

TEXTE

19/2013

Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3708 45 101
UBA-FB 001731

Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz

von

Prof. Dr.-Ing. Gerd-Axel Ahrens
Prof. Dr.-Ing. Udo Becker
Dipl.-Ing. Dipl. UWT Thomas Böhmer
Dr.-Ing. Falk Richter
Dr.-Ing. Rico Wittwer

Technische Universität Dresden
Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung
Lehrstuhl Verkehrsökologie

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4451.html>
verfügbar.

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

ISSN 1862-4804

Durchführung
der Studie: Technische Universität Dresden
Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung
Lehrstuhl Verkehrsökologie
01069 Dresden

Abschlussdatum: November 2012

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

Redaktion: Fachgebiet I 3.1 Umwelt und Verkehr
Bernhard Specht

Dessau-Roßlau, März 2013

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001731	2. Umwelt und Verkehr	3.
4. Titel des Berichts Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Prof. Dr.-Ing. Ahrens , Gerd-Axel; Prof. Dr.-Ing. Becker , Udo; Dipl.-Ing. Dipl. UWT Böhmer , Thomas; Dr.-Ing. Richter , Falk; Dr.-Ing. Wittwer , Rico		8. Abschlussdatum November 2012
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Technische Universität Dresden Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung (vip) Lehrstuhl Verkehrsökologie (Vöko) 01062 Dresden		9. Veröffentlichungsdatum
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		10. UFOPLAN-Nr. 3708 45 101
		11. Seitenzahl 128
		12. Literaturangaben 28
		13. Tabellen und Diagramme 17
		14. Abbildungen 50
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das Ziel des Vorhabens bestand darin, belastbare Aussagen zu den Potenzialen des Radverkehrs in Bezug auf Umweltentlastungswirkungen zu gewinnen. Die Aufgabe bestand in der Untersuchung von Szenarien einer integrierten Radverkehrsförderung bzw. einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung hinsichtlich Verkehrsmittelwahl, Zielwahl, Fahrleistung und Emissionen. Mit Hilfe eines für das Projekt entwickelten Kennwertmodells wurden Stellschrauben analysiert und variiert, um dadurch Veränderungen von Fahrleistungen und Umweltwirkungen abzuschätzen. In die Modellrechnungen konnten über die Variation von Modellparametern strukturelle Veränderungen und hypothetische Annahmen im Sinne von „Wenn-Dann“-Konstellationen integriert werden (Sensitivitätsanalysen). Über die dadurch erworbenen Systemkenntnisse wurden im Anschluss rekursiv Maßnahmen Szenarien auf genereller Ebene entworfen und Bandbreiten für Wirkungen abgeschätzt. Im Ergebnis bringt die Verlagerung kurzer Kfz-Wege bis fünf Kilometer Länge nur eine geringe Änderung der CO ₂ -Emissionen von ein bis drei Prozent, da der Anteil dieser Wege an der Fahrleistung niedrig ist. Würde das Fahrrad auch für die von der Bevölkerung als „gut mit dem Fahrrad erreichbar“ wahrgenommenen (weiter entfernten) Ziele genutzt, steigt das Reduktionspotenzial deutlich auf sechs bis elf Prozent der gesamten CO ₂ -Emissionen des werktäglichen Personenverkehrs. Werden neben der reinen Verlagerung auch Strategien der Verkehrsvermeidung in die Modellrechnungen integriert sind Fahrleistungsrückgänge von 19 bis 38 Prozent bzw. eine CO ₂ -Minderung von 13 bis 27 Prozent errechnet worden. Die Ergebnisse lassen damit Schlussfolgerungen über die Potenziale des Radverkehrs zur Emissionsreduzierung zu und geben Hinweise zu deren Einordnung in ganzheitliche nachhaltige Strategien. Dadurch wird deutlich, welchen Beitrag die Verlagerung von Verkehrsmittelanteilen (Modal Shift) vom MIV sowie die Vermeidung von weiten MIV-Wege leisten kann. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass Potenziale des Radverkehrs für die Reduktion von Klimagasemissionen in Deutschland vorhanden sind.		
17. Schlagwörter Umwelt, Umweltschutz, Emissionen, Emissionsreduktion, Umweltverbund, Kohlendioxid, Fahrleistung, Potenzial, Szenarien, Maßnahmen, Sensitivitätsanalyse, Entlastung, Modell, Radverkehr, Modal Split, Topografie		
18. Preis 149.307,23 Euro	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001731	2. Environment and Transport	3.
4. Report Title Potential of Cycling to Reduce Emissions in Road Transport		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Prof. Dr.-Ing. Ahrens , Gerd-Axel; Prof. Dr.-Ing. Becker , Udo; Dipl.-Ing. Dipl. UWT Böhmer , Thomas; Dr.-Ing. Richter , Falk; Dr.-Ing. Wittwer , Rico		8. Report Date November 2012
6. Performing Organisation (Name, Address) Technische Universität Dresden Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung (vip) Lehrstuhl Verkehrsökologie (Vöko) 01062 Dresden		9. Publication Date
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau		10. UFOPLAN-Ref. No. 3708 45 101
		11. No. of Pages 128
		12. No. of Reference 28
		13. No. of Tables, Diagrams 17
		14. No. of Figures 50
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The aim of the project was to obtain reliable estimates of the potential of cycling transport regarding environmental relief. The task was to study scenarios for integrated promotion of cycling transport and sustainable transport development with respect to mode choice, destination, vehicle kilometres and emissions. With the help of a statistical model developed for the project, different parameters were analysed and varied in order to estimate changes in driven kilometres and environmental impacts. By varying the model parameters structural changes and hypothetical assumptions in the sense of "if-then" combinations were able to be integrated into the modelled variations (sensitivity analyses). Using the resulting system knowledge scenarios of measures were subsequently recursively conceptualised at a general level and the breadth of impact was estimated. The outcome reveals that shifting short car trips up to five kilometres only effects a small change in CO₂ emissions of one to three percent since the share of these trips in driven kilometres is small. If cycling were to be used for destinations (further away) perceived by the public as having good cycling accessibility then the potential for reductions increases considerably to between six and 11 percent of total CO₂ emissions in workday passenger transport. If along with mere shifts, strategies for avoiding or reducing traffic are integrated into the model then driven kilometres and CO₂ emissions are reduced by 19 to 38 percent and 13 to 27 percent respectively. The results allow conclusions to be drawn as to the potential for cycling transport to reduce emissions and provide guidance on fitting this potential into holistic, sustainable strategies. Thus the contribution of modal shift away from the personal vehicle as well as of avoiding long car trips then becomes clear. On the whole it was determined that there is potential for cycling in Germany to reduce greenhouse gas emissions.		
17. Keywords Environment, Environmental Protection, Emissions, Emissions Reductions, Carbon Dioxide, Vehicle Kilometres Travelled, Environmental Alliance, Potential, Scenarios, Measures, Sensitivity Analysis, Model, Relief, Cycling Transport, Modal Split, Topography		
18. Price 149,307.23 Euro	19.	20.

Inhalt

1	Einführung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Aufgaben- und Zielstellung	1
2	Methodik und Systematisierung.....	3
2.1	Methodisches Herangehen	3
2.2	Abstimmung mit dem Projekt „Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ des BMVBS (FE 70.0819/2008)	5
2.3	Forschungsstand von Einflussgrößen und Potenzialen der Fahrradnutzung	6
3	Abstraktion und Modellentwicklung	9
3.1	Vorüberlegungen	9
3.2	Datengrundlagen und Modellierungsgegenstand	11
3.3	Modellstruktur	14
3.4	Fahrleistungsmodul	15
3.5	Emissionsmodul	31
3.6	Ergebniseckwerte des Analysemodells	38
3.7	Modellvalidierung	39
3.8	Handhabung des Modells	45
4	Variationsrechnungen.....	50
4.1	Ausgangssituation – Status-Quo-Betrachtung	50
4.2	Einsatzbereich der Modellrechnungen	54
4.3	Wirkungsannahmen und Berechnungsergebnisse	56
4.3.1	Übersicht	56
4.3.2	Grüne Flotte	58
4.3.3	Kurze Wege mit dem Rad	61
4.3.4	Wahrnehmung des Rades als Option	63
4.3.5	Autonutzung statt -besitz	66
4.3.6	Orientierung an „Trendsettern“	72
4.4	Zusammenführung der Ergebnisse	78
5	Maßnahmenszenarien zur Ausschöpfung von CO₂-Minderungspotenzialen	82
5.1	Herleitung von Maßnahmenszenarien	82
5.2	Maßnahmenszenario A: Förderung des Systems Radverkehr	87
5.3	Maßnahmenszenario B: Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO ₂ -Minderungspolitik auf allen Ebenen	93
5.4	Wirkungsabschätzung der Maßnahmenszenarien	97
6	Zusammenfassung und Empfehlungen	101
7	Quellen- und Literaturverzeichnis.....	106
	Anhang.....	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beispiele zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen aus der Literatur ..	8
Tabelle 2:	Räumliche, zeitliche und sachliche Bezüge der Erhebungen SrV und MiD	13
Tabelle 3:	Anzahl der Gemeinden und Bevölkerungszahl nach Ortstypen.....	17
Tabelle 4:	Aggregation der Primärstatistik (GIS-Datenbank)	18
Tabelle 5:	Gemeindeanzahl und Bevölkerungszahl nach Ortstypen und Topografie ..	19
Tabelle 6:	Beispiel einer Aktivitäts-Entfernungs-Matrix aus dem Modell <i>ProFaiR</i>	25
Tabelle 7:	Schätzmodell für die PG „Schüler o. Pkw-Zugang“	28
Tabelle 8:	Verkehrliche Kenngrößen und Emissionskenngrößen des Analysemodells.....	38
Tabelle 9:	Berechnung der MIV-Referenzfahrleistung	41
Tabelle 10:	Vergleich der Ergebnisse des Modells mit weiteren Datengrundlagen	42
Tabelle 11:	Vergleich der absoluten Emissionen nach TREMOD/ <i>ProFaiR</i>	43
Tabelle 12:	Vergleich TREMOD/ <i>ProFaiR</i> prozentual auf gleiche Verkehrsleistung normiert	44
Tabelle 13:	Einsatzbereich der Modellrechnungen im Rahmen der Projekte BMVBS/BSV und UBA/TUD.....	54
Tabelle 14:	Ausgangssituation und Bevölkerungspotenzial von Personen „Ohne Pkw-Zugang“ differenziert nach Ortstypen	69
Tabelle 15:	Berechnungsergebnisse „Verhalten von Trendsettern“	76
Tabelle 16:	Maßnahmenübersicht des Maßnahmen szenarios A	89
Tabelle 17:	Maßnahmenübersicht des Maßnahmen szenarios B	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgehensweise im Projekt.....	4
Abbildung 2:	Einflussgrößen auf das Entscheidungsverhalten.....	9
Abbildung 3:	Datengrundlagen zum Verkehrsverhalten	11
Abbildung 4:	Inlandsverkehr in Deutschland	12
Abbildung 5:	Modellstruktur <i>ProFaiR</i>	14
Abbildung 6:	Grundlegende Schritte des Fahrleistungsmodells.....	16
Abbildung 7:	Radverkehrsanteil nach Neigungsverhältnissen	19
Abbildung 8:	Bildung räumlich differenzierter, sozio-demografischer Teilgesamtheiten	20
Abbildung 9:	Prinzipdarstellung von Aktivitätsketten und der Wahl eines Verkehrsmittels	22
Abbildung 10:	Wohnungsbezug der Ausgänge und Anzahl Zwischenaktivitäten bei geschlossenen Ausgängen.....	23
Abbildung 11:	Aktivitätenhomogene Schichten im Modell <i>ProFaiR</i>	25
Abbildung 12:	Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung im MIV	33
Abbildung 13:	Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung im ÖV	33
Abbildung 14:	Vereinfachte Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung	34
Abbildung 15:	Verteilung der Fahrleistung des ÖV auf die Verkehrsmittel des ÖV in Abhängigkeit von Ortstyp und Wegelängenklasse	36
Abbildung 16:	Ergebnisvergleich mit Referenzerhebungen	39
Abbildung 17:	Vergleich der Pkw-Emissionsfaktoren für PM ₁₀ für vergleichbare Innerorts-Verkehrssituationen des HBEFA 2.1 und HBEFA 3.1, Bezugsjahr 2010	44
Abbildung 18:	Vergleich der Pkw-Emissionsfaktoren für NO _x für vergleichbare Innerorts-Verkehrssituationen des HBEFA 2.1 und HBEFA 3.1, Bezugsjahr 2010 ..	45
Abbildung 19:	Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells <i>ProFaiR</i>	46
Abbildung 20:	Eingabeparameter der einzelnen Teilmodule des Modells <i>ProFaiR</i>	47
Abbildung 21:	CO ₂ -Emissionen nach Ortstyp und Verkehrsträger, Bezugsjahr 2008	50
Abbildung 22:	CO ₂ -Emissionen nach Wegelänge und Verkehrsträger, Bezugsjahr 2008	51
Abbildung 23:	CO ₂ -Emissionen nach Wegezwecken, Verkehrsträger und Emissionsart, Bezugsjahr 2008	52
Abbildung 24:	CO ₂ -Emissionen nach Ortstyp, Wegelänge und Wegezweck, Bezugsjahr 2008.....	53
Abbildung 25:	CO ₂ -Emissionen nach Ortstyp, Wegelänge und Verkehrsmittel, Bezugsjahr 2008.....	53
Abbildung 26:	Vorgehen der Wirkungsberechnungen im Projekt UBA/TUD	55

IV

Abbildung 27:	Übersicht der dem Modell zugrunde gelegten Wirkungsannahmen	56
Abbildung 28:	Wirkungsprinzip Verkehrsverlagerung und Verkehrsvermeidung	57
Abbildung 29:	Prognose der Entwicklung der deutschen Pkw-Flottenzusammensetzung nach EURO-Normen	58
Abbildung 30:	Berechnungsergebnisse „Grüne Flotte“	60
Abbildung 31:	Berechnungsergebnisse „Kurze Wege“	62
Abbildung 32:	Subjektive Einschätzung der Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes mit dem Fahrrad in Oberzentren bis 500.000 Einwohner	63
Abbildung 33:	Berechnungsergebnisse „Wahrnehmung des Rades als Option“	65
Abbildung 34:	Aktionsraumprofil (Aktivitäts-Entfernungs-Matrix) von Erwerbstätigen mit und ohne Pkw-Zugang im Ortstyp „Mittelzentren, flach“	67
Abbildung 35:	Verkehrsmittelwahl bei Wegen zur Arbeit von Erwerbstätigen mit und ohne Pkw-Zugang im Ortstyp „Mittelzentrum, flach“	67
Abbildung 36:	Berechnungsergebnisse „Autonutzung statt Autobesitz“	71
Abbildung 37:	Aktionsraumprofil (Aktivitäts-Entfernungs-Matrix) von Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang im Vergleich „Oberzentren > 500 TEW, flach vs. Bremer Verhalten“	73
Abbildung 38:	Verkehrsmittelwahl bei Wegen zur Arbeit von Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang im Vergleich „Oberzentren > 500 TEW, flach vs. Bremer Verhalten“	74
Abbildung 39:	Berechnungsergebnisse „Verhalten von Trendsettern“	77
Abbildung 40:	Übersicht der Berechnungsergebnisse „Variationsrechnungen zur MIV-Fahrleistungsreduktion“	79
Abbildung 41:	Übersicht der Berechnungsergebnisse „Variationsrechnung zur CO ₂ -Emissionsreduktion“	80
Abbildung 42:	Herleitung der Maßnahmenszenarien	83
Abbildung 43:	Integrationsaspekte der Verkehrsentwicklungsplanung	84
Abbildung 44:	Integrierte Maßnahmenpalette Verkehr	85
Abbildung 45:	Einordnung der Maßnahmenszenarien	86
Abbildung 46:	Präzisierung der Begriffe „Verkehrsverlagerung“ und „Verkehrsvermeidung im Kontext der Maßnahmenszenarien“	87
Abbildung 47:	Radverkehr als System	88
Abbildung 48:	Modal Split der Personengruppen mit u. ohne Auto im SrV-Städtepegel	94
Abbildung 49:	Wirkungsabschätzung der Maßnahmenszenarien „A“ und „B“ hinsichtlich der Reduktion von CO ₂ -Emissionen	98
Abbildung 50:	CO ₂ -Emissionen, Zuordnungsansatz von Maßnahmenszenarien und Variationsrechnungen	99

Abkürzungsverzeichnis

BASSt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
B&R	Bike und Ride
BSV	Büro für Stadt- und Verkehrsplanung
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
ERA	Empfehlung für Radverkehrsanlagen
EU	Europäische Union
EW	Einwohner
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FZ	Fahrzeuge
GZ	Grundzentrum
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HC	Kohlenwasserstoff
KEA	kumulierter Energieaufwand
Kfz	Kraftfahrzeug
KZ	Kleinzentrum
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MZ	Mittelzentrum
NO _x	Stickstoffoxid
NRVP	Nationaler Radverkehrsplan
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development

VI

ÖV	Öffentlicher Verkehr
OR	Odds Ratio
OZ	Oberzentrum
Pkw	Personenkraftwagen
PM10	Feinstaub
ProFaiR	P rognose der F ahrleistungsverlagerungs- und Umweltentlastungspotenziale durch i ntegrierte R adverkehrsförderung
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
RIN	Richtlinie für integrierte Netzgestaltung
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SrV	S ystem r epräsentativer V erkehrsverhaltensbefragungen
TEW	Tausend Einwohner
TREMOD	Transport Emission Model
TUD	Technische Universität Dresden
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations
UZ	Unterzentren
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

Glossar

Ausgang	Zusammenfassung der Wege einer Person vom Ausgangspunkt Wohnung bis zur Rückkehr in die Wohnung (siehe auch Wegekette)
CO₂-Äquivalent	Beitrag eines Klimagases zum Treibhauseffekt. Als Vergleichswert dient Kohlendioxid.
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, i. d. R. ein Jahresmittelwert, der in Kfz/24h angegeben wird.
Emission	Freisetzung von Stoffen und Lärm, im Allgemeinen Schadstoffen, in die Umwelt, i. d. R. angegeben in Masse pro Zeiteinheit.
Immission	Einwirkung der Emissionen auf die Umwelt, i. d. R. als Konzentrationswert angegeben
Klimagase	Gase, die wesentlich zum anthropogenen (menschgemachten) Treibhauseffekt beitragen z. B. Kohlendioxid (CO ₂).
Maßnahmenszenario	Bündel von wesentlichen Maßnahmen, das geeignet ist, die Ziele (zur Klimagasreduktion mit besonderer Berücksichtigung von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs) zu erreichen
Modal-Split	Anteil der Wege von Personen mit verschiedenen Verkehrsmitteln
MIV-Verlagerungspotenzial	Potenziell mögliche Verringerung der MIV-Nutzung durch Verlagerung von KfZ-Fahrten auf umweltfreundliche Verkehrsmittel (→ Umweltverbund)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NO₂	Stickstoffdioxid
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PM10	Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.
PM2,5	Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

VIII

Radverkehrspotenzial	Potenziell mögliche Erhöhung der Fahrradnutzung bei veränderten Rahmenbedingungen und aufgrund bestimmter Maßnahmenbündel. Dabei können Maßnahmen der direkten Radverkehrsförderung und weitere Maßnahmen betrachtet werden, die einen wesentlichen Einfluss auf eine höhere Fahrradnutzung haben.
Topografieklasse (flach, hüg.)	Unter „hügelig“ wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ein Gebiet verstanden, das im Hauptstraßennetz über einen Anteil von mehr als 20 % an Strecken mit > 2 % Längsneigung verfügt. Gebiete, die unter diesem Wert liegen, werden als „flach“ bezeichnet
Umwelt- bzw. Mobilitätsverbund	Gruppe der „umweltverträglichen“ Verkehrsmittel: nicht motorisierte Verkehr (Fußgänger, Fahrräder) und öffentliche Verkehrsmittel (u.a. Bahn, Bus und Taxis). Vom „Mobilitätsverbund“ wird gesprochen, wenn weitere Mobilitätsdienstleistungen wie z. B: CarSharing, Öffentliche Autos und Fahrräder, Mitfahrgelegenheiten etc. mit einbezogen sind.
Variationsrechnung	Systematische Veränderung der Parameter eines Modells, um strukturelle Veränderungen und hypothetische Wirkungen von Maßnahmen abzubilden. Variationsrechnungen dienen der Ermittlung von Reagibilitäten und prinzipiellen Wirkmechanismen im betrachteten Bezugssystem.
Verkehrsbelastung	S. Verkehrsstärke
Verkehrsentwicklungsplan	Integrierter Strategie- und Maßnahmenplan zur Erreichung einer gewünschten Verkehrsentwicklung
Verkehrsaufteilung	Aufteilung der von Quell- zu Zielverkehrsbezirken auftretenden Verkehrsströme auf die Verkehrsmittel (Modal Split)
Verkehrserzeugung	Ermittlung des Ziel- und Quellverkehrs eines Verkehrsbezirkes über Kennwerte der Flächennutzung und/oder des Verkehrsverhaltens
Verkehrsstärke	Anzahl der Kfz, die pro Zeiteinheit einen Querschnitt einer Straße oder Fahrspur passieren, i.d.R. angegeben als Kfz/h

IX

Verkehrsverlagerung	Im Kontext der Maßnahmenszenarien bezieht sich der Begriff auf Maßnahmen zur integrierten Radverkehrsförderung, die im vorliegenden Siedlungs- und Verkehrssystem primär auf die Stärkung des Radverkehrs mit entsprechendem Modal Split abzielen.
Verkehrsvermeidung	Im Kontext der Maßnahmenszenarien bezieht sich der Begriff auf Maßnahmen, die, ausgehend von einer Verteuerung des MIV, die daraus resultierenden Effekte veränderter Wohnstandorte, Pkw-Besitz und Förderstrategien auf neue Mobilitätsdienstleistungen (z. B. Öffentliche Leihfahrzeuge zur individuellen Nutzung) stärken.
Verkehrsverteilung	Ermittlung der Verkehrsströme zwischen Quellen und Zielen durch Verteilung des Quell- und Zielverkehrs auf Quell- und Zielverkehrsbezirke unter Berücksichtigung ihrer Lage zueinander (Fij-Matrix)
Verkehrsumlegung	Ermittlung der Belastung eines Netzes durch Zuweisung der Elemente der Fij-Matrix auf die Strecken der gewählten Routen.
Wegekette	Verbindung von mehreren Aktivitäten (Wegen) innerhalb eines Ausgangs
Zentrale Orte	Gemeinden, auch Ortsteile, die über die Versorgung der eigenen Bevölkerung hinaus entsprechend ihrer jeweiligen Funktion im zentralörtlichen System überörtliche Versorgungsaufgaben für die Bevölkerung seines Verflechtungsbereiches wahrnehmen.

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Ende 2010¹ hat sich die internationale Staatengemeinschaft auf das Ziel eines maximalen Temperaturanstiegs durch Klimawandel von 2 Kelvin geeinigt. Das bedeutet für die entwickelten Länder, dass die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber 1990 zu verringern sind. Nach Analysen der Generaldirektion Mobilität und Verkehr der Europäischen Kommission erfordert dies für den Transportsektor eine Reduktion von 60 % bis 2050 [RUETE (2011)].

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, ausgehend vom Jahr 1990 die CO₂-Emissionen zunächst bis zum Jahr 2020 um 40 % zu reduzieren. Da im Gegensatz zu anderen Emittenten von Klimagasen der Verkehrsbereich bisher kaum Reduzierungen erreichte, sind hier besondere Anstrengungen nötig. Bei einer adäquaten Beteiligung des Verkehrssektors geht das Umweltbundesamt von einer notwendigen Einsparung von mindestens 40 Mio. t bis 2020 aus [RODT (2010)].

Neben technischen Maßnahmen, die durch verbesserte Antriebe und den Einsatz alternativer Kraftstoffe die Emissionen des Kfz-Verkehrs verringern helfen², werden immer wieder auch verkehrsplanerische Aktivitäten zur Beeinflussung des Verkehrsverhaltens und speziell zur Erhöhung des Anteils des Radverkehrs am Straßenverkehr gefordert. Deshalb stellt sich die Frage, welchen Beitrag der Radverkehr zur Reduzierung der verkehrsbedingten Belastungen in Deutschland leisten kann.

Da mit dem Fahrrad zumeist nur kurze Wege erledigt werden, stellt sich weiterhin die Frage, wie im Rahmen einer integrierten Verkehrsplanung z. B. über die Schaffung eines fahrradfreundlichen Umfeldes und einer besseren Nahversorgung die Mobilitätsbedürfnisse insgesamt wieder mit kürzeren Wegen befriedigt werden können (Nahmobilität stärken).

1.2 Aufgaben- und Zielstellung

Das Ziel des Vorhabens besteht darin, belastbare Aussagen zu den Potenzialen des Radverkehrs differenziert nach Ortstypen und weiteren kategorisierten Randbedingungen in Bezug auf Umweltwirkungen zu gewinnen, um daraus Angaben für ganz Deutschland zu erhalten. Die Aufgabe besteht in der Untersuchung von Szenarien einer integrierten Radverkehrsför-

¹ UN-Klimakonferenz in Cancun im Dezember 2010

² Hier muss angemerkt werden, dass die erzielten motortechnischen Effizienzgewinne durch Rebound-Effekte (größere Autos, größere Fahrleistung) bisher nicht in gewünschtem Maße in Reduzierungen der Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs umgesetzt werden konnten.

derung bzw. einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung hinsichtlich Verkehrsmittelwahl, Zielwahl, Verkehrsleistung und Emissionen.

Zur Abschätzung der Abhängigkeiten von Stellgrößen und Randbedingungen für unterschiedliche Ortstypen werden Variationsrechnungen durchgeführt, um über veränderte Aufkommen und Fahrleistungen die Minderungserfolge insbesondere bei Klimagasen und Luftschadstoffen zu ermitteln.

Die Ergebnisse des Projektes sollen fundierte Aussagen und Schlussfolgerungen über die Potenziale des Radverkehrs zur Emissionsreduzierung zulassen sowie Hinweise zu deren Einordnung in ganzheitliche nachhaltige Strategien geben. Deutlich werden soll, welchen Beitrag die Verlagerung von Verkehrsmittelanteilen (Modal Shift) vom MIV sowie die Vermeidung von weiten MIV-Wegen leisten kann. Die Ergebnisse sollen zur Aufklärung und Versachlichung der Diskussion über Reduktionspotenziale des Radverkehrs beitragen.

2 Methodik und Systematisierung

2.1 Methodisches Herangehen

Obwohl verschiedene Studien den Aufwand zur Herstellung und Wartung des Fahrrades, der Fahrradinfrastruktur sowie zusätzliche Nahrungsaufnahme von Radfahrern thematisieren, wird in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass der Radverkehr keine Treibhausgasemissionen in signifikanter Größenordnung verursacht. Eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen lässt sich also durch vermiedene Emissionen infolge einer verringerten bzw. effektiveren Nutzung von Fahrzeugen abbilden. Dies betrifft die Summe der Emissionen des MIV sowie des ÖV, wobei für eine konkrete Wegebeziehung die Emissionen des ÖV in der Regel geringere Emissionen bezogen auf den Personenkilometer verursachen, als dies bei Nutzung des MIV der Fall wäre. Dadurch resultieren die Potenziale von entsprechenden Strategien und Maßnahmen vor allem aus der Reduktion der MIV-Fahrleistung – entweder durch die Verlagerung von MIV-Fahrten auf den Umweltverbund oder durch vermiedene oder effektivere Abwicklung von MIV-Fahrten (Wegeketten, höherer Besetzungsgrad, etc.).

Der Versuch einer Wirkungsberechnung komplexer Radverkehrsszenarien und insbesondere die Modellierung sogenannter „weicher Maßnahmen“ wäre mit zu vielen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten behaftet. Deshalb sollen mit Hilfe eines übersichtlichen Kennwertmodells Stellschrauben analysiert und variiert werden, um mit deren Hilfe Veränderungen von Fahrleistungen und Umweltwirkungen zu ermitteln. Über die somit erworbenen Systemkenntnisse sollen im Anschluss rekursiv Maßnahmen szenarien auf genereller Ebene entworfen und Bandbreiten für Wirkungen abgeschätzt werden. Kleinteilige, ortsbezogene Maßnahmenwirkungen können mit dem entwickelten Modell nicht untersucht werden. Derartige Aussagen liefert in Ergänzung das vom BMVBS beauftragte Forschungsvorhaben „Einsparpotenziale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ (vgl. Kap. 2.2) exemplarisch für drei Modellstädte.

Abbildung 1 zeigt das prinzipielle Vorgehen im Projekt. Die methodische Herangehensweise basiert zunächst auf einer Daten- und Literaturanalyse zur Ermittlung und Bewertung der wesentlichen Determinanten des Verkehrsverhaltens, insbesondere der Radverkehrsnutzung. Die Haupteinflussgrößen unter dem Gesichtspunkt der Relevanz und Praktikabilität für die Abbildung von differenzierten Wirkungsbetrachtungen gehen als Grundgerüst in ein nach Ortstypen gegliedertes Modell ein, das über die Eckwerte des Verkehrs in Deutschland gestützt und kalibriert wird.

Das Modell bildet für die Bundesrepublik Deutschland in einem Fahrleistungsmodul über die Schritte Verkehrserzeugung, Aktivitäts-, Ziel- und Verkehrsmittelwahl die Fahrleistung nach Verkehrsmitteln ab. Für die emissionsrelevanten Verkehrsmittel MIV und ÖV werden mittels eines direkt gekoppelten Emissionsmoduls parallel die Emissionen an CO₂, CO, HC, NO_x,

NO₂, PM₁₀ sowie Kraftstoffverbrauch und kumulierter Energieaufwand (KEA) berechnet. Die Berechnung über einzelne Wege erlaubt die Einbeziehung u. a. von Kaltstarteffekten. Das Modell basiert auf einer disaggregierten Betrachtung und Variation des modellierten Verkehrsverhaltens nach Ortstypen, Topografieklassen, Wegezwecken, Entfernungsklassen und verkehrssoziologischen Personengruppen. Im Modell sind prognostizierte Emissionsfaktoren und Fahrzeugflotten für die Jahre 2008 bis 2030 integriert.

Mit dem Modell werden über die Variation von Modellparametern strukturelle Veränderungen und hypothetischer Annahmen im Sinne von „Wenn-Dann“-Konstellationen abgebildet.

Die Ergebnisse dieser Variationsrechnungen hinsichtlich der hypothetischen Veränderungen von Modal Split, Fahrleistung und Emissionen erlauben die Beschreibung der Größenordnung von Radverkehrspotenzialen bei unterschiedlichen Annahmen.

Die ermittelten Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge im Modellsystem bilden die Grundlage für die Formulierung von Maßnahmenszenarien im Rahmen eines Expertenworkshops. Dabei wurden existierende Maßnahmen mit Einfluss auf den Radverkehr systematisiert und den Maßnahmenszenarien „Radverkehr als System“ sowie „Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf breiter Ebene“ zugeordnet.

