlsruhe

INFRAS  
Binzstraße 23  
Postfach  
CH-8045 Zürich

IFEU  
Wilckenstraße 3  
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:

15. November 2012

Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion:

Fachgebiet I 3.1 Umwelt und Verkehr  
Kilian Frey  
Dessau-Roßlau, März 2013

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001728	2.	3.
4. Titel des Berichts Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr-		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Doll, Claus, Hartwig, Johannes, Senger, Florian Maibach, Markus; Sutter, Daniel; Bertschmann, Damaris Lambrecht, Udo		8. Abschlussdatum 15.11.2012
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe		9. Veröffentlichungsdatum 11.3.2013
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		10. UFOPLAN-Nr. 370945140
		11. Seitenzahl 195
		12. Literaturangaben 100
		13. Tabellen und Diagramme 37 (nur Tabellen)
		14. Abbildungen 61 (Abbildungen und Diagramme)
15. Zusätzliche Angaben Weitere Autoren: Schade, Wolfgang; Knörr, Wolfram; Dünnebeil, Frank Beteiligte Institute: INFRAS (Zürich), IFEU (Heidelberg) Zusätzliche Berichte: Kurzfassung (deutsch u. Englisch), 5 Infoblätter und Kostenrechner Webseite: <a href="http://www.ntm.isi-projekt.de/">www.ntm.isi-projekt.de/</a>		
16. Kurzfassung Ziel und Ansatz: Die Studie untersucht die Wirkungen ausgewählter Maßnahmen der Verkehrspolitik für Umwelt, Verkehrsteilnehmer, Wirtschaft und Gesellschaft bis zum Jahr 2030. Betrachtet werden Verlagerungen zu Fuß-, Radverkehr und ÖPNV, Verkürzung von Pkw-Fahrten und effizientere Autonutzung im Personenverkehr, sowie mehr Bahn im Güterverkehr. Aus Perspektive der Verkehrsteilnehmer werden private Kosten, Fahrzeit, Gesundheitseffekte, Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, Lärm und Verkehrssicherheit bewertet. dynamischen Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA-D analysiert. Ergebnisse: Die Umweltwirkungen der Maßnahmen divergieren stark und werden von den Kosten durch Treibhausgasemissionen dominiert. Maßnahmen, die den Fernverkehr einschließen, erzielen größere Emissionsreduktionen als rein städtische Maßnahmen. Speziell für den ÖPNV ergeben sich noch erhebliche Potenziale zur Minderung seiner externen Kosten. Aktive Mobilität fördert die Gesundheit und reduziert das Risiko chronischer Erkrankungen. Jedoch bedarf die Sicherheit von Radfahrern und Fußgängern in Städten einer höheren Aufmerksamkeit. Die Investitionshöhen der untersuchten Maßnahmen reichen bis 10 Mrd. Euro für die Attraktivitätssteigerung lokaler Fahrziele. Die Beschäftigung entwickelt sich hierdurch in fast allen Maßnahmen positiv, und Das Bruttoinlandsprodukt liegt in vier von fünf Maßnahmen in 2030 leicht höher als im Referenzszenario. Empfehlung: Sinnvolle Maßnahmenpakete können die Effektivität und Effizienz der Verkehrspolitik deutlich steigern. Im Zentrum stehen dabei Ansätze des "Push & Pull" im Sinne einer Verlagerungs- und Finanzierungsstrategie.		
17. Schlagwörter Externe Kosten, Klimawandel, Umwelt, Sicherheit, Gesundheit Personenverkehr, Güterverkehr, Rad- und Fußverkehr, ÖPNV Makroökonomische Bewertung, BIP, Beschäftigung, Investitionen Implementierung, Politikmaßnahmen, Push-and-Pull		
18. Preis	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001728	2.	3.
4. Report Title Economic aspects of non-technical measures to reduce traffic emissions		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Doll, Claus, Hartwig, Johannes, Senger, Florian Maibach, Markus; Sutter, Daniel; Bertschmann, Damaris Lambrecht, Udo	8. Report Date 15.11.2012	9. Publication Date 11.3.2013
6. Performing Organisation (Name, Address)  Fraunhofer-Institute for Systems- and Innovations Research ISI Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe	10. UFOPLAN-Ref. No. 370945140	11. No. of Pages 195
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau	12. No. of Reference 100	13. No. of Tables, Diagrams 37 (tables)
	14. No. of Figures 61 (figures and graphs)	
15. Supplementary Notes Further authors: Schade, Wolfgang; Knörr, Wolfram; Dünnebeil, Frank Collaborating institutes: INFRAS (Zürich), IFEU (Heidelberg) Additional material: summaries (German and English), 5 fact sheets and cost calculation tool Website: <a href="http://www.ntm.isi-projekt.de/">www.ntm.isi-projekt.de/</a>		
16. Abstract Aim and methodology: This study looks at the impact of selected transport policy measures on environment, transport users, economy and society by the year 2030. Considered are shifts to cycling, walking and public transport, shorter car trips and more efficient car use in passenger travel, as well as more rail in freight transport. Out of the transport user perspective private costs, travel time, health effects, air pollutant and greenhouse gas emissions, noise and traffic safety are assessed. Macroeconomic impacts are appraised using the system-dynamics transport and economics model ASTRA-D. Results: The environmental impacts of the measures diverge widely and are dominated by the costs of greenhouse gas emissions. Measures, which include long-distance travel, achieve higher impacts than pure urban transport measures. In particular for public transport considerable potentials to reduce its external costs from air pollution were identified. Active mobility enhances personal health and reduces the risk of chronic diseases. However, the safety of cyclists and pedestrians in cities requires increased attention. The investment costs for the measures investigated differ strongly, but reach up to 10 billion euros annually for more attractive local destinations. Accordingly, employment develops positively in almost all measures, and the gross domestic product (GDP) is slightly above the base case in 2030 in four out of the five cases. Recommendations: sensible bundles of measures may clearly enhance the effectiveness and efficiency of transport policy. Core elements are “push-and-pull” approaches combining transport shift and funding policies. .		
17. Keywords External costs, climate change, environment, safety, health Passenger transport, freight transport, cycling and walking, public transport, road, rail Macro-economic impact assessment, GDP, employment, investments Implementation, policy measures, push-and-pull		
18. Price	19.	20.

# Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>15</b>
1.1 Motivation und Hintergrund .....	15
1.2 Ziele der Studie .....	17
1.3 Aufbau der Studie .....	18
<b>2 Untersuchungsrahmen .....</b>	<b>19</b>
2.1 Perspektiven und Elemente der Untersuchung.....	19
2.1.1 Zielgruppen .....	19
2.1.2 Perspektiven der Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	21
2.2 Maßnahmen zur Emissionsminderung.....	22
2.2.1 M1: Modal Split im Rad- und Fußverkehr.....	23
2.2.2 M 2: Modal Split im ÖPNV .....	24
2.2.3 M 3: Verkürzung der Wegelängen im Pkw-Verkehr .....	25
2.2.4 M 4: Effizienzsteigerung im Pkw-Verkehr .....	27
2.2.5 M 5: Steigerung des Bahnanteils im Güterverkehr.....	28
2.3 Instrumente zur Realisierung der Maßnahmen .....	29
2.3.1 Instrumente und deren Bündelung .....	29
2.3.2 Wirkungsmechanismen der Instrumente.....	31
2.4 Optionen der ökonomischen Bewertung .....	35
2.4.1 Partialanalyse: Kosten-Nutzen-Bewertung von nichttechnischen Maßnahmen .....	35
2.4.2 Gesamtwirtschaftlicher / makroökonomischer Ansatz.....	40
2.5 Bewertungsmethodik.....	42
2.5.1 Der individuelle Bewertungsansatz .....	42
2.5.2 Der volkswirtschaftliche Bewertungsansatz .....	43
2.5.3 Ökologische Bewertung .....	44

<b>3</b>	<b>Bewertungsgrundlagen.....</b>	<b>45</b>
3.1	Nutzen- und Kostenkategorien.....	45
3.2	Infrastrukturkosten .....	49
3.2.1	Straßeninfrastruktur .....	49
3.2.2	Schieneinfrastruktur .....	50
3.2.3	Anwendung in der volkswirtschaftlichen Bewertung .....	52
3.3	Fahrzeugbetriebskosten.....	52
3.3.1	Betriebskosten im Personenverkehr .....	52
3.3.2	Betriebskosten im Güterverkehr.....	54
3.3.3	Anwendung in den Perspektiven.....	54
3.4	Nutzerzeitkosten .....	55
3.4.1	Etablierte Verfahren der Zeitbewertung .....	56
3.4.2	Zeitbewertung im Rad- und Fußverkehr .....	57
3.4.3	Kritik und Lösungsansätze .....	59
3.4.4	Anwendung im Bewertungsverfahren .....	60
3.5	Gesundheitsnutzen aktiver Mobilität .....	61
3.5.1	Gesundheitliche Wirkungen von Rad- und Fußverkehr .....	61
3.5.2	Komponenten der Gesundheitskosten.....	63
3.5.3	Ökonomische Bewertung von Gesundheitsnutzen .....	64
3.5.4	Trainingszustand der Bevölkerung.....	66
3.5.5	Anwendung in der Bewertung .....	68
3.6	Verkehrssicherheit .....	69
3.6.1	Bewertungsansätze.....	70
3.6.2	Komponenten externer Unfallkosten.....	72
3.6.3	Interpretation der Ergebnisse .....	76
3.6.4	Anwendung .....	77
3.7	Umweltwirkungen.....	78
3.7.1	Luftverschmutzung.....	78
3.7.2	Klimawirkungen.....	80
3.7.3	Lärm .....	81
3.7.4	Anwendung .....	83

3.8	Weitere Effekte.....	83
<b>4</b>	<b>Modelle zur Bewertung wirtschaftlicher Aspekte.....</b>	<b>85</b>
4.1	Bewertungstool auf individuelle Ebene .....	85
4.1.1	Mobilitätskostenrechner im Überblick.....	85
4.1.2	Kostenkategorien und Kostensystematik .....	88
4.1.3	Ergebnisindikatoren .....	89
4.1.4	Struktur des PExMo-Tools .....	90
4.1.5	Eingangsdaten und Parameter .....	90
4.1.6	Nutzereingaben.....	92
4.1.7	Ergebnisausgabe .....	93
4.2	Methodik der volkswirtschaftlichen Bewertung.....	95
4.2.1	Das ASTRA-D-Modell .....	95
4.2.2	Indikatoren .....	101
4.2.3	Trendszenario der Verkehrsentwicklung.....	103
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der einzelwirtschaftlichen Bewertung.....</b>	<b>107</b>
5.1	M1: Modal Split Rad- und Fußverkehr .....	107
5.2	M2: Modal Split ÖPNV .....	110
5.3	M3: Verkürzung von Pkw-Wegelängen.....	112
5.4	M4: Effizienzsteigerung Pkw .....	113
5.5	Fazit zur privatwirtschaftlichen Bewertung im Personenverkehr.....	115
5.6	M5: Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn .....	119
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Bewertung.....</b>	<b>121</b>
6.1	M1: Modal Split des Rad- und Fußverkehrs.....	121
6.1.1	Modal Split .....	122
6.1.2	Investitionen .....	124
6.1.3	Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen .....	125
6.1.4	Zeitaufwand.....	126
6.1.5	Emissionen.....	127

6.1.6	Gesamtbewertung .....	128
6.2	M2: Modal Split des ÖPNV .....	128
6.2.1	Modal Split .....	129
6.2.2	Investitionen .....	130
6.2.3	Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen .....	131
6.2.4	Zeitaufwand.....	132
6.2.5	Emissionen.....	132
6.2.6	Gesamtbewertung.....	133
6.3	M3: Verkürzung von Pkw-Wegelängen .....	134
6.3.1	Modal Split .....	134
6.3.2	Investitionen .....	136
6.3.3	Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen .....	136
6.3.4	Zeitaufwand.....	137
6.3.5	Emissionen.....	138
6.3.6	Gesamtbewertung .....	139
6.4	M4: Effizienzsteigerung im MIV.....	139
6.4.1	Modal Split .....	140
6.4.2	Investitionen .....	140
6.4.3	Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen .....	141
6.4.4	Zeitaufwand.....	142
6.4.5	Emissionen.....	142
6.4.6	Gesamtbewertung .....	143
6.5	M5: Steigerung des Modal Split im Bahngüterverkehr .....	144
6.5.1	Modal Split .....	144
6.5.2	Investitionen .....	145
6.5.3	Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen .....	147
6.5.4	Zeitaufwand.....	149
6.5.5	Emissionen.....	149
6.5.6	Gesamtbewertung Maßnahme 5.....	154
6.6	Fazit zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung .....	154
6.6.1	Gesamtwirtschaftliche Effekte .....	154
6.6.2	Nutzen- Kosten-Analyse .....	156

<b>7</b>	<b>Maßnahmenpakete und praktische Erfahrungen .....</b>	<b>161</b>
7.1	Einleitung .....	161
7.2	Motive und strategische Einbettung .....	161
7.2.1	Motive .....	161
7.2.2	Strategische Stoßrichtungen .....	162
7.3	Kombinationen und Erfahrungen .....	162
7.4	Erkenntnisse für einen optimalen Instrumentenmix .....	165
7.4.1	Allgemeine Erkenntnisse .....	165
7.4.2	M1: Modal Split Fuß- und Radverkehr .....	165
7.4.3	M2: Modal Split ÖPNV .....	166
7.4.4	M3: Wegelängen Pkw .....	167
7.4.5	M4: Kraftstoffverbrauch Pkw .....	169
7.4.6	M5: Modal Split Bahn im Güterverkehr .....	170
7.4.7	Maßnahmenübergreifende Paketbildung .....	171
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>172</b>
8.1	Zusammenfassung der Methodik .....	172
8.2	Zentrale Aussagen der Studie .....	173
8.3	Schlusswort .....	180
<b>9</b>	<b>Abkürzungen und Symbole .....</b>	<b>181</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>184</b>

## Tabellen

Tabelle 1:	Anforderungen der Nutzergruppen an die Darstellung .....	20
Tabelle 2:	Perspektiven der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	22
Tabelle 3:	Übersicht der Maßnahmen .....	23
Tabelle 4:	Maßnahmen und Instrumente - Zielfokussierte Auswahl .....	32
Tabelle 5:	Stärken und Schwächen des ressourcenorientierten Ansatzes und des nutzenorientierten Ansatzes .....	38
Tabelle 6:	Kostenelemente nach Perspektiven .....	46
Tabelle 7:	Übersicht über Nutzen- und Kostenkategorien .....	48
Tabelle 8:	Fixe und variable Kosten der Straßennutzung nach Straßenkategorie und Fahrzeugtyp.....	50
Tabelle 9:	Infrastruktur- und Betriebskostensätze im Schienenverkehr.....	51
Tabelle 10:	Fahrzeugvorhalte- und Betriebskosten .....	53
Tabelle 11:	Zeitwerte im motorisierten Personen- und Güterverkehr .....	57
Tabelle 12:	Zeitwerte für Radfahrer, Fallstudie Stockholm.....	58
Tabelle 13:	Annahmen zur volkswirtschaftlichen Bewertung von Gesundheitsnutzen .....	69
Tabelle 14:	Entwicklung von Toten und Schwerverletzten im Straßenverkehr von 1995 bis 2010.....	70
Tabelle 15:	Anteile der Verkehrsträger an Unfallbeteiligung und Unfallverursachung nach Ortschaft 2010.....	71
Tabelle 16:	Unfallopfer und externe Unfallkosten ausgewählter Verkehrsträger und Ortschaften in Deutschland (2010).....	75
Tabelle 17:	Kostensätze für vermiedene Unfallopfer, differenziert nach Unfallschwere (€ 2002) .....	76
Tabelle 18:	Luftverschmutzungskosten in € pro Tonne Schadstoff (€ 2010).....	79
Tabelle 19:	Kosten durch Luftverschmutzung nach Ortschaft 2010 .....	79
Tabelle 20:	Externe Klimagas-Vermeidungskosten in € pro Tonne CO <sub>2</sub> .....	80
Tabelle 21:	Kosten durch Klimagasemissionen nach Ortschaft 2010 (gesamte Prozesskette inkl. Kraftstoffbereitstellung und Rollmaterial).....	81

Tabelle 22:	Kosten durch Lärmemissionen nach Ortslage 2010 .....	82
Tabelle 23:	Externe Lärmkosten pro Person und Lärmniveau in € pro Jahr (€ 2010).....	83
Tabelle 24:	Kostenkategorien und Einflussgrößen im PExMo-Bewertungstool.....	89
Tabelle 25:	Indikatorset für die Perspektive der öffentlichen Hand.....	101
Tabelle 26:	Vergleich aktueller Prognosen des Personenverkehrsaufkommens .....	104
Tabelle 27:	Vergleich aktueller Prognosen des Güterverkehrsaufkommens.....	105
Tabelle 28:	Zusammenfassung der Emissionsindikatoren gegenüber Basis- Szenario .....	152
Tabelle 29:	Saldo der Kosteneinsparungen durch Verminderung externer Kosten (+) und Zusatzinvestitionen (-) (Mio. Euro) .....	153
Tabelle 30:	Vergleich der volkswirtschaftlichen Wirkungen aller Maßnahmen .....	156
Tabelle 31:	Nutzen-Kosten-Analyse der Maßnahmen M1 bis M5 .....	160
Tabelle 32:	Kurzcharakteristik der untersuchten Fallbeispiele in Bezug auf Paketbildung .....	164
Tabelle 33:	Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M1 .....	165
Tabelle 34:	Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M2 .....	167
Tabelle 35:	Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M3 .....	168
Tabelle 36:	Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M4 .....	169
Tabelle 37:	Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M5 .....	170

## Abbildungen

Abbildung 1: Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im Straßenverkehr in Deutschland 1991-2009 .....	15
Abbildung 2: Wegeanteile Rad- und Fußverkehr 2008 nach Zweck und Raum .....	24
Abbildung 3: Anteil des ÖPNVs an den täglichen Wegen mit Verkehrsmittel für den Zu- und Abgang nach Regionstypen 2008.....	25
Abbildung 4: Verteilung der Fahrtweiten auf Verkehrsmittel.....	26
Abbildung 5: Durchschnittlicher Flottenverbrauch Pkw nach ausgewählten Kenngrößen .....	27
Abbildung 6: Marktanteile im Güterverkehr 1995 bis 2010.....	28
Abbildung 7: Wirkungsmechanismen preislicher Anreize zur Reduktion der Attraktivität des MIV und Attraktivitätssteigerung des ÖV.....	33
Abbildung 8: Wirkungsmechanismen ordnungsrechtlicher Instrumente.....	34
Abbildung 9: Wirkungsmechanismen von Infrastruktur-Maßnahmen .....	34
Abbildung 10: Definition Konsumentenrente .....	37
Abbildung 11: Illustration für den Vergleich von verschiedenen Szenarien anhand von Indikatoren (Beispiel Luftverkehr Schweiz) .....	39
Abbildung 12: Schematischer Vergleich zwischen mikroökonomischer Partialanalyse (Kosten-Nutzen-Analyse) und makroökonomischem Ansatz.....	42
Abbildung 13: Fahrradfahren: Gesundheitseffekte und monetäre Einsparungen bezogen auf die Distanz .....	66
Abbildung 14: Anteil übergewichtiger Erwachsener in Deutschland 2009.....	67
Abbildung 15: Unfallverursacher über Beteiligten innerorts und in Deutschland gesamt .....	72
Abbildung 16: Vergleich von Unfallraten von Radfahrern und Fußgängern in 16 europäischen Ländern 1998 (links) und 47 dänischen Städten (rechts).....	77
Abbildung 17: Screenshot PExMo-Nutzereingabe Fahrzeuge .....	91
Abbildung 18: Screenshot PExMo-Nutzereingabe Wegeketten .....	93
Abbildung 19: Screenshot PExMo-Ausgabe.....	94
Abbildung 20: Makroökonomische Modellierlogik in ASTRA-D .....	96

Abbildung 21: Interaktionsbeziehungen zwischen den verschiedenen Variablen .....	97
Abbildung 22: Klassisches Vier-Stufen-Modell in der Implementierungstiefe von ASTRA-D.....	98
Abbildung 23: Entfernungsbänder in ASTRA-D für den Personen- und Güterverkehr .....	100
Abbildung 24: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 1 .....	109
Abbildung 25: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 2 .....	111
Abbildung 26: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 3 .....	113
Abbildung 27: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 4 .....	115
Abbildung 28: Sensitivitätsrechnung: Gesamte privatwirtschaftliche und externe Kosten für ausgewählte Mobilitätsalternativen.....	117
Abbildung 29: Privatwirtschaftliche und externe Kosten im Güterverkehr für Bahn und Straße .....	120
Abbildung 30: M1: Modal-Split-Veränderungen (lokal) des Verkehrsaufkommens .....	123
Abbildung 31: M1: Modal-Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens .....	124
Abbildung 32: M1: Änderungen der Investitionen.....	125
Abbildung 33: M1: Änderung von Beschäftigung und BIP.....	126
Abbildung 34: M1: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung.....	127
Abbildung 35: M1: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Basisszenario.....	128
Abbildung 36: M2: Modal Split-Veränderungen (lokal und regional) des Verkehrsaufkommens .....	129
Abbildung 37: M2: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens .....	130
Abbildung 38: M2: Änderungen der Investitionen.....	131
Abbildung 39: M2: Änderung von Beschäftigung und BIP.....	132
Abbildung 40: M2: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung.....	133
Abbildung 41: M2: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Basis-Szenario .....	133
Abbildung 42: M3: Rückgang der Wegelänge für Pkw .....	135

Abbildung 43: M3: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens .....	135
Abbildung 44: M3: Änderungen der Investitionen .....	136
Abbildung 45: M3: Änderung von Beschäftigung und BIP .....	137
Abbildung 46: M3: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung .....	138
Abbildung 47: M3: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Basis-Szenario .....	138
Abbildung 48: M4: Auswirkung der Maßnahmen auf den Kraftstoffverbrauch .....	139
Abbildung 49: M4: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens .....	140
Abbildung 50: M4: Änderungen der Investitionen .....	141
Abbildung 51: M4: Änderung von Beschäftigung und BIP .....	142
Abbildung 52: M4: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung .....	143
Abbildung 53: M4: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Basis-Szenario .....	143
Abbildung 54: M5: Modal-Split-Änderung im Güterverkehr bis 2030 .....	144
Abbildung 55: M5: Zuwachs der Transportleistung Schiene .....	145
Abbildung 56: M5: Verringerte Investitionen durch Verlagerung des Güterverkehrs .....	147
Abbildung 57: M5: Wachstumseffekte anhand Beschäftigung/BIP .....	148
Abbildung 58: Klimawirkung der Instrumente bis 2030 .....	150
Abbildung 59: Wirkung der Instrumente auf Stickoxide bis 2030 .....	151
Abbildung 60: Wirkung der Instrumente auf Partikelemissionen bis 2030 .....	152
Abbildung 61: Relevante (offensichtliche) Kombinationen zwischen Instrumententypen .....	163

## Zusammenfassung

Die Studie untersucht die Wirkungen ausgewählter Maßnahmen der Verkehrspolitik für Umwelt, Verkehrsteilnehmer und die Gesellschaft. Betrachtet werden vier Maßnahmen im Personenverkehr und eine Maßnahme im Güterverkehr:

- Steigerung des Wegeanteils des Rad- und Fußverkehrs in Städten um 10 Prozentpunkte
- Steigerung des Wegeanteils des ÖPNV in Städten um 10 Prozentpunkte
- Verkürzung der Pkw-Distanzen im Nah- und Fernverkehr um 10 Prozent
- Erhöhung der Kraftstoff-Effizienz der Pkw-Nutzung um 10 Prozent
- Erhöhung des Bahnanteils im nationalen Güterverkehr um 10 Prozentpunkte

Aus Perspektive der Verkehrsteilnehmer werden private Kosten, Fahrzeit, Gesundheitseffekte, Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, Lärm und Verkehrssicherheit bewertet. Hierfür wird das Analysetool PExMo zum Download zur Verfügung gestellt. Gesamtwirtschaftlich werden zusätzlich die Kosten für die Implementierung der Maßnahmen und Änderungen von Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung gegenüber einem Szenario ohne die Maßnahmen bis 2030 mit dem systemdynamischen Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA-D analysiert.

Die Umweltwirkungen der Maßnahmen divergieren stark. Mit 36 % Reduktion der Klimagasemissionen leistet die Verkürzung der Pkw-Wegelängen den größten Beitrag. Durch Ausweichreaktionen kommt der Wahl der Instrumente zur Implementierung der Maßnahmen eine zentrale Bedeutung zu. Maßnahmen, die den Fernverkehr einschließen, erzielen größere Emissionsreduktionen als rein städtische Maßnahmen.

Auf Grundlage der monetären Bewertung externer Effekte kommt den Treibhausgasen die größte Bedeutung zu. Hier birgt insbesondere der ÖPNV noch erhebliche Effizienzpotenziale. Dies sollte bei den enormen Steigerungen des Fahrgastaufkommens über höhere Besetzungsgrade und neue Fahrzeuge realisierbar sein.

Aktive Mobilität fördert die Gesundheit und reduziert das Risiko chronischer Erkrankungen. Für regelmäßiges Radfahren oder Zu-Fuß-Gehen von etwa 75 Minuten pro Woche errechnet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ein um 50 % reduziertes vorzeitiges Sterberisiko und private Nutzen um 2000 Euro. Hinzu kommen reduzierte Fehlzeiten am Arbeitsplatz und geringere medizinische Behandlungskosten.

Betriebswirtschaftliche und ökologische Kosten der Mobilität weisen in dieselbe Richtung. Der Übergang zu aktiver Mobilität spart mehrere Tausend Euro and Kosten für

Unterhalt und Betrieb eines Pkw. Die Abschaffung des privaten Autos ließe entsprechend ausreichend Budget für die Nutzung von Carsharing oder ÖPNV.

Der Zeitbedarf für autoarme Mobilitätsstile hängt stark von den konkreten Gegebenheiten ab. Durch den Wegfall von Parkplatzsuche oder Tankzeiten kann Rad oder ÖPNV in Städten in Einzelfällen sogar schneller sein als der Pkw. Die gesellschaftlichen Debatte um Entschleunigung und Lebensqualität wirft schließlich die Frage auf, ob die Fokussierung der Verkehrspolitik und deren Bewertungsmethoden auf den Faktor Zeiteinsparung nicht überdacht werden muss.

Die Sicherheit von Radfahrern und Fußgängern in Städten bedarf einer höheren Aufmerksamkeit. Die Wahrscheinlichkeit, als Radfahrer in deutschen Städten schwer verletzt oder getötet zu werden, ist etwa 10- bis 20-mal höher als bei Pkw-Insassen. Hier besteht ein Handlungsbedarf für die Kommunen: Durch ein gut ausgebautes Radwegenetz, und ausreichend Abstellmöglichkeiten an zentralen Plätzen können Fahrzeiten verkürzt und gleichzeitig das Sicherheitsniveau weiter gesteigert werden.

Die Investitionshöhen der untersuchten Maßnahmen reichen bis 10 Mrd. Euro für die Attraktivitätssteigerung lokaler Fahrziele. Es ist jedoch denkbar, dass sich mehr regional orientierte Mobilitätsmuster durch günstigere Maßnahmen erreichen oder unterstützen lassen. Infrastrukturinvestitionen können aus zusätzlichen Einnahmen der Maßnahmen sowie durch flankierende organisatorische Maßnahmen unterstützt werden.

Die Beschäftigung entwickelt sich in fast allen Maßnahmen positiv. Getrieben durch den positiven Investitionssaldo der untersuchten Maßnahmen steigt die Beschäftigung gegenüber dem zugrunde gelegten Trendszenario leicht an.

Das Bruttoinlandsprodukt liegt aufgrund der positiven Entwicklung von Investitionen und Beschäftigung in vier von fünf Maßnahmen in 2030 leicht höher als im Referenzszenario. Der zusätzliche Investitionsimpuls der Maßnahmen kompensiert die negativen Effekte in der Automobilindustrie sowie die Effekte struktureller Änderungen der sektoralen Nachfrage.

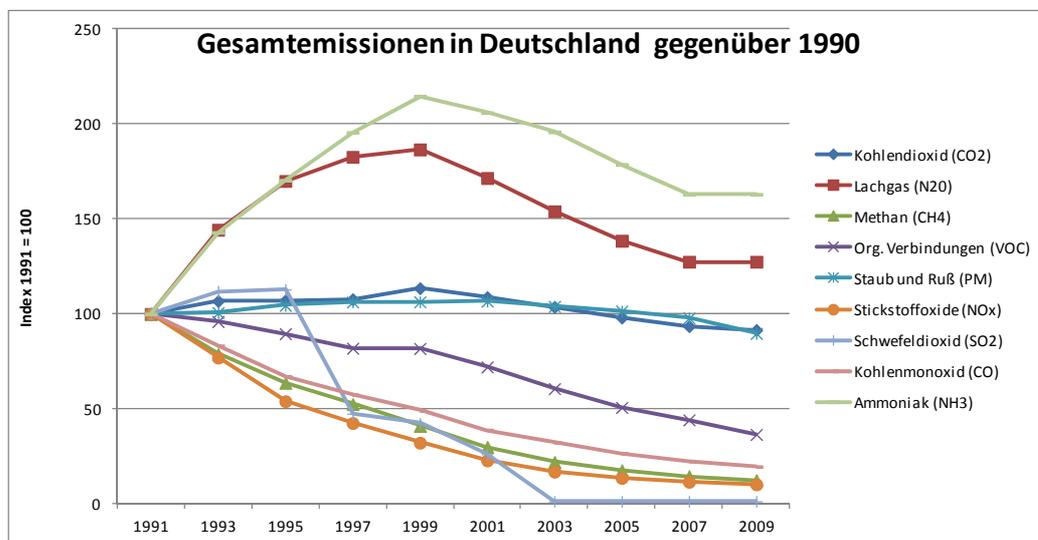
Sinnvolle Maßnahmenpakete können die Effektivität und Effizienz der Verkehrspolitik deutlich steigern. Im Zentrum stehen dabei Ansätze des "Push & Pull" im Sinne einer Verlagerungs- und Finanzierungsstrategie. Die Strategie für kürzere Wege und der Wechsel hin zu aktiver Mobilität gehen dabei Hand in Hand und bedingen gleichzeitig eine Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsentwicklung und eine Verdichtung nach innen. In einem solch umfassenden Ansatz haben umweltschonende Mobilitätsformen (moderner ÖPNV und Rad- und Fußgängerverkehr) a priori höhere Potenziale.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Hintergrund

Dank technischer Entwicklungen an Kraftfahrzeugen sind die Schadstoffemissionen des motorisierten Straßenverkehrs in den letzten beiden Jahrzehnten zum Teil stark gesunken. Durch Katalysatoren, Motorsteuerung und Abgasfilterung, welche durch die Euro-Emissionsnormen befördert wurden, sank der Leidschadstoff Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ) 2009 auf 37% des Wertes von 1991. Im gleichen Zeitraum sanken Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) auf 1% bzw. 20% ab und spielen somit in der Debatte um die Luftqualität keine wesentliche Rolle mehr. Jedoch blieb die Umgebungsbelastung mit Feinstaub mit 90% gegenüber 1991 nahezu unverändert. Dies gilt ebenso für das wichtigste Treibhausgas Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) mit 93% gegenüber 1991 und verstärkt für die Klimagase Ammoniak ( $\text{CH}_4$ ) und Distickstoffoxid oder Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), welche gegenüber 1991 im Gesamtausstoß gestiegen sind (BMVBS, 2012).

Abbildung 1: Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im Straßenverkehr in Deutschland 1991-2009



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus BMVBS (2012)

Luftverunreinigungen verursachen Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen beim Menschen, beeinträchtigen die Qualität von Ernten, vermindern trotz wachstumsfördernder Eigenschaften die Artenvielfalt von Pflanzen und tragen zur globalen Erwärmung bei (UNECE, 2012a). Für das Jahr 2008 schätzen Essen et al. (2011) die wirtschaftlichen Verluste durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs in Deutschland auf

1,5 Mrd. Euro und durch Klimagasemissionen auf 12 Mrd. Euro. Nach dem Genfer Luftreinhalteabkommen vom 12.5.2012 liegt Deutschland mit einem Reduktionsziel von 39% für  $\text{NO}_x$  und 26% für Partikel zwischen 2005 und 2020 etwa im Mittelfeld der europäischen Länder (UNECE, 2012b). Die beschriebenen Probleme lassen sich damit nicht vollständig lösen, womit die Luftreinhaltung auch in den kommenden Jahrzehnten ein wichtiges Thema bleiben wird.

Entscheidend für Lebensqualität und Gesundheit ist jedoch nicht primär die Gesamtemission an Luftschadstoffen, sondern deren Konzentration in Siedlungsräumen. Nach der EU-Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) darf die Belastung mit  $\text{NO}_x$  zum Schutz der menschlichen Gesundheit den Wert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht öfter als 18-mal pro Kalenderjahr übersteigen. Der maximale Jahresmittelwert liegt danach bei  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , welcher insbesondere in verkehrsnahen Belastungsregimen der Ballungsräume regelmäßig überschritten wird (UBA, 2009). Die entsprechenden Grenzwerte für Feinstaub betragen  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{10}$  für maximal 35-mal pro Jahr oder einen Durchschnittswert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  über ein Kalenderjahr. Die seit 2005 geltenden Grenzwerte werden in verkehrsnahen städtischen Bereichen regelmäßig überschritten, wobei diese in starkem Maße von meteorologischen Faktoren beeinflusst werden.

Ein weiteres weitgehend ungelöstes Problem des Straßenverkehrs sind dessen Lärmemissionen. Nach Angaben der Europäischen Umweltagentur (EEA, 2010) leiden in der EU, der Schweiz und Norwegen etwa 42 Mio. Menschen unter nächtlichen Lärmbelastungen über 50 dB(A) in Agglomerationsräumen, sowie 23 Mio. außerhalb (EEA 2010). In Deutschland sind dies 2,8 Mio. in Agglomerationen und 1,5 Mio. außerhalb von Ballungsräumen. Die Auswirkungen des Verkehrslärms reichen von subjektiv empfundenen Störungen des täglichen Lebens bis hin zu statistisch messbaren Einflüssen auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, das Lernverhalten von Kindern und Jugendlichen, Schlafstörungen sowie Beeinträchtigungen des Hörens (WHO/JRC, 2011). Schätzungen der vom Straßenverkehr verursachten Lärmkosten in Deutschland betragen 813 Mio. Euro im Personenverkehr und 456 Mio. Euro im Güterverkehr für das Jahr 2008 (Essen et al., 2011).

Vor diesem Hintergrund treiben die Europäische Union, die Nationalstaaten sowie Städte und Gemeinden Maßnahmen zur weiteren Reduktion der Emission von Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Lärm aller Verkehrsträger voran. Hierbei lassen sich technische Maßnahmen wie Emissionsvermeidung durch Motoren, Abgasfilter, Aerodynamik, Leichtbau oder Reifen mit entsprechenden gesetzlichen Normen und Grenzwerten von nichttechnischen Maßnahmen unterscheiden. Letztere zielen auf die Reduktion von Emissionen durch ein nachhaltigeres Verkehrsverhalten seitens der Verkehrsteilnehmer, Versender von Waren oder der Verkehrsunternehmen ab. Nichttech-

nische Maßnahmen beinhalten Verlagerungs- und Veränderungsziele der Verkehrsnachfrage weg vom motorisierten Individualverkehr und hin zu umweltfreundlichen Alternativen, näheren Zielen oder nachhaltigeren Konsummustern.

## 1.2 Ziele der Studie

Diese Studie befasst sich mit Optionen der Verminderung der Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs durch nichttechnische Maßnahmen. Fokus der Arbeit liegt dabei auf der Wirkung der Maßnahme bezüglich der Emissionsreduktion und der damit einhergehenden privat- und gesamtwirtschaftlichen Folgewirkungen. Die Analyse konkreter Ausgestaltungsoptionen der Maßnahmen und deren Instrumente werden durch die vorliegende Arbeit nur gestreift.

Mit der Studie "wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr" soll ein Beitrag zur Versachlichung der Debatte um die privatwirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen eines nachhaltigeren Verkehrsverhaltens sowohl von Individuen als auch von Unternehmen geleistet werden. Anhand ausgewählter Instrumente und Instrumentenbündel zur Erreichung dieser Maßnahmen soll dargestellt werden was

- diese Maßnahmen und deren Implementierung für die betroffenen Nutzer bedeuten und
- welche Auswirkungen auf gesellschaftlicher und volkswirtschaftlicher Ebene zu erwarten sind.

Der Begriff „Maßnahme“ im Sinne dieser Studie bezeichnet verkehrspolitische Zielvorgaben, welche zur Minderung von Schadstoff- und Klimagasemissionen ergriffen werden. Diese definieren per se nicht, welche Emissionsminderung zu erreichen ist, noch geben sie den Weg zur Erreichung der verkehrspolitischen Ziele an. Die Minderung der Schadstoffemissionen des Verkehrs ergibt sich somit durch die angewandten Analyseinstrumente. Die Schritte, die zur Zielerreichung unternommen werden müssen, werden durch beispielhafte Instrumentenbündel separat für jede Maßnahme vorgegeben. Mittels der eingesetzten Verkehrsmodelle wird anschließend die erforderliche Intensität der Instrumente bestimmt. Unter Berücksichtigung der Implementierungs- und Betriebskosten der Instrumente und der induzierten Wirkungen auf Umwelt, Gesellschaft, Verkehrswirtschaft und die öffentlichen Haushalte wird schließlich eine volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse angewandt, um die Effizienz der ausgewählten Maßnahmen zur Emissionsminderung abzuschätzen.

Im Gegensatz zu dieser volkswirtschaftlichen Sichtweise adressiert die privatwirtschaftliche Analyse die Perspektive der betroffenen Nutzer und Unternehmen. Untersucht

werden die Auswirkungen auf Fahr- und Reisezeiten, Mobilitätskosten, Gesundheit und Sicherheit der Nutzer für ausgewählte Verkehrsrelationen. Hierbei können nur exemplarische Verkehrssituation herangezogen werden; eine genaue Einhaltung der Maßnahmen im Bereich von Prozentwerten ist in diesem Analyseschritt nicht vorgesehen. Es geht hier vielmehr darum, den einzelnen Verkehrsteilnehmer in seiner konkreten Verkehrs- und Lebenssituation anzusprechen. Für diesen Zweck wird ein frei verfügbares Analysetool erstellt werden, das allen interessierten Anwendern zur Verfügung stehen soll.

### **1.3 Aufbau der Studie**

Der vorliegende Bericht gliedert sich in vier Hauptbereiche:

- Kapitel 2 beschreibt den Untersuchungsgegenstand der Studie im Detail, indem Zielgruppen, Nachfragesegmente und Indikatoren beleuchtet werden.
- Kapitel 3 stellt die zu bewertenden Nutzen- und Kostenkategorien dar und betrachtet die zur Bewertung verwendeten Verfahren und Ansätze. Die Abgrenzungen und die Differenzierung von Nutzersegmenten, Wegeketten, Fahrzeugen und Ortslagen werden ausführlich dargestellt, und die ökonomischen Optionen zur Bewertung der Nutzen- und Kostenkomponenten werden diskutiert.
- In Kapitel 4 werden schließlich die Werkzeuge zur Analyse der wirtschaftlichen Folgen alternativer Mobilitätsstile vorgestellt. Kapitel 4.1 bespricht zunächst das im Rahmen dieser Studie entwickelte Analysetool PExMo für die individuelle Ebene, während Kapitel 4.2 einen kurzen Abriss über das auf die deutsche Ebene konvertierte systemdynamische Verkehrs- und Wirtschaftsmodell ASTRA-D gibt.
- Kapitel 5 und 6 stellen schließlich die Ergebnisse der Bewertung wirtschaftlicher Auswirkungen alternativer Mobilitätsketten aus individueller Sicht (Kapitel 5) und aus volkswirtschaftlicher Perspektive (Kapitel 6) dar. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise an die Analyse und der unterschiedlichen Zielgruppen fällt die Aufbereitung der beiden Ebenen recht unterschiedlich aus.
- Vor dem Hintergrund der beispielhaft ausgewählten Implementierungsinstrumente in der volkswirtschaftlichen Bewertung diskutiert Kapitel 7 im Anschluss geeignete Umsetzungsstrategien der hier ausgewählten Maßnahmen und beleuchtet Optionen der Paketbildung. Ferner diskutiert das Kapitel praktische Erfahrungen mit ähnlichen verkehrspolitischen Programmen in Europa.
- Kapitel 8 schließt die Studie mit einer Diskussion über die praktischen Implikationen der erarbeiteten Ergebnisse ab. Das Kapitel fasst die zentralen Ergebnisse der zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten.

Dieser Bericht wird durch fünf Infoblätter zu den Ergebnissen der Studie sowie dem PExMo-Tool zu Analyse eigener Wegeketten ergänzt.

## **2 Untersuchungsrahmen**

Das Anliegen der vorliegenden Arbeit, Informationen zu den ökonomischen Konsequenzen alternativer Mobilitätstile für unterschiedliche Adressaten aufzubereiten, verlangt zunächst eine kurze Diskussion über die Zielgruppen und die damit verbundenen Perspektiven der ökonomischen Analysen. Aufbauend auf diesem Hintergrund werden im Folgenden in Abschnitt 2.2 die gewählten Maßnahmen-Szenarien und in Abschnitt 2.3 die zu deren Umsetzung verfügbaren Instrumente vorgestellt. Abschnitt 2.4 widmet sich abschließend den grundlegenden ökonomischen Bewertungsoptionen und deren Eignung zur Erreichung der Ziele dieser Arbeit.

### **2.1 Perspektiven und Elemente der Untersuchung**

Im Folgenden werden die Zielgruppen und die daraus abgeleiteten Perspektiven der vorliegenden Untersuchung kurz dargestellt.

#### **2.1.1 Zielgruppen**

Die methodischen Ansätze dieser Studie sowie die Auswertung der Maßnahmen und Instrumente sollen drei Gruppen adressieren:

- Privatpersonen oder „Verkehrsteilnehmer“,
- Entscheidungsträger in der lokalen und überregionalen Politik und
- Dienstleister aus der Verkehrswirtschaft, bestehend aus Fahrzeugherstellern, ÖV-Betreibern und Anbietern von Car-Sharing oder Mietfahrrädern.

Privatpersonen sollen Informationen darüber erhalten, inwieweit die Maßnahmen und Instrumente ihre private, wirtschaftliche und lebensbezogene Situation beeinflussen. Politische Entscheidungsträger erhalten durch eine um volkswirtschaftliche Komponenten erweiterte Betrachtungsweise Entscheidungshilfen zur Abwägung der Vor- und Nachteile (Nutzen und Kosten) von alternativen verkehrspolitischen Leitbildern und Strategien. Die Verkehrswirtschaft stellt schließlich eine Kombination aus beiden Anforderungen dar, da Informationen über die potenzielle Akzeptanz alternativer Mobilitätsformen Entscheidungen in den Unternehmen fördern können. Tabelle 1 bewertet einige ausgewählte Eigenschaften der Ergebnisdarstellung für die drei potenziellen Nutzergruppen dieser Studie.

Tabelle 1: Anforderungen der Nutzergruppen an die Darstellung

	Privatpersonen	Verkehrswirtschaft	Politik
Detailgrad Mobilitätsumfeld	Wichtig für Identifikation mit eigener Situation	Wichtig für Marktanalyse	Niedrig, eher Bedarf nach Richtwerten
Hochrechnung auf Gesamtgebiet	Nur bedingt	Wichtig für Potenzialanalyse	Wichtig für Potenzialanalyse
Detailgrad Nutzen-/Kostenkomponenten	Hoch für private, niedrig für gesellschaftliche Komponenten	Niedrig für private, hoch für gesellschaftliche Komponenten	Niedrig für private, hoch für gesellschaftliche Komponenten
Zeitliche Differenzierung	Weniger relevant	Durchschnittlich relevant	Wichtig für Priorisierung von Maßnahmen und Instrumenten
Transparenz der Methodik	Wichtig, Einfachheit der Kommunikation	Ggf. wichtig für Öffentlichkeitsarbeit	Wichtig für öffentliche Kommunikation
Detaillierung der Methodik	Nicht entscheidend da ggf. verwirrend	Wichtig für Übertragung auf lokale Situation	Wichtig zur Begründung von Entscheidungen

Quelle: Fraunhofer ISI

Aus obiger Aufstellung ergeben sich für die Zielgruppen der Studie spezifische Anforderungen an die Ergebnisindikatoren:

- Privatpersonen (auch als „Kunden“ von Politik und Verkehrswirtschaft): Einfache, situationsbezogene Darstellung von Vor- und Nachteilen alternativer Mobilitätskonzepte insbesondere mit Hinblick auf die für diese Zielgruppe wirtschaftlich relevanten Details der Mobilität wie Fahrzeugvorhalte- und Betriebskosten, ÖV-Fahrpreise und Zeitaufwendungen.
- Verkehrswirtschaft: Es wird unterstellt, dass das primäre Ziel vergleichender Analysen von Mobilitätsstilen als Instrument der Marktanalyse Anwendung findet. Entsprechend ist eine detaillierte räumliche und nutzersegmentbezogene Darstellung ebenso wichtig wie die Bereitstellung aggregierter Indikatoren. Darüber hinaus erfordert die Beurteilung und Übertragung der Ergebnisse auf das eigene Umfeld eine umfassende Darstellung der angewandten Methodik.
- Politik: Abgesehen von den Anforderungen einer zielgerichteten Bürgerinformation benötigt insbesondere die höhere politische Ebene verlässliche Gesamtschätzungen zu Nutzen und Kosten von Maßnahmen und Instrumenten. Im Gegensatz zu Privathaushalten und Wirtschaft spielt hier der zeitliche Aspekt von Wirkungsketten

wie auch Transparenz und Detaillierungsgrad der verwendeten Methodik eine wichtige Rolle.

Diese Anforderungen werden beim Design von Indikatoren sowie der Strategie der Öffentlichkeitsarbeit aufgegriffen und vertieft. Die Darstellung der Ergebnisse verdeutlicht jedoch auch den „Spagat“ zwischen einer transparenten und einfach nachvollziehbaren Logik einerseits und einer ausgereiften und gut dokumentierten Methodik andererseits.

### 2.1.2 Perspektiven der Wirtschaftlichkeitsrechnungen

Ziel der Untersuchung ist die Beantwortung der Frage, ob oder unter welchen Randbedingungen der Übergang von einem Pkw-geprägten Verkehrsverhalten hin zu alternativen Mobilitätsstilen vorteilhaft ist. Der Begriff „vorteilhaft“ kann sich dabei auf die Nutzen und Aufwendungen (oder Kosten) des einzelnen Verkehrsteilnehmers konzentrieren oder die Wirkung auf das wirtschaftlich-gesellschaftliche Umfeld einbeziehen. In letzterem Fall wird eine mögliche Gliederung in ökonomische Wirkungen einerseits und in externe Effekte andererseits vorgenommen, um politischen Entscheidungsträgern ein möglichst differenziertes Bild zu präsentieren.

In beiden Fällen lassen sich monetär messbare Nutzen oder Kosten sowie nichtmonetäre Wirkungen unterscheiden. Während im Fall monetärer Nutzen und Kosten methodische Herausforderungen im Wesentlichen bei der Erfassung und Abgrenzung im Bezug auf das Mobilitätsverhalten auftreten, ergeben sich im Fall nichtmonetärer Effekte zum Teil kontrovers diskutierte Bewertungsfragen.

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen der eingenommenen *Perspektive* und den berücksichtigten *Akteuren* für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. *Perspektiven* geben an, aus wessen Blickwinkel die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen vorgenommen werden. Innerhalb dieser bilden die *Akteure* die zu analysierenden Subjekte ab.

- Die **nutzerbezogene, individuelle oder privatwirtschaftliche Perspektive** zielt zunächst auf den *Endnutzer* ab. Die darin betrachteten Akteure sind die Verkehrsteilnehmer, untergliedert nach Fahrzweck und regionalen Eigenschaften im Personenverkehr, sowie Verlager oder Spediteure nach Branche im Güterverkehr. Für ausgewählte Mobilitäts- und Transportketten werden die privatwirtschaftlich relevanten Nutzen und Kosten alternativer Verhaltensweisen einander gegenübergestellt, um die privaten Nutzen und Kosten eines nachhaltigeren Verkehrsverhaltens sichtbar zu machen. Die ausgewählten Nutzen- und Kostenkategorien umfassen auch die externen Kosten des Verkehrs, um die Konsequenzen alternativer Mobilitätsmuster des Nutzers auf die Gesellschaft sichtbar zu machen.

- Die Perspektive der **gesellschaftlichen Effekte** betrachtet daneben die Umsetzung der Maßnahmen mittels ausgewählter Instrumentenbündel und deren Wirkung auf Wirtschaft und Gesellschaft auf nationaler Ebene. Einbezogen werden hierin die Ressourcenverbräuche für Fahrzeit, Gesundheitsnutzen und externe Kosten des Verkehrs, sowie gesamtwirtschaftliche Kenngrößen.

Tabelle 2 stellt die Perspektiven, Akteursgruppen und beispielhaft die betrachteten Kosten- und Nutzenkategorien dar.

Tabelle 2: Perspektiven der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Kategorie	Beschreibung	Kosten-/Nutzenkomponenten
Nutzerperspektive	Direkte monetäre und nichtmonetäre Belastungen und Nutzen der durch die Maßnahmen und Instrumente direkt betroffenen Nutzer: Reisende nach Fahrzweck im Personenverkehr, Verlader bzw. Spediteure nach Wirtschaftsbereich im Güterverkehr Abstraktion von indirekten und externen Effekten.	<u>Monetäre Wirkungen:</u> Fahrzeugvorhaltung (MIV) Fahrzeugbetrieb (MIV) Fahrpreise/Frachtraten (ÖPNV/GV)
		<u>Nichtmonetäre Wirkungen:</u> Zeitaufwand Aufwand für Planung und Information Individuelle Gesundheitswirkungen Sozialer Austausch (ÖPV) Flexibilität (MIV)
Gesellschaftliche Perspektive	Gesamtwirtschaftliche Perspektive zuzüglich aller Kenngrößen einer nachhaltigen Entwicklung, d. h. zuzüglich der externen Effekte des Verkehrs	<u>Monetäre Wirkungen:</u> wirtschaftliche Effekte
		<u>Nichtmonetäre Wirkungen:</u> Unfallfolgen Luftverschmutzung Klimagasemissionen Lärmbelastung Positiver Effekt der „Entschleunigung“

Quelle: Fraunhofer ISI

Die Perspektive der Verkehrswirtschaft wird nicht durch eine separate Kategorie widerspiegelt, da die relevanten Kenngrößen aus der volkswirtschaftlichen und privatwirtschaftlichen Perspektive abgeleitet werden können.

## 2.2 Maßnahmen zur Emissionsminderung

Im Rahmen dieser Studie werden fünf Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr untersucht. Der Begriff „Maßnahme“ beschreibt dabei verkehrspolitische Ziele, die zur Senkung der verkehrsbedingten Emissionen umgesetzt werden sollen. Gegenstand der Maßnahmen sind zentrale Mobilitätskenngrößen wie Modal Split, Wegelängen oder

Kraftstoffverbrauch. Sie stellen Mittel zur Minderung der verkehrsbedingten Klimagas-, Luftschadstoff- und Lärmemissionen dar. Im Volkswirtschaftlichen Kontext ist jeder Maßnahme ein bestimmter Zielwert, beispielsweise des Modal Splits oder der Wegelängen, zugeordnet. Mittel zur Erreichung dieser Ziele bzw. zur Implementierung der Maßnahmen zur Emissionsminderung werden im Folgenden als „Instrumente“ bezeichnet.

Untersucht werden vier Maßnahmen im Bereich des Personenverkehrs und eine Maßnahme im Bereich des Güterverkehrs. Je nach Art der Maßnahmen beziehen sich diese auf einen unterschiedlichen regionalen Kontext und adressieren unterschiedliche Zielevariablen. Allen Maßnahmen gemeinsam ist der Zeithorizont 2030, bis zu welchem die verkehrspolitischen Zielvorgaben erreicht werden sollen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Maßnahmen und deren Charakteristika.

Tabelle 3: Übersicht der Maßnahmen

Maßnahme	Veränderung 2030	Bezugsvariable	Raumbezug
M1: Modal Split Rad & Fußverkehr	+10%-Punkte geg. BAU	Anzahl Wege	Nahbereich
M2: Modal Split ÖPNV	+10%-Punkte geg. BAU	Anzahl Wege	Nahbereich
M3: Wegelängen Pkw	-10% geg. BAU	Km/Weg	Alle Entfernungen
M4: Energieeffizienz Pkw	-10% geg. BAU	t <sub>CO2</sub> /Pkm	Alle Entfernungen
M5: Modal Split Bahn im Güterverkehr	+10%-Punkte geg. BAU	Tkm	Fernverkehr

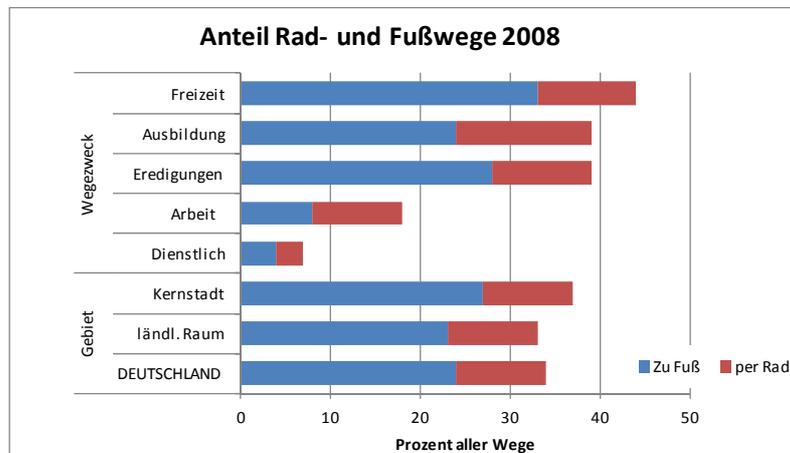
Quelle: Fraunhofer ISI (BAU: Trendwachstum, business as usual)

Im Folgenden werden die fünf Maßnahmen kurz erläutert. In allen Maßnahmen werden die Auswirkungen auf Nutzerkosten- und Zeitbudgets, volkswirtschaftliche Indikatoren und die externen Effekte des Verkehrs untersucht.

### 2.2.1 M1: Modal Split im Rad- und Fußverkehr

Im Bundesdurchschnitt stellt sich die Ausgangslage nach Infas/DLR (2010a) wie folgt dar: Von täglich 283 Millionen Wegen wurden 2008 rund 67 Millionen Wege oder 24% zu Fuß und 28 Millionen Wege oder 10% per Rad zurückgelegt. Mit 37% lag der Wegeanteil zu Fuß und per Rad in Kernstädten klar über dem Bundesdurchschnitt. Mit 44% entfiel der größte Wegeanteil auf Freizeitwege, während mit 7% dienstliche Wege den deutlich niedrigsten Rad- und Fußverkehrsanteil aufwiesen (Abbildung 2).

Abbildung 2: Wegeanteile Rad- und Fußverkehr 2008 nach Zweck und Raum



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus Infas/DLR (2010)

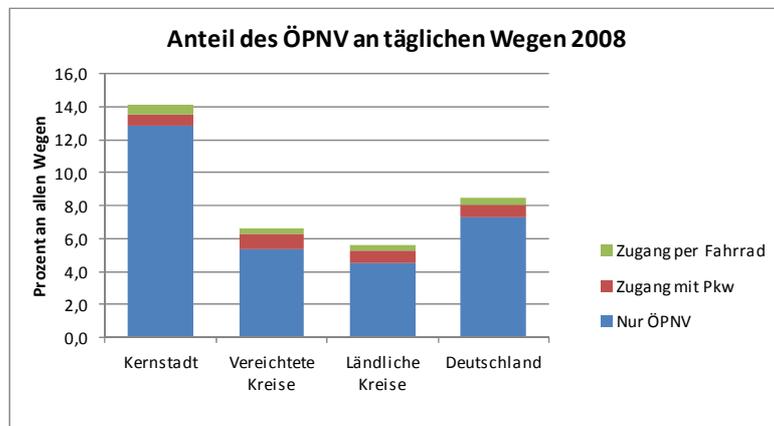
Gegenüber 2002 hat sich der Rad- und Fußverkehrsanteil in deutschen Städten leicht erhöht. Dessen niedrigster Wegeanteil zeigt sich bei der Bevölkerung zwischen 18 und 64 Jahren mit 27% für Männer und 32% für Frauen. Auch in anderen Altersgruppen liegt der Wegeanteil der Frauen signifikant über dem der Männer.

Untersucht werden mit Maßnahme M1 die Auswirkungen einer Steigerung des Wegeanteils des Rad- und Fußverkehrs in Innenstädten zu Lasten der Pkw-Nutzung um 10 Prozentpunkte. Bezogen auf Innenstädte bedeutet dies eine Steigerung des Modal-Split-Anteils des nichtmotorisierten Verkehrs um 27% von 37% auf 47% dar. Würde diese Steigerung vollständig vom motorisierten Individualverkehr abgezogen werden, würde dieser bis 2030 um 18% von 55% auf dann 45% abnehmen. Es wird erwartet, dass sich die städtische verkehrsbedingte Schadstoffbelastung gegenüber dem Trend-szenario 2030 in ähnlicher Weise reduziert, während die Lärmbelastung nur zu einem geringeren Maße zurückgeführt werden kann.

### 2.2.2 M 2: Modal Split im ÖPNV

Die Ausgangslage 2008 kann nach Infas/DLR (2010a) wie folgt zusammengefasst werden: Von täglich 283 Millionen Wegen wurden 2008 rund 24 Millionen Wege oder 8% mit dem ÖPNV zurückgelegt. Mit 14% ist dabei der Wegeanteil in Kernstädten deutlich höher als in verdichteten und ländlichen Kreisen. Mit 41 Minuten lag die mittlere Wegedauer mit dem ÖPNV deutlich über dem Durchschnitt von 24 Minuten. Mit 12% und 34% zeigen die Wegezwecke Arbeit und Ausbildung den größten ÖPNV-Anteil.

Abbildung 3: Anteil des ÖPNVs an den täglichen Wegen mit Verkehrsmittel für den Zu- und Abgang nach Regionstypen 2008



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus Infas/DLR (2010b)

Gegenüber 2002 hat sich der Anteil der Menschen, die den ÖPNV mindestens gelegentlich nutzen von 54% auf 58% erhöht. In diesem Zeitraum sind die Fahrgäste überproportional um 8% gestiegen. Dies geht auf das Wachstum in Städten zurück, während bedingt durch den demografischen Wandel ländliche Räume im Zeitraum 2009 bis 2010 1,4% Fahrgäste verloren haben (VDV, 2010).

Die Maßnahme M2 untersucht die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen einer Steigerung des Anteils des ÖPNV am städtischen Personenverkehr um 10 Prozentpunkte. Gegenüber dem derzeitigen Wegeanteil von 8% bedeutet dies mehr als eine Verdoppelung oder ein relatives Wachstum um 125% gegenüber einem Trendzenario mit konstanten Verkehrsträgeranteilen bis 2030. Entsprechend der Maßnahme M1 würde der städtische Pkw-Verkehr lediglich um 18% abnehmen.

Auch 2030 wird der öffentliche Personennahverkehr voraussichtlich nicht vollständig emissions- und lärmfrei abgewickelt werden können. Andererseits werden die durch den ÖPNV ersetzbaren Pkw-Fahrten voraussichtlich länger sein als im Fall des Fuß- und Radverkehrs. Damit ist offen, welche der beiden Maßnahmen M1 und M2 den größeren Umweltbeitrag leisten wird. Bezüglich der wirtschaftlichen Auswirkungen werden jedoch die massiv nötigen ÖPNV-Investitionen die sinkende Pkw-Nachfrage zumindest teilweise kompensieren können.

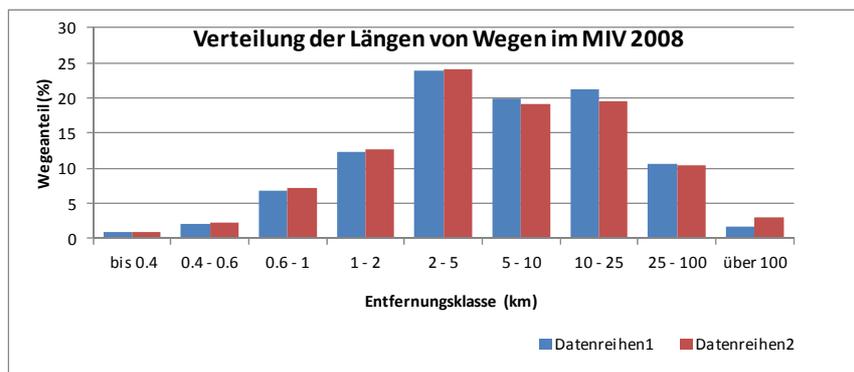
### 2.2.3 M 3: Verkürzung der Wegelängen im Pkw-Verkehr

Laut BMVBS (2012) wurden 2010 im motorisierten Individualverkehr 56,5 Mrd. Personen befördert, was einer Verkehrsleistung von 904,7 Mrd. Personenkilometern entspricht. Über alle Gebietstypen, Entfernungsklassen und Fahrzwecke hinweg betrug

somit die durchschnittliche Wegelänge im MIV 16,0 km. Zum Vergleich: bei Einbezug aller Verkehrsträger ergibt sich eine geringfügig größere durchschnittliche Wegelänge über alle Fahrzwecke von 16,5 km. Im Vergleich zu 2002 hat sich die Pkw-Wegelänge in Deutschland um 0,5 km oder 6,3% erhöht.

In Gegensatz hierzu beträgt nach dem Mikrozensus MiD 2008 (Infas/DLR, 2010a) die durchschnittliche Reiseweite in Deutschland nur 11,5 km über alle Verkehrsträger (inklusive Rad- und Fußverkehr) sowie 15,6 km im MIV. Mit 20,3 km weist hiernach der öffentliche Personenverkehr die größten Distanzen unter den Verkehrsmitteln auf. Für den Pkw liegen die meisten Wege in einem recht kurzen Distanzband von 2 bis 5 km, gefolgt von mittleren Entfernungen bis 25 km (Abbildung 4). Die durchschnittlich längsten Fahrten werden mit 17,7 km und 20,4 km von Arbeitswegen und Dienstfahrten zurückgelegt.

Abbildung 4: Verteilung der Fahrtweiten auf Verkehrsmittel



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von Infas/DLR (2010b)

Maßnahme 3 untersucht die Auswirkungen einer Verkürzung der durchschnittlichen Pkw-Distanzen um 10 % über alle Entfernungsbereiche. Unterstellt wird dabei eine Änderung der Zielwahl durch die Verkehrsteilnehmer, so dass weiter entfernte Fahrziele durch nähergelegene Alternativen ersetzt werden. Dies kann sich in allen Lebensbereichen wie Urlaub, Einkaufen, Freizeit oder der Wahl des Arbeitsplatzes niederschlagen. Eine Verkürzung der Pkw-Wegelängen durch die Verlagerung von weiten Strecken auf öffentliche Verkehrsmittel oder die Unterlassung langer Fahrten, welche das statistische Mittel der durchschnittlichen Pkw-Fahrtweiten ebenfalls vermindern würde, entsprechen nicht der Intention der Maßnahme und werden entsprechend hier nicht näher betrachtet.

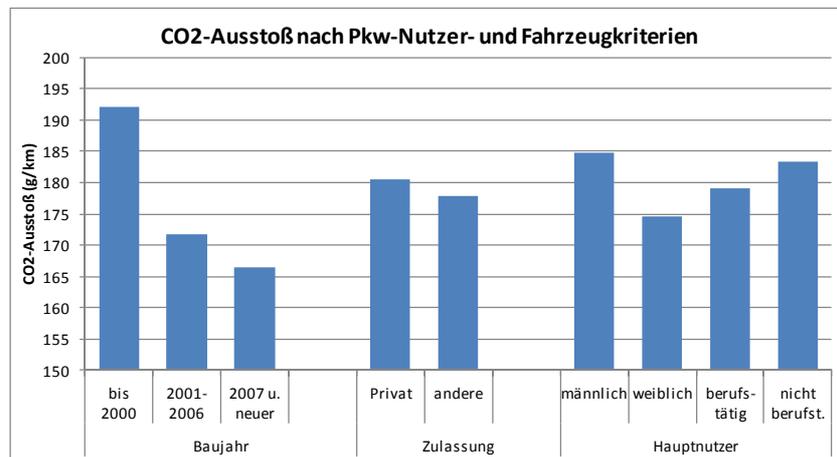
Positive Wirkungen der Maßnahme 3 werden im Bereich reduzierter Nutzerzeit- und Fahrzeugbetriebskosten sowie entsprechend reduzierter externer Effekte erwartet. Demgegenüber stehen einerseits die gesamtwirtschaftlichen Effekte eines reduzierten

Pkw-Einsatzes sowie möglicherweise verminderte Nutzen durch die Wahl weniger attraktiver Ziele. Insbesondere letztere sind im Rahmen des hier gewählten ressourcenbasierten Bewertungsansatzes nicht zu quantifizieren.

## 2.2.4 M 4: Effizienzsteigerung im Pkw-Verkehr

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs für Deutschland seit 1990 zeigt ein im Wesentlichen konstantes Niveau. Mit dem seither stark gestiegenen Verkehrsaufkommen ergibt sich eine deutliche Effizienzsteigerung sowohl für Pkw als auch für Lkw in den vergangenen Jahrzehnten. Bestätigt wird dies durch die Flottendurchschnittsemissionen von Pkw nach deren Alter. Diese liegen für Baujahre vor 2000 mit 192 g CO<sub>2</sub>/km etwa 15% über dem Wert neuer Fahrzeuge ab Baujahr 2007 mit 166 g CO<sub>2</sub>/km. Der Flottendurchschnitt 2008 liegt dabei 8,5% über den Durchschnittsemissionen von Neuwagen. Während zwischen Stadt und Land kaum Unterschiede in der Kraftstoffeffizienz auftreten haben Geschlecht und Berufstätigkeit des Nutzers durchaus Einfluss auf die Effizienz der hauptsächlich von ihnen verwendeten Fahrzeuge (Abbildung 5). Es ist jedoch zu beachten, dass auch der Pool neuer Fahrzeuge heterogen ist und in sich noch erhebliche Effizienzreserven durch die Wahl kleiner Fahrzeuge bietet. Ferner spielen die Besetzungsgrade der Fahrzeuge eine entscheidende Rolle bei der Kraftstoff- und CO<sub>2</sub>-Bilanz pro Weg oder Personenkilometer (Pkm).

Abbildung 5: Durchschnittlicher Flottenverbrauch Pkw nach ausgewählten Kenngrößen



Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten von Infas/DLR (2010b)

Maßnahme 4 geht der Frage nach, welche gesamtwirtschaftlichen Folgen und Nachhaltigkeitswirkungen der vermehrte Einsatz kleinerer und verbrauchsärmerer Fahrzeuge nach sich zieht. Dabei wird auf das Verhalten der Nutzer durch die Wahl sparsamerer Fahrzeuge und deren bessere Auslastung, und nicht auf die weitere Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen durch die Automobilhersteller, fokussiert. Ziel ist, den Kraft-

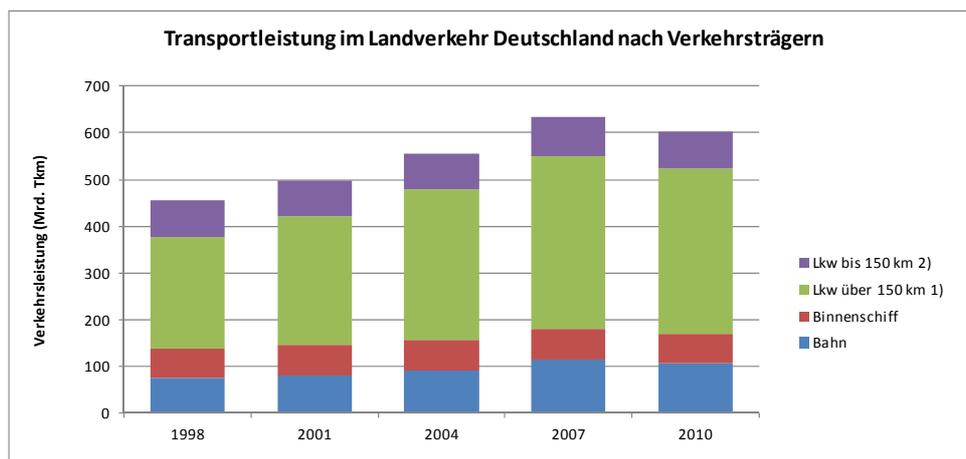
stoffbedarf und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Pkw-Flotte insgesamt in der Bundesrepublik bis 2030 um 10 % gegenüber dem Trendszenario zu reduzieren.