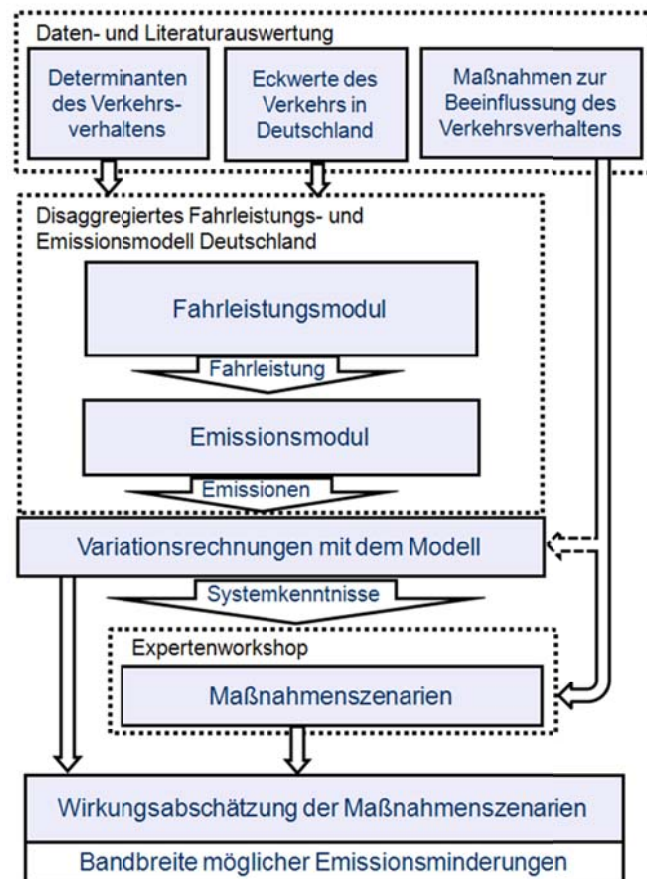


Abbildung 1: Vorgehensweise im Projekt (Eigene Darstellung)

Entsprechend der vorherrschenden Wirkprinzipien „Verlagerung“ sowie „Verlagerung und Vermeidung“ von Verkehr erfolgt als Wirkungsabschätzung eine Zuordnung von Bandbreiten der Emissionsminderung zu den Maßnahmenszenarien auf der Grundlage der korrespondierenden Variationsrechnungen.

2.2 Abstimmung mit dem Projekt „Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ des BMVBS (FE 70.0819/2008)

Kurz vor dem Beginn des vorliegenden Projektes „Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz“ des Umweltbundesamtes FuE 3708 45 101 (im Folgenden „UBA/TUD“) wurde mit ähnlicher Zielrichtung von BMVBS/BAST das Forschungsprojekt „Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ in Auftrag gegeben (im Folgenden „BMVBS/BSV“). Auftragnehmer waren das Büro für Stadt- und Verkehrsplanung (BSV) in Aachen für die verkehrsplanerischen Modellrechnungen sowie die IVU Umwelt GmbH in Freiburg für die Emissionsberechnungen.

Die Bearbeitung beider Projekte erfolgte aufeinander abgestimmt und wurde mit regelmäßigen Sitzungen des gemeinsamen Betreuerkreises begleitet. Neben der Abstimmung von gemeinsamen Begriffsdefinitionen erfolgt eine wechselseitige Verwendung der Projekterkenntnisse zur Bewertung und Schärfung der Aussagen des jeweils anderen Projektes.

Während das UBA/TUD-Projekt einen top-down-Ansatz verfolgt und mit einem Kennwertmodell für Deutschland eine Potenzialbetrachtung mit einheitlichem Datengerüst durchführt, werden im BMVBS/BSV-Projekt Verkehrsmodellrechnungen in drei Modellstädten (Coburg, Gütersloh, Mönchengladbach) durchgeführt. Im Mittelpunkt des BMVBS/BSV-Projektes steht die modellgestützte Wirkungsanalyse von Radverkehrsmaßnahmen jeweils stadspezifisch entwickelter Szenarien auch mit Einsatz von Pedelegs. Dabei ist eine Potenzialbetrachtung der Fahrleistungs- und Emissionsminderungen in den drei Modellstädten möglich, die über Umlegung der Verkehre auf die jeweiligen Netzmodelle Ergebnisse berechnet.

Für einen Vergleich der Einsatzbereiche beider Forschungsvorhaben siehe Kap. 4.2.

2.3 Forschungsstand von Einflussgrößen und Potenzialen der Fahrradnutzung

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Literaturanalyse zur Aufarbeitung des bisherigen Wissensstandes zu den verhaltensdeterminierenden Einflussfaktoren der Fahrradnutzung sowie deren Betrachtung hinsichtlich vorhandener Radverkehrspotenziale. Wichtige Fragen sind dabei, welche Gründe für bzw. gegen die Nutzung des Fahrrades als Verkehrsmittel für einen bestimmten Weg sprechen und welche Einflussfaktoren wesentlich für die Verkehrsmittelwahl sind. Dabei kann das Fahrrad nicht losgelöst von den übrigen Verkehrsmitteln (Öffentlicher Verkehr, Motorisierter Individualverkehr) und des Zu-Fuß-Gehens betrachtet werden. Die individuelle Verkehrsmittelwahl erfolgt stets im Zusammenhang mit den vorhandenen Verkehrsmittelalternativen, deren spezifischen Eigenschaften und ihrem subjektiv bewerteten Nutzen.

Im Anhang I sind wesentliche Literaturquellen zusammengestellt und projektrelevanten Themengebieten zugeordnet. Aufgrund der Fülle an Arbeiten zum Verkehrsverhalten und der Verkehrsursachenforschung sind vor allem Quellen aufgeführt, die sich explizit mit den spezifischen Besonderheiten des Radverkehrs beschäftigt haben. Literaturquellen konzentrieren sich dabei auf Räume, die möglichst vergleichbar mit dem Verhalten in Deutschland - bzw. dem potenziellen Verhalten bei vorbildlicher Radverkehrsförderung - sind. Dies betrifft neben Deutschland insbesondere die Niederlande, Dänemark, die Schweiz und Österreich.

Für die Bestimmung von Radverkehrspotenzialen erscheint eine differenzierte Behandlung beeinflussbarer und unbeeinflussbarer Faktoren wie Wetter und Topografie sinnvoll, wobei der Übergang zwischen den Kategorien fließend sein kann (z. B. Siedlungsstrukturen, die nur sehr langfristig zu beeinflussen ist).

Wesentliche Motive der Fahrradnutzung wie Gesundheitsbewusstsein, Spaß, Flexibilität und Sicherheitsgefühl sollten bei verkehrsplanerischen Maßnahmen speziell Berücksichtigung finden. Aufgrund kaum vorhandener Datengrundlagen zu diesen „weichen“ Faktoren sind sie jedoch nicht geeignet, in ein Modell zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen in Deutschland direkt einzugehen.

Eine direkte Abbildung der Radverkehrsnutzung in verschiedenen Raumstrukturtypen Deutschlands lässt sich über wesentliche Einflussgrößen, die im Rahmen von Haushaltsbefragungen erhoben werden, realisieren.

Hinsichtlich der unbeeinflussbaren Faktoren sticht in Deutschland die Topografie hervor. Während die hügeligen Städte und Gemeinden in Deutschland nur einen durchschnittlichen Radverkehrsanteil von 6 % aufweisen, beträgt dieser in flachen Gebieten 14 %³. Im Gegen-

³ MiD-Sonderauswertung im Rahmen dieses Projektes

satz dazu unterscheiden sich die meteorologischen Bedingungen in verschiedenen Orten Deutschlands (Anzahl Regentage etc.) nicht in diesem erheblichen Maße.

Die bisherigen Ansätze zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen zur Verringerung von Emissionen, Platzbedarf, Lärm etc. in der Literatur lassen sich wie folgt kategorisieren:

- a) Verlagerung kurzer MIV-Wege
- b) Analogieschlüsse zu bestehenden Städten bzw. Regionen
- c) Nutzung von Verkehrsmodellen
- d) Sonstige Ansätze

Bei den Ansätzen zur Verlagerung kurzer MIV-Wege wird davon ausgegangen, dass sich ein bedeutender Anteil der mit dem Auto zurückgelegten Wege, die im üblichen Entfernungsbereich der Radnutzung liegen, auf das Fahrrad verlagern lassen. Die Annahmen zur Verlagerung variieren dabei zwischen jedem zweiten Weg und jedem vierten MIV-Weg für Wegelängen bis zu 10 km Länge.

Analogieschlüsse zu bestehenden Städten bzw. Regionen mit einer vorbildhaften Fahrradförderung bzw. -kultur bieten einen weiteren Ansatzpunkt zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen. Bei der Übertragung des Verkehrsverhaltens von andernorts müssen ggf. kulturelle, topografische und weitere Unterschiede berücksichtigt und korrigiert werden.

Weiterhin werden makroskopische (Vier-Stufen-Algorithmus) oder mikroskopische (z. B. agentenbasierte Ansätze) Modelle genutzt, um die theoretische Änderung des Verkehrsverhaltens in Städten oder Regionen zu ermitteln, wenn Radverkehrspotenziale ausgeschöpft werden. Dabei wird versucht, auch komplexe Zusammenhänge zu berücksichtigen. Infrastrukturmaßnahmen sind über die Änderung von Reisezeiten (Netzwideständen) darstellbar, „weiche“ Strategien sind jedoch vor allem in makroskopischen Ansätzen noch schlecht abbildbar. Ein Beispiel dafür ist das in Kap. 2.2 dargestellte BAST-Projekt „Einsparpotenziale des Radverkehrs im Stadtverkehr“.

Sonstige Ansätze umfassen meist eine Kombination der bisher angeführten Ansätze zur Potenzialbestimmung bzw. eine Sequenz von Bedingungen, mit denen Wege, Personengruppen etc. eingegrenzt werden, für die eine Verlagerung auf das Fahrrad potenziell in Frage kommt.

In Tabelle 1 sind Beispiele zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen aus der Literatur zusammengefasst, wobei zunächst Ansätze zur Verlagerung kurzer MIV-Wege und weiterhin Analogieschlüsse zu bestehenden Städten bzw. Regionen und sonstige Ansätze aufgeführt sind. Um eine Vergleichbarkeit der Daten herzustellen, erfolgte teilweise eine bevölkerungsproportionale Hochrechnung der Ergebnisse auf die Einwohnerzahl von Deutschland. Die

verschiedenen Studien berechnen je nach Ansatz und Datengrundlage CO₂-Minderungen zwischen vier und 13,5 Mio. Tonnen pro Jahr.

Dabei muss jedoch auf die gemeinsame Schwäche aller aufgelisteten Studien hingewiesen werden. Sie beziehen sich mit ihren Daten auf aktuelle bzw. vergangene Strukturen (beispielsweise hinsichtlich der Wegebeziehungen für Aktivitäten) und unterschätzen damit systematisch das Potenzial, das sich aus möglichen zukünftigen Rahmenbedingungen, Strukturen und Verhaltensweisen ergibt.

Tabelle 1: Beispiele zur Bestimmung von Radverkehrspotenzialen aus der Literatur

Quelle	Ansatz	Radverkehrsanteil	CO ₂ -Reduktion	Radverkehrsleistung
BMVBW 2002	Abnahme der Pkw-Fahrten bis 6 km um 30% , Verlagerung auf Radverkehr	+9%	7,5 Mio t/a	998 km/a*EW
	Abnahme der Pkw-Fahrten bis 10 km um 30% , Verlagerung auf Radverkehr	+12%	13,5 Mio t/a	1320 km/a*EW
RODT u.a. 2010	Abnahme der Pkw-Fahrten bis 5 km um 50%, Verlagerung auf Rad- und Fußverkehr bis 2020	k.A.	5,0 Mio t/a	Steigerung von 380 km/a*EW auf 560 km/a*EW
HAASE und PFEIL 2002	Im Analogieschluss zu europäischen Beispielstädten Steigerung des Radverkehrsanteils in sächsischen Kommunen topographieabhängig auf bis zu 32%	22%	6,2 Mio t/a (hochgerechnet auf D)	Steigerung von 380 km/a*EW auf ca. 650 km/a*EW
SOCIALDATA 1993, SOCIALDATA & SNIZEK + PARTNER OEG 2007	Einschränkung der Wahlfreiheit durch Sachzwänge, Verkehrsmittelverfügbarkeit, Informiertheit, subjektive Disposition sowie Wertschätzung der Verkehrsmiteleigenschaften	+ 5% (Dresden '93) + 6% (Wien 2006)	k.A.	k.A.
FRICK 2008	Erhebung von Gründen der Verkehrsmittelwahl von MIV-Wegen und Zuordnung zu Sachzwängen	+ ca. 10% der MIV-Fahrten	k.A.	k.A.
	Erhebung der Wahrscheinlichkeiten alternativer Verkehrsmittelwahl von MIV-Wegen	+ ca. 20% der MIV-Fahrten	k.A.	k.A.
	Synthese der vorhergehenden Ansätze	+ ca. 10% der MIV-Fahrten	k.A.	k.A.
INFRAS 2005	"technisches" Verlagerungspotenzial vom MIV, ermittelt aus Etappen <5 km und Ausgängen <10 km sowie Gruppierung und Bewertung der verbleibenden Etappen nach Alter, Zweck, Wetter und Raumtyp.	+ 6,6%	ca. 4-5 Mio t (hochgerechnet auf D)	+88%
	"realisierbares" Verlagerungspotenzial durch Abminderungen des "technischen" Potenzials gemäß Zukunftsbildern	+ ca. 2-5%	k.A.	k.A.

3 Abstraktion und Modellentwicklung

3.1 Vorüberlegungen

Zur Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt die Entwicklung eines Berechnungsmodells. Dieses soll vereinfachend den Einfluss verhaltensrelevanter Faktoren auf die Fahrleistungs- und Emissionssituation in Deutschland des werktäglichen Personenverkehrs abbilden. Die Modellentwicklung erfolgt auf Basis vorhandener Daten zum Verkehrsverhalten der deutschen Wohnbevölkerung. Dies hat zur Konsequenz, dass lediglich bereits erhobene bzw. den vorhandenen Daten zuspieldbare Variablen als Einflussgrößen zur Modellbildung genutzt werden können.

Folgende Anforderungen bestehen an den Modellansatz: Es soll möglich sein, mit dem Modell die Wirkungen struktureller Veränderungen zu berechnen. Diese können beispielsweise auch Maßnahmenwirkungen einer integrierten Radverkehrsförderung sein. Aber auch Wirkungen darüber hinausgehender verkehrslagernder und -vermeidender Strategien werden anhand von „Wenn-Dann-Untersuchungen“ beurteilbar.

Einflussgrößen auf das individuelle Verkehrshandeln können sowohl objektiven Merkmalen der Person als auch subjektiven Motiven und Einstellungen zugeordnet werden (vgl. Abbildung 2).

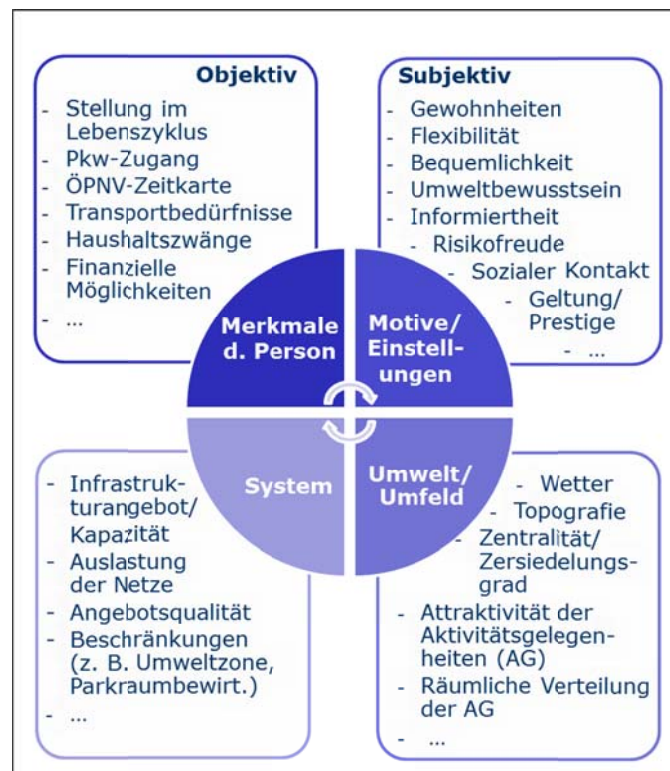


Abbildung 2: Einflussgrößen auf das Entscheidungsverhalten (Eigene Darstellung)

Sozial-psychologische Ansätze gehen i. d. R. davon aus, dass eine Verhaltensintention bzw. -absicht das anschließend realisierte Verhalten unmittelbar determiniert. Für den Fall, dass diese Größe treffsicher vorausgeschätzt werden kann, lässt sich - diesen Theorien folgend - das Verhalten zuverlässig vorhersagen. Derartige Modelle werden häufig als einstellungsorientierte Ansätze bezeichnet [vgl. DEFFNER (2009), S. 37 ff.].

Einstellungsorientierte Ansätze dienen primär der Erklärung, Beschreibung und Aufdeckung ursächlicher Zusammenhänge individueller Entscheidungen. Sie sind zur treffsicheren modellmäßigen Abbildung des Verkehrsgeschehens größerer Untersuchungsräume wenig erprobt und wegen zu vieler Freiheitsgrade wohl auch weniger geeignet.

Dementsprechend kommt für die Beantwortung der Forschungsfrage eher ein verhaltensorientierter Modellansatz in Frage, der als mathematisch-statistisches Modell eine geschlossene Ausformulierung von Wirkungszusammenhängen auf empirischer Grundlage erlaubt.

KALINOWSKA ET AL. (2005) untersuchen für die Weiterentwicklung der Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung des DIW mit statistischen Methoden Einflussgrößen auf die individuelle Mobilität auf Basis der Daten der Bundeserhebung „Mobilität in Deutschland – MiD“. Im Ergebnis sind für die Aktualisierung des am DIW vorliegenden Personenverkehrsmodells (Nah- und Fernverkehr) folgende Kriterien vorgeschlagen:

Bildung von Personengruppen:

- DIW-Gemeindetypen des Wohnortes (Großzentren, Oberzentren, Mittelzentren, sonstige Gemeinden)
- Stellung im Lebenszyklus (13 Gruppen auf Basis der Lebenssituation auf Basis der Kriterien Schule und Erwerbsstatus)
- Pkw-Fahrerlaubnis und -Verfügbarkeit (4 Gruppen auf Basis der Kriterien Pkw-Besitz, Pkw im Haushalt und Fahrerlaubnisbesitz)

Zur Bildung von Aktivitäts- und verkehrsmittelbezogener Mobilitätsraten der Personengruppen unterscheiden KALINOWSKA ET AL. weiterhin:

- Zweck der Ortsveränderung (Beruf, Ausbildung, Geschäfts/Dienstreisen, Einkauf/Besorgung, Freizeit, Urlaub)
- Verkehrsarten (zu Fuß, Fahrrad, Motorrad, Pkw-Fahrer, Pkw-Mitfahrer, Öffentlicher Straßenpersonennahverkehr (ÖSPV), Eisenbahn, Luftverkehr)

Nach diesem Ansatz werden bereits seit vielen Jahren Fahrleistungen der deutschen Wohnbevölkerung (Inländer) auf unterschiedlichen Aggregationsstufen ermittelt. Im vorliegenden Projekt wird eine ähnliche Fragestellung verfolgt. Daher konnten die dokumentierten Erkenntnisse von KALINOWSKA ET AL. (2005) explizit bei der Modellentwicklung berücksichtigt werden.

3.2 Datengrundlagen und Modellierungsgegenstand

Zur Beantwortung der vorliegenden Aufgabenstellung wird auf vielfach bewährte Datengrundlagen zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um die Bundeserhebung ‚Mobilität in Deutschland – MiD‘, die in den Jahren 2002 und 2008 in nahezu identischer Form durchgeführt wurde und die Erhebung ‚Mobilität in Städten – SrV‘, deren beiden letzten Erhebungsdurchgänge in den Jahren 2003 und 2008 stattfanden. In beiden voneinander unabhängig gezogenen Stichproben steht das interpersonelle Verkehrsverhalten im Mittelpunkt der Betrachtung. Ergänzt werden beide Datengrundlagen durch das Deutsche Mobilitätspanel (MOP), welches seit 1994 kontinuierlich Daten zum intrapersonellen Verkehrsverhalten erfasst (vgl. Abbildung 3). Letzteres und weitere Sekundärstatistiken können bei Bedarf zusätzliche Informationen für den Modellaufbau liefern.

Zur Emissionsmodellierung steht als Datengrundlage das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) in der Version 3.1 (INFRAS AG 2010) anwendungsbereit zur Verfügung. Dieses liefert Emissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrzeugarten und Verkehrszustände. Um Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz sachgerecht beurteilen zu können, stellt sich zunächst die Frage nach dem Modellierungsgegenstand. Das mögliche Maßnahmenspektrum auf unterschiedlichen Planungsebenen zielt ab auf die Beeinflussung des Inlandsverkehrs in Deutschland. Abbildung 4 zeigt eine Differenzierung des Inlandsverkehrs nach unterschiedlichen Kriterien. Neben dem räumlichen Abgrenzungskriterium sind weitere zeitliche und sachliche Kriterien dargestellt. Zeitlich ist zwischen Werktags- und Wochenendverkehr mit ganz unterschiedlicher Charakteristik zu unterscheiden. Sachlich lässt sich der private Personenverkehr (Alltagsverkehr und Fernverkehr) vom Wirtschaftsverkehr klar abgrenzen.



Abbildung 3: Datengrundlagen zum Verkehrsverhalten

(Erweiterte Darstellung auf Basis von AHRENS ET AL. (2007))

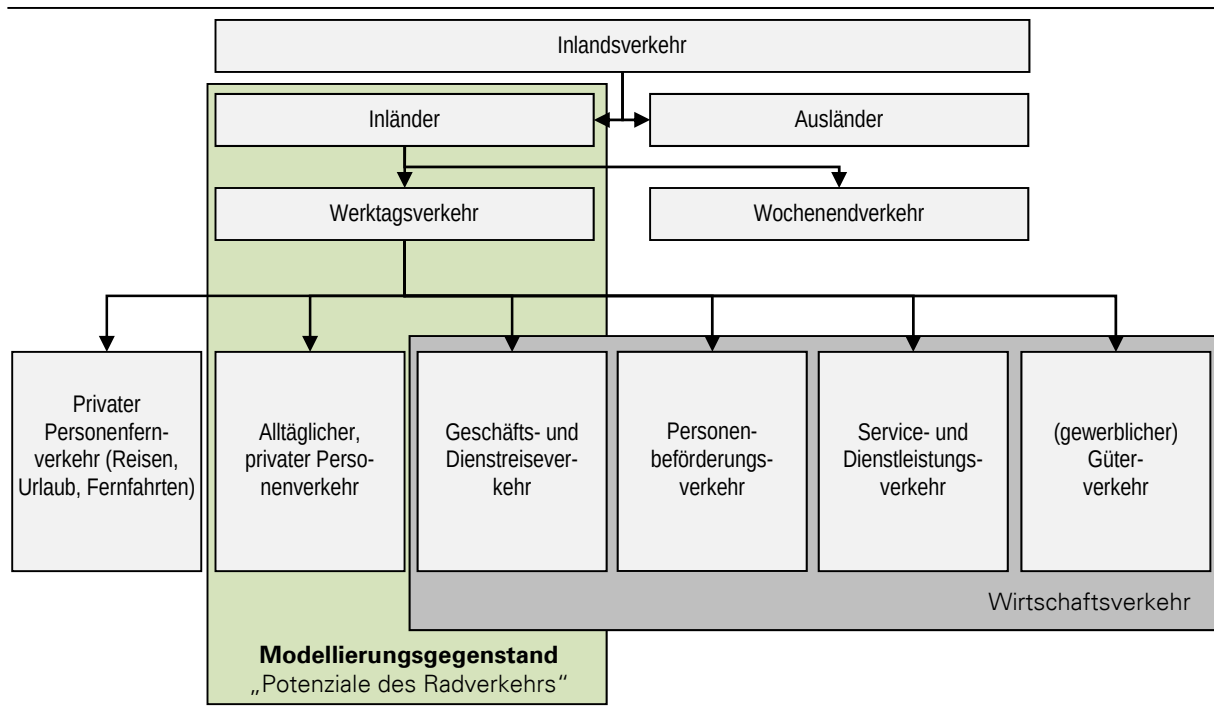


Abbildung 4: Inlandsverkehr in Deutschland

(Eigene Darstellung, Differenzierung des Wirtschaftsverkehrs in Anlehnung an STEINMEYER (2003), S. 31)

Für die Festlegung des Modellierungsgegenstandes wurde angenommen, dass die Stärken des Fahrrades als Transportmittel vor allem bei den alltäglichen, privaten Aktivitäten der Wohnbevölkerung zum Tragen kommen. Diese Ortsveränderungen stehen daher im unmittelbaren Blickpunkt der Betrachtung. Zwar ist das Fahrrad auch für andere Verkehre im Inland (Radfernrreisen) oder im Personenwirtschaftsverkehr (Fahrradkuriere, Fahrradrickschas) sowie für Verkehre weiterer Personenkreise (z. B. ausländischer Touristen) relevant, im Vergleich zum Alltagsverkehr sind die dort erbrachten Fahrten und Fahrleistungen jedoch nur von untergeordneter Bedeutung.

Weiterhin ist zu bedenken, dass die vorhandenen Datengrundlagen jeweils nur bestimmte Bestandteile des Verkehrs erfassen und möglichst effektiv genutzt werden sollen. Daher stand folgender zentrale Gedanke im Vordergrund:

Annahme: *Stehen zwei voneinander unabhängig erhobene Datengrundlagen für eine Modellierungsaufgabe zur Verfügung, ist das beste Modellierungsergebnis für den Fall zu erwarten, bei dem die eine Erhebung zur Parametrisierung und die andere zur Validierung genutzt wird.*

Die nachstehende Tabelle zeigt die jeweiligen Geltungsbereiche von SrV und MiD:

Tabelle 2: Räumliche, zeitliche und sachliche Bezüge der Erhebungen SrV und MiD (Quelle: Eigene Darstellung)

Kriterium	Mobilität in Städten – SrV	Mobilität in Deutschland – MiD
Anzahl Personen (netto)	115.525	60.713 (Basisstichprobe)
Geltungsbereich	Städte/Gemeinden, Ortstypen	Bund, Länder, Raumtypen
Letzter Erhebungszeitraum	Jan.- Dez. 2008	Jan.- Dez. 2008
Erhebungseinheiten	Wohnbevölkerung (Haushalte)	Wohnbevölkerung (Haushalte)
Alltäglicher privater Personenverkehr	✓	✓
Privater Personenfernverkehr		(✓)
Geschäfts- und Dienstreiseverkehr	✓	✓
Personenbeförderungsverkehr		(✓)
Service- und Dienstleistungsverkehr		(✓)
(gewerblicher) Güterverkehr		
Werktagsverkehr	✓	✓
Wochenendverkehr		✓

Der kleinste gemeinsame Nenner ist demnach der alltägliche private Personenverkehr der Wohnbevölkerung an Werktagen inkl. dem (gelegentlichen) Geschäfts- und Dienstreiseverkehr. Dieser stellt den zentralen Modellierungsgegenstand dar (vgl. Abbildung 4).

Für die Erstellung eines Modells wird zur Parametrisierung die SrV-Erhebung verwendet. Diese Entscheidung fußt auf folgenden Gründen:

- Das SrV 2008 ist mit 115.525 Personen (werktags) deutlich stichprobenstärker als die Basisstichprobe der MiD 2008 (60.713 Personen für die gesamte Woche)
- Es kann begründet davon ausgegangen werden, dass SrV 2008 eine hinreichende Heterogenität ortstypenspezifischer Verhaltensmuster der deutschen Wohnbevölkerung enthält.
- Die Datensätze des SrV 2008 stehen zum Zeitpunkt der Modellerstellung bereits vollständig, hinreichend aufbereitet und auswertungsbereit zur Verfügung.
- Die MiD 2008 repräsentiert durch ihre Stichprobenanlage den bundesdeutschen Alltagsverkehr besonders gut und stellt damit einen hervorragenden Referenzwert dar.

Dementsprechend wird die MiD-Erhebung vorwiegend für explorative Zwecke und zur Modellvalidierung genutzt.

3.3 Modellstruktur

Die in KALINOWSKA ET AL. (2005) vorgeschlagenen Einflussgrößen zur verhaltensorientierten Modellierung der Fahrleistung und Erkenntnisse eigener Untersuchungen aus AHRENS ET AL. (2008), WITTEW (2008), AHRENS ET AL. (2009) führen zu der in Abbildung 5 dargestellten Modellstruktur. In Anlehnung an die Aufgabenstellung wird im Folgenden für das Modell das Akronym **ProFaiR** – ‚Prognose der **F**ahrleistungsverlagerungs- und Umweltentlastungspotenziale durch **i**ntegrierte **R**adverkehrsförderung‘ verwendet.

ProFaiR besteht aus zwei sukzessiv ablaufenden Modulen (vgl. Abbildung 5). Zunächst wird auf Basis eines kennwertbasierten Fahrleistungsmoduls ein möglichst disaggregiertes Abbild des Modellierungsgegenstandes erzeugt. Dazu werden mehrere Teilschritte (Teilmodule) durchlaufen, um Fahrleistungswerte differenziert nach Personengruppen, Ortstypen, Aktivitätstypen und Verkehrsmitteln zu erzeugen. Auf Basis dieser Fahrleistungen werden unter der Zuhilfenahme von Emissionsfaktoren die Umweltbelastungen (Klimagase und Schadstoffe) ermittelt. Dabei spielt die Fahrzeugflotte und unterschiedliche Verkehrszustände eine wesentliche Rolle (Abbildung 5).

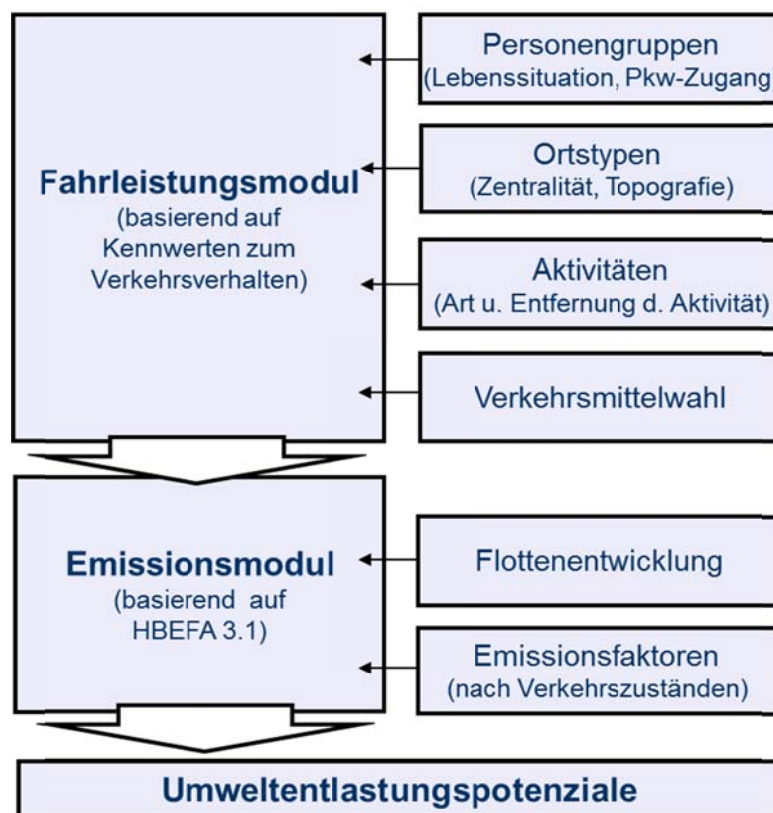


Abbildung 5: Modellstruktur **ProFaiR** (Eigene Darstellung)

Die Umsetzung des Modells erfolgte als Excel-Tool. Das mit Unterstützung der Scriptsprache VBA⁴ als interaktives Werkzeug erstellte Modell ermöglicht es dem Anwender - über Navigationsflächen gesteuert - Modellparameter zu modifizieren. Damit lassen sich bereits nach kurzer Benutzungsanleitung relativ schnell und einfach Wirkungsberechnungen durchführen, deren Ergebnisse in einer tabellarischen Übersicht dargestellt werden.

3.4 Fahrleistungsmodul

Wie im vorhergehenden Kapitel bereits erwähnt, orientierte sich die Erstellung des Fahrleistungsmodells am Vorwissen zu verhaltensrelevanten Einflussgrößen und an Potenzialen sowie Restriktionen, die sich aus den verwendeten Datengrundlagen ergeben.

Die Berechnung der Fahrleistung in einer hinreichenden Differenzierungstiefe erfolgt in fünf Schritten. Diese Schritte folgen den in der Fachliteratur häufig beschriebenen klassischen Berechnungsmethoden der Nachfrageberechnung für den Personenverkehr [STEIERWALD ET AL. (2005), SCHNABEL/LOHSE (2011)].

Zur sachlichen Gliederung des Problems wird dabei in der Berechnung unterschieden in

- Verkehrserzeugung (Schritt 1)
- Aktivitäts- und Zielwahl (Schritt 2)
- Verkehrsmittelwahl (Schritt 3)
- Berechnung der Personenverkehrsleistung (Schritt 4)
- Berechnung der Fahrleistung (Schritt 5)

Abbildung 6 zeigt die grundlegende Struktur des kennwertbasierten Fahrleistungsmoduls. Die einzelnen Modellschritte werden im Folgenden detailliert beschrieben. Dies soll zur Transparenz des Modellansatzes beitragen.

⁴ VBA = Visual Basic for Applications

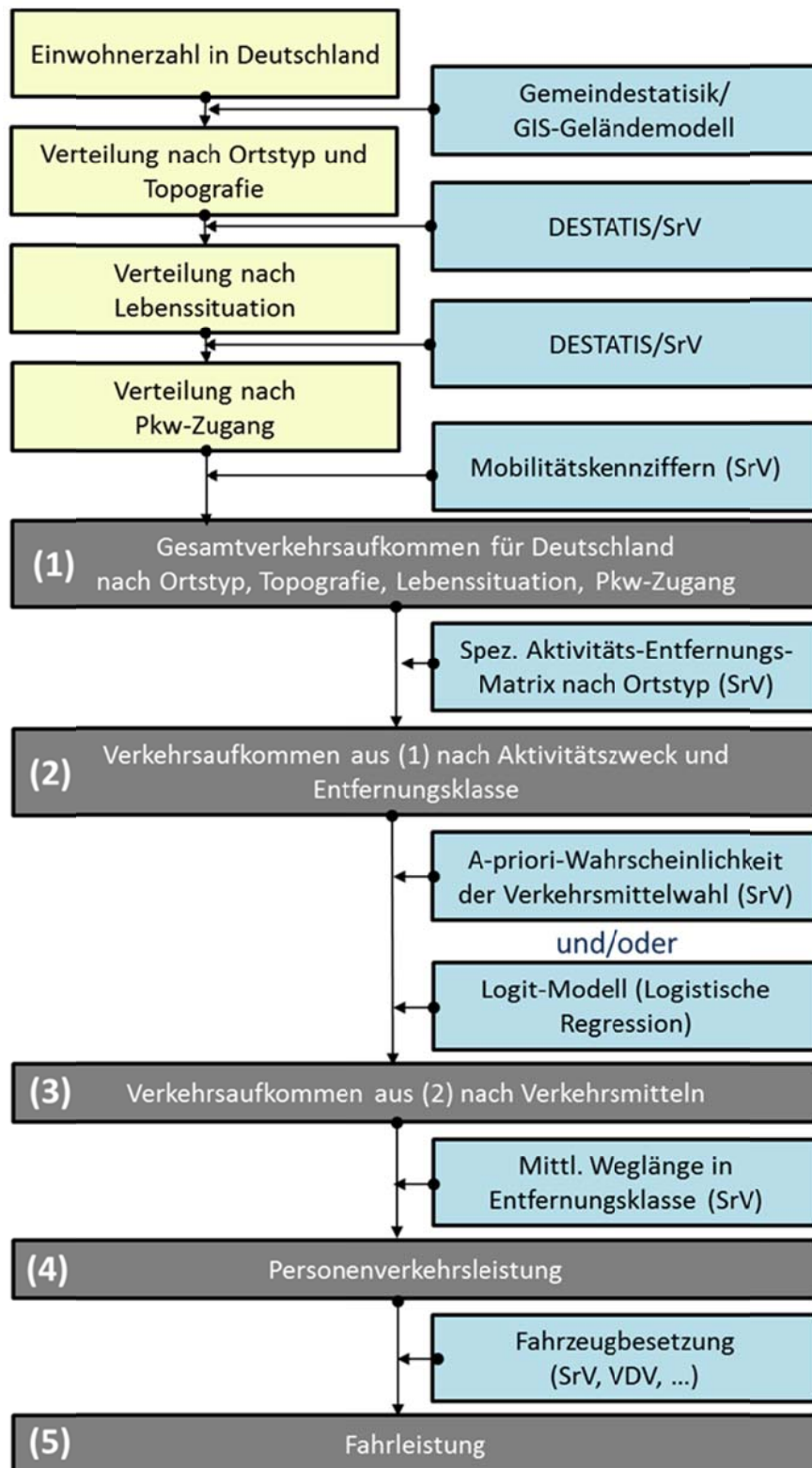


Abbildung 6: Grundlegende Schritte des Fahrleistungsmodells (Eigene Darstellung)

Schritt 1: Verkehrserzeugung

Der erste Berechnungsschritt dient der Ermittlung eines Gesamtverkehrsaufkommens für Deutschland in einer hinreichend differenzierten Segmentierung. Die Segmente werden durch möglichst verhaltensähnliche Teilgesamtheiten der deutschen Wohnbevölkerung gebildet. Zunächst erfolgt eine Gliederung nach Ortstypen und topografischen Bedingungen. Als Ortstypisierung wurden vier Gruppen unterschieden, die aus der Zentralität und der Ortsgröße der Gemeinden resultieren. Die Gliederung folgt den als DIW-Gemeindetypen unterschiedenen Ortstypen in KALINOWSKA ET AL. (2005). Die vier Gruppen, zusammen mit der dazugehörigen Anzahl der Gemeinden und die dazugehörige Bevölkerungszahl, sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Im Weiteren werden im Modell unterschiedliche topografische Situationen unterschieden. Dabei stand der Gedanke im Vordergrund, dass die Topografie ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Ausprägung des Radverkehrs ist und insbesondere in der Vergangenheit vielerorts einen den Radverkehr begrenzenden Faktor darstellt. Darüber hinaus lag der Überlegung der Gedanke zu Grunde, dass künftig eine stärkere Durchdringung des Fahrradsektors mit elektrischen Zusatzantrieben wahrscheinlich erscheint. Dieser Sachverhalt könnte künftig topografische Schranken mindern und weitere Radverkehrspotenziale erschließen.

Zur Bildung einer Topografieeinteilung erfolgte zunächst eine Klassifikation der Gefälleverhältnisse im deutschen Hauptstraßennetz auf Gemeindebasis. Die dazu erforderlichen Arbeiten wurden mit Hilfe von GIS-Werkzeugen vom Institut für Kartografie an der Technischen Universität Dresden durchgeführt und in PRECHTEL (2011) dokumentiert (siehe Anhang IV zum Forschungsbericht). Die Arbeiten dienen als Basis zur Beschreibung der topografischen Verhältnisse in der Grundgesamtheit.

Tabelle 3: Anzahl der Gemeinden und Bevölkerungszahl nach Ortstypen

Zentralität (Ortstyp)	Gemeindeanzahl	Gemeindeanteil	Bevölkerungszahl	Bev.-Anteil
Unter-/Grund-/Kleinzentrum/ländl. Gemeinden*	11.421	92 %	31.846.193	39 %
Mittelzentrum	849	7 %	24.267.212	29 %
Oberzentrum bis 500 TEW	102	1 %	13.187.543	16 %
Oberzentrum mehr als 500 TEW	14	0,1 %	13.013.958	16 %
Gesamt	12.386	100 %	82.314.906	100 %

* davon 8.461 Gemeinden (11.131.047 Einwohner) ohne zentralörtliche Bedeutung

Quelle: Deutsche Gemeindestatistik 2006

Im Ergebnis der Berechnungen liegen für 12.322 von 12.386 Gemeinden (Gemeindeschlüssel 2006) Informationen zu Gefälleverhältnissen im Hauptstraßennetz vor. Diese wurden für die Primärstatistik aggregiert. Die Aggregatklassen, in Verbindung mit den bereits gebildeten Ortstypen, sind in der nachstehenden Tabelle 4 aufgelistet. Die Klassengrenzen (Gradientklassen) wurden dabei auf Basis von Untersuchungen zur physischen Anstrengung bei der Überwindung von Steigungen festgelegt (vgl. ZIMMERMANN (1994)).

Die Gradientklassen wurden im Anschluss den Erhebungen SrV 2008 und MiD 2008⁵ zugespielt. Daraufhin sind für das Modell zwei Topografieklassen gebildet worden. Gemeinden in denen mehr als 20 % der Neigungsstrecken im Hauptstraßennetz eine größere Längsneigung als 2 Prozent aufweisen, erhalten die Kategorie „hügelig“, alle übrigen die Kategorie „flach“.

Diese Festlegung basiert auf Ergebnissen einer Reihe von Testauswertungen zur Steigungs-sensibilität des Radverkehrs. Um diese anhand des Radverkehrsanteils aus den Daten der Erhebungen beurteilen zu können, waren möglichst viele weitere Einflussfaktoren zu eliminieren. Exemplarisch dafür zeigt Abbildung 7 den Fahrradanteil nach Neigungsverhältnissen unter Kontrolle weiterer wesentlicher Einflussfaktoren (Ortstyp, Lebenssituation, Pkw-Zugang, Aktivitätstyp, Länge des Weges). Die Abbildung zeigt einen deutlichen Sprung des Radverkehrsanteils bei 20 %.

Tabelle 4: Aggregation der Primärstatistik (GIS-Datenbank)

Originalfelder	Aggregat-Klasse	Beschreibung
	Samples 25 Meter	Summe aller Berechnungen für eine Gemeinde
Grad0, Grad1	Grad2Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse < 2 %
Grad2, Grad3	Grad5Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse 2 % bis 5 %
Grad4, ..., Grad20	Grad37Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse > 5 %
	GradMeanR	Mittlerer Gradient [°]

Quelle: PRECHTEL (2011), S. 6

⁵ Die Zuspiegelung der Rauminformationen (Ortstypisierung und Topografie) erfolgte in aggregierter Form durch das BBSR im Auftrag des BMVBS.

Fahrradanteil nach Neigungsklassen

bei 2 - 5 km langen Arbeitswegen von
Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang in
Mittelzentren

(MiD 2008, Werktags Mo-Fr, ungewichtet, n = 677)

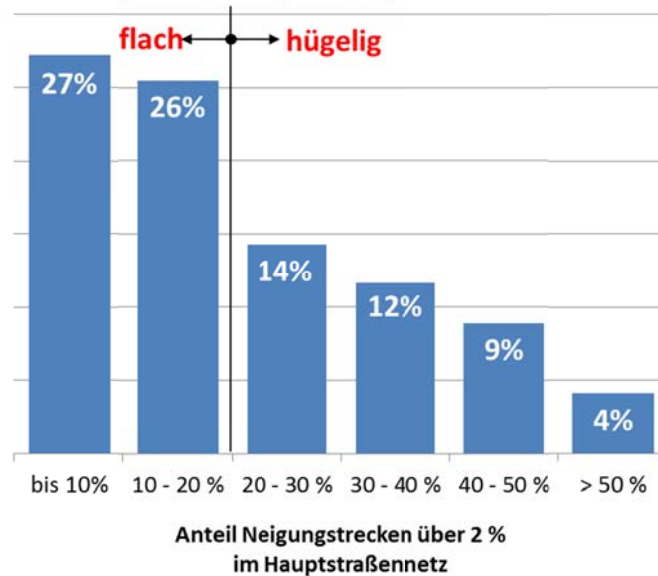


Abbildung 7: Radverkehrsanteil nach Neigungsverhältnissen (Eigene Darstellung)

Tabelle 5 beinhaltet eine Auswertung der vorliegenden Ergebnisdatenbank zur Deutschen Gemeindestatistik nach Ortstypen, verknüpft mit den Topografiedaten. Im Resultat liegen nach der Verknüpfung von 99,48 % aller Deutscher Gemeinden (99,98 % der Bevölkerung) entsprechende Informationen vor.

Tabelle 5: Gemeindeanzahl und Bevölkerungszahl nach Ortstypen und Topografie

Zentralität/Ortstyp	Topografie	Gemeinde- anzahl	Gemeinde- anteil	Bevölkerungszahl	Bev.-Anteil
Unter-/Grund-/Kleinzentrum/ ländl. Gemeinden	flach	4.017	33%	11.805.599	14%
	hügelig	7.340	60%	20.020.936	24%
Mittelzentrum	flach	315	3%	10.861.785	13%
	hügelig	534	4%	13.405.427	16%
Oberzentrum bis 500 TEW	flach	38	0,3%	5.691.197	7%
	hügelig	64	0,5%	7.496.346	9%
Oberzentrum mehr als 500 TEW	flach	10	0,08%	10.744.418	13%
	hügelig	4	0,03%	2.269.540	3%
Gesamt		12.322	100%	82.295.248	100%

Quelle: Eigene Auswertung auf Basis der Deutschen Gemeindestatistik 2006 und der Arbeiten von PRECHTEL (2011)

Im Anschluss an die Bildung kollektiv wirksamer Raumkategorien erfolgt die Berücksichtigung individueller Einflussfaktoren auf das Verkehrsverhalten. In mehreren Untersuchungen haben sich dabei typische sozio-demografische Gruppen heraus kristallisiert. Eine Übersicht dazu gibt u. a. WITTMER (2008, S. 20 ff.). Um eine hinreichende Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit des Modells zu gewährleisten, wurden fünf unterschiedliche Lebenssituationen unterschieden:

- Kind (noch nicht eingeschult)
- Person in Ausbildung (Schüler/AZUBI/Student)
- Erwerbstätiger
- Nichterwerbstätiger (ohne Rentner)
- Rentner/Pensionäre/Vorruhestandler

Neben dieser Einteilung ist der Zugang zu einem Pkw eine wesentliche, wenn nicht sogar die entscheidende, Einflussgröße auf die Verkehrsmittelwahl. WITTMER (2008, S. 114) zeigt den klaren Zusammenhang zwischen subjektiver Einschätzung zur Pkw-Verfügbarkeit und den objektiven Ausstattungsmerkmalen „Pkw-Fahrerlaubnis“ und „Vorhandensein eines Pkw“ im Haushalt“. Auch KALINOWSKA ET AL. (2005, S. 128) nutzen diese Merkmale zur Beschreibung des Pkw-Zuganges. Dementsprechend wurde für die Differenzierung der o. g. Lebenssituationen das Merkmal Pkw-Zugang (Pkw-Fahrerlaubnis und Pkw im Haushalt) verwendet. Damit ergeben sich die in Abbildung 8 aufgelisteten neun Personengruppen.

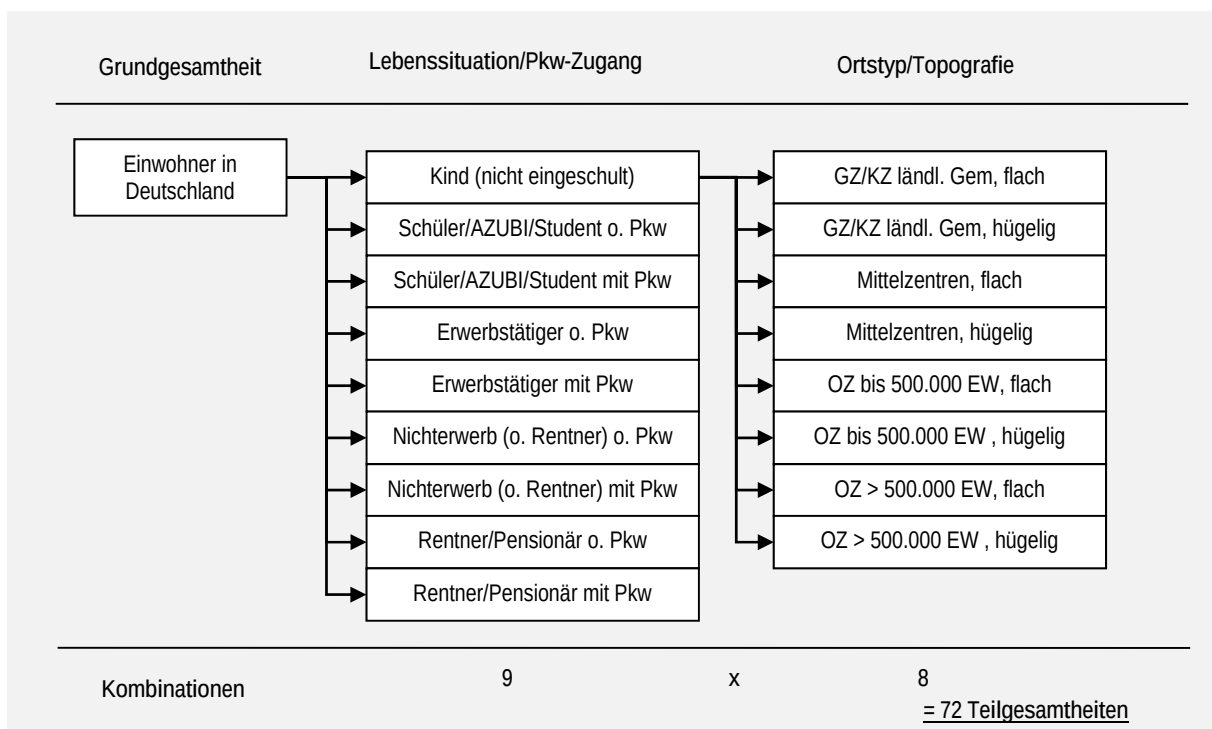


Abbildung 8: Bildung räumlich differenzierter, sozio-demografischer Teilgesamtheiten

(Eigene Darstellung)

Werden die Rauminformationen mit den sozio-demografischen Personengruppen verknüpft, ergeben sich 72 Teilgesamtheiten zur Grundgesamtheit (GG). Diese werden im Anschluss mit dem Außer-Haus-Anteil bzw. der Mobilitätsbeteiligung (MobBet) und den dazugehörigen Mobilitätsraten bzw. spezifischen Verkehrsaufkommen (spez. VA) aus der Erhebung SrV 2008 verknüpft.

Daraus ergibt sich das werktägliche Verkehrsaufkommen der Teilgesamtheiten zu

$$VA_{op}^n = MobBet_{op}^n \cdot spezVA(mobil)_{op}^n \cdot GG_{op}^n \quad (1)$$

Das Gesamtverkehrsaufkommen im alltäglichen Personenverkehr ergibt sich anschließend zu

$$VA = \sum_n \sum_o \sum_p VA_{op}^n \quad (2)$$

mit

VA	werktätliches Verkehrsaufkommen in Wegen/Tag
MobBet	Tägliche Mobilitätsbeteiligung in %
spezVA	spezifisches Verkehrsaufkommen in Wege/mobile Person, Tag
GG	Teil der Grundgesamtheit in Anzahl Personen
n	Personengruppe (Lebenssituation/Pkw-Zugang)
o	Ortstyp
p	Topografie

Schritt 2: Aktivitäts- und Zielwahl

Im nächsten Schritt erfolgt eine Verteilung des aus Schritt 1 ermittelten Gesamtverkehrsaufkommens auf Aktivitäten und Ziele. Da zur Berechnung von Fahrleistungen im vorliegenden parametrischen Eckwertmodell keine Umlegung auf ein reales Verkehrsnetz erfolgt, ist es dabei sinnvoll nach Aktivitäts- und Zieltypen zu unterscheiden.

Im Rahmen der Modellentwicklung ist zu überlegen, ob ein Aktivitätstypen- oder Aktivitätskettenkonzept implementiert wird. Ein Hauptargument für eine Betrachtung von Aktivitätsketten besteht darin, dass bei Ausgängen die Ziel- und Verkehrsmittelwahl der Folgeaktivität häufig nicht unabhängig von der Wahl der vorherigen Aktivität erfolgt (bedingte Wahrscheinlichkeit). Dies trifft insbesondere für die Nutzung individueller Verkehrsmittel zu. Beispielsweise ist ein Verkehrsmittelwechsel bei Pkw-Nutzung zum Erreichen der Erstaktivität für eine weitere Zwischenaktivität oder für den Rückweg zur Wohnung relativ selten.

Die Verwendung von Aktivitätsketten führt zu einer schnell ansteigenden Komplexität der Modellierung. Für jede Personengruppe sind andere Ketten typisch und unterschiedlich häufig vertreten. Auch die verschiedenen Verkehrsmittelkombinationen auf einer Aktivitätskette führen zu Schwierigkeiten bei der Handhabung. Abbildung 10 zeigt dazu eine Prinzipdar-

stellung zweier typischer Aktivitätsketten und der zugehörigen Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeit.

Werden hingegen Einzelwege betrachtet, d. h. die Logik der Aktivitätsfolge aufgegeben und daraus Aktivitätstypen gebildet („zum Arbeiten“, „zum Einkaufen“), vereinfacht sich das Vorgehen deutlich. Bei derartigen Ansätzen wird in der Regel der Rückweg „zur Wohnung“ dem Zweck der vorherigen Aktivität zugeordnet. Die Wahlwahrscheinlichkeit eines Verkehrsmittels lässt sich anhand der Auftrittshäufigkeiten bei Wegen empirisch problemlos bestimmen. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten gehen im „Mittelwert unter“ und das Verfahren bleibt übersichtlich.

Zur Beantwortung der inhaltlichen Vor- und Nachteilhaftigkeit beider Varianten erfolgt eine systematische Analyse des Aktivitätsverhaltens auf Basis der Erhebungen SrV 2008 und MiD 2008. Dabei ist von wesentlicher Bedeutung, dass für die Betrachtung des werktäglichen Alltagsverkehrs das „Ausgangskonzept“ die individuelle Aktivitätswahl und -folge besonders gut abstrahiert. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass werktags der überwiegende Teil der Ortsveränderungen als geschlossener Ausgang von der Wohnung über Zwischenaktivitäten zurück zur Wohnung erfolgt. Dieses Konstrukt ermöglicht eine relativ einfache modelltheoretische Abstraktion der täglichen Aktivitäten.

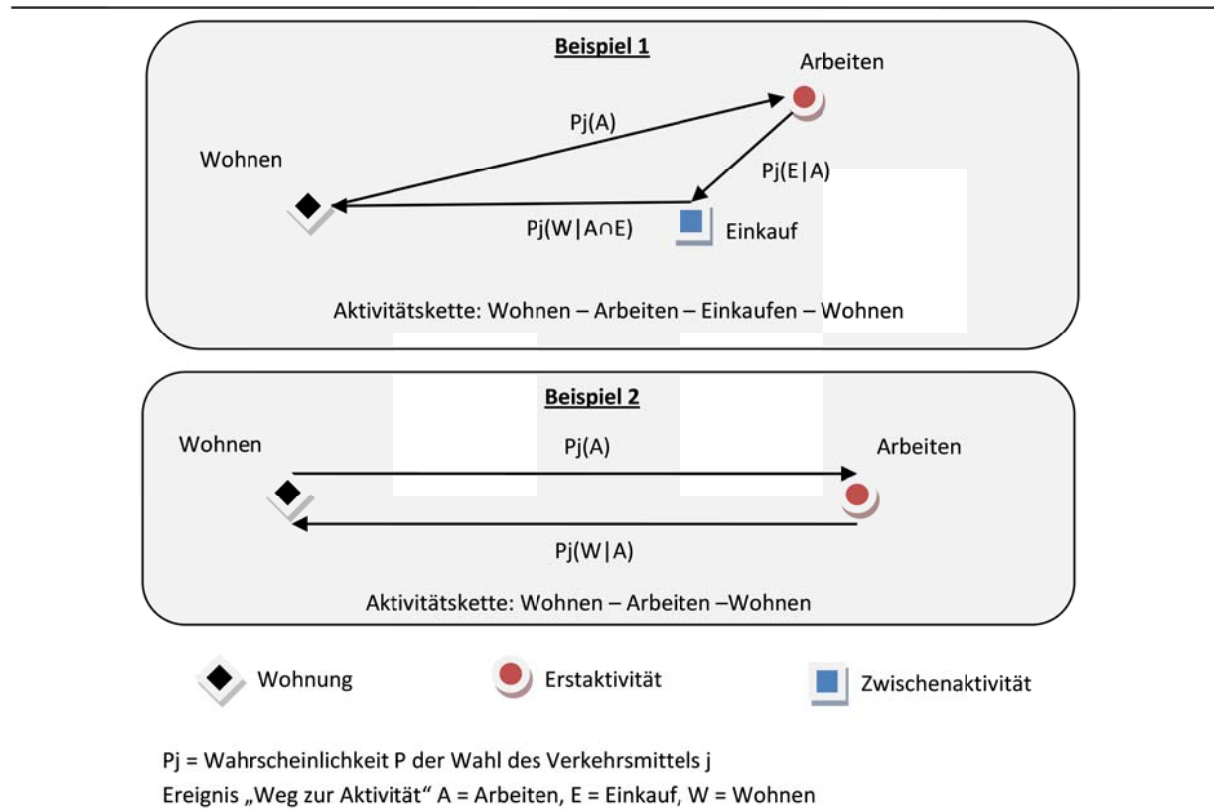


Abbildung 9: Prinzipdarstellung von Aktivitätsketten und der Wahl eines Verkehrsmittels

(Eigene Darstellung)

Die Auswertung der SrV-Erhebung 2008 zeigt, dass 97 % der Wegeketten geschlossene Ausgänge darstellen (Abbildung 10). In der MiD-Erhebung beträgt dieser Anteil an Werktagen 86 %, wobei beachtet werden sollte, dass nach Ansicht der Autoren die Vollständigkeit der Angaben in MiD 2008 aufgrund von Kodierungskonventionen nicht ganz das Niveau des SrV 2008 erreicht. Werden im Anschluss nur geschlossene Ausgänge betrachtet, zeigen die Auswertungen, dass - unabhängig vom Ortstyp - mindestens drei von vier Ausgängen unverkettet sind. Demzufolge gibt es nur eine feste Erstaktivität (2 Wege je Ausgang). Bei Mehr-Aktivitäten-Ausgängen werden hingegen im Mittel 3,6 Wege zurückgelegt. Auch in der MiD 2008 sind an Werktagen 75 % aller Ausgänge unverkettet.

Anhand dieser Zahlen wird deutlich, dass der überwiegende Teil der Wege einen direkten Bezug zur Wohnung hat. Ziel- und Verkehrsmittelwahl können an der Wohnung bei jedem Ausgang i. d. R. neu getroffen werden. Die Verkehrsmittelwahl ist bei derartigen Ketten im Gruppenmittel häufig symmetrisch. Aus diesem Grund und aus Praktikabilitätsbetrachtungen heraus erscheint das vereinfachte Vorgehen über Aktivitätstypen angemessen. Diese Entscheidung dient auch der Übersichtlichkeit der Modellanwendung. Bei der Interpretation von Verlagerungspotenzialen sollte dieser vereinfachende Modellierungsgedanke jedoch entsprechend gewürdigt werden.

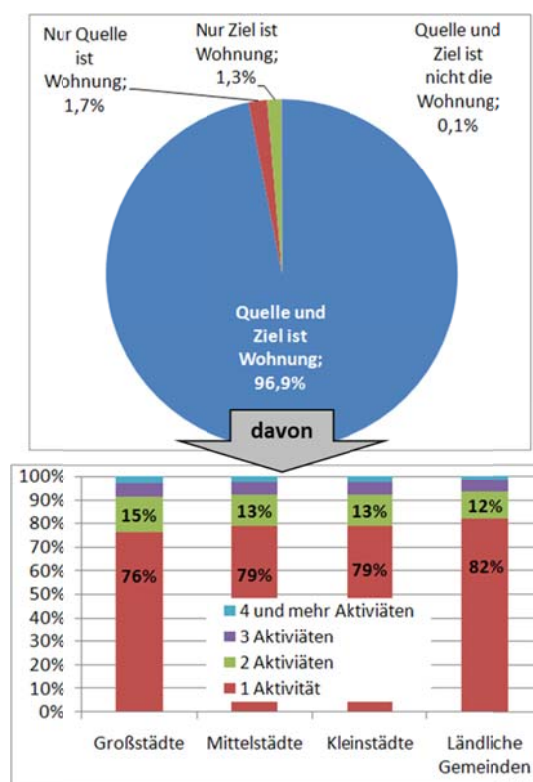


Abbildung 10: Wohnungsbezug der Ausgänge und Anzahl Zwischenaktivitäten bei geschlossenen Ausgängen (Eigene Auswertung auf Basis SrV 2008)

Die Modellierung der Aktivitäts- und Zielwahl erfolgt damit grundsätzlich nach folgendem Prinzip:

$$VA_{opqr}^n = P(AE)_{opqr}^n \cdot VA_{op}^n \quad (3)$$

VA	werktätliches Verkehrsaufkommen in Wegen
P(AE)	Wahrscheinlichkeit einer Aktivität (q) in einer Entfernungsklasse (r)
GG	Teil der Grundgesamtheit in Personen
n	Personengruppe (Lebenssituation/Pkw-Zugang)
o	Ortstyp
p	Topografie
q	Aktivität
r	Entfernungsklasse

Demnach wird das Verkehrsaufkommen jeder Teilgesamtheit VA_{op}^n mit einer Wahrscheinlichkeit verknüpft, die aus einer empirischen *Aktivitäts-Entfernungs-Matrix* stammt.

Unterschieden werden dabei die vier Aktivitätstypen

- Arbeiten/Bilden
- Einkauf
- Freizeit
- Sonstiges

sowie die vier Entfernungsklassen

- bis 2 km
- > 2 km bis 5 km
- > 5 km bis 15 km
- mehr als 15 km.

Beispielhaft zeigt Tabelle 6 eine dem Modell hinterlegte, empirische Matrix aus dem SrV 2008 für die Personengruppe „*Erwerbstätiger mit Pkw-Zugang*“ in „*flachen Mittelzentren*“. Dem Modell sind für jede Teilgesamtheit jeweils eine Matrix, d. h. insgesamt 72 Matrizen hinterlegt.