Erwartete positive Wirkungen der Maßnahme beinhalten reduzierte Fahrzeugbetriebskosten auf der individuellen Nutzerebene sowie geringere CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen auf der gesellschaftlichen Ebene. Demgegenüber wird eine geringere Wertschöpfung der OEMs und der Kfz-Zulieferindustrie erwartet. Als problematisch könnte sich die Verlagerung der Verkehrsnachfrage zum Pkw erweisen, da dieser mit höherer Kraftstoffeffizienz pro Weg auch günstiger wird.

## 2.2.5 M 5: Steigerung des Bahnanteils im Güterverkehr

Der Marktanteil des Bahngüterverkehrs in Deutschland hat sich nach einem Einbruch Anfang der 1990er Jahre in den letzten 15 Jahren bei etwa 17% der Verkehrsleistung stabilisiert. Die höchsten Marktanteile kann die Bahn traditionell bei den Produktgruppen Eisen, Stahl und NE-Metalle, Maschinen und Anlagen (inkl. Containern) und chemischen Erzeugnissen erzielen. Im gleichen Zeitraum wuchs der Straßengüterverkehr von 65% auf 70%, während die Binnenschifffahrt entsprechend von 15% auf 10% Marktanteil schrumpfte (Abbildung 6). Nach Essen et al. (2011) verursachen Bahn und Binnenschiff nur etwa ein Drittel der umwelt- und sicherheitsbedingten externen Kosten des Straßengüterverkehrs mit schweren Lkw, womit sich die Verschiebung der Transporte hin zur Straße negativ auf die Nachhaltigkeit des Güterverkehrs ausgewirkt hat.

Abbildung 6: Marktanteile im Güterverkehr 1995 bis 2010



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von BMVBS (2012)

Vor diesem Hintergrund soll die Maßnahme 5 untersuchen, welche ökonomischen und ökologischen Auswirkungen eine Erhöhung des Bahnanteils im nationalen Güterverkehr um 10 Prozentpunkte hätte. Aus Perspektive der Bahn entspräche dies einem

Wachstum um fast 60% gegenüber einem Trendszenario, welches von konstanten Verkehrsträgeranteilen bis 2030 ausgeht. Im Gegensatz zu den Indikatoren des Personenverkehrs (Maßnahmen M1 und M2) bildet hier die Verkehrsleistung (in Tonnenkilometern) die Entscheidungsgrundlage.

Zu erwarten sind bei der Maßnahme M5 nennenswerte Einflüsse auf die volkswirtschaftlichen Kenngrößen. Investitionsprogramme der letzten Jahrzehnte haben eindrücklich die Kostenintensität und mitunter die überschaubare Wirksamkeit von Maßnahmen zur Förderung des Bahngüterverkehrs demonstriert. Hinzu kommen ggf. nennenswerte Zeitverluste der Verlagerer sowie gesamtwirtschaftliche Effekte durch den Rückgang der Lkw-Nachfrage. Demgegenüber stehen zu erwartende Nutzen in Form geringerer Umwelt-, Klima- und Lärmbelastungen sowie eines höheren Grades der Verkehrssicherheit.

## **2.3 Instrumente zur Realisierung der Maßnahmen**

### **2.3.1 Instrumente und deren Bündelung**

Zur Realisierung der Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr sind spezifische Instrumente zu betrachten. Diese können auf verschiedenen Ebenen ansetzen, um das Mobilitätsverhalten von Menschen und Unternehmen in die gewünschte Richtung zu lenken. Unterscheiden lassen sich dabei grundsätzlich Push-Instrumente, welche die Nutzung der ökologisch weniger vorteilhaften Verkehrsträger schmälern, und Pull-Instrumente zur Attraktivitätssteigerung der gewünschten Alternativen. Ferner kann unterstellt werden, dass sich das Nutzerverhalten zu einem gewissen Grad durch Informations- und Kommunikationsstrategien beeinflussen lässt oder im Zuge eines sich wandelnden Wertesystems autonom ändert. Schlussendlich werden die z.T. erheblichen verkehrspolitischen Veränderungen, welche von den fünf hier vorgeschlagenen Maßnahmen gefordert werden, nur durch einen Mix aus Push- und Pull-Maßnahmen und einem Teil autonomer Verhaltensänderung zu erreichen sein.

Die Anwendung von Instrumenten zur Umsetzung verkehrspolitischer Maßnahmen hat in der Regel Auswirkungen auf die öffentlichen Haushalte, die Attraktivität der Verkehrsträger oder regionaler Strukturen und letztendlich auf die Verkehrsnachfrage. Dabei können sich die Wirkungen weit über die zu beeinflussenden Verkehrsträger hinaus entfalten. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die Instrumente und deren Konsequenzen nur in der volkswirtschaftlichen Betrachtungsebene berücksichtigt. Dabei werden folgende Grundelemente von Instrumenten untersucht:

- **Autonome Verhaltensänderung:** Es wird unterstellt, dass mit Informations- und Kommunikationskampagnen ohne wesentlichen finanziellen Einsatz ein Teil der

Nutzer zu einer Verhaltensänderung im Sinne der Maßnahme angeregt werden kann. Aus methodischer Sicht wird dieses Instrument verwendet, um die Wirkungen der Maßnahme von den Wirkungen der verwendeten Instrumente zu separieren. Damit können Aussagen zur Effizienz der gewählten Instrumente formuliert werden.

- **Preisliche Instrumente:** Hierzu zählen City- und Autobahnmauten, Parkraumbewirtschaftung und sonstige Abgaben, wie auch die Rückführung von Vergünstigungen wie bspw. der Pendlerpauschale. Preisinstrumente zählen in der Regel zu den Push-Instrumenten, da sie grundsätzlich die implizite Subventionierung eines nicht favorisierten Verkehrsträgers (hier: Pkw oder Lkw) abbauen. Über die Reduktion von Entgelten für favorisierte Verkehrsträger können diese jedoch auch als Pull-Instrumente gestaltet werden. Preisliche Instrumente können erhebliche Infrastrukturinvestitionen und Betriebsausgaben etwa für Errichtung und Betrieb von Mautsystemen nach sich ziehen. Diese Kosten zählen nicht zu den investiven Maßnahmen.
- **Investitionen:** Investive Instrumente umfassen alle baulichen Maßnahmen zur Aufwertung präferierter Verkehrssysteme wie Bahnanlagen, Rollmaterial, Fußgängerzonen, Radverkehrsanlagen etc. Entsprechend zählen diese Arten der Investitionen zu den Pull-Maßnahmen, da damit die Attraktivität der gewünschten Verkehrsalternative (Bahn, Fuß- und Radverkehr) gesteigert wird ohne die bestehenden Vergünstigungen unerwünschter Alternative direkt zu reduzieren.
- **Regulatorische Instrumente:** Diese werden hier nur im Bereich des Güterverkehrs untersucht und umfassen unter anderem längere Züge, geringere Blockabstände, höhere Achslasten auf der Bahn und sonstige Änderungen des rechtlich-organisatorischen Rahmens, welche die Effizienz der Bahn steigern. Gleichzeitig werden Verschärfungen z.B. der Lenk- und Ruhezeitregelungen und sonstiger Sozial- und Sicherheitsvorschriften im Straßengüterfernverkehr diskutiert, womit regulatorische Instrumente sowohl Push- als auch Pull-Elemente enthalten können.

Unterstellt wird schließlich ein beispielhafter Instrumentenmix je Maßnahme. Dieser wird so justiert, dass das Ziel der Maßnahmen im Prognosejahr 2030 getroffen wird. Die Dosierung der einzelnen Elemente des Instrumentenmixes wurde dabei exemplarisch durch Absprache innerhalb des Projektteams aufgrund von Grenzwerten (z.B. von Benutzungsgebühren etc.) und der Wirksamkeit der Einzelinstrumente vorgenommen. Die Wirksamkeit wird durch Sensitivitätsrechnungen des in Kapitel 4.2 beschriebenen ASTRA-D-Modells abgeschätzt. Eine Optimierung der Instrumentenbündel ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen.

Im Folgenden sollen die Effekte der betrachteten verkehrspolitischen Instrumente zur Realisierung der Maßnahmen beleuchtet werden. Dabei werden die Effekte von zwei Seiten aus betrachtet:

- **Zielfokussiert:** Ausgehend von den Zielebenen wird analysiert, über welche Wirkungskanäle diese Zielebenen positiv beeinflusst werden können und welche Maßnahmen und Instrumente dazu beitragen können.

- Maßnahmenfokussiert: Dabei werden die Wirkungsmechanismen verschiedener Instrumententypen betrachtet und deren Wirkung auf die definierten Zielebenen.

Diese kombinierte Betrachtung trägt zu einer zielgerichteten Auswahl von Instrumenten und Maßnahmen bei. In Tabelle 4 werden die betrachteten Maßnahmen, sowie die Stellschrauben, über die sich diese beeinflussen lassen, dargestellt. Insgesamt geht es bei allen Maßnahmen mit Ausnahme der Maßnahme M4 (Effizienzsteigerung Pkw) darum, die Attraktivität des MIV zu reduzieren (Push-Instrumente), und gleichzeitig dessen Alternativen zu stärken (Pull-Instrumente).

### **2.3.2 Wirkungsmechanismen der Instrumente**

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, haben die Maßnahmen und Instrumente unterschiedliche Wirkungsmechanismen, die bei der Auswahl zu berücksichtigen sind. Im Folgenden sind die wichtigsten Maßnahmentypen dargestellt. Die Wirkungsmechanismen machen deutlich, dass die Wirkungen aufgrund der Vielzahl der Einflussgrößen oft schwieriger zu bewerten sind als die Wirkungen von technischen Maßnahmen, die oft direkt eine Umweltverbesserung nach sich ziehen.

#### **Preisliche Anreize:**

Preisliche Anreize können sowohl auf die Reduktion der Attraktivität des MIV (Push-Maßnahmen), als auch auf die Attraktivitätssteigerung des ÖV (Pull-Maßnahmen) abzielen. Im Grundsatz geht es darum, die relativen Preise zwischen MIV und ÖV zugunsten des öffentlichen Verkehrs zu beeinflussen.

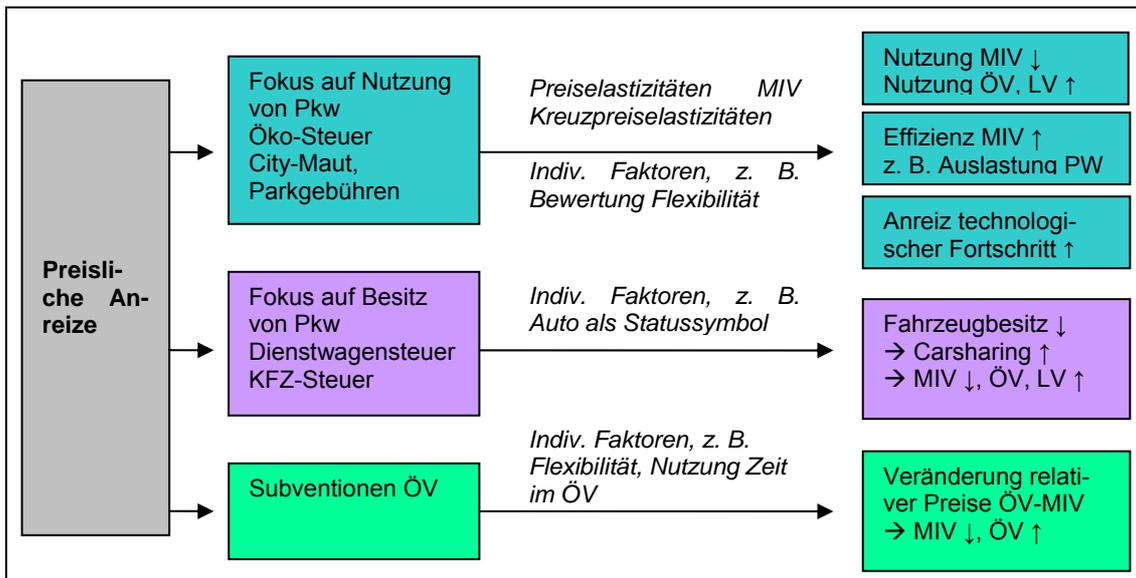
Abbildung 7 stellt die wichtigsten Wirkungsmechanismen dar. In kursiver Schrift sind die Stellschrauben dargestellt, welche diese Wirkungsmechanismen beeinflussen:

Tabelle 4: Maßnahmen und Instrumente - Zielfokussierte Auswahl

Maßnahme / Ziele	Instrumententyp	Mögliche Instrumente (Beispiele)
Maßnahme M1: "Modal Split" Fuß- und Radverkehr	Preisliche Anreize	Parkraumgebühren, City-Maut Subventionierung Car Sharing
	Infrastruktur	Ausdehnung Fußgängerzonen und Radwegenetze Verlagerung der Kapazitäten vom MIV zum Radverkehr
	Ordnungsrechtliche Maßnahmen	Geschwindigkeitsbeschränkungen; Zugangsbeschränkungen
	Weiche Maßnahmen, Raumplanung	Mobilitätsmanagement; Informationssysteme; Stadtplanung (Stadt der kurzen Wege)
Maßnahme M2: "Modal Split" ÖPNV;	Preisliche Anreize	ÖV-Subventionen; Parkraumbewirtschaftung; City Maut
	Infrastruktur	ÖV-Investitionen; Attraktivitätssteigerungen Bahnhöfe; Park&Ride-Angebote
	Ordnungsrechtliche Maßnahmen	Geschwindigkeitsbeschränkungen; Zugangsbeschränkungen (Umweltzonen, Fußgängerzonen)
	Weiche Maßnahmen und Raumplanung	Mobilitätsmanagement; Informationssysteme/Labelling; Leitsysteme; Orientierung der Stadtplanung an ÖV
Maßnahme M3: Kürzere Pkw-Wege	Preisliche Anreize	Differenzierung Grundstückspreise mit Anreiz auf Verdichtung; Elemente des Mobility Pricing bzw. "ökologische Steuerreform"
	Infrastruktur	Umgestaltung städtischer Räume ("Stadt der kurzen Wege"); Attraktivitätssteigerung regionaler Ziele (weit jenseits reiner Verkehrsinfrastrukturen)
	Ordnungsrecht	Landnutzung, Ausweis von Gewerbeflächen
	Weiche Maßnahmen und Raumplanung	Stadtplanung ("Stadt der kurzen Wege"); Information zu Reise- und Freizeitangeboten in der Region
Maßnahme M4: Effizienzsteigerung im MIV	Preisliche Anreize	Differenzierte MIV-Steuer- und Gebührensysteme; Erhöhung Öko-Steuer; staatliche Förderung alternativer Antriebstechnologien
	Infrastruktur	-
	Ordnungsrechtliche Maßnahmen	Zugangsbeschränkung (Umweltzonen); Fahrzeugvorschriften/Verbot niedriger Euroklassen
	Weiche Maßnahmen und Raumplanung	„Awareness Raising“ und Anleitung für effiziente Fahrweise; Informationssysteme/Labelling
Maßnahme M5: "Modal Split" Bahn-Güterverkehr	Preisliche Anreize	Subventionen Bahninfrastruktur, Rollmaterial und Betrieb; Lkw-Maut inkl. externe Kostenj
	Infrastruktur	Engpassbeseitigung Hafenhinterlandverkehr, ect.
	Ordnungsrechtliche Maßnahmen	Längere Züge, kürzere Blockabstände Bahn; strengere Kontrolle Sozialvorschriften Lkw
	Weiche Maßnahmen und Raumplanung	Labelling nachhaltiger Logistik, Revision BVWP.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 7: Wirkungsmechanismen preislicher Anreize zur Reduktion der Attraktivität des MIV und Attraktivitätssteigerung des ÖV



Quelle: INFRAS

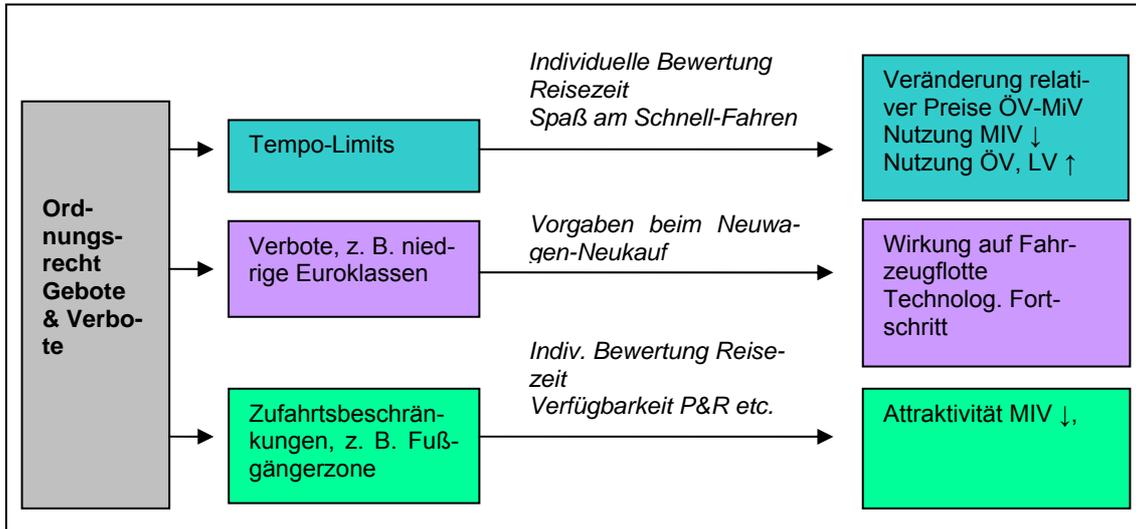
### Ordnungsrechtliche Instrumente (Gebote und Verbote)

Ordnungsrechtliche Maßnahmen wirken im Prinzip ähnlich wie marktbasierende Ansätze auf die Preise: Sie reduzieren die Attraktivität des MIV und führen zu einem Umstieg auf alternative Verkehrsträger. Abbildung 8 zeigt die wichtigsten Wirkungskanäle für ausgewählte ordnungsrechtliche Maßnahmen.

### Infrastruktur-Investitionen

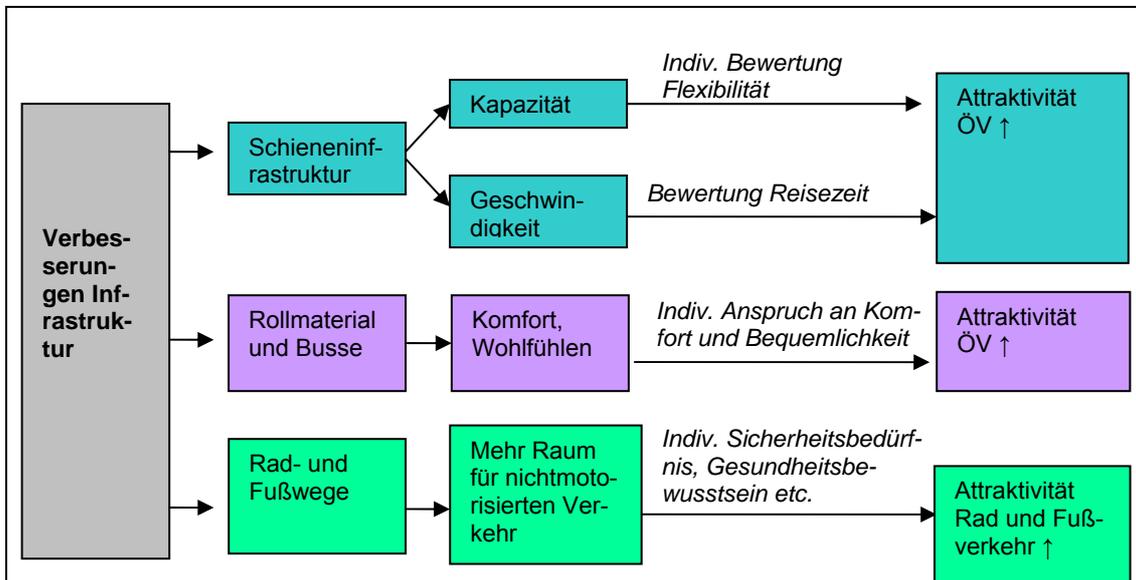
Verbesserungen der Infrastrukturen können sowohl bei Infrastrukturen (Bahnverbindungen, Radwege, Fußgängerbereiche) als auch bei Verkehrsmitteln (attraktive Züge, Busse etc.) ansetzen. Sie erhöhen die Attraktivität alternativer Verkehrsträger, z. B. über die Verbesserung des Komforts, die Reduktion der Reisezeiten oder die Verbesserung der Sicherheit (insbesondere beim Fuß- und Radverkehr). Die wichtigsten Wirkungsmechanismen sind in Abbildung 9 skizziert.

Abbildung 8: Wirkungsmechanismen ordnungsrechtlicher Instrumente



Quelle: INFRAS

Abbildung 9: Wirkungsmechanismen von Infrastruktur-Maßnahmen



Quelle: INFRAS

### **Weiche Instrumente: Information, Awareness Raising**

Maßnahmen in diesem Bereich unterstützen die bisher genannten Maßnahmen und Instrumente. Sie weisen die Verkehrsteilnehmer auf neue Angebote hin und schaffen eine höhere Sensibilisierung im Bereich der nachhaltigen Mobilität.

So sind z. B. bei Maßnahmen der Qualitätsverbesserung im Rad- und Fußverkehr auch klare Anzeigen notwendig. Mobilitätsmanagement-Angebote, wie z. B. Internetseiten, die über die verschiedenen Verkehrsangebote und deren Kombination informieren, steigern die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs.

### **Raumplanerische Instrumente mit Wirkung auf Verkehrssystem**

Die Raumplanung kann über verschiedene Kanäle Einfluss auf das Verkehrssystem nehmen. Insbesondere das Ausweisen neuer Bauzonen beeinflusst das Mobilitätsverhalten stark. In den letzten Jahren ist der Trend in der Raumplanung weg vom „Wohnen im Grünen“ hin zur inneren Verdichtung gegangen. Damit können die Wege zwischen Arbeit, Wohnen und Freizeiteinrichtungen verkürzt werden und die Abhängigkeit vom motorisierten Verkehr wird reduziert.

Mit einer Fokussierung der Raumplanung auf gute Anbindungen an den öffentlichen Verkehr sowie auf das Radwegenetz, anstatt der Fokussierung auf den MIV, können wichtige Anreize gesetzt werden. Auch die Erhaltung von Ortszentren bzw. die Schaffung neuer Ortszentren kann die Nutzung des MIV überflüssig machen, wenn z. B. zum Einkaufen nicht das Einkaufszentrum am Ortsrand benutzt werden muss (Konzept der Stadt der kurzen Wege).

## **2.4 Optionen der ökonomischen Bewertung**

### **2.4.1 Partialanalyse: Kosten-Nutzen-Bewertung von nichttechnischen Maßnahmen**

Für die ökonomische Bewertung nichttechnischer Maßnahmen bieten sich partialanalytische Betrachtungen an, welche die rein intern anfallenden Kosten und Nutzen der Maßnahmen betrachten (vgl. ARE/ASTRA, 2006). Bei dieser partialanalytischen Betrachtung werden die über die Zeit anfallenden Kosten und Nutzen einer Maßnahme gegenübergestellt und mit Hilfe der Nettobarwertmethode vergleichbar gemacht. Maßnahmen mit positivem Kosten-Nutzen-Verhältnis sind gemäß diesem ökonomischen Ansatz vorteilhaft und sollten umgesetzt werden. Für eine solche partialanalytische Betrachtung gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### **Methodik 1: Ressourcenorientierter Ansatz**

Beim ressourcenorientierten Ansatz werden die Informationen zu Kosten und Nutzen „bottom-up“ zusammengetragen und summiert. Dabei orientiert sich der Ansatz an den Wirkungen auf die verschiedenen Ressourcen (Arbeit, Kapital, Umwelt).

Auf der **Kosten-Seite** erfolgen eine projekt-/maßnahmenbezogene Investitionsrechnung sowie eine Zusammenstellung der notwendigen Unterhaltskosten. Die Kosten der Maßnahmen können über den Zeitverlauf sehr unterschiedlich aussehen: Manche Maßnahmen erfordern einmalige oder je nach Lebensdauer periodisch anfallende Investitionskosten, während andere Maßnahmen vor allem im Betrieb aufwendig sind.

Die Investitionskostenrechnung ermöglicht einen Vergleich dieser unterschiedlichen Kostenstrukturen, wobei Annahmen zur Lebensdauer der Maßnahmen, zur Art der Abschreibung (linear oder degressiv) sowie zum Zinssatz notwendig sind (vgl. Neus, 1998).

Auf der Nutzen-Seite werden die in Tabelle 2 dargestellten Nutzelemente einzeln analysiert und aufsummiert. Die Reduktion der Transportkosten ist dabei relativ einfach erfassbar. Andere Nutzenkomponenten wie Reisezeiten, positiv empfundene Gesundheitswirkungen (z. B. bei Verbindung Arbeitsweg mit Fitness-Training) oder des Komforts sind deutlich schwerer zu quantifizieren. Im Bereich der ökonomischen Bewertung wird dabei auf verschiedene Ansätze wie z. B. Erfragung der Zahlungsbereitschaften, hedonische Preise oder der Reisekosten-Ansatz verwendet (vgl. Cansier, 1996).

Da auch die Nutzen ebenfalls über den Zeitverlauf variieren, ist eine Diskontierung auf den Ausgangszeitpunkt ( $t=0$ ) notwendig. Dabei sollte im Rahmen dieses Projekts auf die in der UBA-Methodenkonvention vorgeschlagenen Diskontierungsmethoden zurückgegriffen werden (UBA, 2007).

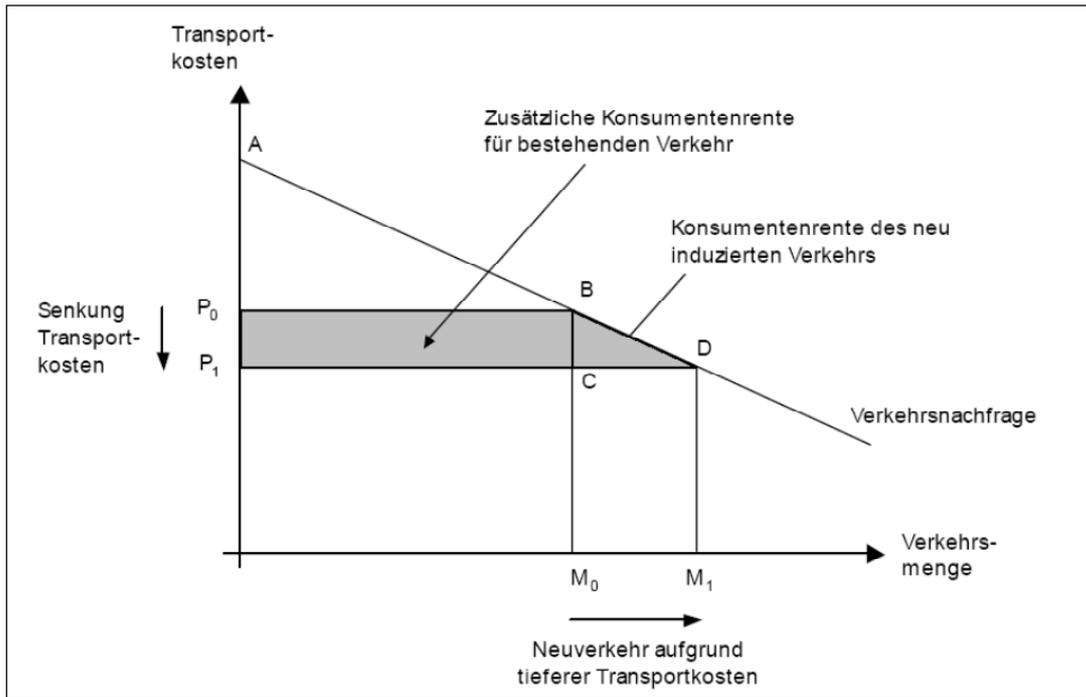
### **Methodik 2: Nutzenorientierter Ansatz**

Der angelsächsische Ansatz der Nutzenbewertung arbeitet mit einem vereinfachten Verfahren, bei dem die Auswirkungen von Maßnahmen auf das Nutzenniveau betrachtet werden. Änderungen im Nutzenniveau werden in der Mikro-Ökonomie über die Konsumentenrente abgebildet.

Die Konsumentenrente ist definiert als der Überschuss der Zahlungsbereitschaft über dem Gleichgewichtspreis zwischen Angebot und Nachfrage. In Abbildung 10 entspricht die Konsumentenrente im Ausgangsniveau mit dem Preis  $p_0$  dem Dreieck  $p_0AB$ . Wenn eine Maßnahme im nichttechnischen Bereich zu einer Senkung der Transportkosten beiträgt, steigt die Konsumentenrente. Die zusätzliche Konsumentenrente durch eine

Preissenkung ist dabei in die zusätzliche Konsumentenrente des bestehenden Verkehrs und in die Konsumentenrente des neu induzierten Verkehrs zu unterteilen (vgl. ARE/ASTRA, 2006).

Abbildung 10: Definition Konsumentenrente



Quelle: ARE/ASTRA, 2006.

Eine Veränderung der Konsumentenrente ist jedoch nicht nur über eine Preisänderung sondern auch über eine Veränderung der Nachfragekurve möglich – z. B. durch eine Veränderung der relativen Preise zwischen Verkehrsträgern oder Qualitätsverbesserungen mit Wirkungen auf Komfort.

Die Schwierigkeit bei dieser Methodik liegt darin, dass der reale Verlauf der Nachfragekurve meist nicht bekannt ist, sondern lediglich der Gleichgewichtspreis sowie die nachgefragte Menge im Ausgangszustand. Wenn zudem Prognosewerte für Gleichgewichtspreis und Nachfrage nach Einführung der Maßnahme vorliegen, kann die Konsumentenrente über die „Rule of a half“ angenähert werden (vgl. Europäische Kommission GD Regionalpolitik 2003).

Die Stärken und Schwächen dieser beiden Ansätze sind in der folgenden Tabelle 5 im Vergleich dargestellt:

Tabelle 5: Stärken und Schwächen des ressourcenorientierten Ansatzes und des nutzenorientierten Ansatzes

Kriterium	Ressourcenorientierter Ansatz	Nutzenorientierter Ansatz
Grundsätzlicher Ansatz	Bottom-up Detaillierter Ansatz unter Einbeziehung aller monetarisierbaren Nutzenkomponenten.	Top-down Vereinfachender Ansatz über Veränderung der Nutzenniveaus.
Komplexität	Hoch, da einzelne Komponenten quantifiziert werden müssen, unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	Mittel, v. a. wenn Nutzenfunktion bekannt ist.
Nachvollziehbarkeit	Gut Einzelne Komponenten können separat dargestellt werden.	Niedrig Konsumentenrente ist schwer greifbares Konstrukt, für Entscheidungsträger schwer nachvollziehbar.
Notwendige Annahmen	Abhängig von berücksichtigten Nutzenkomponenten Insbesondere bei schwer monetarisierbaren Komponenten muss oft mit vereinfachenden Annahmen gearbeitet werden.	Annahmen über Nutzenfunktion Wenn Verlauf Nutzenfunktion nicht bekannt: „Rule of a half“

Quelle: Infrac

Die eindeutige Schwäche dieses partialanalytischen Ansatzes mit Fokus auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist die fehlende Einbeziehung der nicht monetarisierbaren Größen. Insbesondere wenn Zeitkosten nicht berücksichtigt werden, ist die Einschätzung aus der partialanalytischen Analyse kritisch zu hinterfragen. Falls Zeitkosten quantifiziert und in die Kosten-Nutzen-Bewertung einbezogen werden, sind die beiden folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Eine Stunde im Auto darf im Allgemeinen nicht gleich bewertet werden wie eine Stunde Zugfahrt, da die Zeit im Zug für verschiedene Tätigkeiten genutzt werden kann und Menschen mit unterschiedlichen Zeitpräferenzen das für sie geeignetste Verkehrsmittel wählen. Für Verkehrsverlagerungsprojekte gilt dieser Grundsatz jedoch nicht ohne weiteres, da sich die individuelle Zeitpräferenz beim Umstieg auf andere Verkehrsträger nicht ändert.
- Zudem ist bei der Quantifizierung von Zeitkosten zu berücksichtigen, dass bei Reduktion der Reisezeiten auf einer Strecke das freiwerdende „Reisezeit-Budget“ oft für zusätzlichen Verkehr genutzt wird.

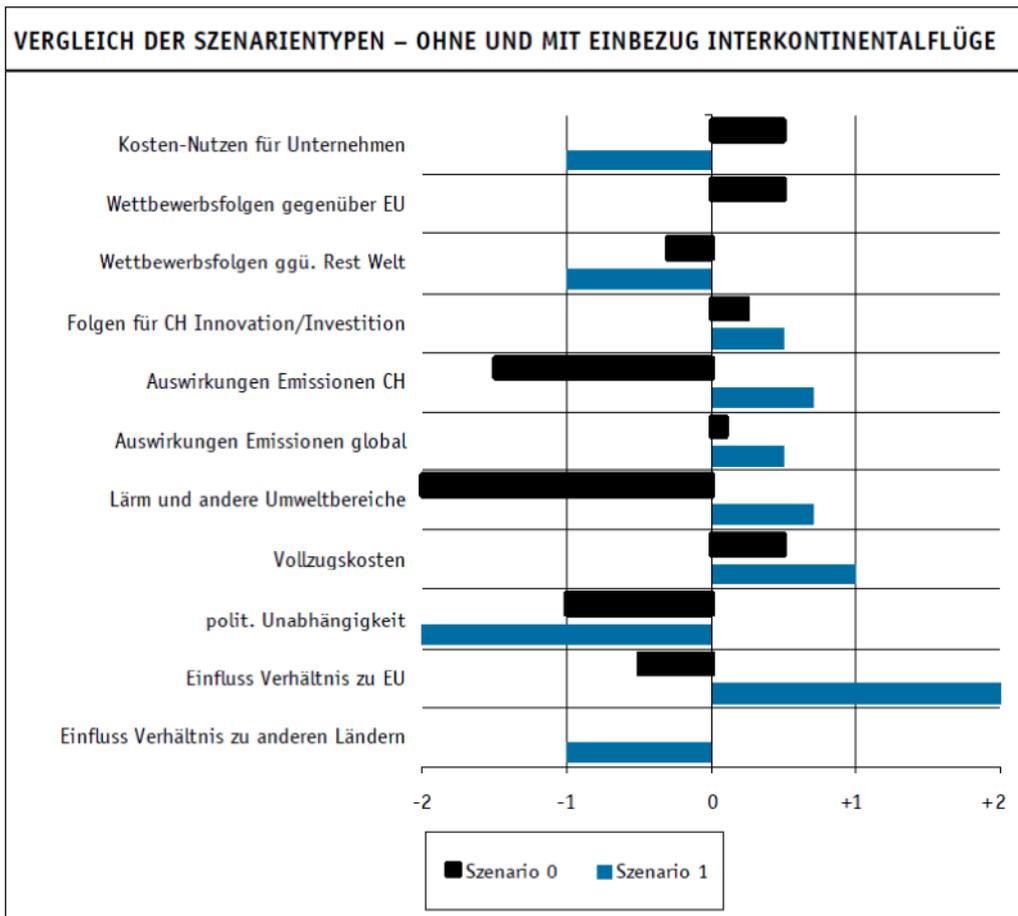
### **Erweiterter Indikatoren-Ansatz zur ökonomischen Bewertung**

Der partialanalytische quantitative Ansatz kann durch weitere qualitative Indikatoren ergänzt werden. Diese Methodik wird heute bereits in der Schweiz im Ziel- und Indikatorensystem Nachhaltiger Verkehr (ZINV) und den daraus abgeleiteten Indikatorensets für die Straße (NISTRA) und Schiene (NIBA) verfolgt.

Die qualitativen Indikatoren werden dabei entsprechend einer vorab festgelegten Skala bewertet, die z. B. den Zielbeitrag zur Nachhaltigkeit bewerten (z. B. ++ sehr gut, + gut, 0 neutral, - negativ, -- sehr negativ).

Mit der Methodik der Multikriterienanalyse können die quantitativen Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse und die qualitativen Ergebnisse des weiteren Indikatorensets integriert werden. So können auch die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse auf die nominale Skala herabgebrochen werden. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel aus einer aktuellen Szenarienstudie zur Einbeziehung des Schweizer Luftverkehrs in das EU Emissionshandelssystem.

Abbildung 11: Illustration für den Vergleich von verschiedenen Szenarien anhand von Indikatoren (Beispiel Luftverkehr Schweiz)



Quelle: INFRAS (2009).

Die Multikriterien-Analyse ermöglicht über eine Gewichtung der Indikatoren auch einen quantitativen Ansatz zur Priorisierung. Mögliche Indikatoren für einen solchen erweiterten Ansatz sind detailliert in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

## 2.4.2 Gesamtwirtschaftlicher / makroökonomischer Ansatz

Anstelle des partialanalytischen Ansatzes kann auch ein makroökonomischer Ansatz verwendet werden, welcher den Nutzen einer nichttechnischen Maßnahme über deren Wirkung auf Wertschöpfung und Beschäftigung bestimmt. Gemäß der gängigen Methodik zur Messung der volkswirtschaftlichen Bedeutung einer Branche (bekannt vor allem für Flughäfen, vgl. Peter et al., 2003) werden drei Effekte unterschieden:

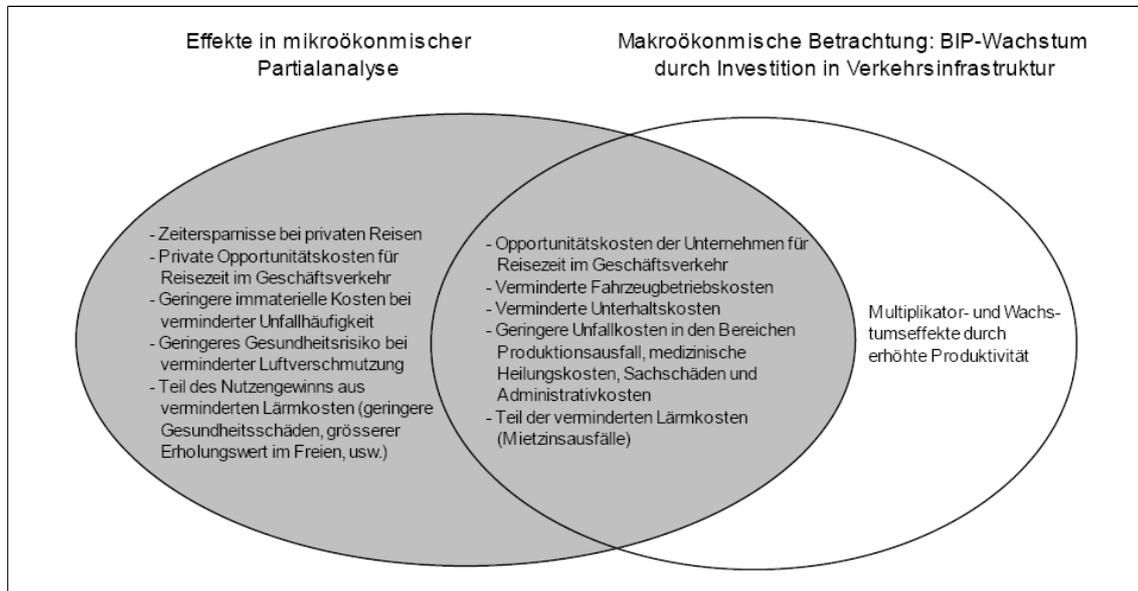
- Direkter Effekt: Wertschöpfung und Beschäftigung derjenigen Branche, die Verkehrsleistungen produziert. Je nach Betrachtungsweise kann auch der Individualverkehr einbezogen werden.

- Indirekter Effekt: Wertschöpfung und Beschäftigung aus den für diese Produktion notwendigen Vorleistungen.
- Induzierter Effekt: Wertschöpfung und Beschäftigung, die dadurch entsteht, dass die Beschäftigten (und Unternehmen) aus den direkten und indirekten Effekten mit ihren Einkommen wieder etwas kaufen und somit weitere Wertschöpfungen und Beschäftigungen generieren, die daraus wiederum Kaufkräfte schöpfen etc.

Bei der Anwendung dieses Ansatzes sind Angaben zu den relevanten Größen notwendig, insbesondere Anzahl Beschäftigte sowie Umsatz und Vorleistungen. Falls diese Werte nicht bekannt sind, kann mit einer branchentypischen Wertschöpfung pro Arbeitsplatz gerechnet werden.

Bei der Bewertung nichttechnischer Maßnahmen ist v. a. das zusätzliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotential relevant. Neue Studien arbeiten für die Näherung des Zusatznutzens von Infrastrukturmaßnahmen mit sog. Output-Elastizitäten, die angeben, wie stark die Wirtschaft wächst, wenn das Infrastrukturkapital um einen Prozentpunkt zunimmt (vgl. Schips/Hartwig, 2005). Eventuell können für nichttechnische Maßnahmen im nichtmotorisierten Verkehr ähnliche Elastizitäten entwickelt werden.

Abbildung 12: Schematischer Vergleich zwischen mikroökonomischer Partialanalyse (Kosten-Nutzen-Analyse) und makroökonomischem Ansatz



Quelle: Persson and Goodwin (2000)

## 2.5 Bewertungsmethodik

Nach der Einführung in die Elemente und die grundsätzliche Systematik dieser Untersuchung soll der folgende Abschnitt einen kurzen Überblick über die verwendeten Bewertungsansätze liefern. Hierbei wird zwischen der privatwirtschaftlichen (nutzerspezifischen) Perspektive und der volkswirtschaftlichen Perspektive unterschieden. Mit dieser Systematik knüpft die vorliegende Studie an die Arbeiten zum integrierten Energie- und Klimapaket der Bundesregierung (IEKP) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) an (vgl. Eichhammer et al. 2008, Eichhammer et al., 2010 und Schade et al., 2009). Versandte Ansätze zur makroökonomischen Bewertung nachhaltiger Politikansätze und Technologien in den Bereichen Verkehr, Gebäude und Energie finden sich in den Berichten des Umweltbundesamtes zu Politikszenerarien für den Klimaschutz 2030 (Mattes et al. 2008 und 2009), während die Mikroökonomische Ebene durch Jochem et al. (2008) näher beleuchtet wird.

Details zur Methodik werden in den folgenden Kapiteln angegeben.

### 2.5.1 Der individuelle Bewertungsansatz

Zur Ermittlung und Demonstration der individuellen Wirkungen alternativer Mobilitätsketten wurde im Rahmen dieser Untersuchung ein einfaches Werkzeug speziell für die Anwendung durch die betroffenen Verkehrsteilnehmer entwickelt. Das Anwendermo-

dell PExMo (= private und externe Kosten der Mobilität) ist in Microsoft Excel implementiert und soll der Öffentlichkeit als Download zur Verfügung gestellt werden. Das Tool gliedert sich in drei Ebenen:

- Dateneingabe (für Experten): Eingabe von fahrzeug- und wegespezifischen Grunddaten sowie von ökonomischen Kenngrößen
- Nutzereingabe: Definition von Wegeketten und typischen Verkehrssituationen zum Vergleich von Alternativen
- Ergebnisse: vergleichende Zusammenfassung der gewählten Alternativen sowie ein Expertenmodus mit detaillierten Ergebnisdaten

Das Tool basiert auf Fahrzeug- und Verkehrsdaten für generische Umgebungen und das Jahr 2010. Eine Anwendung für zukünftige Jahre ist nicht vorgesehen. Eine detaillierte Darstellung des Analysetools findet sich in Kapitel 4.1. .

## **2.5.2 Der volkswirtschaftliche Bewertungsansatz**

Die volkswirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen erfolgt mit dem systemdynamischen Wirtschafts- und Verkehrsmodell ASTRA-D (Assessment of transport STRAtegies) des Fraunhofer ISI. Dies erlaubt die Abbildung von Interdependenzen zwischen verkehrspolitischen Maßnahmen, der Verkehrsnachfrage, Investitionen, gesamtwirtschaftlichen Größen und Nachhaltigkeitsindikatoren in einem dynamischen Umfeld. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens RENEWBILITY-II neu erstellte Modellversion für Deutschland bietet eine feine regionale Gliederung für das Bundesgebiet und kann entsprechend regional ausgewertet werden.

Maßnahmen und Instrumente der Verkehrspolitik entfalten in der Regel ihre Wirkung nicht auf einmal, sondern benötigen Zeit zum Einschwingen und Ausklingen. Die Effekte können sich dabei im Rahmen weniger Monate, wie z. B. die Reaktion auf regulatorische Instrumente oder Preisänderungen, bis hin zu mehreren Jahren wie bei der Markteinführung neuer Mobilitätsdienste oder im städtischen Mobilitätsmanagement bewegen. Ferner befinden sich die Rahmenbedingungen im Verkehrsbereich in kontinuierlicher Entwicklung: Die Nachfrage in den Verkehrsbereichen wächst unterschiedlich, Kosten werden unter anderem durch die Ölpreise getrieben, Einkommens- und Altersstrukturen befinden sich im Wandel und schließlich verändern staatliche Investitionen die Infrastrukturen die Produktivität der Verkehrsträger.

Daneben lassen sich auch Veränderungen in Bewusstsein und Werten der Verkehrsteilnehmer erkennen, worauf aktuelle Studien hinweisen. Die Indizien ziehen sich dabei durch viele Industrieländer und besagen grundsätzlich, dass die heute heranwachsenden Jugendlichen einerseits zwar mehr Mobilität wünschen, hierfür aber keine kost-

spieligen Investitionen in Kauf nehmen wollen (AdL, 2010, Bratzel, 2008, JD Power and Associates, 2009). Die mit der „Generation Y“ hin zu „Greenovators“ veränderten Werte und Verhaltensmuster und vor dem Hintergrund des demographischen Wandels können bislang gemessene Wirkungen verkehrspolitischer Instrumente in den kommenden Jahren deutlich anders – mutmaßlich stärker – ausfallen. In Verbindung mit der aktuellen wirtschaftlichen Lage scheint sich ein „Window of Opportunity“ aufzutun, welches eine zeitnahe Umsetzung nachhaltiger Strategien im Verkehr verlangt.

Entsprechend wird die Analyse der Maßnahmen und Instrumente mittels des ASTRA-D-Modells in einem dynamischen Kontext bis zum Jahr 2030 vorgenommen. Abgeschätzt werden damit Umwelt- und Unfallfolgen, Lärmemissionen, Arbeitsplatzeffekte, Produktivitätswirkungen etc. der ausgewählten Maßnahmen ohne und mit Instrumenten zu deren Implementierung. Eine detaillierte Darstellung des ASTRA-D-Modells ist in Kapitel 4.2 angegeben.

### **2.5.3 Ökologische Bewertung**

Die ökologische Bewertung innerhalb der privaten (mikroökonomischen) und der gesellschaftlichen (makroökonomischen) Ebenen wird mit dem Energie- und Verkehrsmodell TREMOD von IFEU abgestimmt. Seit Frühjahr 2010 liegt die aktuelle Version TREMOD 5.1 vor, welche aktuelle Bestands-, Fahr- und Verkehrsleistungsdaten bis 2009, ein aktualisiertes Trend-Szenario sowie die revidierten Emissionsfaktoren aus dem Handbuch Emissionsfaktoren Version 3.1 enthält.

## 3 **Bewertungsgrundlagen**

### 3.1 **Nutzen- und Kostenkategorien**

Ziel dieser Studie ist die ökonomische Bewertung von alternativen Mobilitätsketten auf der individuellen Ebene und von verkehrspolitischen Maßnahmen zur Minderung von Emissionen. Hierzu sind zum einen die Werkzeuge zur Ermittlung direkter und indirekter Folgen eines geänderten Mobilitätsverhaltens zu entwickeln und zu beschreiben, zum anderen sind die in diesen Modellen getroffenen Annahmen und Bewertungsgrundsätze darzulegen. Letzteres ist Gegenstand dieses Kapitels.

Die Analyse wird grob in drei Kostenkategorien gegliedert, welche für die beiden einggenommenen Perspektiven von spezifischer Relevanz sind:

- **Interne Kosten:** Aufwendungen und Ausgaben der Verkehrsteilnehmer, welche in direktem Zusammenhang mit der Durchführung der Mobilität stehen und Dritte nicht oder nur unwesentlich betreffen. Handelt es sich hierbei um finanzielle Transaktionen, wie z.B. Kauf oder Wartung von Fahrzeugen, sind diese für die individuelle (private) Perspektive vollständig relevant, nicht allerdings aus Sicht der Volkswirtschaft, da diese Einnahmen anderer Parteien darstellen. Im Falle der Inanspruchnahme nicht knapper Ressourcen wie Zeit oder Gesundheit spielen die internen Kosten in beiden Perspektiven eine Rolle. Allerdings müssen die Gesundheitseffekte von mehr aktiver Mobilität in der volkswirtschaftlichen Betrachtung aus Gründen der Datenverfügbarkeit ausgeklammert werden.
- **Externe Kosten** beschreiben den monetären Gegenwert der Effekte, die dritten Parteien durch die Verkehrsteilnehmer verursacht werden. Diese sind aus der individuellen Perspektive nur zum Teil relevant, da sie nachhaltigkeitsmotivierten Verkehrsteilnehmern eine Zusatzinformation über die Konsequenz ihrer Aktivitäten liefern. Direkt kostenrelevant sind diese Effekte jedoch nicht. Aus volkswirtschaftlicher Sicht hingegen spielen die externen Kosten eine bedeutende Rolle als Indikator für die Nachhaltigkeit der Verkehrspolitik und die damit einhergehende Entwicklung der Lebensqualität.
- **Ökonomische Kenngrößen** umfassen die Höhe notwendiger Investitionen und Betriebsausgaben für die Umsetzung der Maßnahmen und beschreiben deren Wirkung auf die wirtschaftliche Entwicklung, gemessen durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die Beschäftigung. Diese Informationen sind aus volkswirtschaftlicher Sicht sehr relevant, spielen jedoch aus der individuellen Perspektive keine Rolle. Die makroökonomischen Kennzahlen unterliegen komplexen langfristigen Trends und sind stark abhängig vom gewählten Trendszenario. Hier kann deshalb lediglich die Veränderung zu diesem sinnvoll dargestellt werden.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über den Einbezug oder Ausschluss von Kostenkategorien in den beiden Perspektiven und die dafür ausschlaggebenden Gründe.

Tabelle 6: Kostenelemente nach Perspektiven

Kostenkategorie	Individuelle Bewertung (2010)	Volkswirtschaftliche Bewertung (2010–2030)
<b>INTERNE (PRIVATE) KOSTEN</b>		
Private Ausgaben	Abschreibung, Instandhaltung, Kraftstoff, Tickets, Gebühren	<i>Keine Berücksichtigung</i>
Reisezeit	Bewertung nach Fahrzweck und Verkehrsmittel	Zusatzinformation; Bewertung nur auf Projektebene sinnvoll
Gesundheitseffekte	Wert der gewonnenen Lebenszeit über das normale Aktivitätsniveau hinaus	Vorsichtige Berücksichtigung von Fitness und Bewegungshäufigkeit der Bevölkerung
<b>EXTERNE KOSTEN</b>		
Unfallfolgen (Verursacherprinzip)	Zusatzinformation nach Gebietstyp und Verkehrsträger	Ermittlung nach Gebietstyp und Verkehrsträger
Umwelt-, Klima- und Lärmemissionen	Zusatzinformationen, Berechnung nach Gebietstyp und Fahrzeugtechnologie	Ermittlung nach Fahrzeugtechnologie und Gebietstyp
<b>VOLKSWIRTSCHAFTLICHE INDIKATOREN</b>		
Öffentliche Verkehrsausgaben	<i>Keine Berücksichtigung</i>	Zusatzinformation: Investitionen, allgemeine Ausgaben für Netunterhalt
Makroökonomische Indikatoren (BIP, Beschäftigung)	<i>Keine Berücksichtigung</i>	Zusatzinformation: Modellierung mittels ASTRA-D

Felder: weiß = berücksichtigt; grau = nicht berücksichtigt; schraffiert = Zusatzinformation.  
Quelle: Fraunhofer ISI

Ob eine Kategorie dabei als positiv (Nutzen) oder negativ (Kosten) gewertet wird, kann einerseits von der eingenommenen Perspektive und andererseits vom konkreten Umfeld abhängen. So stellen beispielsweise eingesparte Steuerzahlungen individuelle Nutzen, aber gesellschaftliche Verluste oder Kosten dar. Bedingt durch das jeweilige Umfeld können des Weiteren Zeitkosten oder externe Effekte durch eine Maßnahme erhöht (Kosten) oder vermindert (Nutzen) werden. Grundsätzlich ergibt sich der Kosten- oder Nutzencharakter einzelner Bewertungselemente erst durch den Vergleich nach und vor der Einführung einer Maßnahme oder eines Instrumentes. Schließlich sind nicht alle Komponenten relevant für alle Maßnahmen und Instrumente sowie für alle Perspektiven.

Die Nutzen- und Kostenkategorien lassen sich je nach Art und Kostenträger wie folgt klassifizieren:

- Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme. Beide Blöcke lassen sich weiter nach den entsprechenden Verkehrsträgern und den Regionstypen differenzieren und entwickeln sich entsprechend der unterstellten Verkehrs- und Wirtschaftsentwicklung über die Zeit. Träger der Kosten sind im Bereich der Verkehrsinfrastruktur und der Flotten im öffentlichen Verkehr die öffentliche Hand bzw. die private Wirtschaft; lediglich Fahrzeuge des Individualverkehrs sind den privaten Nutzern zuzurechnen.
- Steuern und Gebühren stellen einen Sonderfall der Nutzen- und Kostenelemente dar, da sie zwischen den betrachteten Kostenträgern fließen. So stellen verminderte Steuerzahlungen oder Fahrpreisentgelte für den öffentlichen Verkehr Nutzen, für den privaten Sektor jedoch Kosten (durch entgangene Einnahmen) dar. Steuern und Gebühren spielen daher nur in der individuellen Betrachtung als Teil der privaten Kosten eine Rolle.
- Nichtmonetäre Nutzerkosten umfassen Zeitkosten der Reisenden, und Gesundheitseffekte durch veränderte Mobilitätsstile. Durch die Wechselwirkung mit anderen Verkehrsteilnehmern im Staugeschehen oder die Wirkung von Gesundheitseffekten auf das Gesundheitssystem entfalten diese jedoch auch Wirkungen auf die Segmente Gesellschaft und Wirtschaft. Neben Verkehrsträger, Region und Zeit differenzieren sich insbesondere Nutzerzeitkosten nach Fahrzwecken.
- Externe Kosten beinhalten Unfälle, Lärm, Klimaschäden und Luftverschmutzung. Zwar bestehen Wechselwirkungen zwischen diesen Kategorien und anderen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereichen, etwa dem Gesundheitswesen oder den Fahrzeugbetriebskosten, aus Gründen der Transparenz werden die externen Effekte hier jedoch als „End-of-Pipe“-Effekte behandelt. Deren monetäre Wertansätze gliedern sich nach Verkehrsträger und Fahrzeugtechnik, Region und Zeit.

Insgesamt stellen also die Gliederungsebenen Verkehrsmittel, Region und Zeit die wichtigsten Gliederungsmerkmale der Bewertung sowohl auf physischer als auch auf monetärer Ebene dar. Lediglich in ausgewählten Fällen in Verbindung mit der Nutzerzeitbewertung spielt der Fahrzweck eine gewichtige Rolle.

Die Bewertung der Maßnahmen erfordert die Aufnahme physischer Mengengerüste sowie monetärer Wertansätze. Für die Bewertung wird auf das Konzept der „Grenzkosten“ bzw. „Grenznutzen“ zurückgegriffen. Dies beschreibt die zusätzlich zu den bestehenden Gesamtkosten oder –nutzen der Verkehrssysteme durch eine relativ geringe Veränderung der gesamten Verkehrsnachfrage erzeugten Kosten oder Nutzen. Ausgedrückt werden diese Grenzeffekte in Euro pro Verkehrseinheit, d. h. Personenkilometer (Pkm) oder Tonnenkilometer (Tkm).

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Bewertungselemente, deren Differenzierung, Kostenträger und mögliche Datenquellen. Eine vertiefte Betrachtung der einzelnen Elemente erfolgt dann in den nachfolgenden Abschnitten.

Tabelle 7: Übersicht über Nutzen- und Kostenkategorien

Bewertungsbereich und -elemente	Differenzierung				Datensatz		Datenquelle	Träger Pr./Wi./Ges.
	VM	FZ	Reg.	Zeit	Basis	Szen.		
<b>Mengengerüst der Verkehrsnachfrage</b>								
Verkehrsnachfrage (Pkm/Tkm)	x	x	x	x	x	x	ASTRA-D, TREMOD, MiD	
<b>Charakteristika der Verkehrssysteme</b>								
Durchschnittsgeschwindigkeit	x		x	x			IRTAD/BASt IRTAD/BASt IRTAD/BASt HBEFA HBEFA HBEFA IMPACT	
Grenzgeschwindigkeit	x		x	x				
Unfallraten Todesfälle	x		x	x				
Unfallraten Verletzte	x		x	x				
Unfallraten Sachschäden	x		x	x				
Emissionsfaktor CO <sub>2</sub>	x		x	x				
Emissionsfaktor NO <sub>x</sub>	x		x	x				
Emissionsfaktor PM	x		x	x				
Emissionsfaktor Lärm	x		x	x				
<b>Grenzkosten für Investition und Betrieb der Verkehrssysteme</b>								
Infrastrukturinvestitionskosten	x		x	x	x		IMPACT, GRACE	Wirtschaft
Infrastrukturbetriebskosten	x		x	x	x		IMPACT, GRACE	Wirtschaft
Flotteninvestitionskosten	x		x	x	x		ADAC, VDV, DB	Pr.: IV, Wi.: ÖV
Flottenbetriebskosten	x		x	x	x		ADAC, VDV, DB	Pr.: IV, Wi.: ÖV
<b>Steuern und Gebühren: Grenzabgaben je Verkehrseinheit</b>								
Steuersatz Flottenbestand	x			(x)	x	(x)	DeStatis, Verbände	Pr. (-), Wi. (+)
Steuersatz Flottenbetrieb	x			(x)	x	(x)	DeStatis, Verbände	Pr. (-), Wi. (+)
Fahrgeld, Beiträge	x		(x)		x	(x)	DeStatis, Verbände	Pr. (-), Wi. (+)
<b>Gesamtwirtschaftliche Grenzeffekte</b>								
Beschäftigung	x		x	(x)	x		IKEP-Makro	Wi. + Ges.
Haushaltslage/Schuldenstand	x		x	(x)	x		IKEP-Makro	Wirtschaft
<b>Grenzkosten Nutzereffekte</b>								
Nutzerzeitkosten	x	x		x	x		IMPACT, BVWP	Privat
Informationskosten	x	x		x	x		IMPACT, BVWP	Privat
Fitness durch Bewegung	x			x	x		??	Pr. / 'Wi.
<b>Grenzkostensätze externe Effekte</b>								
Bewertung Todesopfer	x		x	x	x		Methodenkonvention	Alle
Bewertung Verletzte	x		x	x	x		Methodenkonvention	Alle
Bewertung Sachschäden	x		x	x	x		Methodenkonvention	Pr. + Wi.
Bewertung CO <sub>2</sub> -Emissionen	x		x	x	x		Methodenkonvention	Gesellschaft
Bewertung NO <sub>x</sub> -Emissionen	x		x	x	x		Methodenkonvention	Gesellschaft
Bewertung PM-Emissionen	x		x	x	x		Methodenkonvention	Gesellschaft
Bewertung Lärmbelastung	x		x	x	x		Methodenkonvention	Gesellschaft

VM = Verkehrsmittel; FZ = Fahrzweck; Reg. = regional, Pr. = Private, Wi. = Wirtschaft; Ges. = Gesellschaft; IV = Individualverkehr; ÖV = öffentlicher Verkehr; Pkm = Personenkilometer; Tkm = Tonnenkilometer  
Quelle: Fraunhofer ISI, INFRAS

## 3.2 Infrastrukturkosten

Die Investitions- und Betriebskosten in Verkehrswege und Fahrzeuge werden im Rahmen ihres gesamten Lebenszyklus betrachtet. Zur vereinfachten Ermittlung periodischer Nutzen und Kosten einzelner Maßnahmen und Instrumente werden diese als Kapitalkosten bzw. laufende Kosten auf die Jahre der Nutzungsperiode umgelegt. Die Handhabung von Investitionskosten unterscheidet sich dabei von den laufenden Kosten insofern, dass die Kapitalgrenzkosten nur bei einer im Maßnahmenfall gegenüber dem Basisfall höheren Verkehrsnachfrage zur Anwendung kommen. Ist die Nachfrage im Maßnahmenfall in einem Verkehrsträger unter dem Niveau des Basisfalls, wird nicht von einem Freisetzen von bereits getätigten Investitionen, z. B. durch den Verkauf von Fahrzeugen, ausgegangen.

Für die Veränderung der Infrastrukturkosten für Bau und Erhalt der Verkehrswege sind im Wesentlichen zwei Effekte verantwortlich. Zum einen können Investitionen im Rahmen von Anreizsystemen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse bestimmter Verkehrsträger oder als begleitende Maßnahmen anderer Instrumente (Mautsysteme etc.) im Vorfeld einer Maßnahme getätigt werden (*ex ante*). Zweitens kann die Veränderung im Verkehrsgeschehen Änderungen im Investitions- und Betriebsverhalten der Infrastrukturbetreiber induzieren (*ex post*). Beide Varianten werden in der vorliegenden Studie betrachtet.

### 3.2.1 Straßeninfrastruktur

Die Infrastruktur der landgebundenen Verkehrsträger ist durch einen hohen Anteil an Fixkosten gekennzeichnet. Im Bundesautobahnnetz lag der Anteil der kapitalisierten Investitionen, also Abschreibungen und Zinsen, im Jahr 2005 bei 7,28 von insgesamt 9,53 Mrd. Euro, was einem Kapitalkostenanteil von 76% entspricht. Für die Bundesstraßen ergibt sich gar ein Anteil von 80% (Prograns AG/IWW; 2007).

Im Rahmen der Studie IMPACT (Doll und Essen, 2008) wurde die Systematik der Straßeninfrastrukturkosten nach detaillierten Kostenkategorien und Fahrzeugklassen für alle Europäischen Länder untersucht. Die Deutschen Werte lehnen sich dabei eng an Prograns AG/IWW (2007) an, greifen jedoch in der Systematik der Kostenkategorisierungen auch andere Studien im europäischen Kontext auf (Link et al., 2002a, Link et al. 2002b, Lindberg 2006). Für den Individualverkehr mit Pkw und Lkw ergeben sich aus der Literatur folgende Infrastrukturkosten:

- Die durchschnittlichen Fixkosten, also die dem Bau und langfristigen Unterhalt zuzuschreibenden Kosten, für Pkw belaufen sich auf 2 bis 3 Euro/100 Fahrzeugkilometer (Fzkm), sowie nahezu 6 Euro/100 Fzkm innerorts. Diese Unterschiede sind im Wesentlichen den viel höheren Grundstückspreisen in Stadtgebieten geschuldet.

- Die variablen Kosten liegen hier um Größenordnungen tiefer bei etwa 0,3 bis 0,4 Euro/100 Fzkm. Aufgrund der höheren Verkehrsdichte in Städten fallen hier die variablen Kosten etwas niedriger aus als im Fernverkehr.
- Im Güterverkehr stellt sich die Struktur insofern anders dar, da einerseits die Unterschiede zwischen fixen und variablen Kosten nicht so ausgeprägt sind und im Innerortsbereich die Variablen wie auch die fixen Kosten deutlich über denen der Autobahnen und Bundesstraßen liegen.

Tabelle 8 stellt die Werte aus Doll und Essen (2008) für Deutschland zusammen. Diese werden so im Bewertungsschema übernommen.

Tabelle 8: Fixe und variable Kosten der Straßennutzung nach Straßenkategorie und Fahrzeugtyp

Fahrzeugtyp	Fixe Kosten (€100 km)			Variable Kosten (Grenzkosten) (€100 km)		
	Autobahnen	Bundesstraßen	Stadtstraßen	Autobahnen	Bundesstraßen	Stadtstraßen
Pkw klein	2.0432	2.9414	5.7009	0.3699	0.3399	0.2778
Pkw groß	2.0434	2.9414	5.7009	0.3704	0.3411	0.2801
Motorrad	1.2515	1.8182	3.4962	0.3698	0.3398	0.2776
Bus	5.679	5.1878	10.1102	5.2704	12.1433	22.2323
Lieferwagen	2.8351	4.0646	7.9056	0.3705	0.3413	0.2805
Lkw bis 5,5t	3.6392	5.1878	10.1102	0.4003	0.4133	0.4144
Lkw bis 12t	4.6821	6.3109	12.3149	1.0001	1.858	3.1014
Lkw bis 24t	7.1129	7.4341	14.5196	4.9135	11.2838	20.6336
Lkw bis 40t	8.9616	8.5573	16.7243	7.4374	17.3629	31.9407

Quelle: Doll und Essen (2008)

### 3.2.2 Schieneninfrastruktur

Im Schienenverkehr spielt die Lebenszyklusphase der betrachteten Infrastrukturen eine entscheidende Rolle für die anzusetzenden ökonomischen Kosten. Der Anteil fixer Kosten durch die Investitionen und die damit verbundenen Abschreibungen und Kapitalkosten sind bei Schienenwegen deutlich höher als bei Straßeninfrastrukturen. Entsprechend ist bei der Verlagerung großer Verkehrsmengen von der Straße auf die Schiene zwischen der Mehrbelastung alter Infrastrukturen einerseits und der Kapazitätserweiterung der Netze durch neue Infrastrukturen andererseits zu unterscheiden.

Die Mehrkosten durch neue Infrastrukturanlagen, welche direkt für die betrachtete Maßnahme installiert werden, können durch die durchschnittlichen jährlichen Kosten für Bau, Betrieb und Unterhalt derselben ermittelt werden. Nach Link et al. (2009) ergeben sich für das Jahr 2007 je Zug-km 13,51 Euro im Personenfernverkehr, 4,11 Euro im Regionalverkehr und 43,13 Euro im Güterverkehr. Betriebskosten für die Schienenwege werden entsprechend der Grenzkosten aus Lindberg et al. (2006) angenommen. Betriebskosten des Schienengüterverkehrs von etwa 30 Euro je 1000 Tkm sind Kienzler (2011) entnommen.

Grenzkosten der Nutzung bestehender Schienenwege drücken die Kostenbelastung aus, welche das Infrastrukturunternehmen zusätzlich zum Verkehrsaufkommen im Referenzfall hat. Das Verhältnis aus diesen Grenzkosten (variablen Kosten) zu den Durchschnittskosten des Bahninfrastrukturbetriebs lässt sich aus Lindberg et al. (2006) mit 3% bis 10% ermitteln. Die für das Jahr 2010 berechneten und auf Personen- und Tonnenkilometer bezogenen Werte sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Infrastruktur- und Betriebskostensätze im Schienenverkehr

Nutzungsart und Kostenblock	Personenverkehr (€/1000 Tkm)			Güterverkehr (€/1000 Tkm)
	Fern	Regional	ÖPNV	
Bestehende Schienenwege: Grenzkosten der Benutzung				
Infrastruktur	3,2	8,4	6,7	5,0
Betrieb	8,4	12,3	12,3	30,0
GESAMT	11,6	20,7	19,0	35,0
Neue Schienenwege: Durchschnittskosten				
Infrastruktur	59,9	59,9	59,9	92,2
Betrieb	8,4	12,3	12,3	30,0
GESAMT	68,3	72,2	72,2	122,2

Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten aus Lindberg (2006) und Link et al. (2009)

Langfristig hängt die Höhe der Infrastrukturinvestitions- und Betriebskosten je Pkm und Tkm entscheidend vom Verkehrsaufkommen auf den Schienenwegen sowie von den Besetzungsgraden der Fahrzeuge ab. Der Funktionale Zusammenhang von Durchschnitts- und Grenzkosten zu diesen beiden Größen ist noch weitgehend unklar. Bei einem Fixkostenanteil von 90% kann jedoch bei einer Verdoppelung der Verkehrsleistung auf der Schiene von einer Verminderung der Durchschnittskosten um 40% ausgegangen werden. Dieser Reduktionsfaktor wird auf die für die betrachteten Maßnahmen neu errichteten Infrastrukturen angewandt. Die Grenzkosten für die Nutzung be-

stehender Infrastrukturen werden entsprechend dem Wachstum der Verkehrsleistung der Bahn vermindert.