Tabelle 6: Beispiel einer Aktivitäts-Entfernungs-Matrix aus dem Modell ProFaiR

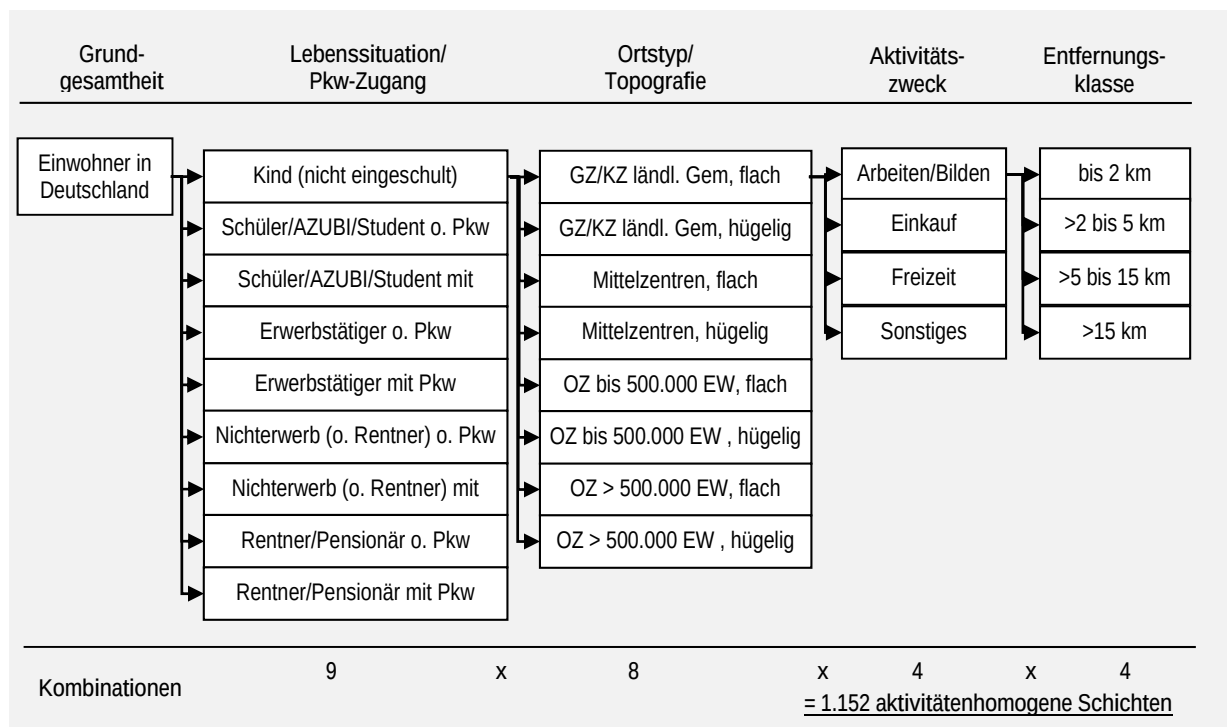
Erwerbstätiger mit Pkw-Zugang, Mittelzentrum, flach		Aktivitätstyp (q)			
		Arbeiten/Bilden	Einkauf	Freizeit	Sonstiges
Entfernungs- klasse (r)	bis 2 km	4%	4%	3%	6%
	>2 bis 5 km	11%	6%	5%	8%
	>5 bis 15 km	13%	4%	4%	6%
	mehr als 15 km	16%	2%	2%	6%

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis des SrV 2008

Durch die Kombination der Merkmale Aktivitätstyp und Entfernungsklasse wird für unterschiedliche Konstellationen aus Ortstyp und Personengruppe die jeweilige spezifische Lage von Aktivitätsgelegenheiten im Raum modelltechnisch näherungsweise berücksichtigt. Damit lässt sich sowohl das Aktivitätsspektrum als auch der Aktionsradius verknüpft abbilden. Hypothetische Wirkungsberechnungen können somit durch Verschiebungen innerhalb dieser Matrizen sachlogischer und zusammenhängender durchgeführt werden.

Schritt 3: Verkehrsmittelwahl

Nachdem das werktägliche Verkehrsaufkommen im Alltagsverkehr differenziert nach Personengruppe, Ortstyp, Aktivitätstyp und Entfernungsklasse vorliegt (vgl. Abbildung 11), wird im Anschluss die Zuordnung zu Hauptverkehrsmitteln vorgenommen. Dieser Schritt erfolgt für insgesamt 1.152 aktivitätenhomogene Schichten.

**Abbildung 11: Aktivitätenhomogene Schichten im Modell ProFaiR** (Eigene Darstellung)

Für die aktivitätenhomogenen Schichten sind Wahrscheinlichkeitsaussagen zur Verkehrsmittelwahl zu treffen. Die Berechnung dieser A-priori-Wahrscheinlichkeiten kann dabei auf zwei Wegen erfolgen:

- unmittelbare, deskriptive Auswertung der Erhebungen (empirische Kenngrößen)
- Schätzung der Parameter auf Basis multinominaler Logitmodelle mit alternativenspezifischen Konstanten

Grundsätzlich lautet die Berechnungsvorschrift zur Bestimmung des zu berechnenden Verkehrsaufkommens:

$$VA_i^n = VA_{opqr}^n \cdot P(VM_i)^n \quad (4)$$

mit

VA	werktägliches Verkehrsaufkommen in Wegen
P(VM _i)	Wahrscheinlichkeit der Wahl des Verkehrsmittels i
n	Personengruppe (Lebenssituation/Pkw-Zugang)
o	Ortstyp
p	Topografie
q	Aktivität
r	Entfernungsklasse
i	Verkehrsmittel

Durch die starke Modelldifferenzierung liegen häufig keine hinreichend statistisch gesicherten Erkenntnisse zu A-priori-Wahrscheinlichkeiten einzelner Segmente vor (Fallzahlenproblem). Einige der 1.152 aktivitätenhomogenen Schichten sind gänzlich unbesetzt. Aus diesem Grund erfolgt für die Abstraktion des Ist-Zustandes 2008 eine Parameterschätzung.

Für jede Personengruppe n wird ein einfaches multinominales Logit-Modell⁶ geschätzt. Anhand der berechneten verkehrsmittelspezifischen Konstanten und den Regressionskoeffizienten kann im Anschluss für jede Schicht die individuelle Verkehrsmittelwahlwahrscheinlichkeit bestimmt werden durch:

⁶ Die Berechnungen wurden mit dem Programmpaket SPSS in der Version 19 und der Funktion LOGREG durchgeführt.

$$P(VM_i = j)^{n_{opqr}} = \begin{cases} \frac{e^{\beta_j x_i}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\beta_j x_i}} & \text{für } j = 1, \dots, J-1 \\ \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\beta_j x_i}} & \text{für } j = J \end{cases} \quad (5)$$

mit

$$\beta_j x_i = \beta_{j0} + \beta_{j1} \cdot x_{i1} + \beta_{j2} \cdot x_{i2} + \dots + \beta_{j14} \cdot x_{i14}$$

Die ermittelten Wahlwahrscheinlichkeiten $P(VM_i)^{n_{opqr}}$ sind dem Modell als Standardwerte hinterlegt. Für Wirkungsrechnungen sind diese im Anschluss ohne Restriktionen modifizierbar.

Tabelle 7 zeigt die berechneten Regressionsparameter beispielhaft für die Personengruppe „Schüler ohne Pkw-Zugang“. Dabei bedeuten:

KI	Konfidenzintervall
B	Regressionskoeffizient
SE	Standardfehler
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
TE	Tausend Einwohner
Odds Ratio	Chancenverhältnis

Tabelle 7: Schätzmodell für die PG „Schüler o. Pkw-Zugang“ (Quelle: Eigene Berechnung)

„Schüler ohne Pkw-Zugang“			95 %-KI für Odds		
Fahrrad vs. Fuß		B(SE)	Untere	Odds Ratio	Obere
Konstante	($\beta_{1,0}$)	0,602 (0,535)			
Topografie flach	($\beta_{1,1}$)	1,047 (0,05)***	2,60	2,85	3,13
Topografie hügelig	($\beta_{1,2}$)	0 b			
Grundzentrum u. kl.	($\beta_{1,3}$)	,230 (0,08)**	1,08	1,26	1,47
Mittelzentrum	($\beta_{1,4}$)	,728 (0,05)***	1,87	2,07	2,29
Oberzentrum < 500 TE	($\beta_{1,5}$)	,225 (0,04)***	1,15	1,25	1,36
Oberzentrum > 500 TE	($\beta_{1,6}$)	0 b			
Arbeit/Bildung	($\beta_{1,7}$)	,319 (0,05)***	1,24	1,38	1,25
Einkauf	($\beta_{1,8}$)	,057 (0,08)	,91	1,06	1,23
Freizeit	($\beta_{1,9}$)	,667 (0,06)***	1,74	1,95	2,18
Sonstiges	($\beta_{1,10}$)	0 b			
Bis 2 km	($\beta_{1,11}$)	-3,595 (0,53)***	,01	,03	,08
>2 bis 5 km	($\beta_{1,12}$)	-1,552 (0,53)**	,08	,21	,60
>5 bis 15 km	($\beta_{1,13}$)	,348 (0,54)	,49	1,42	4,07
mehr als 15 km	($\beta_{1,14}$)	0 b			
MIV vs. Fuß					
Konstante	($\beta_{2,0}$)	5,612 (0,51)***			
Topografie flach	($\beta_{2,1}$)	,087 (0,048)	,99	1,09	1,12
Topografie hügelig	($\beta_{2,2}$)	0 b			
Grundzentrum u. kl.	($\beta_{2,3}$)	,564 (0,08)***	1,51	1,76	2,05
Mittelzentrum	($\beta_{2,4}$)	,738 (0,06)***	1,87	2,09	2,34
Oberzentrum < 500 TE	($\beta_{2,5}$)	,254 (0,05)***	1,18	1,29	1,41
Oberzentrum > 500 TE	($\beta_{2,6}$)	0 b			
Arbeit/Bildung	($\beta_{2,7}$)	-1,107 (0,05)**	,30	,33	,36
Einkauf	($\beta_{2,8}$)	-,046 (0,07)	,83	,96	1,10
Freizeit	($\beta_{2,9}$)	-,278 (0,05)***	,68	,76	,84
Sonstiges	($\beta_{2,10}$)	0 b			
Bis 2 km	($\beta_{2,11}$)	-7,64 (0,50)***	,0002	,0005	,0014
>2 bis 5 km	($\beta_{2,12}$)	-5,116 (0,50)***	,002	,006	,016
>5 bis 15 km	($\beta_{2,13}$)	-2,007 (0,51)***	,050	,134	,365
mehr als 15 km	($\beta_{2,14}$)	0 b			
ÖV vs. Fuß					
Konstante	($\beta_{3,0}$)	6,683 (0,51)***			
Topografie flach	($\beta_{3,1}$)	-,015 (0,05)	,89	,99	1,09
Topografie hügelig	($\beta_{3,2}$)	0 b			
Grundzentrum u. kl.	($\beta_{3,3}$)	-,333 (0,08)***	,61	,72	,85
Mittelzentrum	($\beta_{3,4}$)	-,437 (0,06)***	,57	,65	,73
Oberzentrum < 500 TE	($\beta_{3,5}$)	-,137 (0,5)**	,80	,87	,96
Oberzentrum > 500 TE	($\beta_{3,6}$)	0 b			
Arbeit/Bildung	($\beta_{3,7}$)	,201 (0,05)***	1,10	1,22	1,36
Einkauf	($\beta_{3,8}$)	-,330 (0,08)***	,62	,72	,84
Freizeit	($\beta_{3,9}$)	-,657 (0,06)***	,46	,52	,59
Sonstiges	($\beta_{3,10}$)	0 b			
Bis 2 km	($\beta_{3,11}$)	-9,881 (0,50)***	1,91E-5	5,11E-5	1,37E-4
>2 bis 5 km	($\beta_{3,12}$)	-6,274 (0,50)***	,001	,002	,005
>5 bis 15 km	($\beta_{3,13}$)	-2,432 (0,50)***	,03	,09	,24
mehr als 15 km	($\beta_{3,14}$)	0 b			

Hinweis: $R^2 = 0,54$ (Cox & Snell); 0,58 (Nagelkerke). Modell $\chi^2(30) = 36,495$ ***.

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001, b = Referenzgruppe, n = 46.927 Wege.

Schritt 4: Personenverkehrsleistung

Nachdem für das Personenverkehrsmodell das Verkehrsaufkommen differenziert nach wesentlichen Einflussfaktoren vorliegt, werden im Anschluss die für eine Emissionsberechnung erforderlichen Kenngrößen bestimmt. Dabei wird zunächst über Personengruppen aggregiert. Dieser Schritt kann erfolgen, da für die anschließende Emissionsberechnung irrelevant ist, von welcher Personengruppe die Verkehrs- bzw. Fahrleistung erbracht wird. Die Berechnungsvorschrift für die Ermittlung Verkehrsleistung lautet:

$$VL_{i_{opqr}} = KM_{opqr} \cdot \sum_n VA_i^n_{opqr} \quad (6)$$

Die mittlere Weglänge wird durch eine entsprechende Auswertung des SrV 2008 bereitgestellt. Auf eine Differenzierung nach Topografie der mittleren Weglänge innerhalb einer Entfernungsklasse wurde aufgrund verbleibender Restfallzahlen verzichtet.

Im Ergebnis liegen die hochgerechneten Personenkilometer je Werktag für jedes Verkehrsmittel vor.

$$VL_i = \sum_o \sum_p \sum_q \sum_r VL_{i_{opqr}} \quad (7)$$

mit

VL	werktägliche Verkehrsleistung in Personenkilometer
KM	mittlere Weglänge
n	Personengruppe (Lebenssituation/Pkw-Zugang)
o	Ortstyp
p	Topografie
q	Aktivität
r	Entfernungsklasse
i	Verkehrsmittel

Schritt 5: Fahrleistung

Im letzten Schritt der Modellierung erfolgt die Umrechnung der Personenkilometer in Fahrzeugkilometer. Dazu sind spezifische Fahrzeugbesetzungen anzusetzen. Für den Individualverkehr erfolgt deren Ermittlung anhand der SrV-Daten des Jahres 2008. Die Topografie blieb bei der Bereitstellung der differenzierten Fahrzeugbesetzung, aufgrund der geringen Einflussstärke auf die Fahrzeugbesetzung und des bereits bei der mittleren Weglänge benannten Grundes, unberücksichtigt.

Für das Zu-Fuß-Gehen beträgt der Faktor naturgemäß „1“. Schwieriger ist die Berechnung der mittleren Fahrzeugbesetzungen für den ÖV. Für diesen fanden daher gesonderte Schät-

zungen vor allem anhand von Daten des VDV statt. Diese sind zwar relativ ungenau, dienen jedoch lediglich zu Vergleichszwecken, da die Emissionsberechnung für den Öffentlichen Verkehr auf Basis von Personenkilometern, d. h. auf Basis der Verkehrsleistung, erfolgt (vgl. Kapitel 3.5).

Grundsätzlich lautet die Berechnungsvorschrift:

$$FL_{i_{opqr}} = \frac{VL_{i_{opqr}}}{FBS_{i_{opqr}}} \quad (8)$$

Im Ergebnis liegen die hochgerechneten Fahrzeugkilometer je Werktag für jedes Verkehrsmittel vor.

$$FL_i = \sum_o \sum_p \sum_q \sum_r FL_{i_{opqr}} \quad (9)$$

mit

FL	werktägliche Fahrleistung in Fahrzeugkilometern
FBS	Fahrzeugbesetzung
n	Personengruppe (Lebenssituation/Pkw-Zugang)
o	Ortstyp
p	Topografie
q	Aktivität
r	Entfernungsklasse
i	Verkehrsmittel

Die so errechneten Fahrleistungskenngrößen $FL_{i_{opqr}}$ werden im Anschluss an das Emissionsmodul übergeben.

Anhand der beschriebenen Vorgehensweise liegt ein parametrisiertes Analysemodell für das Jahr 2008 vor. Um Wirkungsberechnungen durchzuführen, können die Eingangsparameter theoretisch beliebig verändert werden.

Um dabei Unplausibilitäten zu vermeiden, wurden eine Reihe von Kontrollfunktionen und Warnhinweise programmiert. Auf die Darstellung dieser Hilfen wird jedoch im Rahmen der Modellbeschreibung verzichtet.

3.5 Emissionsmodul

Das Ziel der verkehrsökologischen Analyse war die realitätsnahe Abschätzung der tatsächlich eintretenden Umweltentlastungen. Folgende Kenngrößen waren zu ermitteln:

- Kraftstoffverbrauch,
- CO₂ – Emissionen⁷,
- Emissionen der Luftschadstoffe CO, HC, NO_x, NO₂, PM10⁸
- Kumulierter Energieaufwand (KEA)

An das Fahrleistungsmodul wurde ein Emissionsberechnungsmodul auf der Grundlage von HBEFA 3.1 und TREMOD 5 angekoppelt

Die direkten Emissionen der einzelnen Schadstoffe, die CO₂-Emissionen sowie der Kraftstoffverbrauch werden detailliert in Abhängigkeit von Bezugsjahr, Verkehrsmittel, Längsneigung, Fahrverhalten und Wegelänge als warme Emission und Kaltstartzuschlag berechnet. Die Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin und Diesel sind berücksichtigt, die Emissionen aus der Herstellung der Fahrzeuge sind nicht enthalten.

Das Emissionsberechnungsmodul ermittelt dabei nicht nur die resultierenden Emissionen auf der Grundlage der vom Modell gelieferten Fahrleistungen, sondern nimmt die komplette Struktur der Daten des Modells auf, so dass die berechneten Emissionen den einzelnen Quellen genau zugeordnet und die Auswirkungen der möglichen Variationen detailliert zurückverfolgt werden können. Wenn sich also veränderte Verkehrsmittelnutzungen in veränderten Wegelängen auswirken, so lässt sich dies in der Emissionsberechnung bis zu veränderten Kaltstartanteilen verfolgen. Auf diese Weise können auch grafische Darstellungen der einzelnen Zusammenhänge erzeugt werden, die bei der Erlangung von Systemkenntnissen zum Verständnis der Abhängigkeiten von Emissionserhöhungen oder -minderungen hilfreich sind.

Die Berechnung der Auswirkungen von Verkehrsverhaltensänderungen auf die Lärmbelastung im gewählten Modellansatz wäre nur exemplarisch unter zahlreichen Annahmen möglich. Hier wird auf das von BSV/IVU im Auftrag der BAST bearbeitete Parallelprojekt „Einsparpotentiale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ (vgl. Kap. 2.2) verwiesen, welches aufgrund seiner Betrachtung der Netze von einzelnen Städten detaillierte Aussagen ermöglicht.

⁷ Die berechneten CO₂-Emissionen basieren dabei auf den Emissionsfaktoren „CO₂-reported“ des HBEFA 3.1. Diese betrachten lediglich den „fossilen“ Teil der Emissionen, der Einfluss des steigenden Anteils der Biokraftstoffe wurde dabei also schon berücksichtigt.

⁸ Die berechneten PM10-Emissionen enthalten nur die Auspuffemissionen, Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung sind nicht enthalten.

Die im Emissionsmodul verwendeten Daten basieren auf folgenden Grundlagen:

HBEFA 3.1 [INFRAS AG (2010)]:

Aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs wurden die Emissionsfaktoren für die Fahrt mit warmem Motor in Gramm/Fahrzeugkilometer für Pkw und motorisierte Zweiräder differenziert nach Längsneigung, Straßenkategorie und Bezugsjahr für CO₂, CO, HC, NO_x, NO₂, PM10 und den Kraftstoffverbrauch entnommen.

Ebenfalls aus dem HBEFA stammen die Daten zu den Kaltstartzuschlägen für PKW in Gramm/Start, welche in Abhängigkeit von Fahrweite und Bezugsjahr für CO₂, CO, HC, NO_x, NO₂, PM10 und Kraftstoffverbrauch verwendet wurden.

Weiterhin lieferte das HBEFA Daten zur Aufteilung der MIV-Fahrleistungen auf die Straßenkategorien und Daten zur Längsneigungsabhängigkeit der Emissionsfaktoren der Busse.

TREMOD 5 [KNÖRR ET AL. (2010)]:

Aus den Veröffentlichungen zum TREMOD 5 entstammen die Emissionsfaktoren für Linienbusse, Straßenbahnen, den SPNV und den SPFV in Gramm/Personenkilometer für CO₂, CO, HC, NO_x, NO₂ und PM10 und den Verbrauch (Benzinäquivalent) sowie deren Trends bis 2030.

SrV 2008

Speziell für das Emissionsmodul wurden aus dem SrV 2008 ermittelt:

- Daten zu Wegeanteilen der Verkehrsmittel des ÖV am Gesamtwegeaufkommen im ÖV nach Ortstyp und Längenklassen
- Daten zu Wegeanteilen der Krafträder am Gesamtwegeaufkommen des MIV in Abhängigkeit vom Ortstyp

Struktur des Emissionsmoduls

Das Emissionsmodul berechnet auf der Grundlage der Daten des HBEFA 3.1, des TREMOD 5 und des SrV 2008 nach der in den Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellten Struktur die Gesamtemissionen und Verbräuche des MIV und des ÖV differenziert nach Ortstyp, Topografie, Längenklassen, Wegezweck und Untersuchungsjahr.

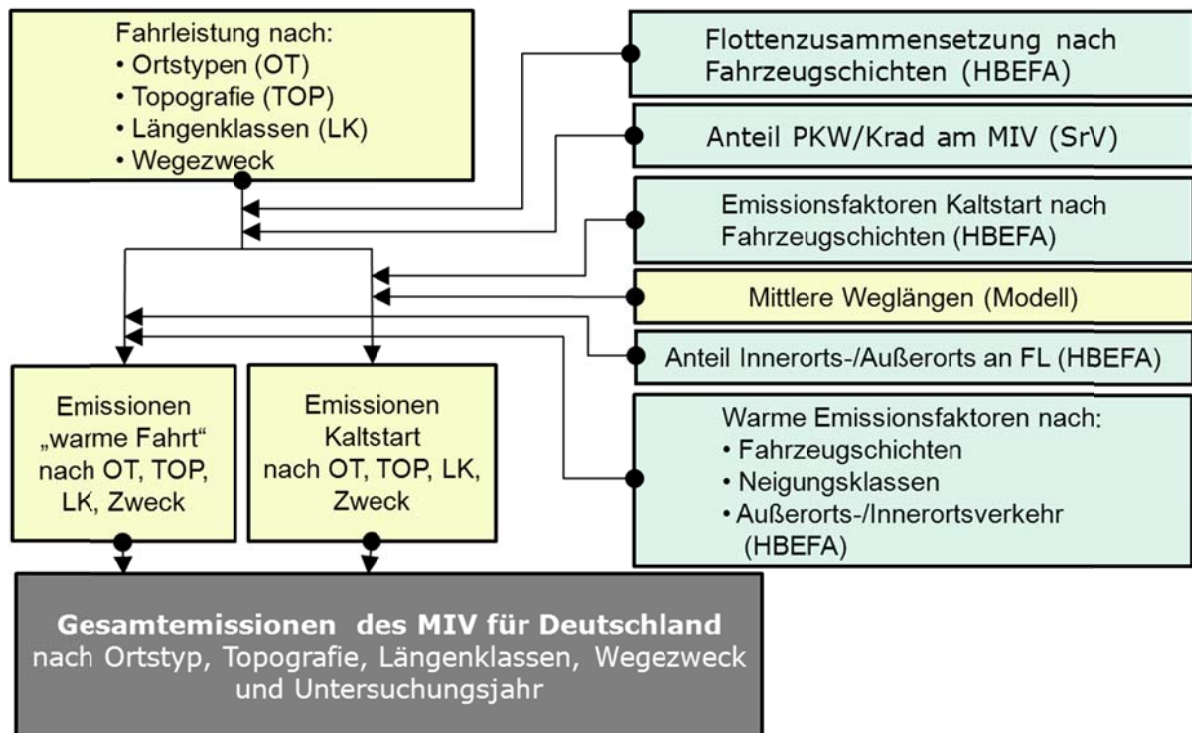


Abbildung 12: Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung im MIV

(Eigene Darstellung)

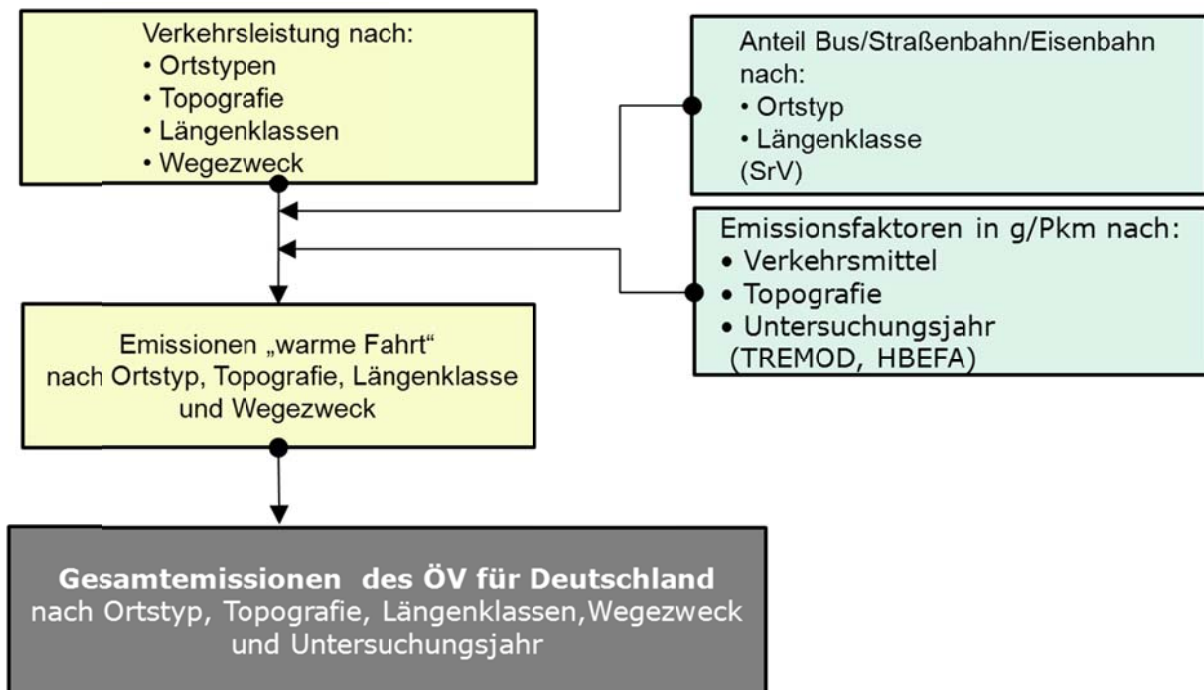


Abbildung 13: Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung im ÖV

(Eigene Darstellung)

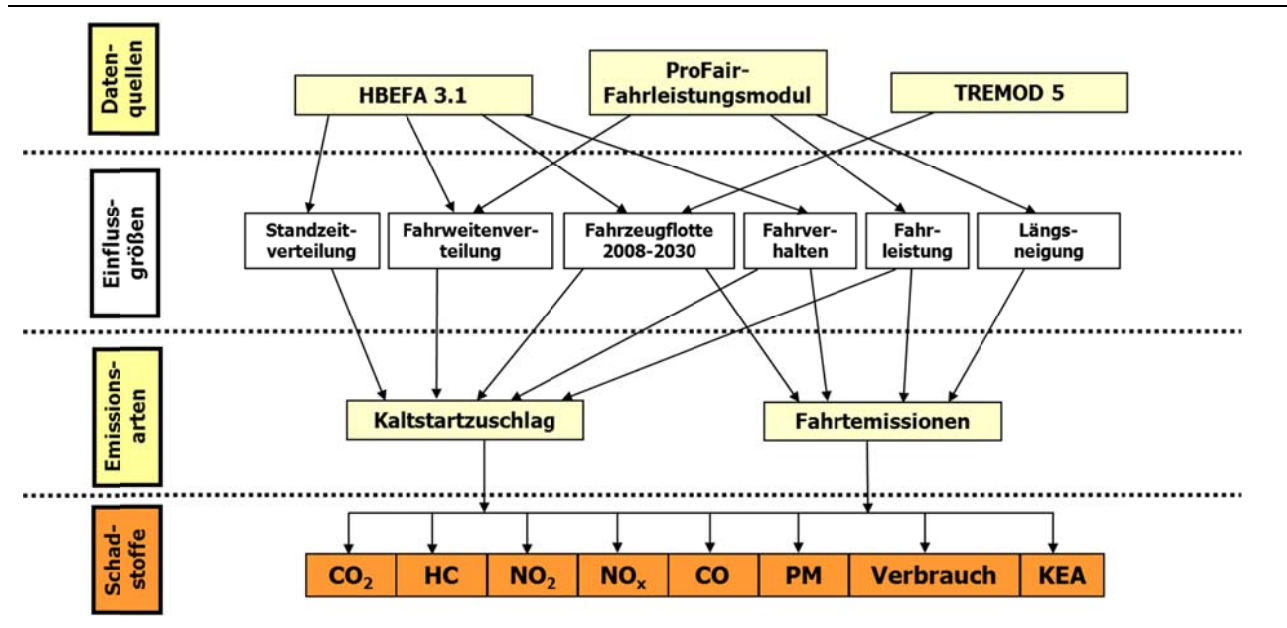


Abbildung 14: Vereinfachte Struktur des Emissionsmoduls für die Emissionsberechnung

(Eigene Darstellung)

In Abbildung 14 ist die Struktur des Emissionsmoduls mit seinen einzelnen Datenquellen, Einflussgrößen, Emissionsarten und Schadstoffen noch einmal vereinfacht dargestellt.

Der Ablauf der Emissionsberechnung erfolgt nach folgenden Schritten:

- Flottenzusammensetzung (Schritt 1)
- Auswahl Verkehrssituationen (Schritt 2)
- Verkehrszusammensetzung (Schritt 3)
- Zusammenführung mit Daten des Fahrleistungsmoduls (Schritt 4)

Schritt 1: Flottenzusammensetzung

Für die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte wurden hier die Daten des HBEFA 3.1 für Deutschland verwendet. Da die Fahrzeugflotte einer ständigen Veränderung unterworfen ist, kann für die Emissionsberechnung ein Bezugsjahr gewählt werden. In HBEFA 3.1 wird davon ausgegangen, dass z. B. der Flottenemissionsfaktor für CO₂ bedingt durch effizientere Motoren und Biokraftstoffbeimischung von 2010 bis 2030 um 29 % sinkt. Zur Auswahl bietet das Modul die Jahre 2008, 2010, 2015, 2020, 2025 und 2030.

In Abhängigkeit von der Auswahl des Betrachtungsjahres greift das Programm auf den entsprechenden Datensatz der Emissionsfaktoren für die einzelnen Verkehrsmittel zu. Für PKW werden zusätzlich die entsprechenden Kaltstartzuschlagsfaktoren ausgewählt.

Schritt 2: Auswahl Verkehrssituationen

In jeder Emissionsberechnung für den Straßenverkehr müssen Annahmen zum Fahrverhalten der KFZ getroffen werden. Für makroskopische Berechnungen, wie sie hier erforderlich sind, bietet das HBEFA mittlere gewichtete Emissionsfaktoren jeweils für die Straßenarten Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen. Weiterhin bietet das HBEFA Emissionsfaktoren für das mittlere Fahrverhalten über alle deutschen Straßenverkehrsfahrleistungen gewichtet.

Die Daten basieren auf der Verteilung der Fahrleistungen auf das Straßennetz nach TREMOD. Da die Emissionen im Modell *ProFaIR* für die verschiedenen Längenklassen differenziert berechnet werden müssen, waren Annahmen zur Verteilung der Fahrleistungen in den Längenklassen auf die Straßenarten Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen erforderlich. Dadurch kann in der Emissionsberechnung berücksichtigt werden, dass kurze Fahrten tendenziell eher im Innerortsbereich und längere Fahrten verstärkt auf Autobahnen stattfinden.

Die getroffene Annahme für das Modell ist konsistent mit den TREMOD-Daten zur Verteilung der gesamten Fahrleistungen auf die Gruppen Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen in Deutschland. Für spezielle regionale Berechnungen oder Variationsrechnungen enthält das Modell die Option, die Zuordnung der Fahrleistungen zu den Längenklassen zu verändern.

Im Ergebnis dieses Schrittes liegen programmintern die zu verwendenden Emissionsfaktoren für die einzelnen Verkehrsmittel in Abhängigkeit von Flottenzusammensetzung, Längsneigung und Fahrverhalten vor.

Schritt 3: Verkehrszusammensetzung

Die Fahrleistungen im MIV werden vor allem von Pkw und Krafträdern erbracht, die Verkehrsleistungen im ÖV müssen auf die ÖV-Verkehrsmittel Bus, Straßenbahn und Schienenpersonenverkehr aufgeteilt werden. Die Aufteilung erfolgt in Abhängigkeit von Eingabewerten bzw. den programmseitig vorgeschlagenen Defaultwerten.

Der Anteil der Krafträder an den MIV-Fahrleistungen unterscheidet sich dabei nach der Stadtgröße. Als Voreinstellung für das Modell wurden hier die mittleren Werte für die einzelnen Stadtgrößen aus dem SrV 2008 verwendet. Für spezielle Berechnungen können diese Anteile verändert werden.

Die Aufteilung der ÖV-Verkehrsleistungen unterscheidet sich stark in Abhängigkeit von Stadtgröße und Wegelängenklasse. Im Modell wurde hier eine Aufteilung verwendet, die ebenfalls auf den Daten des SrV 2008 aufbaut (siehe Abbildung 15). Für spezielle Berechnungen können die Werte verändert werden. Im Ergebnis dieses Schrittes liegen programmintern die zu verwendenden gewichteten Emissionsfaktoren für den MIV in Gramm/Fahrzeugkilometer und für den ÖV in Gramm/Personenkilometer vor. Für Pkw liegen zusätzlich die Kaltstartzuschlagfaktoren in Gramm/Start vor.

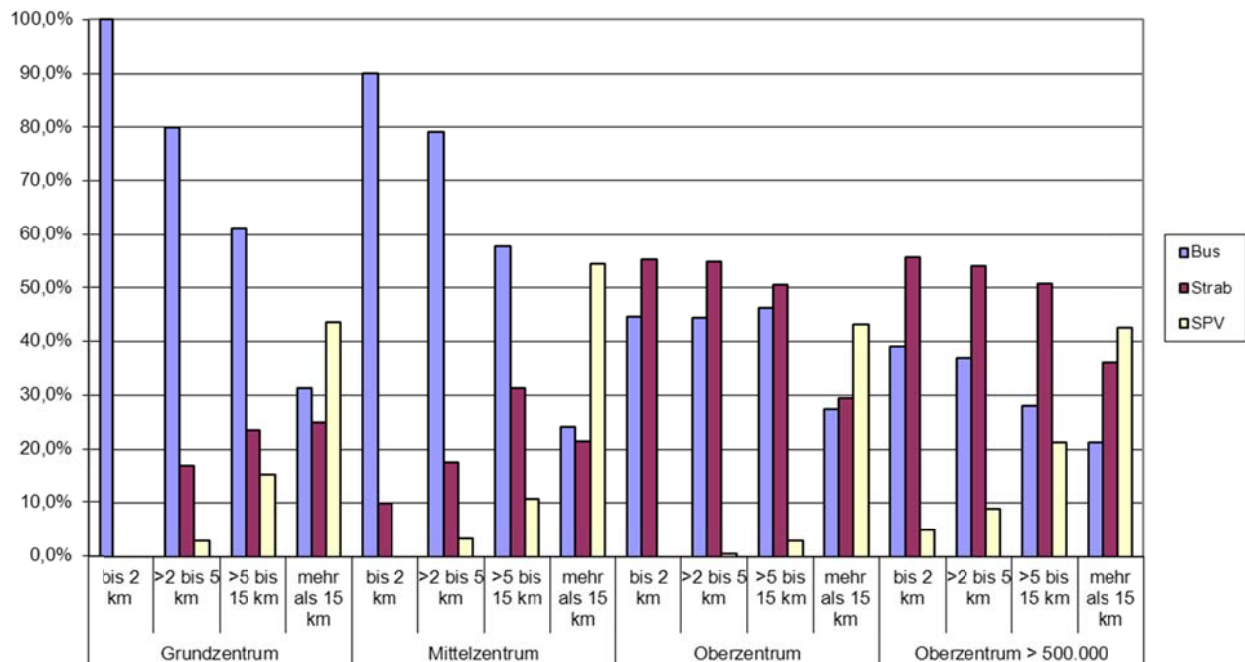


Abbildung 15: Verteilung der Fahrleistung des ÖV auf die Verkehrsmittel des ÖV in Abhängigkeit von Ortstyp und Wegelängenklasse (Eigene Darstellung)

Schritt 4: Zusammenführung mit Daten des Fahrleistungsmoduls

Der nun vorliegende Datensatz der Emissionsfaktoren umfasst für die vier verschiedenen Ortstypen, die zwei Topografiegruppen, die vier Entfernungsklassen und die vier Aktivitätstypen verschiedene Emissionsfaktoren in Gramm/Fahrzeugkilometer für den MIV und in Gramm/Personenkilometer für den ÖV sowie entsprechende Kaltstartzuschlagsfaktoren in Gramm/Start für PKW. Diese Daten können sodann mit den Daten des Fahrleistungsmoduls zusammengeführt werden.

Die Berechnung für den MIV erfolgt dabei über die Fahrleistungen nach der Formel (10), die Berechnung für den ÖV erfolgt über die Verkehrsleistungen nach der Formel (11).

$$EMIV_s = \sum_o \sum_p \sum_q \sum_r FL_{opqr} \times EFA_{opqs} \quad (10)$$

$$EMÖV = \sum_o \sum_p \sum_q \sum_r VL_{opqr} \times EFA_{opqr} \quad (11)$$

mit

EMIV	Emission eines Schadstoffes durch den MIV
FL	werktägliche Fahrleistung in Fahrzeugkilometern
VL	werktägliche Verkehrsleistung in Personenkilometer
EFA	Emissionsfaktor
o	Ortstyp
p	Topografie
q	Aktivität
r	Entfernungsklasse
s	Schadstoff

Die so errechneten Emissionsdaten werden an die Ausgabemaske übergeben und stehen für Auswertungen zur Verfügung.

3.6 Ergebniseckwerte des Analysemodells

Das Analysemodell für das Jahr 2008 liefert wesentliche verkehrliche Größen und Emissionskenngrößen für den werktäglichen Alltagsverkehr in Deutschland. Die Ergebnisse dienen als Ausgangs- und Vergleichsgröße zu den im Anschluss durchgeführten Wirkungsberechnungen (Variationsrechnungen). Grundsätzlich liegen die Kenngrößen in einer sehr differenzierten Struktur vor (Personengruppen, Ortstypen, Zwecke, Entfernungsklassen, Verkehrsmittel). An dieser Stelle werden jedoch nur die Eckwerte ausgewiesen. Diese stellen im Anschluss die Vergleichswerte für die Validierung mit weiteren Datengrundlagen dar.

Tabelle 8 stellt die wichtigsten Eckwerte nach Hauptverkehrsmitteln in einer Übersicht zusammen. Neben den personenbezogenen Werten zum Verkehrsaufkommen und zur Verkehrsleistung sind (fahrzeugbezogene) Fahrleistungswerte enthalten. Zur Beschreibung der Emissionsseite sind Kohlendioxid (CO₂), der kumulierte Kraftstoffverbrauch, Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NO_x), Stickstoffdioxid (NO₂), der Feinstaubausstoß (Partikel) sowie der kumulierte Energieaufwand (KEA) ausgewiesen.

Insgesamt ergibt sich eine Fahrleistung von 1.614,8 Mio. Fz-km pro Werktag im privaten Alltagsverkehr. Der MIV hat dabei fahrleistungsbezogen mit 86,4 % den größten Anteil. Auch im Hinblick auf die Umweltbelastung ist der MIV bei den betrachteten Verkehrsarten der Hauptemittent.

Tabelle 8: Verkehrliche Kenngrößen und Emissionskenngrößen des Analysemodells

Verkehrliche Kenngrößen						
Kenngröße	Einheit	Fuß	Fahrrad	MIV	ÖV	Gesamt
Verkehrsaufkommen	Mio. Wege/Werktag	54,7	26,6	129,5	30,7	241,5
	%	22,7	11,0	53,6	12,7	100
Verkehrsleistung	Mio. Pkm/ Werktag	56,8	83,0	1.797,3	528,8	2.465,9
	%	2,3	3,4	72,9	21,4	100
Fahrleistung	Mio. Fz-km/ Werktag	56,8	82,6	1.395,6	79,8	1.614,8
	%	3,5	5,1	86,4	4,9	100
Emissionskenngrößen						
Kenngröße	Einheit	Fuß	Fahrrad	MIV	ÖV	Gesamt
CO ₂	1.000 t/Werktag			243	38	281
Kraftstoff	1.000 t/Werktag			80,8	14,3	95,1
CO	1.000 t/Werktag			3,05	0,04	3,09
HC	t/Werktag			317	14	331
NO _x	t/Werktag			627	165	792
NO ₂	t/Werktag			140	33	173
Partikel	t/Werktag			24,5	1,7	26,2
KEA	TJ/Werktag			4.112	730	4.841

ProFaiR, Analysemodell für das Jahr 2008, Summen können rundungsbedingt abweichen

Quelle: Eigene Berechnung

3.7 Modellvalidierung

Für die Gültigkeitsprüfung (Validierung) des Modells und ggf. zu dessen Eichung (Kalibrierung) erscheint es sinnvoll, die Modellergebnisse (Eckwerte) mit anderen Datengrundlagen (Referenzerhebungen) zu vergleichen. An diese bestehen folgende Anforderungen:

- Unabhängigkeit von den Modelleingangsgrößen
- Repräsentative und statistisch gesicherte Angaben zur Grundgesamtheit
- Vergleichbare verkehrliche Bezüge
- Datenverfügbarkeit

Zur Validierung stehen die Einzeldatensätze der MiD 2008, die Veröffentlichungen zu den BAST-Fahrleistungserhebungen des Jahres 2002 [HAUTZINGER ET AL. (2005A), HAUTZINGER ET AL. (2005B)] und die Berichte zum Transport Emission Model [TREMOD V. 5, Analysestand 2008, KNÖRR ET AL. (2010)] zur Verfügung. Abbildung 16 zeigt das grundsätzliche Vorgehen der Modellvalidierung. Dabei wird zunächst die Erhebung MiD 2008 für die Kernwoche ausgewertet. Die daraus gewonnenen Eckwerte dienen zum Vergleich des Aufkommens- und verkehrsleistungsbezogenen Modal Split und der Gesamtverkehrsleistung. In einer Überleitungsrechnung werden im Anschluss die Informationen aus KNÖRR ET AL. (2010), HAUTZINGER ET AL. (2005a), HAUTZINGER ET AL. (2005b) genutzt um Referenzwerte für die Fahrleistung bereitzustellen. Abschließend werden die im Modell errechneten Emissionen mit den Werten aus TREMOD (Version 5, Bezugsjahr 2008) verglichen.

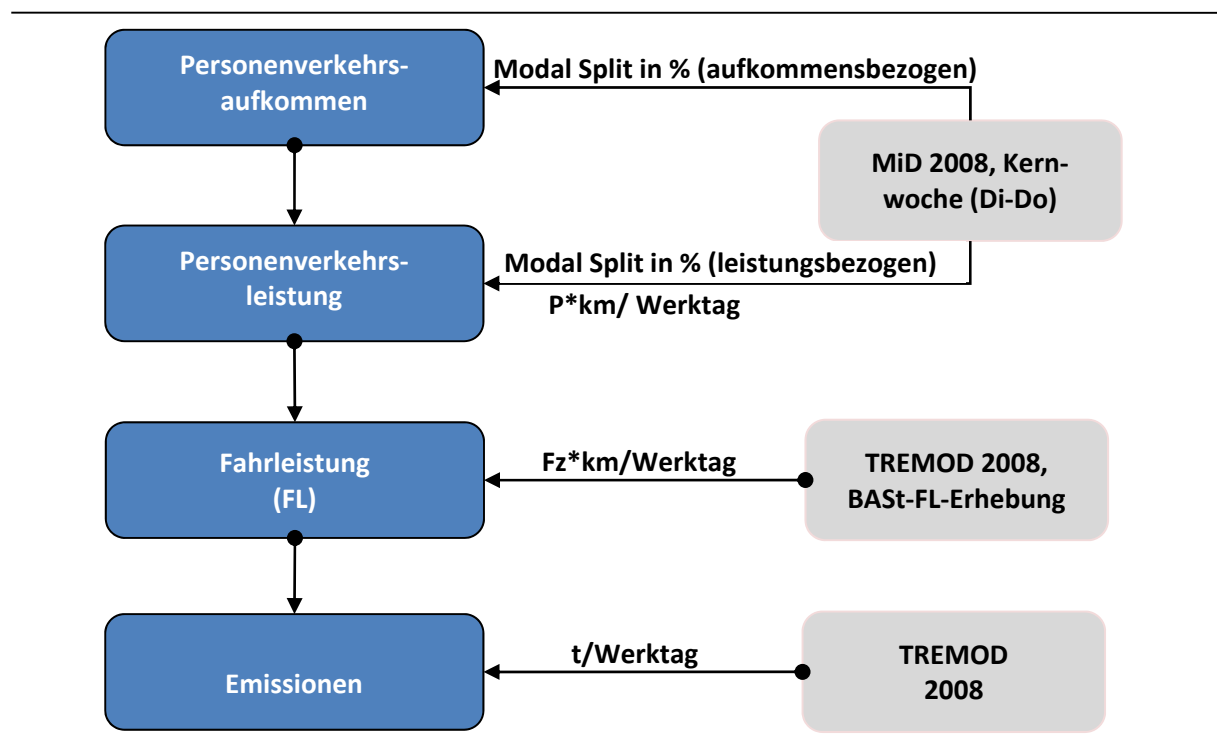


Abbildung 16: Ergebnisvergleich mit Referenzerhebungen (Eigene Darstellung)

Eine Überleitungsrechnung ist aufgrund unterschiedlicher zeitlicher und sachlicher Bezüge notwendig. In KNÖRR ET AL. (2010) sind Jahresfahrleistungen des Straßenverkehrs im Inland dokumentiert. Das vorliegende Modell ermittelt jedoch den privaten werktäglichen Inlandsverkehr der Inländer. Die Überleitungsrechnung zeigt Tabelle 9.

Ausgangsbasis stellen die in KNÖRR ET AL. (2010, S. 48) dokumentierten *Inlandsfahrleistungen* differenziert nach Fahrzeuggruppen dar. Zunächst werden die von ausländischen Kfz erbrachten Fahrleistungen abgezogen. Die dafür erforderlichen Werte sind aus HAUTZINGER ET AL. (2005b) ableitbar. Das Ergebnis ist die von *Inländern erbrachte Inlandsfahrleistung*.

Als nächstes sind die Anteile des Wirtschaftsverkehrs abzuspalten. Dazu wurde der *Anteil privater Zwecke* an den Fahrleistungen ermittelt. Grundlage dafür waren die Ergebnisse aus HAUTZINGER ET AL. (2005a). Auf deren Basis lassen sich für unterschiedliche Fahrzeuggruppen und acht Zweckkategorien näherungsweise je Fahrzeuggruppe die *Anteile privater Zwecke* an der jeweiligen Fahrleistung bestimmen. Verknüpft mit den bereits errechneten Fahrleistungen der Inländer ergeben sich somit die *Fahrleistungen des privaten Inlandsverkehrs der Inländer*.

Im nächsten Schritt erfolgt die Berechnung des Werktagsverkehrs. Dazu wurde erneut mit Hilfe von HAUTZINGER ET AL. (2005a) und den dort dargestellten Fahrleistungen nach Fahrzeuggruppen, Fahrzwecken und Wochentage ein Faktor zur Umrechnung auf Werkstage ermittelt. Damit liegt ein Wert für den *privaten Inlandsverkehr der Inländer an Werktagen des Jahres 2008* vor. Dieser lässt sich im Anschluss auf einen durchschnittlichen Werktag umrechnen.

Der Referenzwert für den privaten Inlandsstraßenverkehr beträgt demnach 1.321,9 Mio. Fz-km/Werktag. Wird die von Omnibussen erbrachte Fahrleistung noch subtrahiert, ergibt sich ein Wert von 1.312.5 Mio. Fz.-km/Werktag für den Motorisierten Individualverkehr (MIV).

Tabelle 9: Berechnung der MIV-Referenzfahrleistung

	Inlandsverkehr 2008	Anteil ausl. Kfz	Inlandsverkehr d. Inländer	Anteil private Zwecke	Privater Inlandsverkehr d. Inländer	Geschäftl. Verkehr der Inländer	Anteil Werktags Privatverkehr	Anteil Werktags geschäftl. Verkehr	Privater Inlandsverkehr d. Inländer an Werktagen	Geschäftl. Verkehr der Inländer an Werktagen	Privater Inlandsverkehr d. Inländer pro Werktag	Geschäftl. Inlandsverkehr d. Inländer pro Werktag
	In Mrd. Fz.-km pro Jahr										In Mio Fz.-km pro Werktag	
Mofa/Mopeds	4,7	0 %	4,7	98 %	4,6	0,1	78 %	86 %	3,6	0,1	13,7	0,4
Krafträder	10,2	3 %	9,9	98 %	9,7	0,2	50 %	86 %	4,9	0,2	18,9	0,7
Pkw	577,6	3 %	559,9	81 %	452,1	107,8	72 %	89 %	327,1	95,7	1.258,0	367,9
Leichte NFZ*	37,9	2 %	37,2	18 %	6,8	30,4	76 %	92 %	5,2	27,9	19,9	107,2
Schwere NFZ*	56,0	16 %	46,9	1 %	0,6	46,4	93 %	94 %	0,5	43,6	2,0	167,7
Sost. KFZ	3,2	0 %	3,2	0 %	0,0	3,2	0 %	95 %	0,0	3,0	0,0	11,7
Omnibusse	3,8	9 %	3,4	100 %	3,4	0,0	71 %	0 %	2,4	0,0	9,4	0,0
Gesamt	693,4		665,4		477,3	188,1			343,7	170,4	1.321,9	655,5

*Die Tonnagegrenze zwischen leichten und schweren Nutzfahrzeugen liegt bei 3,5 t zul. Gesamtgewicht

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis TREMOD, Bezugsjahr 2008 und der BAST-Fahrleistungserhebung 2002

Tabelle 10 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse des Analysemodells mit denen der Vergleichsdaten. Die Gegenüberstellung erfolgt für die Kennwerte Gesamtverkehrsaufkommen und -leistung, den aufkommens- und leistungsbezogenem Modal Split und die Gesamtfahrleistung. Durch eine Gegenüberstellung der im Modell bestimmten Werte mit den Bezugswerten der Referenzerhebungen ergeben sich Hinweise auf die Modellierungsqualität. Dabei ist jedoch anzumerken, dass nicht der Anspruch besteht, die Referenzerhebungen exakt zu treffen. Dies ist einerseits damit zu begründen, dass die Realitätsnähe der Referenzerhebungen ebenfalls nicht abschließend gesichert ist und andererseits daran, dass die eine oder andere inhaltliche Abgrenzung im Detail abweicht und somit auch Unterschiede aufgrund methodischer Effekte naheliegen.

Werden zunächst die Gesamtwerte betrachtet (Tabelle 10), beträgt die Abweichung der Referenzerhebungen zu den Modelleckwerten für das Verkehrsaufkommen 14 % und leistungsbezogen 9 %. Die größeren Werte der MiD resultieren vor allem daraus, dass die Mobilitätsraten, d. h. die von einer Person absolvierten Wege pro Tag, in der MiD 2008 generell etwas über denen des SrV 2008 liegen. Bei Betrachtung der Modal-Split-Werte fallen die Unterschiede relativ gering aus und bewegen sich bis auf den ÖV im 1 %-Bereich. Im Modell sind die ÖV-Werte in der Tendenz grundsätzlich etwas höher als bei den Vergleichserhebungen. Dies kann plausibel damit begründet werden, dass im SrV 2008 sehr kleine

ländliche Kommunen mit hohem MIV- jedoch sehr geringen ÖV-Anteilen eher unterrepräsentiert sind. Eine weitere Auffälligkeit betrifft den Fußgängerverkehr. Für diesen ist vor allem verkehrsleistungsbezogen der Unterschied zu MiD 2008 recht hoch. Die Ursache hier ist eindeutig die größere ermittelte Distanz bei Fußwegen (1,3 km je Weg im Mittel) im Rahmen der MiD 2008. Für das SrV 2008 beträgt der Wert im Durchschnitt lediglich 1,0 km je Weg. Dieser Unterschied spiegelt sich aufgrund der multiplikativen Verknüpfung des Verkehrsaufkommens mit der Weglänge direkt in der Merkmalsausprägung wieder.

Die nach Ansicht der Autoren wichtigste Referenzgröße ist jedoch die Fahrleistung im MIV. Der Hauptteil der Emissionen wird durch diese Größe bestimmt. Im Vergleich zu den errechneten Werten aus TREMOD/BASSt liegt der Modellwert um 6 % über dem Referenzwert. Dabei ist zu beachten, dass im Modell einige Fahrten im Personenwirtschaftsverkehr (insb. Dienst- und Geschäftsreisen) mit enthalten sind. Daher ist ein leicht höherer Wert zu erwarten gewesen. Interessant ist jedoch, dass der Modellwert über dem TREMOD/BASSt-Wert liegt. Für die aufkommens- und verkehrsleistungsbezogenen Vergleiche mit der MiD 2008 lag dieser Wert stets darunter.

Folgende Schlussfolgerung lässt sich aus diesem Ergebnis ziehen: Der Modellwert liegt zwischen den Referenzwerten der beiden voneinander unabhängigen Vergleichsdatengrundlagen. Daher kann begründet davon ausgegangen werden, dass der Modellwert in der Größenordnung plausibel ist. Weitere Kalibrierungsschritte sind daher nicht nötig. Diese wären unter Zugrundelegung des beschriebenen Ergebnisses auch schwierig, da bei einer stärkeren Annäherung an MID eine größere Abweichung zu TREMOD/BASSt folgt und umgekehrt.

Tabelle 10: Vergleich der Ergebnisse des Modells mit weiteren Datengrundlagen

Kenngröße	Referenz	Fuß	Fahrrad	MIV	ÖV	Gesamt
Personenverkehrsaufkommen in Mio. Wege/Werktag	Modell 2008	54,7	26,6	129,5	30,7	241,5
	MiD 2008	66,8	31,6	153,2	28,3	279,9
Modal Split (Aufkommen) in %	Modell 2008	22,7	11,0	53,6	12,7	100
	MiD 2008	23,9	11,3	54,8	10,1	100
Personenverkehrsleistung in Mio. Pkm/Werktag	Modell 2008	56,8	83,0	1.797,3	528,8	2.465,9
	MiD 2008	86,9	96,4	2.018,1	520,8	2.722,2
Modal Split (Verkehrsleistung) in %	Modell 2008	2,3	3,4	72,9	21,4	100
	MiD 2008	3,2	3,5	74,1	19,1	100
Fahrleistung in Mio. Fz.-km/Werktag	Modell 2008	1.395,6				
	TREMOD/BASSt 2008	1.312,5				

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis MiD 2008, TREMOD 2008 und der BASSt-Fahrleistungserhebung 2002

Tabelle 11: Vergleich der absoluten Emissionen nach TREMOD/*ProFaiR*

Schadstoff	TREMOD 5			Modell <i>ProFaiR</i>		
	Personenverkehr Straße	Personenverkehr Schiene	Personenverkehr gesamt	MIV	ÖV	Gesamt
	t/Tag	t/Tag	t/Tag	t/Tag	t/Tag	t/Tag
CO ₂	297.856	17.650	315.506	243.382	37.589	280.971
CO	3.217	7	3.225	3.054	38	3.092
HC	283	46	329	317	14	331
NO _x	652	47	699	627	165	792
PM10	15	0	16	25	2	26

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis TREMOD, Bezugsjahr 2008

Auch die Ergebnisse des Emissionsmoduls des Modells *ProFaiR* wurden mit den Berechnungsergebnissen des TREMOD 5 verglichen. In Tabelle 11 sind die Werte für die Emissionen im Personenverkehr aus TREMOD 5 vom 19.04.2010 und die entsprechenden Ergebnisse des Modells *ProFaiR* dargestellt. Die Werte unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Abgrenzungen. Außerdem werden die TREMOD-Werte als Personenverkehr Straße und Personenverkehr Schiene ausgegeben, während *ProFaiR* in MIV und ÖV unterscheidet. In den *ProFaiR*-Werten für den ÖV sind auch die Verkehrsleistungen der Busse enthalten, Personenverkehr Schiene aus TREMOD und ÖV aus *ProFaiR* sind also nicht direkt vergleichbar. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Ergebnisse von TREMOD und *ProFaiR* in ähnlicher Größenordnung liegen.

Um den Einfluss der unterschiedlichen Verkehrsleistungen für den Emissionsvergleich zu eliminieren, wurden die TREMOD-Verkehrsleistungen auf die *ProFaiR*-Verkehrsleistungen normiert. Das Ergebnis ist in Tabelle 12 dargestellt. Vergleicht man die Emissionsergebnisse von TREMOD und *ProFaiR* auf der Basis gleicher Verkehrsleistungen, dann ist festzustellen, dass die von *ProFaiR* berechneten Emissionen tendenziell über den mit TREMOD berechneten Emissionen liegen. Die Abweichungen liegen zwischen 11 % Mehremissionen bei CO₂ und 110 % Mehremissionen bei Partikeln. Diese höheren Werte des *ProFaiR* sind in erster Linie dadurch zu erklären, dass das TREMOD 5 noch mit den Emissionsfaktoren des HBEFA 2.1 arbeitet, während *ProFaiR* bereits die Emissionsfaktoren des HBEFA 3.1 verwendet. In Tabelle 12 ist auch dargestellt, wie sich die Emissionsfaktoren der beiden HBEFA-Versionen für Pkw und Busse bei einem durchschnittlichen Fahrmuster über alle Straßenkategorien unterscheiden.

In Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die Emissionsfaktoren für PM10 und NO_x des HBEFA 2.1 und des HBEFA 3.1 für ausgewählte vergleichbare Verkehrssituationen für die Pkw-Flotte Deutschland für 2010 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Emissionsfaktoren des HBEFA 3.1 hier deutlich höher liegen. Aus diesen unterschiedlichen Emissionsfaktoren lassen sich die Unterschiede in den Emissionsergebnissen von TREMOD und *ProFaiR*

weitgehend erklären. Als weitere Einflussgrößen für unterschiedliche Emissionsergebnisse kommen in Frage:

- TREMOD arbeitet mit Annahmen zur Fahrweitenverteilung der Pkw-Fahrten, *ProFaiR* verwendet die Fahrweitenverteilungen, die sich aus den SrV-Daten ergeben
- TREMOD arbeitet mit Annahmen zur Verteilung der Pkw-Fahrleistungen auf die verschiedenen Längsneigungen, *ProFaiR* berücksichtigt die Längsneigungen über den Unterschied der flachen und hügeligen Orte.

Tabelle 12: Vergleich TREMOD/*ProFaiR* prozentual auf gleiche Verkehrsleistung normiert

	TREMOD 5	Modell <i>ProFaiR</i>	Vergleich HBEFA 3.1/HBEFA 2.1		
Schadstoff	Personenverkehr auf VL normiert	Gesamt	Vergleich <i>ProFaiR</i> / TREMOD	Pkw Ø (alle StrKat)	Bus Ø (alle StrKat)
	t/Tag	t/Tag			
CO ₂	252.778	280.971	111 %	105 %	116 %
CO	2.584	3.092	120 %	118 %	83 %
HC	263	331	126 %	147 %	58 %
NO _x	560	792	141 %	191 %	116 %
PM10	12	26	210 %	183 %	86 %

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis TREMOD, Bezugsjahr 2008

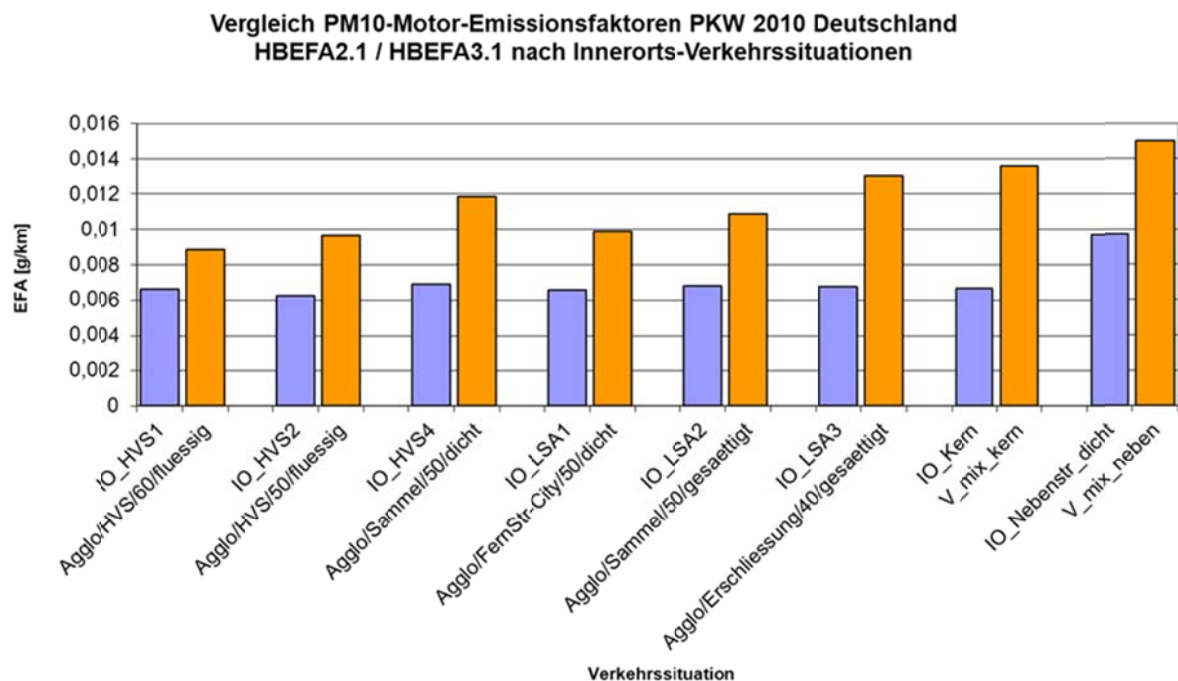


Abbildung 17: Vergleich der Pkw-Emissionsfaktoren für PM10 für vergleichbare Innerorts-Verkehrssituationen des HBEFA 2.1 und HBEFA 3.1, Bezugsjahr 2010 (Eigene Darstellung nach Daten des HBEFA)

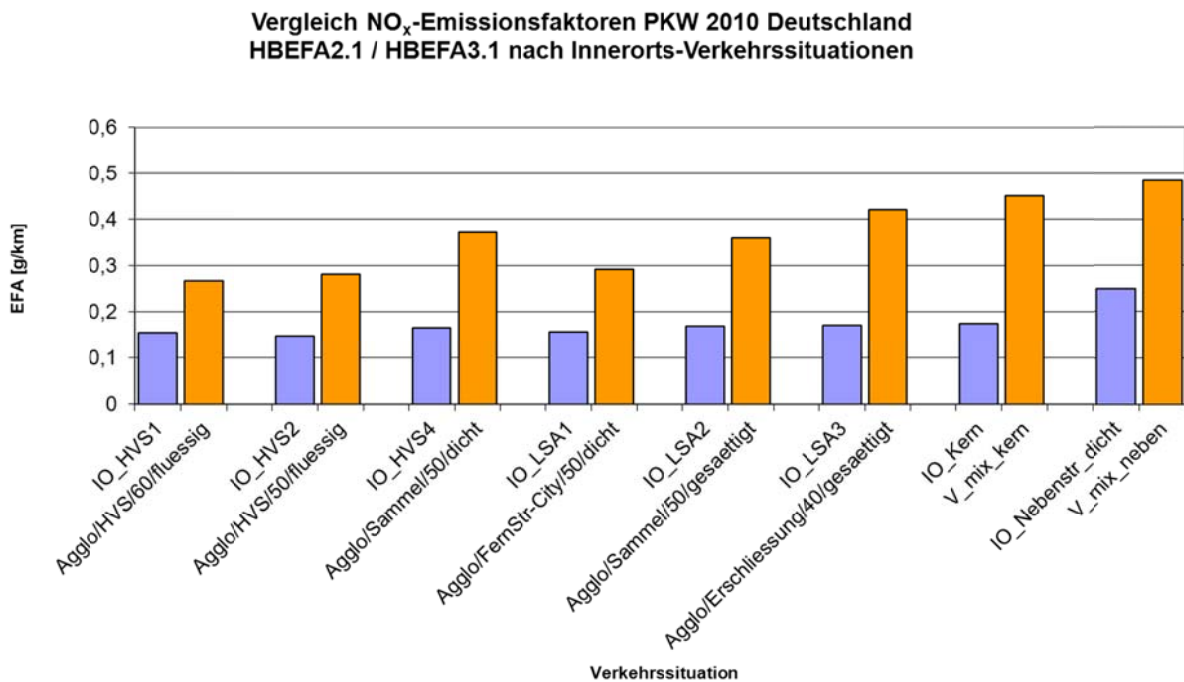


Abbildung 18: Vergleich der Pkw-Emissionsfaktoren für NO_x für vergleichbare Innerorts-Verkehrssituationen des HBEFA 2.1 und HBEFA 3.1, Bezugsjahr 2010

(Eigene Darstellung nach Daten des HBEFA)

3.8 Handhabung des Modells

Abbildung 19 zeigt einen Screenshot der interaktiven Benutzeroberfläche von *ProFaiR*. Zu den einzelnen Teilmodulen (Modellbausteinen) gelangt der Nutzer über interaktive Schaltflächen. Innerhalb der Teilmodule gibt es zusätzliche Navigationsunterstützung. Beispielsweise ermöglicht das Modell folgende Funktionalitäten:

- Darstellung im Vollbildmodus
- Veränderung der Eingangsparameter
- Zurücksetzen der Eingangsparameter (Wiederherstellen der Ausgangswerte)
- Navigieren zwischen den Modulen (Hauptübersicht)
- Öffnen eines Fensters für Nebenrechnungen

Weiterhin gibt es eine Anwenderhilfe als Kurzanleitung.