### **3.2.3 Anwendung in der volkswirtschaftlichen Bewertung**

Infrastrukturinvestitionen werden nur in der volkswirtschaftlichen Bewertung betrachtet. Es kommen zwei Mechanismen der Schätzung von Investitionskosten zur Anwendung:

- Direkte Schätzung von Investitionskosten. Je Maßnahme werden, abhängig von den zu deren Umsetzung angenommenen Instrumenten, spezifische Investitionsprogramme etwa in Fußgänger-, Fahrrad oder Schieneninfrastruktur oder Mautsysteme und deren Verlauf über die Zeit geschätzt. Hierzu werden Annahmen über den Träger der Investitionen, also Verkehrswirtschaft oder die öffentliche Hand, getroffen. Während Investitionen durch die Verkehrswirtschaft auf Nutzerpreise umgelegt werden, gehen öffentliche Investitionen zu Lasten allgemeiner Steuern.
- Endogene Schätzung von Investitionskosten. Ändert sich die Verkehrsmenge eines Verkehrsträgers signifikant, müssen Neubau, Ersatz und Betrieb der Verkehrswege angepasst werden, wenn die Angebotsqualität unverändert bleiben soll. Dieser induzierte Investitionseffekt wird durch das ASTRA-D-Modell nachgebildet. Nicht berücksichtigt werden jedoch die Kosten des Rückbaus von Verkehrswegen im Falle eines deutlichen Rückgangs der Nachfrage auf einzelnen Netzteilen.

In beiden Fällen werden zunächst die jährlichen Ausgaben durch Infrastrukturinvestitionen ermittelt. Die Kapitalkosten für die Ermittlung von Nutzen-Kosten-Verhältnissen der Maßnahmen werden in einem übergeordneten Analyseschritt mit einem Zinssatz von 3% p.a. ermittelt.

## **3.3 Fahrzeugbetriebskosten**

### **3.3.1 Betriebskosten im Personenverkehr**

Die Fahrzeugflotten im Personenverkehr umfassen Pkw, motorisierte Zweiräder, Fahrräder, Busse, Trams, S- und U-Bahnen sowie Fernzüge. Fahrzeuge des Individualverkehrs können auch über teilweise öffentlich geförderte Carsharing, Mietauto oder Fahrradverleihsysteme kommerziell im Flottenverbund betrieben werden, zur Vereinfachung wird jedoch in der volkswirtschaftlichen Perspektive unterstellt, dass sich diese vollständig in Privatbesitz befinden. Ferner wird unterstellt, dass Busse und Schienenfahrzeuge des ÖPNVs und der Bahn von der öffentlichen Hand betrieben werden.

Der Betrieb der Fahrzeuge verursacht, wie bei den Infrastrukturen, Fixkosten für Abschreibung (Wertverlust), Steuern und Versicherung, sowie variable Kosten für Kraftstoff, Betriebsstoffe (Öl) sowie rechnerische Werkstattkosten. Für Fahrzeuge besteht,

im Gegensatz zu Infrastrukturen, ein echter Markt für Gebrauchsgüter. Demnach können die Fixkosten zwar nicht durch die Laufleistung, wohl aber durch die Veräußerung von Fahrzeugen abgebaut werden. Die für die Infrastrukturen getroffene Annahme, dass Fixkosten durch sinkende Nachfrage nicht beeinflusst werden, gilt entsprechend nicht für die Fahrzeugvorhaltekosten. Aus dem gleichen Grund der mittelfristigen Variabilität aller Kostenbestandteile werden für fahrzeugbezogene Kosten Grenzkosten gleich Durchschnittskosten gesetzt.

Daten für die Bestimmung der Betriebskosten von Pkw werden dem Autokostenrechner des ADAC entnommen. Die Datenbank liefert technische Daten zu Hubraum, Kraftstoffen, Aufbau und Ausstattung sowie Kostendaten zu Kaufpreis, Wertverlust, Betriebskosten, Steuern und Versicherungen (fixe Kosten) sowie Werkstattkosten für alle gängigen Automarken. Tabelle 10 listet diese für sieben exemplarisch ausgewählte Fahrzeugklassen auf. Für die Errechnung der finalen Kostensätze in Euro pro Personenkilometer wird von folgenden Annahmen ausgegangen: Nutzungsdauer 5 Jahre, Jahresfahrleistung 15.000 km, Besetzungsgrad 1,4 Personen. Für die Bewertungen in dieser Studie wird ein Mittelklassewagen der Kategorie VW Golf mit einem Fix- und Betriebskostensatz von 26 €/100 Personenkilometern gewählt.

Tabelle 10: Fahrzeugvorhalte- und Betriebskosten

Fahrzeug- Klasse	Bei- spiel	Para- meter Kraft- stoff	Motorleis- tung Kw	Monatliche Kosten				Gesamtkosten	
				Wert- verlust €/Mon.	Betriebs- kosten €/Mon.	Fahrzeugvor- haltung €/Mon.	Werkstatt- kosten €/Mon.	Pro Monat €/Mon.	Pro Pkm €/Pkm
Micro- wagen	Smart	Benzin	45	142	71	60	35	308	0,16
Kleinst- wagen	Cuore	Benzin	51	147	118	69	35	369	0,20
Klein- wagen	Polo	Diesel	66	187	78	74	35	374	0,20
U. Mittel- klasse	Golf	Benzin	77	275	113	63	41	492	0,26
Mittel- klasse	Astra	Diesel	74	243	109	82	47	481	0,26
O. Mittel- klasse	E- Klas- se	Diesel	125	514	101	109	82	806	0,43
Ober- klasse	S- Klas- se	Benzin	250	1294	214	147	121	1776	0,95

Quelle: ADAC Autokosten-Rechner (ADAC 2012)

Ähnliche Rechnungen lassen sich auch für motorisierte Zweiräder, Fahrräder und ÖV-Fahrzeuge aufstellen. Strukturelle Unterschiede bestehen jedoch in den zu betrachtenden Kostenkomponenten, welche im öffentlichen Verkehr Fahr- und Begleitpersonal sowie die Verwaltungskosten des Gesamtsystems im weiteren Sinne umfassen.

### 3.3.2 Betriebskosten im Güterverkehr

Die methodischen Ansätze im Güterverkehr gleichen dem Personenverkehr weitgehend. Endkunde, d.h. Zielgruppe für die privatwirtschaftliche Perspektive, sind hier Industrie und Handel in ihrer Funktion als Verloader. Die Verloader sind in dieser Betrachtungsweise Kunden der Dienstleister im Straßen- und Schienengüterverkehr. Ignoriert werden hier die eigenwirtschaftlich durchgeführten Transporte (Werksverkehre), womit im Güterverkehr kein echtes Pendant zum selbstorganisierten MIV im Personenverkehr besteht.

Datenquellen und Kostenverrechnung für die beiden wesentlichen Akteursgruppen stellen sich wie folgt dar:

- Neben den fahrzeugbezogenen Kosten für Abschreibung, Kraftstoffe, Instandhaltung, Steuern und Abgaben enthalten die Betriebskosten kommerzieller Dienste auch Personalkosten für Fahrer und Begleitpersonal sowie Verwaltungskosten.
- Straßengüterverkehr: Kostendaten sind über Statistiken und das Kompendium Kosten-Information-System (KIS) des Bundesverbandes Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL e.V., BGL 2012) für unterschiedliche Lkw-Klassen verfügbar.
- Ressourcenkosten im Bahngüterverkehr können in erster Näherung aus der Bilanz der DB-Schenker-Logistics AG hergeleitet werden.
- Frachtraten für Straßen- und Bahnverkehr können den Taschenbüchern „Verkehr in Zahlen“ entnommen werden. Diese sind allerdings wenig aktuell, womit die Verfügbarkeit weiterer Datenquellen zu prüfen ist.
- Aufgrund der Abzugsfähigkeit ist die Mehrwertsteuer in beiden Fällen zu vernachlässigen. Die übrigen Steuern und Abgaben (Kfz- und Energiesteuer auf Kraftstoff und die Lkw-Maut) sind aus privatwirtschaftlicher Perspektive zu berücksichtigen, da diese im Idealfall vom Fuhrunternehmer an den Verloader als Endkunden weiter gegeben werden. Gesamtwirtschaftlich fließen Steuern und Abgaben in das Staatsmodul des ASTRA-D-Modells ein und werden über verschiedene Umverteilungsmechanismen den Wirtschaftsbereichen wieder zur Verfügung gestellt.

### 3.3.3 Anwendung in den Perspektiven

Im Rahmen der privatwirtschaftlichen oder individuellen Bewertung werden die Fahrzeugbetriebskosten in beschriebener Weise im Analysetool angewendet. Unterstellt wird eine Fahrzeugnutzungsdauer von 10 Jahren ohne Restwert sowie eine teilweise Nutzung für andere wie den spezifizierten Wegezweck. Angaben zur Nutzungsart werden vom Nutzer direkt erfragt. Die einzelnen Verkehrsträger werden wie folgt behandelt:

- Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs (MIV): Hier zählen alle Steuern und Abgaben inklusive der Mehrwertsteuer. Aus Sicht kommerzieller Endnutzer wie ÖV oder Taxiunternehmen wäre die Mehrwertsteuer abzugsfähig; diese Perspektive wird hier jedoch nicht eingenommen.
- Fahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs und des kollektiven Individualverkehrs: Zu dieser Gruppe von Fahrzeugen zählen Fernzüge, der öffentliche Personennahverkehr, Taxi, Mietwagen sowie Car- und Bikesharing. Aus Nutzersicht werden in kollektiven Verkehrssystemen lediglich die Fahrpreise, Zeitkarten und Teilnahmegebühren, nicht aber die dahinter liegenden Ressourcenkosten des Flottenbetriebs wahrgenommen.

In der gesellschaftlichen oder volkswirtschaftlichen Perspektive werden die generalisierten Fahrzeugbetriebskosten, also inklusive Abschreibungen und Verzinsung, als Teil der generalisierten Kosten modellendogen ermittelt. Es gilt folgender Grundsatz:

- Fahrzeuginvestitionen werden als Input in die Produktionssektoren und die vorgelagerten Wirtschaftsbereiche als Element der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung betrachtet. Treiber für Fahrzeuginvestitionen ist die Nachfrageentwicklung in den Verkehrsbereichen. Die Investitionen selbst gehen somit nur indirekt in die Nutzen-Kosten-Analysen ein und werden lediglich nachrichtlich je Maßnahme ausgewiesen.
- In die volkswirtschaftliche Analyse gehen die Fahrzeug-Betriebskosten nur indirekt über deren Produktivitätswirkung ein, da Betriebskosten eines Marktteilnehmers Nutzen durch Einnahmen anderer Marktteilnehmer bedeuten.
- Steuern und Abgaben, z.B. Maut- und Parkgebühren, für private Fahrzeuge werden grundsätzlich der öffentlichen Hand als Nutzen gutgeschrieben und fließen somit in das Staatsmodul des ASTRA-D-Modells ein. Ein expliziter Ausweis dieser Steuern und Abgaben erfolgt jedoch nicht, da es sich um Transferzahlungen innerhalb der Volkswirtschaft handelt. Die Wirkungen von Steuern und Gebühren auf unterschiedliche Nutzergruppen können jedoch durch den Ausweis von Entwicklungen des verfügbaren Einkommens sichtbar gemacht werden.
- Für die öffentliche Hand als hier unterstellter Betreiber von öffentlichen Verkehrssystemen stellen Fahrgeldeinnahmen Erträge (=Nutzen) dar, welche die Kosten für Infrastruktur und Fahrzeugbetrieb zum Teil decken. Aus volkswirtschaftlicher Sicht stellen diese jedoch Transferzahlungen dar, welche zur vollständigen Deckung der Investitions- und Betriebsausgaben für öffentliche Verkehrssysteme durch Steuermittel ergänzt werden. Es findet deshalb keine explizite Betrachtung von Nutzerentgelten in der volkswirtschaftlichen Rechnung statt.

### **3.4 Nutzerzeitkosten**

Zeitnutzen werden als Teil der indirekten, d.h. nicht monetär anfallenden, privaten Nutzen behandelt. Indirekte private Kosten umfassen alle Effekte persönlicher Mobilitäts-

entscheidungen, welche zwar den Nutzer selbst berühren, sich aber nicht in monetären Transaktionen bzw. Zahlungen widerspiegeln. An dieser Stelle werden Nutzerzeitkosten und Gesundheitseffekte in die Analyse privater und sozialer wirtschaftlicher Effekte der Mobilität einbezogen. Weitere indirekte private Nutzen und Kosten umfassen Komfort, Verlässlichkeit, Sauberkeit oder gefühlte Sicherheit in den Verkehrsmitteln. Diese werden hier nicht weiter verfolgt, sind aber durchaus von großer Bedeutung für die Verkehrsträgerwahl der Nutzer.

### **3.4.1 Etablierte Verfahren der Zeitbewertung**

Nutzerkosten umfassen den monetären Gegenwert der Reisezeit, die sich aus Warte-, Umstiegs- und Fahrzeiten zusammensetzt, sowie Aspekte von Verlässlichkeit dieser oder des Komforts auf der Fahrt. Letzterer kann durch Stau oder Überfüllung der Fahrzeuge erheblich gestört werden, so dass Zuschläge auf die Reisezeitbewertung gerechnet werden müssen.

In der Bundesverkehrswegeplanung (BMVBS, 2005) wird die Differenz der Zeitkosten durch die Implementierung von Maßnahmen oder Instrumenten im Privatreiseverkehr unter der Nutzenkomponente „Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrzielen“ behandelt. Erfasst werden hier nur die Fahrzeitveränderungen im Berufs-, Ausbildungs-, Besorgungs- und Freizeitverkehr. Dienst- bzw. Geschäftsreisen werden hingegen über die Veränderung der Betriebsführungskosten bewertet. Diese verfahrenstechnische Trennung ist in internationalen Studien nicht üblich.

In Anlehnung an internationale Bewertungsverfahren basieren auch die Kostensätze der BVWP für private Fahrten auf Zahlungsbereitschaftsansätzen. Für den privaten Straßenverkehr werden 5,74 € je Person und Stunde für längere Fahrten angesetzt. Bei kürzeren Fahrten werden Zeitersparnisse von nichtgewerblichen Nutzern in der Regel nicht wahrgenommen. Die BVWP verwendet deshalb einen im Durchschnitt über alle Fahrten um 30% verminderten Zeitkostensatz von 3,83 € je Person und Stunde. Im gewerblichen Verkehr wird ein Kostensatz von 19,74 € je Person und Stunde Reisezeitveränderung angesetzt.

Die BVWP wendet beide Werte im Prinzip auch auf den Schienenverkehr an. Lediglich für nichtgewerbliche Reisende wird auf den Kurzstrecken-Abschlag verzichtet. Zwar stimmt dieser Ansatz mit jüngsten Veröffentlichungen der EU überein (Bickel et al., 2006, Maibach et al., 2007), internationale Erhebungen weisen jedoch darauf hin, dass die Reisezeit in den Verkehrsmitteln aufgrund unterschiedlicher Möglichkeiten von Arbeiten und Entspannung mitunter deutlich abweichen. Jüngste Untersuchungen für die EU-Kommission im Rahmen der IMPACT-Studie (Maibach et al., 2008) kam zu folgen-

den Empfehlungen bezüglich der Zeitbewertung von Maßnahmen im Personen- und Güterverkehr, welche in allen Segmenten zum Teil deutlich über den Ansätzen der BVWP liegen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Zeitwerte im motorisierten Personen- und Güterverkehr

<b>Fahrzeugart</b>	<b>Geschäftlich</b> (€/Pers, h)	<b>Beruf Kurzstr.</b> (€/Pers, h)	<b>Beruf Langstr.</b> (€/Pers, h)	<b>Privat Kurzstr.</b> (€/Pers, h)	<b>Privat Langstr.</b> (€/Pers, h)	<b>Güterverkehr *</b> (€/t, h)
MIV/Lkw	23,82	8,48	10,98	7,11	9,13	2,98
Bahn	23,82	8,48	10,98	7,11	9,13	1,22
ÖPNV	19,11	6,10	7,83	5,11	6,56	-

Quelle: Bickel et al., 2006 (Tabellen 0.6 bis 0.8)

\*Zeitwerte basieren auf einer vollständigen Kostenrechnung inkl. Fahrzeugvorhaltung, Fahrzeugbetrieb und Präferenzen der Endkunden.

Die Kategorie „Geschäftlich“ bezeichnet vom Arbeitgeber oder für eine Firma durchgeführte Dienstfahrten und –reisen, während die Kategorie „Beruf“ Wege von der und zur Arbeit zu Lasten des Arbeitnehmers bezeichnet. Entgegen der intuitiven Annahme, dass Bahnreisen wegen der Möglichkeit zu arbeiten einen geringeren Kostensatz für Fahrzeitänderungen aufweisen müssten, gehen aktuelle Studien von gleichen Werten aus (Shires und de Jong, 2009) oder finden sogar höhere Werte im Bahnverkehr insbesondere für Geschäftsreisende (Wardman, 2004). Andere Faktoren wie die geringere Privatsphäre oder die Anfälligkeit der Reisekette für Verzögerungen in einem Glied müssen daher den Faktor Arbeit kompensieren.

Da sich die IMPACT-Studie im Wesentlichen auf den europäischen überregionalen Verkehr konzentriert wird in der vorliegenden Studie im Bereich der Privatfahrten auf die Bewertung der BVWP inklusive dem 30%igen Abschlag für Kurzstrecken zurückgegriffen. Da entsprechende Zeitwerte im Güterverkehr durch die BVWP nicht veröffentlicht wurden, sollen hier die IMPACT-Werte Anwendung finden.

### 3.4.2 Zeitbewertung im Rad- und Fußverkehr

Einen Überblick über den Diskussionsstand zur Bewertung von Fahrradinfrastrukturprojekten aus skandinavischer Sicht geben Börjesson und Eliasson (2012). Danach hängt die Bewertung der Fahr- und Reisezeit der Verkehrsträger entscheidend von der empfundenen Sicherheit und Nutzerfreundlichkeit der Infrastruktur, vom Nutzen der Fahrzeit für den Reisenden, der Attraktivität des Reiseziels sowie von der persönlichen Zahlungsbereitschaft ab. Entsprechend wählen unterschiedliche Nutzertypen für den gleichen Fahrzweck unterschiedliche Verkehrsmittel. Während Radfahrer und Fußgän-

ger vor der Einführung einer verkehrspolitischen oder investiven Maßnahme dem Langsamverkehr einen größeren Nutzen zurechnen als Nutzer motorisierter Verkehrsmittel, müssten konsequenterweise vom Pkw zum ÖPNV, Rad- oder Fußverkehr wechselnde Nutzer mit einem höheren Zeitwert belegt werden. Bezüglich der Infrastruktur zeigt die Studie deutlich höhere Werte für das Radfahren auf der Straße sowie an Kreuzungen im Vergleich zur Nutzung durchgehender Radwege (vgl. auch Wardman et al., 2007). Aus Gründen der Praktikabilität von Nutzen-Kosten-Analysen wird jedoch in der Regel ein einheitlicher Wert verwendet.

Der dem Rad- und Fußverkehr durch die Nutzer zugesprochene Wert ist in der Regel eng mit dem empfundenen Gesundheitsnutzen verbunden. Je höher der unterstellte Gesundheitsnutzen aktiver Mobilitätsformen ausfällt, desto geringer werden Nutzer damit verbundene längere Fahrzeiten bewerten. Zur Vermeidung von Doppelzählungen ist nach Börjesson und Eliasson (2012) bei Verkehrsverlagerungsprojekten ein einheitlicher Zeitwert über alle Verkehrsträger anzusetzen. Alternativ schlägt Sælensminde (2004) vor, Zeitgewinne und –verluste überhaupt nicht zu bewerten und stattdessen die Gesundheitseffekte als einziges Maß des indirekten persönlichen Nutzens aus mehr aktiver Mobilität zu werten. Die Studie findet ferner für Radfahrer sinkende Zeitbewertungen bei längeren Distanzen. Gründe hierfür sind, dass Radfahren auf kürzeren Strecken oft schneller ist als der Pkw und somit Nutzer mit einer hohen persönlichen Zahlungsbereitschaft eher diese Alternative wählen. Dies ist auf langen Distanzen umgekehrt, unter anderem auch da nach Fahrtende eine Regenerationspause, Dusche oder sonstige kompensierende Aktivitäten erforderlich sein können. Tabelle 12 gibt die von Börjesson und Eliasson (2012) gefundenen Zeitwerte im Radverkehr nach der durchgeführten Befragung sowie neu gewichtet für alle Fahrzwecke und Einkommensklassen wieder.

Tabelle 12: Zeitwerte für Radfahrer, Fallstudie Stockholm

	Original-Stichprobe (Beruf, hohes Einkommen (€/h))			Gewichtet: Alle Fahrzwecke (€/h)	
	Mittlere Distanz	Kurz (<40 min.)	Lang (> 40 Min.)	Kurz (<40 min.)	Lang (> 40 Min.)
Radfahren auf der Straße	15,9	17,6	12,9	14,3	10,5
Radfahren auf Radweg	10,5	12,2	6,7	10,0	5,4
Alternativer Verkehrsträger	8,7	9,3	4,9	7,5	4,0

Quelle: Börjesson und Eliasson (2012)

Spezielle Zeitwerte für das Zu-Fuß-Gehen sind nicht bekannt. Zur Berücksichtigung der höheren Zeitwerte von Umsteigern des motorisierten Personenverkehrs und zur

Vermeidung von Doppelzählungen von Gesundheitsnutzen werden für die Kosten- und Nutzenschätzungen dieser Studie im Langsamverkehr die im Vergleich zu Tabelle 12 etwas höheren Zeitkostenwerte des öffentlichen Personennahverkehrs aus Tabelle 11 verwendet.

### **3.4.3 Kritik und Lösungsansätze**

Die Bewertung der Nutzerzeitkosten im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung kann auf drei Ebenen kritisch betrachtet werden: die Dominanz der Zeitkomponente gegenüber anderen Kriterien, systematische Doppelzählungen sowie der Umgang mit kleinen Zeitgewinnen. Diese Gesichtspunkte werden im Folgenden besprochen.

Der Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland bemängelt die enorme Bedeutung der Zeitbewertung innerhalb der BVWP, welche drei Viertel der Nutzenkomponenten stellt. Ein wesentlicher Teil der Zeitgewinne ist dabei auf induzierte Verkehre durch Infrastruktur-Neubauten zurückzuführen, welche durch die aktuellen Verfahren nicht angemessen ausgeglichen würden. Während diese Neuverkehre durch die BVWP zu 80% als Nutzen verbucht werden, leiten Ecoplan und metron (2005) aus der ökonomischen Theorie einen Ansatz von 50% der entstehenden Zeitvorteile ab. Insgesamt erscheinen diese Annahmen aber eher willkürlich. Ökologische Belange einer strategischen Netzplanung blieben durch die Dominanz der Zeitnutzen in der BVWP weitgehend unberücksichtigt. Dies ist insbesondere bedenklich, da die auf europäischer Ebene geforderte Umweltrisikoeinschätzung bei der Aufstellung des aktuellen Bedarfsplans nicht in vollem Umfang Anwendung finden soll (Reh und Mergner, 2010).

Die Doppelzählungen von Nutzenkomponenten etwa durch die Boni für Projekte zur „Förderung internationaler Beziehungen“ sowie zur „Anbindung von See- und Flughäfen“ werden unter anderem vom Sachverständigenrat der Bundesregierung zu Umweltfragen (SRU 2005) bemängelt. Der notwendige Nachweis von Nutzen dieser speziellen Infrastrukturen, welche über die standardmäßig erfassten Zeit- und Betriebskosten hinausgehen, wurde laut der Autoren nicht erbracht. Die Quantifizierung in Frage kommender positiver Externalitäten, wie beispielsweise Agglomerationsvorteile oder der Abbau transportbedingter Monopole, sei schließlich mit dem gewählten willkürlichen Bonussystem ohnehin kaum möglich. Der wissenschaftliche Beirat für Verkehr der Bundesregierung schlägt hierfür ein grundsätzlich strategisches Planungsverfahren vor, in dem Ziele konsistent definiert, Netzeffekte systematisch analysiert und die Nutzen-Kosten-Analyse auf die Kernelemente Zeit-, Betriebs- und Unfallkosten reduziert werden (Wissenschaftlicher Beirat, 2009).

Der SRU bemängelt weiterhin, dass der reduzierte Zeitkostensatz für kleine Verzögerungen im gewerblichen Verkehr nicht in Relation zur gesamten Reisekette gesetzt wird. Da hierdurch große Investitionsvorhaben systematisch besser bewertet werden als die Summe kleinerer inkrementeller Neubau- oder Erhaltungsmaßnahmen, wird die Absenkung der Zeitkostensätze generell abgelehnt (SRU, 2005). Der wissenschaftliche Beirat für Verkehr der Bundesregierung greift diese Kritik auf und schlägt eine relationsbezogene Definition von Untergrenzen nutzbarer Zeitgewinne vor. In gleicher Weise empfehlen Ecoplan und metron (2005) den Übergang von einer projekt- hin zu einer relationsbezogenen Bewertung von Nutzereffekten, was durch moderne Planungssysteme durchaus zu leisten ist.

Die erstgenannten Aspekte beziehen sich auf die Planung von Infrastrukturmaßnahmen in Netzen. Diese spielen für das vorliegende Forschungsvorhaben keine nennenswerte Rolle. Sehr bedeutsam ist jedoch die Frage des Umgangs mit kleinen Zeitverlusten oder -gewinnen, welche beim Wechsel von Verkehrsmitteln oder Mobilitätsstilen durchaus auftreten. Für die Maßnahmen des Personenverkehrs werden diese Effekte grundsätzlich nach der Methodik der BVWP berücksichtigt, indem die Zeitkostenwerte für Zeitgewinne oder -verluste unter 5 Minuten linear bis Null Euro im Fall marginaler Fahrzeitänderungen abgesenkt werden. Für die beiden Bewertungsebenen wird dies wie folgt umgesetzt:

- Gesamtwirtschaftliche Bewertung: Zur Berechnung von Modal Split und anderen Reaktionen der Verkehrsteilnehmer verwendet das ASTRA-D-Modell konstante Zeitkostenwerte. Zur Bewertung des veränderten Zeitbedarfs auf volkswirtschaftlicher Ebene werden jedoch die Ergebnisse nach Entfernungsbändern im Sinne des BVWP-Verfahrens korrigiert.
- Einzelwirtschaftliche Bewertung: Hier liegen die Angaben zu Reiseketten ohnehin nach einzelnen Fahrten vor, bei denen Entfernung und Zeit bekannt sind. Es wird die Absenkung des Zeitwertes entsprechend dem BVWP-Ansatz direkt vorgenommen.

Für den Güterverkehr werden in dieser Studie lediglich Maßnahmen und Instrumente zur Verlagerung des Straßengüterfernverkehrs betrachtet. Deshalb wird vereinfachend angenommen, dass alle Fahrzeitänderungen den Wert von 5 Minuten überschreiten.

#### **3.4.4 Anwendung im Bewertungsverfahren**

In der individuellen Betrachtungsweise werden Zeitkosten für jede Mobilitätsalternative, und hierin für jede von maximal drei Teilstrecken ermittelt. Unterschieden wird nach Wegezweck, Verkehrsmittel und Wegedauer. Spezialfälle der Zeitbewertung werden im Analysetool wie folgt behandelt:

- Über eine Pauschale Abfrage werden Komfortgrößen wie die Besetzung von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs oder die Stauanfälligkeit des MIV berücksichtigt. Bei negativen Einschätzungen durch den Nutzer werden die Zeitkostenwerte um 50% erhöht.
- Warte- oder Parksuchzeiten werden nur indirekt berücksichtigt, indem die Anwender des bereitgestellten Analysetools aufgefordert werden, die vom Modell vorgeschlagenen Fahrzeiten um diese Komponenten zu korrigieren.
- Die Reduktion von Zeitkostensätzen für kleine Zeitgewinne unter 5 Minuten wird aktuell nicht umgesetzt, ist aber für spätere Versionen des Analysetools vorgesehen.

In der gesamtwirtschaftlichen Bewertung werden Zeitnutzen nach Fahrzwecken im Personenverkehr sowie nach Verkehrsträgern im Personen- und Güterverkehr ermittelt. Ferner werden Geschwindigkeitsänderungen durch Investitionsmaßnahmen im öffentlichen Verkehr berücksichtigt. Grundlage sind wie in der individuellen Perspektive die in den vorausgehenden Abschnitten diskutierten Zeitkostensätze.

Die Sonderfälle der Zeitbewertung, Komfort, Wartezeiten und marginale Zeitgewinne, werden aus modelltechnischen Gründen hier nicht betrachtet. Da eine allgemeine Zeitbewertung auf volkswirtschaftlicher Ebene durchaus als kritisch betrachtet werden kann und wegen der genannten methodischen Unsicherheiten wird hier auch eine Variante ohne Betrachtung von Zeitnutzen berechnet.

## **3.5 Gesundheitsnutzen aktiver Mobilität**

### **3.5.1 Gesundheitliche Wirkungen von Rad- und Fußverkehr**

Die gesundheitlichen Probleme durch mangelnde Bewegung und unausgewogene Ernährung bewegen sich im zweistelligen Prozentbereich der Bevölkerung und nehmen an Bedeutung zu. Insbesondere die junge Generation leidet infolge weniger körperlicher Aktivität zunehmend unter Gewichtsproblemen (BMVBS, 2002, BMG 2011). Nach Titze et al. (2010) gelten Herzinfarkt, Bluthochdruck, Fettleibigkeit (Cholesterin), Diabetes, Rückenleiden, verschiedene Arten von Krebs und noch vieles mehr, mittlerweile als Volkskrankheit. Neuere Forschungsarbeiten deuten darauf hin, dass Krankheiten, die vormals dem Altersprozess zugeschrieben wurden, auf konsequenten Bewegungsmangel zurückzuführen sind. Dazu zählen unter anderem der „Anti-Aging-Effekt“, die Verhinderung zur Neubildung von Nervenzellen im Gehirn und damit die Reduzierung der Leistungsfähigkeit, die Verkalkung von Gefäßen, die reduzierte Pumpkraft des Herzens sowie ein erhöhtes Brustkrebsrisiko (BMVBS 2002).i

Diesen Leiden kann jedoch durch regelmäßiges Bewegen entgegengewirkt werden. Schätzungen aus Norwegen besagen, dass die gesellschaftlichen Nutzen aus regelmäßig 30 Minuten Radfahren einer vormals inaktiven Person bei jährlich 3000 bis 4000 Euro liegen. Für aktive Menschen ist dieser niedriger, liegt aber immer noch zwischen 500 und 1500 Euro pro Jahr (ADFC, 2012b).

Die zurzeit gängigste Bewegungsempfehlung laut dem "International Journal of Epidemiology" zu dem Thema „Lifestyle-related risk factors“ (Samitz et al., 2011) besagt, dass sich Erwachsene mindestens 150 Minuten pro Woche mit mittelmäßiger Intensität bzw. 75 Minuten pro Woche mit starker Intensität bewegen sollten. Diese Bewegungen können auch auf kürzere Einheiten ab 10 Minuten verteilt werden und lassen sich unter anderem durch die Integration aktiver Formen der Mobilität, d.h. Radfahren und schnelleres zu Fuß gehen, im Alltag umsetzen (Martin, 2002).

Das Radfahren wird als Sportart für breite Schichten der Bevölkerung empfohlen, obwohl hierdurch nur ein bis zwei Drittel der gesamten Körpermuskulatur beansprucht werden. Dies ist dadurch begründet, dass etwa 70% des Körpergewichts durch Sattel, Lenker und Pedale abgestützt werden und damit die Gelenke geschont werden (BMVBS 2002). Die gesundheitlichen Vorteile regelmäßigen Radfahrens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Reduktion von Herz-Kreislauf-Problemen und Herzinfarkt-Risiken um bis zu 50%, da sich das Schlagvolumen des Herzens erhöht, die Pumpleistung beruhigt wird und das Blutvolumen zunimmt
- Förderung des Abbaus von Cholesterin: der Verkalkung der Blutgefäße wird entgegen gewirkt
- Stoffwechselanregung: Schon beim langsamen Radfahren werden etwa vier bis fünf Kalorien pro Minute verbraucht. Nach etwa 40-60 Minuten Radfahren mit mäßiger Geschwindigkeit greift der Körper die Fettreserven an, womit erst nach längerer Zeit ein Effekt eintritt, aber auch kürzere Fahrten zeigen ihre positive Wirkung auf den Fettstoffwechsel.
- Reduziertes Krebsrisiko: Vor allem kann das Brustkrebsrisiko bei Frauen um circa 34% gesenkt werden, da insgesamt etwa drei Stunden Fahrradfahren pro Woche das Immunsystem messbar stärken.
- Psychische Wirkungen: Durch die gleichmäßige zyklische Bewegung macht regelmäßiges Radfahren glücklich, erhöht die Stressresistenz und die psychische Stabilität. Nach etwa 30 Minuten durchgängigen Fahrradfahren werden Glückshormone ausgeschüttet, die Depressionen und anderen psychischen Problemen und Ängsten entgegenwirken (ADFC 2012a).
- Erhöhte Leistungsfähigkeit der Atemtätigkeit und des Herzens schon nach sechs Monaten regelmäßigen Fahrradfahren um durchschnittlich 13% (ECF 2009)

Über die gesundheitlichen Effekte des Zu-Fuß-Gehens liegen weniger Erkenntnisse vor als über das Radfahren. Es lassen sich jedoch ähnliche Aussagen treffen. Es reicht bereits, den täglichen Einkauf zu Fuß anstatt mit dem Auto zu erledigen, um gesundheitliche Effekte zu erzielen.

- Kalorienverbrauch: eine viertel Stunde gehen verbraucht etwa 60 kcal (Leifheit AG, 2012).
- Haltung: Unter anderem fördert nach [www.barfusspark.info](http://www.barfusspark.info) das Gehen die gerade Haltung und stellt daher einen ausgezeichneten Ausgleich zu sitzenden Tätigkeiten dar.
- Kreislauf- und Immunsystem: Durch einen halbstündigen täglichen Spaziergang kann sowohl der Blutdruck als auch der Fettstoffwechsel positiv beeinflusst werden. Außerdem wird das Risiko, Herz- Kreislauferkrankungen zu erleiden, gemindert und das Immunsystem gestärkt.
- Psychische Wirkungen: Gerade die hohe Zufuhr an Sauerstoff regt die Tätigkeit des Gehirns an. Es werden Endorphine („Glückshormone“) produziert. Dadurch ist man weniger gestresst und weniger empfindlich für Depressionen oder Burn-Out (BMVBS 2002).

### 3.5.2 Komponenten der Gesundheitskosten

Gesundheitliche Einschränkungen durch mangelnde Bewegung verursachen Kosten für das Gesundheitssystem, die Wirtschaft und die Gesellschaft. Die Nutzen zusätzlicher aktiver Mobilität lassen sich in drei Kategorien gliedern:

- Reduktion direkter medizinischer und nichtmedizinischer Kosten
- Verminderung von Produktionsausfällen von Unternehmen
- Verbesserung der Lebensqualität der betroffenen Menschen.

Direkte medizinische Kosten fallen für die Behandlung der Patienten an. Diese beinhalten hierbei neben ambulanten Leistungen von Ärzten und Krankenhäusern Medikamente, Reha-Maßnahmen und andere unterstützende Leistungen. Somit bezeichnen die direkten medizinischen Kosten den Ressourcenkonsum, der im Gesundheitssektor bei der Gesundheitsversorgung entsteht (Amelung et al., 2012). Auf diese Krankheiten entfällt etwa ein Drittel der jährlichen Krankenkassenausgaben in Deutschland in Höhe von 278 Mio. Euro oder 12% des Bruttoinlandsproduktes (Maar und Fricker, 2011). Insbesondere ältere Menschen sind hiervon betroffen, was im Zuge des demografischen Wandels durchaus problematisch ist. Hinzu kommen direkte nichtmedizinische Kosten zur Unterstützung der medizinischen Leistungen, wie Patienten- und Angehörigenzeit, Haushaltshilfen, Fahrkosten oder Anschaffungen und Umbauten aufgrund von Krankheiten (Amelung et al., 2012).

Produktionsausfälle in Wirtschaft und Verwaltung werden im Wesentlichen durch Krankheitsausfälle, Arbeitsunfähigkeit oder den frühzeitigen Tod von Mitarbeitern verursacht (Amelung et al., 2012). Die Gesamtkosten durch Krankheiten für Unternehmen teilen sich auf in Kosten bedingt durch den Absentismus und Präsentismus (Maar und Fricker, 2011):

- Der Absentismus bezeichnet Krankheitskosten, die durch krankheitsbedingte Fehlzeiten der Mitarbeiter entstehen. Dieser verursacht jährliche Kosten für das Unternehmen in Höhe von ca. 1.199 Euro pro Mitarbeiter. Das entspricht in etwa einem Drittel der Gesamtkosten verursacht durch Krankheit.
- Die verbleibenden zwei Drittel, also 2.399 Euro pro Mitarbeiter und Jahr, entstehen durch den sogenannten Präsentismus. Hierunter versteht man das Erscheinen der Mitarbeiter am Arbeitsplatz trotz Krankheit. Folgen können eine verringerte Arbeitsqualität, Fehleranfälligkeit, Unfälle oder eine verzögerte Genesung bis hin zum Burn-Out sein.

Insgesamt werden durch Absentismus und Präsentismus Krankheitskosten in Höhe von 3.591 Euro pro Mitarbeiter und Jahr hervorgerufen. In dieser Kostenkalkulation sind die Kosten für Vertretung, Know-how-Verlust, Ansteckung etc. nicht berücksichtigt. Würde man diese in die Berechnungen mit aufnehmen, ergäbe sich ein weitaus höherer Betrag (Maar und Fricker, 2011). Bei der Berechnung der krankheitsbedingten Gesamtkosten handelt es sich um Durchschnittswerte über alle Arbeitnehmer in Deutschland (Felix Burda Stiftung 2011). Insgesamt betragen die Krankheitskosten für Unternehmen in Deutschland für das Jahr 2004 rund 225 Mrd. Euro (Bräuninger et al., 2007). Dies entspricht 46% der Gesundheitsausgaben.

Die Verbesserung der Lebensqualität durch mehr Bewegung fällt unter die Kategorie von intangiblen oder nichtmonetären Kosten. Nach Titze et al. (2010) zählen hierzu sowohl die Beeinträchtigung in der Lebensqualität der Betroffenen selbst, als auch ihrer Angehörigen. Insofern ähnelt die Bewertungslogik der intangiblen Kosten den Bewertungsansätzen von Unfallfolgekosten.

### **3.5.3 Ökonomische Bewertung von Gesundheitsnutzen**

Ökonomisch bewertet werden im Folgenden die Komponenten „Verbesserung der Lebensqualität“ und „Verminderung von Produktionsausfällen“. Direkte medizinische und nichtmedizinische Folgekosten werden nicht bewertet, da diese aus individueller Sicht keine direkten Auswirkungen auf die persönliche Situation haben, und aus volkswirtschaftlicher Sicht lediglich Transferzahlungen darstellen. Angerechnet werden könnten sogar volkswirtschaftliche Impulse für Beschäftigung und Bruttoinlandsprodukt. Dieser

Mechanismus ist innerhalb des ASTRA-D-Modells unter anderem aus ethischen Gründen nicht implementiert.

Zur Quantifizierung von persönlichen Gesundheitseffekten bewegungsintensiver Mobilitätsarten hat die WHO das "Health Economic Assessment Tool" (HEAT, WHO Europe 2012) im Rahmen des von der EU finanzierten Forschungsprojektes PHAN bereitgestellt (Kahlmeier et al., 2011). Danach werden für Radfahren und Zu-Fuß-Gehen die verminderten Wahrscheinlichkeiten von vorzeitigen Todesfällen von Erwachsenen bzw. die gewonnenen Lebensjahre mit dem "Value of Statistical Life" von ca. 1,6 Mio. Euro bewertet. Dieser Ansatz wird in dieser Studie übernommen. Weitere Gesundheitseffekte durch eingesparten motorisierten Individualverkehr werden als Bestandteil der externen Kosten der Luftverschmutzung adressiert.

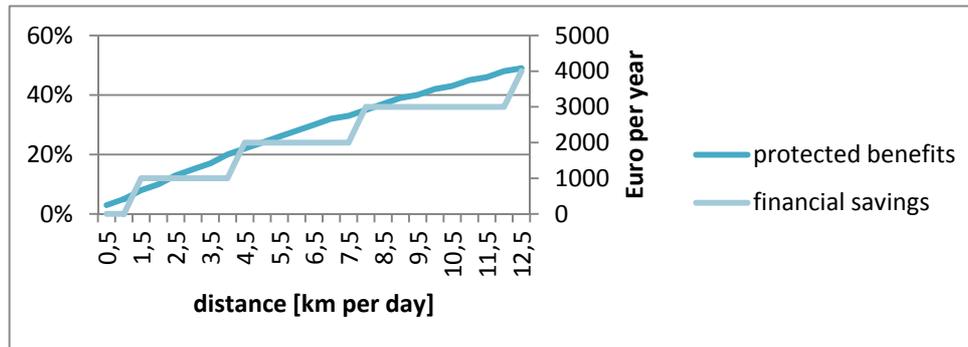
Das HEAT-Tool wurde für statistische Aussagen zur Reduktion vorzeitiger Todesfälle größerer Personengruppen entwickelt. Die Anwendung auf Einzelpersonen ist eigentlich nicht zulässig. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Methodik dennoch angewandt, ein entsprechender Hinweis wird dem Analysetool jedoch beigefügt. Ferner schränkt HEAT seine Gültigkeit auf Menschen zwischen 20 und 74 Jahren ein. Diese Einschränkungen werden in der individuellen Perspektive übernommen, während für die volkswirtschaftliche Analyse statistische Kennzahlen zur Korrektur der Grundgesamtheit herangezogen werden.

Mit Mortalitätsraten, d.h. einer vorzeitigen Todesfallwahrscheinlichkeit, von 273 Personen aus 100.000 Einwohnern pro Jahr für Deutschland ermittelt das HEAT-Tool einen maximalen Gesundheitsnutzen durch bis zu 9 km Radfahren mit 14,7 km/h oder 7 km schnelles Gehen mit 4,9 km/h an jeweils 365 Tagen von 2000 Euro pro Person und Jahr. Dies bedeutet einen Nutzen von 0,61 Euro je Fahrrad-Kilometer und 0,78 Euro je Kilometer zu Fuß bis zu einem maximalen Nutzen von 2000 Euro pro Jahr für untrainierte Personen. Dieser Maximalwert korrespondiert mit einer Reduktion der Mortalitätsrate von 50%; weitere Reduktionen durch mehr Training werden aus Gründen der statistischen Signifikanz der zugrunde liegenden epidemiologischen Daten nicht bewertet.

Einen großen Einfluss auf die Ergebnisse des HEAT-Tools hat die Wahl der Bewertungsregion. Mit 457 Todesfällen pro 100.000 Einwohner liegt die Mortalitätsrate der Region WHO Europe doppelt so hoch wie die Deutschlands, womit die entsprechenden maximalen Nutzen im europäischen Durchschnitt bei 4000 Euro pro Jahr liegen. Ferner ist zu beachten, dass die Ergebnisse des HEAT-Tools grob gerastert sind, womit sich kleine Änderungen der gefahrenen Strecke nicht linear in den Ergebnissen

widerspiegeln. Für die vorliegende Analyse wurde diese Rasterung durch eine lineare Funktion angenähert.

Abbildung 13: Fahrradfahren: Gesundheitseffekte und monetäre Einsparungen bezogen auf die Distanz



Quelle: Fraunhofer ISI und HEAT

Das HEAT-Tool der WHO schneidet Gesundheitsnutzen bei einer Reduktion der Mortalitätsrate über 50% ab, sodass weitere Aktivitäten nicht bewertet werden. Für die ökonomische Bewertung zusätzlicher aktiver Mobilität sind deshalb Angaben über das gesamte Aktivitätsniveau der betreffenden Person unbedingt wichtig. Neuere Arbeiten weisen jedoch darauf hin, dass auch bei höheren Aktivitätsniveaus noch messbare Gesundheitsnutzen durch mehr Aktivität entstehen (vgl. hierzu die Meta-Analyse in Samitz et al., 2011).

Produktionsausfälle lassen sich anhand von Maar und Fricker (2011) abschätzen, nach welchen für jeden Mitarbeiter krankheitsbedingte Kosten von 3591 Euro jährlich entstehen. Unter der Annahme, dass ein Drittel der Absentismus- und Präsentismuskosten durch ausreichende Bewegung der Mitarbeiter eingespart werden können, ergeben sich jährliche Kosten je Mitarbeiter von 1197 Euro. Dies entspricht etwa 60% der Nutzen der erhöhten Lebensqualität durch verminderte Mortalitätsraten nach dem HEAT-Tool.

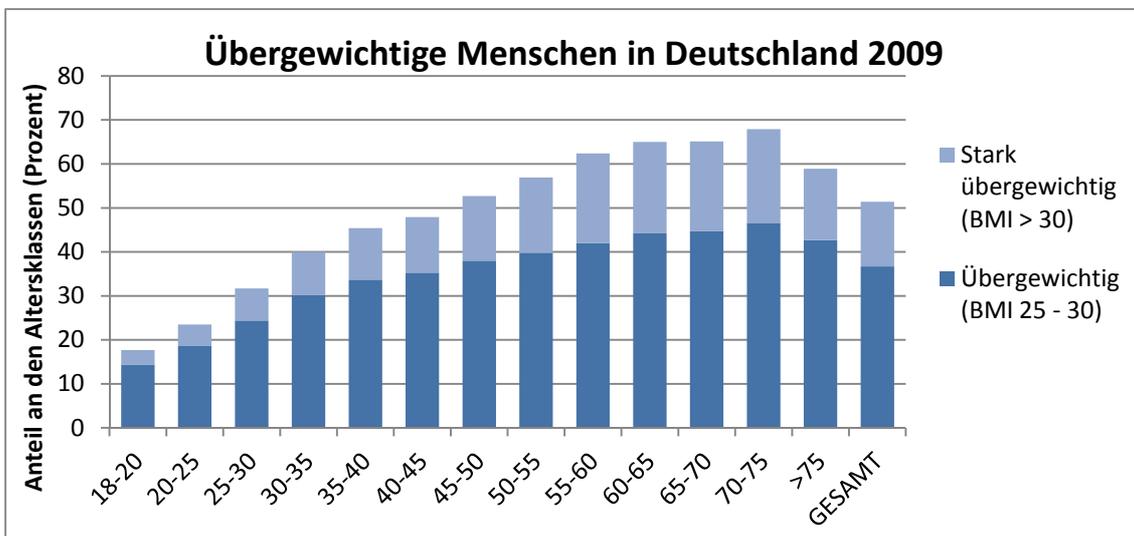
### 3.5.4 Trainingszustand der Bevölkerung

Für eine adäquate Bewertung von Gesundheitsnutzen durch aktive Mobilitätsformen ist der durchschnittliche Fitnessgrad der Umsteiger von motorisierten Verkehrsmitteln auf aktive Formen der Mobilität abzuschätzen. Da Daten über die Verteilung der Bewegungshäufigkeit der Bevölkerung nicht vorliegen und das ASTRA-D-Modell keine Bewegungsmuster auf Personenebene liefert, wird der Grad der Übergewichtigkeit der Bevölkerung als Näherungsgröße herangezogen. Es wird dabei unterstellt, dass zum einen der Fitnessgrad der Umsteiger dem Bevölkerungsdurchschnitt entspricht und

andererseits die Nutzenwerte der WHO voll auf alle Wege übergewichtiger Menschen angewendet werden, während normalgewichtige Menschen unberücksichtigt bleiben.

Der Mikrozensus 2009 des Statistischen Bundesamtes (2012) weist 36,7% der Bevölkerung ab 18 Jahren als mäßig übergewichtig und 14,7% als stark übergewichtig aus. Grundlage hierfür ist der Body-Mass-Index (BMI), welcher sich als Quotient aus Gewicht (in kg) und das Quadrat der Größe (in m) errechnet. Die Weltgesundheitsorganisation stuft Erwachsene geschlechtsunabhängig mit einem BMI über 25 als übergewichtig und mit einem Wert über 30 als stark übergewichtig ein.

Abbildung 14: Anteil übergewichtiger Erwachsener in Deutschland 2009



Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten aus Statistisches Bundesamt (2012)

Während Sælensminde (2004) 50% der norwegischen Bevölkerung als Profiteure zusätzlicher Bewegung einstuft, wird auf Grundlage der gezeigten Daten für Deutschland von einem Anteil von 60% ausgegangen. Ferner Ausschlaggebend für die zusätzlichen Gesundheitseffekte aktiver Mobilitätsformen ist die gewöhnliche physische Aktivität der betreffenden Verkehrsteilnehmer und mögliche Substitutionseffekte, etwa weniger Sport in der Freizeit durch den Umstieg auf Rad und zu Fuß beim Arbeitsweg (Vandermeulen et al., 2011). Auch hieraus ergeben sich potenzielle Überschneidungen mit der Bewertung von Reisezeitveränderungen. Im Hinblick auf eine vorsichtige Bewertung von Gesundheitsnutzen wird eine weitere Reduktion der berücksichtigten Verkehrsleistung auf 30% der von motorisierten Verkehrsmitteln auf Rad- und Fußwege verlagerten Personenkilometer vorgenommen.

### 3.5.5 Anwendung in der Bewertung

Im Rahmen der individuellen Betrachtung können die relevanten Daten zum aktuellen Status und der Veränderung aktiver Mobilitätsformen direkt erfragt werden. In der aktuellen Version des Analysetools wird der generelle Fitnesszustand des Nutzers zwar nicht erfasst, dies wäre aber prinzipiell möglich. Es wird davon ausgegangen, dass der Nutzer neben den angegebenen Wegen keine nennenswerte physische Aktivität durchführt, so dass der Ansatz des HEAT-Tools der WHO in vollem Umfang angewendet wird. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden mögliche Reduktionen sportlicher Aktivitäten, was das Zeitbudget des Nutzers entlasten und die Wirksamkeit der aktiven Mobilität erhöhen würde. Entsprechend zeigen die Ergebnisse ein Potenzial auf, welches fallweise nach Maßgabe persönlicher Lebensumstände zu korrigieren ist.

Entsprechend der obigen Ausführungen ist der Ansatz der Gesundheitsnutzen in der volkswirtschaftlichen Betrachtung allenfalls mit größter Vorsicht zulässig. Nutzen aus gesteigerter Lebensqualität (oder sinkenden Mortalitätsraten) sowie durch weniger Produktionsausfälle werden anhand obiger Eckdaten und den Ergebnissen des HEAT-Tools abgeschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass sich die verlagerten Personenkilometer entsprechend der Bevölkerungsverteilung auf 60% der Menschen mit zu wenig Bewegung im Alltag und 40% der Menschen mit einem guten Trainingszustand verteilen.

Erstere Gruppe kann mutmaßlich voll von den Wirkungen aktiver Mobilität mit einer jährlichen Ersparnis von 2000 Euro profitieren, es wird jedoch angenommen dass 50% der Rad- oder Fußkilometer jenseits des bewertbaren Bereichs bis 50% Reduktion der Mortalitätsrate liegt. In dem Fall trainierter Menschen (40% der Personenkilometer) wird unterstellt, dass pro Person maximal 500 Euro jährlicher Nutzen realisiert werden kann. Ferner wird für diese Gruppe angenommen, dass lediglich 25 Prozent der Personenkilometer per Rad oder zu Fuß nach den Annahmen des HEAT-Tools bewertbar sind.

Tabelle 13 fasst die zentralen Annahmen zur Bewertung von Gesundheitseffekten durch die Verlagerung motorisierten Personenverkehrs auf Fuß- und Radverkehr zusammen. Danach kann jeder Kilometer per Rad mit etwa 0,32 Euro und jeder Kilometer zu Fuß mit 0,41 Euro bewertet werden. Diese Zahlen werden in der volkswirtschaftlichen Analyse auf die Ergebnisse des ASTRA-D-Modells angewendet.

Tabelle 13: Annahmen zur volkswirtschaftlichen Bewertung von Gesundheitsnutzen

	Trainierte Menschen	Untrainierte Menschen
Anteil an der Bevölkerung	40%	60%
Korrektur für gewöhnliche Aktivität	25%	50%
<b>Nutzen durch Verlagerung auf Fahrrad</b>		
- Lebensqualität (€/km)	0,15	0,61
- Produktionsausfälle (€/km)	0,09	0,37
- Radfahren gesamt (€/km)	0,32	
<b>Nutzen durch Verlagerung auf Fußverkehr</b>		
- Lebensqualität (€/km)	0,22	0,78
- Produktionsausfälle (€/km)	0,13	0,47
- zu Fuß gesamt (€/km)	0,41	

Quelle: Fraunhofer ISI

### 3.6 Verkehrssicherheit

2008 betragen die gesellschaftlichen Kosten der von motorisierten Verkehrsträgern verursachten Verkehrsunfälle in der EU plus Schweiz und Norwegen 225 Mrd. Euro. Hiervon entfielen über 99% auf den Straßenverkehr. Für Deutschland ergeben sich insgesamt Unfallkosten von 50,6 Mrd. Euro, welche mit 47% der gesamten externen Kosten den größten Einzelposten dieser darstellen.

Mit der Abnahme der Unfallraten im Straßenverkehr geht die Bedeutung der Unfälle mit der Zeit zurück. Seit 1995 ging die Zahl der Getöteten um 61% und die Zahl der Schwerverletzten um 49% zurück. Auf Außerortsstraßen ergab sich in beiden Fällen eine leicht höhere Verbesserung als im Stadtverkehr. Die Studie nimmt den Schadenspotenzial-Ansatz ein, welcher die Verkehrsoffer nach einem Gefahrenpotenzialwert auf die Verkehrsträger aufteilt. Dieses Potenzial bezieht im Wesentlichen Geschwindigkeit und Masse der Verkehrsmittel ein und ordnet damit fast alle Unfallfolgen dem motorisierten Verkehr zu. Vom Rad- und Fußverkehr verursachte Unfälle, welche nach der Auswertung von Unfallstatistiken durchaus zuzuordnen wären, werden hiernach ebenso in weiten Teilen dem motorisierten Verkehr zugeschlagen.

Tabelle 14: Entwicklung von Toten und Schwerverletzten im Straßenverkehr von 1995 bis 2010

Jahr	Getötete			Schwerverletzte in 1000		
	Gesamt	Innerorts	Außerorts	Gesamt	Innerorts	Außerorts
1995	9454	2435	7019	123	57,7	65,2
2000	7503	1829	5674	102,4	47,7	54,7
2005	5361	1471	3890	77	39,3	37,7
2010	3648	1011	2637	62,6	33,3	29,4
2010/1995	39%	42%	38%	51%	58%	45%

Quelle: BMVBS (2012)

Die gesellschaftlichen Folgekosten von Verkehrsunfällen beinhalten medizinische Versorgung, Verwaltung der Krankenkassen, Justiz, Polizei und den immateriellen Wert, welchen die Gesellschaft dem Erhalt von Leben und Gesundheit beimisst. Letzterer wird im europäischen Durchschnitt mit etwa 1,6 Mio. Euro zum Preisstand 2010 bewertet und stellt mit Abstand die größte Einzelkomponente der Unfallfolgekosten dar.

### 3.6.1 Bewertungsansätze

Der Aspekt der Verkehrssicherheit lässt sich aus zwei Perspektiven betrachten, da Verkehrsteilnehmer sowohl Verursacher als auch Opfer von Unfällen sein können. Insofern sind Unfallfolgekosten zwischen privaten und externen Kosten des Verkehrs anzusiedeln (Link et al., 2002a). Es ergeben sich folgende Ansätze:

- **Betroffenheitsprinzip:** Hiernach wird das persönliche Risiko eines Verkehrsteilnehmers, in Unfälle verwickelt zu sein und dabei getötet oder verletzt zu werden, abgebildet. Die Schuldfrage wird nach diesem Ansatz nicht gestellt. Die ermittelten Unfallrisiken sind grundsätzlich den privaten Kosten zuzuordnen.
- **Verursacherprinzip:** Hiermit wird bewertet, zu welchem Grad ein Verkehrsteilnehmer Tod oder Verletzung anderer Verkehrsteilnehmer durch seine Teilnahme am Verkehr verursacht. Nach diesem Ansatz sind die Unfallkosten abzüglich der von Versicherungen abgedeckten Kostenanteile den externen Kosten der Mobilität zuzuschreiben.

Ein Vergleich der beiden Ansätze ist mit Hilfe von Unfalldaten zur Beteiligung und polizeilich festgestellten Schuld an Verkehrsunfällen mit Personenschäden möglich (Statistisches Bundesamt, 2011). In beiden Fällen wird die Beteiligung an bzw. die Verantwortlichkeit für Unfälle anhand der Unfallopfer beschrieben. Entsprechend Essen et al. (2011) werden „äquivalente Todesopfer“ durch die Gewichtung von Schwerverletzten

mit 0,13 und Leichtverletzten mit 0,01 im Verhältnis zu getöteten Verkehrsteilnehmern als Maß der Unfallschwere verwendet.

Tabelle 15 Stellt die Anteile an allen Unfallgeschädigten der beiden Ansätze nach Ortslage zusammen und zeigt das resultierende Verhältnis aus Unfallverursachung und Unfallbeteiligung. Danach verursachen Pkw-Fahrer etwa doppelt so viele Unfallopfer als innerhalb dieser Personengruppe zu beklagen sind. Für Nutzfahrzeugfahrer ist das entsprechende Verhältnis sogar knapp 3:1. Im Gegensatz hierzu ist in urbanen Räumen das Verhältnis von Unfallopfern zu Unfallverursachern für Radfahrer etwa 2:3 (58%) und für Fußgänger sogar nur 1:3 (37%).

Tabelle 15: Anteile der Verkehrsträger an Unfallbeteiligung und Unfallverursachung nach Ortslage 2010

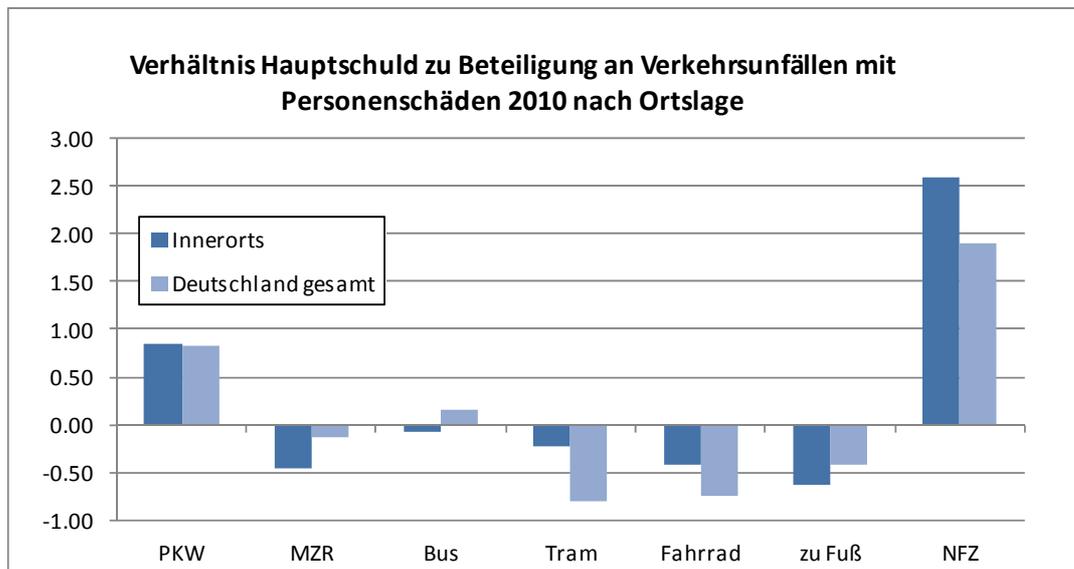
Ansatz, Ortslage	Pkw	MZR	Bus	SPV	Fahrrad	zu Fuß	NFZ	Alle
<b>Beteiligte (äquivalente Todesopfer)</b>								
Innerorts	32%	17%	1%	0%	28%	20%	2%	100%
Außerorts ohne AB	34%	10%	0%	1%	52%	0%	2%	100%
Autobahn	73%	7%	3%	0%	0%	0%	17%	100%
Verursacher Gesamt	36%	13%	1%	1%	40%	7%	3%	100%
<b>Verursacher (äquivalente Todesopfer)</b>								
Innerorts	59%	9%	1%	0%	16%	7%	7%	100%
Außerorts ohne AB	71%	14%	0%	0%	5%	1%	8%	100%
Autobahn	68%	6%	2%	0%	0%	0%	25%	100%
Verursacher Gesamt	65%	11%	1%	0%	10%	4%	9%	100%
<b>Verhältnis Verursacher zu Beteiligte</b>								
Innerorts	185%	54%	93%	77%	58%	37%	359%	100%
Außerorts ohne AB	210%	135%	175%	7%	10%	1197%	345%	100%
Autobahn	93%	79%	54%	-	-	-	147%	100%
Deutschland gesamt	182%	87%	115%	20%	25%	58%	291%	100%

Pkw=Personenkraftwagen; MZR=motorisiertes Zweirad; SPV=Schienenpersonenverkehr; NFZ=Nutzfahrzeuge

Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten aus Statistisches Bundesamt (2011)

Abbildung 15 stellt das Verhältnis aus Verursachung und Beteiligung für urbane Räume und für Deutschland gesamt grafisch dar.

Abbildung 15: Unfallverursacher über Beteiligten innerorts und in Deutschland gesamt



Quelle: Fraunhofer ISI mit Daten aus Statistisches Bundesamt (2011)

Der Ausweis der individuellen und gesellschaftlichen Kosten der Mobilität verfolgt das Ziel, Entscheidungshilfen für Verkehrsteilnehmer oder die öffentliche Hand hin zu einer nachhaltigen Gestaltung der persönlichen und kollektiven Mobilität zu liefern. Im Falle der Verkehrssicherheit stellt sich das Problem, dass Risiken von Unfällen individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen werden und in starkem Maße von persönlichen Fähigkeiten, Risikobereitschaft und Mobilitätsverhalten determiniert sind. Der Ausweis individueller Risikolagen erscheint nach dieser Überlegung und vor dem Hintergrund der oben genannten Ziele wenig hilfreich.

Dementsprechend wird die Verkehrssicherheit aus der Perspektive der Unfallverursachung als Teil der externen Kosten betrachtet. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Natur werden Unfallfolgekosten jedoch separat von den Umwelt-, Treibhausgas- und Lärmemissionen des Verkehrs in den Bewertungsergebnissen ausgewiesen. Nachrichtlich wird im Folgenden zusätzlich die Betroffenheit der Verkehrsträger durch Unfälle besprochen.

### 3.6.2 Komponenten externer Unfallkosten

Nach Link et al. (2002a) weisen Unfallfolgekosten sowohl interne als auch externe Komponenten auf, da die Risiken verletzt oder getötet zu werden von den Verkehrsteilnehmern zum Teil selbst getragen werden. Verkehrsteilnehmer verhalten sich im Allgemeinen auch ohne staatliche Regulierung oder Anreizsysteme so, dass von ihnen

möglichst keine direkte Gefahr für andere ausgeht, womit ein Teil der gesellschaftlichen Kosten bereits internalisiert sind. Die Bewertung eigener oder fremder Risiken durch die Verkehrsteilnehmer ist jedoch stark subjektiv gefärbt und wegen der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit von Verkehrsunfällen ohnehin kaum objektiv zu leisten. Dementsprechend ist der Grad der impliziten Internalisierung der gesellschaftlichen Unfallfolgekosten ungewiss und wird im Allgemeinen nicht quantifiziert.

Nach Essen et al. (2011) gliedern sich die externen Unfallkosten der Mobilität in folgende Komponenten:

- Statistischer Wert des menschlichen Lebens: Hierbei handelt es sich um die gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft zur Verhinderung von Todesfällen oder Verletzungen durch Unfälle oder sonstige externe Faktoren. Aus Europäischen Studien (Maibach et al., 2008) hat sich ein Konsenswert für Deutschland von etwa 1,62 Mio. Euro je Todesopfer und 0,21 Mio. Euro je Schwerverletztem zum Preisstand 2010 gebildet. Gewichtet mit einem Verhältnis von Todesopfern zu Schwerverletzten im Straßenverkehr von etwa 10:1 ergibt sich ein Durchschnittswert von etwa 300'000 Euro je Unfall mit schwerem Personenschaden oder 50'000 Euro über alle Unfälle mit Personenschäden. Dieser kann in nationalen Bewertungssystemen unterschiedlich angesetzt werden; beispielsweise verwendet die Bundesverkehrswegeplanung eine Unfallkostenrate von 99'702 Euro je Unfall mit Personenschaden (BMVBS, 2005). Der Wert des statistischen Lebens wird aus ethischen Gründen nicht nach Alter, Einkommen oder Berufstätigkeit der Opfer differenziert. Für schwere Verletzungen werden 13%, für leichte Verletzungen 1% des Risikowertes für Todesfälle angesetzt. Neben Unfallfolgen wird dieser auch zur Bewertung von Gesundheitseffekten durch aktive Mobilität, Luftverschmutzung oder Lärm herangezogen und bestimmt somit einen gewichtigen Teil der wirtschaftlichen Auswirkungen verkehrspolitischer Interventionen.
- Gesundheitsnutzen: die Folgen des temporären oder vollständigen Ausfalls von Mitarbeitern am Arbeitsplatz und für die Gesamtwirtschaft. Bewertet werden Produktivitätsverluste und die Kosten der Neubesetzung von Stellen (Nettoproduktionsausfälle) sowie der entgangene Konsum der geschädigten Person.
- Hilfsmittelkosten: Diese sind teilweise durch die Haftpflichtversicherung des Unfallverursachers oder die Unfallversicherung des Geschädigten abgedeckt und teilweise internalisiert. Grundlagen sind Statistische Angaben für ausgewählte Länder und deren Hochrechnung auf Europa (Essen et al., 2011)
- Kosten für die öffentliche Verwaltung: Sie beinhalten die Kosten von Polizeieinsätzen zur Unfallaufnahme, Rechtsfolgekosten und die Verwaltungskosten im Gesundheitswesen. Diese Kosten sind in der Regel nicht internalisiert.

Nicht berücksichtigt werden in dieser Studie Materialschäden an Fahrzeugen und Infrastrukturen. Diese werden aus individueller Sicht im Wesentlichen durch Versicherungsprämien abgedeckt und sind entsprechend bereits im Rahmen der Fahrzeugbe-

triebskosten als privater Kostenbestandteil erfasst. Aus volkswirtschaftlicher Sicht stellen diese Transferzahlungen dar, welche genau genommen zur Steigerung von Bruttoinlandsprodukt und Beschäftigung beitragen. In der BVWP 2003 (BMVBS 2005) werden Materialschäden jedoch vollständig in die Kosten-Nutzen-Rechnung einbezogen, was im Kontext einer projektspezifischen Bewertung zulässig ist.

Generell können Maßnahmen in verschiedener Hinsicht auf die Verkehrssicherheit wirken:

- Durch Modal-Split-Veränderungen werden Fahrten mit Verkehrsmitteln mit höheren Unfallhäufigkeiten und –raten auf den ÖPNV, Fuß- oder Radverkehr verlagert. Ähnlich wirken Maßnahmen, die direkt zu einer Verkürzung der MIV-Wege führen (Stadtplanung, Landnutzung)
- Maßnahmenbündel, die zur Erhöhung des Modal Splits des Fuß- und Radverkehrs führen, senken direkt die Unfallraten in den entsprechenden Langsamverkehrsmodi.

In Abhängigkeit der Wirkungsmuster können die Auswirkungen auf die externen Kosten direkt über Kostensätze pro reduzierte MIV-Kilometer ausgewiesen werden. Solche Kostensätze werden im Handbuch zur Quantifizierung externer Kosten des Verkehrs (Maibach et al., 2008) für verschiedene Fahrzeug- und Straßenkategorien berechnet und auch in Essen et al. (2011) abgeleitet. Diese basieren auf Annahmen zu den Grenzkosten der Verkehrssicherheit, also den Kosten welche durch eine zusätzliche Fahrt hervorgerufen werden. Da sich Unfallraten nach Verkehrsstärken unterscheiden, sind diese nicht konstant und weichen von Durchschnittskosten, also dem einfachen Quotienten aus gesamten Unfallkosten und Verkehrsleistung, ab.

Tabelle 16 leitet die externen Unfallgrenzkosten nach dem Verursacherprinzip aus Essen et al. (2011) auf der Grundlage deutscher Statistiken zu Opferzahlen und Verkehrsgeschehen ab. Die Verkehrsträgeranteile von Rad- und Fussverkehr an den Personenkilometern aus BMVBS (2005) wurden dabei verdoppelt, um ggf. vernachlässigte kleine Wege zu korrigieren.

Tabelle 16: Unfallopfer und externe Unfallkosten ausgewählter Verkehrsträger und Ortlagen in Deutschland (2010)

Ortslage	Pkw	MZR	Busse	SPV	Fahrrad	zu Fuß	NFZ
Todesfall-Äquivalente nach Verkehrsbeteiligung des Verursachers aus: Statistisches Bundesamt (2011)							
Innerorts	4.321	688	83	12	1.164	540	535
Außerorts ohne AB	8.379	1.671	33	6	631	148	931
Autobahnen	862	70	19	0	0	0	325
Modal Split (Pkm) nach BMVBS (2005) mit Korrektur von Fuß- und Radverkehr							
Innerorts	0,66		0,10	0,10	0,06	0,08	
Außerorts ohne AB	0,79		0,07	0,08	0,03	0,03	
Autobahnen	0,83		0,08	0,09			
Schätzung externer Unfallkosten in €-ct/Pkm/Tkm *							
Innerorts	5,22	25,32	0,66	0,09	15,48	5,38	0,07
Außerorts ohne AB	2,06	9,98	0,09	0,02	4,08	0,96	0,22
Autobahnen	0,39	1,91	0,09	0,00			0,02

\* Für Pkw und NFZ Werte aus nach Essen et al. (2011) mit 1,3 Personen/Pkw und 10 t/NFZ  
MZR = Motorisierte Zweiräder; SPV = Schienenpersonenverkehr; NFZ = Nutzfahrzeuge;  
AB = Autobahn; Fzkm = Fahrzeugkilometer; Pkm = Personenkilometer  
Quelle: Fraunhofer ISI

Generell fehlen vergleichbare Kostensätze für Maßnahmen, die direkt auf die Verkehrssicherheit von Langsamverkehrsmitteln (Fuß- und Fahrradverkehr) wirken. Um diese Maßnahmen hinsichtlich der externen Unfallkosten zu bewerten, müssen zunächst die Auswirkungen auf die Unfallhäufigkeiten und Unfallschwere bei diesen Verkehrsträgern quantifiziert werden. Das Handbuch zur Quantifizierung der externen Kosten des Verkehrs enthält hier Bewertungsansätze pro reduziertes Unfallopfer (differenziert nach Todesfällen und Unfallschwere). Diese basieren auf dem EU-Forschungsprojekt HEATCO (Bickel et al., 2006).

Falls die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit über alternative Modelle abgeschätzt werden können, die eine Gesamtzahl reduzierter Unfallopfer bzw. Änderungsraten der Unfallhäufigkeiten und –schwere als Gesamtergebnis zeigen, so können diese direkt mit folgenden Kostensätzen quantifiziert werden:

Tabelle 17: Kostensätze für vermiedene Unfallopfer, differenziert nach Unfallschwere (€ 2002)

Statistischer Wert des menschlichen Lebens			Zusätzliche direkte und indirekte ökonomische Kosten			Total		
Todesfall	Schwerverletzter	Leichtverletzter	Todesfall	Schwerverletzter	Leichtverletzter	Todesfall	Schwerverletzter	Leichtverletzter
1.510.000	196.000	15.100	151.000	33.400	3.500	1.661.000	229.400	18.600

Quelle: Maibach et al., 2008, basierend Bickel et al., 2006

### 3.6.3 Interpretation der Ergebnisse

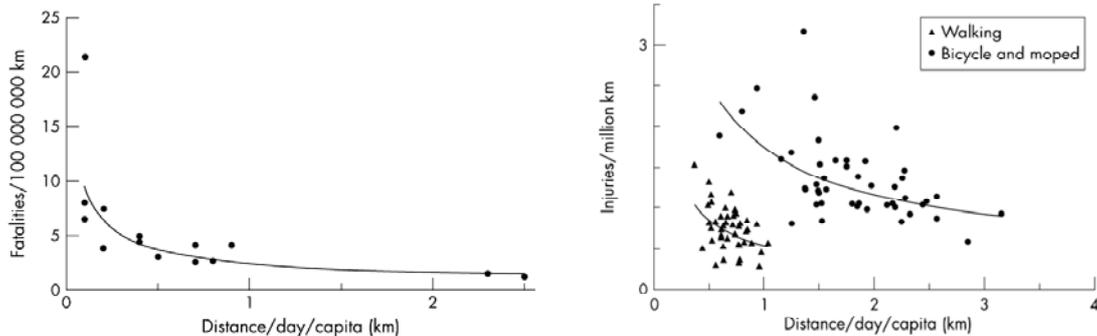
Tabelle 16 leitet unter anderem die Unfallraten im Fuß- und Radverkehr ab. Diese sind aufgrund der Datengrundlage zu Personenkilometern dieser Verkehrsarten als sehr unsicher zu bewerten. Dennoch zeigen die Ergebnisse eine Tendenz auf, welche sich in der aktuellen Diskussion um mehr Fuß- und Radverkehr zeigt: Speziell das Radfahren in urbanen Räumen birgt nicht zu vernachlässigende Sicherheitsrisiken. Diese sind aus Sicht der Unfallverursachung relativ niedriger als aus Sicht der Unfallbeteiligung. Aus Unfallstatistiken lässt sich ableiten, dass das Risiko pro Personenkilometer, an tödlichen Unfällen beteiligt zu sein als Radfahrer in Städten, selbst bei optimistischen Annahmen zu deren Verkehrsleistung, etwa dreimal so hoch ist wie beim Pkw (Statistisches Bundesamt 2011). Nach dem Nationalen Radverkehrsplan 2020 der Bundesregierung (BMVBS 2012) hat sich die Sicherheit im Radverkehr in den letzten Jahren deutlich unterproportional zum Rückgang der Unfallopfer im Verkehr insgesamt entwickelt. Auch das subjektive Empfinden der Sicherheit im Radverkehr hat sich in den letzten Jahren merklich verschlechtert (SINUS/ADFC 2012). Der Vergleich Fußverkehr und Pkw liefert etwa gleiche Unfallverursachungsraten, wohingegen das geringste Unfallrisiko von Kunden des öffentlichen Nahverkehrs mit Bussen und Bahnen ausgeht.

Ein Grund für die hohen Unfallraten durch Radfahrer und Fußgänger liegt im mangelndem Ausbau der entsprechenden Fahrradinfrastrukturen (BASt, 1992) sowie in der Nichteinhaltung von Sicherheitsabständen auf Fahrbahnen (BASt 1993). König (2006) schließt, dass selbst aufwendige Markierungsmaßnahmen die Konflikte zwischen Radfahrern und MIV an Kreuzungspunkten zwischen Radwegen und Kfz-Fahrbahnen nicht dauerhaft entschärfen können (vgl. auch Veisten et al., 2007).

Statistische Analysen weisen darauf hin, dass aktive Mobilitätsformen mit einem steigenden Anteil am Verkehrsgeschehen deutlich sicherer werden. Die Analyse über verschiedene Stadtgrößen, Länder und Zeitperioden in Jacobsen (2003) zeigt deutlich, dass Unfallraten an Kreuzungen mit steigendem Anteil von Fußgängern und Radfahrern signifikant abnehmen. Als Hauptgrund hierfür wird das bewusstere Wahrnehmen

der „schwächeren“ Verkehrsteilnehmer durch Pkw-Fahrer angeführt, wenn diese mehr Raum im Verkehrsgeschehen einnehmen.

Abbildung 16: Vergleich von Unfallraten von Radfahrern und Fußgängern in 16 europäischen Ländern 1998 (links) und 47 dänischen Städten (rechts)



Quelle: Jacobsen (2003)

Gute Lösungen liegen in einem engmaschigen Netz an Radwegen oder in gemeinsamen auffällig markierten Räumen für Rad- und Autoverkehr, bspw. durch farblich markierte Radstreifen auf der Fahrbahn, gemischten Verkehrszonen oder Fahrradstraßen wie in den Niederlanden oder Kopenhagen. In jedem Fall sollten Fuß- und Radverkehrsanlagen deutlich gekennzeichnet sein um Aufmerksamkeit zu erregen. Ferner ist die Bereitstellung ausreichender Abstellmöglichkeiten für Fahrräder an zentralen Zielen und die Bereitstellung zusätzlicher Angebote wichtig zur Förderung der Akzeptanz (UBA, 2010). Entsprechende Regelwerke zur Anlage von Fahrradinfrastrukturen liegen vor und sollten unbedingt beachtet werden (vgl. z.B. MFW/ISV, 2012 und STMI, 2011).

Der ADFC empfiehlt den Zwang zur Benutzung gekennzeichnete Radwege aufzuheben, sodass die Nutzer selbst die für sie sicherste Route wählen können (ADFC, 2012). Geschwindigkeitsbegrenzungen in Städten leisten ebenfalls gewichtige Beiträge sowohl zur Sicherheit als auch zur Förderung des Rad- und Fußverkehrs und haben ferner positive Wirkungen auf die Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (UBA, 2010).

### 3.6.4 Anwendung

Die in Tabelle 16 dargestellten Unfallraten werden unverändert in der individuellen Analyse wie in der volkswirtschaftlichen Rechnung verwendet. In letzterer findet keine Rückkopplung mit dem ökonomischen Modell, etwa durch die Berücksichtigung von

Produktionsausfällen in den Input-Output-Tabellen, statt. Diese Effekte wurden bereits in der Schätzung der externen Kosten durch Essen et al. (2011) berücksichtigt.

## **3.7 Umweltwirkungen**

Hinweise zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs sind für Deutschland in der Methodenkonvention des UBA zusammengefasst. Diese Methodenkonvention wird aktuell in einem parallel laufenden Forschungsprojekt überarbeitet (INFRAS/IER/ISI 2012). Zudem stehen auf EU-Ebene mehrere Standardwerke zur Verfügung, insbesondere das Handbuch zur Quantifizierung externer Kosten des Verkehrs (Maibach et al., 2008). In diesem Kapitel sollen die wesentlichen Grundlagen für die Abschätzung der Auswirkung verschiedener nichttechnischer Maßnahmen auf die Höhe der externen Kosten bereit gestellt werden. Im Rahmen der Überarbeitung der Methodenkonvention werden die dazu vorhandenen Grundlagen der Methodenkonvention 2007 (UBA 2007) aktualisiert.

### **3.7.1 Luftverschmutzung**

Maßnahmen, die zu einer Reduktion der Emission von Luftschadstoffen führen, können direkt über Kostensätze pro Tonne vermiedenem Schadstoff bewertet werden. Dazu sind natürlich verschiedene Zusatzinformationen notwendig, wie beispielsweise Emissionsfaktoren der entsprechenden Fahrzeuge wie auch komplexere Analysen zu den eventuell zusätzlich anfallenden Emissionen im öffentlichen Verkehr. Für alle Verkehrsträger liegen hier relativ gute und differenzierte Kostensätze vor. Im Handbuch zur Quantifizierung der externen Kosten des Verkehrs (mit Daten aus Bickel et al., 2006) werden sowohl Kostensätze pro Tonne Schadstoffe wie auch Kostensätze für verschiedene Fahrzeugkategorien ausgewiesen.

Tabelle 18 zeigt zunächst die Kosten pro Tonne Schadstoff, differenziert nach Schadstoff, Ort und Art der Emissionen. Mit Hilfe der Emissionsdatenbank TREMOVE (<http://www.tremove.org>) wurden obige Kostensätze für verschiedene Fahrzeugkategorien in Kostensätze pro Personen- und Tonnenkilometer umgerechnet. Werte für den Schienenverkehr entstammen den Emissionsfaktoren des TREMOD-Modells. Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt exemplarisch die Resultate für einige ausgesuchte Fahrzeugkategorien.

Tabelle 18: Luftverschmutzungskosten in € pro Tonne Schadstoff (€ 2010)

Luftverschmutzung € <sub>2010</sub> /t Emission	Kostensätze für Emissionen in Deutschland			
	Innerorts (Großstadt)	Innerorts (Stadt)	Innerorts (Durchschnitt)	Außerorts
PM <sub>2,5</sub> Verkehr (Auspuff)	390.900	360.100	364.100	122.800
PM <sub>coarse</sub> Verkehr (Abrieb/Aufwirbelung)	11.300	10.000	10.200	2.900
PM <sub>10</sub> Verkehr (Abrieb/Aufwirbelung)	36.500	33.200	33.700	11.000
NO <sub>x</sub> (Bau- und Betriebsphase)	15.400	15.400	15.400	15.400
SO <sub>2</sub> (Bau- und Betriebsphase)	13.200	13.200	13.200	13.200
NMVOC (Bau- und Betriebsphase)	1.700	1.700	1.700	1.700
NH <sub>3</sub> (Bau- und Betriebsphase)	26.800	26.800	26.800	26.800

Quelle: Maibach et al. (2012)

Tabelle 19: Kosten durch Luftverschmutzung nach Ortslage 2010

Kostensätze Luftverschmutzung €-ct (2010)/Pkm/Tkm		Ortslage			
		Innerorts	Außerorts	Autobahn	Alle Strecken
Pkw (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	1,5	0,7	1,0	1,1
	Benzin	0,5	0,3	0,4	0,4
Lkw (Flotte 2010) [Tkm]	LNF (Diesel)	6,1	3,5	5,1	5,2
	LNF (Benzin)	1,8	1,2	1,6	1,6
	SNF (Diesel)	1,4	0,6	0,6	0,8
Bus (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	1,7	0,8	0,6	1,1
Krafträder (Flotte 2010) [Pkm]	KR (Benzin, 4-Takt)	0,8	0,6	1,2	0,9
	KR (Benzin, 2-Takt)	0,9	0,7	1,1	0,9
Personenzug [Pkm]	Diesel	0,9	0,9		0,9
	Elektrisch	0,3	0,3		0,3
Güterzug [Tkm]	Diesel	0,4	0,0		0,1
	Elektrisch	0,2	0,0		0,0

Quelle: Maibach et al. (2012)

### 3.7.2 Klimawirkungen

Klimaeffekte werden mit Hilfe eines Kostensatzes pro vermiedene Tonne Treibhausgas quantifiziert. Im Rahmen der Methodenkonvention wurde ein mittlerer Wert von 80 Euro/t CO<sub>2</sub>-Äquivalent für das Jahr 2010 festgelegt. Analysen aktueller Studien im Rahmen der Projekte IMPACT (Maibach et al., 2008) und dem EU-Forschungsprojekt NEEDS resultieren in im Zeitverlauf ansteigenden Kostensätzen. Für heute vermiedene Emissionen werden relativ tiefe Kostensätze verwendet, für zukünftige Emissionen entsprechend höhere. Dieser Argumentation wird in Maibach et al. (2012) gefolgt. Für eine ausführliche Diskussion der Hintergründe verweisen wir auf die Methodenkonvention INFRAS/IER/ISI 2012 sowie auf das Handbuch zur Quantifizierung der externen Kosten des Verkehrs (Maibach et al., 2008). Die nachfolgende Tabelle 20 zeigt die in der Methodenkonvention 2012 des UBA vorgeschlagenen Kostensätze.

Tabelle 20: Externe Klimagas-Vermeidungskosten in € pro Tonne CO<sub>2</sub>

Jahr	Kurzfristig 2010	Mittelfristig 2030	Langfristig 2050
Unterer Wert	40	70	130
<b>Mittlerer Wert</b>	<b>80</b>	<b>145</b>	<b>260</b>
Oberer Wert	120	215	390

Quelle: Maibach et al., 2012

Obwohl die Kosten der globalen Erwärmung je t CO<sub>2</sub>-Äquivalent unabhängig von der Ortslage anfallen, ergeben sich durch spezifische Fahrprofile und Besetzungsgrade lokale Unterschiede in den Klimakosten je Personenkilometer. Diese sind aus folgender Tabelle 21 ersichtlich.

Tabelle 21: Kosten durch Klimagasemissionen nach Ortslage 2010 (gesamte Prozesskette inkl. Kraftstoffbereitstellung und Rollmaterial)

Kostensätze Klimagase €-ct (2010)/Pkm/Tkm		Ortslage			
		Innerorts	Außerorts	Autobahn	Alle Straßen
Pkw (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	2,4	2,2	2,3	2,3
	Benzin	2,1	1,9	2,2	2,1
Lkw (Flotte 2010) [Tkm]	LNF (Diesel)	4,8	4,7	5,2	4,9
	LNF (Benzin)	4,6	4,2	4,5	4,5
	SNF (Diesel)	1,1	1,1	1,1	1,1
Bus (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	0,9	0,8	0,7	0,8
Krafträder (Flotte 2010) [Pkm]	KR (Benzin, 4-Takt)	1,3	1,2	1,5	1,3
	KR (Benzin, 2-Takt)	1,2	1,3	1,6	1,4
Personenzug [Pkm]	Diesel	2,3	2,3		2,3
	Elektrisch	0,7	0,7		0,7
Güterzug [Tkm]	Diesel	0,6	0,6		0,6
	Elektrisch	0,2	0,2		0,2

Quelle: Maibach et al. (2012)

### 3.7.3 Lärm

Die Bewertung der Auswirkungen von Maßnahmen auf die externen Lärmkosten kann mit Hilfe von Kostensätzen in Euro pro Fahrzeug- oder Zug-Kilometer erfolgen. Zusätzlich ist auch eine Bewertung auf Basis der mit Lärm belasteten oder entlasteten Personen möglich. Für beide Indikatoren sind Kostensätze vorhanden.

Die folgende Tabelle 22 zeigt zunächst Werte in €-ct pro Fahrzeug-km bzw. pro Zug-km:

Tabelle 22: Kosten durch Lärmemissionen nach Ortslage 2010

Kostensätze Lärm €-ct (2010)/Pkm/Tkm	Ortslage				
	Innerorts	Außerorts	Autobahn	Alle Straßen	
Pkw (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	1,3	0,0	0,0	0,5
	Benzin	1,3	0,0	0,0	0,5
Lkw (Flotte 2010) [Tkm]	LNF (Diesel)	12,1	0,0	0,0	4,6
	LNF (Benzin)	12,1	0,0	0,0	4,6
	SNF (Diesel)	1,7	0,0	0,0	0,6
Bus (Flotte 2010) [Pkm]	Diesel	0,6	0,0	0,0	0,2
Krafträder (Flotte 2010) [Pkm]	KR (Benzin, 4-Takt)	3,5	0,0	0,0	1,3
	KR (Benzin, 2-Takt)	3,5	0,0	0,0	1,3
Personenzug [Pkm]	Diesel	1,5		0,0	0,6
	Elektrisch	0,4		0,0	0,1
Güterzug [Tkm]	Diesel	0,5		0,0	0,2
	Elektrisch	0,2		0,0	0,1

Quelle: Maibach et al. (2012)

Falls eine Maßnahme konkrete Entlastungseffekte für einen abgrenzbaren Personenkreis zur Folge hat, können die vermiedenen Lärmkosten auch anhand folgender Kostensätze bewertet werden (Tabelle 23):

Tabelle 23: Externe Lärmkosten pro Person und Lärmniveau in € pro Jahr (€ 2010)

Lärmbelastung Lden [dB(A)]	Straßenverkehr (EUR <sub>2010</sub> /Person)	Schienerverkehr (EUR <sub>2010</sub> /Person)	Luftverkehr (EUR <sub>2010</sub> /Person)
45 dB	0 (0-7)	0 (0-3)	0 (0-12)
50 dB	10 (10-23)	0 (0-6)	16 (19-35)
55 dB	51 (18-116)	10 (9-23)	78 (26-179)
60 dB	101 (24-232)	51 (14-116)	157 (33-359)
65 dB	152 (31-348)	101 (19-232)	235 (41-538)
70 dB	203 (40-463)	152 (24-348)	314 (48-718)
75 dB	337 (131-663)	286 (113-547)	477 (138-982)
80 dB	422 (174-813)	372 (155-696)	589 (179-1'195)
≥ 81 dB	439 (183-842)	388 (163-727)	612 (187-1'238)

Lden: Tag-Abend-Nacht-Lärmpegel (day-evening-night) 24h-Dauerschallpegel, der Abend- und Nachtlärm stärker gewichtet.

Quelle: Maibach et al. (2012)

### 3.7.4 Anwendung

Die gezeigten Kostensätze je Personen- und Tonnenkilometer werden entsprechend der Ortslage direkt in der individuellen und der volkswirtschaftlichen Bewertungsmethodik angewandt. In der individuellen Rechnung werden zusätzlich Differenzierungen der Luftschadstoffemissionen nach Euro-Klassen sowie der Klimaemissionen nach der Fahrzeuggröße vorgenommen.

In der volkswirtschaftlichen Rechnung gilt dies ebenfalls, zusätzlich werden die Emissionswerte jedoch noch bis zum Jahr 2030 mittels der Entwicklung der Fahrzeugflotte fortgeschrieben. Hierin Eingang finden Annahmen zu zukünftigen Emissionsnormen und der Energieeffizienz der Verkehrsträger.

### 3.8 Weitere Effekte

**Vor- und nachlaufende Prozesse:** Kosten vor- und nachlaufender Prozesse im Verkehr entstehen durch die Bereitstellung der Energie (Treibstoffe, Elektrizität) sowie den Bau, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Infrastruktur. In dieser Studie werden diese anhand der Auswirkungen der verschiedenen Prozesse (Erdölförderung, Transporte, Raffinerien, Betonherstellung etc.) mit Hilfe der Kostensätze für Luftverschmutzung und Klimawandel bewertet.

**Trennwirkungen im städtischen Raum:** Die Trennwirkung von Verkehrsinfrastrukturen im städtischen Kontext können z.B. anhand der Zeitverluste für den nichtmotorisierten Verkehr abgeschätzt werden. Es bestehen einige grobe Bewertungsansätze, die

allerdings in erheblichem Umfang von schwer zu verifizierenden Annahmen abhängen (notwendige Wartezeiten an Ampeln, Umwegzeiten etc.).

**Natur und Landschaft:** Die Auswirkungen des Verkehrs auf Natur- und Landschaft sind vielfältig. Einerseits führen Verkehrsinfrastrukturen zu einer Fragmentierung von Habitaten, gleichzeitig werden bestehende Ökosysteme zerstört oder in ihrem Wert beeinträchtigt. Auch visuelle Störungen des Landschaftsbilds werden in der Literatur genannt. Schließlich haben Luftschadstoffemissionen Auswirkungen auf die Biodiversität. Für all diese Kostenkategorien gibt es mehr oder weniger ausgearbeitete Quantifizierungsmethoden (Details z.B. in IMPACT sowie in den aktuellen EU-Forschungsprojekten NEEDS und CASES).

In Ergänzung zu den oben behandelten etablierten Kategorien externer Effekte ergeben sich mit dem Übergang zwischen verschiedenen Arten der Mobilität weitere, bisher wenig beleuchtete Kategorien von Nutzen und Kosten für unterschiedliche Gruppen von Akteuren. Diese umfassen:

- Optionen durch Diversifizierung des Mobilitätsverhaltens
- Verbesserte Angebote im öffentlichen Verkehr haben auch einen sozialen Aspekt: z.B. lassen sich durch Nutzung des ÖV soziale Netze knüpfen (z.B. bei Pendlern, die jeden Tag zusammen zur Arbeit fahren). Aufgrund der geringen Besetzung von Pkw ist im MIV dagegen der soziale Austausch gering. Dem gegenüber zu stellen ist die höhere Flexibilität des Pkw.
- Gezielte Reise-Angebote für neue bewusste Lebensstile, die einen „sanften“ Tourismus anstreben: Förderung des regionalen Tourismus, kombinierter Verkehr (Bahn+Bike) für Städtereisen statt Flugzeug und Taxi, Fahrrad- oder Wanderreisen mit Gepäcktransport etc.
- Nutzung von Videokonferenzen und neuen Kommunikationsmitteln zur Reduktion des motorisierten Geschäftsreise-Verkehrs und gleichzeitig Reduktion der Arbeitsbelastung/Verbesserung „work-life-balance“.
- Impulse für die Stadtplanung, reduzierte Folgekosten der Siedlungsentwicklung
- Neue und verbesserte Angebote im öffentlichen Verkehr wirken sich auch positiv auf Umgang mit demographischem Wandel aus: gezielte Angebote für Senioren, die dadurch ihre Mobilität verbessern können. Dieser Aspekt ist auch für Menschen mit Behinderung relevant. Bei der Ausgestaltung der Angebote im öffentlichen Verkehr muss dabei auf einen behindertengerechten Zugang geachtet werden (v.a. barrierefreie Bahnhöfe, Einstiegshilfen etc.).

## **4 Modelle zur Bewertung wirtschaftlicher Aspekte**

Dieser Abschnitt stellt das Nutzwertool zur Bewertung individueller Mobilitätsentscheidungen und das ASTRA-D-Modell zur Bewertung der volkswirtschaftlichen Folgen der Maßnahmen dar.

### **4.1 Bewertungstool auf individuelle Ebene**

Die Einschätzung der Auswirkungen einer alternativen Gestaltung der täglichen Mobilität ist komplex. Es müssen mittelfristige Kapitalbindung, variable Ausgaben und immaterielle Effekte auf das persönliche Zeitvolumen wie auch auf Gesundheit und Freiheitsgrade bei der Alltagsgestaltung gegeneinander abgewogen werden. Hinzu kommen Imagefragen sowie die Auswirkungen privater Entscheidungen für Gesellschaft und Umwelt.

Als Entscheidungshilfe für Verkehrsteilnehmer wurde im Rahmen der vorliegenden Studie das Bewertungstool PExMo (= Private und Externe Kosten der Mobilität) entwickelt. PExMo gibt dem Nutzer die Möglichkeit die unterschiedlichen Kostenaspekte auf bestimmte Fahrtsituationen hin zu analysieren und gegeneinander abzuwiegen. PExMo wird als Excel-Anwendung interessierten Nutzern zum Download zur Verfügung gestellt. Die Architektur des Tools wird im Folgenden dargestellt; Ergebnisse ausgewählter Mobilitätsketten werden in Kapitel 4.2 besprochen.

#### **4.1.1 Mobilitätskostenrechner im Überblick**

In der Literatur finden sich einige Projekte und Modelle, die den Zielen dieses Forschungsvorhabens nahe kommen. Zum einen ist dies der online verfügbare Wohn- und Mobilitätsrechner der Stadt Hamburg, das Projekt Siedlungsentwicklung und Mobilität der Stadt München, die auf TREMOD basierenden Verkehrsträgervergleichsrechnungen der Deutschen Bahn AG und des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), oder das Modell Umwelt und Mobilität (MODUM) von Infracore. Zur Einführung in das Themenfeld werden diese Ansätze im Folgenden kurz vorgestellt.

##### **WOMO-Rechner, Stadt Hamburg**

Wohn- und Mobilitätskostenrechner für Hamburg und die umliegenden Gemeinden.

Der WoMo-Rechner ermittelt die Wohn- und Mobilitätskosten eines Haushalts sowie alternative Wohnstandorte in Hamburg und seinen Randkreisen. Der Rechner bietet die Möglichkeit, alle Kosten für Wohnen und Mobilität (Pkw- und ÖPNV-Nutzung) eines Haushaltes im Überblick darzustellen, an die persönlichen Verhältnisse anzupassen und zwischen Varianten zu vergleichen.

Der Wohn- und Mobilitätskosten-Rechner (WoMo-Rechner) ist Ergebnis eines Forschungsprojektes, das im Arbeitsgebiet Projektmanagement an der HafenCity Universität Hamburg (HCU) von 2006 bis 2008 durchgeführt wurde. In diesem Projekt mit dem Titel „Wohn-, Mobilitäts- und Infrastrukturkosten – Transparenz der Folgen der Standortwahl und Flächeninanspruchnahme am Beispiel der Metropolregion Hamburg“ ist neben dem hier online verfügbaren WoMo-Rechner auch ein „Infrastruktur-Folgekosten-Rechner“ entwickelt worden.

Die Daten zu den Wohnkosten stammen aus dem F+B Marktdatenmonitor der F+B Forschung und Beratung für Wohnen, Immobilien und Umwelt GmbH, Hamburg. Sowohl die Daten zu Energie- und Wohnnebenkosten als auch zu Besitz und Nutzung von Pkw sowie zur Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln hat die HCU aus verschiedenen statistischen Quellen abgeleitet. Den Kennwerten liegen dabei Auswertungen von Haushaltsbefragungen zum Verkehrsverhalten, der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, von Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes sowie des Statistikamts Nord zugrunde. Weitere Datenquellen, die zur Berechnung von Kostenkennwerten genutzt wurden, sind die Autokostendaten des ADAC sowie Informationen des Hamburger Verkehrsverbundes (HVV) zu Nutzungsquoten und Tarifen im öffentlichen Personennahverkehr.

WOMO-Rechner: <http://www.womo-rechner.de/>

REFINA-Programm: <http://www.refina-info.de/projekte/anzeige.phtml?id=3120>

### **Siedlungsentwicklung und Mobilität (SuM) München**

Das Projekt „Siedlungsentwicklung und Mobilität“ (SuM) versteht sich als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung der Region München. Es will günstige Voraussetzungen für eine auf den Umweltverbund orientierte Mobilität und eine langfristig bezahlbare Siedlungsstruktur schaffen. Die Ergebnisse sollen eine verbesserte Entscheidungsgrundlage für die Weiterentwicklung des schienengebundenen ÖPNV sowie für eine nachhaltige, am SPNV orientierte Siedlungsentwicklung schaffen. Sie richten sich an die Entscheidungsträger auf regionaler und kommunaler Ebene sowie an die Maßnahmenträger des öffentlichen Verkehrs und die privaten Haushalte als Wohnstandortentscheider.

Projekt SUM: <http://www.gertz-gutsche-ruemenapp.de/www/cms/index.php>

### **EcoPassenger und EcoTransIT – Verkehrsträgervergleich der UIC**

EcoPassenger ermittelt den Energieverbrauch sowie die Emissionen von CO<sub>2</sub>, Partikeln, NO<sub>x</sub> und nicht methanhaltigen Kohlenwasserstoffen (NMVOC) für Straßen-,

Schienen und Luftverkehr auf Europäischen Verbindungen. In Verbindung mit Fahrplangergebnissen und Kostendaten bietet die DB AG das System unter dem Stichwort „Umwelt-Mobilcheck“ als Zusatz zur Fahrplanauskunft an.

EcoTransIT ermittelt die Umweltwirkungen weltweit durch eine komplette Überarbeitung von Eingabemethodik, Rechenalgorithmus, GIS-Daten und Berechnungsgrundlagen. Daten und Methodik sind wissenschaftlich fundiert und für alle Nutzer transparent. EcoTransIT World erfüllt damit die Voraussetzungen für ein Standardwerkzeug zur weltweiten Berechnung von CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken und Umweltwirkungen.

EcoPassenger: [http://ecopassenger.hafas.de/bin/query.exe/en?ld=uic-eco&L=vs\\_uic&OK#focus](http://ecopassenger.hafas.de/bin/query.exe/en?ld=uic-eco&L=vs_uic&OK#focus)

EcoTransIT: <http://www.ecotransit.org/>

### **MODUM – Modell Umwelt und Mobilität**

Modul C2 des Schweizerischen NFP41: Umwelt und Mobilität. Abstract:

Das Modell MODUM (Modell Umwelt Mobilität) zeigt die Wirkungen von Eingriffen ins Verkehrssystem und bildet dabei auch die mittel- und langfristigen Rückwirkungen und die selbstverstärkende und selbstregulierende Prozesse ab.

In enger Zusammenarbeit mit Vertreterinnen und Vertretern von Verkehrsverbänden, der Verwaltung und Transportunternehmen (einer sogenannten *Akteur-Innen-Plattform*) wurden zunächst sogenannte "mentale Modelle" erstellt und diese dann in einem systemdynamischen Modell (Software Stella) implementiert.

Im Personenverkehr wurden zur Illustration drei Szenarien berechnet, "BAU" (business as usual), "Freie Fahrt" und "Demand Management". Letzteres schneidet namentlich bezüglich den Umwelt- und Wirtschaftlichkeitsindikatoren am favorabelsten ab. Der Güterverkehr wurde in einem separaten Modellteil erfasst.

Eine besondere *Problematik* ergab sich aus dem Anspruch, qualitative und technisch-quantitative Modellierung zu koppeln. Als Fazit hat sich herausgestellt, dass "harte" Prognoseabsichten und für die Anwendung als "Learning-Tool" plausible "weiche" Aussagen vom Anspruch her grundsätzlich schwer vereinbar erscheinen. Für die beteiligte Gruppe kann das Modell jedoch einen Beitrag zur Strategiefindung leisten.

Link NFP41: <http://www.nfp41.ch/popular/d/inhalt.html>

Link MODUM: <http://www.nfp41.ch/reports/projects/kf-c02.html>

Neben diesen Werkzeugen existieren Online-Angebote zu spezifischen Fragen. Hierzu zählen Lebenszykluskosten von Wohn- und Siedlungsstandorten (Krüger 2008) oder das Health Economic Assessment Tool (HEAT: WHO Europe 2012) der WHO zu den Gesundheitseffekten von Fuß- und Radverkehr sowie diverse Angebote zur Ermittlung der Kosten der Automobilität. Diese werden an entsprechender Stelle bei der Beschreibung des PExMo-Tools näher besprochen.

#### **4.1.2 Kostenkategorien und Kostensystematik**

PEXMo geht von den Kosten der Mobilität aus individueller Sicht aus. Entsprechend liegt das Hauptaugenmerk auf monetären und immateriellen Kosten der Mobilität, welche den Verkehrsteilnehmer selbst betreffen. Zusätzlich werden jedoch noch die wichtigsten Kategorien externer Kosten aufgenommen, um ökologisch motivierten Nutzern entsprechende Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Insgesamt betrachtet das PEXMo-Tool acht Kostenkategorien, welche in drei Bereiche gegliedert sind:

- Direkte private Kosten: Fixe und variable Ausgaben für Fahrzeuge und Fahrkarten
- Indirekte private Kosten: Zeitkosten und Gesundheitsnutzen
- Externe Kosten: Luft, Klima, Lärm, Sicherheit

Ermittelt werden hieraus die jährlichen Kosten alternativer Varianten der Durchführung bestimmter Wege. Diese unterscheiden sich nach verwendeten Verkehrsmitteln, Zweck, Häufigkeit und Ortslage. Die Ortslage kann durch die Dichte der betroffenen Menschen einen direkten Einfluss auf die Kostenhöhe haben oder kann diese indirekt über Fahrgeschwindigkeiten beeinflussen. Ferner ist zu berücksichtigen, in welchem Ausmaß der gewählte Weg fixe Kosten der Mobilität, z.B. durch die Anschaffung von Pkw oder Zeitkarten des öffentlichen Verkehrs, in Anspruch nehmen. Die Verkehrsmittelwahl hat Einfluss auf alle Kostenkategorien und wurde entsprechend nicht separat in die folgende Übersichtstabelle aufgenommen.

Tabelle 24: Kostenkategorien und Einflussgrößen im PExMo-Bewertungstool

Gruppe	Kostenkategorie	Beschreibung/Beispiele	Beeinflusst durch:			
			Fahrzweck	PKW-Klasse	Ortslage	Besetzungsgrad
Direkte private Kosten	Fixe private Kosten	Abschreibung auf Anschaffung, Steuern, Versicherung, Zeitkarten ÖV, Mitgliedsbeiträge		++		++
	Variable private Kosten	Kraftstoff, Instandhaltung/ Werkstattkosten, Einzelfahrscheine ÖV etc.		++	+	++
Indirekte private Kosten	Zeitkosten	Monetäre Bewertung der Fahr- und Wartezeit	++		+	
	Gesundheits-effekte	Monetär bewertete Kosten durch die Nichtinanspruchnahme von Nutzen durch aktive Bewegung			+	
Externe Kosten	THG-Ausstoß	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten (77 €/t) berechnet über Kraftstoffverbrauch		++	+	++
	Luftschadstoffe	Toxikologische Wirkung NO <sub>x</sub> - und Partikel nach Euro-Klasse		++	++	++
	Lärm	Wirkung auf Wohlbefinden und Gesundheit; Tag-Nacht-Mittelwert			++	++
	Sicherheit	Verletzte und Tote; Wert des menschlichen Lebens 1,62 Mio. €			++	++

Symbole: ++: direkter Einfluss auf Bewertung, +: indirekter Einfluss über spezifische Geschwindigkeiten etc.

### 4.1.3 Ergebnisindikatoren

Zur Kommunikation der Ergebnisse werden Indikatoren benötigt, die einerseits ausreichend einfach und verständlich für die Beachtung in der öffentlichen Diskussion um alternative Mobilitätsstile sind, andererseits aber auch die Vielschichtigkeit der Sachverhalte transportieren. Eine erste Anforderungsliste an die Inhalte und Komplexität der Ergebnisdarstellung wurde bereits in Tabelle 1 gegeben. Die Ausgestaltung der Indikatoren richtet sich einerseits nach den Bedürfnissen der anzusprechenden Zielgruppen und andererseits nach den Fähigkeiten der verwendeten Modellierungswerkzeuge.

Die Indikatoren sind differenziert dargestellt für die verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen. Die Indikatoren umfassen jeweils die Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Sozia-

les. In den folgenden Übersichtstabellen pro Bereich wird zudem dargestellt, mit welchem Unsicherheitsbereich die Indikatoren bewertet werden können und ob eine Quantifizierung möglich ist.

In der hier diskutierten privatwirtschaftlichen Betrachtungsweise werden alle Zielgrößen in monetären Einheiten als jährliche Kosten für die ausgewählten Wege dargestellt. Für indirekte und soziale Effekte der Mobilität wird dabei auf aktuelle Bewertungsverfahren zurückgegriffen. Die dargestellten Ergebnisse können absoluter Natur sein oder den relativen Unterschied zwischen Alternativen wiedergeben. Letzteres ist für den Bereich der Gesundheitseffekte durch aktive Bewegung (Rad- und Fußverkehr) der Fall. Um die Darstellung der Ergebnisse durch die Vermeidung negativer Kosten (=Nutzen) zu vereinheitlichen wird der Opportunitätskostenansatz gewählt. Dieser drückt den entgangenen Gesundheitsnutzen durch die Entscheidung des Nutzers gegen aktive Mobilitätsformen aus. Da Zu-Fuß-Gehen je Kilometer Wegstrecke nach Tabelle 13 mit 0,78 €/km den größten Gesundheitsnutzen erbringt, werden die Opportunitätskosten als Differenz zwischen den Nutzen von Fußwegen und alternativen Verkehrsträgern oder Verkehrsträgerkombinationen ermittelt.

Dementsprechend werden die Ergebnisindikatoren durch die untersuchten Kosten- und Nutzenkomponenten aus Tabelle 24 vollständig beschrieben.

#### **4.1.4 Struktur des PExMo-Tools**

Die vorliegende Version des PExMo-Rechners ist in Microsoft Excel implementiert, um komplexe Auswertungen mit einer direkten Ausgabe in Diagrammform zu gestatten und andererseits eine allgemein gebräuchliche Plattform zu nutzen. Das Tool ist in vier Bereiche gegliedert:

1. Eingangsdaten und Parameter
2. Nutzereingabe von Wegen
3. Zusammenfassende Ausgabe
4. Detailergebnisse nach Wegen und Kostenarten

#### **4.1.5 Eingangsdaten und Parameter**

Der Bereich Eingangsdaten und Parameter umfasst drei Teilbereiche, welche nach den Hauptkostenkategorien (direkte private Kosten, indirekte private Kosten und externe Kosten) gegliedert sind. Beschreibungen und Datenquellen der Kostenkategorien sind in den Abschnitten 3.3 für direkte Fahrzeugbezogene Kosten, 3.4 und 3.5 für Nutzerzeit- und Gesundheitseffekte sowie in 3.6 und 3.7 für Unfall- und externe Kosten angegeben. Die Differenzierung der Kostenelemente richtet sich dabei nach der Kostenart.

Der Endnutzer hat Zugriffs- oder Bearbeitungsrechte dieser Sektion des PExMo-Tools. In der Nutzereingabemaske sind jedoch für einzelne Kostenkategorien Korrekturfelder enthalten, durch welche Default-Werte des Tools für die konkrete Anwendung überschrieben werden können. Dies trifft zu auf:

- Variable und fixe Betriebskosten von Kfz inkl. Carsharing und sonstigen Verkehrsmitteln
- Kosten von ÖV-Zeitkarten und Abonnements (BahnCard)
- Fahrzeit inklusive Stauzuschlag

Abbildung 17 zeigt die Eingabemaske für Verkehrsmitteldaten in PExMo.

Abbildung 17: Screenshot PExMo-Nutzereingabe Fahrzeuge

**2.1 Allgemeine Datenabfrage:** *(Bitte nur Zutreffendes ausfüllen!)*



Quellen: (Auto Bilder), (Auto Zeitung), (BMW), (probefahren.eu), (zama.de Taxi)

MIV 1	<b>1. Bitte geben Sie Ihre Daten zum motorisierten Fahrzeug Nr.1 (MIV 1) an:</b>	Fahrzeugtyp: <input type="text" value="Kompaktklasse Benzin"/> Schadstoffklasse: <input type="text" value="Euro 3"/>	Fixkosten: <input type="text" value="21.40"/> Cent/km <input type="text" value="21.40"/> Cent/km Variable Kosten: <input type="text" value="15.03"/> Cent/km <input type="text" value="15.03"/> Cent/km
MIV 2	<b>2. Bitte geben Sie Ihre Daten zum motorisierten Fahrzeug Nr.2 (MIV 2) an:</b>	Fahrzeugtyp: <input type="text" value="Bitte auswählen"/> Schadstoffklasse: <input type="text" value="Bitte auswählen"/>	
Bahnfahrt	<b>3. Bitte geben Sie Ihre Daten zur Bahnfahrt an:</b>	BahnCard-Kunde: <input type="text" value="BahnCard 50"/> Zeitkarten-Besitzer: <input type="text" value="nein"/>	Preis der BahnCard: <input type="text" value="230.00"/> Euro/Jahr <input type="text" value="230.00"/> Euro/Jahr <input type="text" value="0"/>
ÖPNV	<b>4. Bitte geben Sie Ihre Daten zur Fahrt mit dem ÖPNV an:</b>	Zeitkarten-Besitzer: <input type="text" value="ja"/>	Preis der Zeitkarte: <input type="text" value="0"/> Euro/Jahr
CarSharing	<b>5. Bitte geben Sie Ihre Daten zu Fahrten mittels CarSharing an:</b>	Fixkosten: <input type="text" value="0.00"/> Euro/Monat Variable Kosten: <input type="text" value="0.00"/> Cent/km	Fixkosten (veränderbar) <input type="text" value="0.00"/> Euro/Monat var. Kosten (veränderbar) <input type="text" value="0.00"/> Cent/km
Sonstiges	<b>6. Bitte geben Sie Ihre Daten zu Fahrten mit "Sonstiges" an:</b> <small>(unter Sonstiges versteht man: Leasingwagen, Leihwagen, etc.)</small>	Gesamtkosten (fix + variabel): <input type="text" value="0"/> Cent/km	
Fahrrad	<b>7. Bitte geben Sie Ihre Daten zu Fahrradfahrten an:</b>	Fixkosten: <input type="text" value="50.00"/> Euro/Jahr Variablen Kosten: <input type="text" value="30.00"/> Euro/Jahr	Fixkosten (veränderbar) <input type="text" value="50.00"/> Euro/Jahr var. Kosten (veränderbar) <input type="text" value="30.00"/> Euro/Jahr

Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.1.6 Nutzereingaben

Der Bereich Nutzereingaben besteht aus zwei Bereichen in drei Arbeitsblättern.

- Fahrzeug- und Verkehrsmitteldefinition: Hier können zwei Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs (Pkw, Vans und Zweiräder) nach Größenklasse und Emissionsnorm konfiguriert werden. Für diese können ferner die vom PExMo-Tool vorgeschlagenen Default-Werte für Vorhalte- und Betriebskosten den privaten Verhältnissen angepasst werden. Ähnliche Einstellungen mit Abfrage von Zeitkarten oder BahnCard-Besitz können für Bahn, ÖPNV oder Carsharing vorgenommen werden.
- Definition von Wegeketten: In zwei identischen Arbeitsblättern kann der Nutzer jeweils aus drei Teilstrecken bestehende Wegeketten definieren. Der Wegezweck und die Wegehäufigkeit pro Woche wird bei Weg 2 als identisch zur Auswahl in Weg 1 vorausgesetzt, da ein Vergleich bei verschiedenen Werten dieser grundlegenden Parameter wenig sinnvoll wäre. Für die drei Teilstrecken von Weg 1 und Weg 2 stehen die Optionen Verkehrsmittel, Distanz, Ortslage und ggf. die Korrektur der vorgeschlagenen Fahrzeit zur Auswahl.

Warte- und Parksuchzeiten zu Beginn oder Ende des Weges oder zwischen den Teilstrecken können über das Verkehrsmittel „sonstiges“ durch Kosten und Zeitaufwand erfasst werden; Wirkungen auf Gesundheit, Umwelt oder Sicherheit werden hierbei jedoch nicht berücksichtigt. Abbildung 18 zeigt exemplarisch die Eingabemaske für Weg 1; Weg 2 stellt sich analog dar.

Abbildung 18: Screenshot PExMo-Nutzereingabe Wegeketten

**Legende:**  
■ Aus Liste auswählen    ■ Wert ist veränderbar    ■ Wert ins Feld eintragen    ■ Ergebniswert/ Referenzwert (nicht veränderbar!)

## 2.2 Wegstrecke Variante 1

Bitte geben Sie diesem Datenblatt einen Namen:

**2.2.1. Bitte wählen Sie den Wegezweck** Pendlerweg

Wegezweck:

Häufigkeit pro Woche:  Tage pro Woche

Fahrzeuginsassen:  Person(en)

**2.2.2 Erste (Teil-)Strecke:**

Länge der Strecke:  km    Wählen Sie bitte den Bahntyp:

Verkehrsmittelwahl:     Fahrtpreis:  Euro 14.50 Euro

Ortslage:

ca. Dauer der Strecke:  Minuten    Streckendauer (Wert veränderbar):  Minuten

**2.2.3 Zweite (Teil-)Strecke:**

Länge der Strecke:  km

Verkehrsmittelwahl:  ✓

Ortslage:

ca. Dauer der Strecke:  Minuten    Streckendauer (Wert veränderbar):  Minuten

**2.2.4 Dritte (Teil-)Strecke:**

Länge der Strecke:  km

Verkehrsmittelwahl:  ✓

Ortslage:  ✓

ca. Dauer der Strecke:  Minuten    Streckendauer (Wert veränderbar):  Minuten

**2.2.5 Gesamtlänge und -dauer der Strecke**

Gesamtlänge der Strecke:  km

Gesamtdauer der Strecke:  Minuten    oder     Stunden

Quelle: Fraunhofer ISI

### 4.1.7 Ergebnisausgabe

Die Ausgabe des PExMo-Tools erfolgt in tabellarischer und grafischer Form und ist sowohl als Zusammenfassung über alle Kostenkategorien und Wege als auch in detaillierter Form verfügbar. Die zusammenfassende Auswertung ist in Abbildung 19 dargestellt. Die hieraus abgeleitete grafische Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt lediglich die Differenz der Wege 1 und 2. Die Detaillierte Ausgabe gibt die jährlichen Gesamtkosten nach Kostenkategorie, Teilstrecke und Verkehrsträger separat für den Weg 1 und Weg 2 an.

Für umfangreichere Vergleiche wurde eine Multi-Varianten-Analyse bereitgestellt, diese erlaubt den Vergleich und die Grafische Ausgabe von 35 Wegen (vgl. Abbildung 28).

Abbildung 19: Screenshot PExMo-Ausgabe

3. Zusammenfassung der Ergebnisse in tabellarischer Form [Euro/Jahr]							
<b>Zu bevorzugen ist</b> <span style="color: green;">▲</span> #WERT!							
<b>3.1 Fahrzeugwahl und Entfernung der beiden Streckenvarianten</b>							
Fahrzeugwahl		Weg 1:			Weg 2:		
	1. Strecke:	Bahn	100 km		Bahn	300 km	
	2. Strecke:	MIV 1	2 km		Bahn	0 km	
	3. Strecke:				0	0 km	
	Gesamtstrecke:		102 km			300 km	
	Gesamtzeit:		1 Stunden			2 Stunden	
<b>3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse in Euro/Jahr</b>							
Zusammenfassung der Ergebnisse		<i>direkte private Kosten</i>	<i>indirekte private Kosten</i>	<i>externe Kosten (Zus. Info)</i>	<b>Gesamt privat &amp; Gesellschaft</b>		
	Weg 1:	1'641	2'071	81	3'793		
	Weg 2:	4'582	5'717	#WERT!	#WERT!		
	<b>Differenz (Variante 1 - Variante 2)</b>	-2'940	-3'646	#WERT!	#WERT!		
Einzelresultate	<i>Kosten in Euro/Jahr</i>	<i>direkte fixe Privatkosten</i>	<i>direkt variablen Privatkosten</i>	<i>Indirekte Privatkosten Gesundheitlicher Nutzen</i>	<i>Indirekte Privatkosten Zeit</i>	<b>Gesamt - ergebnis</b>	
	Weg 1:	102	1'539	0	2'071	3'712	
	Weg 2:	58	4'524	0	5'717	10'298	
	<b>Differenz (Variante 1 - Variante 2)</b>	45	-2'985	0	-3'646	-6'586	
Einzelresultate	<i>Gesellschaftliche Kosten in Euro/Jahr</i>	<i>Luftverschmutzung</i>	<i>Klimawandel</i>	<i>Lärmkosten</i>	<i>Unfallkosten</i>	<i>Umwelt- und Lärmkosten</i>	<b>Gesamt - ergebnis</b>
	Weg 1:	8	55	9	9	72	81
	Weg 2:	23	158	#WERT!	0	#WERT!	#WERT!
	<b>Veränderungen (Variante 1 - Variante 2)</b>	-15	-103	#WERT!	9	#WERT!	#WERT!
<a href="#">weiter</a>							

Quelle: Fraunhofer ISI

## **4.2 Methodik der volkswirtschaftlichen Bewertung**

### **4.2.1 Das ASTRA-D-Modell**

ASTRA-D ist eine Weiterentwicklung des europäischen ASTRA-Modells, welches im Rahmen mehrerer europäischer Forschungsprojekte zur Beurteilung von Transportstrategien entwickelt wurde<sup>1</sup> (Schade, 2005). Für die deutsche Version wurde der Analysegrad wesentlich verfeinert; es findet nun eine Aufteilung der Sektoren anhand der Wirtschaftszweigklassifikation von 2003 des statistischen Bundesamtes Anwendung. Der Kalibrierzeitraum umfasst dabei die Jahre 1995 bis 2008.

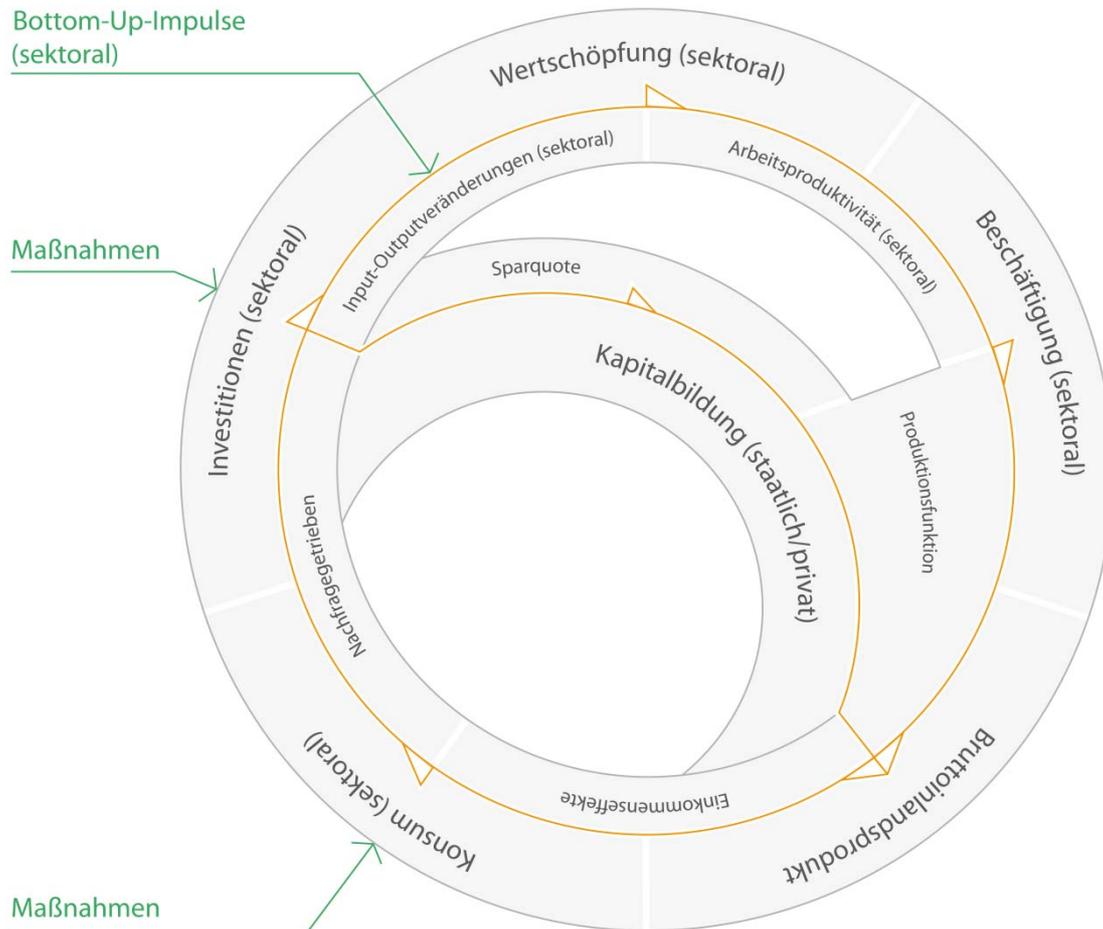
Mittels der Verwendung von Input-Output-Tabellen ist die Integration von Bottom-up-Impulsen zur sektorfeinen Bewertung von Politikmaßnahmen inklusive etwaiger Zweit-rundeneffekte möglich. ASTRA-D beschränkt sich dabei nicht ausschließlich auf einen Zweig der makroökonomischen Theorie, sondern verbindet Elemente wie die neoklassische Produktionsfunktion zur Modellierung wirtschaftlichen Wachstums mit keynesianischen Nachfrageimpulsen. Ein wesentliches Charakteristikum ist dabei die Möglichkeit, Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage entstehen zu lassen. Damit ist ASTRA-D kein Optimierungsmodell.

Abbildung 20 verdeutlicht auf sehr vereinfachter Ebene, wie die wesentlichen makroökonomischen Zusammenhänge modelliert sind. In ASTRA-D ist eine zeitliche Staffe-lung der Politikmaßnahmen durch die jahresfeinen Berechnungsschritte möglich. Damit können politische Instrumente hinsichtlich ihrer Intensität flexibel gestaltet werden und etwaige Unterschiede, bedingt beispielsweise durch unterschiedliche Zeitreihen der Investitionstätigkeit, sichtbar gemacht werden.

---

<sup>1</sup> 4. Forschungsrahmenprogramm der europäischen Kommission; ASTRA = Assessment of Transport Strategies

Abbildung 20: Makroökonomische Modellierlogik in ASTRA-D



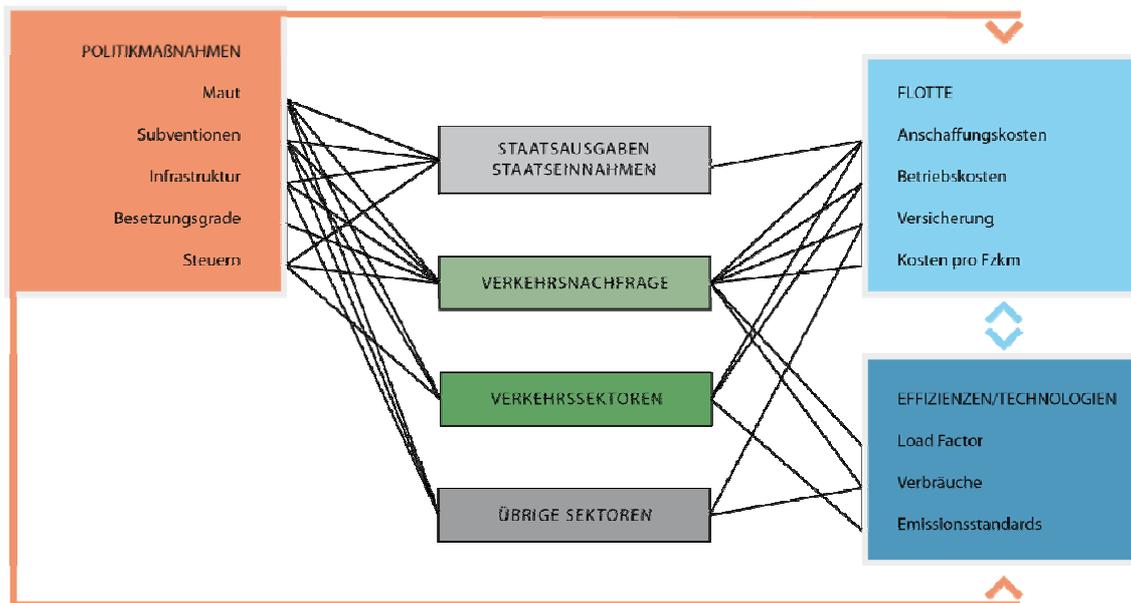
Quelle: Hartwig et al. (2012)

Es gibt zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Modell(teil)en, welche zu einem konsistenten Gesamtbild zusammengefügt sind. Die unterschiedlichen Maßnahmen haben nicht nur Auswirkungen innerhalb des Sektors, sondern ganz entscheidend sind auch die Wechselwirkungen mit dem Rest der Volkswirtschaft.

So wird z.B. eine Veränderung des Konsums auch eine Veränderung des Investitionsverhaltens der Akteure innerhalb des Verkehrssektors nach sich ziehen. Hier werden Übergabevariablen aus den privaten Verkehrsausgaben für die spezifische sektorale Investitionstätigkeit geschaffen. Damit ist auch die direkte Rückkopplung zum ökonomischen Teil gegeben, in welchem die Veränderung der notwendigen Vorleistungen für den Verkehrssektor Berücksichtigung finden.

Es muss dabei unterschieden werden zwischen endogenen sowie exogenen Investitionen. Die endogenen Investitionen sind direkt mit der Nachfrage verlinkt und verursachen so z.B. bei einem erhöhten Konsum von Verkehrsdienstleistungen eine graduelle Anpassung des Angebots des öffentlichen Nahverkehrs. Exogene Investitionen sind klassischerweise staatlich finanziert und stellen zusätzliche Anreize zum Erreichen der Maßnahmenziele dar.

Abbildung 21: Interaktionsbeziehungen zwischen den verschiedenen Variablen



Quelle: Hartwig et al. (2012)

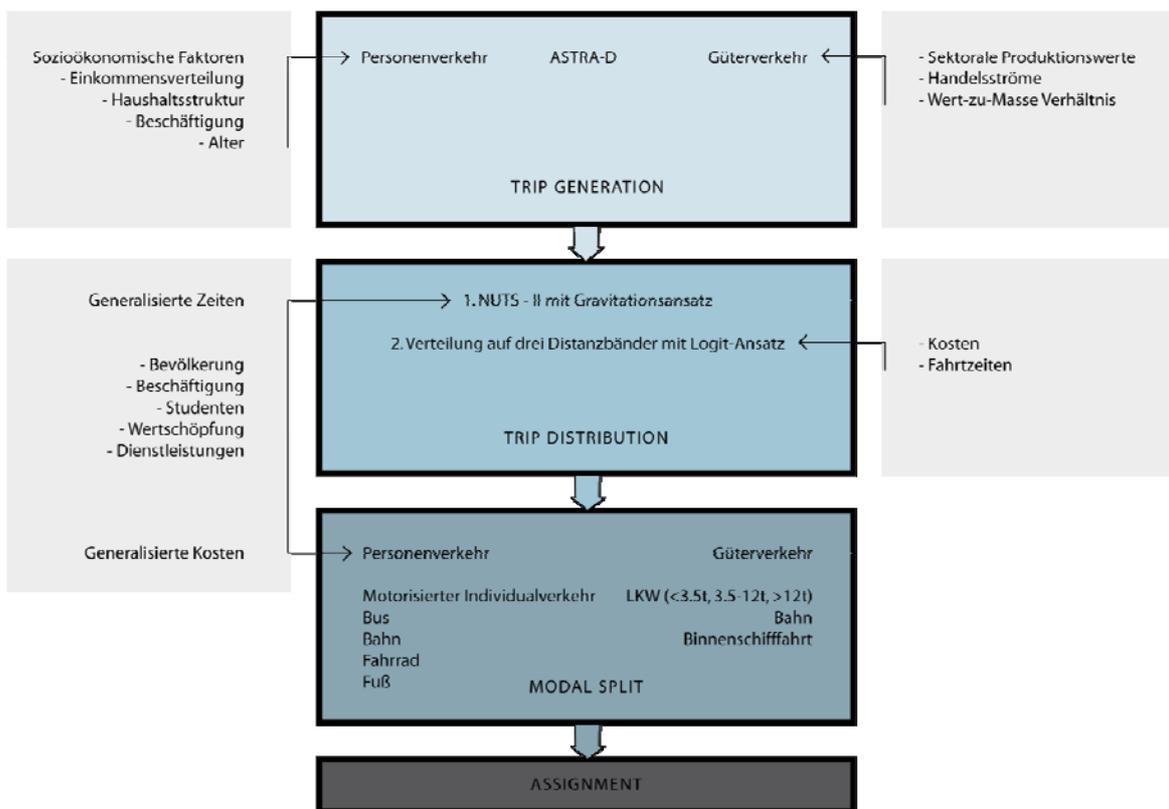
Abbildung 21 gibt einen Grobüberblick über die Wechselwirkungen, welche die beteiligten Akteure innerhalb des Subsystems Verkehr entfalten. So greifen Investitionen, welche für die Verkehrsnachfrage relevant sind, wie bspw. die Erweiterung von Fuß- und Radwegen, direkt auf andere Sektoren – in diesem Fall den Bausektor – über. Hier zeigt sich die Stärke von ASTRA-D: diese Maßnahmen sind direkt in die ökonomische Modellierung integriert.

Unmittelbar sind auch die Wechselwirkungen zwischen der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, der Entwicklung des Verkehrssektors und der sektoralen Beschäftigung. Die Beschäftigung des Verkehrssektors ist in ASTRA-D in größerer Detailtiefe modelliert als in den übrigen Sektoren. Mittels der Faktorproduktivitäten hat der Verkehrsteil über die „klassischen“ Übergabevariablen wie Konsum und Investitionen einen gesamtwirtschaftlichen Einfluss. Die intermediären Transportpreise wirken sich auf die Input-

Output-Struktur aus und entfalten somit – entsprechend ihres Charakteristikums als abgeleitete Nachfrage – ihre Wirkung auf die anderen Sektoren der Volkswirtschaft.

Die Verkehrsmodellierung in ASTRA-D ist aufgeteilt in Personen- und Güterverkehr, wobei sowohl die Personenverkehrs- als auch die Güterverkehrsnachfrage nach dem klassischen Vier-Stufen-Modell modelliert ist. Es wurde allerdings auf den letzten Schritt, die Netzwerkzuordnung, verzichtet, um das Modell insgesamt noch operabel zu halten. Die geografische Auflösung des ASTRA-D-Modells richtet sich nach der europäischen Nomenklatur NUTS 2, welche den Regierungsbezirken in Deutschland entspricht. Innerhalb dieser Einheiten wurde der intrazonale Verkehr weiterhin in unterschiedliche Distanzbänder unterteilt.

Abbildung 22: Klassisches Vier-Stufen-Modell in der Implementierungstiefe von ASTRA-D



Quelle: Hartwig et al. (2012)

Abbildung 22 zeigt schematisch, in welcher Form und mit welchen Einflussfaktoren das Vierstufenmodell in ASTRA-D implementiert ist.

In der ersten Stufe – der Erzeugung von Wegen – wird eine Produktionsfunktion verwendet, welche sich auf diverse sozioökonomische Faktoren stützt. Diese Faktoren sind dabei im Zeitverlauf variabel und kommen aus dem ökonomischen Teil von ASTRA-D. Die Bevölkerungsentwicklung beispielsweise wirkt sich somit direkt jahresscharf auf die Erzeugung aus.

Mit zu der ersten Stufe gehört noch die Zielerzeugung. Diese ist stärker von ökonomischen Faktoren abhängig: so gewinnen wirtschaftlich wachsende Regionen an Attraktivität und sind dann z.B. vermehrt Ziel von Dienst- und Pendelfahrten.

Die zweite Stufe legt dann die Verteilung der Wege gemäß dem Gravitationsansatz fest. Dieser Ansatz beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Weg von einer Zone in eine andere Zone besritten wird und besagt, dass längere Distanzen exponentiell abnehmend anzutreffen sind.

In einem ersten Schritt wird dabei die Verteilung zwischen den verschiedenen NUTS-2-Zonen gesteuert; allerdings findet ein Großteil des Personenverkehrs intrazonal statt. Der zweite Schritt der Verkehrsverteilung legt dann die Zuordnung zu den intrazonalen Distanzbändern fest. Auch dies geschieht über den Gravitationsansatz.

In der Verkehrsverteilung wird als entscheidender Parameter die generalisierte Zeit verwendet, welche als Exponent in die e-Funktion Eingang findet. Die Einflussgrößen sind dabei dieselben, die auch für den nächsten Schritt – die Modalwahl – eine Rolle spielen. Für die Modalwahl werden die Größen allerdings auf generalisierte Kosten vereinheitlicht. Wichtig ist diese Unterscheidung, wenn man die wirtschaftliche Entwicklung berücksichtigt: eine Erhöhung des Wohlstandes über eine Erhöhung des BIPs führt zu einer Veränderung der persönlichen Zeitkostenwerte. Um zu verhindern, dass eine Präferenzverschiebung hin zu kürzeren Zielen allein aufgrund gestiegener Einkommensverhältnisse stattfindet, muss in der Wegeverteilung auf generalisierte Zeiten zurückgegriffen werden.