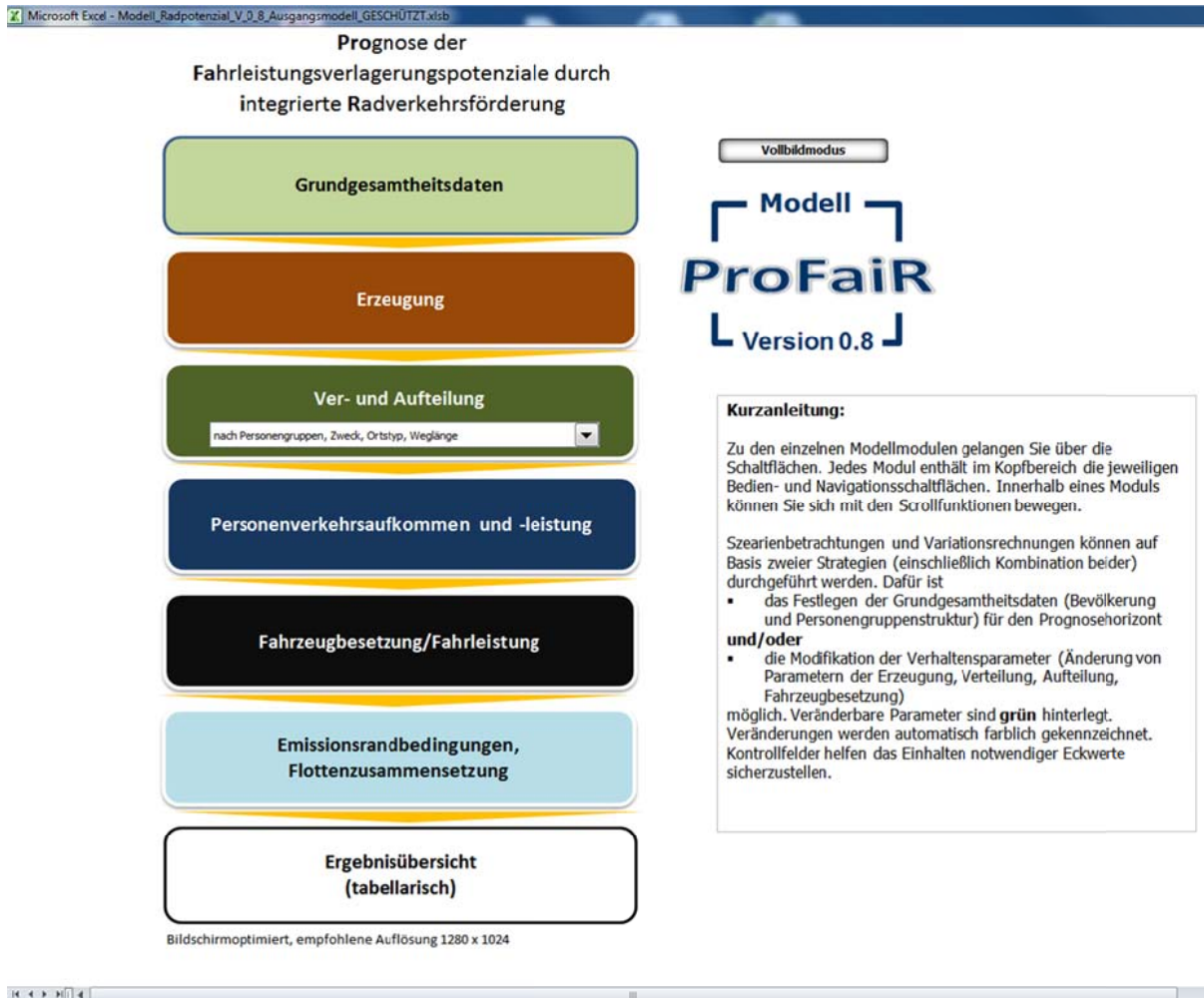


Abbildung 19: Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells *ProFaIR* (Eigene Darstellung)

Durch Unterstellung struktureller Veränderungen und hypothetischer Wirkungen können Fahrleistungsverlagerungs- und Umweltentlastungspotenziale abgeschätzt werden. Welche Art von Eingangsparametern im Modell verändert werden können zeigt Abbildung 20.

Grundgesamtheitsdaten

Dabei wird im Teilmodul „Grundgesamtheitsdaten“ die Bevölkerungsanzahl, -verteilung und -zusammensetzung sowie der Pkw-Zugang der Personengruppen festgelegt.

Erzeugung

Im Teilmodul „Erzeugung“ können für die Teilgesamtheiten entsprechende Mobilitätskenngrößen angenommen werden (Außer-Haus-Anteil, Wegehäufigkeit mobiler Personen).

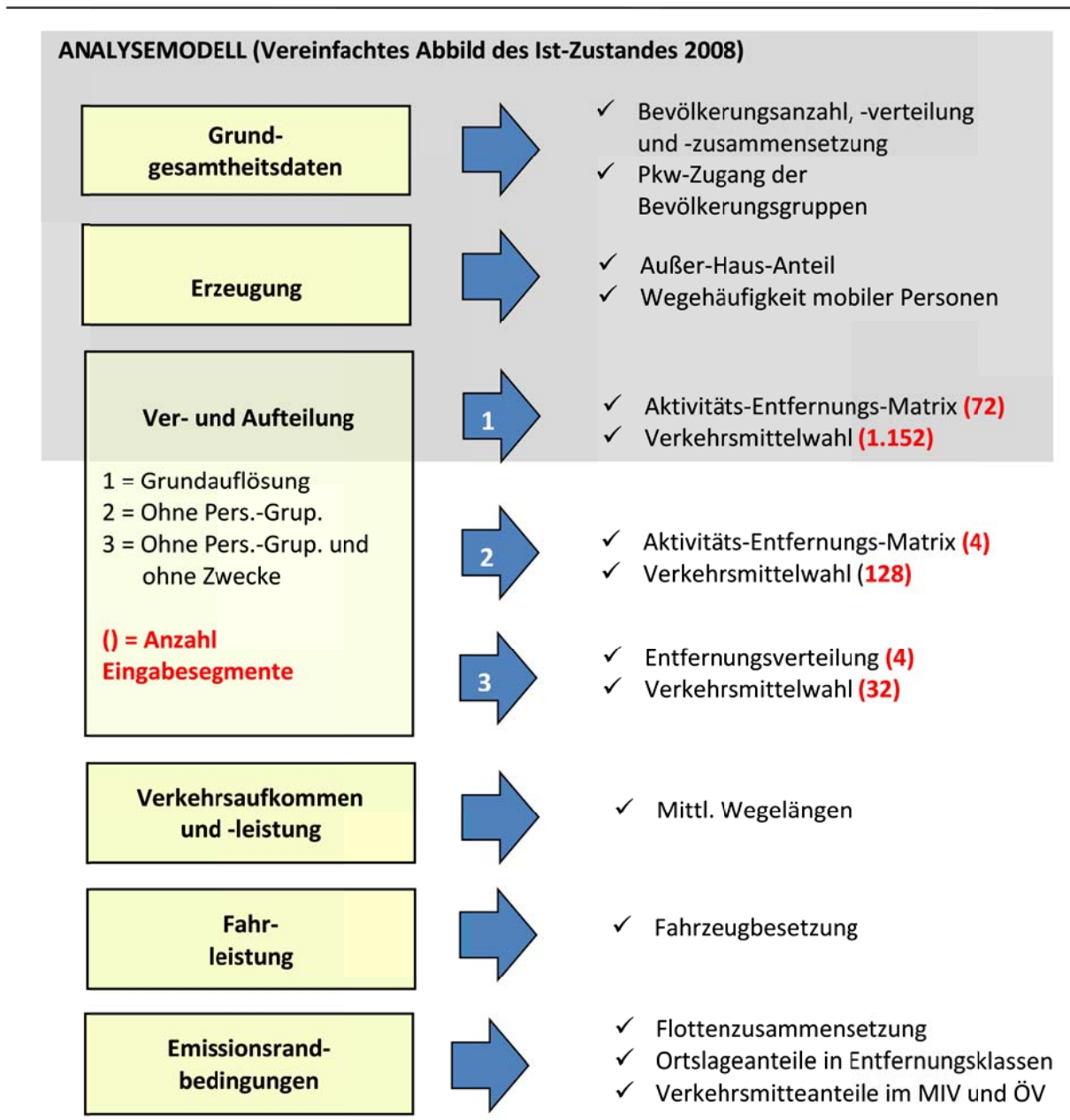


Abbildung 20: Eingabeparameter der einzelnen Teilmodule des Modells *ProFaIR*

(Eigene Darstellung)

Ver- und Aufteilung

Das Teilmodul „Ver- und Aufteilung“ stellt den Kern des Modells dar. In diesem werden den Personengruppen Aktivitätstypen und Aktionsräume sowie Verkehrsmittelpräferenzen in Form von A-priori-Wahrscheinlichkeiten zugewiesen. In der sogenannten *Grundauflösung* (Berechnungsfall 1) des Modells ergibt sich daraus eine große Anzahl an veränderbaren Parametern. Für jede der neun Personengruppen gibt es acht ortstypenspezifische Aktivitäts-Entfernungs-Matrizen (72 Matrizen). Insgesamt sind 1.152 Eingabesegmente für die Verkehrsmittelwahl vorhanden.

Um dem Nutzer die Arbeit mit dem Modell möglichst einfach zu gestalten und dennoch eine höchstmögliche Flexibilität zu gewährleisten, sind neben der Grundauflösung zwei weitere Berechnungsebenen implementiert. Diese stellen Vereinfachungen des Grundmodells dar, indem Zwischenaggregationen über die Personengruppen (Berechnungsfall 2) bzw. über Personengruppen und Zwecke (Berechnungsfall 3) vorgenommen werden.

Je nach Fragestellung können somit Wirkungsberechnungen problembezogen durchgeführt werden. Stehen die Personengruppen im Fokus einer Handlungsstrategie, ist die Grundauflösung (Berechnungsfall 1) die geeignete Ebene. Lassen sich hypothetische Wirkungen eher pauschal annehmen, können auch vereinfachte Berechnungen (Berechnungsfall 2 oder 3) realisiert werden.

Personenverkehrsaufkommen und -leistung

Im Teilmodul „Verkehrsaufkommen und -leistung“ werden die Ergebnisse der vorherigen Module zusammengeführt und mit der „mittleren Weglänge“ verknüpft. Diese lässt sich als Eingangsparameter ebenfalls verändern.

Fahrzeugbesetzung/Fahrleistung

Abschließend ist im Modul „Fahrleistung“ die Fahrzeugbesetzung als Eingangsparameter hinterlegt.

Emissionsrandbedingungen, Flottenzusammensetzung

Auch das Emissionsmodul bietet dem Nutzer verschiedene Berechnungsoptionen. Über die Schaltfläche „Emissionsrandbedingungen, Flottenzusammensetzung“ werden folgende Eingabemöglichkeiten angeboten:

Flottenzusammensetzung:

Für die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte wurden hier die Daten des HBEFA 3.1 für Deutschland verwendet. Da die Fahrzeugflotte einer ständigen Veränderung unterworfen ist, kann für die Emissionsberechnung ein Bezugsjahr gewählt werden. Zur Auswahl bietet das Modul die Jahre 2008, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030.

Anteil Ortslage in Entfernungsklassen

In jeder Emissionsberechnung für den Straßenverkehr müssen Annahmen zum Fahrverhalten der Kfz getroffen werden. Die getroffene Annahme für das Modell ist konsistent mit den TREMOD-Daten zur Verteilung der gesamten Fahrleistungen auf die Gruppen Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen in Deutschland. Für spezielle regionale Berechnungen oder Variationsrechnungen enthält das Modell die Option, die Zuordnung der Fahrleistungen zu den Längenklassen zu verändern.

Differenzierung der Verkehrsmittelanteile im MIV

Die Fahrleistungen im MIV werden von Pkw und Krafträdern erbracht. Der Anteil der Krafträder an den Fahrleistungen unterscheidet sich nach der Stadtgröße. Als Voreinstellung für das Modell wurden hier die mittleren Werte für die einzelnen Stadtgrößen aus dem SrV 2008 verwendet. Für spezielle Berechnungen können diese Anteile verändert werden.

Differenzierung der Verkehrsmittelanteile im ÖV

Für die Berechnung der Emissionen des ÖV müssen die gesamten ÖV-Fahrleistungen auf die einzelnen ÖV-Verkehrsmittel Bus, Straßenbahn und Schienenpersonenverkehr aufgeteilt werden. Diese Aufteilung unterscheidet sich stark in Abhängigkeit von Stadtgröße und Wegelängenklasse. Im Modell wurde hier eine Aufteilung verwendet, die auf den Daten des SrV 2008 aufbaut. Für spezielle Berechnungen können die Werte verändert werden.

Ergebnisübersicht

Über die Schaltfläche „Ergebnisübersicht“ gelangt der Nutzer zu einer tabellarischen Zusammenstellung aller Modellierungsergebnisse im Vergleich zur Ausgangssituation.

4 Variationsrechnungen

4.1 Ausgangssituation – Status-Quo-Betrachtung

Das Modell *ProFaiR* berechnet alle Verkehrs- und Fahrleistungen differenziert nach Ortstypen, Wegelängen, Topografie, Wegezweck und Verkehrsmittel. Das Emissionsmodul führt diese Systematik fort. Das Aggregieren der Emissionen zum Endergebnis erfolgt erst im letzten Arbeitsschritt. Dies ermöglicht es, die Herkunft der Emissionen für die einzelnen Schadstoffe sehr differenziert darzustellen und somit bereits bei der Bewertung des Status Quo gewisse Systemkenntnisse zu erlangen. Bevor die Variationsrechnungen vorgestellt werden, soll deshalb anhand einiger Diagramme die Ausgangssituation näher beschrieben werden.

In Abbildung 21 sind die prozentualen Anteile der CO₂-Emissionen des Personenverkehrs nach Ortstyp und Verkehrsträger im Vergleich zu den prozentualen Anteilen der Bevölkerungszahl dargestellt. Der Ortstyp Grund-/Kleinzentrum/ ländliche Gemeinden hat hier mit 44 % den größten Emissionsanteil (Bevölkerungsanteil 39 %), die Mittelzentren folgen mit 30 % der CO₂-Emissionen (Bevölkerungsanteil 29 %), während die Oberzentren unter 500.000 Einwohner nur für 13% (Bevölkerungsanteil 16 %) und die Oberzentren über 500.000 Einwohner für 12 % (Bevölkerungsanteil 16 %) der CO₂-Emissionen verantwortlich sind.

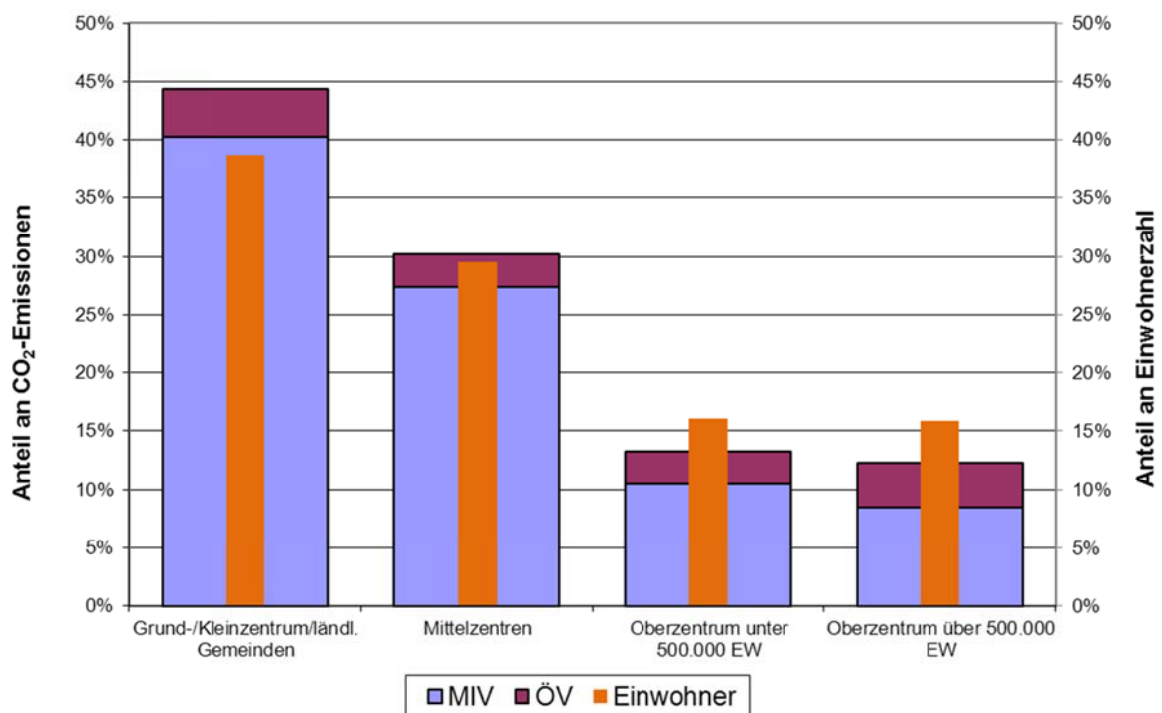


Abbildung 21: CO₂-Emissionen nach Ortstyp und Verkehrsträger, Bezugsjahr 2008

(Eigene Darstellung)

In den kleineren Orten und den Mittelzentren machen die CO₂-Emissionen des ÖV jeweils 9 % der gesamten CO₂-Emissionen des Personenverkehrs aus. In den Oberzentren bis 500.000 Einwohner sind es 20 %, in den Oberzentren über 500.000 Einwohner 31 %. Für die anderen betrachteten Schadstoffe liegt die Verteilung auf die Ortstypen in ähnlicher Größenordnung, der Anteil des ÖV unterscheidet sich allerdings nach der Spezifik des Schadstoffes.

In Abbildung 22 sind die nach Wegelänge und Verkehrsträger differenzierten CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Verteilung des Verkehrsaufkommens auf die Längensklassen gegenübergestellt. Obwohl 37 % der Wege kürzer als 2 km und 30 % zwischen 2 und 5 km lang sind, werden 72 % der CO₂-Emissionen bei Wegen >15 km emittiert, 22 % bei Wegen zwischen 5 und 15 km Länge, 5 % bei Wegen von 2 bis 5 km Länge und nur 0,6 % bei Wegen kleiner als 2 km Länge. Auf den gesamten Personenverkehr bezogen ist das CO₂-Minderungspotential bei den kurzen Wegen also eher begrenzt. Das sieht auch bei den meisten anderen Luftschadstoffen so aus, nur bei den Kohlenwasserstoffen ist der Anteil aus den kurzen Fahrten deutlich höher, da sich hier der Einfluss der kaltstartbedingten Mehrmissionen auswirkt.

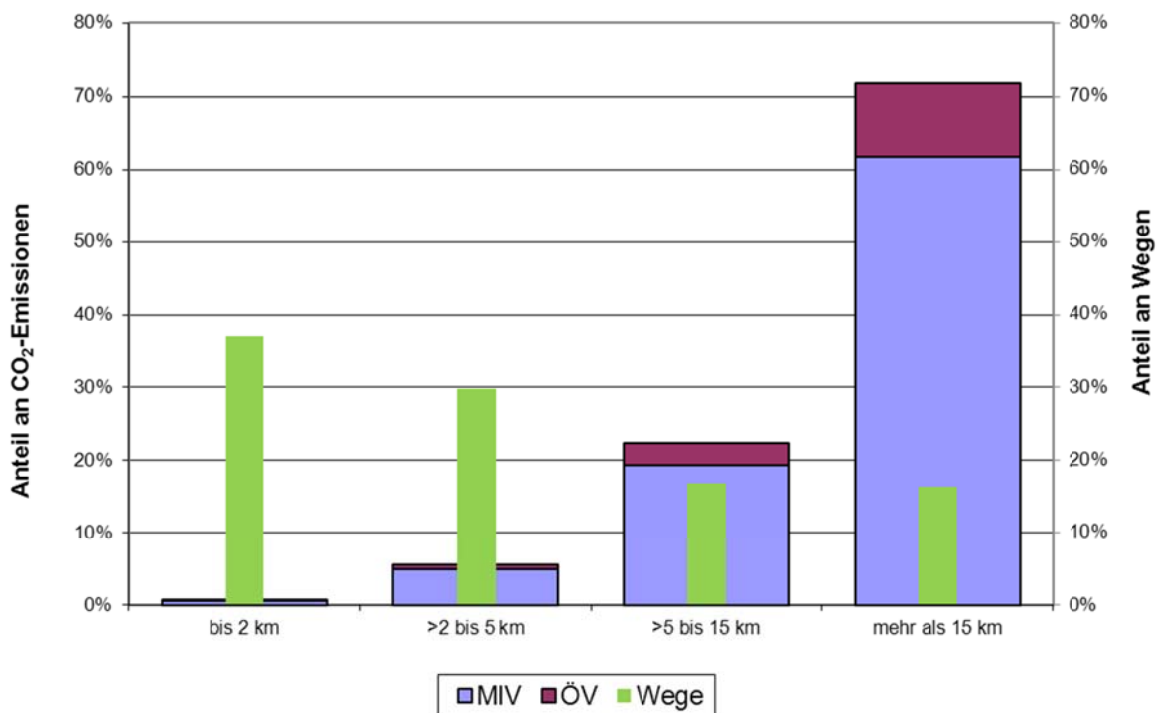


Abbildung 22: CO₂-Emissionen nach Wegelänge und Verkehrsträger, Bezugsjahr 2008

(Eigene Darstellung)

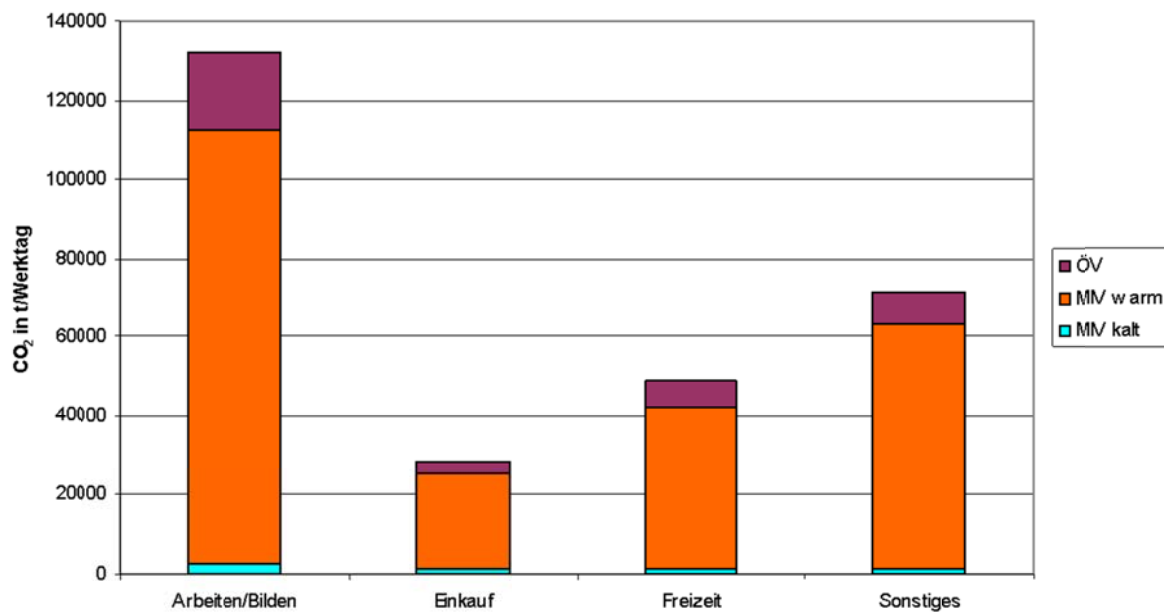


Abbildung 23: CO₂-Emissionen nach Wegezwecken, Verkehrsträger und Emissionsart, Bezugs-jahr 2008 (Eigene Darstellung)

In Abbildung 23 sind die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs nach Wegezweck, Verkehrsträger und Emissionsart dargestellt. Fast die Hälfte (47 %) der CO₂-Emissionen des Personenverkehrs wird bei Wegen zur Arbeit bzw. zur Bildungsstätte emittiert, obwohl die Arbeitswege nur 34 % der Wege ausmachen.

Die andere Hälfte der CO₂-Emissionen teilt sich auf die Wegezwecke Einkauf (10 %), Freizeit (17 %) und Sonstiges (25 %) auf, die jeweils 22 % der Wege ausmachen. Der Anteil des ÖV an den CO₂-Emissionen des jeweiligen Wegezweckes ist bei den Arbeitswegen mit 15 % am höchsten und bei den Einkaufswegen mit 11 % am geringsten. Die CO₂-Emissionen der Arbeitswege mit dem MIV sind durch den Kaltstartzuschlag um 2,4 % erhöht, bei den Einkaufswegen macht der CO₂-Kaltstartzuschlag aufgrund der kürzeren Wege 5,1 % aus. Bei den Kohlenwasserstoffemissionen ist der Kaltstartzuschlag bei allen Wegezwecken für mindestens zwei Drittel der MIV-Emissionen verantwortlich.

In Abbildung 24 und Abbildung 25 sind die bereits beschriebenen Größenverhältnisse noch einmal in komplexeren Darstellungen zusammengefasst. Abgebildet werden die CO₂-Emissionen differenziert nach Ortstypen. Für jeden Ortstyp erfolgt zusätzlich eine Aufteilung der Emissionen in Weglängenklassen. Die Zusammensetzung der CO₂-Emissionen je Weglängenkategorie unterscheidet darüber hinaus Aktivitätszwecke.

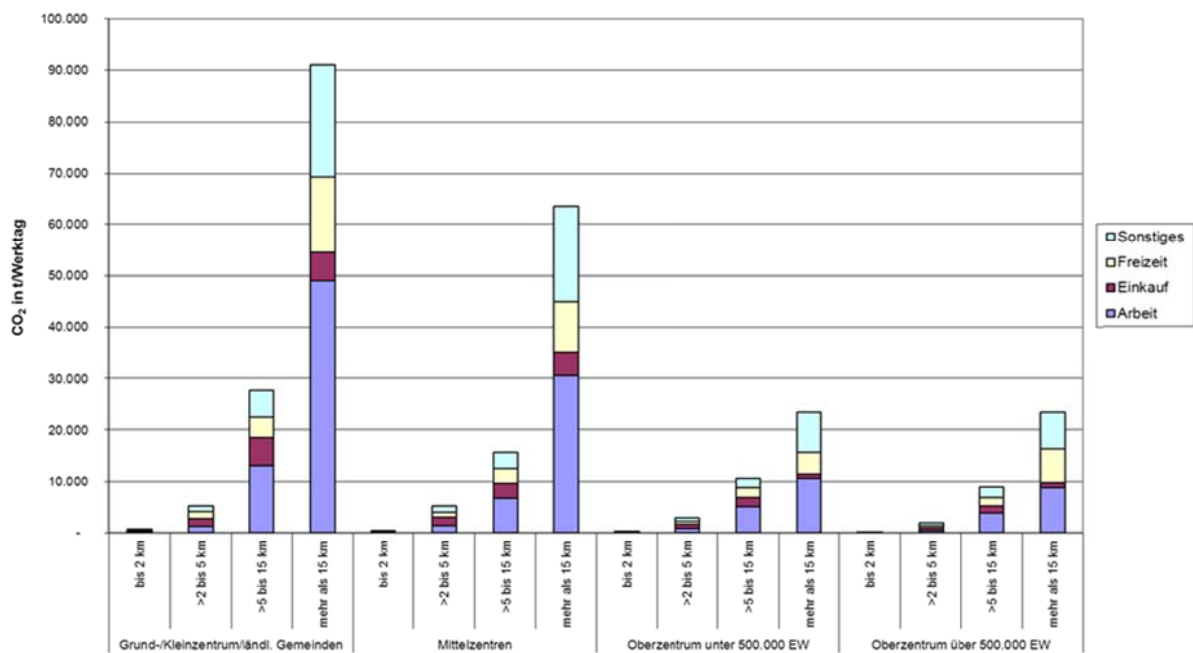


Abbildung 24: CO₂-Emissionen nach Ortstyp, Wegelänge und Wegezweck, Bezugsjahr 2008

(Eigene Darstellung)

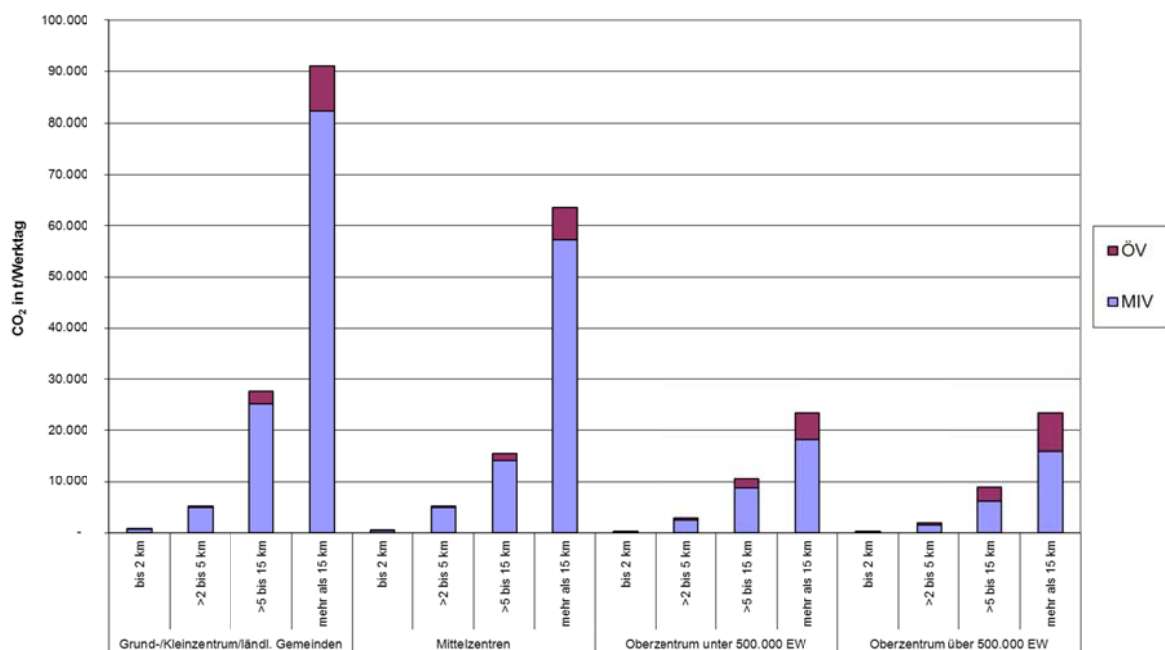


Abbildung 25: CO₂-Emissionen nach Ortstyp, Wegelänge und Verkehrsmittel, Bezugsjahr 2008

(Eigene Darstellung)

4.2 Einsatzbereich der Modellrechnungen

Für den Einsatz des Modells *ProFaiR* war zur Abschätzung von Fahrleistungsverlagerungs- und Umweltentlastungspotenzialen zu beachten, dass in den Forschungsvorhaben UBA/TUD und BMVBS/BSV sich zum Teil überlagernde und teilweise ergänzende Betrachtungen erfolgen. Daher erscheint es sinnvoll den Einsatzbereich der Modellrechnungen beider Forschungsvorhaben gegeneinander abzugrenzen. Mit Hilfe der Tabelle 13 wird der Versuch unternommen, diesen für beide Projekte vergleichend gegenüber zu stellen.