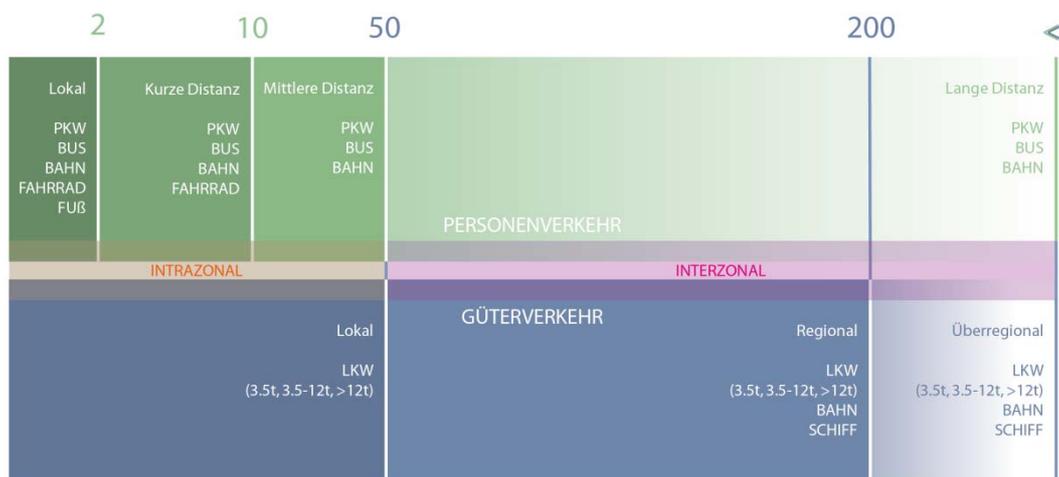
Die dritte Stufe innerhalb des Vier-Stufen-Modells ist die Verkehrsmittelwahl. Diese wird in ASTRA-D mittels eines Logit-Ansatzes modelliert. Hier wird die Wahrscheinlichkeit der Modalwahl mittels gekoppelter e-Funktionen berechnet, wobei die Exponenten dieses Mal von den generalisierten Kosten abhängen; damit ein höherer Kostenaufwand zu negativer Präferenz führt. Unter den berücksichtigten Verkehrsträgern befinden sich nichtmotorisierte Träger (Fuß und Fahrrad); somit werden Verteilungswirkungen besonders gut sichtbar, da sich das Gesamtverkehrsaufkommen in den Szenarien –bezogen auf die Wegeanzahl – nicht verändert. Darüber hinaus können in diesem Ansatz auch weitere Einflussfaktoren auf die Modalwahl wie Komfort durch Motorisie-

nung oder allgemeine Bewusstseinsänderungen in der Gesellschaft hin zu ökologischeren Verkehrsträgern berücksichtigt werden.

Die Güterverkehrsnachfrage wird in ähnlicher Weise modelliert wie die Personenverkehrsnachfrage. Auch hier gibt Abbildung 22 einen guten Überblick über den gewählten methodischen Ansatz. Als Ausgangsbasis für die Verkehrserzeugung spielt hierbei jedoch vor allem die sektorale Wertschöpfungsentwicklung eine Rolle. Da ASTRA-D über ein detailliertes Input-Output-Modul verfügt (siehe hierzu auch die Beschreibung des makroökonomischen Modellieransatzes in Abbildung 20), werden diese Werte ebenfalls unmittelbar an das Güterverkehrserzeugungsmodul übergeben.

Der Güterverkehr ist – anders als der Personenverkehr – viel stärker wirtschaftlichen Schwankungen ausgesetzt. Deswegen ist an der Stelle der Verkehrsnachfrage die Kopplung mit einer makroökonomischen Projektionsmethode von entscheidendem Vorteil und kann so direkter als Stand-Alone-Modelle die veränderten Rahmenbedingungen der Politikszenerarien berücksichtigen. Auch ist die weltweite wirtschaftliche Entwicklung im Güterverkehr von nicht zu vernachlässigender Bedeutung, da sie sich durch eine Verstärkung internationaler Handelsströme, z.B. den Transitverkehr, erhöht.

Abbildung 23: Entfernungsbänder in ASTRA-D für den Personen- und Güterverkehr



Quelle: Fraunhofer ISI

In der Modellierung findet die Tatsache Berücksichtigung, dass eine schrittweise Verschiebung hin zu höherwertigen Gütern stattfindet. In ASTRA-D werden dabei drei Güterkategorien unterschieden: Stückgüter, Mengengüter und allgemeine Frachtgüter. Die Umwälzung von der Wertschöpfung zur Verkehrsgenerierung erfolgt dabei mittels

dynamisierter Wert-Mengenverhältnisse, welche die monetären Werte in Frachtvolumina übertragen.

Die Modalwahl in der Güterverkehrsnachfrage beinhaltet 3 Lkw-Klassen sowie den Bahn- und Binnenschiffverkehr. Es werden sämtliche innerdeutschen Handelsströme dieser Verkehrsmittel abgebildet.

Das Verkehrsmodell nutzt das Konzept von Entfernungsbändern mit jeweils charakteristischer Verfügbarkeit der verschiedenen Verkehrsträger und spezifischer Hinterlegung der Kosten-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsparameter für jede Quelle-Ziel-Beziehung eines Entfernungsbandes. Abbildung 23 zeigt die unterschiedliche Aufteilung der beiden Bereiche mit den eingesetzten Verkehrsträgern.

#### 4.2.2 Indikatoren

Die Bewertung der volkswirtschaftlichen Wirkungen der fünf zu untersuchenden Maßnahmen erfolgt durch vier Bewertungsfelder: Investitionen, gesamtwirtschaftliche Indikatoren, Nutzerwirkungen und externe Effekte. Diese sind weiter in 11 Indikatoren gegliedert, welche zum Teil direkt in ASTRA-D ermittelt werden und zum Teil mit Hilfe externer Kenngrößen geschätzt werden. Tabelle 25 gibt einen Überblick über den grundsätzlichen Bewertungsrahmen.

Tabelle 25: Indikatorset für die Perspektive der öffentlichen Hand

Bewertungsfeld	Indikator	Quantifizierung
Investitionen	Investitionen Verkehr	Exogene Vorgabe + ASTRA-D
	Investitionen alle Sektoren	Endogen in ASTRA-D
Volkswirtschaftliche Indikatoren	Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Endogen in ASTRA-D
	Beschäftigung Transport	s.o.
	Beschäftigung alle Sektoren	s.o.
Nutzerkosten	Zeitaufwand alle Verkehrsträger	s.o.
	Gesundheitsnutzen	Exogen mit Pkm ASTRA-D
Externe Effekte	Verkehrssicherheit	s.o.
	THG-Emissionen	ASTRA-D + ext. Kostensätze
	Luftschadstoffemissionen	s.o.
	Lärmemissionen	Exogen mit Pkm ASTRA-D

Quelle: Fraunhofer ISI

Das Bewertungsfeld Investitionen ist gegliedert in direkte Investitionen und deren Betriebs- und Unterhaltskosten in neue Verkehrsanlagen zum Umsetzen der Maßnahme einerseits, und in direkt oder sekundär induzierte Investitionen in allen Wirtschaftsbe-  
reichen. Direkte Investitionen umfassen beispielsweise den Bau von Rad- und Fußver-  
kehrsanlagen oder die Modernisierung und Kapazitätserweiterung von Schieneninfra-  
strukturen. Diese hängen somit von den je Maßnahme gewählten Instrumenten ab und  
werden entsprechend in Kapitel 6 spezifisch für jede Maßnahme beschrieben. Indirekte  
Investitionen können im Transportsektor auftreten, etwa durch Veränderungen in der  
Produktion von Schienenfahrzeugen oder der Automobilindustrie und deren vorgela-  
gerte Sektoren durch Verschiebungen der Nachfrage. Diese Investitionen, wie auch  
nachgelagerte Investitionen, welche in anderen Sektoren durch sich ändernde Produk-  
tions- und Konsummuster entstehen, werden endogen durch das Input-Output-Modul  
des ASTRA-D-Modells ermittelt.

Ebenso werden die gesamtwirtschaftlichen Schlüsselindikatoren Bruttoinlandsprodukt  
(BIP) und Beschäftigung abhängig von den veränderten Aktivitäten in diesen Sektoren  
durch das ASTRA-D-Modell ermittelt. Die Beschäftigung wird dabei – wie die Investiti-  
onen – für den Verkehrssektor und die Gesamtwirtschaft ausgewiesen. Eine feinere  
Gliederung nach Verkehrsbereichen ist möglich, wird aus Gründen der Übersichtlich-  
keit hier jedoch nicht dargestellt.

Nutzereffekte umfassen Zeit- und Gesundheitskosten der Verkehrsteilnehmer. Die Ge-  
samtfahrzeit nach Verkehrsmittel und Fahrzweck wird direkt von ASTRA-D ausgewie-  
sen und kann mit den Zeitkostenwerten aus Kapitel 3.4 direkt bewertet werden. Bei der  
Ermittlung der Gesundheitsnutzen durch mehr Rad- und Fußverkehr müssen entspre-  
chend der Darstellung in Kapitel 3.5 die Verteilung des Nutzens von mehr aktiver Mobi-  
lität in der Bevölkerung, sowie der durchschnittliche Nutzen je Weg berücksichtigt wer-  
den. Eine methodische Schwierigkeit besteht hierbei darin, dass ASTRA-D auf der  
Wege- und nicht auf der Personenebene basiert. Die Bevölkerungsteile mit mehr Be-  
wegungsbedarf werden mittels des Indikators „Übergewicht“ bestimmt. Es wird unter-  
stellt, dass 50% der durch die Maßnahme indizierten Wege per Rad oder zu Fuß über  
der von der WHO angegebenen Höchstgrenze für monetäre Nutzen zusätzlicher Be-  
wegung liegen. Die entsprechenden Kostenfaktoren werden schließlich auf die Perso-  
nenkilometer aus ASTRA-D angewandt.

Externe Effekte umfassen sowohl die Auswirkungen von Klimagas-, Luftschadstoff-  
und Lärmemissionen auf Menschen und Ökosysteme, als auch die sozialen Kosten  
durch Verkehrsunfälle. Das ASTRA-D-Modell liefert die jährlichen Emissionen des Kli-  
magases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sowie der Umweltschadstoffe Kohlenmonoxid (CO),  
Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Feinstaub (PM) dynamisch unter Einbeziehung von Fahrzeugko-

horten und neuen Emissionsstandards bis 2030. Diese werden anhand der Grundsätze in Kapitel 3.7 bewertet, wobei die spezifischen Kosten der Luftschadstoffe konstant bleiben, während der Preis je Tonne CO<sub>2</sub> deutlich steigen wird. Die Kosten durch Lärm und Verkehrsunfälle werden anhand der Fahrzeugkilometer nach Verkehrsträger und Ortslage abgeschätzt. Für Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern werden, abhängig von deren Zunahme am Modal Split, deutliche Reduktionen der Unfallraten bis 2030 unterstellt.

### **4.2.3 Trendszenario der Verkehrsentwicklung**

Die Wirkungen der fünf Maßnahmen und der zu ihrer Durchführung angenommenen Instrumente werden als Differenz zwischen einer Entwicklung mit und ohne Maßnahme ausgedrückt. Die unterstellte Entwicklung von Wirtschaft und Verkehr ohne Maßnahmen wird als „Business as usual“ (BAU) oder Trendszenario bezeichnet. Es bezeichnet eine mögliche Entwicklung mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit, in welcher möglichst alle heute absehbaren wichtigen Trends berücksichtigt sind.

Die Wahl eines angemessenen Trendszenarios ist bedeutsam für die Ergebnisse, da sich die recht großen Veränderungen der hier analysierten Maßnahmen in einem Szenario steigender Verkehrsentwicklung leichter realisieren lassen als unter einer stagnierenden Entwicklung. Andererseits erneuert sich bei starker Wirtschaftsleistung die Fahrzeugflotte gerade im motorisierten Individualverkehr (MIV) viel schneller als unter schwierigeren Rahmenbedingungen. Da moderne Fahrzeugflotten grundsätzlich umweltfreundlicher sind als ältere Flotten fällt der Nutznachweis begleitender Maßnahmen in ersterem Fall geringer aus. Prognosen der wirtschaftlichen Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten sind jedoch derzeit weit spekulativer als dies in den vergangenen Dekaden der Fall war.

Die jetzt vorliegenden Verkehrsprognosen des Forschungsvorhabens RENEWABILITY-II (Zimmer et al., 2012) weisen gegenüber TREMOD (Knörr et al., 2012) große Abweichungen auf. Auslöser hierfür ist u.a. die Berücksichtigung der Auswirkungen und der möglichen Folgen der Finanz- und Wirtschaftskrise auf die Verkehrsleistung der Verkehrsträger in Deutschland, aber auch unterschiedliche Modellierungsansätze. Im Folgenden werden die Prognose-Ergebnisse aktueller Verkehrsmodelle diskutiert, welche in aktuellen Studien im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt bzw. angewendet wurden. Explizit sind dies:

- TREMOD, aktualisiert Ende 2010 durch IFEU im Auftrag des UBA.
- Verflechtungsprognose 2025 (VP 2025) des BMVBS ohne Berücksichtigung der Krise

- Bewertungsergebnisse des integrierten Energie- und Klimapakets der Bundesregierung (IEKP).
- Trendszenario von Renewability-II aufbauend auf Verkehr-Ökonomie-Wechselwirkungen der VP 2025, jedoch mit ökonomischer Entwicklung und Bevölkerungsentwicklung aus den Energieszenarien (Schlesinger et al., 2010) mit Berücksichtigung der Krise
- Studie iTREN-2030 (Integrated Energy and Transport Scenarios 2030) mit Berücksichtigung der Krise im Auftrag der EU-Kommission (Fiorello et al., 2009)

Da die Prognosen des Energiekonzepts z.T. nicht nach Verkehrsträgern getrennt vorliegen, werden im Folgenden nur die Eckwerte nach Verkehrsbereichen (Personen- und Güterverkehr) vorgenommen. Vergleichsgröße ist dabei die jeweilige Beförderungsleistung (in Mrd. Pkm) oder Transportleistung (Mrd. Tkm). Vergleichszeitraum ist 2008 bis 2030.

Unterscheiden lassen sich dabei Modellansätze mit Berücksichtigung der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009/2010 (Energiekonzept der Bundesregierung, ASTRA IEKP-Makro und iTREN-2030) und Prognosen ohne diesen Effekt (TREMODO, VP-2025 des BMVBS). In beiden Fällen wird derzeit an einer Berücksichtigung der Kriseneffekte gearbeitet, entsprechende Updates der Prognose stehen für dieses Forschungsvorhaben nicht mehr zur Verfügung.

Tabelle 26: Vergleich aktueller Prognosen des Personenverkehrsaufkommens

Personenverkehr	Mrd. Pkm 2008	Mrd. Pkm 2030	Wachstum	Berücks. d. Krise
TREMODO Version 5.3	1.067	1.232	15%	Nein
BMVBS VP 2025	1.197	1.422	19%	Nein
Renewability-II (Basis 2005)	1.125	1.385	20% **	Ja
Energiekonzept der Bundesreg.	1.102	1.115	1%	Ja
ASTRA-D (vorliegende Studie)	1.076	1.233	15%	Ja
ASTRA - IEKP-Makro *	1.086	1.147	6%	Ja
ASTRA - iTREN-2030	1.318	1.356	3%	Ja

\* Werte für 2010 \*\* Bereinigtes Wachstum (auf Basis 2008). Quelle: Fraunhofer ISI

Das Forschungsvorhaben RENEWABILITY-II arbeitet mit teilweise anderen Zahlen als das Energiekonzept. Übernommen wurden der BIP-Verlauf und die Bevölkerungsentwicklung. Deren Einfluss geht schließlich in die Modelle des DLR, welche anhand der VP2025 kalibriert sind, ein, unter Rückkopplung auf makroökonomische Daten aus ASTRA-D (Zimmer et al, 2012).

**Personenverkehr:** Über alle Verkehrsträger liefert Renewability II mit +20% den stärksten Wachstumswert der Personenkilometer zwischen 2008 und 2030, wobei dieser

Wert im Rahmen der VP 2025 (19%) liegt. Insgesamt liegen beide Studien sowie TREMOD um Größenordnungen über den Wachstumsprognosen mit Berücksichtigung der Finanz- und Wirtschaftskrise. So kommt das Energiekonzept der Bundesregierung nahezu zu einer Stagnation des Aufkommens. Die Prognose des ASTRA-D-Modells orientiert sich allerdings stärker an Renewbility und TREMOD.

Tabelle 27: Vergleich aktueller Prognosen des Güterverkehrsaufkommens

Güterverkehr	Mrd. Tkm 2008	Mrd. Tkm 2030	Wachstum 2008-2030	Berücks. d. Krise
TREMOD Version 5.3	640	1.065	66%	Nein
BMVBS VP 2025	604	1.074	78%	Nein
Renewbility-II (Basis 2005)	590	988	47% *	Ja
Energiekonzept Bundesreg.	654	876	34%	Ja
ASTRA-D (vorliegende Studie)	658	900	37%	Ja
ASTRA - IEKP-Makro (Basis 2010)	604	817	35%*	Ja
ASTRA - iTREN-2030	609	702	15%	Ja

\* Wachstumsrate geschätzt für Periode 2008 – 2030;  
Quelle: Fraunhofer ISI

Güterverkehr: Im Güterverkehr ergeben sich absolut betrachtet sehr viel höhere Abweichungen zwischen den Prognosen. Durch die generell hohe Marktdynamik fallen diese jedoch im relativen Vergleich der Zuwachsraten 2008 bis 2030 weniger dramatisch aus. Dennoch ist eine deutliche Differenz zwischen Studien mit und ohne Berücksichtigung der Krise erkennbar.

Auch hier können die Zahlen von RENEWBILITY-II und des Energiekonzeptes abweichen. Das ASTRA-D-Modell vollzieht den Krisen- und Nachkrisenverlauf der VP2025 jedoch ausreichend gut nach (2008: 658 Tkm, 2030: 900 Tkm).

Vorgehensweise: Prognosen zur Entwicklung der Verkehrsmärkte werden im vorliegenden Projekt benötigt, um Aussagen über die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung abzuschätzen. Der Zeithorizont 2030 wurde dabei gewählt, um das Einschwingen bzw. Nachwirken einzelner Maßnahmen in ausreichendem Umfang erfassen zu können. Insgesamt erscheint jedoch der Vergleich der Lebenszyklus-Wirkungen von Maßnahmen und Instrumenten zum Basisfall ohne Implementierung sehr viel relevanter als der Vergleich zwischen Zeitperioden. Insofern dürfte der exakte Verlauf der Verkehrsprognosen weniger relevant sein als die angenommene Verschiebung zwischen den Verkehrsträgern.

Aufgrund der enormen Bedeutung der Krise für die Verkehrsentwicklung und unter der Maßgabe, dass sowohl TREMOD als auch Renewbility-II im Auftrag oder unter Beteili-

gung des UBA veröffentlicht werden, wird folgende Vorgehensweise für das Vorhaben „Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr“ gewählt:

- Die Rahmenentwicklung der Verkehrsleistung wird anhand der Energieprognose der Bundesregierung gesetzt. Dies bewahrt die Konsistenz mit dem aktuellen politischen Diskurs.
- Aufteilung der Verkehrsträger entsprechend ASTRA/Renewability-II, da hier im Gegensatz zu TREMOD eine Klassifizierung der geografischen Beziehungen zwischen und innerhalb von NUTS-2-Regionen, bzw. nach Entfernungsbändern und Raumtypen innerhalb der Zonen im Personenverkehr, möglich ist.
- Verwendung der Emissionsfaktoren aus TREMOD, um konsistent mit den Annahmen des UBA zur Umweltbilanz der Verkehrsträger zu bleiben.

Dennoch wird dort, wo Inkonsistenzen bestehen, die aus den unterschiedlichen sozio-ökonomischen Annahmen der verschiedenen Studien herrühren, diese ausgeglichen, gerade vor dem Hintergrund, da ASTRA-D ein integriertes Modell ist und ökonomische Parameter sich direkt auf den Verlauf der Verkehrsnachfrage auswirken.

## 5 Ergebnisse der einzelwirtschaftlichen Bewertung

Das vorliegende Kapitel stellt die Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse von Nutzen und Kosten alternativer Mobilitätsformen dar. Analysiert werden die fünf in Kapitel zwei dargestellten Maßnahmen, wobei auf der individuellen Ebene nur grundsätzliche Änderungen der Mobilitätsmuster analysiert werden. Die angepeilten Verbesserungsziele von 10%-Punkten im Modal Split (M1, M2 und M5) sowie die 10-%igen Verbesserungsziele der Wegelängen (M3) und der Effizienz (M4) spielen nur in der volkswirtschaftlichen Betrachtung eine Rolle.

Analysiert werden Verhaltensänderungen für drei typische Wege-Varianten:

- Pendlerweg, 15 km je Richtung in der Stadt an 5 Tagen pro Woche bzw. 225 Tagen pro Jahr. Angenommen wird eine Pkw-Besetzung von einer Person.
- Kurzer privater Weg, z.B. für Einkaufen, Erledigung, Begleitung oder Freizeit, 3 km pro Richtung in der Stadt, 6 Tage die Woche oder 280 Tage pro Jahr mit 2 Personen je Pkw.
- Geschäftsreise, 20 km in der Stadt, 80 km auf der Autobahn, je Richtung zweimal pro Woche bzw. an 100 Tagen im Jahr und einer Pkw-Besetzung von einer Person.

Je nach der Anforderung der Maßnahme und der Sinnhaftigkeit bezüglich des betrachteten Weges werden folgende Varianten betrachtet:

- Verkehrsmittel: MIV, Fahrrad, zu Fuß, ÖPNV, Bahn, Carsharing
- Pkw-Kraftstoffart und Emissionsnorm: Benzin Euro-3 (Standard) und Euro-5, Diesel Euro-5
- Pkw-Größe: Kompakt (Standard), Mini und Oberklasse
- Pkw-Besetzungsgrade: 1 für Pendler und Geschäftlich, 2 für Privat (Standard) und jeweils eine Person mehr.
- Wegelängen: nach Vorgabe (Standard) und 30% kürzer (nur Maßnahme M4)

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der fünf Maßnahmen anhand ausgewählter Varianten diskutiert. Eine ausführlichere Darstellung der ermittelten Varianten findet sich im Anhang.

### 5.1 M1: Modal Split Rad- und Fußverkehr

Für kürzere und mittlere Wege bis etwa 5 km sind Zu-Fuß-Gehen oder Radfahren günstige, gesunde und umweltfreundliche Alternativen zum Pkw. Die Vor- und Nachteile gegenüber dem Pkw hängen jedoch stark von den persönlichen Umständen ab. Für die ausgewählten Wegesegmente Pendlerstrecke (15 km) und Privat (3 km) werden

diese im Folgenden umrissen. Weil der nichtmotorisierte Verkehr für längere (Geschäfts-) Reisen keine Rolle spielt, wird dieser Fall hier ausgeblendet.

**Direkte private Kosten:** Die Kosten eines Kompakt-Pkw können bis 5.000 Euro pro Jahr erreichen, wovon etwa 1.800 Euro pro Jahr direkt auf die Fahrzeugnutzung entfällt. Unter Berücksichtigung anderer Wegezwecke, auf welche Teile der Fixkosten anfallen, lassen sich für die hier betrachteten Alternativen bei vollständigem Verzicht auf den Pkw jährlich bis 2400 Euro sparen. Bei Behalt des Pkw wären dies immer noch knapp 1000 Euro. Hiermit ließen sich ÖPNV-Jahreskarten und Carsharing-Gebühren zur Abdeckung verschiedenster Mobilitätsbedürfnisse vollständig finanzieren.

**Kosten der Reisezeit:** Diese liegen beim Zu-Fuß-Gehen erheblich über denen anderer Verkehrsmittel. Berücksichtigt sind hierin bereits die geringere Zeitbewertung pro Stunde durch Fußgänger, da die Wegstrecke aktiv wahrgenommen wird und die Möglichkeit zur Abkürzung von Wegen besteht. Umgerechnet in Geldeinheiten beträgt die Differenz zum Pkw für den kurzen Freizeitweg immerhin knapp 2.300 Euro jährlich. Beim Radfahren fallen die Differenzen der Zeitkosten weit weniger hoch aus, da deren Geschwindigkeit in der Stadt oft nicht langsamer ist als mit dem Pkw und eine geringere Zeitbewertung vorgenommen wird.

**Gesundheitsnutzen:** Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt 150 Minuten mäßig intensive Bewegung pro Woche. Dadurch lassen sich Krankheitskosten für das Gesundheitssystem und die Wirtschaft reduzieren und gesunde Lebenszeit gewinnen, wobei nur die Lebenszeiteffekte aus individueller Sicht bewertet werden. Der Nutzen einer verlängerten gesunden Lebenszeit kann für untrainierte Menschen in Deutschland jährlich mit bis zu 2.000 Euro bewertet werden. Hierfür sind für untrainierte Menschen etwa 5,6 km schnelles Gehen oder 12 km Radfahren wöchentlich erforderlich. In den berechneten Beispielen kann dieser maximale Betrag fast erreicht werden, indem die Pendlerstrecke per Fahrrad oder der Freizeitweg zu Fuß statt mit dem Pkw zurückgelegt wird. Der Gesundheitsnutzen für den Freizeitweg mit dem Fahrrad statt mit dem Pkw beträgt noch knapp über 800 Euro pro Jahr.

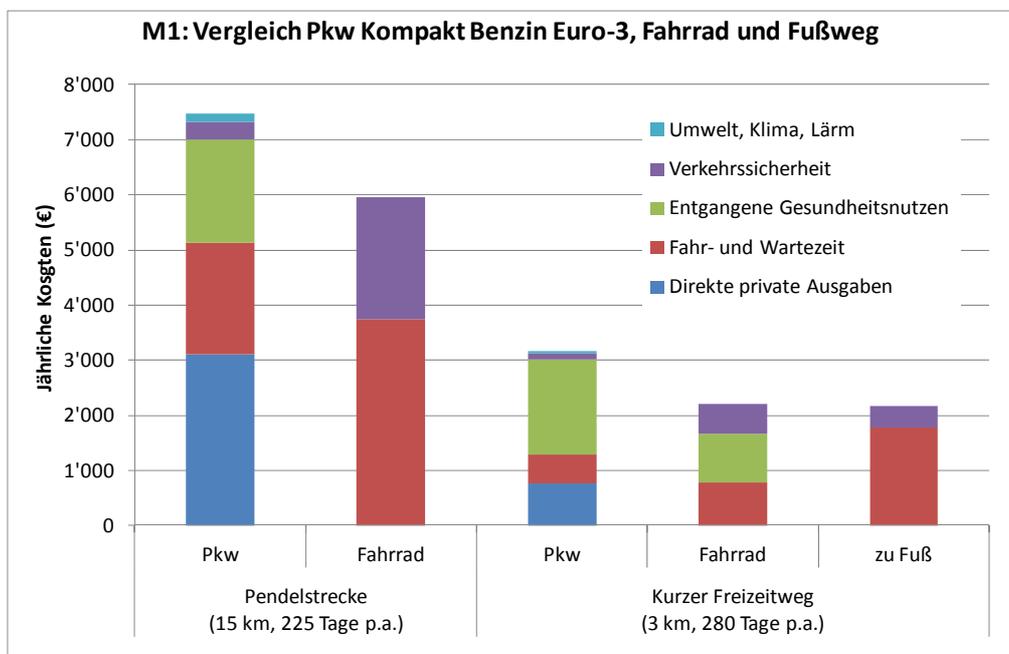
In den gewählten Beispielen geht die Abwägung zwischen Zeit- und Gesundheitskosten immer zugunsten des nichtmotorisierten Verkehrs aus. Die Differenzen sind jedoch gerade bei der Pendlerstrecke sehr gering und können somit bei bestimmten Konstellationen der konkreten Umstände, etwa bei Teilstrecken des Pkw-Weges auf Schnellstraßen, zugunsten des MIV ausfallen.

**Verkehrssicherheit:** Fußgänger und Radfahrer sind gegenüber Pkw-Insassen einem bis zu 10-mal höheren Sicherheitsrisiko ausgesetzt. In den gewählten Beispielen beträgt die Differenz der jährlichen sozialen Kosten der Verkehrssicherheit, welche durch die

Unfallbeteiligung von Radfahrern verursacht werden, über 2.200 Euro für die Pendlerstrecke. Zum Vergleich: je Personenkilometer fallen für den Pkw-Verkehr nur 318 Euro jährliche Kosten an. Länder- und Städtevergleiche zeigen jedoch, dass Fuß- und Radverkehr umso sicherer sind, je höher deren Anteil am Verkehr ist und je besser deren Infrastrukturen ausgebaut und getrennt sind (vgl. Kapitel 3.6).

Umwelt- und Klimaschutz: Vernachlässigt man den Energieaufwand bei der Produktion und Entsorgung von Fahrrädern und Schuhen stellt sich der Rad- und Fußverkehr vollständig emissionsfrei dar. In der Gesamtbetrachtung fallen die sozialen Nutzen durch weniger Luftschadstoff-, Treibhausgas- und Lärmemissionen jedoch verhältnismäßig überschaubar aus. Gegenüber dem Pkw ergeben sich jährliche Nutzen von 146 Euro für die Pendlerstrecke und 36 Euro für den Freizeitweg.

Abbildung 24: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 1



Quelle: Fraunhofer ISI

Insgesamt ergeben sich Einsparungen von Nutzerkosten und sozialen Kosten in der Größenordnung von 1.500 Euro pro Jahr für die 15-km-Pendlerstrecke und 1.000 Euro pro Jahr für den 3-km-Freizeitweg. Den größten Anteil hieran haben die eingesparten Pkw-Vorhalte- und Betriebskosten, welche bis zu 3.100 Euro pro Jahr für den Pendlerweg und 1.900 Euro pro Jahr für den Freizeitweg betragen. Entsprechend fällt der Gesamtsaldo aus Zeit-, Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltkosten negativ aus, was durch die mangelhafte Verkehrssicherheit im Radverkehr und den hohen Zeitaufwand des Zu-Fuß-Gehens bestimmt wird. Insgesamt sind für die kurze Strecke die Unter-

schiede der drei Alternativen wenig stark ausgeprägt. Hier ist ferner zu beobachten, dass Radfahren und Zu-Fuß-Gehen insgesamt Kosten in gleicher Höhe verursachen, da sich hier Zeit- und Gesundheitskosten ziemlich die Waage halten.

## 5.2 M2: Modal Split ÖPNV

In städtischen Räumen ist der ÖPNV eine meist kostengünstige Alternative zum Pkw mit vielen Vor-, aber auch einzelnen Nachteilen. Diese machen sich wiederum eng an den persönlichen und lokalen Bedingungen der betrachteten Wegekette fest und können hier nur exemplarisch dargestellt werden.

Betriebskosten: Jahreskarten des ÖPNV kosten im Schnitt ca. 700 Euro. Demgegenüber können die Kosten der Pkw-Nutzung bis 5.000 Euro pro Jahr erreichen. Für die gewählte Pendlerstrecke ergibt sich somit bei völligem Verzicht auf den Pkw eine rechnerische Einsparung von etwa 1.900 Euro pro Jahr. Für den Freizeitweg errechnet sich analog eine Einsparung von knapp 1.000 Euro jährlich. Diese Mittel könnten zum Teil in Bahntickets und/oder Carsharing investiert werden, um Einschränkungen der persönlichen Mobilität zu vermeiden. Eine Vielzahl von ÖPNV- und Carsharing-Unternehmen bieten auch Kombitarife bei der Nutzung beider Verkehrsmittel an.

Fahrzeit: Mit etwa 30 bis 40 km/h liegen die Fahrgeschwindigkeiten von Pkw und ÖPNV in Städten recht nah zusammen. Beide Verkehrsträger haben Zu- und Abgangszeiten, jedoch sind Fahrten mit dem ÖPNV oft mit zeitintensiven Umsteigevorgängen verbunden. Andererseits ist die Verlässlichkeit von Pkw-Fahrzeiten im Berufsverkehr deutlich geringer. In den gewählten Beispielen ergeben sich geringfügige Fahrzeitleistungen für den Pkw von 200 Euro jährlich im Berufsverkehr und 110 Euro jährlich für den Freizeitweg.

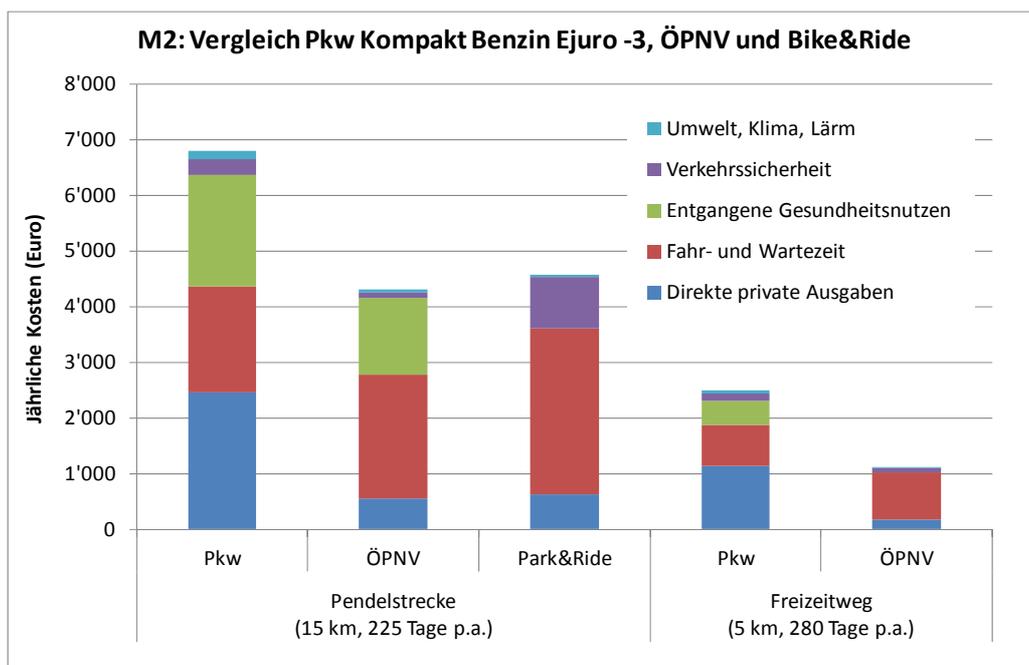
Gesundheit: Die Nutzung von Bus und Bahnen erfordert in den meisten Fällen einen Fußweg zur und von der Haltestelle. Dieser beträgt nach Infas/DLR (2010a,b) im Durchschnitt 800 m oder 10 Minuten pro Weg. Wird diese Entfernung täglich zweimal zurückgelegt lässt sich die gesunde Lebenszeit im Gegenwert von etwa 500 Euro jährlich verlängern. Bei längeren Zugangswegen zu Fuß oder bei einer Kombination aus Radfahren und ÖPNV (Bike&Ride) lassen sich wesentlich größere jährliche Nutzen erzielen.

Sicherheit: Unter ÖPNV-Fahrgästen sind, im Gegensatz zum Straßenverkehr, nur vereinzelte Todesopfer oder Schwerverletzte zu beklagen. Insgesamt beträgt die Unfallrate bei Bussen und Bahnen nur etwa 0,4% der Unfallrate von Pkw-Insassen, womit der ÖPNV das sicherste Verkehrsmittel im Stadtverkehr darstellt. Ähnliches gilt für die

Bahn im Fernverkehr. Etwas problematisch sind die Zugangswege zu Fuß oder per Fahrrad zu den Haltestellen. Da diese aber in der Regel kurz sind, fallen die sich daraus ergebenden Unfallkosten kaum ins Gewicht. Inklusiv eines Zugangsweges zu Fuß ergibt sich für den gewählten Pendlerweg eine Einsparung von 200 Euro jährlich. Bei der Kombination Bike&Ride hingegen liegen die Unfallkosten mehr als dreimal so hoch wie bei der reinen Pkw-Fahrt.

Umwelt: Der ÖPNV ist nicht vollständig emissionsfrei. Insbesondere der Einsatz von Dieselbussen im Nahverkehrsmix sorgt dafür, dass der jährliche soziale Nutzen durch weniger Luftschadstoffe, Klimagase und Lärm bei der Pendlerstrecke nur bei etwa 90 Euro liegt. Der ÖPNV verursacht hierbei immer noch soziale Kosten von 53 Euro pro Jahr und Passagier, wovon 80% auf die Kosten von Treibhausgasemissionen entfallen. Insgesamt spielen aber auch hier die Umweltkosten nur eine untergeordnete Rolle.

Abbildung 25: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 2



Quelle: Fraunhofer ISI

Die Gesamtkosten für die Pkw-Fahrt in Abbildung 24 und Abbildung 25 unterscheiden sich aufgrund leichter Variationen in den Randbedingungen wie Stadttyp, Kraftstoffart des Pkw, etc.). Diese Unterschiede zeigen, dass selbst ohne einen Grundlegenden Wandel von Mobilitätsstilen gerade die privaten Kosten des Verkehrs starken Schwankungen unterliegen können.

Unter Einbezug aller privaten und sozialen Kosten lassen sich durch den Übergang vom Pkw zum ÖPNV jährlich zwischen 1.500 Euro für den gewählten Freizeitweg bis

2.500 Euro für die Pendlerstrecke sparen. Wesentlicher Treiber des Nutzens für den Verkehrsteilnehmer sind auch hier die eingesparten Kosten der Automobilität. Interessanterweise liegen, bedingt durch die höheren Unfallrisiken und den höheren Zeitbedarf, die Gesamtkosten von Bike&Ride-Lösungen über denen der reinen ÖPNV-Nutzung. Konkrete Situationen können jedoch stark von den gezeigten Beispielen abweichen.

### **5.3 M3: Verkürzung von Pkw-Wegelängen**

Kürzere Wege mit dem Pkw lassen sich durch die Wahl alternativer Ziele oder das Zusammenlegen von Aktivitäten erreichen. Hierbei können Kosten der Automobilität und Umweltbelastungen eingespart werden. Ansatzpunkte sind die Stärkung von Naherholungszielen, eine nachhaltige Stadtplanung oder die Verteuerung längerer Fahrten durch eine Pkw-Maut auf Fernstraßen. Profitieren kann hierdurch sowohl der Lokal- oder Regionalverkehr als auch der Personenfernverkehr, weshalb hier zusätzlich eine 100-km-Geschäftsreise an 100 Tagen im Jahr untersucht wird.

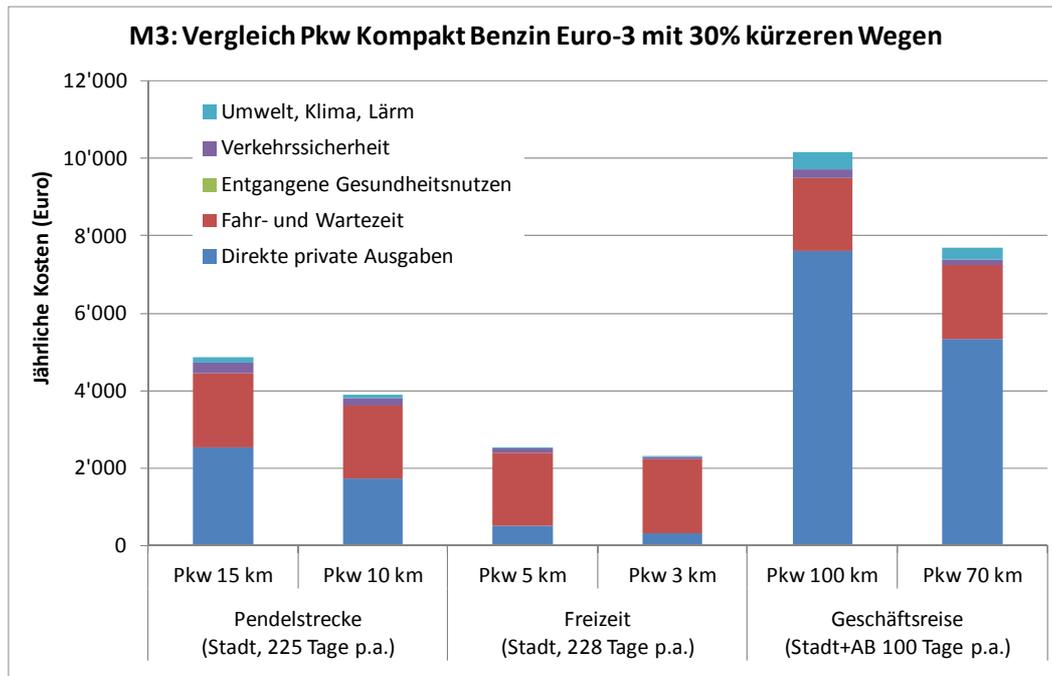
**Betriebskosten:** Durch kürzere Wege vermindern sich die variablen Fahrzeugbetriebskosten näherungsweise entsprechend der eingesparten Strecke. Zudem sind geringere Fixkosten auf den Weg anzurechnen, womit sich eine maximale Ersparnis von 36 €-ct pro vermiedenen Kilometer für einen Kompakt-Pkw ergibt. Durch einen deutlich höheren Kraftstoffverbrauch zu Fahrtbeginn, Parkgebühren und einen geringeren Nutzen des neuen Ziels kann diese jedoch im Einzelfall geringer ausfallen. Bedingt durch die Streckenlänge entfällt der größte Nutzen kürzerer Strecken in Höhe von etwa 2.000 Euro jährlich auf die ausgewählte Geschäftsreise.

Kürzere Wege sparen Zeit. Je nach Reisezweck kann diese mit 6 bis 20 Euro pro Stunde bewertet werden. Weniger Zeit in motorisierten Verkehrsmitteln lässt mehr Raum für aktive Mobilität und sonstige Bewegung. Mit 30 Minuten Fußweg täglich lässt sich die gesunde Lebenszeit im Gegenwert von etwa 700 Euro jährlich verlängern. Dieser Effekt wurde jedoch hier nicht quantifiziert. Werden andererseits Fahrten ins Umland durch Pkw-Wege in der Stadt ersetzt, können Stau und Parkplatzsuche die Zeitgewinne teilweise vermindern.

**Umwelt:** Durch kürzere Wege lassen sich Umwelt, Klima- und Lärmbelastung senken. Für einen Kompakt-Pkw mit Euro-3-Abgasnorm im Stadtverkehr am Tag ergibt sich eine Ersparnis von 2 €-ct/km. Hinzu kommen verminderte Unfallfolgen im Gegenwert von 4 €-ct/km. Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen sind jedoch gerade beim Kaltstart eines Pkw deutlich höher als während der Fahrt, womit die Einsparung von CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen etwas unterproportional zur Reduktion der Weg-

strecke ausfällt. Dieser Effekt wurde jedoch in den unten gezeigten Beispielen nicht berücksichtigt. Ebenso unberücksichtigt blieben mögliche Änderungen von Unfallraten durch kleinere und leichtere Autos.

Abbildung 26: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 3



Quelle: Fraunhofer ISI

Insgesamt ergeben sich die größten Gesamteinsparungen von etwa 2.500 Euro jährlich für die gewählte 100-km-Geschäftsreise, während die Verkürzung des Pendlerweges knapp 1.000 Euro Kostenvorteile verursacht. Da auch hier die Umwelteffekte nur eine untergeordnete Rolle spielen, entfällt der Hauptnutzen auf direkte und indirekte private Kosten des Verkehrsteilnehmers. Der Wegfall der Pendlerpauschale zur Unterstützung dieser Maßnahme kann also bei entsprechender Verhaltensänderung wieder kompensiert werden.

## 5.4 M4: Effizienzsteigerung Pkw

Der direkte Weg zur Effizienzsteigerung im motorisierten Individualverkehr ist die Verwendung kleinerer, verbrauchsärmerer Fahrzeuge. Weiterhin lässt sich die Effizienz von Pkw durch höhere Besetzungsgrade, etwa durch die Einrichtung von Fahrgemeinschaften, die Vermittlung von Mitfahrgelegenheiten oder die Zusammenlegung von Wegen erreichen. Hierdurch lassen sich Klima- und Umweltwirkungen vermindern und gleichzeitig Fahrzeugbetriebskosten sparen. Die beiden Ansätze zur Effizienzsteigerung werden durch die Betrachtung aller drei Wegetypen wie folgt dargestellt: Erhö-

hung des Besetzungsgrades des Pendlerweges (Fahrgemeinschaft), Downsizing des Pkw-Typs bei der Geschäftsreise (Flottenpolitik des Unternehmens) und beiden Ansätzen (Kombination von Wegen mit kleinerem Auto) im Freizeitverkehr.

Betriebskosten: Die jährlichen Fixkosten inkl. Abschreibung, Werkstattkosten und Versicherung bewegen sich um 4.500 Euro für einen Mittelklasse-Pkw oder 8.000 Euro für ein Fahrzeug der Oberklasse. Die variablen Kosten für Kraftstoff und Gebühren belaufen sich auf bis zu 20 €-ct/km in der Mittelklasse und 30 €-ct/km in der Oberklasse. Im Gegensatz hierzu verursacht ein Kleinwagen lediglich Fixkosten von 2.000 Euro pro Jahr und variable Kosten von 10 €-ct/km. Je nach Fahrzeugtyp lassen sich somit durch kleinere Fahrzeuge jährlich 3.000 bis 9.000 Euro sparen. Weiter lassen sich die fahrzeugbedingten Kosten proportional zum Besetzungsgrad senken.

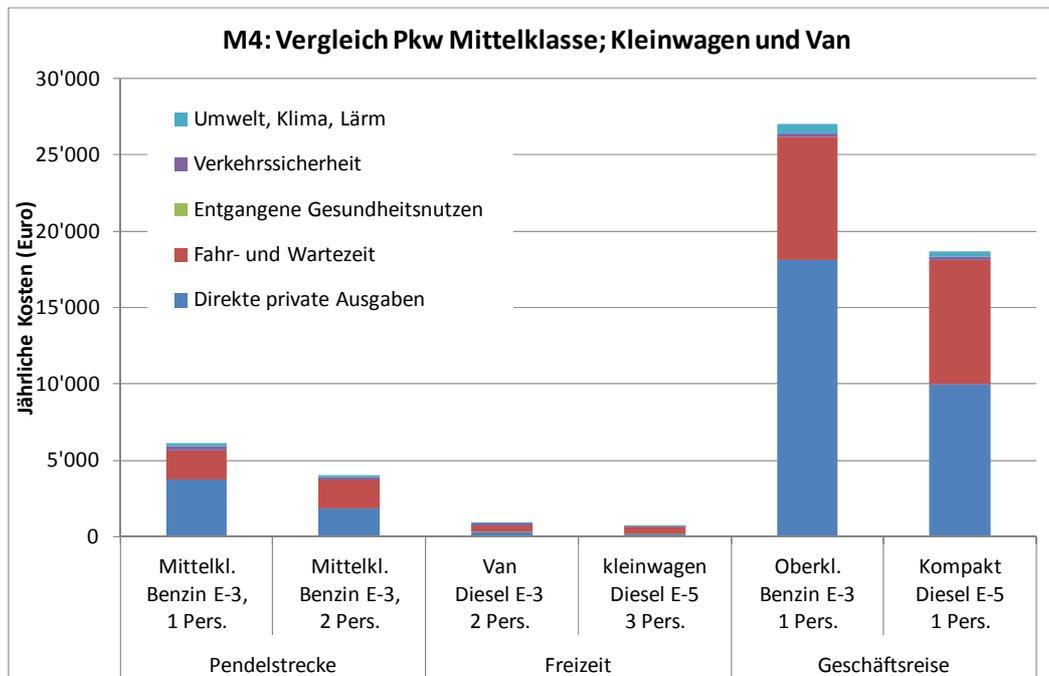
In den ausgewählten Beispielen lassen sich bis 1.000 Euro jährlich durch zwei statt einem Insassen je Pkw im Berufsverkehr und bis zu 12.000 Euro jährlich durch den Übergang von Oberklasse- zu Kompaktfahrzeugen für Geschäftsreisen einsparen. Beim Ersatz eines Minivans durch einen Kleinwagen und einer höheren Besetzung im Freizeitverkehr ergeben sich lediglich Einsparungen um 130 Euro pro Jahr, was im Wesentlichen auf die kurze Wegstrecke zurückgeführt werden muss.

Umwelt: Während Kleinwagen heute einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 103 g/km (Diesel) bzw. 124 g/km (Benzin) aufweisen, erreichen Fahrzeuge der Oberklasse 180 g/km (Diesel) bis 270 g/km (Benzin). Ähnliches gilt für Luftschadstoffe wie Stickoxide oder Feinstaub, wobei deren Ausstoß und Schädlichkeit von der Fahrzeugemissionsklasse und dem Emissionsort abhängen. Pro Personenkilometer ergeben sich in den gewählten Konstellationen gesellschaftliche Nutzen durch verminderte Schadstoffemissionen in Höhe von jährlich 107 Euro für die Erhöhung von Besetzungsgraden im Berufsverkehr, 234 Euro für kleine Fahrzeuge im Geschäftsverkehr, jedoch nur 32 Euro durch eine höhere Besetzung und kleinere Fahrzeuge im Freizeitverkehr.

Sicherheit: In dieser Studie wird die Verkehrssicherheit aus der Perspektive der Unfallverursachung betrachtet. Danach hat eine Veränderung des Pkw-Besetzungsgrades keinen Einfluss auf das von dem betreffenden Fahrzeug ausgehende Unfallrisiko, und die rechnerische Verantwortlichkeit jedes Insassen vermindert sich mit höheren Besetzungsgraden. Im Gegensatz hierzu würden sich aus Sicht der Unfallbetroffenheit die Unfallfolgen für das Fahrzeug proportional zur Anzahl Insassen erhöhen, womit das Risiko für jeden Insassen unabhängig vom Besetzungsgrad konstant bliebe. Nach der hier angewandten Methodik ergeben sich verminderte soziale Risiken durch höhere Besetzungsgrade und folglich weniger potenziell unfallverursachende Pkw auf der

Straße, in Höhe von 140 Euro jährlich für den Pendlerweg und 26 Euro jährlich für den kurzen Freizeitweg.

Abbildung 27: Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse, Maßnahme 4



Quelle: Fraunhofer ISI

Insgesamt ergeben sich die größten absoluten Einsparungen privater und gesellschaftlicher Kosten für die Geschäftsfahrten in Höhe von 8.400 Euro, gefolgt von den Fahrgemeinschaften im Berufsverkehr in Höhe von 2.100 Euro jährlich. Um diese Potenziale zu erreichen ist eine Kombination von Instrumenten vom betrieblichen Mobilitätsmanagement anzusetzen über die Besteuerung und/oder Subventionierung von Fahrzeugen entsprechend deren Kraftstoffverbrauch. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass die größten Nutzen durch die Differenz in den Betriebskosten der Fahrzeuge entstehen, welche von den Verkehrsteilnehmern bereits jetzt wahrgenommen werden. Dies gilt jedoch nicht in vollem Umfang für Dienstfahrzeuge. Ob Steuern und Abgaben in ausreichender Höhe gesetzt werden können, um nennenswerte Downsizing-Effekte zu erreichen, ist noch zu untersuchen.

## 5.5 Fazit zur privatwirtschaftlichen Bewertung im Personenverkehr

Die obigen Mobilitätsvarianten stellen Beispiele dar, welche den Einfluss ausgewählter Optionen der täglichen wie auch grundsätzlicher Mobilitätsentscheidungen im Personenverkehr für den Einzelnen und dessen Wirkung auf die Gesellschaft demonstrieren

sollen. Diese Beispiele liefern kein vollständiges Bild jeder möglichen Situationen wie Wohnort, Streckenlänge, Wegehäufigkeit, Fahrzeugtyp oder der Verfügbarkeit und Qualität von Alternativen zum MIV; die verschiedenen Ausgangslagen und Umfelder sowie deren Häufigkeit werden durch die Anwendung des ASTRA-D-Verkehrs- und Wirtschaftsmodells im Rahmen der volkswirtschaftlichen Bewertung erfasst. Für zentrale Größen der täglichen Mobilitätsentscheidung wird jedoch im Folgenden eine kurze Sensitivitätsanalyse vorgenommen.

Unterschieden werden, wie bereits in den vorhergehenden Abschnitten, drei typische Wegezwecke. Die Analyse geht von folgenden Ausgangskonstellationen aus:

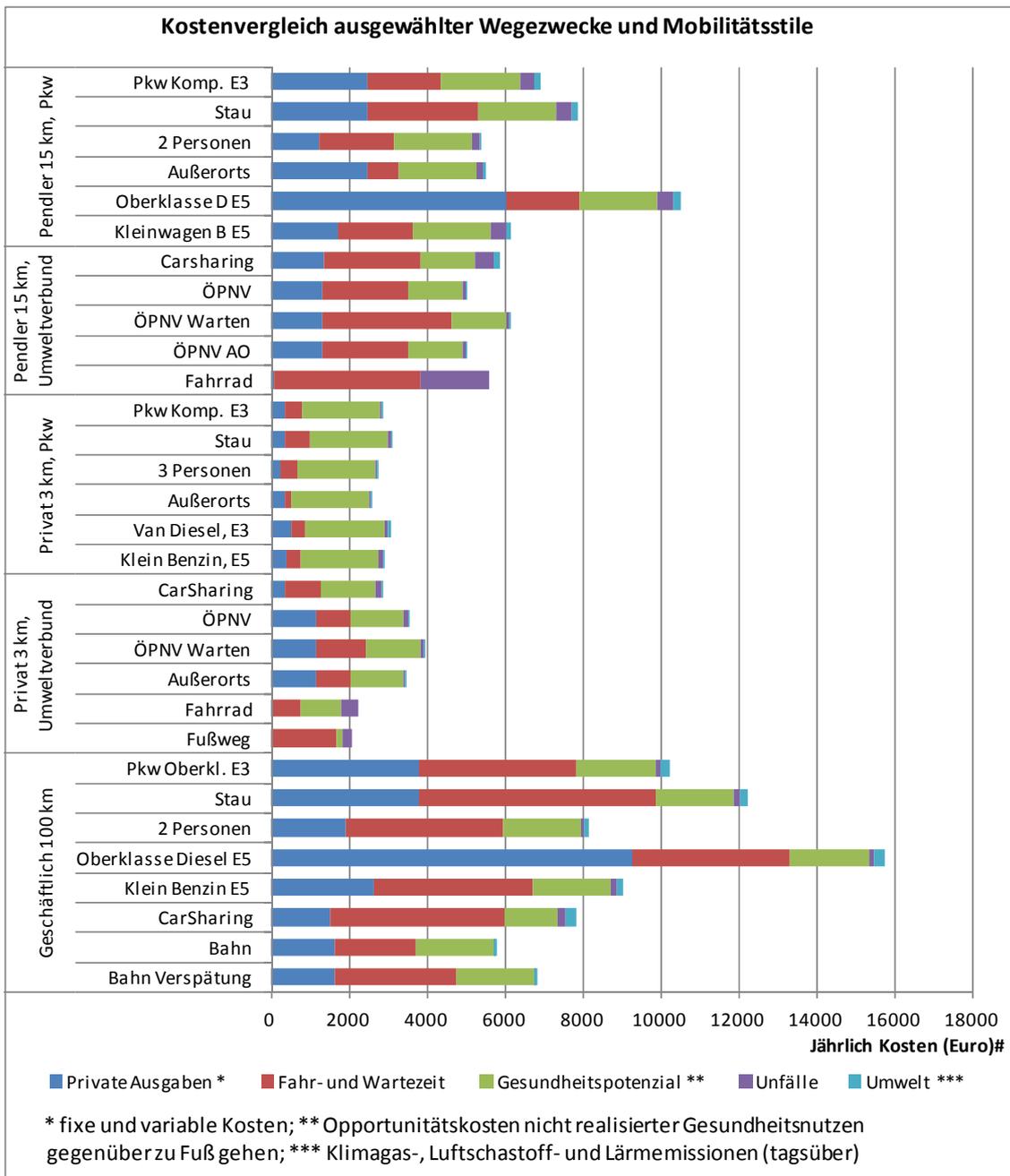
- Pendlerweg 15 km in der Großstadt an 250 Tagen pro Jahr mit einem Kompakt-Pkw, Benzin, Euro 3 mit einer Besetzung von einer Person,
- kurzer Freizeitweg 3 km, Großstadt, 280 Tage pro Jahr, Kompakt-Pkw, Benzin, Euro 3 mit einem Besetzungsgrad von 2 Personen
- eine regelmäßige Geschäftsfahrt, 100 km, 80% Autobahn und 20% Großstadt, 100 Tage pro Jahr. Kompakt-Pkw, Diesel, Euro 3 besetzt mit einer Person.

Hierfür werden verschiedene Pkw-Typen, Besetzungsgrade, Ortslagen und Verkehrsmittel nebeneinander gestellt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 28 dargestellt. Es lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Der Fahrzweck entscheidet über Distanzen, Frequenz und Zeitbewertung der Nutzer. Entsprechend stellt sich die Wettbewerbslage unter den Verkehrsträgern unterschiedlich für die verschiedenen Fahrzwecke dar. Grundsätzlich ist der ÖPNV auf mittleren bis längeren Distanzen, auf denen die Pkw-Besetzungsgrade vergleichsweise gering sind, gegenüber dem MIV konkurrenzfähig. Für kurze Wege stellen Radfahren und Zu-Fuß Gehen hingegen unter Berücksichtigung aller Kostenkategorien die günstigsten Varianten dar.
- Die Variationen der jährlichen Gesamtkosten für den Nutzer werden in starkem Maße von der Größenklasse des verwendeten Pkw bestimmt. Dies ist insbesondere beim Übergang von der Kompakt- zur Oberklasse beim Pendlerweg und der Geschäftsreise sichtbar. Hier steigen die privaten Ausgaben um mehr als 100%, während beim Übergang zu Kleinwagen nahezu eine Halbierung möglich ist.
- Die privaten Ausgaben für den ÖPNV sind dann wesentlich niedriger als Fahrten mit dem MIV, wenn Pkw mit nur einer Person besetzt sind. Bei höheren Besetzungsgraden unterscheiden sich in den gewählten Beispielen die Ausgaben beider Alternativen nur geringfügig. Es bleibt jedoch unberücksichtigt, dass ähnliche Reduktionen über Gruppenfahrkarten auch im ÖPNV und bei der Bahn möglich sind.
- Die Kosten des motorisierten Verkehrs, MIV und ÖPNV, werden entscheidend durch die Qualität der angebotenen Verbindung bestimmt. 50% längere Fahrzeiten auf der Pendlerstrecke bedeuten knapp 1.000 Euro zusätzliche persönliche Kosten jährlich,

was im gewählten Beispiel die Gesamtkosten des MIV um 14% erhöht. Beim ÖPNV bedeuten 50% längere Fahrzeiten 22% höhere jährliche Kosten, womit der ÖPNV gegenüber Störungen sensitiver ist als der MIV.

Abbildung 28: Sensitivitätsrechnung: Gesamte privatwirtschaftliche und externe Kosten für ausgewählte Mobilitätsalternativen



Quelle: Eigene Darstellung

- Die Ortslage des betrachteten Weges hat einen entscheidenden Einfluss sowohl auf die Fahrzeitkosten als auch auf die Umweltbilanz. Außerortsstraßen sind in der Regel schneller befahrbar als Stadtstraßen, und die dünnere Bebauung mindert die Schäden durch Lärm und Luftschadstoffe. Insgesamt sind die Auswirkungen auf die jährlichen Kosten je Person ähnlich ausgeprägt wie bei der Erhöhung der Pkw-Besetzungsgrade.
- Der Übergang von Fahrzeugen der Schadstoffklasse Euro 3 zu Euro 5 bewirkt nur eine minimale Reduktion der externen Kosten der Umweltbelastung. Grund hierfür ist zum einen, dass Euro-3-Fahrzeuge bereits relativ sauber sind und somit der überwiegende Anteil der externen Kosten auf Treibhausgas- und Lärmemissionen entfällt. Deren Wirkung nimmt jedoch mit höheren Schadstoffklassen nicht zwangsläufig ab. Hieraus ist zu folgern, dass die Verwendung kleinerer Fahrzeuge und strikte CO<sub>2</sub>-Grenzwerte einen wesentlich größeren Beitrag zur Nachhaltigkeit des Verkehrs leisten als die bloße Modernisierung der Flotte.
- Sicherheit und Geschwindigkeit spielen die zentrale Rolle bei der Bewertung des Radverkehrs. Bei gegebenen Fahrrad-Infrastrukturen stehen beide Ziele jedoch im Konflikt zueinander. Die Rechnungen zeigen, dass auf der Pendlerstrecke das Fahrrad aus diesen Gründen im Stadtgebiet nur bedingt konkurrenzfähig gegenüber dem Pkw ist. Die privatwirtschaftliche Rentabilität des Radverkehrs ließe sich entsprechend durch komfortable, sichere und schnelle Radverkehrsnetze soweit erhöhen, dass Radfahren auch auf diesen Distanzen dem MIV überlegen ist.

Nicht betrachtet wurden in dieser Sensitivitätsrechnung die Einflüsse unterschiedlicher Nutzertypen auf die Gesamtbewertung alternativer Mobilitätsstile. Diese sollen hier kurz angerissen werden:

- Einkommensniveaus: Allgemein wird unterstellt, dass die Bewertung der Fahrzeit proportional zum verfügbaren Einkommen einer Person ist. Bei hohem Einkommen dominieren Zeitvorteile die Wahl des Verkehrsmittels. Umgekehrt sinkt bei niedrigerem Einkommen die Bedeutung der Zeitbewertung gegenüber den direkten Kosten der Mobilität. Dann stehen schnelle und hochwertige Verkehrsmittel wie ein eigener Pkw oder der Hochgeschwindigkeitsverkehr der Bahn oft nicht oder nur limitiert zur Verfügung. Dies bedeutet, dass in unteren Einkommenssegmenten der Umweltverbund, und hier insbesondere aktive Mobilitätsformen, gegenüber dem Pkw wesentlich konkurrenzfähiger sind als in obiger Sensitivitätsrechnung dargestellt. Durch gezielte Information und soziale Projekte könnte dieses Potenzial gewonnen werden.
- Lebensphase: In familiären Lebensphasen mit Kindern hat der Pkw neben Status und der Verkürzung von Reisezeiten oft die Funktion, die Organisation der täglichen Mobilität zu erleichtern. Hier dürfte, insbesondere bei Familien ab einem mittleren Einkommen, eine nennenswerte Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung des Aufwandes, welcher mit ÖPNV oder Carsharing verbunden sein kann, bestehen. Dichtere

Netze, geschultes Personal und angepasste Tarife könnten helfen auch in diesen Lebensphasen eine Fixierung auf den Pkw zu vermeiden.

- **Gesundheit:** Ein großer Teil der ausgewiesenen Kosten beziehen sich auf nicht realisierte Gesundheitsnutzen. Hierbei werden untrainierte Menschen unterstellt; die entsprechenden Opportunitätskosten der Pkw- oder ÖPNV-Nutzung für trainierte Personen liegen deutlich unter den hier ausgewiesenen Kosten. Andererseits kann unterstellt werden, dass zusätzliche Bewegung bei alltäglichen Wegen die Notwendigkeit für sportliche Betätigungen in der Freizeit mindert, womit hier ein Trade-Off zwischen Gesundheit und Zeitaufwand besteht.
- **Wohnlage:** Die Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs variiert sehr stark zwischen Regionen, Städten und sogar Stadtteilen. In diesen Rechnungen wurden eher optimistische Werte für Zugangs-, Warte- und Fahrzeiten angenommen. Diese gelten im Wesentlichen für Großstädte mit gut ausgebauten Systemen. Für Kleinstädte und insbesondere den ländlichen Raum müssen hier weitere Zuschläge zu den Zeitkosten des ÖPNV unterstellt werden. Andererseits geben die Vergleichszahlen einen Hinweis darauf, wie sich die Systeme bei einer massiven Steigerung des ÖPNV-Aufkommens, wie in den hier untersuchten Maßnahmen auf volkswirtschaftlicher Ebene unterstellt wurde, darstellen könnten.

Diese und andere Einflussgrößen können im Prinzip durch die Anpassung der Eingabewerte und Parameter des PExMo-Tools dargestellt werden. In einer weiteren Ausbaustufe könnte dies in Betracht gezogen werden.

## **5.6 M5: Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn**

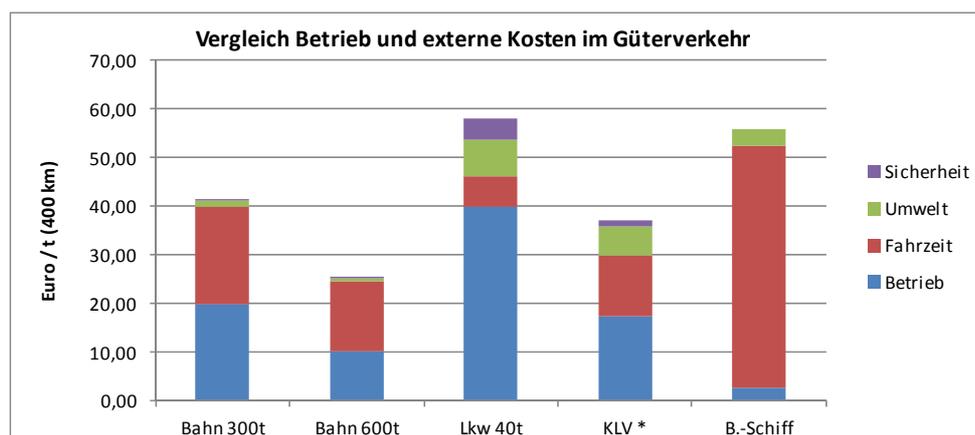
Da das PExMo-Tool nur für den Personenverkehr konzipiert wurde, wird im folgenden die Höhe von Nutzen und Kosten alternativer Transportformen im Güterverkehr durch eine separate Analyse demonstriert. Durch die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn (Maßnahme M5) lassen sich im Idealfall Betriebskosten und Umwelt- sowie Sicherheitskosten reduzieren; die Wirkung hängt jedoch in starkem Maße von der Angebotsqualität und der Auslastung der Züge im Schienengüterverkehr ab. Möglichen Einsparungen stehen jedoch in der Regel höhere Zeitkosten gegenüber. Entsprechend setzen Instrumente zur Verlagerung des Bahngüterverkehrs an den Größen Transportkosten, Auslastung und Fahrzeit an. Exemplarisch stellen sich diese für einen Transport über 400 km wie folgt dar:

- **Betriebskosten:** Der Betrieb eines Güterzuges verursacht Kosten von durchschnittlich 12 Euro/km für Trassenentgelte und 3 Euro für Traktion und Energie. Für eine Auslastung von 300 t/Zug sind dies 20 Euro/t. Mit einer Maut von 15 Ct/km, Betriebskosten von einem Euro/km und einer Auslastung von 11,5t/Lkw belaufen sich die Betriebskosten im Straßengüterfernverkehr für 400 km auf 40 Euro/t.

- Auslastung: Bei einer Verdopplung der Auslastung von Güterzügen auf 600t reduzieren sich die Transportkosten um 50 % auf 10 Euro/t. Die Kostenreduktion geht im Wesentlichen auf die effizientere Nutzung der Schieneninfrastruktur und effizientere Zugbildungsprozesse zurück; steigende Kosten für Traktionsenergie und Gleisabnutzung können in erster Näherung vernachlässigt werden
- Fahrzeit: Durch Umschlags- und Rangierzeiten sind Transporte auf der Schiene deutlich langsamer als auf der Straße. Jedoch kann hier die Verlässlichkeit durch Staus und Baustellen geringer sein als im Bahnverkehr. Eine Beschleunigung des Bahngüterverkehrs durch mehr direkte Verbindungen und weniger Rangiervorgänge könnte zudem den Zeitnachteil der Schiene teilweise ausgleichen.

Je länger der Streckenanteil der Schiene, desto größer fallen die Verlagerungspotenziale aus. Die folgende Abbildung vergleicht die privatwirtschaftlichen und externen Kosten im Güterverkehr für Bahn und Straße für das gewählte Beispiel.

Abbildung 29: Privatwirtschaftliche und externe Kosten im Güterverkehr für Bahn und Straße



\* KLV = kombinierter Ladungsverkehr (Kombiverkehr);  
Quelle: Eigene Darstellung

## 6 Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Bewertung

In diesem Kapitel wird die gesamtwirtschaftliche Bewertung der 5 Maßnahmen mit dem Modell ASTRA-D (siehe dazu die Modellbeschreibung in Kapitel 4.2) besprochen. Die Methodik unterstellt, dass das Aufkommen der Wege nach Fahrzweck in der Summe konstant bleibt. Durch die Anwendung der verschiedenen Instrumentenbündel in den Maßnahmen wird jedoch die Ziel- und Verkehrsträgerwahl beeinflusst. Dies schlägt sich in Veränderungen der Verkehrsleistung, ausgedrückt in Personen- und Tonnenkilometern, sowie in Veränderungen der Fahrleistung je Verkehrsträger, für jede Maßnahme und deren Instrumentenbündel nieder. Letztendlich beeinflussen diese Größen über die Kosten, Fahrzeiten, Emissionsfaktoren und Unfallraten der Verkehrsträger zusammen mit den unterstellten Aufwendungen zur Implementierung der Maßnahmen deren volkswirtschaftliche Nutzen und Kosten.

Im Folgenden werden für die Maßnahmen des Personenverkehrs (1 bis 4) Änderungen in der Aufteilung des Verkehrsaufkommens nach den Verkehrsträgern besprochen. Für den Güterverkehr hingegen wird die Verkehrsleistung als Zielgröße angesetzt, da bei diesem nicht nach Wegezwecken bzw. Güterart unterschieden wird.

Die fünf Maßnahmen werden unabhängig voneinander gegenüber einem Trendszenario bewertet. Das Trendszenario, also die angenommene Entwicklung des Verkehrssektors bis 2030 ohne politische Einflussnahme im Sinne dieser Studie, ist für alle Maßnahmen identisch. Abschnitt 4.2.3 stellt die angenommene Entwicklung dar. Durch die Wahl dieses Ansatzes sind die Unterschiede zu den Basisannahmen die eigentlich interessanten Größen und nicht so sehr die Absolutwerte des jeweiligen Szenarios. Entsprechend werden die Zielwerte der Maßnahmen in den Bereichen Modal Split, Wegelängen und Effizienz der Fahrzeugnutzung, als Differenz zur unterstellten Trendentwicklung definiert und dargestellt. Mit Blick auf die große Unsicherheit bezüglich der europäischen wie weltweiten Wirtschaftsentwicklung wird von der Darstellung absoluter Werte der ökonomischen und verkehrlichen Indikatoren bewusst Abstand genommen.

### 6.1 M1: Modal Split des Rad- und Fußverkehrs

Ziel der Maßnahme M1 „Steigerung des Modal Split des Fuß- und Radverkehrs“ ist es, die Emissionen des motorisierten Individualverkehrs durch Förderung des nichtmotorisierten Verkehrs in Städten zu minimieren. Bis 2030 soll der Anteil der zu Fuß oder mit dem Rad zurückgelegten Wege um 10 Prozentpunkte gegenüber dem Trendszenario gesteigert werden, wobei sich dieser Anteil auf lokale Strecken bezieht.

2008 lag der Anteil des Langsamverkehrs in urbanen Räumen bei 21% zu Fuß und 8% mit dem Fahrrad (Infas/DLR 2010a und b). Nach dem ASTRA-D-Trendszenario beträgt

der Anteil des Fuß- und Radverkehrs 2010 im Nahbereich 40% und wächst bis 2030 sogar auf 47% aller urbanen Wege an. Entsprechend ist dieser Anteil binnen 20 Jahren von einem bereits sehr hohen Niveau um weitere 20% bis 35% zu erhöhen. Zur Realisierung dieses Wachstums wird ein Mix aus Instrumenten zur Dämpfung des Kfz-Verkehrs sowie zur Förderung des nichtmotorisierten Verkehrs untersucht. Erstere beinhaltet preisliche Instrumente wie Parkgebühren oder City-Mauten, sowie Instrumente zur Verlangsamung des motorisierten Individualverkehrs. Durch den Ausbau von Fußgängerzonen und Radwegen wird darüber hinaus der Langsamverkehr beschleunigt und attraktiver gestaltet. Als drittes Instrument werden Initiativen und Kampagnen eingesetzt, um Verhaltensänderungen ohne regulatorische Maßnahmen zu bestärken.

Mittels des ASTRA-D-Modells wird die Wirksamkeit der unterschiedlichen Instrumente wie auch deren Auswirkungen auf volkswirtschaftliche und ökologische Kenngrößen dargestellt. Die Veränderungen werden gegenüber dem Trendszenario (Business as usual = BAU) dargestellt.

### **6.1.1 Modal Split**

Als Hauptinstrumente standen bei der Maßnahme 1 zur Verfügung:

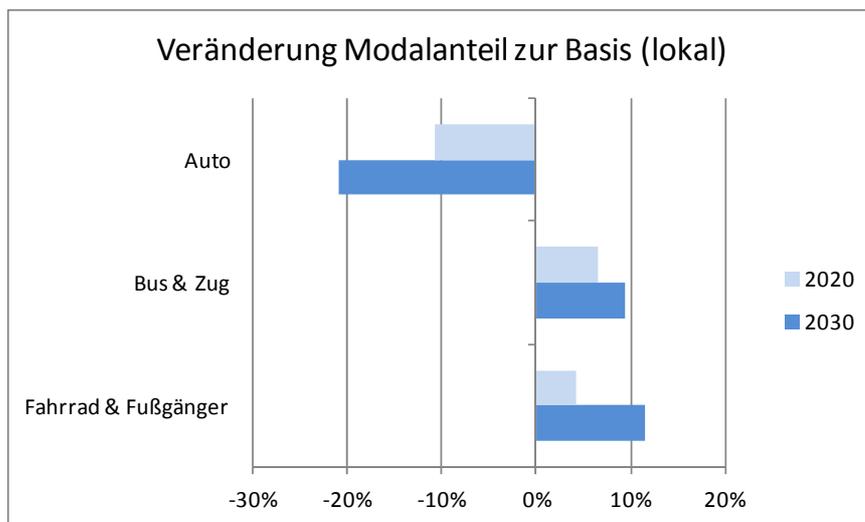
- Autonome Verhaltensänderungen
- Einführung einer City-Maut für Pkw
- Ausdehnung der Fuß- und Radwege (v.a. in urbanen Räumen)

Die City-Maut wurde zwischen 2015 und 2025 mit kontinuierlich steigenden Werten implementiert (welche dann konstant gelassen wurden), um Anpassungseffekte modelltechnisch ausgleichen zu können. Es wurde im Instrumentenmix ein Wert von 0,30 €/Fahrt gewählt.

Die Ausdehnung der Fuß- und Radwege wurde durch eine Änderung in den Fahrzeiten erreicht; es wurde dabei eine Beschleunigung von 10% für Radfahrer und 2% für Fußgänger in verstäderten Räumen sowie 2% für Radfahrer und 0% für Fußgänger in ländlichen Gebieten gewählt. Ausgehend von einer Beschränkung des für den Verkehr verfügbaren Platzes wurde gleichzeitig eine Verlangsamung des MIV in ländlichen Räumen von 10% und in städtischen Räumen von 25% angenommen, um die Zielwerte in 2030 zu erreichen. Auch hier wurde eine schrittweise Anpassung der Beschleunigungs- bzw. Verlangsamungswerte zwischen 2015 und 2025 modelliert. Dazu wurden im geringen Umfang noch autonome Verhaltensänderungen unterstellt.

Die Auswirkungen der Instrumente auf den Zielerreichungsgrad sind in Abbildung 30 abgetragen. Sie zeigt die Veränderung im Verkehrsaufkommen lokal im Vergleich zur Basis; der Zielgröße der Maßnahme. Die Veränderung ist dabei in Prozentpunkten angegeben. Man sieht hier, dass die relative Verschlechterung des MIV zu einer Verschiebung nicht nur zum nichtmotorisierten Verkehr führt, sondern dass der öffentliche Nahverkehr auch profitiert.

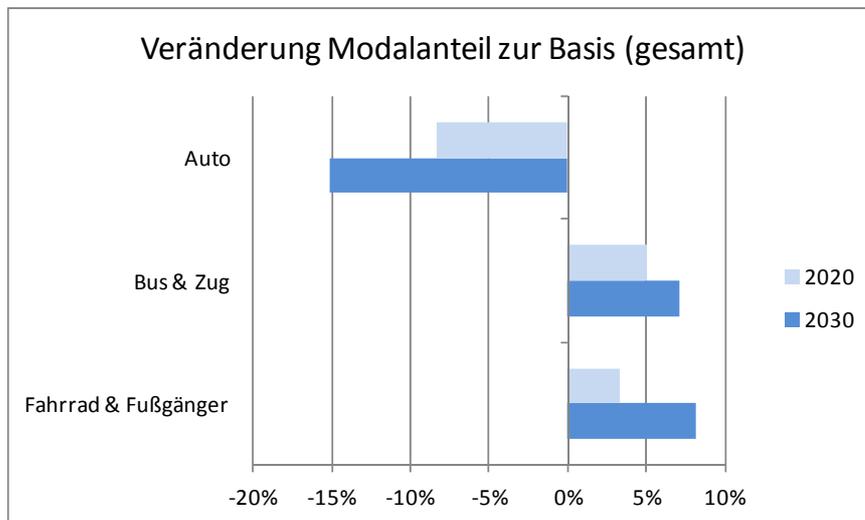
Abbildung 30: M1: Modal-Split-Veränderungen (lokal) des Verkehrsaufkommens



Quelle: Fraunhofer ISI

Diese positiven Effekte zeigen sich auch in der Verkehrsmittelwahl auf Gesamtdeutschland bezogen, allerdings in einem deutlich geringeren Ausmaß (siehe Abbildung 31). Hier macht sich die eng gefasste Bezugsvariable – Anzahl Wege auf lokaler Basis – bemerkbar. Allerdings sind die Instrumente auch spezifisch auf dieses Ziel hin ausgelegt und eine Gesamtverschiebung der Verkehrsmittelwahl nur mit diesen Instrumenten nicht erreichbar.

Abbildung 31: M1: Modal-Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens



Quelle: Fraunhofer ISI

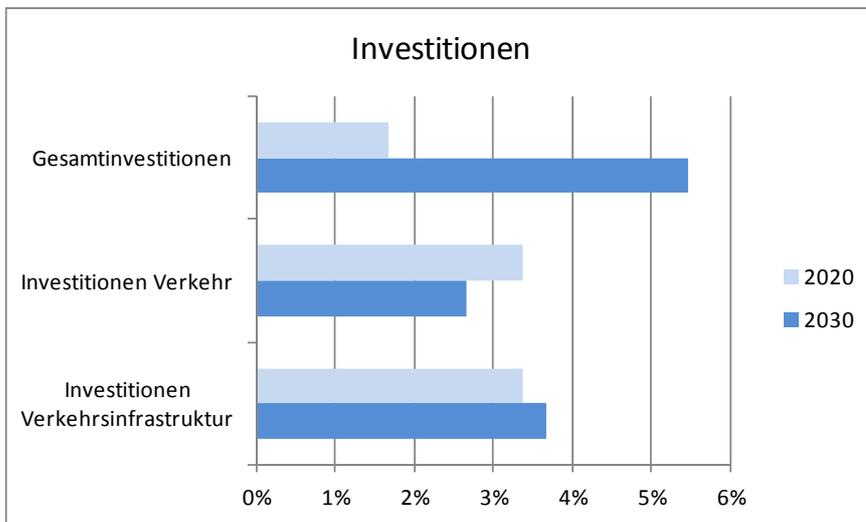
### 6.1.2 Investitionen

Die Investitionen, welche die Einführung der Instrumente bedingen, konzentrieren sich hauptsächlich auf den Bausektor und sind dynamisch mit den Anpassungsveränderungen gerechnet worden, zuzüglich zu den fixen Implementierungskosten für die City-Maut.

Die Investitionen weisen einen Multiplikatoreffekt auf, welcher sich auf die übrigen Sektoren positiv auswirkt. Die investiven Maßnahmen im Verkehrssektor verändern die Nachfrage in den übrigen Sektoren über die Vorleistungsstruktur der Input-Output-Tabelle. Zusätzlich kommen endogenisierte Investitionsveränderungen durch die Veränderung der Konsum- bzw. Nachfragestruktur zur Geltung.

Abbildung 32 stellt die prozentualen Veränderungen der Investitionen im Vergleich zum Trendszenario graphisch dar. Man sieht hier deutlich den Verzögerungseffekt: die Gesamtinvestitionen sind in 2030 im Vergleich zur Basis deutlich stärker erhöht als in 2020, obwohl durch die Anschubfinanzierung der City-Maut mehr als die Hälfte der direkten Instrumenteninvestitionen bereits vor 2020 anfällt.

Abbildung 32: M1: Änderungen der Investitionen



Quelle: Fraunhofer ISI

Die Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur sind dagegen annähernd gleich; hier machen sich die endogenen Investitionsänderungen durch die Nachfrageverschiebung hin zum ÖPNV bemerkbar. Die gesamten Investitionen im Verkehrsbereich gehen nach 2020 leicht zurück; dies ist insbesondere auf die Veränderungen in der Fahrzeugproduktion zurückzuführen.

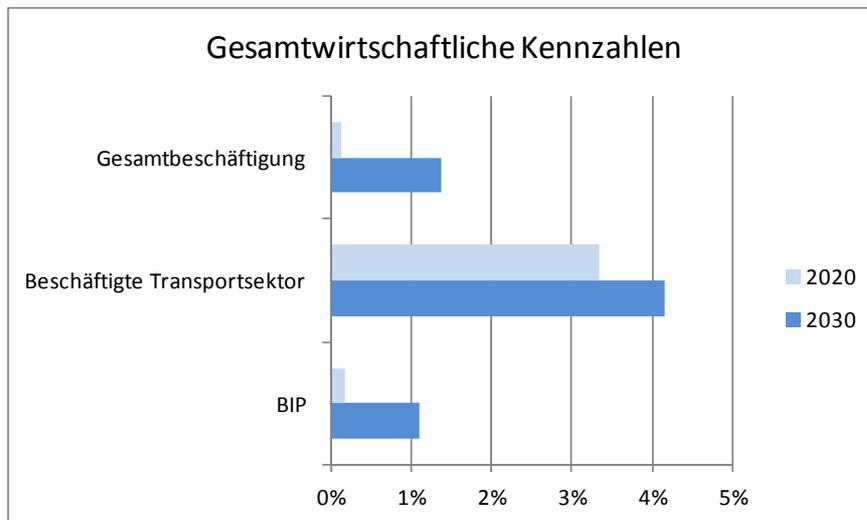
Die direkten Investitionen werden staatlicherseits finanziert; es ergeben sich allerdings durch die Wahl der Instrumente auch deutliche Mehreinnahmen. So führt die Einführung der City-Maut zu Mehreinnahmen nach der Anlaufphase von über 4 Mrd. € jährlich. In ASTRA-D wird keine Unterscheidung zwischen kommunaler, Länder- und Bundesebene getroffen; die Investitions- und Einnahmewirkungen können sich im Einzelfall differenziert darstellen.

### 6.1.3 Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen

Gesamtwirtschaftlich sind die Auswirkung der Instrumente nicht besonders ausgeprägt: das BIP ist leicht positiv im Endbetrachtungsjahr, wobei der größte Wachstumseffekt analog zu den Gesamtinvestitionsänderungen nach 2020 stattfindet (siehe Abbildung 33). Die Gesamtbeschäftigung wird durch die sektorale Wertschöpfung und die Entwicklung der sektoralen Arbeitsproduktivitäten bestimmt; es gewinnen in dieser Maßnahme durch die Verlagerungswirkung dienstleistungsintensivere Bereiche, welche im Vergleich zu produzierenden Sektoren geringere Arbeitsproduktivitäten haben, und deswegen ist die Beschäftigungswirkung sogar positiver als die BIP-Entwicklung. Insbesondere die Beschäftigung im Verkehrssektor entwickelt sich positiv durch die Verlagerung auf den ÖV.

Allerdings ist dies nicht unbedingt der investiven Wirkung einzelner Instrumente zuzuschreiben: es zeigt sich, dass ein allgemeines Anheben des Niveaus der Wirtschaftsleistung erzielt wird. Die Investitionen der Maßnahme dienen dabei als Impulsgeber und durch die Zweitrundeneffekte ergibt sich eine sich verstärkende Erhöhung des Wirtschaftswachstums durch erhöhten Konsum und die damit bedingten erhöhten Investitionen. Ähnliche Effekte sind auch in Maßnahme 2 und 3 zu beobachten.

Abbildung 33: M1: Änderung von Beschäftigung und BIP



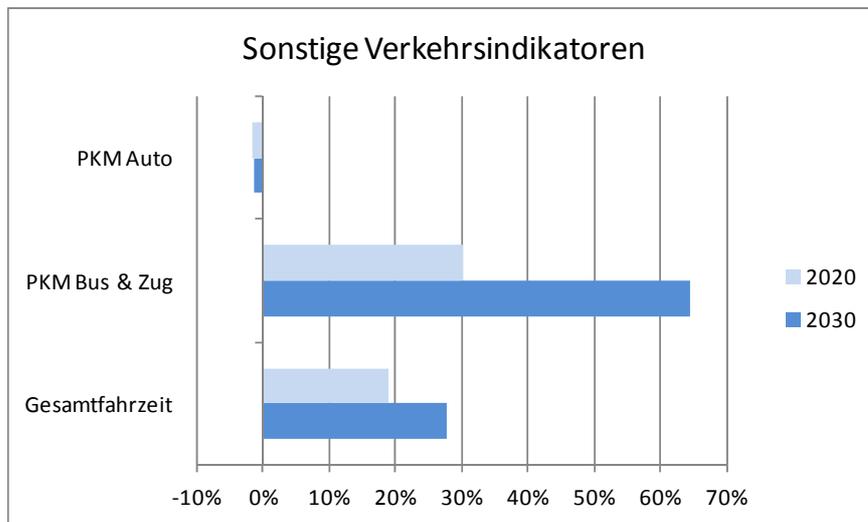
Quelle: Fraunhofer ISI

#### 6.1.4 Zeitaufwand

Die Personenkilometer per Pkw ändern sich nicht wesentlich, da es zwar Verlagerungswirkung gibt, wodurch für Kurzdistancen die Fuß- und Radwege an Attraktivität gewinnen. Der öffentliche Nahverkehr profitiert in dieser Maßnahme durch die relative Attraktivitätssteigerung gegenüber dem Pkw aufgrund der relativen Erhöhung der Geschwindigkeit. Die für die Verkehrsleistung wesentlichen Wegeraten – also im Regional- und Fernverkehr – aber werden weiterhin vom motorisierten Individualverkehr dominiert.

Die Gesamtfahrzeit wird dennoch deutlich erhöht; die baulichen Maßnahmen im Nahverkehrsbereich zur Verlangsamung des Pkw wirken sich auch auf längere Strecken aus.

Abbildung 34: M1: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung



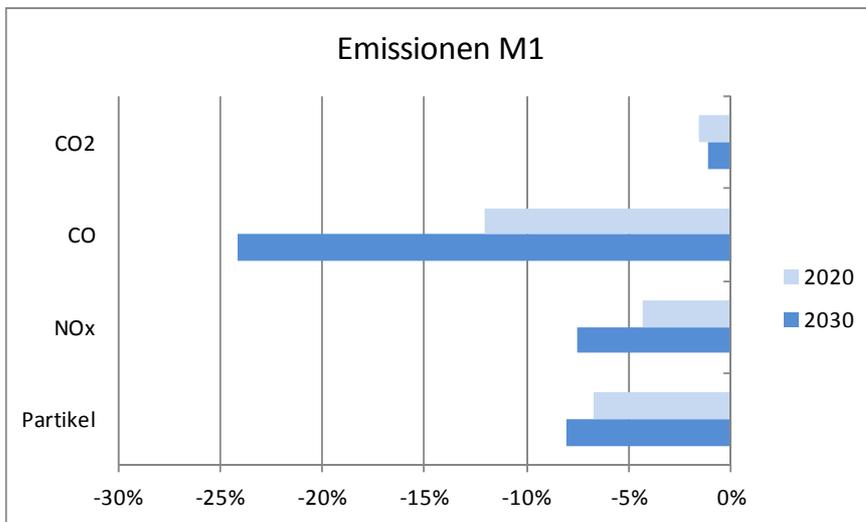
Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.1.5 Emissionen

Die Emissionen werden im Folgenden für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Partikelemissionen (PM) dargestellt. Bereits im Trendszenario bis 2030 nehmen die klassischen Emissionen NO<sub>x</sub> und PM um 70% bis 90% gegenüber 2010 ab. Der Beitrag der Maßnahme M1 liegt bei den Luftschadstoffen bei 5 bis 10%, bei den Klimagasen bei knapp 2% (siehe Abbildung 35).

Anders sieht das Bild bei den Kohlenmonoxid-Emissionen aus. Durch den Ersatz weniger Anteile des motorisierten Individualverkehrs durch die umweltfreundlichen Verkehrsträger Gehen und Radfahren können fast 25 Prozentpunkte vermindert des CO-Ausstoßes werden. Hier ist der Handlungsspielraum wesentlich größer als bei den erstgenannten Emissionen. der Luftschadstoff CO weist jedoch gegenüber den Leitschadstoffen NO<sub>x</sub> und Feinstaub (PM) eine sehr geringe Toxizität auf und ist deshalb im Gesamtbild kaum relevant.

Abbildung 35: M1: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Trendszenario



Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.1.6 Gesamtbewertung

Die Auswertung zeigt, dass die Erreichung der gesteckten Ziele, d.h. die Senkung der Emissionen des Verkehrs mittels der Steigerung von Fuß- und Radverkehr bei gleichzeitig positiver Entwicklung zentraler ökonomischer Indikatoren, möglich ist. Allerdings sind für die nur noch moderat mögliche weitere Senkung der Schlüsselschadstoffe NO<sub>x</sub> und Partikel Investitionen in Radwege und City-Maut-Anlagen deutlich über der induzierten Steigerung des Bruttoinlandsproduktes notwendig. Zudem steht der Rückgang der Umweltbelastung einem höheren Zeitbedarf der Nutzer sowie einem erhöhten Unfallrisiko gegenüber. Andererseits bedeuten mehr Fuß- und Radverkehr auch ein höheres Maß körperlicher Gesundheit der Bevölkerung, was mangels verlässlicher Durchschnittsdaten zum Trainingszustand der potenziellen neuen Radfahrer und Fußgänger nicht bewertet wurde.

## 6.2 M2: Modal Split des ÖPNV

Das Ziel der Maßnahme M2 „Steigerung des Modal Split ÖPNV“ ist es, den Anteil des ÖPNV am Nahverkehr bis 2030 um 10 Prozentpunkte gegenüber dem Trendszenario zu steigern.

In unserem Trendszenario liegt der Anteil des ÖPNV am Nahverkehr im Jahr 2030 bei 3,2%, es sind also erhebliche Anstrengungen vonnöten, eine Steigerung um das etwa Vierfache zu erreichen. Als Instrumente stehen für diese Maßnahme wieder das Bewirken einer Verhaltensänderung durch Kampagnen und Initiativen zur Verfügung, ferner

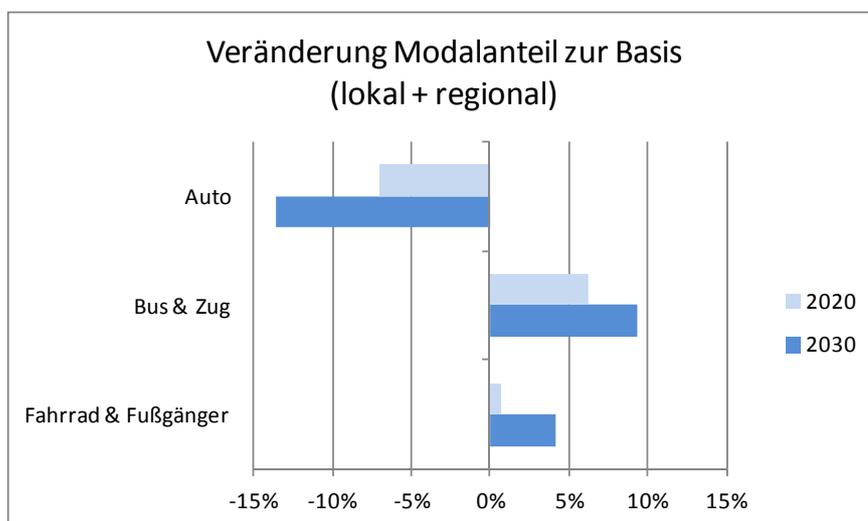
werden die Auswirkungen einer City-Maut für Pkw in Innenstädten untersucht, sowie die Auswirkungen einer Attraktivitätssteigerung des ÖPNV durch eine Verkürzung der Fahrzeiten im Nahbereich, dazu werden alle Instrumente in ASTRA-D implementiert.

### 6.2.1 Modal Split

In Maßnahme 2 wurde ein Mautsatz von 0,30 € pro innerstädtischen Trip angenommen (s.a. M1). Das Instrument Fahrzeitverkürzung wurde differenziert nach Ballungsgebieten und ländlichem Raum und beträgt zwischen 9% und 15% für den ÖPNV, je nach Verkehrsmittel. Weiter wurden in moderatem Umfang Kampagnen zur Beeinflussung der Bevölkerung implementiert, die sich auf die Modalwahlparameter auswirken. Auch hier erstreckte sich der Implementierungszeitrahmen auf die Jahre von 2015 bis 2025. Die Investitionen für die City-Maut und die Umbaumaßnahmen, die für die Fahrzeitverkürzungen notwendig sind, wurden analog M1 dynamisiert hinterlegt.

In Abbildung 36 sind die Ergebnisse für den Modalanteil der verschiedenen Verkehrsträger im lokalen und regionalen Bereich aus ASTRA-D dargestellt. Während der Anteil für Pkw um sieben Prozentpunkte (2020) und bis 2030 sogar um 14 Prozentpunkte fällt, wird sowohl der Anteil des Rad- und Fußverkehrs als auch der Anteil des ÖPNV gesteigert, die Zielmarke wird hier bis 2030 mit einer Steigerung von 9,5 Prozentpunkten fast erreicht.

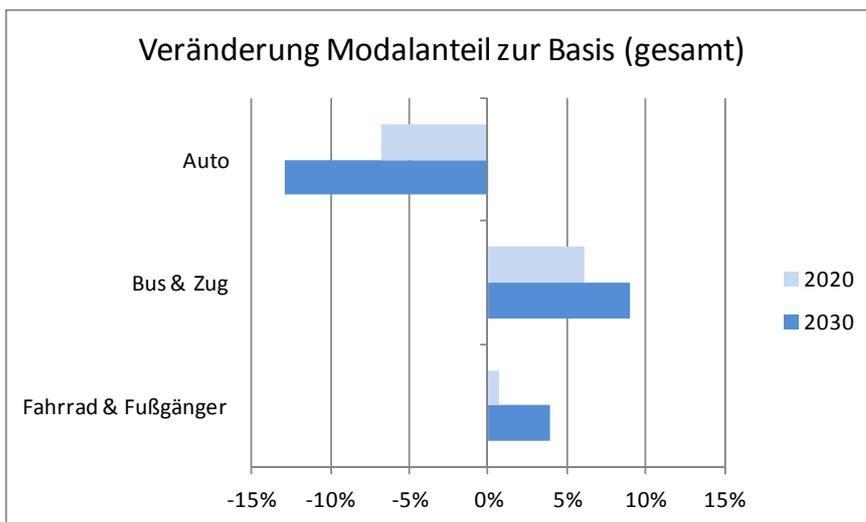
Abbildung 36: M2: Modal Split-Veränderungen (lokal und regional) des Verkehrsaufkommens



Quelle: Fraunhofer ISI

Da mit dem lokalen und regionalen Verkehr schon ein Großteil der Wege abgedeckt ist, sind die Differenzen für den gesamtdeutschen Verkehr sehr ähnlich den Differenzen im regionalen und lokalen Verkehr (siehe Abbildung 37). Allerdings muss kritisch angemerkt werden, dass auch hier keine Verlagerung im interzonalen Verkehr stattfindet und dass sich der Modalanteil auf das Verkehrsaufkommen bezieht. Die Verkehrsleistungsverteilung fällt – wie auch in M1 – anders aus.

Abbildung 37: M2: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens



Quelle: Fraunhofer ISI

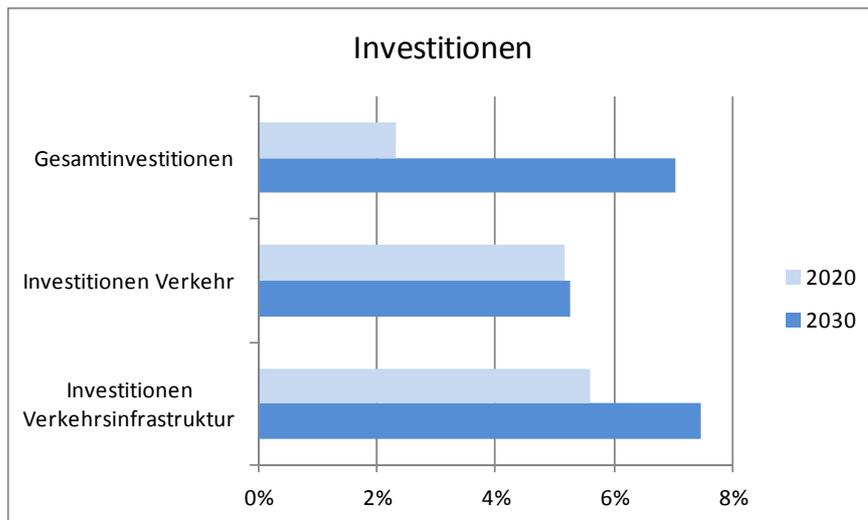
## 6.2.2 Investitionen

Die Gesamtinvestitionen geben für M2 ein vergleichbares Bild wie für M1 ab (siehe Abbildung 38); die Investitionen Verkehr folgen allerdings einem etwas anderen Pfad: durch die höhere Nachfrage nach ÖPNV-Dienstleistungen werden endogen zusätzliche Investitionen in Schienenfahrzeuge, Busse bzw. sonstige Verkehrsmittel erzeugt und generieren einen höheren Investitionsschub auch über 2020 hinaus.

Ebenfalls bemerkbar machen sich die höheren Investitionen in Infrastrukturmaßnahmen durch die Attraktivitätssteigerung des ÖV. Nicht zuletzt findet auch eine erhöhte Investitionstätigkeit durch die Erhöhung der Konsumausgaben statt, welche die Verlagerung des Verkehrs weg vom MIV mit sich bringt. Zwar finden anteilmäßig mehr Fahrten im lokalen Bereich mit dem ÖPNV statt und erhöhen so deutlich die entsprechenden Personenkilometer (s. a. Abbildung 37), allerdings geht dies einher mit einem verstärkten Verkehrsaufkommen im MIV auf regionaler Ebene, und hier insbesondere in ländlichen Gebieten. Die Steuerbelastung im MIV ist höher als die Steuer im ÖV; es fließt also bei gleicher Haushaltsbelastung ein höherer Anteil in die Wirtschaft, wenn

sich der Konsumanteil des ÖV erhöht. Somit sind die für die Wirtschaft relevanten Ausgaben für den Konsum von Verkehr(sleistungen) erhöht und bedingen einen höheren gesamtwirtschaftlichen Wachstumspfad, welcher wiederum mit zu der Erhöhung der investiven Maßnahmen führt. Die Verringerung des Steueraufkommens wird aber durch die Mehreinnahmen der City-Maut kompensiert.

Abbildung 38: M2: Änderungen der Investitionen

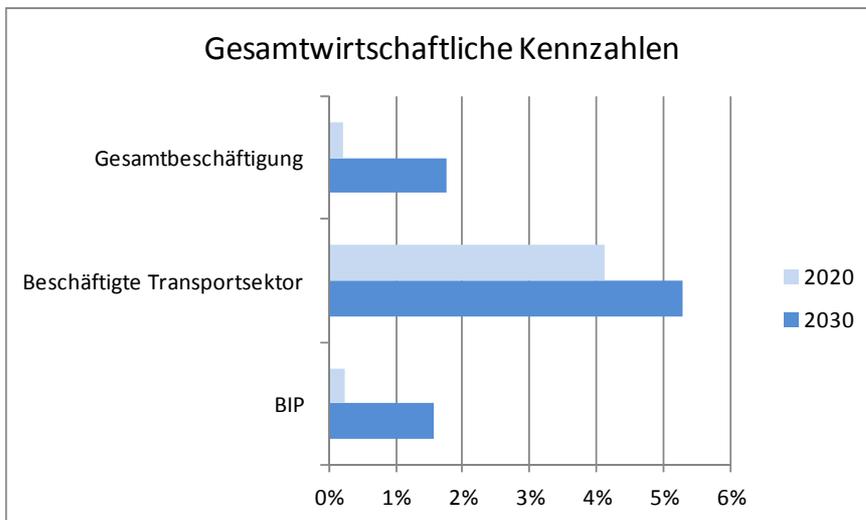


Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.2.3 Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen

Das Gesamtwirtschaftswachstum ist in dieser Maßnahme, wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, deutlicher erhöht als bei M1 (siehe Abbildung 39). Die Auswirkungen auf die Gesamtbeschäftigung sind allerdings analog zu M1 zu sehen, wenngleich hier auch Sektoren angesprochen werden, welche sich durch eine erhöhte Arbeitsproduktivität auszeichnen (wie z.B. die Produktion von sonstigen Fahrzeugen). Wie bereits im Abschnitt 6.1.3 dargestellt, werden auch in diesem Szenario Zweit rundeneffekte wirksam.

Abbildung 39: M2: Änderung von Beschäftigung und BIP



Quelle: Fraunhofer ISI

#### 6.2.4 Zeitaufwand

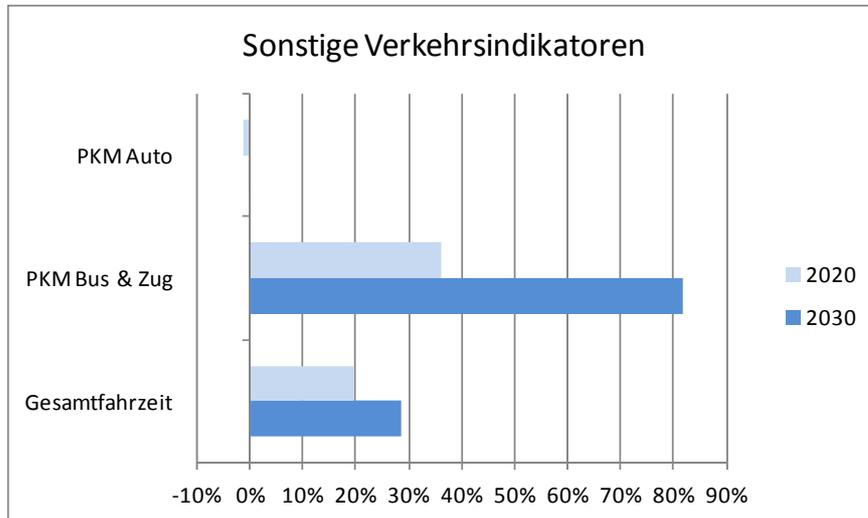
Wie in den vorherigen Abschnitten bereits herausgearbeitet wurde, ist eine deutliche Reduktion der Pkm im MIV mit dieser Maßnahme nicht erreicht worden. Zwar findet eine Verlagerung des Verkehrsaufkommens hin zum ÖPNV statt, allerdings führt dies zu einer Erhöhung der Gesamtfahrleistung, da der ÖPNV die Fahrtziele nicht direkt ansteuern kann, so wie dies beim MIV der Fall ist (Abbildung 40). Ferner findet, bedingt durch die eingesetzten Instrumente, eine nennenswerte Verlagerung der Wege zum Langsamverkehr per Rad und zu Fuß statt.

Beide Effekte spiegeln sich in den Gesamtreisezeiten der Nutzer wieder. Hinzu kommt die direkte Wirkung der Verlangsamung des Pkw-Verkehrs in Städten. Insgesamt liegt die Erhöhung der Reisezeit, welche nicht nur diejenigen Nutzer trifft, welche Ihre Verkehrsmittelwahl geändert haben, sondern die Gesamtheit der Pkw-Fahrer, in einer ähnlichen Größenordnung wie für Maßnahme M1. Mit 30 % gegenüber dem Trendszenario bedeutet diese Veränderung enorme soziale Mehrkosten.

#### 6.2.5 Emissionen

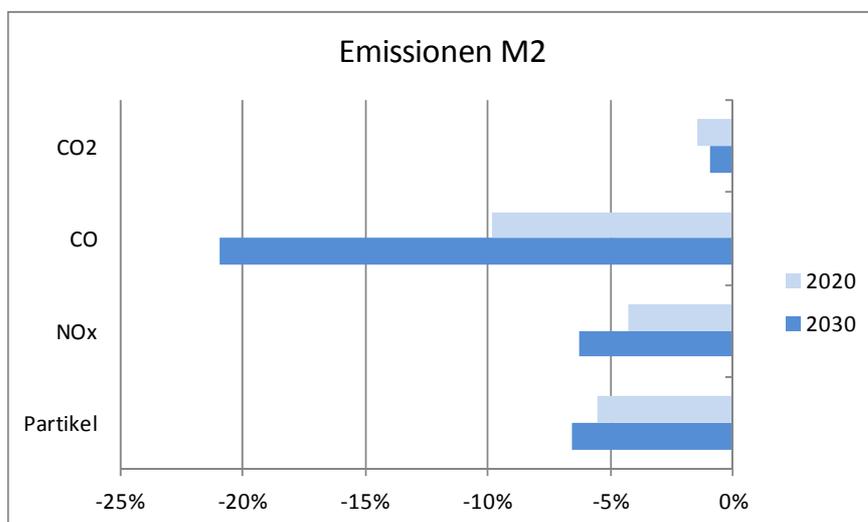
Eine Reduktion der Emissionen kann nur im Einklang mit Effizienzsteigerungen des ÖPNV erreicht werden. Wie im vorherigen Abschnitt angedeutet, wird die Gesamtfahrleistung durch den induzierten Verkehr nicht erhöht. Aus diesem Grund fällt die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sehr viel geringer aus, als die Zielsetzung der Modal-Share-Verschiebung vermuten ließe.

Abbildung 40: M2: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung



Quelle: Fraunhofer ISI

Abbildung 41: M2: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Trendszenario



Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.2.6 Gesamtbewertung

Zwar gibt es mehr öffentlichen Verkehr –was ja der Zielbeschreibung inhärent ist – aber der MIV bleibt auf ähnlich hohem Niveau wie im Trendszenario, was dazu führt, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht deutlich gesenkt werden können. Offenbar muss für einen effizienten Klimaschutz auch der interzonale Verkehr mit Instrumenten belegt werden, was in der folgenden Maßnahme geschieht.

## **6.3 M3: Verkürzung von Pkw-Wegelängen**

Ziel der Maßnahme M3 „Reduzierung der Wegelängen im motorisierten Individualverkehr“ ist es, die durchschnittliche Wegestrecke, die mit dem Pkw zurückgelegt wird, gegenüber dem Trendszenario bis 2030 um 10% zu senken.

Nach dem ASTRA-D-Trendszenario beträgt die durchschnittliche Entfernung, die für einen Weg mit dem Pkw zurückgelegt wird 2010 18,6 km und steigert sich bis 2030 auf 24,1 km, aufgrund der verstärkten Wirtschaftsleistung und einem höheren Maß an Pendelfahrten sowie dem andauernden Trend zu längeren Urlaubsreisen. Diese Strecke muss dementsprechend um 10% reduziert werden. Um dies zu erreichen wird, wie in den vorhergehenden Maßnahmen, ein Mix verschiedener Instrumente zur Erhöhung der Kosten des Pkw-Verkehrs auf langen Distanzen untersucht. Hierzu zählen eine Pkw-Maut auf Fernverkehrsstraßen und in Innenstädten (City-Maut), ein mäßiger Ausbau des Radwegenetzes und Informationskampagnen. Gleichzeitig soll auf langen Distanzen die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs durch dessen Beschleunigung und die Verbesserung seiner Erreichbarkeit gesteigert werden. Ein weiteres Instrument sind wie gehabt Kampagnen zur Aufklärung, um Veränderungen im Mobilitätsverhalten ohne ökonomische und regulatorische Instrumente zu erreichen.

Wie bei den vorherigen Maßnahmen auch, werden die einzelnen Instrumente im ASTRA-D-Modell implementiert und Simulationsläufe zum Vergleich mit dem BAU gemacht. Die Wirksamkeit der Instrumente und ihre Auswirkungen auf die wichtigsten Kenngrößen werden im Folgenden erläutert.

### **6.3.1 Modal Split**

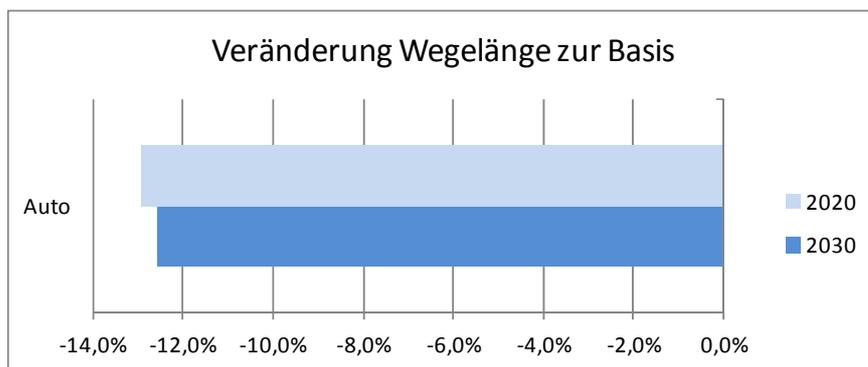
Der Mautsatz für den Pkw-Fernverkehr wurde auf 0,5 €-ct pro Kilometer gesetzt, hinzu kommt eine Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs um 10% sowie Maßnahmen, die die Erreichbarkeit des ÖV verbessern und Kampagnen in moderatem Umfang.

In der folgenden Abbildung ist zunächst die Reduzierung der durchschnittlichen Wegelänge für Pkw zu sehen. Unsere Maßnahmen sorgen sogar für eine leichte Übererfüllung des Zieles.

In Abbildung 43 ist die Auswirkung auf den Modal Split zu sehen. Während die negativen preislichen Folgen für Pkw eine deutliche Reduktion des Modalanteiles für Pkw von 7 Prozentpunkten (2020) bzw. 14 Prozentpunkten (2030) nach sich ziehen, erleben Rad- und Fußverkehr sowie vor allem der schnellere und besser erreichbare ÖV eine

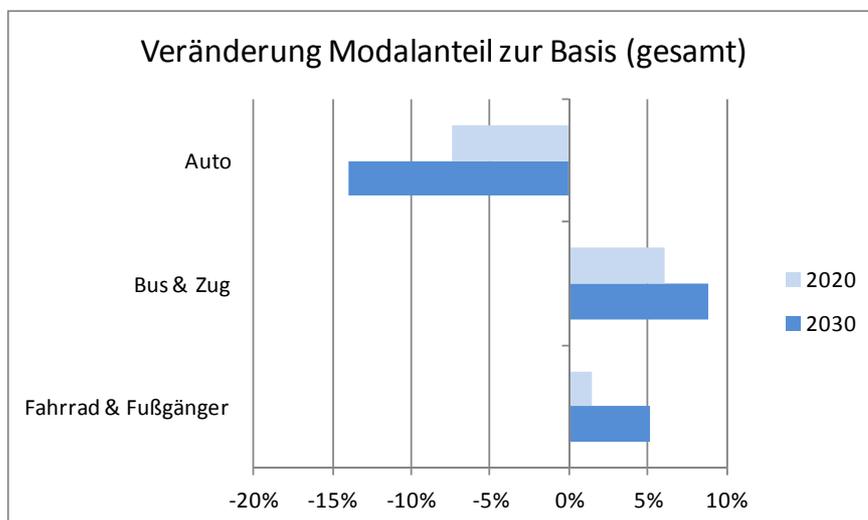
deutliche Zunahme ihres Modalanteiles. Die Verschiebung findet zunächst vor allem im Fernverkehr statt, hier greift die Einführung und sukzessive Erhöhung der Maut sofort zu Ungunsten des Pkw, mit Verzögerung machen sich die erhöhten Investitionen in Beschleunigung und Erreichbarkeit des ÖPNV bemerkbar und sorgen für eine stärkere Verlagerung auch im Nahbereich hin zum ÖPNV und durch den dadurch bedingten selteneren Pkw-Besitz auch zum Rad- und Fußverkehr bei den sehr nahen Distanzen.

Abbildung 42: M3: Rückgang der Wegelänge für Pkw



Quelle: Fraunhofer ISI

Abbildung 43: M3: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens



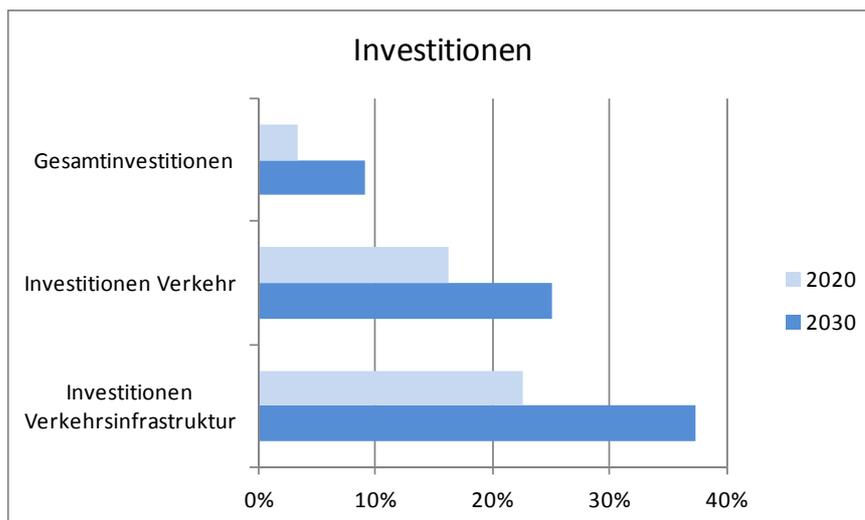
Quelle: Fraunhofer ISI

Insgesamt hat die Pkw-Maut den größten Effekt zur Reduktion der Wegelängen, aber erst die Investitionen in Erreichbarkeit und Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs sorgen auch für eine Verschiebung im Nahbereich und damit eine nachhaltige Verlagerung der Modalwahl weg vom Pkw.

### 6.3.2 Investitionen

Wie aus Abbildung 44 ersichtlich ist, steigen die Investitionen im Verkehr und in die Verkehrsinfrastruktur deutlich gegenüber dem BAU an, was auch aufgrund der gewählten Instrumente zu erwarten ist. Zur Beschleunigung des öffentlichen Verkehrs sind sowohl Investitionen in neue Fahrzeuge als auch in Infrastruktur vonnöten. Eine Verbesserung der Erreichbarkeit des ÖV wie auch die Implementierung und der Betrieb der Pkw-Maut erfordert ebenfalls Investitions- und Personalausgaben im Sektor Verkehrsinfrastruktur. Diese Investitionen bedingen Rückkopplungseffekte auf den Rest der Wirtschaft, insbesondere den Bausektor, wodurch ein Multiplikatoreffekt entsteht, der zu einer deutlichen Steigerung der Gesamtinvestitionen von 9% bis 2030 und in der Folge auch zu einem deutlich positiven Einfluss auf die Entwicklung des BIP führt, obwohl es Minderinvestitionen im Pkw-Sektor gibt.

Abbildung 44: M3: Änderungen der Investitionen



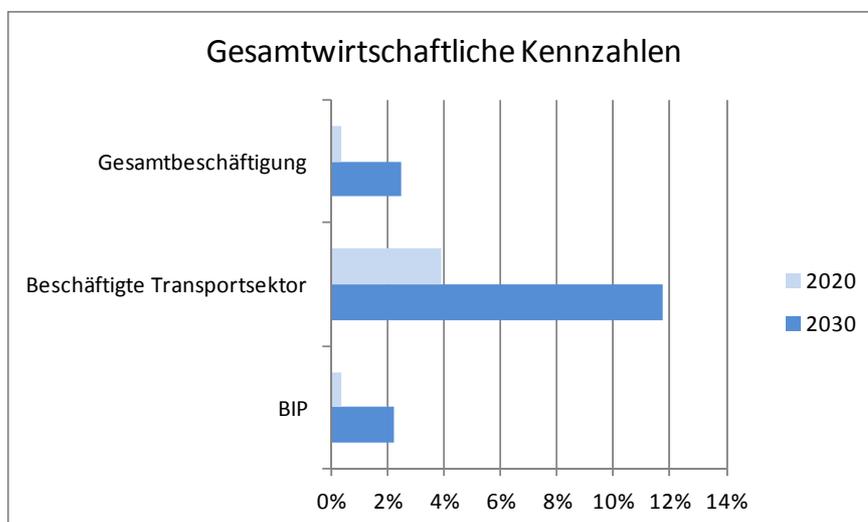
Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.3.3 Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen

Durch die verzögerte Wirkung der oben beschriebenen Multiplikatoreffekte steigt das BIP im Vergleich zum BAU bis zum Jahr 2020 kaum an, weist dann im Jahr 2030 aber mit 2,1% einen deutlich positiven Effekt auf (siehe Abbildung 45). Eine ähnliche Entwicklung nimmt die Gesamtbeschäftigung, wie man aus der nachfolgenden Grafik erkennen kann. Steigt sie bis 2020 nur unwesentlich, so wird im Jahr 2030 eine deutliche Steigerung um 2,2% erzielt. Dies erklärt sich leicht aus den anderen beiden abgebildeten Kenngrößen. Zunächst steigert sich die Beschäftigung im Transportsektor bedingt

durch die Pkw-Maut induzierte Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr, im weiteren Verlauf erhält dann einerseits die Beschäftigungsentwicklung im Transportsektor durch die immer stärkere Verlagerung mehr Schwung, zusätzlich führt das Wachstum des BIP und des Einkommens zu einer positiven Beschäftigungsentwicklung insbesondere in den Dienstleistungssektoren, was dann zu einem deutlichen Zuwachs der Gesamtbeschäftigung führt. Die Zweitrundeneffekte sind in dieser Maßnahme besonders ausgeprägt.

Abbildung 45: M3: Änderung von Beschäftigung und BIP

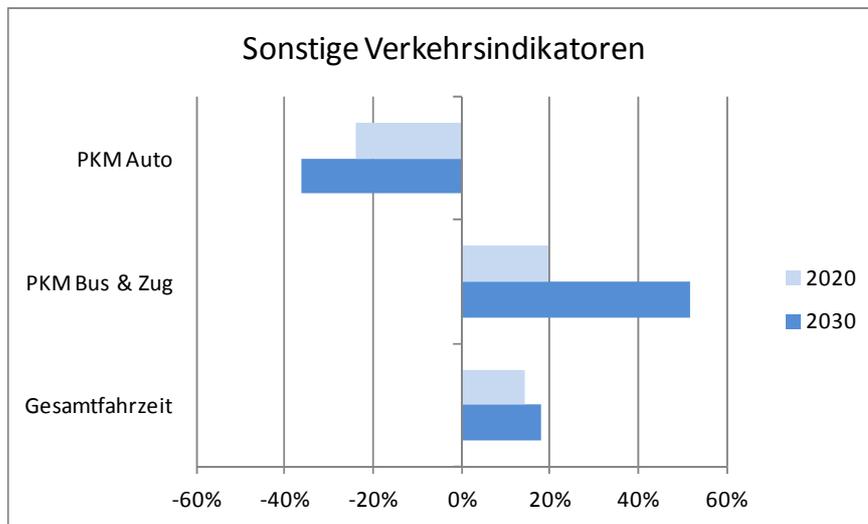


Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.3.4 Zeitaufwand

Aufgrund der Verlagerung im Modal Split ist auch eine Veränderung in der Fahrleistung zu erwarten, was sich in der Anzahl der Personenkilometer niederschlägt und so auch aus ASTRA-D erhalten wird, wie Abbildung 46 zeigt. Die Gesamtfahrzeit steigert sich trotz der verringerten Wegelänge im Pkw-Bereich durch den größeren Anteil zurückgelegter Rad- und Fußwege im Nahbereich.

Abbildung 46: M3: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung

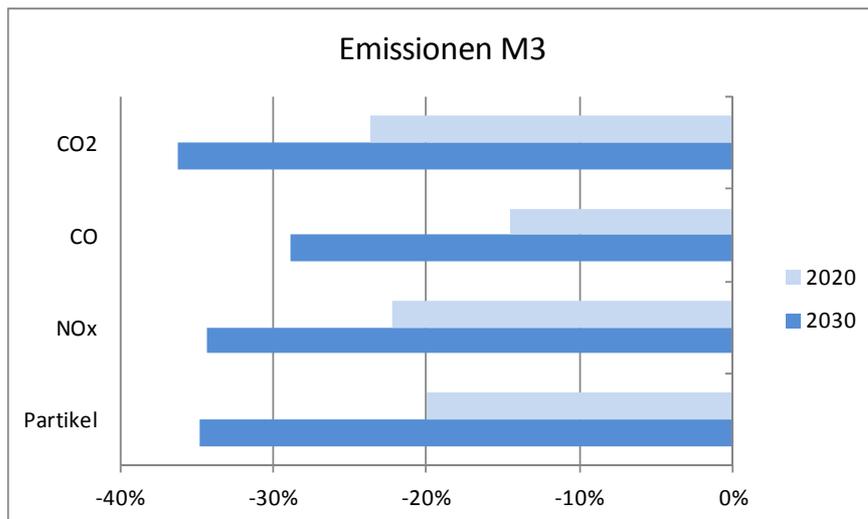


Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.3.5 Emissionen

In Abbildung 47 ist zu erkennen, dass auch bei dieser Maßnahme wieder alle maßgeblichen Emissionen deutlich gegenüber BAU sinken, dies rührt einerseits von der geringeren Anzahl Wege, die mit dem Pkw zurückgelegt werden und andererseits von der reduzierten Wegelänge her, die insgesamt zu einer deutlich geringeren Pkw-Fahrleistung führen.

Abbildung 47: M3: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Trendszenario



Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.3.6 Gesamtbewertung

Auch bei dieser Maßnahme ist es möglich, die gesetzten Ziele, nämlich Reduktion der wichtigsten Emissionen durch Verkürzung der Wegelänge Pkw bei gleichzeitiger positiver Entwicklung der wichtigsten wirtschaftlichen Kenngrößen, zu erreichen. Im Vergleich zu M1 und M2 kann diese Maßnahme die Emissionen deutlich stärker reduzieren.

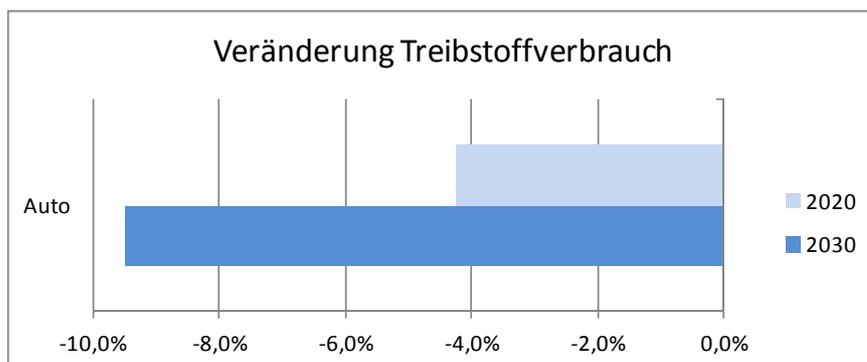
### 6.4 M4: Effizienzsteigerung im MIV

Die Maßnahme M4 hat zum Ziel, den Kraftstoffverbrauch der Pkw-Flotte insgesamt um 10% gegenüber dem Trendszenario zu senken. Dafür stehen folgende nichttechnische Instrumente zur Verfügung: Erhöhung der Kfz-Steuer für Pkw der Mittel- und Oberklasse sowie SUVs, Implementierung von „Mitfahrerspuren“ sowie Aufklärungs- und Informationskampagnen, die eine Verschiebung der Kaufpräferenzen hin zu weniger motorisierten Fahrzeugen bewirken. Die „Mitfahrerspuren“ sollen zur Bildung von Fahrgemeinschaften zur besseren Auslastung bestehender Pkws beitragen.

Durch die Umgestaltung der Kfz-Steuer alleine ist das vorgegebene Ziel der Maßnahme nicht zu erreichen. Selbst bei einer Verdopplung der Besteuerung von Fahrzeugen mit hohem Verbrauch und der Subventionierung sparsamer Pkw ist bis 2030 nur eine minimale Effizienzsteigerung im unteren einstelligen Prozentbereich zu erreichen. Verantwortlich hierfür sind die ohnehin ambitionierten CO<sub>2</sub>-Reduktionsvorgaben durch die EU-Flottengrenzwerte, welche bereits im Trendszenario berücksichtigt sind.

Um die Ziele annähernd zu erreichen müssen drastische Verhaltensänderungen angenommen werden. Die Erhöhung der Besetzungsgrade hat dabei die deutlichsten Auswirkungen. Doch selbst bei deren Erhöhung um 60% gegenüber dem Basisfall werden die 10% Kraftstoffverbrauchsreduktion bis 2030 nicht ganz erreicht (siehe Abbildung 48).

Abbildung 48: M4: Auswirkung der Maßnahmen auf den Kraftstoffverbrauch

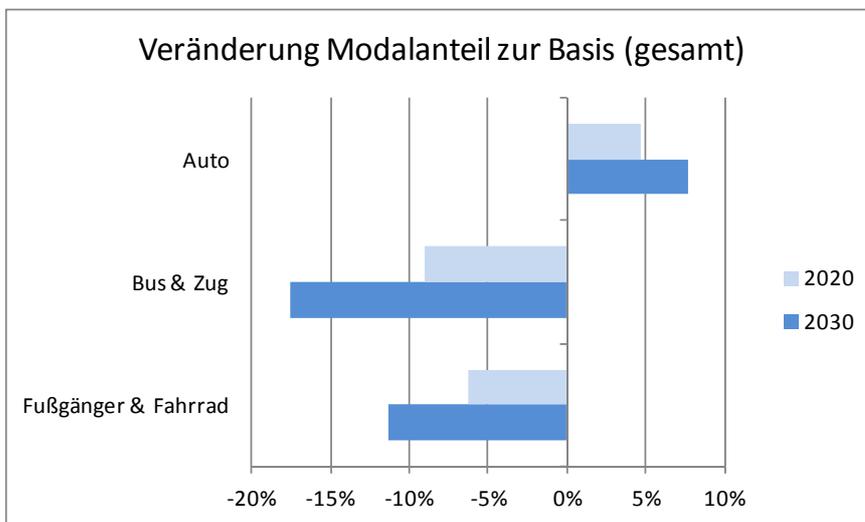


Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.4.1 Modal Split

Durch den höheren Marktanteil von Klein- und Kompaktwagen und dementsprechend sinkenden Durchschnittsverbrauchswerten sowie die Kostenreduktion durch eine höhere Auslastung mittels der Bildung von Fahrgemeinschaften wird Autofahren gegenüber dem Trendszenario günstiger. Dies schlägt sich in einer Erhöhung des Modalanteils des Pkw zu Lasten des ÖPNV nieder (siehe Abbildung 49).

Abbildung 49: M4: Modal Split-Veränderungen (gesamt) des Verkehrsaufkommens

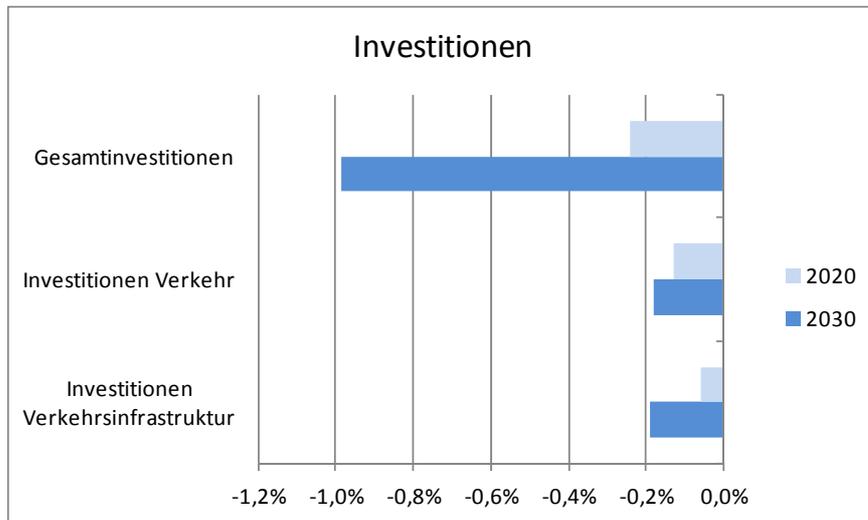


Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.4.2 Investitionen

Der Nachfragerückgang im ÖPNV bewirkt eine relative Investitionsänderung, da diese in erster Linie von den Nutzzahlen beeinflusst wird (siehe Abbildung 50). Diese Negativinvestitionen führen zu einer gesamtwirtschaftlichen Minderung, da diese Investitionen normalerweise staatlicherseits getätigt werden und bei einem Wegfall hauptsächlich dem Schuldenabbau dienen.

Abbildung 50: M4: Änderungen der Investitionen



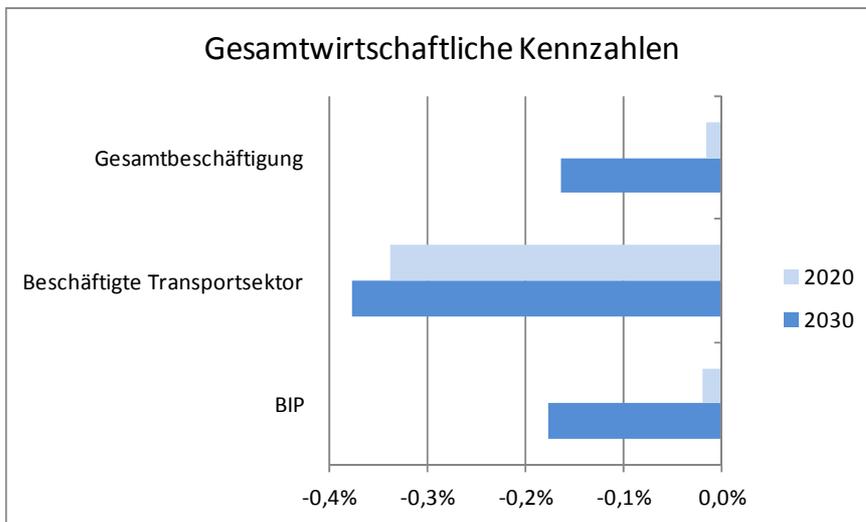
Quelle: Fraunhofer ISI

Die nicht getätigten Verkehrsinvestitionen entfalten dabei nichtlineare Multiplikatoreffekte und bewirken durch eine Verminderung der Investitionen im Bau-sektor einen stärkeren gesamtwirtschaftlichen Investitionsabfall. Hier zeigt sich einmal mehr die Stärke eines integrativen Modellansatzes.

### 6.4.3 Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen

Analog zu dem oben Geschriebenen ist hier der Wegfall der Investitionen auf BIP-Seite zu sehen: die Gesamtinvestitionen führen zu weniger Kapitalbildung und dies letztlich zu einer Verminderung der Wirtschaftsleistung. Die Beschäftigung geht dabei fast einheitlich mit dem BIP zurück, da hier die Wirtschaft insgesamt betroffen ist. Überproportional geht nur die Beschäftigung im Transportsektor zurück (siehe Abbildung 51).

Abbildung 51: M4: Änderung von Beschäftigung und BIP



Quelle: Fraunhofer ISI

#### 6.4.4 Zeitaufwand

Entsprechend den Verschiebungen des modalen Anteils erhöht sich auch die Summe der Personenkilometer des Autos. Die Personenkilometer steigen im ÖV insgesamt ebenfalls; hier allerdings lediglich auf der Langstrecke. Im investitionsintensiven Nahverkehr sinkt diese Kennzahl. Eine Erklärung für den Anstieg ist die relative Verbilligung des Transportes. Damit steigen die Konsumausgaben im Transportsektor durch den induzierten Verkehr. Deutlich wird die Konsumsteigerung noch, wenn man sich die Ergebnisse aus den vorherigen beiden Abschnitten vergegenwärtigt: die Gesamtinvestitionen gehen zurück; viel stärker noch als das BIP. Die Differenz wird durch den Konsum aufgefangen und die „Minusinvestitionen“ schlagen nicht im vollen Umfang auf das BIP durch (siehe Abbildung 52).

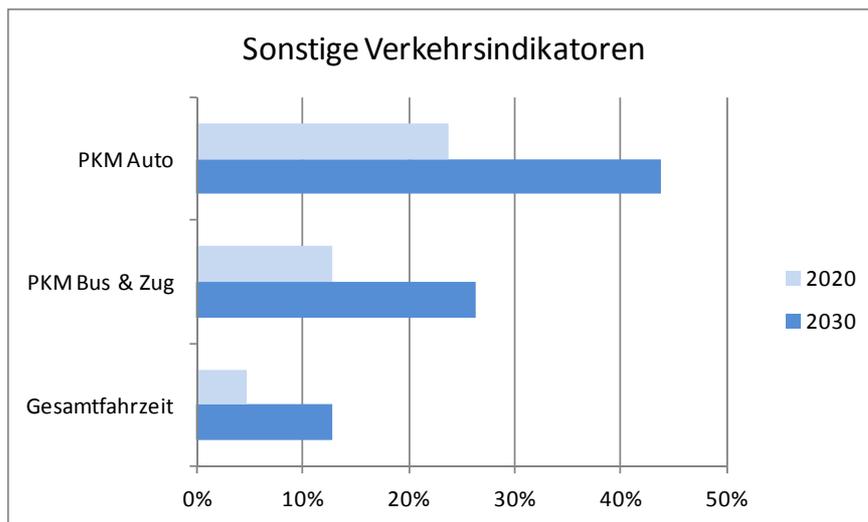
Die Veränderung der Gesamtfahrtzeit ist vor allem auf die Erhöhung im öffentlichen Fernverkehr zurückzuführen. So werden in diesem Szenario längere Fahrten durchgeführt und damit erhöht sich auch das Zeitbudget, welches dem Verkehr zugestanden wird, leicht.

#### 6.4.5 Emissionen

Trotz der Erhöhung des Verkehrsaufkommens sinkt die Emissionsbelastung. Dies wird im Pkw-Bereich durch die Auslastungserhöhung um 60% erreicht: die Personenkilometer entwickeln sich dadurch nicht im selben Umfang wie die Fahrzeugkilometer. Dies wird besonders bei den Kaltstartemissionen deutlich, welche in engem Zusammenhang mit der Wegeanzahl, und nicht der Fahrzeugkilometer stehen. In Maßnahme M4 steigt

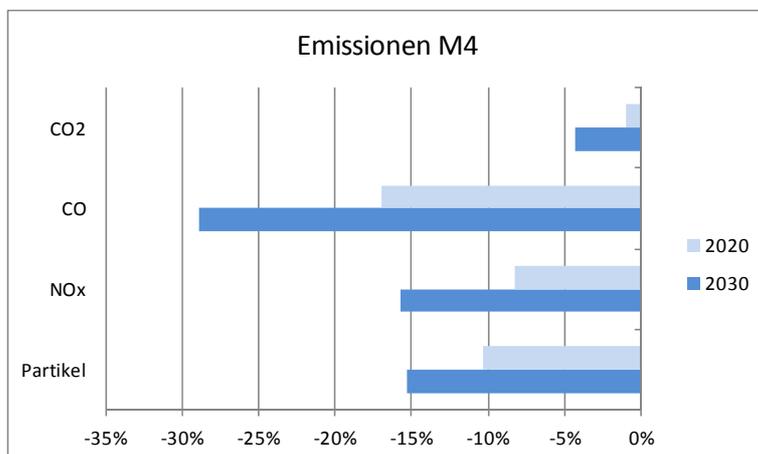
zwar aufgrund modaler Verlagerungen vom öffentlichen Verkehr die Gesamtzahl an Wegen, welche mit dem Auto zurückgelegt werden; da sich der Besetzungsgrad allerdings ebenfalls erhöht, sind die Werte für CO, NOx und die Partikel zum Teil deutlich niedriger.

Abbildung 52: M4: Fahrzeitveränderung sowie Änderung der Verkehrsleistung



Quelle: Fraunhofer ISI

Abbildung 53: M4: Rückgang der Emissionen im Vergleich zum Trendszenario



Quelle: Fraunhofer ISI

#### 6.4.6 Gesamtbewertung

Diese Maßnahme zeigt, dass eine Kraftstoffreduktion im gewünschten Maße nur unter Annahme drastischer Änderungen im Nutzerverhalten möglich ist. Dies bezieht sich

sowohl auf das Verhalten beim Pkw-Kauf; hier ist eine deutliche Steigerung des Kaufes von Kleinwagen zu Ungunsten von Mittel- und Oberklassewagen vonnöten; als auch auf die Einstellung gegenüber Fahrgemeinschaften. Der Besetzungsgrad musste hier um 60% gesteigert werden, um zur gewünschten Zielgröße zu gelangen.