Tabelle 13: Einsatzbereich der Modellrechnungen im Rahmen der Projekte BMVBS/BSV und UBA/TUD (Eigene Darstellung)

Einsatzbereich	UBA/TUD	BMVBS/BSV
Berechnung von Fahrleistungen	✓	✓
Berechnung von Umweltwirkungen	✓	✓
Betrachtung von Fallbeispielen/Einzelstädten		✓
Implementierung Netzverbesserungen/Infrastrukturmaßnahmen		✓
Netzberechnungen		✓
Implementierung unterschiedlicher Flottenzustände	✓	
Sensitivitätsanalyse (hypothetischer Wirkungen)	✓	
Ergebnisse für Raum-/Ortstypen und für Gesamtdeutschland	✓	

Beide Modellansätze ermitteln grundsätzlich Fahrleistungen und die daraus resultierenden Umweltwirkungen. Jedoch ist sowohl der räumliche-zeitliche Bezug als auch der sachliche Detaillierungsgrad unterschiedlich.

Der Modellierungsansatz von BMVBS/BSV besteht in der Nutzung vorhandener makroskopischer Verkehrsplanungsmodelle für ausgewählte Beispielstädte (Fallbeispiele). Anhand derer lassen sich exemplarisch Wirkungsberechnungen unterschiedlicher Maßnahmen realisieren. Dabei geht es vor allem um die Implementierung infrastruktureller Maßnahmen (Netzerweiterung, Netzverbesserung, u. a.). Darüber hinaus wird der Versuch unternommen, die Wirkung weiterführender Strategien, beispielsweise eine stärkere Durchdringung von Elektrofahrzeugen, modellmäßig abzubilden.

Die Modellierungsstrategie des Vorhabens UBA/TUD besteht darin, auf Basis hypothetischer Wirkungsannahmen, Sensitivitätsanalysen durchzuführen. Ergebnisse können für unterschiedliche Ortstypen und insbesondere hochgerechnet für Deutschland ausgewiesen werden. Dabei ist die Berechnung der Umweltwirkungen integraler Bestandteil des Modells *ProFaiR*.

Beide Ansätze modellieren den Ist-Zustand für das Analysejahr 2008. Um strukturelle Veränderungen über die Zeit zunächst außen vor zu lassen (Veränderung der Bevölkerungszahl, Erwerbsstruktur, Fahrzeugflotte u. ä.) werden in beiden Vorhaben alle Modellrechnungen

unter Zugrundelegung der sozio-demografischen Bedingungen des Jahres 2008 durchgeführt.

Abbildung 26 zeigt eine Prinzipdarstellung zum Umgang mit dem Modell *ProFaiR* im Projekt. Um Umweltentlastungspotenziale zu berechnen, können bei dem geschlossenen Modellansatz UBA/TUD strukturelle und Verhaltensveränderungen angenommen und deren Wirkung berechnet werden. Diese Berechnungen werden im Weiteren ‚Variationsrechnungen‘ genannt und dienen dem Erlangen von Systemkenntnissen, zur besseren Beurteilbarkeit von Reagibilitäten und Wirkungszusammenhängen im System.

Im Rahmen eines Expertenworkshops wurden mit Nutzung der Kenntnisse aus den Variationsrechnungen Maßnahmen-szenarien erörtert, die dann größenordnungsmäßig den Ergebnissen der Variationsrechnungen zugeordnet werden konnten.

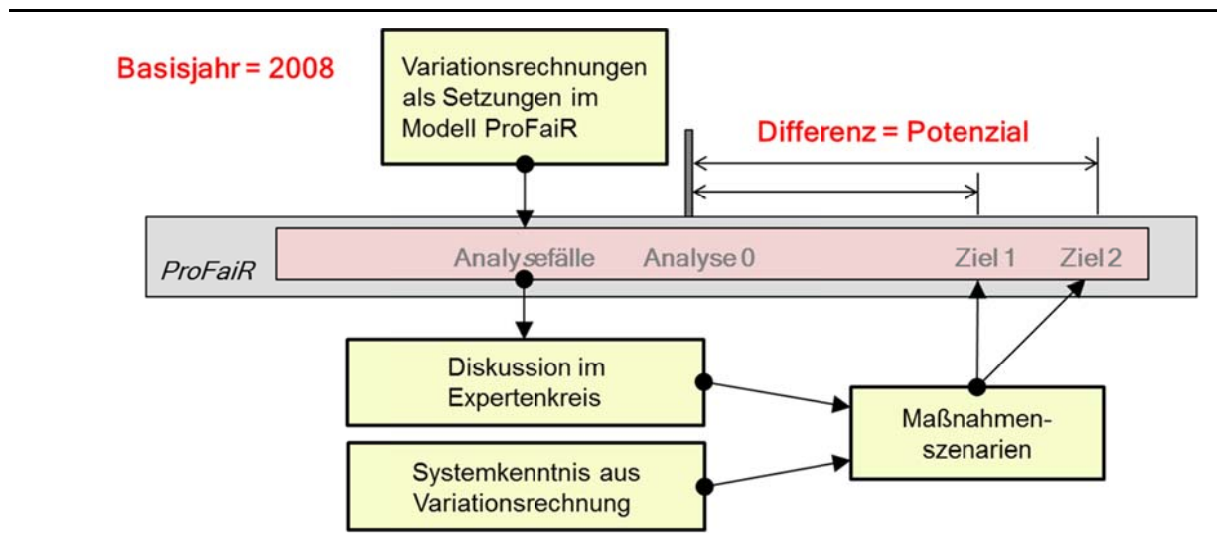


Abbildung 26: Vorgehen der Wirkungsrechnungen im Projekt UBA/TUD

(Eigene Darstellung)

4.3 Wirkungsannahmen und Berechnungsergebnisse

4.3.1 Übersicht

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Variationsrechnungen basieren auf den Einsatzmöglichkeiten des Modells *ProFair*. Dazu wurden verschiedene Berechnungsoptionen diskutiert und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Abbildung 27 zeigt eine Übersicht der durchgeführten Modellrechnungen. Insgesamt wurden Fahrleistungswerte und Umweltwirkungen für fünf grundsätzlich unterschiedliche Ansätze durchgeführt. Deren Wirkungsannahmen und Berechnungsergebnisse werden in den folgenden Kapiteln dargestellt und diskutiert.

Die Unterschiede der Wirkungsannahmen bestehen in Annahmen zum Wirkungsprinzip von Maßnahmen. Technische Maßnahmen führen zu einer fahrzeugseitigen Reduktion von Emissionen. Diese Reduktion ist weitgehend unabhängig von verkehrlichen Effekten und beruht demnach auf den technischen Möglichkeiten der Antriebs- und Kraftstoffoptimierung sowie Abgasbehandlung. Diese Wirkungsstrategie wird i. d. R. als *verträgliche Abwicklung von Verkehrsvorgängen* bezeichnet.

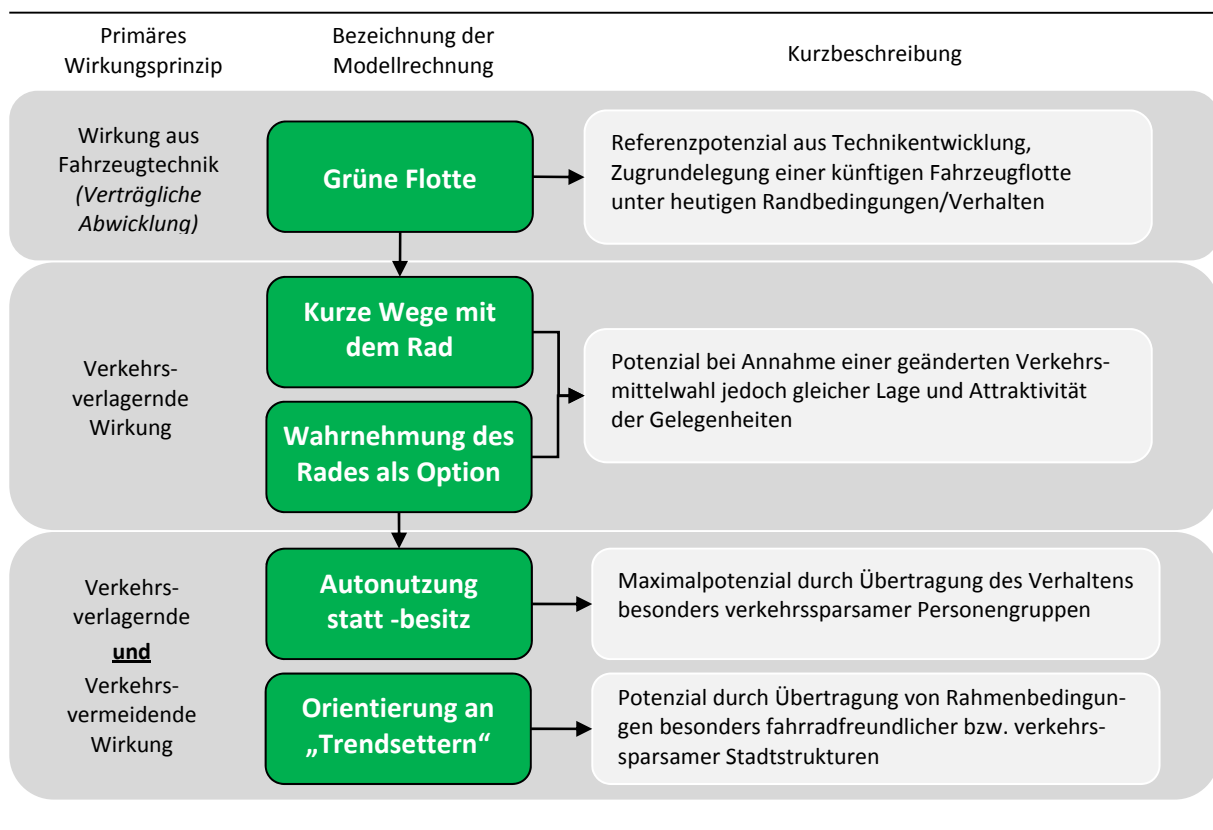


Abbildung 27: Übersicht der dem Modell zugrunde gelegten Wirkungsannahmen

(Eigene Darstellung)

Verkehrliche Wirkungen können auf zwei Ebenen stattfinden (siehe Abbildung 28). Auf der einen Seite können Maßnahmen einen Modal Shift bewirken. Dadurch würde erreicht, dass emissionsärmere oder emissionsfreie Verkehrsmittel für Wege zum selben Ziel genutzt werden. Beispielsweise wird so ein MIV-Weg einer bestimmten Länge durch einen Weg mit dem Fahrrad substituiert. Diese Wirkungsstrategie wird als *Verkehrsverlagerung* bezeichnet.

Weiterhin können Maßnahmen auch dazu führen, dass neue Ziele aufgesucht und dadurch im günstigsten Fall Wege kürzer werden. Damit treten auch neue Wahlmöglichkeiten auf, da bei einem kürzeren Weg in der logischen Konsequenz auch andere Verkehrsmittel als Optionen realistisch werden. Dadurch könnte ein vorher langer MIV-Weg beispielsweise durch einen kürzeren Radweg substituiert werden. Jedoch würde selbst wenn das Verkehrsmittel MIV beibehalten wird, der Weg kürzer und die Emissionen geringer. Diese Wirkungsstrategie nennt man *Verkehrsvermeidung*.

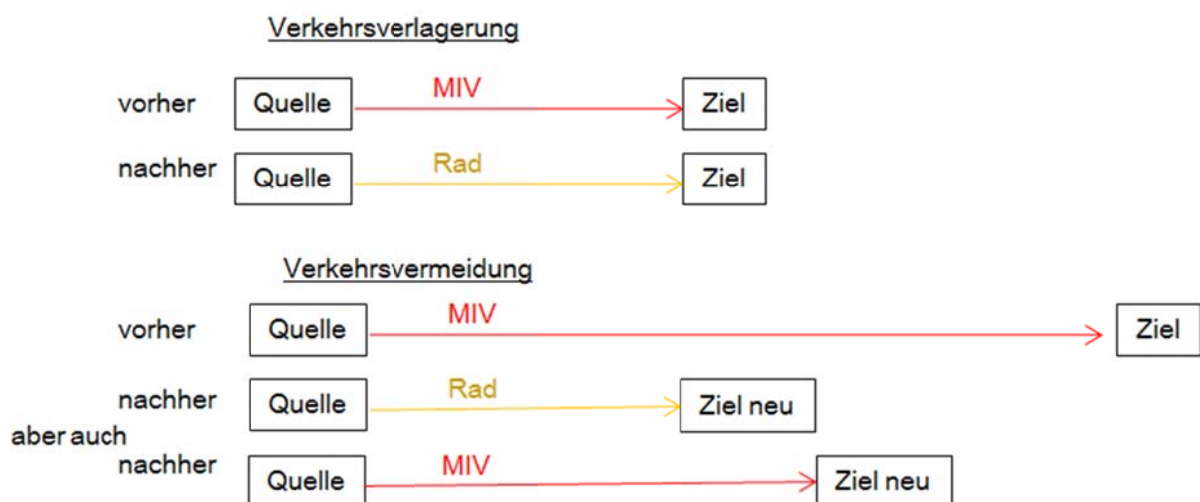


Abbildung 28: Wirkungsprinzip Verkehrsverlagerung und Verkehrsvermeidung

(Eigene Darstellung)

4.3.2 Grüne Flotte

Die Modellrechnung „Grüne Flotte“ ergibt sich aus der Überlegung, dass die künftige technische Entwicklung der Fahrzeugflotte zu geringeren Emissionen bereits bei gleicher Fahrleistung führt. Dazu erlaubt das HBEFA V 3.1 die Berechnung flottenspezifischer Emissionsfaktoren. Dem Modell *ProFaiR* sind Faktoren für die Flottenzusammensetzung des Analysejahres (2008) und für die zu erwartende Flotte der Jahre 2010, 2015, 2020, 2025, 2030 hinterlegt. Durch die unterschiedliche Wahl des Bezugsjahres im Teilmodul „Emissionsrandbedingungen“ können den Berechnungen unterschiedliche Flottenzusammensetzungen zu Grunde gelegt werden.

Um eine Größenordnung des zu erwartenden technischen Potenzials zu erhalten, erfolgte die Berechnung unter neuen Flottenbedingungen. Dazu wurde für die Modellrechnung eine hypothetische, künftige Fahrzeugflotte unter *ceteris-paribus*-Bedingung angenommen. Die auf dieser Basis ermittelten Werte beschreiben ein Emissionsminderungspotenzial. Dieses würde eintreten, wenn die künftig zu erwartende Flottendurchdringung der verbesserten technischen Möglichkeiten zur Abgasbehandlung (motorbedingte Emissionen) bereits im Analysejahr realisiert wäre.

Abbildung 29 zeigt die prognostizierte Veränderung der deutschen Pkw-Flottenzusammensetzung nach EURO-Normen nach HBEFA 3.1 für die Jahre 2015 und 2020.

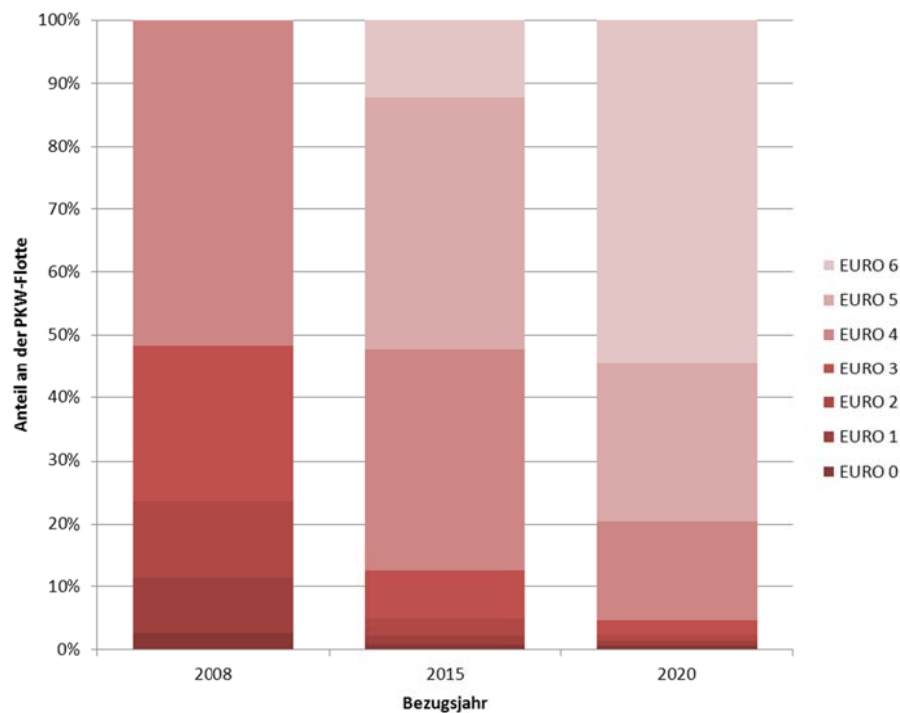


Abbildung 29: Prognose der Entwicklung der deutschen Pkw-Flottenzusammensetzung nach EURO-Normen (Quelle: Eigene Darstellung nach HBEFA 3.1-Daten)

Wirkungsannahme:

Die motorbedingten Emissionen der deutschen Fahrzeugflotte (MIV und ÖV) erreichten bereits im Jahre 2008 die Werte der zu erwartenden Fahrzeugflotte des Jahres 2015 (T1: „Grüne Flotte 2015“) bzw. 2020 (T2: „Grüne Flotte 2020“).

Die Ergebnisse der Wirkungsberechnung „Grüne Flotte“ bezogen auf den privaten werktäglichen Alltagsverkehr in Deutschland zeigt Abbildung 30. Für jede Kenngröße sind dem Ausgangswert des Analysezustandes 2008 beide Wirkungsannahmen gegenübergestellt. Bei beiden Berechnungsvarianten bleiben die verkehrlichen Kenngrößen gegenüber dem Ausgangszustand unverändert konstant.

Für die Berechnungsvariante „Grüne Flotte 2015“ ergeben sich dadurch bereits nennenswerte Emissionsminderungen. Je nach Kenngröße beträgt die Einsparung zwischen 9 % (Kraftstoff, KEA) und 57 % (Partikel). Für das klimarelevante Kohlendioxid beträgt die Emissionsminderung 13 %.

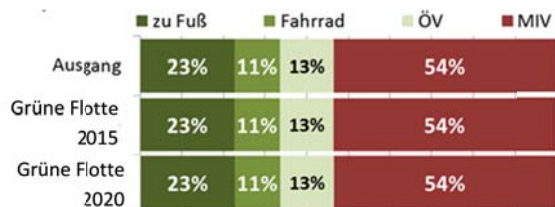
Für den Betrachtungsfall „Grüne Flotte 2020“ erhöhen sich die theoretisch zu erwartenden Emissionsminderungen z. T. deutlich. Für Kraftstoff bzw. KEA wären Reduktionen um 15 % zu erwarten. Das größte Minderungspotenzial ergibt sich für die Partikelemissionen 73 %. Ohne Änderungen bei Modal Split und Fahrleistungen würden die CO₂-Emissionen bei einem Flottenmix wie im Jahre 2020 um 21 % sinken.

In Abbildung 30 sind alle relevanten Ergebnisse wie Modal Split, Fahrleistung und alle ermittelten Emissionen des Berechnungsfalls zusammen gestellt.

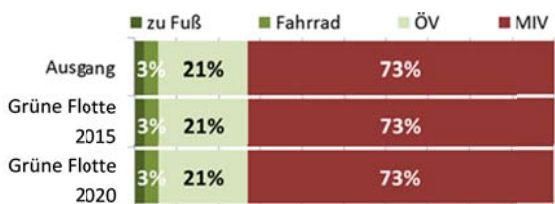
Kenngröße	Ausgangswerte	Grüne Flotte 2015	Differenz	Grüne Flotte 2020	Differenz
Aufkommensbezogener Modal Split in %					
Fuß	23	23	0	23	0
Fahrrad	11	11	0	11	0
ÖV	13	13	0	13	0
MIV	54	54	0	54	0
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split in %					
Fuß	2	2	0	2	0
Fahrrad	3	3	0	3	0
ÖV	21	21	0	21	0
MIV	73	73	0	73	0
Gesamtfahrleistung in Mio. Fzkm/Werktag					
Fuß	56,8	56,8	0 %	56,8	0 %
Fahrrad	82,6	82,6	0 %	82,6	0 %
ÖV	79,8	79,8	0 %	79,8	0 %
MIV	1.395,6	1.395,6	0 %	1.395,6	0 %
Umweltwirkungen					
CO ₂ in 1.000 t/Werktag	281,0	243,5	- 13 %	221,6	- 21 %
Kraftstoff in 1.000 t/Werktag	95,1	86,5	- 9 %	81,2	- 15 %
CO in 1.000 t/Werktag	3,1	1,8	- 42 %	1,4	- 54 %
HC in t/Werktag	331,1	197,1	- 40 %	161,8	- 51 %
NOx in t/Werktag	791,8	577,1	- 27 %	401,9	- 49 %
NO ₂ in t/Werktag	173,3	155,1	- 11 %	99,5	- 43 %
Partikel in t/Werktag	26,2	11,2	- 57 %	7,1	- 73 %
KEA in TJ/Werktag	4.841,4	4.404,7	- 9 %	4.134,2	- 15 %

(Werte gerundet, Summen können rundungsbedingt von 100 % abweichen)

Aufkommensbezogener Modal Split



Verkehrsleistungsbezogener Modal Split



Fahrleistung und Umweltwirkungen

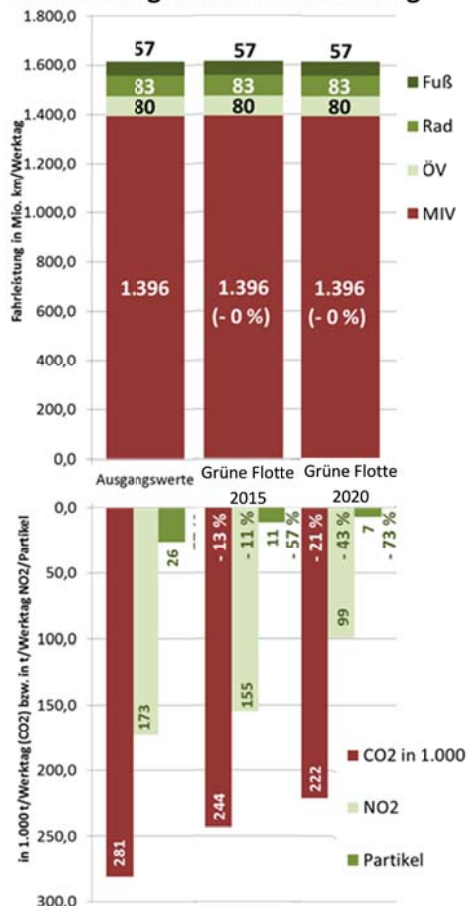


Abbildung 30: Berechnungsergebnisse „Grüne Flotte“ (Eigene Darstellung)

4.3.3 Kurze Wege mit dem Rad

Die Modellrechnung „Kurze Wege mit dem Rad“ ermittelt Fahrleistungen und Emissionen für den Fall, dass ein Teil kurzer Wege (kürzer als fünf Kilometer), die heute mit dem Kfz vom Fahrrad substituiert werden. Derartige Ansätze werden häufig bei Potenzialabschätzungen verfolgt. Damit lässt sich ein Gefühl für die Größenordnung der Wirkung erhalten, die eine Verlagerung von besonders für den Radverkehr geeigneter Wege nach sich zieht. Bei diesen Wegen hat das Fahrrad gegenüber dem MIV bezogen auf die komplexe Reisezeit, die auch den Zeitaufwand für Parkplatzsuche und Fußwege zum Ziel mit beinhaltet, i. d. R. sogar Reisezeitvorteile.

Wirkungsannahme:

25 % (A1: „Kurze Wege 25“) bzw. 50 % (A2: „Kurze Wege 50“) der mit dem MIV realisierten Wege bis fünf Kilometer lassen sich vom MIV auf den Radverkehr verlagern (Modal Shift).

Das Ergebnis der Berechnungen zeigt Abbildung 31. Bedingt durch die angenommen Verlagerung ist aufkommensbezogen mit einem Modal Shift von fünf Prozentpunkten („Kurze Wege 25“) bzw. elf Prozentpunkten („Kurze Wege 50“) zu rechnen. Bundesweit gesehen wäre ein so aufkommensbezogener Radverkehrsanteil von 16 % bzw. 21 % zu erwarten. Bei der Betrachtung des verkehrsleistungsbezogenen Modal Splits relativieren sich diese Werte jedoch. Durch den Modal Shift ergibt sich dabei für den Radverkehr lediglich eine Verschiebung um einen Prozentpunkt auf vier Prozent („Kurze Wege 25“) bzw. um zwei Prozentpunkte auf fünf Prozent („Kurze Wege 50“).

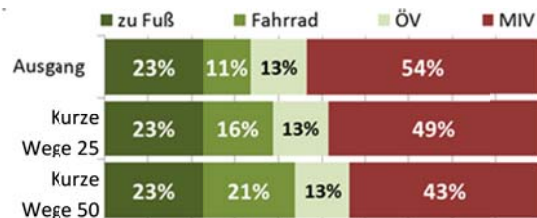
Die werktägliche Gesamtfahrleistung verringert sich für den MIV um ein Prozent auf 1.377 Mio. Fzkm („Kurze Wege 25“) bzw. um drei Prozent auf 1.366 Mio. Fzkm („Kurze Wege 50“). Die dadurch erzielbare Umweltentlastungswirkung schwankt je nach Kenngröße und liegt bis auf die HC-Emission der Berechnungsvariante „Kurze Wege 50“ im unteren einstelligen Prozentbereich.

Beispielsweise ist für das treibhausrelevante Klimagas CO₂ eine Reduktion um ein Prozent („Kurze Wege 25“) bzw. um drei Prozent („Kurze Wege 50“) zu erwarten. Auch die Partikelemissionen nehmen in geringem Maße ab. Für die Berechnungsvariante „Kurze Wege 25“ ist von einer Reduktion um zwei Prozent und für „Kurze Wege 50“ von drei Prozent auszugehen.

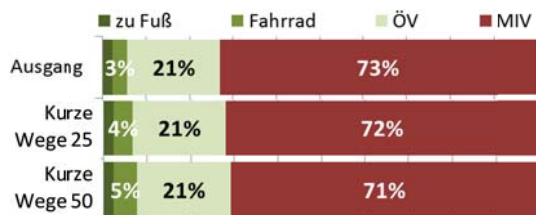
Kenngröße	Ausgangswerte	Kurze Wege 25	Differenz	Kurze Wege 50	Differenz
Aufkommensbezogener Modal Split in %					
Fuß	23	23	0	23	0
Fahrrad	11	16	5	21	11
ÖV	13	13	0	13	0
MIV	54	49	5	43	11
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split in %					
Fuß	2	2	0	2	0
Fahrrad	3	4	1	5	2
ÖV	21	21	0	21	0
MIV	73	72	1	71	2
Gesamtfahrleistung in Mio. Fzkm/Werhtag					
Fuß	56,8	56,8	0 %	56,8	0 %
Fahrrad	82,6	106,6	+ 29 %	130,7	+ 58 %
ÖV	79,8	79,8	0 %	79,8	0 %
MIV	1.395,6	1.376,5	- 1 %	1.357,5	- 3 %
Umweltwirkungen					
CO ₂ in 1.000 t/Werhtag	281,0	277,1	- 1 %	273,2	- 3 %
Kraftstoff in 1.000 t/Werhtag	95,1	93,8	- 1 %	92,6	- 3 %
CO in 1.000 t/Werhtag	3,1	3,0	- 4 %	2,9	- 7 %
HC in t/Werhtag	331,1	309,3	- 7 %	288,4	- 13 %
NO _x in t/Werhtag	791,8	780,2	- 1 %	768,8	- 3 %
NO ₂ in t/Werhtag	173,3	171,7	- 1 %	170,1	- 2 %
Partikel in t/Werhtag	26,2	25,8	- 2 %	25,4	- 3 %
KEA in TJ/Werhtag	4.841,4	4.775,7	- 1 %	4.711,5	- 3 %

(Werte gerundet, Summen können rundungsbedingt von 100 % abweichen)

Aufkommensbezogener Modal Split



Verkehrsleistungsbezogener Modal Split



Fahrleistung und Umweltwirkungen

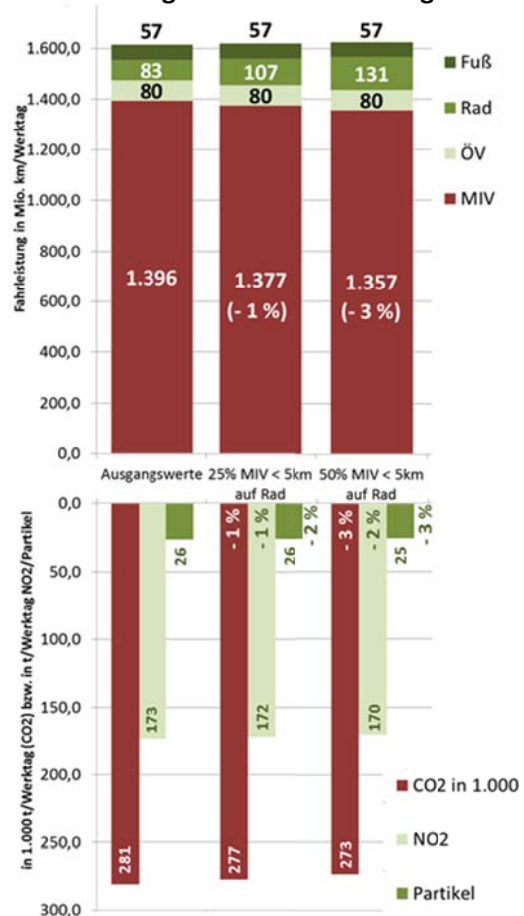


Abbildung 31: Berechnungsergebnisse „Kurze Wege“ (Eigene Darstellung)

4.3.4 Wahrnehmung des Rades als Option

Unter der Bezeichnung „Wahrnehmung des Rades als Option“ wird im Folgenden ein Ansatz geführt, der es ermöglicht, die subjektive Einschätzung der Bevölkerung zur Erreichbarkeit von Zielen mit dem Fahrrad als Berechnungsgrundlage zu nutzen. Dabei werden die Wirkungen des subjektiven Maßes berechnet, dass sich aus der deutlich positiveren Wahrnehmung der Eignung des Fahrrades zur Überbrückung von Entfernungen ergibt und welches deutlich vom bislang realisierten Verhalten abweicht. Ließe sich der Unterschied zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektiven Handeln egalalisieren, könnten diese Potenziale erschlossen werden.