Außerdem tritt als Nebeneffekt eine politisch nicht gewünschte Verlagerung des Verkehrs hin zum Pkw infolge dieser Maßnahme auf. Zusätzlich gibt es durch die relative Verbilligung des Verkehrs eine Nachfrageverschiebung hin zu längeren Distanzen. Effizienzgewinne bei der Motorentwicklung können über Rebound-Effekte auch negative Begleiterscheinungen haben.

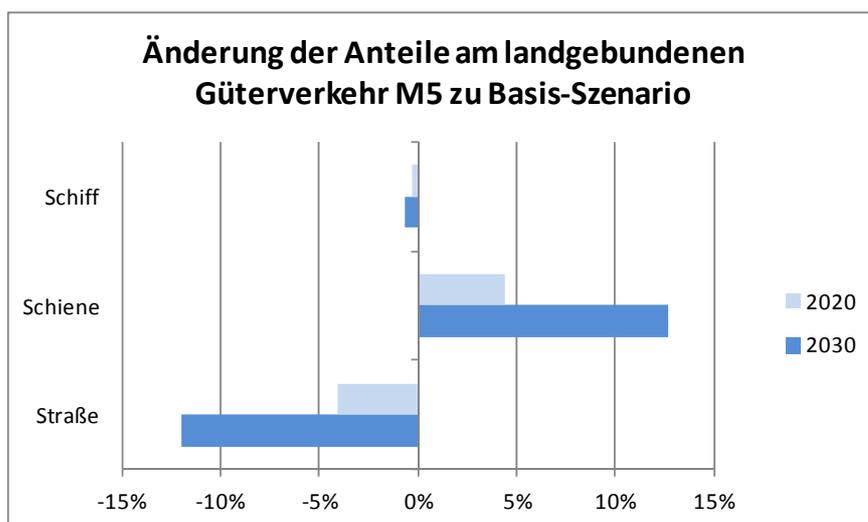
## 6.5 M5: Steigerung des Modal Split im Bahngüterverkehr

Maßnahme 5 betrachtet den Güterverkehr als Aktionsfeld zur Reduktion von Emissionen. Da der Bereich Transport und Logistik für einen großen Teil der Umweltbelastung des Verkehrs verantwortlich zeichnet, soll die Maßnahme im Folgenden ausführlicher als die Maßnahmen M1 bis M4 im Personenverkehr behandelt werden.

### 6.5.1 Modal Split

Ziel der Maßnahme ist ein Wachstum des Anteils des Schienengüterverkehrs bis 2030 um 10 Prozentpunkte gegenüber dem Trendszenario. Der Marktanteil bezieht sich auf die Güterverkehrsleistung (in Tonnenkilometern Tkm) der gesamten landgebundenen Verkehrsträger.

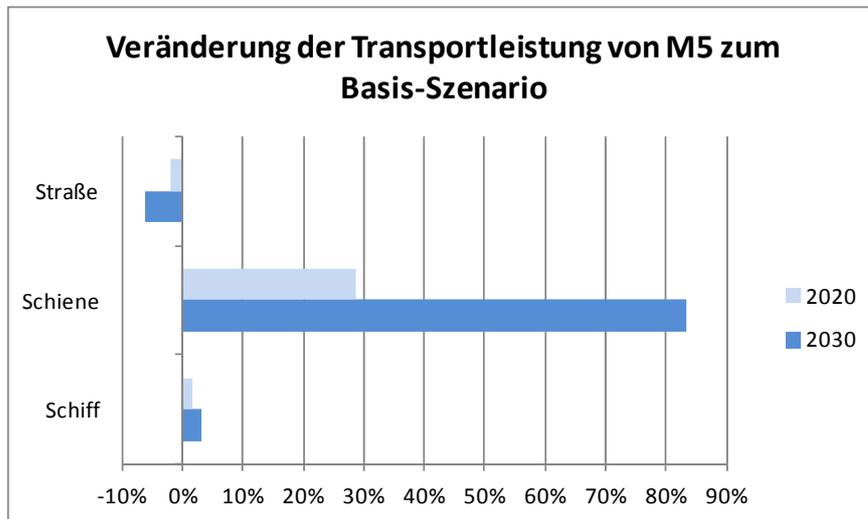
Abbildung 54: M5: Modal-Split-Änderung im Güterverkehr bis 2030



Quelle: Fraunhofer ISI

Hierbei ist zu beachten, dass die Steigerung des Schienengüterverkehrs um 10 Prozentpunkte für diesen einen Transportleistungszuwachs von über 80% bedeutet.

Abbildung 55: M5: Zuwachs der Transportleistung Schiene



Quelle: Fraunhofer ISI

Zur Erreichung des Zielwertes wird eine Kombination der folgenden Instrumente betrachtet:

- **Ausweitung der Lkw-Maut:**  
Erhöhung auf 30 €/100 Fzkm für schwere Nutzfahrzeuge (>12 t) und Einführung einer Maut von 9 €/100 Fzkm für leichte Nutzfahrzeuge.
- **Beschleunigung des Schienengüterverkehrs:**  
Reduktion des Zeitaufwandes bei Vor- und Nachlauf, sowie beim Rangieren. Daraus resultiert eine Fahrzeitreduktion über alle Relationen und Zuggattungen gegenüber dem Trendszenario in Höhe von 5%.
- **Produktivitätssteigerung des Schienengüterverkehrs:**  
Durch eine Erhöhung der Auslastungsgrade der Züge kann die Produktivität um 8% bis 20% je nach Art des Gutes gesteigert werden.

Zusammenfassend werden somit die 10 Prozentpunkte Wachstumspotenzial des Marktanteils Bahnverkehr bis 2030 erreicht.

## 6.5.2 Investitionen

Die Investitionskosten für die Implementierung des Instruments Ausdehnung der Lkw-Maut werden mit 300 Mio. € für das Schienennetz sowie mit 10% der jährlichen Be-

triebskosten der Lkw-Maut (600 Mio. €) abgeschätzt. Hinzu kommen die flottenbedingten Investitionen und indirekten Effekte aus der unterschiedlichen Produktivität der Verkehrsträger. Damit sind Verschiebungen innerhalb der Lkw-Flotte einerseits hin zu umweltfreundlicheren Fahrzeugen und andererseits innerhalb der Fahrzeuggewichtsklassen zur Optimierung von Mautzahlungen gemeint.

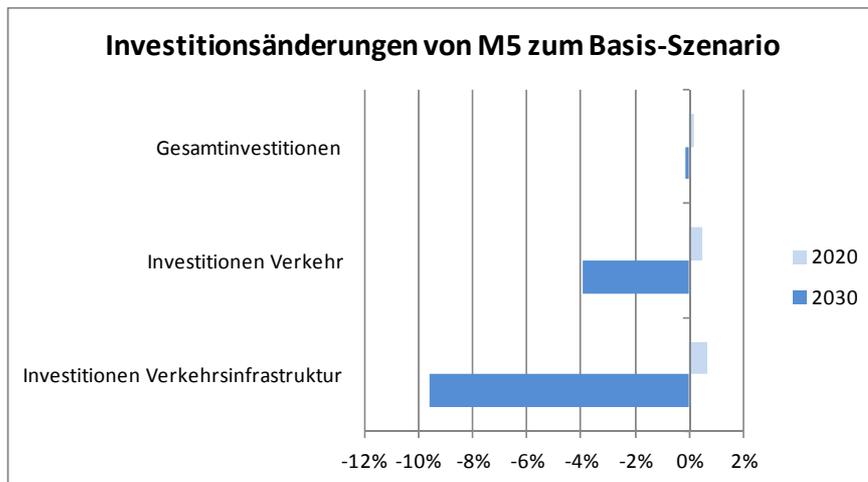
Das Instrument der Beschleunigung Schiene könnte mit geringeren Kosten eingesetzt werden, etwa durch das Einsparen von Rangiervorgängen, der Modernisierung von Kupplungsvorgängen durch duale Kupplungen, der Reduktion von Umspannvorgängen durch den Einsatz von hybriden dieselektrischen Lokomotiven oder die verbesserte Kommunikation zwischen Versender und Bahnunternehmen. Lediglich im Seehafen-Hinterlandverkehr (Y-Trasse, Betuwelijn) und im Zugang zu den NEAT-Tunneln (Rheinschiene, München) wären umfangreichere Netzinvestitionen erforderlich. Angenommen wird ein konstanter Investitionsbetrag von 600 Mio. € p.a. über dem Basisfall.

Eine Erhöhung der Auslastungsgrade von Zügen steigert die Produktivität und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Bahn. Sie kann durch die Ausweitung der durch das Eisenbahnbundesamt (EBA) maximal zugelassenen Zuglänge von derzeit 740 m oder durch eine optimierte Umlaufplanung einschließlich der Leerwagenlogistik erreicht werden. Mit Blick auf den zurzeit laufenden Test mit Güterzügen mit einer Gesamtlänge von 835 m zwischen Padborg (Dänemark) und Maschen (Hamburg) wird ein maximal erreichbares Wachstum der Auslastungsgrade zwischen 20% und 25% bis 2030 im gesamten deutschen Bahnnetz angenommen. Das ASTRA-D-Modell weist für diesen Zuwachs an Produktivität, welcher direkt in sinkende Transportpreise übersetzt wird, eine vollständige Erreichung der Vorgaben der Maßnahme aus. Für den Ausbau von Überholgleisen, Rangier- und Abstellanlagen wird ein jährlicher Investitionsbedarf von 400 Mio. € unterstellt.

Zur Erreichung des Verlagerungsziels bis 2030 wird ein Instrumentenmix unterstellt, in welchem die obigen Komponenten in abgeschwächter Form implementiert werden. Unterstellt werden jährliche öffentlich getragene Investitions- und Betriebskosten von 60 Mio. Euro für die Anpassung der Lkw-Maut, 500 Mio. Euro für Schieneninvestitionen und 600 Mio. Euro Betriebszuschuss zur Effizienzsteigerung im Bahngüterverkehr.

Bei Verlagerungen des Güterverkehrs auf die Schiene werden zunächst die Investitionen in Straßenfahrzeuge negativ sowie Ausgaben für rollendes Material der Bahn positiv stimuliert. Nach den Ergebnissen des ASTRA-D-Modells ist der Saldo negativ, da die Kapitalintensität durch die langen Nutzungsdauern und entsprechend niedrigen Abschreibungsraten von Lokomotiven und Waggons bei der Bahn geringer ist als beim Lkw (siehe Abbildung 56).

Abbildung 56: M5: Verringerte Investitionen durch Verlagerung des Güterverkehrs



Quelle: Fraunhofer ISI

### 6.5.3 Gesamtwirtschaftliche Kennzahlen

Die gesamtwirtschaftlichen Indikatoren beschreiben die Wirkungen der Maßnahme und deren Instrumente auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP), die Beschäftigung im Verkehrssektor sowie die Gesamtbeschäftigung.

Das BIP folgt in groben Zügen den Investitionshöhen in Fahrzeuge und Anlagen. Durch die Stimulation der Fahrzeug-Neubeschaffung im Mautszenario ist hier die am deutlichsten positive Entwicklung gegenüber dem Trendszenario zu verzeichnen.

Die sektorale Beschäftigung wird im Wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt: Investitionstätigkeiten in die Verkehrsnetze, Fahrzeugproduktion und den Betrieb der Verkehrssysteme.

- Infrastrukturinvestitionen als Teil des Hoch- und Tiefbausektors sind durchaus nennenswerte Größenordnungen, welche sich im Arbeitsmarkt widerspiegeln werden. Als problematisch könnte sich jedoch der in den vorliegenden Instrumenten angenommene Fall des abrupten Auslaufens der Investitionstätigkeit auf den Arbeitsmarkt auswirken.
- Der Fahrzeugbau umfasst im vorliegenden Fall sowohl Lkw als auch Schienenfahrzeuge. Diese zeigen im Fall des Straßenverkehrs einen Rückgang, während bei der Bahn Bedarf für Neuinvestitionen geschaffen wird. Entsprechend könnten sich diese Positionen neutralisieren.
- Der dem Sektor Verkehr zugehörige Betrieb von Straßenfahrzeugen und Bahnunternehmen wird – ähnlich dem Fall der Fahrzeuginvestitionen – divergent stimuliert werden. Statistische Kenngrößen zeigen jedoch, dass die Beschäftigungsintensität

im Bahnbereich über dem des Straßengüterfernverkehrs liegt. Entsprechend wäre hier eine positive Entwicklung bei gleichbleibender Wertschöpfung zu erwarten.

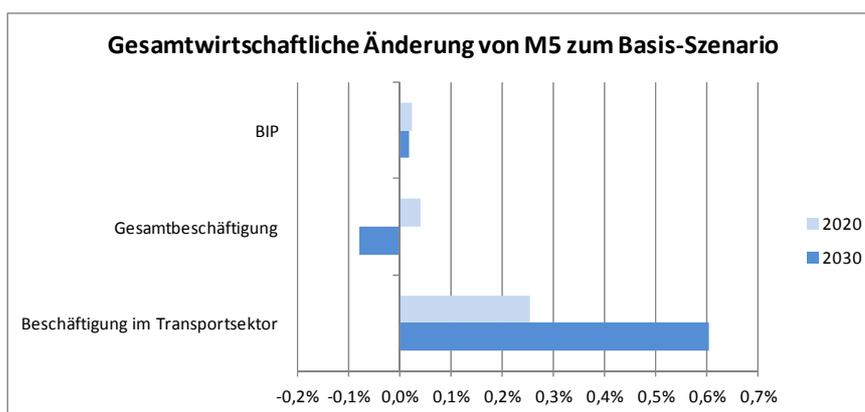
Während die Beschäftigung im Bausektor im Zeitraum der Maßnahmen (2020) positiv stimuliert ist, fällt diese zum Maßnahmenende deutlich negativ ab. Hingegen wächst die Beschäftigung im Verkehrssektor auch nach Auslaufen der Investitionstätigkeit, was durch die damit geschaffenen Marktbedingungen erklärt wird.

Mit einer negativen Entwicklung im Handel sowie in einigen Produktionsbereichen ist jedoch nach den Modellergebnissen zu rechnen. Diese beruhen im Kern auf der größeren Bedeutung des Straßenverkehrs für diese endverbrauchernahen Märkte, welche dann schwerer oder nur unter höheren Kosten bedient werden können. Ferner spielen Multiplikatoreffekte des in 2030 rückläufigen Bausektors eine Rolle bei der Entwicklung anderer Wirtschaftsbereiche.

Im Simulationsverlauf wird die gesamtwirtschaftliche Entwicklung zunächst durch die positive Wirkung der Lkw-Maut, auf die Beschäftigung in der Automobilproduktion durch kürzere Nutzungsdauern der Fahrzeuge und beim Betrieb des Mautsystems stimuliert. Dieser Effekt wird jedoch gegen 2030 durch die negative Wirkung der Rationalisierung im Bahnsektor auf die Beschäftigung gebremst.

Zusammenfassend fallen die Effekte der Maßnahme „Güterverkehrsverlagerung“ und deren Instrumente auf die gesamtwirtschaftlichen Indikatoren durchwachsen aus. Während Investitionen und Beschäftigung zum Laufzeitende der Instrumente negativ abfallen, ergibt sich für das Bruttoinlandsprodukt ein eher positiver Saldo.

Abbildung 57: M5: Wachstumseffekte anhand Beschäftigung/BIP



Quelle: Fraunhofer ISI

#### **6.5.4 Zeitaufwand**

Durch die Verlagerung von der Straße zur Schiene verlangsamen sich Transporte grundsätzlich. Jedoch bedingen die Anstrengungen zur Beschleunigung der Bahn, das sich auch die Transportzeiten der bestehenden Kontrakte auf der Schiene verringern. Schließlich ist die Beschleunigung auf der Straße durch den Wegfall eines Teils der Lkw-Fahrten zu bilanzieren. Dies wird hier jedoch nur in begrenzten Umfang getan, da gleichzeitig die benötigten Mittel zum Ausbau der Schiene von Straßenbauetat abgezogen werden. In der Summe erhöhen sich die gesamten Transportzeiten um etwa 2 Mrd. Tonnen-Stunden 2030.

#### **6.5.5 Emissionen**

Die ökologische Nachhaltigkeit der Maßnahmen und deren Instrumente wird anhand der drei Leitmissionen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Partikel untersucht. Für den Straßenverkehr wurden die Entwicklungen der Emissionen pro Tonnenkilometer als Durchschnittswerte über den Verkehrsmix mittels des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA) für die Jahre 2010, 2015, 2020, 2025 und 2030 nach Fahrzeuggruppen bestimmt. Für Bahn und Wasserstraße wurden die durchschnittlichen Emissionen über alle Energiequellen des TREMOD-Modells herangezogen. Diese Tkm-spezifischen Emissionsfaktoren wurden schließlich mit den Verkehrsmengen nach Instrumenten multipliziert, um die jährlichen Gesamtemissionen zu erhalten. Als Ergebnisindikator wird schließlich der prozentuale Unterschied zwischen Maßnahme und Basisfall gewählt.

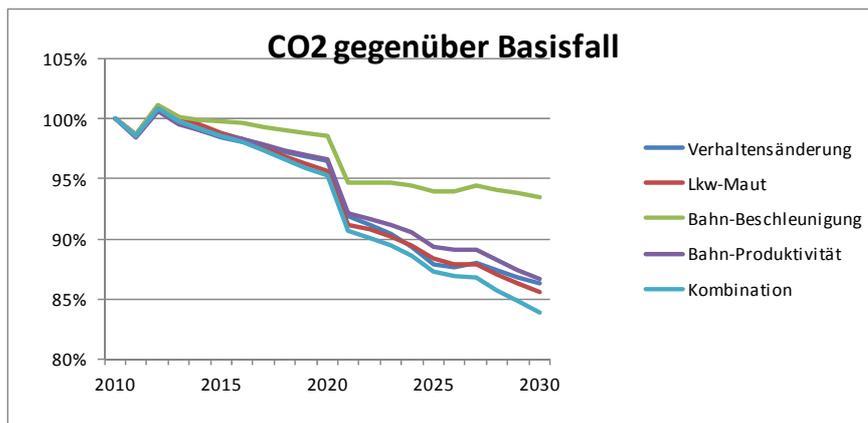
##### **1. Klimawirkung**

Die Klimagasemissionen des Bahngüterverkehrs betragen im Jahr 2010 10% bis 20% der Emissionen im Straßengüterverkehr. Während Lkw durch den weiteren Druck hin zu schadstoffärmeren Motoren Schwierigkeiten mit einer gleichzeitigen motorseitigen Senkung des Kraftstoffverbrauchs aufweisen werden (HBEFA, 2011), lässt sich für den Schienengüterverkehr eine Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes je Tkm von 50% bis 2030 erwarten. Dies liegt vor allem an der Option einer effizienteren Stromproduktion und dem Einsatz alternativer Energiequellen. Jedoch bestehen auch bei Lkw große Effizienzpotenziale in den Bereichen Aerodynamik, Bereifung, Fahrerassistenzsysteme und Motorsteuerung.

Insgesamt lassen sich bei einem Wachstum des Schienengüterverkehrs um 10 Prozentpunkte – je nach eingesetztem Instrument – 13% bis 17% CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen. Am besten schneidet dabei die Kombination der Instrumente ab, wobei der Unter-

schied derjenigen Instrumente, mit denen das gesetzte Verlagerungsziel erreicht werden kann, nur unwesentlich ist.

Abbildung 58: Klimawirkung der Instrumente bis 2030



Quelle: Fraunhofer ISI, ASTRA-D-Modellergebnisse, 2011

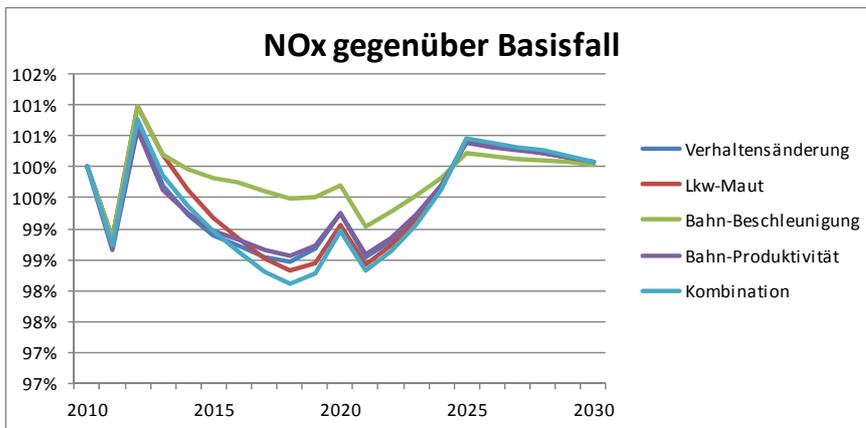
## 2. Stickstoffoxide (NOx)

Durch die zukünftigen Lkw-Emissionsnormen Euro VI (ab 2014) und Euro VII (mutmaßlich ab 2020) wird der Ausstoß von Stickstoffoxiden im Lkw-Bereich noch einmal deutlich abgesenkt werden. HBEFA rechnet hier mit einer Absenkung auf 9% 2030 gegenüber 2010. Im gleichen Zeitraum wird für die Bahn eine Reduktion auf 61% und für das Binnenschiff auf 67% gegenüber 2010 vorausgesagt.

Entsprechend werden sich die tonnenkilometrischen Emissionen im Jahr 2030 zwischen Bahn und Straße nur unwesentlich unterscheiden. Durch die bevorstehende Verschärfung der Abgasnormen mit Euro VI gilt dies annähernd bereits 2020. Desweiteren ist zu beachten, dass Bahntransporte durch Rangiervorgänge und Streckenführung in der Regel eine größere Streckenlänge aufweisen als Straßentransporte auf der gleichen Relation.

Dementsprechend weist das ASTRA-D-Modell selbst unter den ambitionierten Zielen der vorliegenden Maßnahmen positiven Saldo für die Emission von Stickoxiden in den Zieljahren 2020 und 2030 aus. Zwar wird im Zeitverlauf eine Absenkung der Stickoxide um wenige Prozentpunkte erreicht werden, diese wird aber durch die zunehmende Emissionsreduktion bei Lkw wieder kompensiert (Abbildung 59).

Abbildung 59: Wirkung der Instrumente auf Stickoxide bis 2030



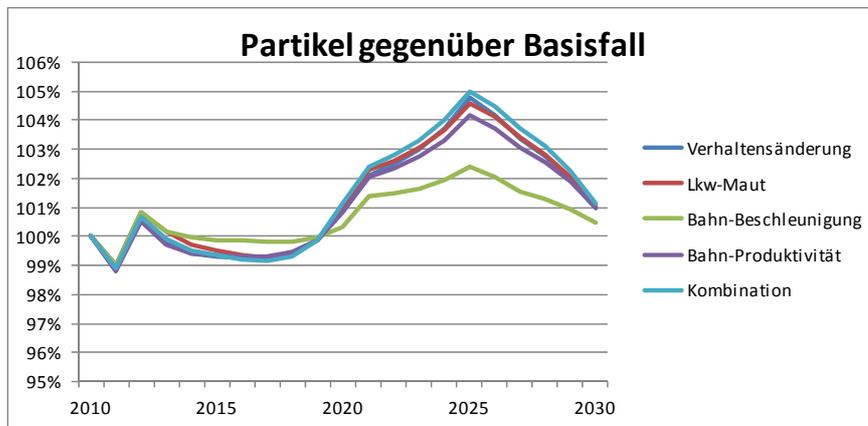
Quelle: Fraunhofer ISI, ASTRA-D-Modellergebnisse, 2011

### 3. Partikelemissionen

Für Partikel und Feinstaub gelten im Wesentlichen die gleichen Aussagen wie für die Stickoxide. Auch diese werden durch zu zukünftigen Lkw-Emissionsnormen drastisch gesenkt. HBEFA geht von einer Minderung der spezifischen Flottenemissionen auf 12% bis 2020 und weiter auf 6% 2030 gegenüber 2010 aus. Jedoch kann auch die Bahn hier ihren Ausstoß deutlich auf 65% 2020 und 29% 2030 gegenüber 2010 reduzieren.

Insgesamt zeigen die ASTRA-D-Modellergebnisse ein noch schwierigeres Bild als für die Stickoxide. Nach geringfügigen Schwankungen bis etwa 2020 steigen die Gesamtemissionen gegenüber dem Basisfall bis 2025 um 5% gegenüber 2010. Erst gegen Ende des Betrachtungshorizontes kommt die Reduktion der Emissionsfaktoren – vornehmlich im Straßenverkehr – zum Tragen. Insgesamt ergibt sich bis 2030 gegenüber dem Basisfall ein leicht erhöhter Partikelaußstoß (Abbildung 60).

Abbildung 60: Wirkung der Instrumente auf Partikelemissionen bis 2030



Quelle: Fraunhofer ISI, ASTRA-D-Modellergebnisse, 2011

#### 4. Fazit zur Nachhaltigkeitsbewertung

Tabelle 28 stellt die Emissionsfaktoren der Verkehrsträger gegenüber 2010 sowie die Emissionsindikatoren im Verhältnis zum Basisfall zusammen.

Tabelle 28: Zusammenfassung der Emissionsindikatoren gegenüber Trendszenario

Fahrzeuggruppe/ Instrument	NO <sub>x</sub>		Partikel		CO <sub>2</sub>	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Entwicklung Emissionswerte pro Tkm gegenüber 2010						
Lkw >12t zGG	16%	9%	12%	6%	102%	102%
Bahn	81%	61%	65%	29%	75%	50%
Binnenschiff	84%	67%	92%	83%	95%	90%
Reduktion Gesamtemissionen gegenüber Trendszenario						
Verhaltensänderung	99%	100%	101%	101%	97%	86%
Lkw-Maut	99%	100%	101%	101%	96%	86%
Bahn-Beschleunigung	100%	100%	100%	100%	99%	94%
Bahn-Produktivität	99%	100%	101%	101%	97%	87%
Kombination	99%	100%	101%	101%	95%	84%

Quelle: Fraunhofer ISI, ASTRA-D-Modellergebnisse, 2011

Aus ökonomischer Sicht sind Klimagase die weitaus bedeutendste Größe unter den Emissionen. Bereits 2008 übersteigen diese mit 18,8 Mio. € die der Luftschadstoffe mit 13,0 Mio. € bei schweren Lkw in Europa (Essen et al., 2011). Bei der gezeigten deutlichen Absenkung der NO<sub>x</sub>- und Partikelemissionen durch zukünftige Schadstoffnormen zusammen mit der ansteigenden ökonomischen Bewertung der Treibhausgase (vgl.

Tabelle 20) wird bis 2030 die Bedeutung der Luftschadstoffe im Güterverkehr schließlich vernachlässigbar gering werden.

Vor diesem Hintergrund können die ermittelten Modellergebnisse zu einer positiven Schlussfolgerung beitragen: Kern der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung im Verkehr muss die Emission von Klimagasen sein. Diese lässt sich durch nichttechnische Maßnahmen deutlich senken.

Nach van Essen et al. (2011) betragen die durchschnittlichen externen Kosten im Flottenmix 2010 für Lkw auf Autobahnen 0,21 €/Fzkm und für Güterzüge mit elektrischer Traktion außerorts 1,76 €/Zug-km. Mit Beladungsraten von 10,7 t und 407 t ergeben sich externe Kosten von 19,7 €/1000 Tkm (Lkw) und 4,32 €/1000 Tkm (Güterzug). Hinzu kommen Unfallfolgekosten i.H.v. 10,2 €/1000 Tkm im Straßengüterverkehr gegenüber 0,2 €/1000 Tkm in Bahngüterverkehr. Bis 2030 lassen sich die externen Kosten gegenüber 2010 voraussichtlich beim Lkw um 30% und bei der Bahn um 40% reduzieren (Kienzler, 2011 und Akkermans et al., 2010).

Damit lassen sich, wie in Tabelle 29, die zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen den eingesparten externen Kosten gegenüberstellen. Der Saldo fällt zunächst negativ aus, jedoch macht sich nach Auslaufen der Investitionsmaßnahmen nach 2025 die Wegbereitung für eine nachhaltigere Marktstruktur bezahlt.

Tabelle 29: Saldo der Kosteneinsparungen durch Verminderung externer Kosten (+) und Zusatzinvestitionen (-) (Mio. Euro)

Instrument	Externe Kosten		Infrastrukturkosten		Saldo	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Verhaltensänderung	244,45	665,61	-300	0	-55,55	665,61
Lkw-Maut	303,93	697,56	-360	-60	-56,07	637,56
Bahn-Beschleunigung	99,57	314,12	-600	0	-500,43	314,12
Bahn-Produktivität	269,12	739,96	-400	0	-130,88	739,96
Instrumentenmix	349,77	816,86	-560	-60	-210,23	756,86

Quelle: Fraunhofer ISI

Ferner kann unterstellt werden, dass ein Zusammenspiel von technologischen Förderinstrumenten und nichttechnischen Maßnahmen der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung insgesamt zu noch weiter reichenden Senkungen des CO<sub>2</sub>- und Schadstoffausstoßes führen werden. Technische Maßnahmen zur Emissionssenkung im Straßen- wie im

Bahngüterverkehr bestehen durchaus: so könnte der Spritverbrauch von Lkw durch verbesserte Aerodynamik, optimalen Reifendruck und Fahrerassistenzsysteme um nahezu die Hälfte gesenkt werden, und auch der Ausstoß von Schadstoffen bei Dieselloks birgt enorme Reduktionspotenziale.

In Sinne einer vollständigen Bewertung der externen Effekte des Verkehrs sind jedoch noch Veränderungen der Verkehrssicherheit und des Lärmgeschehens zu betrachten. Dies soll im weiteren Verlauf der Studie nachgeholt werden.

### **6.5.6 Gesamtbewertung Maßnahme 5**

Das Ziel der Maßnahme, den Verkehrsmarktanteil des Bahngüterverkehrs um 10 Prozentpunkte gegenüber einem Trendszenario bis 2030 zu steigern, kann durch den Einsatz mehrerer Instrumente gelingen. Am meisten Erfolg versprechend erscheint jedoch ein Mix aus Push- und Pull-Instrumenten wie der Kombination einer erweiterten Lkw-Maut mit Investitionen in das Schienennetz für schnellere und besser ausgelastete Bahntransporte.

Gesamtwirtschaftlich ergeben sich mehrheitlich positive Effekte, wobei aufgrund auslaufender Investitionstätigkeiten die Beschäftigung gegen Ende des Planungshorizonts sinken kann. Dieser sich im Analysemodell zeigende Effekt kann jedoch in der Realwirtschaft durch langsam auslaufende Fördermaßnahmen abgemildert oder durch andere Stimuli kompensiert werden. Insgesamt hält sich die Größenordnung der Wirkungen, insbesondere vor den sich abzeichnenden enormen Herausforderungen für die Staatshaushalte in den kommenden Jahrzehnten, deutlich in Grenzen.

Die ökologische Bewertung zeigt, dass die Reduktion von Luftschadstoffen wie  $\text{NO}_x$  und Partikeln durch Verkehrsverlagerung kaum möglich ist, da die Lkw-Flotte ihre Emissionen in Zukunft stark reduzieren kann. Ohnehin bedeutender und insbesondere im Kraftfahrzeugbereich schwerer zu reduzieren sind jedoch Klimagasemissionen. Diese können durch die Verlagerung von Verkehren von der Straße auf die Bahn deutlich gesenkt werden. Hierbei sollten technische und nichttechnische Maßnahmen der Emissionsminderung komplementär angewandt werden.

## **6.6 Fazit zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung**

### **6.6.1 Gesamtwirtschaftliche Effekte**

Der Umstieg vom Pkw auf alternative Mobilitätsformen könnte dämpfende Effekte auf die Automobilindustrie haben. Ob diese auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene durch Investitionen in Verkehrsinfrastrukturen und deren erweiterten Betrieb ausgeglichen

werden, ist in Tabelle 30 zusammengefasst und stellt sich anhand der Ergebnisse dieser Studie wie folgt dar:

Die Schätzungen von zusätzlichen Investitionskosten in die Verkehrsinfrastruktur bewegen sich zwischen einer Mrd. Euro jährlich für Radwege und Fußgängerzonen, zwei Mrd. Euro für den Ausbau der ÖPNV-Systeme und 10 Mrd. Euro für die Schaffung von Anreizen zur Regionalisierung der Fahrziele im Personenverkehr. Letztere Maßnahme geht weit über den Verkehrsbereich hinaus, da hier stadt- und regionalplanerische Umgestaltungen in größerem Umfang unterstellt werden. Je nach Maßnahme fällt dieser Investitionsimpuls unterschiedlich hoch aus.

Der Investitionsimpuls, der vorwiegend dem Bausektor zukommt, übersteigt den Rückgang der Investitionen in die Produkte der Automobilindustrie, der dort in Form von verringerter Fahrzeugnachfrage zu Buche schlägt. Der Investitionssaldo ist deshalb in allen Maßnahmen mit Ausnahme von M4 positiv. Die Erhöhung der Pkw-Besetzungsgrade (M4), bei der keine direkten Investitionen unterstellt wurden, verursacht durch den Rückgang der Automobilproduktion einen gesamtwirtschaftlichen Rückgang der Investitionen von etwa einem Prozent 2030 gegenüber dem Basisfall. Hier wurde in einer Erweiterung der Maßnahme zusätzlich unterstellt, dass in Verkehrsmanagementmaßnahmen investiert wird, so dass sich im Saldo die Investitionen unverändert gestalten.

Das Bruttoinlandsprodukt entwickelt sich bei allen Maßnahmen bis 2020 moderat und mit demselben Vorzeichen wie der Investitionsimpuls. Die in dieser Studie untersuchten Maßnahmen betrachten im Wesentlichen Investitionen in den Bausektor, welcher keine nennenswerten Impulse für ein Wachstum der Produktivität generiert. Eine Ausnahme stellt Maßnahme M2 mit Investitionen in die ÖPNV-Fahrzeugindustrie dar. Diese erzielen jedoch, da sie nur auf einen relativ kleinen Industriezweig wirken und durch Verringerung der PKW-Nachfrage im selben Sektor teilweise kompensiert werden, ebenfalls keine nennenswerten Produktivitätswirkungen. Ein gesamtwirtschaftlich stimulierender Faktor ergibt sich durch die Veränderung der Konsumstruktur. Verkehrskonsum wird von Konsum im MIV, der insbesondere durch Besteuerung der Kraftstoffe einen hohen Steueranteil aufweist, umgeschichtet auf Konsum von Verkehrsdienstleistungen oder sogar nicht-motorisierten Verkehr. Dadurch verringert sich die Steuerlast der Konsumenten für die Befriedigung ihrer Verkehrsbedürfnisse und der Konsum in anderen Sektoren steigt an.

Die Beschäftigung entwickelt sich in fast allen Maßnahmen positiv. Induziert durch den positiven Investitionssaldo der untersuchten Maßnahmen und das Wachstum des BIP steigt auch die Beschäftigung gegenüber dem zugrunde gelegten Trendszenario leicht

an. Für das Jahr 2030 sind dies über alle Branchen 1,4 % bis 2,5 % mehr Arbeitsplätze in den Maßnahmen M1, M2 und M3. Für den Sektor Transport und Verkehr, der die zusätzlich nachgefragten Verkehrsdienstleistungen bereitstellt sind, die Zuwächse etwa vier- bis fünfmal so hoch.

Tabelle 30 stellt die zentralen Indikatoren der volkswirtschaftlichen Analyse für die Jahre 2020 und 2030 dar. Angegeben ist die relative Veränderung gegenüber dem Trend-szenario (BAU) im jeweiligen Jahr. Die negativen Vorzeichen der Investitionskosten in einigen Szenarien beruhen auf sinkenden Investitionen in den Straßenbau und die Fahrzeugindustrie durch Nachfrageverlagerungen auf andere Verkehrsträger.

Tabelle 30: Vergleich der volkswirtschaftlichen Wirkungen aller Maßnahmen

Variable	Jahr	M1	M2	M3	M4	M5
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	2020	+0,19%	+0,24%	+0,35%	-0,02%	+0,02%
	2030	+1,11%	+1,56%	+2,23%	-0,18%	+0,02%
Beschäftigung alle Sektoren	2020	+0,14%	+0,21%	+0,35%	-0,02%	+0,04%
	2030	+1,37%	+1,76%	+2,49%	-0,16%	-0,08%
Beschäftigung Verkehr	2020	+3,34%	+4,10%	+3,88%	-0,34%	+0,25%
	2030	+4,14%	+5,29%	+11,74%	-0,38%	+0,60%
Investitionen alle Sektoren	2020	+1,67%	+2,31%	+3,33%	-0,24%	+0,16%
	2030	+5,45%	+7,03%	+9,09%	-0,99%	-0,13%
Direkte und indirekte Investitionen Verkehr	2020	+3,38%	+5,17%	+16,32%	-0,13%	+0,45%
	2030	+2,65%	+5,27%	+25,09%	-0,18%	-3,96%
Direkte Investitionen Verkehr	2020	+3,38%	+5,60%	+22,55%	-0,06%	+0,64%
	2030	+3,67%	+7,48%	+37,27%	-0,19%	-9,55%

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage des ASTRA-D-Modells

## 6.6.2 Nutzen- Kosten-Analyse

Die hier ermittelten Maßnahmen weisen unterschiedliche Niveaus der Emissionsreduktion auf und unterscheiden sich ferner in den notwendigen Investitionen in den Verkehrssektor wie auch in ihren sonstigen Wirkungen auf die Gesellschaft. Letzteres bedingt Gesundheitseffekte, Unfallfolgen und die Auswirkungen von Lärmemissionen. Zum Vergleich der Maßnahmen werden entsprechend zwei Indikatoren ermittelt:

- Nutzen-Kosten-Analyse (NKA): Verhältnis aus den gesellschaftlichen Nutzen und Kosten von Fahrzeitveränderung, Gesundheit, Verkehrssicherheit, Umwelteffekten zu den für die Maßnahmen nötigen öffentlichen Verkehrsinvestitionen.

- Vermeidungskosten: Verhältnis aus vermiedenen Luftschadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den öffentlichen Verkehrsinvestitionen. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Schadstoffe werden die Emissionen wie bei der NKA in Geldeinheiten ausgedrückt, sodass der Indikator „Vermeidungskosten“ eine partielle NKA darstellt.

Die Kennziffern werden stellvertretend für den Analysezeitraum 2010-2030 für die beiden Jahre 2020 und 2030 durchgeführt. für die Nutzen- und Kostenkategorien werden folgende Annahmen getroffen:

1. Reisezeiten: Die Zeitbewertung je Person und Stunde (P-h) richtet sich nach den Reisezeitsaldi der Verkehrsträger MIV, ÖPNV/Bahn und Langsamverkehr (Fuß und Fahrrad). Aus Tabelle 11 und Tabelle 12 werden für die Maßnahmen M1 und M2 Zeitwerte für kurze Distanzen und für die Maßnahmen M3 und M4 Zeitwerte für Langstrecken ausgewählt und mit 20% Geschäftsreisen und 80% Privatreisen gewichtet. Kleine Zeitgewinne, die von den Nutzern nicht verwertet werden können, werden entsprechend dem Verfahren der BVWP durch einen pauschalen Abschlag von 30% auf die Zeitkostenwerte eliminiert. Bis 2030 wird keine Veränderung der Zeitbewertung in realen Preisen unterstellt. Die Fahrzeitdifferenzen werden dem ASTRA-D-Modell entnommen.
2. Gesundheitsnutzen: Für untrainierte Menschen (60% der Bevölkerung) ergeben maximal 12,5 km Radfahren oder maximal 6,5 km schnelles Gehen pro Woche einen Gesundheitsnutzen von 2.000 Euro jährlich. Unter den Annahmen, dass 50% der Wege unterhalb dieser Bewertungsgrenze liegen und dass in den Maßnahmen Rad- und Fußverkehr in gleichem Maße verlagert werden, ergibt sich ein Nutzenwert von 1,78 €/Pkm. Hinzu kommen 0,15 €/Pkm für trainierte Menschen. Bis 2030 werden diese Nutzen als real konstant angenommen. Die ermittelten volkswirtschaftlichen Nutzen drücken nach dem HEAT-Tool der WHO Nutzen durch gewonnene Lebensqualität aus. Wirtschaftliche Vorteile für das Gesundheitssystem und die Unternehmen werden hierin nicht betrachtet.
3. Unfallfolgekosten: Ausgangswerte für die NKA sind die Unfallkostensätze für Pkw, ÖPNV, Fuß- und Radverkehr aus Tabelle 16 für das Jahr 2010. In M1 und M2 wird die Unfallrate für städtische Räume angewandt und in den übrigen Maßnahmen werden die Kostensätze gewichtet für alle Straßentypen angesetzt. Während die Kostenbasis bis zum Jahr 2030 als real konstant unterstellt wird, wird angenommen, dass Maßnahmen zur Verkehrssicherheit die Unfallraten und Unfallschweren je Personen- und Tonnenkilometer deutlich senken. In Anlehnung an das EU-Weißbuch Verkehr (Europäische Kommission, 2011) wird ein Rückgang der Unfallkostenraten im MIV um 50% bis 2030 unterstellt. Im Zuge der Maßnahmen wird ferner angenommen, dass die Unfallkostenraten in Maßnahme M1 zusätzlich um weitere 50% (also auf 25% gegenüber 2010) und in den übrigen Maßnahmen um 25% (also auf 37,5% gegenüber 2010) reduziert werden. In Maßnahme M4 richten sich die Unfallkosten an den sinkenden Fahrzeugkilometern aus, da diese das Unfallrisiko reduzieren. Die höhere Unfall-

schwere durch mehr Insassen in den Fahrzeugen wird jedoch durch einen Aufschlag von 10% erfasst.

4. **Umweltnutzen:** Für Luftschadstoffe und Klimagasemissionen liefert das ASTRA-D-Modell die jährlichen Differenzemissionen zum Basisfall. Diese werden mit den Kostensätzen aus Tabelle 18 für Luftschadstoffe und Tabelle 20 für Klimagasemissionen bewertet. Während die Bewertung von Luftschadstoffen je emittierter Tonne bis 2030 real konstant bleibt, wird unterstellt dass CO<sub>2</sub>-Emissionen von 77 Euro je Tonne 2010 auf 140 Euro je Tonne 2030 steigen. Lärmemissionen werden nach der Verkehrsleistung entsprechend Tabelle 22 bewertet. Hier wird eine Reduktion im Straßenverkehr durch leisere Reifen und Straßenbeläge um 50% bis 2030 angenommen. Im Schienengüterverkehr wird angenommen, dass K-Sohlen-Bremsen und präparierte Gleise zu einer weit stärkeren Belastungssenkung von -75% bis 2030 beitragen werden.

Die Gesamtnutzen aus allen Komponenten stellen sich aufgrund der weitgehend niedrigeren Geschwindigkeiten alternativer Verkehrsträger für die meisten Maßnahmen negativ dar. Wie bereits an mehreren Stellen der obigen Ausführungen erwähnt, bieten sich in vielen Bereichen technische Maßnahmen zur Beschleunigung alternativer Verkehrsträger an. Im Güterverkehr (M5), bei dem die Beschleunigung der Bahn explizit als Instrument aufgenommen wurde, stellen sich beispielsweise die Zeitkosten als weit weniger kritisch dar als in den Maßnahmen des Personenverkehrs. Hier ist der Saldo der Fahrzeiten sogar positiv, da auch bestehende Bahnverkehre profitieren und die Autobahnen von Lkw entlastet und dadurch weniger stauanfällig werden.

Erstaunlicherweise stellt sich der größte Gesundheitsnutzen durch aktive Bewegung nicht für Maßnahme 1, sondern für Maßnahme 2 ein. Durch die Förderung des ÖPNV wird weit mehr nichtmotorisierter Verkehr generiert als durch die ausschließliche Konzentration von Fördermaßnahmen auf den Fuß- und Radverkehr selbst. Dies lässt sich durch zwei Aspekte erklären: zum einen sind die gewählten Förderinstrumente, insbesondere die Einrichtung von City-Mauten, in beiden Maßnahmen identisch. Zum anderen wird mit dem Ausbau des ÖPNV eine echte Alternative zum Pkw aufgebaut, welche den kompletten Verzicht auf das eigene Fahrzeug erst möglich macht.

Wie bereits angesprochen stellt die Verkehrssicherheit im Rad- und Fußverkehr ein ernst zu nehmendes Problem von mehr aktiver Mobilität in Städten dar. Trotz unterstellter enormer Verbesserungen der Sicherheit im Radverkehr bis 2030 in Maßnahme M1 ergibt sich der größte Nutzen aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit unter den Maßnahmen des Personenverkehrs (M1 – M4) nicht für den Übergang zu aktiven Mobilitätsformen sondern für die Verkürzung von Pkw-Wegen (M3). Dies kann damit erklärt werden, dass Maßnahme 3 als einzige Maßnahme Verkehrsaufkommen absolut vermindert, ohne dass dies bei anderen Verkehrsträgern wieder zu Buche schlägt.

Aus diesem Grund schneidet auch Maßnahme M3 im Personenverkehr am günstigsten bei der Reduktion der Umwelteffekte ab. Die Abnahme der Pkw-Wegelängen um 10 % bringt eine weit überproportionale Senkung der Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr von 38 % mit sich, da durch die näheren Ziele viele Wege jetzt mit Rad oder zu Fuß durchgeführt werden können. Zudem fördern die gewählten Instrumente eher eine Verlagerung zu Bahn und ÖPNV sowie einen Rückgang der mit motorisierten Verkehrsmitteln zurückgelegten Wege insgesamt. Durch diese sekundären Effekte sinken Luftschadstoff- und CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 29 % (CO) bis 36 % (CO<sub>2</sub>). Über alle Verkehrsbereiche stellen sich jedoch der größte Umweltnutzen und das beste NKV für die Verlagerung von Güterverkehren vom Lkw auf die Bahn dar.

Unter Einbezug aller Nutzenkomponenten weist Maßnahme M5 (Verlagerung im Güterverkehr) den höchsten weil positiven Nutzen auf. Alle übrigen Maßnahmen zeigen wegen der Fahrzeitkosten negative Gesamtnutzen. Der Gesamtnutzen für die Verlagerung auf Fuß- und Radverkehr (M1) zeigt sich als am niedrigsten.

Zur Beurteilung der volkswirtschaftlichen Rentabilität der Maßnahmen werden deren Nutzen dem geschätzten Aufwand zu deren Implementierung in Form von Nutzen-Kosten-Verhältnissen (NKV) gegenüber gestellt. Die angenommenen direkten Investitionen der öffentlichen Hand in die Verkehrssysteme und Siedlungsräume sind für Maßnahme M3 (Verkürzung Pkw-Wege) am größten. Es wird unterstellt, dass für die Steigerung der Attraktivität von Städten und Regionen etwa zehnmal so hohe Investitionsmittel notwendig sind wie für die Umgestaltung der Verkehrssysteme alleine. Am günstigsten schneidet die Maßnahme M4 (Effizienzsteigerung Pkw) ab, da hier kaum direkte Infrastrukturmaßnahmen zugrunde gelegt werden. Es wird davon ausgegangen, dass erstens die größte Effizienzsteigerung durch die bessere Nutzung der vorhandenen Fahrzeugkapazität erreicht werden kann, und zweitens entlastet diese durch weniger Verkehr die Straßeninfrastruktur mit positiven Wirkungen für die öffentliche Hand. Die Folge sind Nettoinvestitionen in einer geringen Größenordnung von 200 Mio. €/a. Insgesamt wird durch die geringe Investitionshöhe die Aussagefähigkeit des ermittelten Nutzen-Kosten-Verhältnisses eingeschränkt.

Der negative Saldo der Nutzerzeitkosten dominiert in allen Maßnahmen die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse. Dieser Effekt ist wenig verwunderlich und bereits aus der Bundesverkehrswegeplanung bekannt. Durch starre Zeitkostensätze schlägt eine Verlangsamung der Mobilität trotz aller damit verbundenen Gewinne an Lebensqualität in der gesellschaftlichen Bilanzierung negativ zu Buche. Bei langfristigen Betrachtungen und grundlegenden Systemänderungen, wie den hier untersuchten Maßnahmen zur Emissionsminderung, ist jedoch kritisch zu hinterfragen, ob sich nicht auch Bewertungen der Reisezeit im Wandel der Lebens- und Mobilitätsstile ändern. Im Zeitraum bis

2030 kann ferner der Aspekt der Transportqualität z.B. im ÖPNV nicht ignoriert werden, was die Möglichkeiten zur alternativen Zeitgestaltung während der Reisekette (Lesen, Arbeiten, Kommunizieren) deutlich erhöhen könnte.

Die Nutzen-(Kosten-)Bilanzen sehen dedoch deutlich anders aus, wenn die Nutzerzeitkosten ausgeblendet werden. Bei dieser Betrachtung erhalten alle Maßnahmen ein positives NKV. Obwohl aus dieser Perspektive M3 (Verkürzung der Pkw-Wege) den größten Nutzen aufweist, ergibt sich für dessen Nutzen-Kosten-Verhältnis der niedrigste Wert unter allen Maßnahmen bei Ausblendung der Zeitkosten. Bei dieser Betrachtung sticht M4 (Effizienzsteigerung Pkw) wegen der geringen Investitionen mit einem NKV von 76 deutlich hervor, gefolgt von M1 (Fuß- und Radverkehr) und M2 (ÖPNV) mit Nutzen-Kosten-Verhältnissen ohne Zeitkosten von 10 bzw. 8.

Bei der Gegenüberstellung von Umweltnutzen zu Investitionskosten (NKV Umweltnutzen) liefert Maßnahme M5 mit 2,00 den höchsten Wert, während M4 als einzige Maßnahme einen negativen Saldo aufweist. Tabelle 31 fasst die Barwerte der Nutzen und direkten Investitions- und Betriebskosten der Maßnahmen sowie die daraus resultierenden NKV-Werte zusammen.

Tabelle 31: Nutzen-Kosten-Analyse der Maßnahmen M1 bis M5

Nutzen und NKV-Kategorien	Einheit	M1	M2	M3	M4	M5
		Fuß- und Rad	ÖPNV	Kürzere Wege	Effiziente Pkw	Modal Split GV
Nutzen Fahrzeit		-63,26	-51,35	-55,25	-28,99	-1,34
Nutzen Gesundheit	Barwert	11,53	18,67	12,60	17,40	0,00
Nutzen Sicherheit	2010 *					
Nutzen Umwelt & Lärm	Mrd. Euro	0,64	0,40	6,93	-0,01	0,11
		0,49	0,27	3,06	-2,28	3,46
Gesamtnutzen	Barwert	-50,61	-32,01	-32,66	-13,89	2,23
Gesamtnutzen ohne Zeit	2010 *					
Investitionen	Mrd. Euro	12,66	19,34	22,59	15,11	3,57
		1,29	2,41	11,02	0,20	1,73
NKV Gesamt		-39,2	-13,3	-3,0	-69,4	1,3
NKV ohne Zeitnutzen	Verhältnis	9,8	8,0	2,1	75,5	2,1
NKV Umweltnutzen		0,4	0,1	0,3	-11,4	2,0

\* Netto-Barwert 2020 und 2030; Graue Felder = beste Maßnahme der jeweiligen Kategorie.  
Quelle: Fraunhofer ISI

## **7 Maßnahmenpakete und praktische Erfahrungen**

### **7.1 Einleitung**

Nach der Analyse der Wirkung der einzelnen Instrumente für die untersuchten fünf Maßnahmen stellt sich die Frage, wie die Maßnahmen und Instrumente sinnvoll kombiniert werden könnten, um den Zielbeitrag weiter zu steigern. Dieses Arbeitspapier untersucht die Gründe und Motive sowie die strategische Einbettung für zweckmäßige Instrumentenkombinationen, wertet die Erfahrungen aus den untersuchten Fallbeispielen aus und legt sie auf die untersuchten Maßnahmen um. Daraus werden Empfehlungen für eine optimale Paketbildung abgeleitet.

### **7.2 Motive und strategische Einbettung**

#### **7.2.1 Motive**

In welchen Fällen sind Instrumentenkombinationen und Paketbildungen sinnvoller als die Umsetzung von einzelnen Instrumenten? Die folgenden Motive spielen für die Paketbildung eine wichtige Rolle:

- **Effektivität steigern:** Einzelne Instrumente und deren Dosierung stoßen aus unterschiedlichen Gründen (technische Rahmenbedingungen, rechtliche Möglichkeiten, unerwünschte Nebenwirkungen) an ihre Grenzen und sind gar nicht in der Lage ambitionöse Ziele zu erreichen. Mit sinnvollen Kombinationen können Synergien erzeugt und Konflikte bereinigt werden.
- **Effizienz steigern:** Nicht nur die Wirkung, sondern auch die Kosten-Wirksamkeit kann durch Kombinationen verbessert werden.
- **Kapazitätsbildung:** Viele Instrumente haben im Verkehr einen engen Bezug zur Intermodalität: Entsprechend können mit Kombinationen gleichzeitig Kapazitäten für einen Wechsel zu umweltfreundlichen Verkehrsmitteln und Verhaltensänderungen geschaffen werden.
- **Finanzierung:** Eine Kombination von preislichen Instrumenten mit Infrastrukturinstrumenten kann nicht nur die Kapazitäten steigern, sondern diese auch mitfinanzieren.
- **Kompetenzen und Subsidiarität:** Vielfach setzen die Kompetenzen auf kommunaler Ebene klare Grenzen. Das Subsidiaritätsprinzip kann optimiert werden, wenn Makro- und Feinsteuerung ineinander greifen und deshalb auf verschiedenen hierarchischen Ebenen Instrumentenkombinationen gesucht werden.
- **Akzeptanz:** Eine Kombination von Förderinstrumenten (pull) und Anreizinstrumenten (push) kann auch die Akzeptanz fördern. Der Mehrwert und die sich daraus erge-

benden Alternativen für die VerkehrsteilnehmerInnen können damit sichtbar gemacht werden. Zudem kann eine Kombination bzw. eine Ergänzung mit flankierenden Instrumenten auch unerwünschte soziale Nebenwirkungen ausgleichen und so die Akzeptanz steigern.

### 7.2.2 Strategische Stoßrichtungen

Im Bereich der nicht technischen Umweltmaßnahmen stehen folgende Instrumentenkombinationen im Vordergrund:

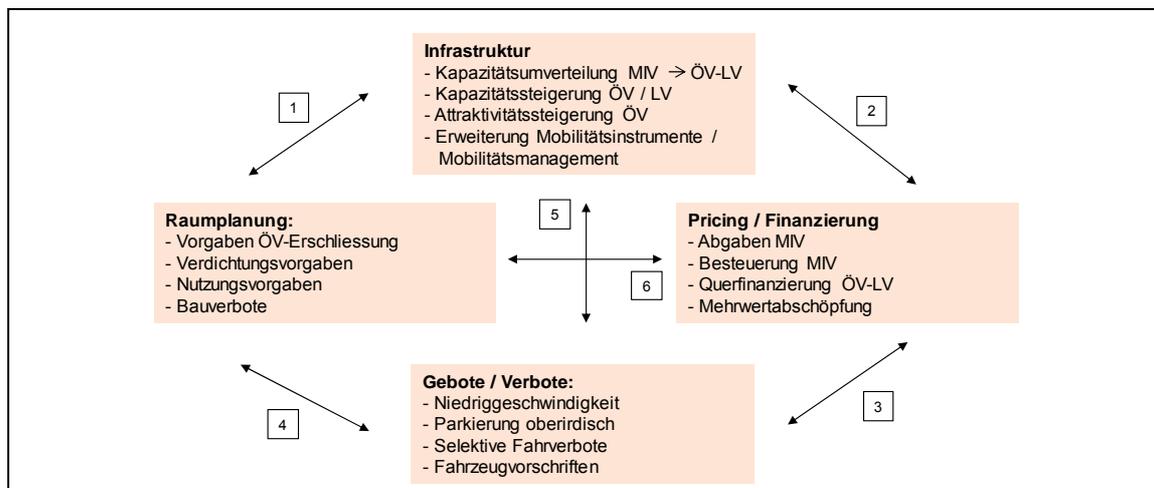
- Push & Pull und Modal Split: Eine Verlagerungsstrategie setzt an zwei Orten an: Eine Verbesserung der Rahmenbedingungen für den öffentlichen Verkehr oder nichtmotorisierten Fuß- und Radverkehr und Anreize für weniger Fahrten mit dem motorisierten Individualverkehr. Diese Stoßrichtung eignet sich sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr Straße-Schiene.
- Finanzierung und Lenkung: Mit preislichen Instrumenten können Anreize für eine Lenkungswirkung erzeugt werden und gleichzeitig zweckdienliche Investitionen finanziert werden. In der Regel gibt es einen engen Bezug zur Push- & Pull- bzw. Modal-Split-Strategie.
- Abstimmung Verkehr und Siedlung: Diese Strategie ist eher längerfristig ausgerichtet und kombiniert raumplanerische Instrumente mit der Verkehrsplanung und Infrastrukturpolitik. Im Zentrum steht die Verhinderung der Zersiedelung bzw. die Förderung der Verdichtung nach innen und der kurzen Wege (HiTrans (2005)).

### 7.3 Kombinationen und Erfahrungen

Abbildung 61 zeigt sinnvolle Kombinationen von Instrumenten auf, entlang der verschiedenen Instrumententypen und der oben dargestellten strategischen Stoßrichtungen:

Betrachtet man die in dieser Studie evaluierten Fallbeispiele, so lassen sich praktische Erfahrungen entsprechend Tabelle 32 zusammenfassen. Die Erfahrungen zeigen, dass die Paketbildung (Bildung eines Instrumentenmix) eine wichtige Rolle in der realen Verkehrspolitik einnimmt. Alle Fallbeispiele enthalten Elemente von verschiedenen Instrumenten. Im Zentrum steht der Modal-Split-Ansatz mit Elementen der Kapazitätsumverteilung bzw. der Querfinanzierung.

Abbildung 61: Relevante (offensichtliche) Kombinationen zwischen Instrumententypen



Relevante (offensichtliche) Kombinationen zwischen Instrumententypen:

- 1 Festsetzung von ÖV-Plänen in der Raumplanung
- 2 Finanzierung von Infrastrukturinvestitionen
- 3 Differenzierung von Pricing-Instrumenten entlang Fahrzeugkategorien
- 4 Parkierungsvorgaben in der Raumplanung
- 5 Kapazitätsumverteilung und Niedriggeschwindigkeit/Parkierung und Fahrverbote
- 6 Mehrwertabschöpfung und Nutzungsvorgaben

Quelle: INFRAS

Obwohl viele Verkehrsinstrumente das Resultat von Überlegungen für einen optimalen Instrumentenmix sind, ist die empirische Basis schwer vergleichbar. In der Regel ist das Wirkungsmuster auf den zentralen Wirkungsträger ausgerichtet. Bei den umfangreichen Evaluationen der London „Congestion Charge“ (vgl. z.B. INFRAS 2008) beispielsweise steht der Preiseffekt im Vordergrund. Einen eigenständigen Beitrag der Finanzierung und gleichzeitig eine Kapazitätsverbesserung der London Underground wird nicht unterstellt. Dasselbe gilt auch für die Analyse der Auswirkungen der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe in der Schweiz in Bezug auf ihren Finanzierungsbeitrag. In diesem Fall ist aber versucht worden, die beiden Effekte (Produktivitätseffekt aufgrund Veränderung der Gewichtslimits, Preiseffekt aufgrund Verteuerung der Transporte) getrennt zu ermitteln. Dies war allerdings nur im Rahmen von Befragungen möglich. Letzten Endes mussten die Befragungsergebnisse aufgrund theoretischer ex ante Reaktionen ex post nachmodelliert werden (vgl. ARE 2007).

Tabelle 32: Kurzcharakteristik der untersuchten Fallbeispiele in Bezug auf Paketbildung

Fallbeispiel	Paketbildung	Erfahrungen
Veränderung Straßenbahn nach Rieselfeld (Freiburg)  Stadtbahn Zug (Schweiz)	Infrastruktur mit Raumplanung und Kapazitätsumverteilung	Umsteigen auf den öffentlichen Verkehr konnte mit klaren Prioritäten für die Stadtbahn und raumplanerischen Vorkehrungen (Verdichtungen) rund um die Stadtbahn vergrößert werden (Steigerung der Effektivität und Effizienz). Die Integration der Stadtbahn in das Stadtbild (Linienführung, Gestaltung der Haltestellen) hat auch einen positiven Beitrag zur Akzeptanz geleistet (vgl. INFRAS 2006)
Congestion Charging London	Pricing mit (Quer-) Finanzierung Verkehr	Mit den Einnahmen des Congestion Charging konnten die Vollzugskosten sowie ein Teil der Defizite der London Underground gedeckt werden (Sicherung der Finanzierung) und Steigerung der Akzeptanz (vgl. Transport for London 2008)
Begegnungszone Burgdorf (Schweiz)	Infrastruktur mit Fahrverboten und Niedriggeschwindigkeit und Umverteilung von Straßenkapazitäten	Die Kombination von Infrastrukturinvestitionen und regulativen Instrumenten hat die Effektivität verbessert (weniger MIV, mehr Aufenthaltsqualität) und damit auch die Wertschöpfung der ansässigen Betriebe verbessert (vgl. INFRAS/Emch&Berger 2006)
Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (Schweiz)	Pricing mit Änderung/Differenzierung nach Fahrzeugvorschriften und Querfinanzierung	Mit der Abgabe wurden die Produktivitätseffekte einer Steigerung der Gewichtslimits (von 28 auf 40 Tonnen) teilweise abgeschöpft und gleichzeitig Schieneninvestitionen und Angebote des kombinierten Verkehrs (im Rahmen einer speziellen Fondsregelung) finanziert. Gleichzeitig ist die Abgabe differenziert nach EURO-Normen. Diese (umfassende) Paketbildung hat die Akzeptanz signifikant gesteigert. (vgl. ARE 2007)

Quelle: INFRAS

Bei den Investitionen in den städtischen Raum ist bei der Evaluation der Wirkungen von den Infrastrukturinvestitionen (bzw. Attraktivitätssteigerungen öffentlicher Verkehr) ausgegangen worden. Die übrigen Instrumente (v.a. Kapazitätsumverteilung) sind als flankierende Elemente betrachtet worden.

Die Erfahrungen zeigen aber deutlich, dass zwei Hauptmotivationen für die Paketbildung in der Praxis auch aus Akzeptanzgründen angewendet werden, nämlich die Finanzierungsfunktion für die Bereitstellung der notwendigen Kapazitäten von umweltfreundlichen Verkehrsmitteln sowie die Umverteilungsfunktion der Kapazitäten.

Andere Erfahrungen zeigen aber auch, dass bei einer umfangreichen Paketbildung Risiken entstehen können, weil das Instrumentarium zu komplex wird, zu viele Akteure einbezieht und deshalb auch bei Plebisziten mehr Angriffsfläche bieten kann. Im Bereich des städtischen Verkehrs ist das sogenannte „Dennis Package“ für eine umfassende Verkehrslösung in Stockholm ein gutes Beispiel dafür, dass ein extensiver Gesamtverkehrsbezug mit verschiedenen (von verschiedenen Seiten nur teilweise akzep-

tierten) Instrumenten wie Ausbau öffentlicher Verkehr, Ausbau Umfahrungsstraße und Road Pricing Akzeptanzprobleme aufweisen kann (vgl. Güller, 2002).

## **7.4 Erkenntnisse für einen optimalen Instrumentenmix**

### **7.4.1 Allgemeine Erkenntnisse**

Auf allgemeiner Ebene lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Eine Kombination von Instrumenten ist sinnvoll. Im Vordergrund stehen Push- & Pull-Ansätze in der Kombination mit Finanzierung und Lenkung sowie Umverteilung von Kapazitäten zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln im Rahmen einer Modal-Split-Strategie.
- Die Effektivität und Effizienz wird vor allem durch die Preisinstrumente geprägt (Push). Die Modal-Split-Instrumente (Verbesserung der Kapazitäten ÖV und Fuß- und Radverkehr) weisen demgegenüber jedoch eine deutlich höhere Akzeptanz aus und sind notwendige Bedingungen für autonome Verhaltensänderungen (Stärkung der Eigenanreize) und für die beabsichtigte Veränderung des Modal Splits.
- Insgesamt können deshalb durchaus Trade-offs entstehen bezüglich Kosten-Wirksamkeit, Sicherstellung von Mobilitätszielen und Akzeptanz. Eine simple Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs ohne sichtbare Alternative (wie einen Ausbau ÖV oder Fuß- und Radverkehr) ist zwar (zumindest theoretisch) deutlich kostenwirksamer als ein Infrastrukturausbau. Gleichzeitig werden aber auch die Mobilitätspotenziale verringert, was zu wirtschaftlichen Einbußen (Rückgang der Wertschöpfung aus dem Verkehr) führen kann. Dies ist wohlfahrtstheoretisch zwar sinnvoll, weil dadurch Ressourcen frei für andere (möglicherweise effizientere) Mitteleinsätze werden. Gleichzeitig entsteht eine Zusatzlast (sog. excess burden), die das Wachstumspotenzial beschränken kann, wenn die Abgabe über den externen Kosten liegt.

Die im Folgenden skizzierten Instrumentenkombinationen im Rahmen der untersuchten fünf Maßnahmen fokussieren in erster Linie auf die Zielerreichung und berücksichtigen die praktischen Erfahrungen, die mit zweckmäßigen und mehrheitstauglichen Paketen gemacht werden.

### **7.4.2 M1: Modal Split Fuß- und Radverkehr**

#### **Kombinationsmöglichkeiten der Hauptinstrumente**

Die folgende Tabelle zeigt die Wirkungs-Schnittstellen auf.

Tabelle 33: Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M1

Wirkung auf Wirkung von	Autonome Verhaltensänderung	City-Maut für Pkw in Innenstädten	Ausdehnung Fußgängerzone und Radwege
Autonome Verhaltensänderung		Verringert die Belastung einer City-Maut	Fördert die Nutzung von Langsamverkehr
City-Maut für Pkw in Innenstädten	Ist Voraussetzung für signifikante Produktivitätssteigerungen (z.B. Steigerung der Auslastung) und Umsteigebereitschaft		Kann Basis sein für Finanzierung der Infrastruktur und setzt Anreize für vermehrte Nutzung
Ausdehnung Fußgängerzone und Radwege	Ist Basis für vermehrte Nutzung und kann mittelfristig auch Verhaltensänderungen (verstärkte dynamische Wirkung) auslösen	Stellt Kapazitäten bereit für vermehrte Nutzung Fuß- und Radverkehr. Kapazitätsumverteilung unterstützt diese Wirkung	

Quelle: INFRAS

### **Paketbildung und flankierende Instrumente/Maßnahmen**

Die Kombination eines marktwirtschaftlichen Instruments (kurzfristig Parkplatzgebühren, längerfristig City-Maut) als Finanzierungsinstrument für den Ausbau und die Verkehrsberuhigung von Infrastrukturen für den Fuß- und Radverkehr, verbunden mit einer städtebaulich integrierten Reduktion von MIV-Kapazitäten zugunsten des Radverkehrs (Parkraumbewirtschaftung und Umverteilung der Kapazitäten für attraktive Radwegnetze) bildet die Basis für diese Maßnahme. Autonome Verhaltensänderungen werden insbesondere durch die preislichen Anreize und das Mobilitätsmanagement in Form von effizienterer Nutzung des Pkw unterstützt. Weitere autonome Verhaltensänderungen (etwa Verzicht auf Auto, vermehrte Nutzung von "Car Sharing" und ÖV, vermehrte Arbeits- und Freizeitwege mit dem Rad) können unterstützt werden mit weiteren Maßnahmen wie Informationskampagnen, Förderung von autofreien Siedlungen, individuelle Dienstleistungen für Mobilität (inkl. ÖV) und spezifische Neubürgerpakete für zugezogene Einwohner einer Stadt oder Region.

### **7.4.3 M2: Modal Split ÖPNV**

#### **Kombinationsmöglichkeiten der Hauptinstrumente**

Die folgende Tabelle zeigt die Wirkungs-Schnittstellen auf.

Tabelle 34: Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M2

Wirkung auf Wirkung von	Autonome Verhaltensänderung	City-Maut für Pkw in Innenstädten	Attraktivitätssteigerung ÖPNV
Autonome Verhaltensänderung		Verringert die private Belastung durch City-Maut	Verändert das Mobilitätsinstrumentarium und stärkt Nutzung ÖPNV
City-Maut für Pkw in Innenstädten	Ist Voraussetzung für signifikante Produktivitätssteigerung (z.B. Steigerung der Auslastung und Umsteigebereitschaft)		Kann Basis bilden für Finanzierung Infrastrukturausbau ÖPNV und Kapazitätsumverteilung
Attraktivitätssteigerung ÖPNV	Unterstützt mittelfristig die Umsteigebereitschaft für zusätzliche autonome Verhaltensänderung (v.a. Mobilitätsausstattung)	Verändert Verkehrsmittelentscheid und stellt Kapazitäten für das Umsteigen zur Verfügung	

Quelle: INFRAS

### **Paketbildung und flankierende Instrumente/Maßnahmen**

Ähnlich wie bei M1 stellt die Kombination eines preislichen Instruments (Parkraumgebühren, längerfristig City Maut) als Finanzierungsinstrument für den Ausbau des ÖPNV verbunden mit einer Kapazitätsumverteilung (Reduktion MIV zugunsten ÖPNV) und Bevorzugung des ÖPNV an Kreuzungen und Lichtsignalanlagen die Basis für diese Maßnahme dar. Die Attraktivitätssteigerung umfasst auch den Zugang und die Ausstattung der Haltestellen und das Tarifsystem. Bezüglich des Tarifsystems ergeben sich auch Potenziale für Kombinationen der Bepreisung von Straße und ÖPNV, indem beispielsweise City-Maut-Abgaben zur Berechtigung von vergünstigten ÖPNV-Tickets verwendet werden. Entscheidend ist die mittelfristige Ausstattung der Mobilitätswerkzeuge (Autobesitz, Zugang zu "Car Sharing", ÖV-Ticket). Im Zentrum stehen Kampagnen für den Umweltverbund und die Förderung von autofreien Siedlungen kombiniert mit individueller Mobilitätsberatung und -management (z. B. auch Schnupper-Gratis-Abos für Neubürger und Familienangebote)..

#### **7.4.4 M3: Wegelängen Pkw**

##### **Kombinationsmöglichkeiten der Hauptinstrumente**

Im Unterschied zu den obigen Maßnahmen ist M3 grundsätzlich monomodal ausgerichtet. Für die Steigerung der Attraktivität und Erreichbarkeit des Nahbereichs sind aber auf den Gesamtverkehr ausgerichtete Instrumente von Bedeutung. Lange Stre-

cken sind zu vermeiden, kurze Strecken sollten mit dem Rad, zu Fuß oder mit dem ÖPNV zurückgelegt werden.

Tabelle 35: Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M3

Wirkung auf Wirkung von	Autonome Verhaltensänderung	Pkw-Maut außerorts und Abschaffung Pendlerpauschale	Attraktivität und Erreichbarkeit des Nahbereichs
Autonome Verhaltensänderung		Senken die Belastung durch die Pkw-Maut	Grundsätzlicher Einfluss auf die Zielwahl im Arbeits- und Freizeitverkehr
Pkw-Maut außerorts und Abschaffung Pendlerpauschale	Ist zentraler Anreiz für autonome Verhaltensänderung, wenn Einsparpotenziale sichtbar gemacht werden können.		Beschränkte Synergien, weil wenig Finanzierungspotenziale
Attraktivität und Erreichbarkeit des Nahbereichs	Kann grundsätzlich einen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten haben (vermehrte lokale berufliche und soziale Kontakte im Nahbereich)	Ist wichtige Nebenbedingung für die Steigerung der Wirkung; Möglichkeiten aber eher diffus. Wirkung bez. Wahl Arbeitsort relevanter als im Freizeitbereich.	

Quelle: INFRAS

### **Paketbildung und flankierende Instrumente/Maßnahmen**

Die Paketbildung ist weniger offensichtlich als im städtischen Verkehr der Maßnahmen M1 und M2, wo der Zusammenhang zur Kapazitätsumverteilung und Finanzierung explizit sichtbar ist. Die Instrumente zur Steigerung der Attraktivität und Erreichbarkeit des Nahbereichs sind dann in ein Paket einbindbar, wenn sie verkehrsbezogen sind, etwa die Kombination der Abschaffung von Pendlerpauschalen und der Einführung von vergünstigten Mobilitätswerkzeugen für den Nahbereich (kombiniertes Mobility Pricing wie Pkw-Maut oder ökologische Steuerreform und Vergünstigungen Umweltverbund oder Differenzierung Pendlerpauschale mit klarer Obergrenze).

Größere Potenziale könnten sich bei Kombinationen von Pkw-Maut und autonomen Verhaltensänderungen, Verkehrsmittelnutzung und Auslastung ergeben, indem differenzierte Tarife für unterschiedliche Tageszeiten und räumliche Einheiten (z.B. höhere Preise zu Spitzenzeiten oder in Agglomerationsräumen) erhoben werden.

## 7.4.5 M4: Kraftstoffverbrauch Pkw

### Kombinationsmöglichkeiten der Hauptinstrumente

Im Vergleich zu den anderen Maßnahmen ist diese am stärksten monomodal ausgerichtet. Entsprechend ergeben sich Wirkungspotenziale bei der Kombination von regulatorischen Vorschriften und deren Berücksichtigung bei der Tariffdifferenzierung.

Tabelle 36: Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M4

Wirkung auf Wirkung von	Autonome Verhaltensänderung	Kfz-Steuer	Flottengrenzwerte
Autonome Verhaltensänderung		Geringer Zusammenhang	Kauf von neuen Fahrzeugen senkt autonome Wirkung der Flottengrenzwerte
Kfz-Steuer	Differenzierte Kfz-Steuer hat leichten Einfluss auf das Kaufverhalten (neue, emissionsarme Fahrzeuge)		Kein signifikanter Einfluss
Flottengrenzwerte	Voraussetzung für klare Verhaltensänderungen bez. Fahrzeugkauf, kann aber auch Anreize für vermehrten Kauf von Gebrauchtwagen erhöhen	Flottengrenzwerte bilden die Basis für eine stringente Differenzierung (progressive Ausgestaltung) der Kfz-Steuer (dynamische Anpassung der Steuersätze pro Emissionsklasse)	

Quelle: INFRAS

### Paketbildung und flankierende Instrumente/Maßnahmen

Ein mögliches Instrumentenpaket zur Förderung sparsamer Pkw besteht aus Flottengrenzwerten und finanziellen Anreizen über verbrauchsdifferenzierte Kfz-Steuern. Noch stärker könnte der Effekt auf den Kraftstoffverbrauch werden, wenn neben Anreizen für den Kaufentscheid auch Anreize für die Verringerung des laufenden Verbrauchs gesetzt werden, etwa mit einer Anhebung der Energiesteuer auf Kraftstoffe oder einer CO<sub>2</sub>-Steuer. Bei letzterer sind aber die Spielräume an der Landesgrenze (zur Vermeidung von Grenztanktourismus bzw. entsprechenden flankierenden Instrumenten) zu berücksichtigen. Eine weitere flankierende Möglichkeit ist der verstärkte Einsatz von Labels für Kraftstoff- bzw. Umweltklassen, die ebenfalls auf die Emissionsklassen und Flottengrenzwerte ausgerichtet sind und – allenfalls auch – für gezielte Rabattmodelle eingesetzt werden (in Form von Bonus-Malus-Modellen im Rahmen der Kfz-Steuer).

## 7.4.6 M5: Modal Split Bahn im Güterverkehr

### Kombinationsmöglichkeiten der Hauptinstrumente

Die folgende Tabelle zeigt die Wirkungs-Schnittstellen auf.

Tabelle 37: Wirkungs-Schnittstellen zwischen ausgewählten Instrumenten M5

	Autonome Verhaltensänderung	Lkw-Maut	Bahnbeschleunigung	Bahn-Produktivität
Autonome Verhaltensänderung		Senkt die Kosten für die Transporteure	Kein direkter Einfluss	Kein direkter Einfluss
Lkw-Maut	Kann Anreize für Produktivitätssteigernde Maßnahmen erhöhen		Kann als Finanzierungsmittel dienen für entsprechende Investitionen bei der Bahn	Eher kritischer Einfluss, weil Bahnen Preise nachziehen und auf produktivitätssteigernde Maßnahmen verzichten. Deshalb Schnittstelle mit Anreizen bei Trassenpreisen zweckmäßig
Bahnbeschleunigung	Kann Anreize für Umsteigen generell für Verlader erhöhen	Kein direkter Einfluss		Bahnbeschleunigung kann direkt Auswirkungen auf Umläufe und Zugläufe haben und Produktivität steigern
Bahn-Produktivität	Bahnproduktivität senkt Bahnkosten und erhöht dadurch Anreize für autonome Verhaltensänderungen	Erhöhte Bahnproduktivität kann (via Trassenpreise) belohnt werden und erhöht Akzeptanz für Lkw-Maut	Kein direkter Einfluss	

Quelle: INFRAS

### Paketbildung und flankierende Instrumente/Maßnahmen

Am offensichtlichsten ist die Verknüpfung von Lkw-Maut und Investitionen für die Bahn zur Bahnbeschleunigung und Produktivitätssteigerung im Sinne des Lenkungs-Finanzierungsansatzes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Lkw-Maut auch dazu führen kann, dass aufgrund der Preisführerschaft der Straße die Bahn nachzieht und so die Anreize zum Umsteigen auf die Bahn verringert werden. Voraussetzung für die Steigerung der Effizienz der Güterbahn ist ein funktionierender Wettbewerb zwischen den Traktionären. Dazu braucht es die Sicherstellung eines diskriminierungsfreien Zugangs zu attraktiven Trassen und Trassenpreisen (z.B. Bonus für gut ausgelastete und pünktliche Züge) und eine leistungsfähige Infrastruktur inkl. Förderung von Um-

schlagsanlagen, die den Güterverkehr gegenüber dem Schienenpersonenverkehr nicht benachteiligt.

#### **7.4.7 Maßnahmenübergreifende Paketbildung**

Weitere Kombinationsmöglichkeiten ergeben sich insbesondere bei M1 und M2 (Pakete für umweltverträgliche Stadtmobilität) und bezüglich M3 und M4 (allgemeine Senkung Pkw-Mobilität und Kraftstoffverbrauch):

- M1 und M2: Bei der stadtverträglichen Mobilität erschließt ein integrierter Gesamtverkehrsansatz unter Berücksichtigung der Abstimmung von Verkehr und Siedlung weitere Potenziale. Dazu gehören Instrumente wie Finanzierungsfonds für umweltverträgliche Mobilität (ÖPNV und Fahrradverkehr), finanziert aus Geldern einer City-Maut, integrierte Parkierungsinstrumente, insbesondere Tarifierung von Parkhäusern und angepasste Erschließungspflichten (z.B. weniger Parkplätze für MIV, mehr Abstellplätze für Fahrräder) sowie die gezielte Erschließung von Entwicklungsschwerpunkten mit öffentlichem Verkehr (z.B. Tram-Achsen) und Langsamverkehr (attraktive Fußwege und Radwege).
- M3 und M4: Die Senkung der Pkw-Mobilität bzw. dessen Kraftstoffverbrauch benötigt Pakete, die an verschiedenen Orten des Entscheidungsprozesses bez. Pkw-Kauf und Nutzung bzw. Nutzung von Alternativen ansetzen. Neben der Kfz-Steuer und der Pendlerpauschale sind wiederum attraktive Ausstattungen mit Mobilitätswerkzeugen (z.B. ÖV-Tickets, Zugang zum Umweltverbund inkl. Carsharing und Mietfahrrädern) eine gute Voraussetzung. Dies zeigt auch, dass die Potenziale für Verhaltensänderungen im städtischen Raum deutlich größer sind als im ländlichen Raum. Neben Flottengrenzwerten lassen sich M3 und M4 auch über integrierte Preissysteme kombinieren, etwa mit CO<sub>2</sub>-Abgaben oder Bonus-Malus-Systemen gekoppelt mit Labelling als Anreiz zur Senkung des Energieverbrauchs und damit auch des Fahrtkonsums generell.

## 8 Schlussfolgerungen

### 8.1 Zusammenfassung der Methodik

In der vorliegenden Studie „Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr“ wurden die ökonomischen Auswirkungen fünf ausgewählter verkehrspolitischer Maßnahmen mit engem Zielbezug für Nutzer und Gesellschaft analysiert. Vier der fünf Maßnahmen bezogen sich auf den Personenverkehr innerhalb und außerhalb von Städten, während die fünfte Maßnahme für den Güterfernverkehr ermittelt wurde. Parallel wurden zwei Ansätze zur Schätzung der volkswirtschaftlichen Wirkungen gewählt: (1) Ermittlung des Kosten- und Nutzenverhältnisses in Anlehnung an das Vorgehen der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP), und (2) Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen mit dem integrierten Ökonomie-Verkehr-Umwelt-Modell ASTRA-D. Das verkehrliche Mengengerüst der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) wurde ebenfalls mit dem ASTRA-D Modell ermittelt. Beide volkswirtschaftlichen Analysen wurden für den Zeitraum 2010 bis 2030 durchgeführt. Die untersuchten Maßnahmen waren:

- M1: Erhöhung des Modal Split des Fuß- und Radverkehrs in Städten um 10 Prozentpunkte
- M2: Erhöhung des Modal Split des ÖPNV in Städten um 10 Prozentpunkte
- M3: Verkürzung der Wegelängen mit dem Pkw auf allen Straßen um 10 Prozent
- M4: Effizientere Pkw—und effizientere Pkw-Nutzung durch höhere Auslastung auf allen Straßen um 10 Prozent
- M5: Erhöhung des Modal Split-Anteils des Bahngüterverkehrs um 10 Prozentpunkte

Die Ermittlung der Kosten-Nutzenverhältnisse baut auf den gängigen Verfahren der Nutzen-Kosten-Analyse auf, welche in Anlehnung an die Bundesverkehrswegeplanung sowohl privatwirtschaftliche Komponenten als auch den Verbrauch sozialer Ressourcen einbezieht. Soweit möglich wurden hierzu auf Basis der neuesten Erkenntnisse alle Nutzen- und Kostenkomponenten in Geldeinheiten ausgedrückt, um eine vergleichbare Basis herzustellen. Dies war für die Komponenten Gesundheit, Fahrzeit, Sicherheit und Umweltnutzen möglich. Bei der gesamtwirtschaftlichen Analyse stehen die Effekte der Maßnahmen auf ökonomische Indikatoren wie Bruttoinlandsprodukt (BIP), Beschäftigung, Investitionen, Einkommen und Konsum im Mittelpunkt. Es wurde aber darauf verzichtet, die Ergebnisse der beiden volkswirtschaftlichen Analysemethoden zu verknüpfen.

Für die Bewertung auf individueller Ebene (Bottom-up-Analyse) wurde das PExMo-Tool in Microsoft Excel implementiert. Dies erlaubt den Vergleich zweier exemplari-

scher Wegeketten aus maximal drei Teilstrecken mittels dem motorisierten Individualverkehr, Carsharing, ÖPNV, Bahn, zu Fuß oder per Rad für unterschiedliche Fahrzwecke. Das Tool wird interessierten Nutzern über die Internetseite des Forschungsvorhabens zum Download zur Verfügung gestellt. Auf volkswirtschaftlicher Ebene kommt das am Fraunhofer-ISI entwickelte systemdynamische Modell ASTRA-D zum Einsatz, welches Top-down- und Bottom-up-Ansätze verknüpft. ASTRA-D integriert Verkehrs-, Flotten-, Umwelt- und Ökonomie-Modelle in einem konsistenten Modellansatz. Eine zentrale Zielsetzung von Maßnahmenbewertungen mit ASTRA-D ist eine vollständige Implementierung der Maßnahmen, d.h. für investive Maßnahmen muss die Gegenfinanzierung gesichert sein, z.B. durch höhere Staatsausgaben oder durch höhere Kosten der Nutzer. Modellergebnisse von ASTRA-D stellen immer Netto-Betrachtungen dar, bei denen positive und negative ökonomische Effekte gegeneinander aufgerechnet sind. Beispielsweise setzt sich eine Veränderung der Gesamtbeschäftigung immer zusammen aus dem Saldo der Beschäftigungsänderungen von Gewinner- und Verlierersektoren.

Für jede der fünf Maßnahmen wurde neben deren reinen Wirkung auch ein möglicher Instrumentenmix untersucht, mittels dessen das Ziel der Maßnahme bis 2030 erreicht werden kann. Die Instrumente umfassen Preise, Regulierung, Anreize und Information. Sie wurden experimentell anhand des Kriteriums der Zielerreichung, z.B. der angestrebten Verlagerungswirkung ausgewählt (Backcasting). ~~und nicht durch ein Optimierungsverfahren ermittelt.~~ Die Ergebnisse der volkswirtschaftlichen Analysen sowie die Empfehlungen für geeignete Instrumente werden im Folgenden kurz diskutiert.

## 8.2 Zentrale Aussagen der Studie

Emissionsarme Mobilitätsformen im Personenverkehr sind zum einen der Fuß- und Radverkehr für kürzere Distanzen sowie der öffentliche Verkehr auf mittleren und langen Strecken. Ferner kann die Nutzung des Pkw durch die Wahl näherer Ziele, durch den Einsatz von effizienteren Fahrzeugen und durch höhere Auslastung der Fahrzeuge verbessert werden. Im Güterverkehr bietet sich eine ähnliche Palette an Maßnahmen an, insbesondere die Verlagerung von der Straße auf die Schiene und der Einsatz emissionsarmer und besser ausgelasteter Fahrzeuge. Näher untersucht wurde insbesondere die Verkehrsverlagerung auf die Bahn. Aus den Analysen der privatwirtschaftlichen und der volkswirtschaftlichen Perspektive lassen sich folgende zentralen Schlussfolgerungen für die Wirksamkeit und die Wirtschaftlichkeit der fünf ausgewählten Maßnahmen ableiten:

1. **Umweltwirkungen fallen im Vergleich der Maßnahmen sehr unterschiedlich aus.** Die Reduktion von Klimagasemissionen fällt bei Maßnahme M3 (Ver-

kürzung der Pkw-Wegelängen) mit 36% bezogen auf alle verkehrsbedingten THG-Emissionen von Deutschland mit weitem Abstand deutlicher aus als bei den anderen Maßnahmen. Dies ist damit zu begründen, dass kürzere Wege einerseits das Mobilitätsverhalten selbst ändern, d.h. die Mobilität nicht verlagert sondern verringert. Andererseits wirkt die Maßnahme auf den Lokal-, Regional- und Fernverkehr gleichermaßen, während M1 und M2 nur lokale Verkehre beeinflussen. Zudem bewirken die unterstellten Instrumente eine wesentliche Verlagerung des Pkw-Verkehrs auf den ÖV, womit der reine Effekt verkürzter Pkw-Fahrten in den Hintergrund tritt. Für die Verlagerung zu Fuß- und Radverkehr (M1) und zum ÖPNV (M2) beträgt die Reduktion des gesamten nationalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aller Verkehrsträger hingegen nur bis 1% und 4,3% für die effizientere Pkw-Nutzung. Für die Schadstoffe (NO<sub>x</sub>, CO und Feinstaub) fallen die Veränderungen ähnlich aus.

2. **Maßnahmen im Fernverkehr erzielen den größten Beitrag zur Emissionsreduktion.** Etwa zwei Drittel der Verkehrsleistung im Personenverkehr und über 90 Prozent der Leistung im Gütertransport erfolgen im Regional- und Fernverkehr. Ferner ist der Anteil des motorisierten und damit emissionsreichen Individualverkehrs hier wesentlich größer als in Städten. Vor diesem Hintergrund setzen Maßnahmen, welche alle Entfernungsbereiche erreichen, an einem wesentlich größeren Anteil der verkehrsbedingten Emissionen an. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der größeren Schadwirkung von Abgasen und Lärm in dicht besiedelten Räumen.
3. **Der öffentliche Personenverkehr birgt noch erhebliche Effizienzpotenziale.** In der vorliegenden Untersuchung wurde die Umweltentwicklung im Pkw-Verkehr durch den Einbezug aller zukünftigen Emissionsstandards und der EU-Flottengrenzwerte für Treibhausgasemissionen im Detail berücksichtigt. Eher konservativ fällt jedoch die Betrachtung der Emissionsverbesserungen der ÖPNV-Flotte aus. Durch ein in Maßnahme M2 angenommenes Marktwachstum von fast 80% gegenüber dem Trendszenario werden massive Investitionen in neue Fahrzeuge fällig. Einerseits werden diese neuen Emissionsstandards genügen, andererseits bietet der ÖPNV Potenzial für neue und umwelteffizientere Antriebsformen. Ferner ist entscheidend, auf welches Marktsegment, Tram oder Bus, sich das Wachstum konzentriert.
4. **Klimaemissionen stellen den größten Teil der Umweltkosten dar.** Jedoch unterscheiden sich die Emissionsprofile stark zwischen den Verkehrsträgern. Während Treibhausgasemissionen 90% der externen Umweltkosten des Pkw-Verkehrs ausmachen, besteht das größte Problem des ÖPNV in NO<sub>x</sub>- und Partikelemissionen. Diese stammen aus älteren Dieseln. Unterstellt man eine Erneuerung der Flotte und einen stärkeren Einsatz von Trams, verbessert sich die Umweltbilanz, stellt aber gleichzeitig neue Anforderungen an eine umweltschonende Stromproduktion. Mittels moderner Stadt- und Straßenbahnen, welche mit emissionsfreiem, erneuerbarem Strom betrieben werden, ließe sich die Verminderung der Umweltwirkungen von 2% auf bis zu 8% verbessern.

5. **Die Nutzen einzelner Maßnahmen auf volkswirtschaftlicher Ebene lassen sich nicht isoliert betrachten.** Die Implementierung von marktwirtschaftlichen oder regulatorischen Instrumenten und Anreizen fördert stets eine breite Palette von Reaktionsmustern der Verkehrsteilnehmer und setzt auch längerfristige Anreize für Effizienzsteigerungen. Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten wird für eine effiziente Verkehrs- und Umweltpolitik daher ein Mix aus verkehrspolitischen Maßnahmen und Instrumenten zur Erreichung vorgegebener Umweltstandards empfohlen.
6. **Nutzerreaktionen prägen das Gesamtergebnis verkehrspolitischer Maßnahmen entscheidend.** Die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf Maßnahmen und Instrumente der Verkehrspolitik sind komplex und verlaufen nicht immer in die gewünschte Richtung. Beispielsweise verbilligt die Erhöhung der Pkw-Besetzungsgrade die Pkw-Nutzung, was wiederum eine Verlagerung von der Schiene auf die Straße auslösen kann. Ferner können Maßnahmen zur Förderung des Fuß- und Radverkehrs die Attraktivität des ÖPNV begünstigen oder zu Konkurrenzsituationen führen. Diese sogenannten "Rebound"-Effekte sollten beobachtet und wenn notwendig mit entsprechenden regulatorischen Mitteln begrenzt werden.

Neben den Nutzen aktiver Mobilität für die Umwelt verursachen autoarme Mobilitätsstile weitere Effekte für den Einzelnen und dessen Umfeld. Diese können wie folgt charakterisiert werden:

7. **Aktive Mobilität fördert die Gesundheit und reduziert das Risiko chronischer Erkrankungen.** Für regelmäßiges Radfahren oder Zu-Fuß-Gehen von etwa 75 Minuten pro Woche errechnet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ein um 50% reduziertes vorzeitiges Sterberisiko. Dies entspricht einem maximalen Gegenwert von 2.000 Euro pro Jahr für untrainierte Personen. Auf der Grundlage einiger Durchschnittswerte zum Trainingszustand und Mobilitätsverhalten der Bevölkerung lassen sich hieraus volkswirtschaftliche Nutzen zwischen 11 Mrd. Euro und 15 Mrd. Euro pro Jahr schätzen. Dieser ist etwa gleich hoch für alle hier betrachteten Maßnahmen, da die zur Implementierung gewählten Instrumente immer auch den Fuß- und Radverkehr fördern.
8. **Aktive Mobilität ist finanziell attraktiv.** Je nach Fahrzeugtyp kostet die Automobilität bis 5.000 Euro pro Jahr. Bei Abschaffung des privaten Pkw blieben entsprechend noch ausreichend Mittel für die Nutzung von ÖPNV, Bahn und "Car Sharing für lange Strecken. Es ist deshalb zu erwarten, dass allein aus wirtschaftlichen Gründen mehr Menschen auf günstigere Mobilitätsformen zurückgreifen. Laut aktuellen Studien hat dieser Trend in einigen Industrieländern bereits begonnen.
9. **Die Sicherheit von Radfahrern und Fußgängern in Städten bedarf einer höheren Aufmerksamkeit.** Die Wahrscheinlichkeit als Radfahrer in deutschen Städten schwer verletzt oder getötet zu werden ist etwa 10- bis 20-mal höher

als bei Pkw-Insassen. Auch Fußgänger stehen einem höheren Unfallrisiko gegenüber. Erfahrungen im europäischen Ausland belegen jedoch, dass durch ein höheres Aufkommen von Radfahrern und Fußgängern die Aufmerksamkeit der Pkw-Fahrer erhöht und somit die Unfallraten vermindert werden. Durch ein gut ausgebautes Radwegenetz, welches im Idealfall durch gut sichtbare Markierungen auf der Fahrbahn geführt wird, können Fahrzeiten verkürzt und gleichzeitig das Sicherheitsniveau weiter gesteigert werden.

10. **Die Geschwindigkeit aktiver Mobilitätsformen sowie des öffentlichen Verkehrs ist ein kritischer Faktor.** Für gut trainierte Menschen und bei Verfügbarkeit einer ausgebauten Fahrradinfrastruktur ist das Radfahren in Städten oft ebenso schnell wie der Pkw. Jedoch sind diese Voraussetzungen nicht immer gegeben, sodass aktive Mobilitätsformen oft mit einem erheblichen Zeitmehraufwand verbunden sind. Auf den ÖPNV mit Zu- und Abgang, Wartezeiten und Umstiegen trifft dies ebenfalls zu. Auf der anderen Seite ist das Staurisiko beim Pkw deutlich höher und dadurch die Verlässlichkeit geringer. Unter der Maßgabe aktueller Fahrgeschwindigkeiten sowie der aus Vergangenheitswerten und den heutigen gesellschaftlichen Normen folgend abgeleiteten Zeitkostensätze ergeben sich für die hier untersuchten Maßnahmen volkswirtschaftliche Kosten durch Zeitverluste von 30 bis 60 Mrd. Euro jährlich. Diese ergeben sich einerseits aus den genannten Zeitverlusten beim Wechsel der Verkehrsträger, aber auch durch die angewandten Instrumente zur Verlangsamung des Kfz-Verkehrs. Nicht berücksichtigt sind bei der Analyse ohnehin anfallende Zeitverluste des Pkw durch Parkplatzsuche, Tanken sowie die o.e. verminderte Verlässlichkeit etc. Entsprechend sind die berechneten Zeitverluste als Maximalwerte (auf Basis heute gängiger Bewertungsmethodik) zu interpretieren und könnten nicht einfach den berechneten Gesundheits-, Umwelt- und Sicherheitsnutzen gleichgesetzt werden. Daraus ergibt, dass eine von den Nutzern akzeptierte nachhaltige Verkehrspolitik wesentlich stärker auf die Verbesserung gesellschaftlich gewollter Mobilitätsalternativen setzen sollte (Pull-Maßnahme) als auf die Verschlechterung des Pkw (Push-Maßnahme). Die Beschleunigung des Bahngüterverkehrs in Maßnahme M5 zeigt die positiven Ergebnisse einer entsprechenden Politik. Ferner belegt diese, dass die ÖPNV-Beschleunigung mittels organisatorischer Maßnahmen nicht teuer sein muss. Dies gilt insbesondere auch für leistungsfähige Radwege, welche in Form gut sichtbar markierter Fahrbahnstreifen darüber hinaus noch am sichersten sind.
11. **Der große Einfluss der Zeitkosten wirft im Angesicht der gesellschaftlichen Debatte um Entschleunigung und Lebensqualität die Frage auf,** ob die Fokussierung der Verkehrspolitik und der Bewertungsmethoden der Verkehrswissenschaft auf den Faktor Zeiteinsparung nicht überdacht werden muss. Phänomene wie Burnout und permanenter Zeitstress werden zunehmend gesellschaftlich als kritisch thematisiert. Ein Verkehrssystem mit der obersten Priorität der Beschleunigung des Verkehrs zum Zwecke der Zeiteinsparung verschärft diese Problematiken. Hier besteht Handlungsbedarf bei der

Bewertung und Feststellung, ob es Grenzen einer noch sinnvollen Beschleunigung und Zeiteinsparung gibt, wo diese bereits erreicht sind und wie die positiven Effekte einer Entschleunigung in die verkehrspolitische Entscheidungsfindung einbezogen werden können. Heutige Bewertungsverfahren sind zu stark auf das bisherige Paradigma der Beschleunigung ausgerichtet und könnten so die positiven Effekte von Entschleunigung mit einem negativen Vorzeichen in die Bewertung aufnehmen.

12. **Betriebswirtschaftliche und ökologische Kosten und Nutzen der Mobilität weisen in dieselbe Richtung.** Aus privater Perspektive bewegt sich der Umweltnutzen alternativer Mobilitätsformen im einstelligen Prozentbereich der gesamten Nutzen und Kosten der Mobilität aus Gesundheit, Verkehrssicherheit, Fahrzeit und Fahrzeugbetrieb. Somit liegt der Hauptnutzen umweltschonender Mobilitätsstile für den Verkehrsteilnehmer nicht nur in der ökologischen Wirkung selbst, sondern zu einem großen Teil auch in finanziellen Ersparnissen und einem gesünderen Lebensstil.
13. **Investitionen zur Förderung aktiver Mobilität kreieren breite gesellschaftliche Nutzen.** Durch die Förderung von Rad- und Fußverkehr oder die attraktive Umgestaltung von ÖPNV-Systemen kann neben den rein verkehrsspezifischen Nutzen auch die Aufenthaltsqualität öffentlicher Räume allgemein profitieren. Diese Nutzen wurden im Rahmen dieser Studie nicht quantifiziert, sollten aber bei einer ganzheitlichen Rechnung den Investitionskosten gegenüber gestellt werden. Hierdurch könnte der Nutzen-Kosten-Indikator, welcher für die fünf analysierten Maßnahmen aufgrund der Zeitkosten deutlich negativ ausfällt, positiv beeinflusst werden.

Der Umstieg vom Pkw auf alternative Mobilitätsformen kann dämpfende Effekte für die Automobilindustrie zur Folge haben. Inwieweit die Effekte auch gesamtwirtschaftlich negativ wirken oder durch Investitionen in Verkehrsinfrastrukturen und deren Betrieb ausgeglichen werden, stellt sich anhand der Ergebnisse dieser Studie wie folgt dar:

14. **Die Investitionshöhen der untersuchten Maßnahmen unterscheiden sich grundlegend.** Die Schätzungen bewegen sich zwischen einer Mrd. Euro jährlich für Radwege und Fußgängerzonen, zwei Mrd. Euro für den Ausbau der ÖPNV-Systeme und 10 Mrd. Euro für die Schaffung von Anreizen zur Regionalisierung der Fahrziele im Personenverkehr. Letztere Maßnahme geht weit über den Verkehrsbereich hinaus, da hier stadt- und regionalplanerische Umgestaltungen im größeren Umfang unterstellt werden. Es ist jedoch denkbar, dass sich mehr regional orientierte Mobilitätsmuster durch günstigere Maßnahmen erreichen oder unterstützen lassen. Die Streichung der Eigenheimzulage ab 2004 durch die Bundesregierung war hier ein erster Schritt, welcher durch die Abschaffung der Pendlerpauschale oder sonstige steuerliche Regelungen unterstützt werden kann.

15. **Der Umbau der Verkehrssysteme muss den Staatshaushalt nicht zwangsläufig belasten.** In den analysierten Maßnahmen wird unterstellt, dass Infrastrukturinvestitionen aus zusätzlichen Einnahmen der Nutzer und aus dem Staatshaushalt finanziert werden. Der Bausektor profitiert von den zusätzlichen Investitionen stärker als alle anderen Sektoren. Als Folge der Maßnahmen ist teilweise die sektorale Nachfrage verringert z. B. in der Automobilindustrie durch eine Reduktion des PKW-Kaufverhaltens, die durch zusätzliche Nachfrage nach ÖV-Rollmaterial nicht kompensiert wird. Der gesamtwirtschaftliche Investitionssaldo bleibt aber bei vier von fünf Maßnahmen positiv. Der Nachfragerückgang in der Automobilindustrie durch weniger Pkw-Verkehr wird bei den meisten Maßnahmen durch die von der Bauindustrie erstellten Infrastrukturinvestitionen mehr als kompensiert. Einzig für die Senkung des Treibstoffverbrauches (M4), wo keine direkten Investitionen unterstellt wurden, verursacht der Rückgang der Automobilproduktion einen gesamtwirtschaftlichen Rückgang der Investitionen von etwa einem Prozent 2030 gegenüber dem Basisfall. Bei Annahme von staatlichen Förderprogrammen für das Verkehrsmanagement in Höhe von 100 bis 200 Mio. Euro kann jedoch ein ausgeglichener Saldo erreicht werden.
16. **Investitionen und organisatorische Änderungen des Transportsektors unterstützen sich gegenseitig.** In zwei der untersuchten Maßnahmen, der Effizienzsteigerung in der Pkw-Nutzung und der Verlagerung des Güterverkehrs auf die Bahn, zeigen betriebliche Änderungen im Bahnverkehr sowie Mobilitätsmanagement im Personenverkehr große Wirkungen. Beide Maßnahmen können ohne nennenswerte Investitionen implementiert werden. Voraussetzung ist jedoch die Bereitschaft der Nutzer und Unternehmen, gewohnte Routinen aufzugeben und neue Organisationsformen unter Nutzung aktueller technischer Hilfsmittel anzunehmen.
17. **Die Beschäftigung entwickelt sich in fast allen Maßnahmen positiv.** Getrieben durch den positiven Investitionssaldo der untersuchten Maßnahmen steigt die Beschäftigung gegenüber dem zugrunde gelegten Trendszenario leicht an. Für das Jahr 2030 sind dies über alle Branchen 1,4 % bis 2,5 % mehr Arbeitsplätze in den Maßnahmen M1, M2 und M3. Für den Sektor Transport und Verkehr, der die zusätzlichen Verkehrsdienstleistungen erbringt, sind die Zuwächse etwa vier- bis fünfmal so hoch. Eine Ausnahme stellt Maßnahme M4 (effizientere Pkw-Nutzung) dar, bei welcher dem Rückgang der Automobilnutzung und damit auch der PKW-Verkäufe keine positiven Impulse der Maßnahme gegenüber stehen. Unter der genannten Annahme von Investitionen von 100 bis 200 Mio. Euro jährlich in verbessertes Verkehrsmanagement, die auf den Dienstleistungssektor entfallen, kann dieser negative Saldo der Gesamtbeschäftigung jedoch ausgeglichen werden. Es muss jedoch konstatiert werden, dass ein Rückgang der Beschäftigung in Deutschland vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und des damit verbundenen Mangels an Fachkräften in den kommenden Jahrzehnten an Bedeutung verlieren dürften. Allerdings bie-

tet die Beschäftigung im Bausektor auch in Zukunft noch Möglichkeiten für geringqualifizierte Arbeitnehmer.

18. **Die gesamtwirtschaftliche Produktivität bleibt nahezu konstant.** Die in dieser Studie untersuchten Maßnahmen betrachten im Wesentlichen Investitionen in den Bausektor, welcher allerdings im Vergleich mit anderen Investitionsgütersektoren nur geringe Impulse für eine Erhöhung der Produktivität generiert. Eine Ausnahme stellt Maßnahme M2 mit Investitionen in die ÖPNV-Fahrzeugindustrie dar. Diese erzielen jedoch ebenfalls nur kleinere Produktivitätsverbesserungen verglichen mit Sektoren wie Elektronik, Maschinenbau oder EDV-Geräte und damit auch keine nennenswerte Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Produktivität. Veränderte Fahrzeiten insbesondere im Güterverkehr können auch Produktivitätsänderungen bewirken. Diese bleiben in den Maßnahmen aber auch begrenzt.
19. **Das Bruttoinlandsprodukt entwickelt sich positiv.** Das BIP liegt in vier von fünf Maßnahmen in 2030 leicht höher als im Referenzszenario. Der zusätzliche Investitionsimpuls und die Zweitrundeneffekte der Maßnahmen kompensieren die negativen Effekte in der Automobilindustrie sowie die Effekte struktureller Änderungen mit ihren Auswirkungen auf die sektorale Nachfrage. Die Gegenfinanzierung der Investitionen aus zusätzlichen Einnahmen der Maßnahmen und dem Staatshaushalt ist realisierbar. Vor dem Hintergrund der enormen Unsicherheit bezüglich der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung müssen die volkswirtschaftlichen Konsequenzen nachhaltigerer Mobilität mit Veränderungen des BIP in einer Spannweite von - 0,2 % bis + 2,2 % als eher moderat bezeichnet werden.

Abschließend kann ein positives Fazit für die ökonomische Darstellbarkeit und die Akzeptanz verhaltensändernder Maßnahmen für ein ökologischeres Verkehrssystem gezogen werden.

20. **Sinnvolle Maßnahmenpakete können die Effektivität und Effizienz der Verkehrspolitik deutlich steigern.** Sowohl die individuelle Bilanz als auch die gesamtwirtschaftliche Bilanz kann verbessert werden, wenn die verschiedenen Maßnahmen und Instrumente synergetisch ineinander greifen. Dies steigert auch die Akzeptanz. Im Zentrum stehen dabei Ansätze des "Push & Pull" im Sinne einer Verlagerungs- und Finanzierungsstrategie, indem marktwirtschaftliche Instrumente (z. B. Mobility Pricing) gleichzeitig zur Finanzierung und Steuerung eingesetzt werden. Die Strategie für kürzere Wege und der Wechsel hin zu aktiver Mobilität gehen dabei Hand in Hand und bedingen gleichzeitig eine Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsentwicklung und eine Verdichtung nach innen. In einem solch umfassenden Ansatz haben umweltschonende Mobilitätsformen (moderner ÖPNV und Rad- und Fußgängerverkehr) a priori höhere Potenziale.

### 8.3 Schlusswort

Wie bereits vorangegangene Studien stellt auch diese Untersuchung eine Konsistenz zwischen wirtschaftlichen und ökologischen Zielen des Verkehrs fest. Die Reduktion der Nutzung von Pkw und Lkw senkt in der Regel die Fahr- und Transportkosten und erhöht die Verkehrssicherheit. Im Personenverkehr kommen noch erhebliche Gesundheitsnutzen hinzu, welche sowohl aus individueller als auch aus gesellschaftlicher Sicht relevante Größenordnungen erreichen.

Problematisch stellt sich jedoch die Bewertung von Reisezeitverlusten dar, die durch eine Verlagerung hin zu umweltschonenden Verkehrsmitteln resultieren können. Die unterschiedlichen Ergebnisse der privatwirtschaftlichen Analyse im Vergleich zur gesamtwirtschaftlichen Rechnung mittels des ASTRA-D-Modells machen deutlich, dass emissionsarme Mobilitätsformen in ausgewählten Situationen sehr konkurrenzfähig gegenüber dem MIV sein können. Diese idealen Konstellationen spiegeln jedoch die realen Mobilitätssituationen der Menschen in vielen Fällen nicht wieder. Soll eine nachhaltige Verkehrspolitik für die Bevölkerung akzeptabel gestaltet werden, ergibt sich der Auftrag an die Verkehrs- und Regionalpolitik, positive Umfeldler für eine nachhaltige Mobilität zu schaffen, ohne den motorisierten Individualverkehr zu sehr zu verschlechtern. Vielmehr geht es darum, das Wachstum des Pkw-Verkehrs zugunsten alternativer Mobilitätsformen einzudämmen.

Die Analysen zeigen auch auf, dass das Potenzial zur Minderung von Schadstoff-, Klimagas- und Lärmemissionen des Verkehrs angesichts der Wachstumsdynamik beschränkt ist. Umso mehr geht es darum, sich darauf zu konzentrieren, das Wachstum selbst mit einer aktiven, auf eine ressourcenschonende Entwicklung ausgerichteten Siedlungs- und Verkehrsplanung in einem ausgewogenen Maßnahmenmix zu steuern.

Schließlich legt die breite Wirkung der hier untersuchten Instrumente die Empfehlung nahe, nicht einzelne Maßnahmen, sondern ein Portfolio und Mechanismen zur Verbesserung der Umwelt- und Lebenssituation sowie der Mobilitätsversorgung der Menschen zu fördern. Die Wahl der Instrumente sollte dabei an die jeweilige Situation der Stadt oder Region angepasst werden können, um Potenziale optimal zu nutzen. Dabei sollten aber die zu erreichenden Umweltziele klar formuliert sein, was in Form der Immissionsrichtlinien für Lärm, NO<sub>x</sub> und Feinstaub auf lokaler Ebene und für CO<sub>2</sub> auf europäischer Ebene bereits der Fall ist.

## 9 Abkürzungen und Symbole

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
Afa	Abschreibung für Abnutzung
ARE	Amt für Raumentwicklung (Schweiz)
ASTRA	Amt für Strassenwesen (Schweiz)
ASTRA	ASessment of TRAnsport strategies (Verkehrsmodell, FhG-ISI)
ASTRA-D	ASTRA-Deutschland(-Modell)
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAU	Business-as-Usual (Szenario)
bez.	Bezüglich
BGL e.V.	Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMI	Body Mass Index
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
bspw.	Beispielsweise
BVWP	Bundesverkehrswegeplanung
BWS	Bruttowertschöpfung
CASES	Cost Assessment for Sustainable Energy Systems
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DB	Deutsche Bahn AG
dB(A)	Dezibel, Filter A
DeStatis	Statistisches Bundesamt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EBA	Eisenbahnbundesamt
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EU	Europäische Union
EU-EHS	Emissionshandelssystem der Europäischen Union
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft
Fzkm	Fahrzeug-Kilometer
geg.	Gegenüber
GRACE	Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation
GV	Güterverkehr
h	Stunde(n)
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HCU	HafenCity Universität Hamburg
HEATCO	Health economic assessment tools

HVV	Hamburger Verkehrsverbund
i.H.v	in Höhe von
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaschutzprogramm
IMPACT	Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport
INFRAS	INFRAS AG, Zürich
IRTAD	International Road Traffic and Accident Database
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung (Karlsruhe)
iTREN	Integrated transport and energy baseline
IV	Individualverkehr
Kfz	Kraftfahrzeug(e)
KIS	Kosten-Information-System
Km	Kilometer
KR	Kraftrad
L <sub>den</sub>	Lärmpegel Day-Evening-Night (gemittelter Tagespegel)
Lkw	Lastkraftwagen (inkl. Zugmaschinen und Sattelzugkombinationen)
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
LV	Lamgsamverkehr (Radfahren, Zu-Fuß-Gehen)
M	Meter
MiD 2008	Mobilität in Deutschland 2008 (Haushaltsbefragung)
Mio.	Million(en)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MODUM	Modell Umwelt und Mobilität (Infras)
Mrd.	Milliarde(n)
MZR	motorisiertes Zweirad (Mofas, Mopeds, Kraftroller, Kleinkrafträder, Motorräder etc.)
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NE	Nichteisen
NEAT	Neue Eisenbahn-Alpentransversale
NEEDS	New Energy Externalities Developments for Sustainability
NFP41	Nationales Forschungsprogramm (Schweiz), Modul 41
NFZ	Nutzfahrzeuge (Lkw, Zug- und Baumaschinen etc.)
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NIBA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte
NISTRA	Nachhaltigkeitsindikatoren für STRasseninfrastrukturprojekte
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
NMVOc	non methane volatile organic compound
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide
NUTS	Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automobilhersteller)

ÖV	Öffentlicher Verkehr (ÖPNV, SPV, SGV)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
p.a.	pro anno (je Jahr)
PExMo	Private und Externe Kosten der Mobilität (Bewertungstool)
P-h	Personen-Stunden
PHAN	PHysical Activity Networking
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Particulate Matter = Partikelemissionen (Feinstaub und Ruß)
s.a.	siehe auch
SNF	Schweres Nutzfahrzeug
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SPNV	Schienenpersonennahverkehr (Straßen-, U-, S-Bahn)
SPV	Schienenpersonenverkehr (Straßen-, U-, S-Bahn; Bahnfernverkehr)
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
SuM	Projekt „Siedlungsentwicklung und Mobilität“ für den Raum München
SUV	Sport Utility Vehicle (Geländelimousine)
t	Tonne(n)
t-h	Tonnen-Stunden
THG	Treibhausgas(e)
Tkm	Tonnenkilometer
TREMODO	Transport Emission Model (Verkehrsmodell, IFEU)
UBA	Umweltbundesamt
UIC	Union Internationale des chemins de fer(Internationaler Eisenbahnverband)
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
vgl.	Vergleiche
VOC	Volontile Organic Compounds = flüchtige organische Verbindungen
VP	Verkehrsprognose
WHO	World Health Organization
WoMo	Wohn- und Mobilitätskosten
zGG	zulässiges Gesamtgewicht
ZINV	Ziel- und Indikatorensystem Nachhaltiger Verkehr

## 10 Literatur

- ADAC (2012): ADAC Autokosten-Rechner. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club, Internet: [http://www1.adac.de/Auto\\_Motorrad/autokosten/autokosten-rechner](http://www1.adac.de/Auto_Motorrad/autokosten/autokosten-rechner)
- ADFC (2012): Sicherheit von Radwegen. Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club (ADFC), Kreisverband Bottrop/Kirchhellen.
- ADFC, Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (2012a): Effekte regelmäßigen Radfahrens. Online-Ressource, 21.06.2012:  
<http://www.adfc.de/gesundheit/gesund-bleiben/uebersicht-gesund-bleiben>
- ADFC, Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (2012b): Radfahrer ersparen dem Gesundheitssystem hohe Kosten. Finnische Studie .  
<http://www.adfc.de/gesundheit/gesund-bleiben/uebersicht-gesund-bleiben>.
- AdL (2010): The Future of Urban Mobility. Towards networked, multmodal cities of 2050. Arthur D. Little Future lab. No. 1.  
[http://www.adlittle.com/downloads/tx\\_adlreports/ADL\\_Future\\_of\\_urban\\_mobility.pdf](http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL_Future_of_urban_mobility.pdf)
- Akkermans L., Vanherle, K., Moizo A., Raganato P., Schade B., Leduc G., Wiesenthal T., Shepherd S., Tight, M., Guehnemann, A., Krail M., Schade W. (2010): Ranking of measures to reduce GHG emissions of transport: reduction potentials and qualification of feasibility. Deliverable D2.1, Studie GHG-TransPoRD unterstützt durch die Europäische Kommission, 7. FuE Rahmenprogramm. Transport & Mobility Leuven,.
- Amelung, V. E., A. Mühlbacher, C. Krauth (2012): Gabler Wirtschaftslexikon, Version 10, Stichwort: Gesundheitsökonomische Evaluation.. Online-Ressource 22.06.2012.  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/17874/gesundheitsoekonomische-evaluation-v10.html>
- ARE (2007) Volkswirtschaftliche Auswirkungen der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (Ecoplan/INFRAS)
- ARE/ASTRA (Bundesamt für Raumentwicklung/Bundesamt für Strassen) (2006) (Hrsg): Die Nutzen des Verkehrs, Teilprojekt 1: Begriffe, Grundlagen und Messkonzepte, Bern.

- BAST (1992): Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) zum Forschungsprojekt 8952). R. Schnüll, Bergisch-Gladbach.
- BAST (1993): Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen. Bericht V9 der Bundesanstalt für Straßenwesen. W. Angenendt, Bergisch-Gladbach.
- Bickel, Peter, Rainer Friedrich, Arnaud Burgess, Patrizia Fagiani, Alistair Hunt, Gerard De Jong, James Laird, Christoph Lieb, Gunnar Lindberg, Peter Mackie, Stale Navrud, Thomas Odgaard, Andrea Ricci, Jeremy Shires, Lori Tavasszy (2006): Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), Deliverable 5: Proposal for Harmonised Guidelines. IER, Stuttgart, 2006.
- BGL (2012): Kosten-Informationen-System für die leistungsorientierte Kalkulation von Straßengütertransporten. 16. Ergänzungslieferung Mai/Juni 2012. Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL) e.V., Köln
- BMG (Bundesministerium für Gesundheit) (2011): Strategie der Bundesregierung zur Förderung der Kindergesundheit. BMG, Berlin.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2002): Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. FahrRad!. Nationaler Radverkehrsplan 2002-2012. Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Deutschland. Bericht der Bundesregierung.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2005): Die Gesamtwirtschaftliche Bewertung. Bundesverkehrswegeplan 2003. BVU (Freiburg), IVV (Aachen), Planco (Essen) im Auftrag des BMVBS, Januar 2005.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (2012): Verkehr in Zahlen 2011/2012. Bearbeitung: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- BMVBS (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020 – den Radverkehr gemeinsam weiterentwickeln. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin.
- Börjesson, M. und J. Eliasson (2012): The value of time and external benefits in bicycle appraisal. Transportation Research Part A 46 (2012) 673–683. Elsevier

- Bratzel (2008): Automotive Markets 2008: Jugend und Automobil. Eine empirische Studie zu Einstellungen und Verhaltensmustern von 18 bis 25-jährigen in Deutschland. FHDW Center of Automotive, Arbeitspapier 2008-08.
- Bräuninger, Michael, Christian Sattler, Norbert Kriedel, Henning Vöpel, Thomas Straubhaar (2007): Gesundheitsentwicklung in Deutschland bis 2037 – eine volkswirtschaftliche Kostensimulation. Hamburgisches WeltWirtschafts Institut. HWWI Policy. Paper 1-6 des HWWI-Kompetenzbereiches Wirtschaftliche Trends. [http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Policy/HWWI\\_Policy\\_Paper\\_1-6.pdf](http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Policy/HWWI_Policy_Paper_1-6.pdf)
- Cansier, D. (1996): Umweltökonomie, 2., neubearbeitete Auflage, Lucius & Lucius, Stuttgart.
- Doll, C, M. Krail, H. Lückge, M. Maibach, C. Schreyer (2010): Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Erster Zwischenbericht. UFOPLAN F+E-Vorhaben FKZ 370945140 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Fraunhofer ISI, Infrac, Karlsruhe, Zürich.
- Doll, C. und H. van Essen (2008): Road infrastructure costs and revenues in Europe. Deliverable 2 der Studie „Internalisation measures and policies for all external costs of transport“ (IMPACT). Fraunhofer ISI (Karlsruhe), CE Delft, April 2008.
- ECF (European Cyclists Federation) (2009): Facts and Figures 2009. European Cyclists Federation (ECF),
- ECF (European Cyclists Federation) (2012): CO<sub>2</sub> Calculator. Online-Ressource: <http://www.ecf.com/co2-calculator/>
- Ecoplan und metron (2005): Kosten-Nutzen-Analysen im Straßenverkehr. Ecoplan, Forschung und Beratung in Wirtschaft und Politik, Bern und Altdorf und Metron Verkehrsplanung AG, Brugg. Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Dezember 2005.
- EEA (European Environment Agency) (2010): Good practice guide on noise exposure and potential health effects; Technical Report No 11/2010; Kopenhagen. [http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise/at_download/file)

- Eichhammer, W., C. Doll, T. Fleiter, E. Jochem, J. Köhler, A. Peters, F. Sensfuß, M. Wietschel, F. Matthes, P. Hansen, A. Roser, H.-J. Ziesing (2010): Ermittlung der Klimaschutzwirkung des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung IEKP und Vorschlag für ein Konzept zur kontinuierlichen Überprüfung der Klimaschutzwirkung des IEKP. Wissenschaftliche Unterstützung der Umsetzung des Klimaschutzprogramms. Forschungsvorhaben FKZ: 3708 41 120 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Koordination: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe. Laufendes Vorhaben.
- Eichhammer, W., C. Doll, T. Fleiter, W. Schade, J. Schleich, B. Schlomann, F. Sensfuß, R. Walz, M. Wietschel, P. Hansen, M. Kleemann, P. Markewitz, D. Martinsen, R. Harthan, F. Matthes, M. Jakob, H.-J. Ziesing (2008): Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes - Kostenbetrachtung ausgewählter Einzelmaßnahmen der Meseberger Beschlüsse zum Klimaschutz. Fraunhofer ISI, ETH-Zürich, Öko-Institut, FZ-Jülich, CEPE Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 205 46 434 des Umweltbundesamtes (UBA). Karlsruhe.
- Essen, H. van, A. Schrotten, M. Otten, D. Sutter, C. Schreyer, R. Zandonella, M. Maibach, C. Doll (2011): External Costs of Transport in Europe. Update Study for 2008. CE Delft, Infrac, Fraunhofer ISI im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), Paris. Delft, Zürich, Karlsruhe, September 2011. [http://www.cedelft.eu/publicatie/external\\_costs\\_of\\_transport\\_in\\_europe/1258](http://www.cedelft.eu/publicatie/external_costs_of_transport_in_europe/1258)
- EU (Europäische Union) (2008): Amtsblatt der Europäischen Union. Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lqrl\\_richtline.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lqrl_richtline.pdf)
- Europäische Kommission (2003): Anleitung zur Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionsprojekten. GD Regionalpolitik.
- Europäische Kommission (2011): Weißbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. Brüssel, 28.03.2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>
- Fiorello D., De Stasio C., Köhler J., Kraft M., Newton S., Purwanto J., Schade B., Schade W., Szimba E. (2009): The iTREN-2030 reference scenario until 2030. Deliverable 4 von iTREN-2030 (Integrated transport and energy baseline until 2030). Mailand, Italien, Oktober 2009.

- Güller, Peter (2002): Road Pricing im internationalen Vergleich – Konzepte und Akzeptanz, in: Die Volkswirtschaft 5/2002, Bern
- Hartwig, J., Schade, W., Sievers, L. (2012): Kurzübersicht des Modells ASTRA-D. Working Papers Sustainability and Innovation S 10/2012. Fraunhofer ISI, Karlsruhe
- HBEFA (2011): Handbuch für Emissionsfaktoren im Straßenverkehr, Version 3.1. INFRAS, Zürich, 2010.
- HiTrans (2005): Best Practice Guide 1 – Public transport & land use planning.
- Knörr, W., Heidt, C., Schacht, A. (2012): Aktualisierung “Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO, Version 5.3) für die Emissionsberichtserstattung 2013 (Berichtsperiode 1990-2011). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Fkz. 360 16 037. IFEU Heidelberg
- Infas/DLR (2010a): Mobilität in Deutschland 2008 - Ergebnisbericht. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, (Bonn) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung (Berlin) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS, Berlin. [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Abschlussbericht\\_I.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf)
- Infas/DLR (2010b): Mobilität in Deutschland – Tabellenband. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, (Bonn) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung (Berlin) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS, Berlin. [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Tabellenband.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Tabellenband.pdf)
- INFRAS (2000): Wirtschaftlichkeit der ersten Etappe der Stadtbahn Zug. Studie im Auftrag des Amt für öffentlichen Verkehr des Kantons Zug.
- INFRAS (2008) Akzeptanz von Mobility Pricing, in Zusammenarbeit mit Interface, SVI Forschungsauftrag
- INFRAS (2009): Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EU-EHS - Wirtschaftliche Auswirkungen möglicher Szenarien. M. Peter, H. Lückge, M. Maibach. Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL). Zürich, Bern.
- INFRAS (2010): Best Practice Guide – International Transport Forum. Studie im Auftrag von iMONITRAF!, May 2010.

- INFRAS/IER/ISI (2011): Schätzung externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern. Infrac (Zürich), Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) Universität Stuttgart, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Dessau.
- INFRAS und Emch+Berger (2006): Gesamtevaluation Fussgänger- und Velomodellstadt Burgdorf, Studie im Auftrag der Baudirektion Burgdorf und des Bundesamt für Energie.
- J.D. Power and Associates (2009): Associations with NASCAR and Action Movies Fuel Online Conversation about Chevrolet and Dodge Among Generation Y.
- Jacobsen, S. (2003): Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention* 2003;9:205–209
- Jochem E., Jäger C., Battaglini A., Köwener D., Schade W. (2008): "Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland." Endbericht des KlimInvest 2020 Projektes im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Karlsruhe, Berlin.
- Kahlmeier, S, N. Cavill, H. Dinsdale, H. Rutter, T. Götschi, C. Foster, P. Kelly, D. Clarke, P. Oja, R. Fordham, D. Stone, F. Racioppi (2011): Health economic assessment tools (HEAT) for walking and for cycling. Methodology and user guide. Economic assessment of transport infrastructure and policies. World Health Organization.
- Kienzler, H.-P. (2011): Study on the Effects of the Introduction of LHV's on Combined Road-Rail Transport and Single Wagonload Rail Freight Traffic. Studie im Auftrag der Gemeinschaft Europäischer Bahnen (CER), Brüssel. K+P Transprot Consultants, Freiburg und Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- König, S. (2006): Evaluations of the effect of rebuilt bicycle paths at intersections on arterial streets in Lund", LTH, Thesis 146, Lund.
- Krüger, T (2008): Folgekosten neuer Wohnstandorte. Neue Instrumente zur Verbesserung ihrer Transparenz für öffentliche und private Haushalte. *Raumplanung*, Heft 141, S. 269-274, Dezember 2008
- Leifheit AG (2012): Deutschland wiegt sich. Eine Initiative von Soehnle, einer Marke der Leifheit AG. Sport gegen Kilos. Kalorienverbrauch im Alltag. <http://www.deutschland-wiegt-sich.de/index.php?id=275>. (22.06.2012)

- Lindberg, G. (2006): Marginal cost case studies for road and rail transport – Deliverable D3, Lindberg, G. (VTI) with contribution from partners, GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation), funded by sixth Framework Programme. Leeds : ITS, University of Leeds, 2006
- Link, H. M. Herry, N. Sedlacek, G. Lindberg, P. Johansson, J.-E. Nilsson, C. Schreyer, M. Maibach, P. van Donselaar, H. Carmighelet, J.-O. Jansson, R. Ericsson, B. Matthews, C. Nash, V. Himanen, T. Idström, D. Tsamboulas, D. Korizis, A. Kopsacheili (2002b): Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency, Deliverable 10: Case Studies on Marginal Infrastructure Costs. Project funded by the 5th RTD framework program of the European Commission. Leeds, August 2002
- Link, H., D. Kalinowska, U. Kunert, S. Radke (2009): Wegekosten und Wegekostendeckung des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007. Forschungsprojekt im Auftrag des BGL, ADAC und BDI. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin.
- Link, H., L. H. Stewart, C. Doll, P. Bickel, S. Schmid, R. Friedrich, S. Suter, H. Sommer, M. Marti, M. Maibach, C. Schreyer, M. Peter (2002a): UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 5: Pilot Accounts – Results for Germany and Switzerland. Working Funded by 5th Framework RTD Programme. Leeds : ITS, University of Leeds, May 2002.
- Maar, Christa, Rolf Fricker (2011): Vorteil Vorsorge. Die Rolle der betrieblichen Gesundheitsvorsorge für die Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland. [http://www.booz.com/media/uploads/BoozCo\\_Studie-Betriebliche-Vorsorge-2011.pdf](http://www.booz.com/media/uploads/BoozCo_Studie-Betriebliche-Vorsorge-2011.pdf)
- Maibach, M, D. Suter und H. Lückge (2012): Mit der Umwelt Rechnen. Eine Handlungsanleitung für den Einbezug von externen Kosten in die Entscheidungsfindung. Umweltbundesamt, Forschungsprojekt FKZ 3708 14 101. Zürich, September 2012.
- Maibach, M., C. Schreyer, D. Sutter, H.P. van Essen, B.H. Boon, R. Smokers, A. Schroten, C. Doll, B. Pawlowska, M. Bak (2008): Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). CE Delft.
- Martin, Brian (2002): Bewegung und Gesundheit: Konsequenzen und Möglichkeiten für die hausärztliche Praxis. in: PrimaryCare 2002, 2: 9-11.

- Matthes, Chr., S. Gores, V. Graichen, R. O. Harthan, P. Markewitz, P. Hansen, M. Kleemann, V. Krey, D. Martinsen, J. Diekmann, M. Horn, H.-J. Ziesing, W. Eichhammer, C. Doll, N. Helfrich, L. Müller, W. Schade, B. Schlomann (2008): Politik-szenarien für den Klimaschutz IV - Szenarien bis 2030 für den Projektionsbericht 2007. Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin, Jülich, Karlsruhe.
- Matthes, F. Chr., S. Gores, R. O. Harthan, L. Mohr, G. Penningeer, P. Markewitz, P. Hansen, D. Martinsen, J. Diekmann, M. Horn, W. Eichhammer, T. Fleiter, J. Köhler, W. Schade, B. Schlomann, F. Sensfuß, H. J. Ziesing (2009): Politik-szenarien für den Klimaschutz V – Auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Climate Change 16/2009.
- MFW/ISV (2012): Gute Argumente für betriebliche Radverkehrsförderung in Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung Baden-Württemberg. Ministerium für Wirtschaft und Finanzen Baden-Württemberg, Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart
- Neus, W. (1998): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Mohr Siebeck, Tübingen.
- Persson S. and P. Goodwin (2000): Measuring the Economic Effects of Transport Investment
- Peter, Martin, Remo Zandonella, Markus Maibach (2003): Volkswirtschaftliche Bedeutung der Zivilluftfahrt in der Schweiz. Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)/Aerosuisse. Schlussbericht, Zürich, 30.05.2011
- Prograns AG/IWW (2007): Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstraßen in Deutschland. Endbericht im Auftrag Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Prograns (Basel) und IWW (Universität Karlsruhe), 2007.
- Reh, W. und R. Mergner (2010): Mehr Intelligenz statt Beton – Hintergrund und Handlungsmöglichkeiten zur Überarbeitung des Bundesverkehrswegeplans und des Bedarfsplans für die Bundesfernstraßen. BUND für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Januar 2010.

- Sælensminde, Kjartan (2004): Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A* 38 (2004) 593–606. Elsevier. <http://www.sustrans.org.uk/assets/files/International/Norway%20cost-benefit%20analysis.pdf>
- Samitz, G., M. Egger und M. Zwahlen (2011): Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose–response meta-analysis of cohort studies. *International Journal of Epidemiology*. Advance Access Publication September 5, 2011. <http://ije.oxfordjournals.org/content/40/5/1382.full.pdf>
- Schade W. (2005): *Strategic Sustainability Analysis: Concept and application for the assessment of European Transport Policy*. Dissertation, NOMOS-Verlag, Baden-Baden.
- Schade, W., A. Lüllmann, R. Beckmann, J. Köhler (2009): IEKP-Makro – Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr. Modul 5b des FKZ 205 46 434 im Auftrag des Umweltbundesamtes. Karlsruhe, März 2009.
- Schips, Bernd und Jochen Hartwig (2005): Wachstumswirkungen und Rentabilität von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen. Stand der Forschung und wirtschaftspolitische Schlussfolgerungen für die Schweiz. Studie im Auftrag der Schweiz. Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz (BPUK) und der Konferenz der kantonalen Direktoren des öffentlichen Verkehrs (KöV), Zürich.
- Schlesinger, Michael, Peter Hofer, Andreas Kemmler Almut Kirchner, Samuel Strassburg, Dietmar Lindenberger, Michaela Fürsch, Stephan Nagl, Moritz Paulus, Jan Richter, Johannes Trüby, Christian Lutz, Oleksii Khoroshun, Ulrike Lehr, Ines Thobe (2010): *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Studie. Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin.
- Shires, J. D. und G. C. de Jong (2009): *Evaluation and Program Planning*. *Evaluation and Program Planning* 32 (2009) 315–325. Elsevier.
- SINUS / ADFC 2012: *Fahrrad-Monitor Deutschland 2011 – Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung*. Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH und Allgemeiner deutscher Fahrrad-Club (ADFC) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Heidelberg, Berlin.

- SRU (2005): Umwelt und Straßenverkehr. Hohe Mobilität – umweltverträglicher Verkehr. Sondergutachten des SRU. Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen, Berlin, Juli 2005.
- Statistisches Bundesamt (2011): Verkehr. Verkehrsunfälle 2010. Fachserie 8, Reihe 7.3 Beteiligte an Straßenverkehrsunfällen 2010. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700107004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700107004.pdf?__blob=publicationFile)
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012): Gesellschaft & Staat. Gesundheit. Gesundheitszustand & -relevantes Verhalten. Körpermaße nach Altersgruppen. Ergebnisse des Mikrozensus 2009. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/GesundheitszustandRelevantesVerhalten/Tabellen/Koerpermasse.html> (13.07.2012)
- STMI (Bayerisches Staatsministerium des Innern) (2011): Radverkehrshandbuch Radland Bayern. Oberste Baubehörde im STMI, München
- Titze, S., Ring-Dimitriou, S., Schober, P.H., Halbwachs, C., Samitz, G., Miko, H.C., Lercher, P., Stein, K.V., Gäbler, C., Bauer, R., Gollner, E., Windhaber, J., Bachl, N., Dorner, T.E. & Arbeitsgruppe Körperliche Aktivität/Bewegung/Sport der Österreichischen Gesellschaft für Public Health (2010): Bundesministerium für Gesundheit, Gesundheit Österreich GmbH, Geschäftsbereich Fonds Gesundes Österreich (Hrsg.). Österreichische Empfehlungen für gesundheitswirksame Bewegung. Wien: Eigenverlag.
- Transport for London (2007): Central London Congestion Charging – Impacts monitoring Fifth Annual Report, July 2007.
- Transport for London (2008): Central London Congestion Charging – Impacts monitoring Sixth Annual Report, July 2008.
- UBA (Umweltbundesamt) (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau, 2007.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2009): Entwicklung der Luftqualität in Deutschland. Hintergrund. Dessau-Roßlau. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3760.pdf>
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2010): Leitfaden Klimaschutz im Stadtverkehr. Dessau-Roßlau. Juli 2010. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4023.pdf>

- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (2012a): Impacts of Air Pollution on Human Health, Ecosystems and Cultural Heritage. Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), Genf. [http://www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/ceh\\_impact.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/ceh_impact.pdf)
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (2012b): Parties to UNECE Air Pollution Convention approve new emission reduction commitments for main air pollutants by 2020. Pressemitteilung vom 4.5.2012. <http://www.unece.org/index.php?id=29858> (29.6.2012).
- Vandermeulen, V., A. Verspecht, B. Vermeire, G. van Huylenbroeck and X. Gellynck (2011): The use of economic valuation to create public support for green infrastructure investments in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 103 (2011) 198–206. Elsevier.
- VDV (Verband deutscher Verkehrsunternehmen) (2010): VDV-Statistik 2010, Köln. [http://www.vdv.de/module/layout\\_upload/st2010\\_online.pdf](http://www.vdv.de/module/layout_upload/st2010_online.pdf)
- Veisten, K., K. Sælensminde, K. Alvær, T. Bjørnskau, R. Elvik, T. Schistad, B. Ytterstad (2007): Total costs of bicycle injuries in Norway: Correcting injury figures and indicating data needs. *Accident Analysis and Prevention* 39 (2007) 1162–1169. Elsevier.
- Wardman, M. (2004): Public transport values of time. *Transport Policy* 11 (2004) 363–377, Elsevier.
- Wardman, M., M. Tight, M. Page (2007): Factors influencing the propensity to cycle to work. *Transportation Research Part A* 41 (2007) 339–350. Elsevier
- WHO Europe (2012): Health economic assessment tool (HEAT) for cycling and walking <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/Transport-and-health/activities/promotion-of-safe-walking-and-cycling-in-urban-areas/quantifying-the-positive-health-effects-of-cycling-and-walking/health-economic-assessment-tool-heat-for-cycling-and-walking> (Zugriff: 1.7.2012).
- WHO/JRC (World Health Organisation/Joint Research Centre) (2011): Burden of Disease from Environmental Noise. Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe. WHO Regional Office for Europe, European Commission JRC, Copenhagen.
- Wissenschaftlicher Beirat (2009): Strategieplanung, Mobilität und Transport – Folgerungen für die Bundesverkehrswegeplanung. Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr der Bundesregierung. Juli 2009.

Zimmer, W., Hacker, F., Rausch, L., Fritsche, U., Cyganski, R., Justen, A., Knitschky, G., Lischke, A., Mehlin, M., Müller, S., Schade, W., Hartwig, J., Sievers, L. (2012): Renewbility II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Endbericht an das Umweltbundesamt, Fkz. 37 10 96 175, Berlin