Einen Hinweis zur Beurteilung der Entfernungssensibilität für eine Fahrradnutzung liefert die MiD-Erhebung 2008. Dazu wurde die Frage zur „Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes mit dem Fahrrad“ verknüpft mit der Lage des Arbeitsplatzes im Raum (Entfernung zum Wohnstandort). Die Informationen aus MiD 2008 konnten dabei nach Ortstyp und Topografie differenziert ausgewertet werden. Abbildung 32 zeigt dazu beispielhaft die entsprechende Grafik für den Ortstyp „Oberzentrum bis 500.000 Einwohner“. Die subjektive Einschätzung der Erreichbarkeit des Ziels mit dem Fahrrad (gute bzw. sehr gute Erreichbarkeit) ist in Abhängigkeit der Topografie und der Länge des Weges dargestellt. Auffällig ist dabei einerseits der starke Unterschied nach Topografie der Gemeinde. Andererseits ist auch eine plausible Abnahme der Fahrraderreichbarkeit mit steigender Wegelänge ersichtlich. In Orten mit flacher Topografie geben bei Wegen bis fünf Kilometer mehr als 80 Prozent der Befragten an, das Ziel mit dem Fahrrad „gut“ oder „sehr gut“ zu erreichen. In hügeligen Gemeinden ist dieser Anteil deutlich geringer.

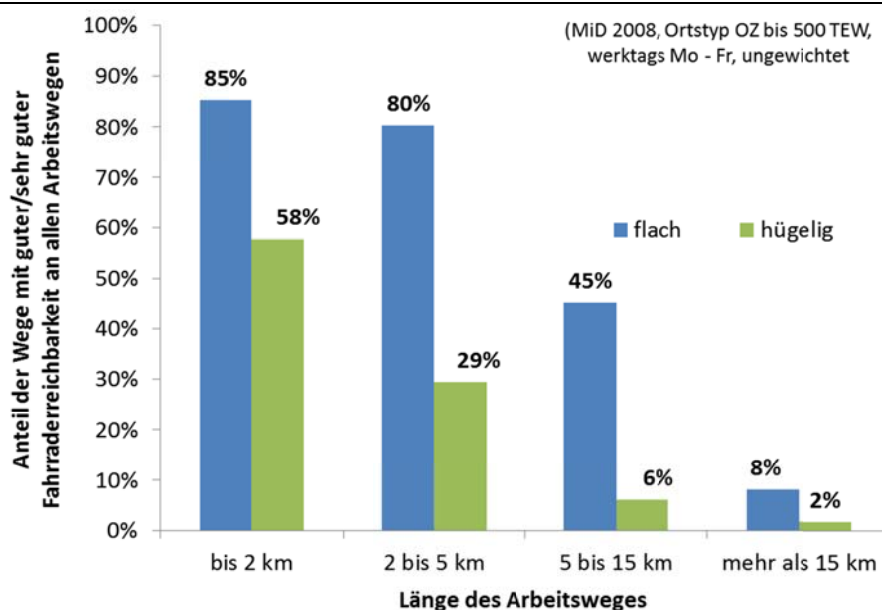


Abbildung 32: Subjektive Einschätzung der Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes mit dem Fahrrad in Oberzentren bis 500.000 Einwohner (Eigene Darstellung)

Diese Angaben werden im Anschluss für alle Aktivitätstypen genutzt, um aufkommensbezogen einen synthetischen Modal Split⁹ differenziert nach Ortstypen, Topografie und Wegelänge zu erzeugen und diesen daraufhin als Input-Variation im Modell einzusetzen.

Wirkungsannahme:

Fall 1: „Konservativ“ (A3)

In flachen Gemeinden können alle Wege, deren Fahrraderreichbarkeit als gut oder sehr gut eingeschätzt wird, größenproportional zu Lasten aller übrigen Verkehrsmittel auf das Fahrrad verlagert werden. Für hügelige Gemeinden wird dieser Zusammenhang lediglich für die sehr gut mit dem Fahrrad erreichbaren Ziele angenommen.

Fall 2: „Optimistisch“ (A4)

Sowohl in flachen als auch in hügeligen Gemeinden, lassen sich alle gut oder sehr gut mit dem Fahrrad erreichbaren Ziele größenproportional zu Lasten aller übrigen Verkehrsmittel auf das Fahrrad verlagern.

Damit wird im „konservativen Fall“ die Ausgangssituation der Gemeinde bei der Berechnung explizit berücksichtigt, indem davon ausgegangen wird, dass in hügeligen Gemeinden i. d. R. eine Verlagerung auf das Fahrrad schwieriger zu realisieren sein wird als in flachen Gemeinden. Im zweiten Berechnungsfall („optimistisch“) spielt diese Annahme keine Rolle.

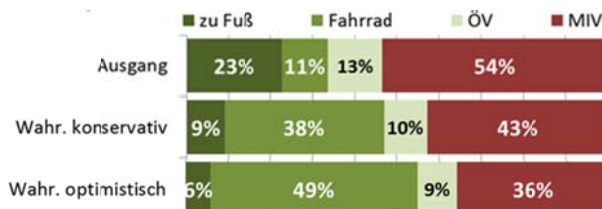
Abbildung 33 stellt die Ergebnisse der zwei Berechnungsfälle „Wahrnehmungspotenzial“ bezogen auf den werktäglichen privaten Alltagsverkehr in Deutschland dar. Hinsichtlich des aufkommensbezogenen Modal Split zeigt sich eine Zunahme der Radverkehrsanteile zu Lasten aller übrigen Verkehrsmittel. Besonders deutlich ist der Rückgang der Fußwege und MIV-Anteile. Je nach Berechnungsfall wäre ein Rückgang des MIV-Anteils um 11 Prozentpunkte („konservativ“) bzw. 18 Prozentpunkte („optimistisch“) zu erwarten. Bezogen auf die MIV-Fahrleistung könnten so nach den Berechnungsannahmen im „konservativen“ Fall Reduktionen von sechs Prozent und im „optimistischen“ Fall Rückgänge um elf Prozent erreicht werden. Im „konservativen“ Berechnungsfall bewegen sich Umweltentlastungspotenziale je nach Kenngröße im Bereich von fünf Prozent (NO₂) und 15 Prozent (HC). Unter optimistischen Annahmen könnten mindestens zehn Prozent (NO₂) bis zu 25 Prozent (HC) erreicht werden. Für das klimarelevante CO₂ wären bei Ausschöpfung des Wahrnehmungspotenzials Reduktionen von sechs bis elf Prozent zu erwarten.

⁹ Dazu wurden ausgehend vom Gesamtverkehrsaufkommen alle Wege mit guter bzw. sehr guter Fahrraderreichbarkeit dem Fahrrad zugeordnet. Für die verbleibenden Wege erfolgte im Anschluss vereinfachend eine größenproportionale Aufteilung, d. h. entsprechend der Wahlwahrscheinlichkeit, auf die übrigen Verkehrsmittel (zu Fuß, MIV, ÖV).

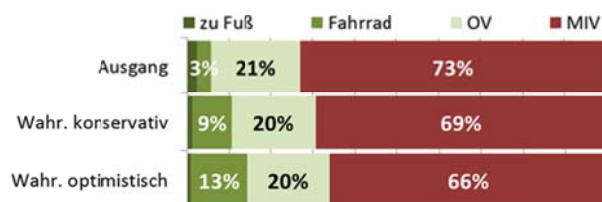
Kenngröße	Ausgangs- werte	Wahrnehmung „Konservativ“	Differenz	Wahrnehmung „Optimistisch“	Differenz
Aufkommensbezogener Modal Split in %					
Fuß	23	9	- 14	6	- 17
Fahrrad	11	38	+ 27	49	+ 38
ÖV	13	10	- 3	9	- 4
MIV	54	43	- 11	36	- 18
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split in %					
Fuß	2	1	- 1	1	- 1
Fahrrad	3	9	+ 6	13	+ 10
ÖV	21	20	- 1	20	- 1
MIV	73	69	- 4	66	- 7
Gesamtfahrleistung in Mio. Fzkm/Werktag					
Fuß	56,8	29,9	- 47 %	20,5	- 64 %
Fahrrad	82,6	225,3	+ 173 %	324,4	+ 293 %
ÖV	79,8	75,8	- 5 %	72,4	- 9 %
MIV	1.395,6	1.315,9	- 6 %	1.248,1	- 11 %
Umweltwirkungen					
CO ₂ in 1.000 t/Werktag	281,0	263,7	- 6 %	249,5	- 11 %
Kraftstoff in 1.000 t/Werktag	95,1	89,3	- 6 %	84,5	- 11 %
CO in 1.000 t/Werktag	3,1	2,8	- 10 %	2,6	- 17 %
HC in t/Werktag	331,1	281,1	- 15 %	248,1	- 25 %
NO _x in t/Werktag	791,8	740,3	- 7 %	697,8	- 12 %
NO ₂ in t/Werktag	173,3	163,8	- 5 %	155,4	- 10 %
Partikel in t/Werktag	26,2	24,6	- 6 %	23,2	- 12 %
KEA in TJ/Werktag	4.841,4	4.543,7	- 6 %	4.301,3	- 11 %

(Werte gerundet, Summen können rundungsbedingt von 100 % abweichen)

Aufkommensbezogener Modal Split



Verkehrsleistungsbezogener Modal Split



Fahrleistung und Umweltwirkungen

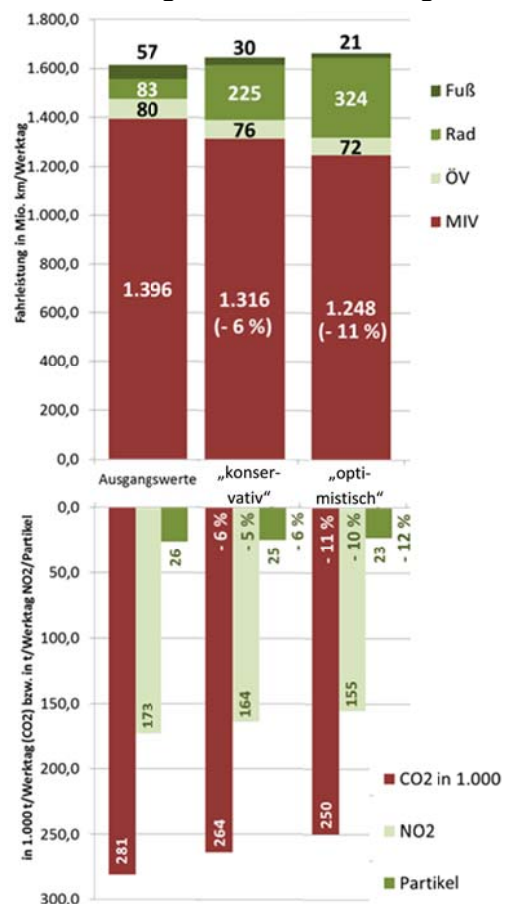


Abbildung 33: Berechnungsergebnisse „Wahrnehmung des Rades als Option“ (Eigene Darst.)

4.3.5 Autonutzung statt -besitz

In den bisherigen Betrachtungen konzentrierten sich die Überlegungen auf Handlungsstrategien, mit denen unmittelbar (primär) Verkehrsverlagerungen vom MIV zum Fahrrad erreicht werden.

Im Folgenden werden weiterführende Potenziale diskutiert, indem mit den Handlungsstrategien neben verkehrsverlagernden auch verkehrsvermeidende Wirkungen erwartet werden. Dies drückt sich dadurch aus, dass für die folgenden Modellrechnungen neben Annahmen eines Modal Shifts auch Annahmen zu veränderten Aktionsräumen (Aktivitätsstandorte, Zielwahl) zugrunde gelegt werden.

Die Grundidee der Variationsrechnung „Autonutzung statt Autobesitz“ besteht darin, dass Personen ohne Zugang zu einem (eigenen) Pkw, ihre Aktivitäts-, Ziel- und Verkehrsmittelwahl an vorhandene Mobilitätsoptionen anpassen. Entweder werden bestimmte Aktivitäten gar nicht durchgeführt und/oder andere Ziele des gleichen Aktivitätstyps aufgesucht und/oder ein anderes Verkehrsmittel zum Erreichen der Aktivitätsgelegenheit gewählt. Die Schwierigkeit besteht dabei jedoch darin, die Vermutungen über die inneren Wirkungszusammenhänge dieses Problemkreises nachvollziehbar zu quantifizieren.

Aus diesem Grund wurde folgende Überlegung als hypothetische Wirkungsannahme genutzt: Der Zugang zu einem eigenen Pkw als Fahrer ist eine der wesentlichsten Determinanten des Mobilitätsverhaltens. Personen ohne Pkw-Zugang verhalten sich deutlich anderes als Personen mit.

Abbildung 34 zeigt dazu beispielhaft das Aktivitätsraumprofil von Erwerbstätigen in flachen Mittelzentren differenziert nach Pkw-Zugang. Die blaue Fläche zeigt den Aktionsraum von Personen ohne und die rote Fläche den von Personen mit Pkw-Zugang.

Dabei ist auffällig, dass Personen ohne Zugang zu einem eigenen Pkw insgesamt deutlich kürzere Wege aufweisen als Personen mit Zugang. Dies trifft nicht nur auf Wege zur Arbeit zu, sondern ist insbesondere auch bei Wegen zu Versorgungs- und Erholungszwecken (Einkauf und Freizeit) zu sehen. Personen ohne Pkw-Zugang zeigen eine stärkere Nahraumorientierung.

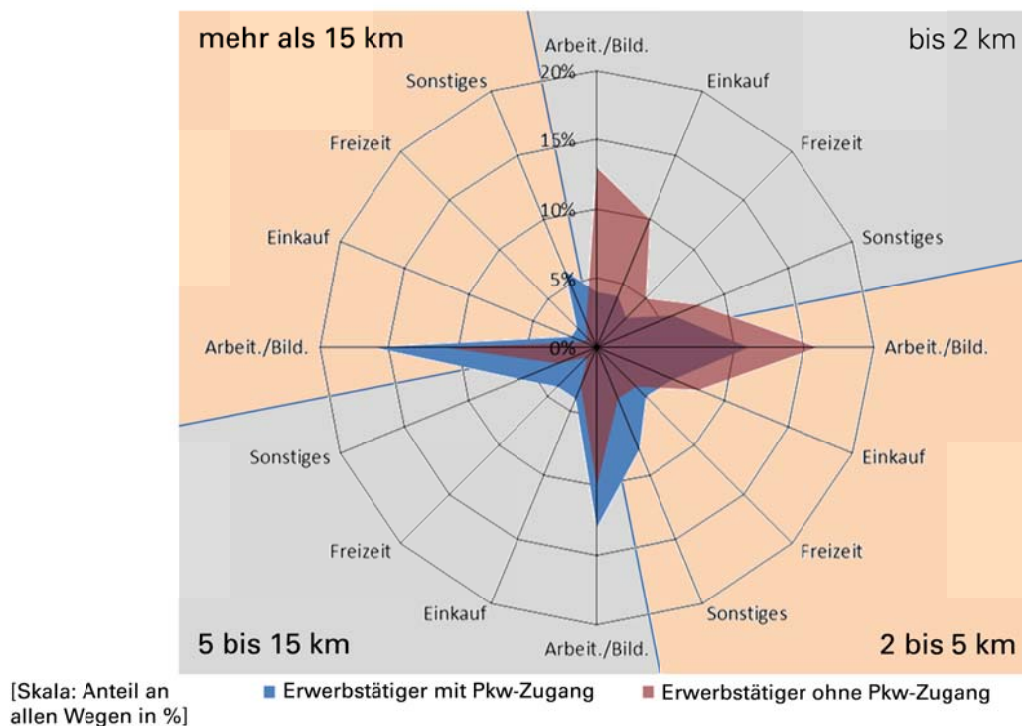


Abbildung 34: Aktionsraumprofil (Aktivitäts-Entfernungs-Matrix) von Erwerbstätigen mit und ohne Pkw-Zugang im Ortstyp „Mittelzentren, flach“ (Eigene Darstellung)

Neben der Wahl von Art und Ort der Aktivitätsgelegenheit im Raum ist auch die Verkehrsmittelwahl bei Personen mit und ohne Pkw-Zugang verschieden. Abbildung 35 zeigt dazu beispielhaft die aus *ProFaiR* resultierende Verkehrsmittelwahl in flachen Mittelzentren der Erwerbstätigen mit und ohne Pkw-Zugang bei Wegen zur Arbeit (Analysemodell).

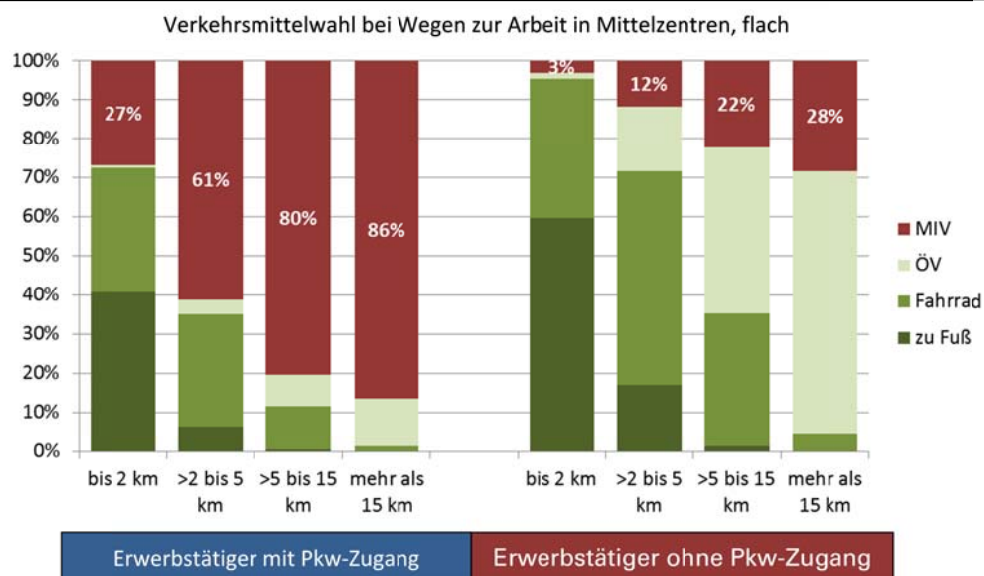


Abbildung 35: Verkehrsmittelwahl bei Wegen zur Arbeit von Erwerbstätigen mit und ohne Pkw-Zugang im Ortstyp „Mittelzentrum, flach“ (Eigene Darstellung)

Dabei lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen Modal Split, Wegelänge und Pkw-Zugang aus Abbildung 35 erkennen. Bei Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang beträgt der MIV-Anteil bei Wegen in der Entfernung bis zwei Kilometer in Mittelzentren bereits 27 Prozent (gegenüber drei Prozent bei Personen ohne Pkw-Zugang). Dieser Anteil erhöht sich mit steigender Wegelänge deutlich auf 86 Prozent (28 Prozent bei Personen ohne Pkw-Zugang). Insgesamt zeigen Personen ohne Pkw-Zugang ein deutlich verkehrssparsames und damit emissionsärmeres Verhalten als Personen mit Pkw-Zugang.

Folgende Frage ergibt sich daraus: Für welche Bevölkerungsmenge kann eine verkehrssparzamere Verhaltensweise, d. h. ein Verhalten wie es Personen ohne Pkw-Zugang heute schon zeigen, als möglich (vor allem zunehmend kostengünstiger) angenommen werden?

Als Abgrenzungskriterien zur Berechnung einer Bevölkerung, die (zumindest theoretisch) auf den eigenen Pkw verzichten könnte, wurden folgende Merkmale herangezogen:

- Mindestbevölkerungsdichte von 150 Einwohner/km²
- Vorhandensein einer ÖV-Haltestelle im Umkreis von 500 m
- Vorhandensein einer Nahversorgungsgelegenheit (Lebensmittelmärkte mit Verkaufsfläche ab 400 m²)

Die beiden ersten Merkmale konnten für die verwendete Ortstypisierung Deutschlands auf Basis der Rauminformationen des BBSR abgegrenzt werden. Die untere Grenze der Bevölkerungsdichte wurden dabei so gewählt, dass die nach den siedlungsstrukturellen Kreistypen des BBSR als „ländlich“ bezeichneten Kreise (< 150 EW/m²), mutmaßlich kein - über den Ist-Zustand hinausgehendes - Potenzial zum Verzicht auf den eigenen Pkw aufweisen.

Für Personen die in Kreisen höherer Dichte wohnen, wird angenommen, dass als Grundvoraussetzung zur Erschließung von Potenzialen die Erreichbarkeit einer ÖV-Haltestelle (im Umkreis von 500 m) gegeben sein muss (Erschließungsvoraussetzung¹⁰).

Da aus den bereits dargestellten Gründen Personen ohne eigenen Pkw-Zugang eine ausgeprägte Nahraumorientierung aufweisen, wird zusätzlich dem Merkmal „Nahversorgung“ eine wesentliche Bedeutung beigemessen. Auf Basis frei zugänglicher Ergebnisse nach GfK (2010) konnte eine Nahversorgungsabdeckung der deutschen Bevölkerung differenziert nach Ortstypen abgeleitet werden. In GfK (2010) wurde als Kriterium zur Nahversorgungsabdeckung das Vorhandensein mindestens einer Nahversorgungsgelegenheit ab 400 m² Verkaufsfläche (Einrichtung mit Angebotsspektrum Nahrungs- und Genussmittel als Mindestmaß einer Angebotstiefe und -breite) in einem Umkreis von höchstens 800 m verwendet.

Auf Basis der drei Kriterien wurden zwei Berechnungsfälle betrachtet:

¹⁰ Auf die Abgrenzung einer Mindestbedienungsqualität der Haltestellen musste aufgrund fehlender Datengrundlagen verzichtet werden.

Wirkungsannahme:*Fall 1: „Konservativ“ (B1)*

Personen an Wohnstandorten mit einer Minstdichte von 150 EW/km² verzichten bei Vorhandensein einer ÖV-Haltestelle im Umkreis von 500 m und eines Versorgungsstandortes (Lebensmittelmarkt mit mind. 400 m² Verkaufsfläche) im Umkreis von maximal 800 m auf ihren eigenen Pkw und verhalten sich so wie Personen ohne Zugang zu einem eigenen Pkw.

Fall 2: „Optimistisch“ (B2)

Personen an Wohnstandorten mit einer Minstdichte von 150 EW/km² verzichten bei Vorhandensein einer ÖV-Haltestelle im Umkreis von 500 m auf ihren eigenen Pkw und verhalten sich so wie Personen ohne Zugang zu einem eigenen Pkw.

Wird die deutsche Bevölkerung unter Zugrundelegung der Kriterien unter Bedingungen des Jahres 2008 abgegrenzt, ergibt sich für die beiden Untersuchungsfälle das in Tabelle 14 dargestellte Bevölkerungspotenzial. Für den als „konservativ“ bezeichneten Berechnungsfall wäre demnach für 30 bis 85 Prozent (je nach Ortstyp) der Bevölkerung denkbar, ein verkehrssparsames Verhalten zu unterstellen. Für eine „optimistischere“ Betrachtungsweise beträgt dieser Anteil im Berechnungsfall 2 je nach Ortstyp zwischen 45 und 95 Prozent (Tabelle 14).

Tabelle 14: Ausgangssituation und Bevölkerungspotenzial von Personen „Ohne Pkw-Zugang“ differenziert nach Ortstypen

Ausgangssituation und Bevölkerungspotenzial von Personen „Ohne Pkw-Zugang“ in % *			
Ortstyp	Ausgangssituation (Personen ohne Pkw-Zugang)	Fall 1: „Konservativ“ Minstdichte, Haltestelle, Nahversorgung	Fall 2: „optimistisch“ Minstdichte, Haltestelle
UK/GZ/ländl. Gem	30%	30 % **	45%
MZ	33%	57%	84%
OZ bis 500.000 EW	38%	76%	95%
OZ > 500.000 EW	47%	85%	95%

*Berechnung auf Basis der Rauminformationen des BBSR, der Studie „Nahversorgungsdichte im ländlichen Raum“ der GfK GeoMarketing GmbH sowie vereinfachender Annahmen.

** Der für diesen Ortstyp ermittelte Wert beträgt rechnerisch 23 %. Da davon ausgegangen werden kann, dass nicht weniger Personen einen Pkw-Zugang haben als für die Ausgangssituation berechnet (30 %) wird der Ausgangswert beibehalten. Gegenüber der Ausgangssituation lässt sich somit in der Variante „konservativ“ für diesen Ortstyp kein zusätzliches Potenzial erschließen.

Quelle: Eigene Berechnung

Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse der Variationsrechnungen „Autonutzung statt Autobesitz“. Für den aufkommensbezogenen Modal Split sind demnach bereits deutliche Verschiebungen zu erkennen.

Die Fuß-, Rad- und ÖV-Anteile erhöhen sich jeweils zu Lasten des MIV-Anteils. Die stärksten Zuwächse verzeichnet der ÖV mit einer Steigerung von vier Prozentpunkten („konservativ“) bzw. sieben Prozentpunkten („optimistisch“). Der Anteil nichtmotorisiert zurückgelegter Wege legt jeweils im einstelligen Prozentbereich zu. In der Summe führt dieser Zusammenhang dazu, dass im ersten Berechnungsfall der MIV um neun Prozentpunkte auf 45 % abnimmt. Im zweiten Berechnungsfall beträgt dieser Rückgang bereits 18 Prozentpunkte auf 36 %.

Bezogen auf den verkehrsleistungsbezogenen Modal Split ist insbesondere der starke Sprung des ÖV-Anteils deutlich (Fall 1: plus acht Prozent; Fall 2: plus 16 Prozent). Verkehrsleistungsbezogen sind Verschiebungen zu Gunsten des Fußgänger- und Radverkehrs erkennbar, aufgrund der insgesamt eher kurzen Wege jedoch moderat.

Bei der Betrachtung der Gesamtfahrleistung ist für die „konservative“ Schätzung von einer um 19 Prozent geringeren MIV-Fahrleistung auszugehen. Für den „optimistischen“ Berechnungsfall steigt die Fahrleistungsreduktion für den MIV auf 38 Prozent. Besonders große Steigerungen sind demnach für den ÖV zu erwarten (+ 17 Prozent im Fall 1; + 38 Prozent im Fall 2). Jedoch kann auch der nichtmotorisierte Verkehr von deutlichen Zuwächsen profitieren.

Die aus diesen Fahrleistungsverchiebungen zu erwartende Umweltentlastung ist deutlich. Jedoch fällt die Emissionsreduktion im Vergleich zu den bisherigen Variationsrechnungen geringer aus. Grund ist der Fahrleistungszuwachs beim ÖV, der einen Teil des Emissionsreduktionspotenzials beim MIV kompensiert.

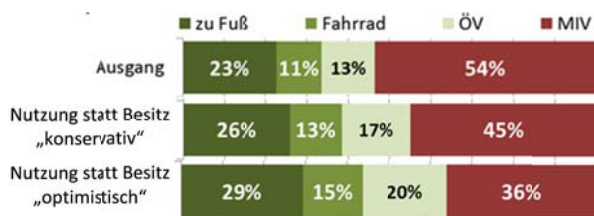
Je nach Kenngröße schwanken die Emissionsreduktionen für den ersten Berechnungsfall („konservativ“) zwischen zehn Prozent (NO_x) und 18 Prozent (NO). Für die „optimistische“ Berechnungsvariante (Fall 2) ergibt sich eine Bandbreite zwischen 21 Prozent (NO_x) und 37 Prozent (CO).

Die Entlastungswirkung für das klimarelevante CO_2 ist mit einer Reduktion von 13 Prozent („konservativ“) bzw. 27 Prozent („optimistisch“) bemerkenswert. Jedoch ergibt sich die Entlastungswirkung für die Variationsrechnung „Autonutzung statt Autobesitz“ nicht – wie noch bei den vorangegangenen Berechnungsvarianten - proportional zur Fahrleistungsreduktion.

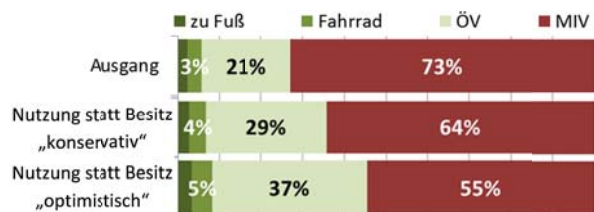
Kenngröße	Ausgangs- werte	Nutzung statt Besitz „Konservativ“	Differenz	Nutzung statt Besitz „Optimistisch“	Differenz
Aufkommensbezogener Modal Split in %					
Fuß	23	26	+ 3	29	+ 6
Fahrrad	11	13	+ 2	15	+ 4
ÖV	13	17	+ 4	20	+ 7
MIV	54	45	- 9	36	- 18
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split in %					
Fuß	2	3	+ 1	3	+ 1
Fahrrad	3	4	+ 1	5	+ 2
ÖV	21	29	+ 8	37	+ 16
MIV	73	64	- 9	55	- 18
Gesamtfahrleistung in Mio. Fzkm/Werkg					
Fuß	56,8	62,0	+ 9 %	67,1	+ 18 %
Fahrrad	82,6	90,3	+ 9 %	100,5	+ 22 %
ÖV	79,8	93,0	+ 17 %	109,9	+ 38 %
MIV	1.395,6	1.128,7	- 19 %	859,1	- 38 %
Umweltwirkungen					
CO ₂ in 1.000 t/Werkg	281,0	243,7	- 13 %	204,0	- 27 %
Kraftstoff in 1.000 t/Werkg	95,1	83,2	- 13 %	70,4	- 26 %
CO in 1.000 t/Werkg	3,1	2,5	- 18 %	2,0	- 37 %
HC in t/Werkg	331,1	274,1	- 17 %	218,3	- 34 %
NO _x in t/Werkg	791,8	710,9	- 10 %	623,4	- 21 %
NO ₂ in t/Werkg	173,3	154,5	- 11 %	134,1	- 23 %
Partikel in t/Werkg	26,2	22,0	- 16 %	17,6	- 33 %
KEA in TJ/Werkg	4.841,4	4.234,8	- 13 %	3.582,2	- 26 %

(Werte gerundet, Summen können rundungsbedingt von 100 % abweichen)

Aufkommensbezogener Modal Split



Verkehrsleistungsbezogener Modal Split



Fahrleistung und Umweltwirkungen

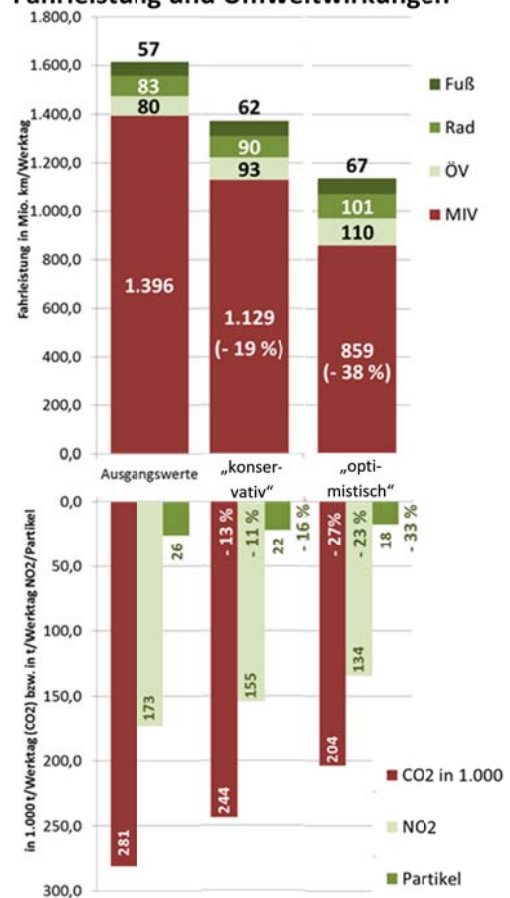


Abbildung 36: Berechnungsergebnisse „Autonutzung statt Autobesitz“ (Eigene Darstellung)

4.3.6 Orientierung an „Trendsettern“

Die im vorigen Kapitel unter dem Titel „Autonutzung statt Autobesitz“ angestellten Überlegungen beschreiben Potenziale die daraus resultieren, dass aufgrund der Annahme eines künftigen verstärkten Verzichts auf den eigenen Pkw das Verhalten maßgeblich verändert wird. Ein im Denkansatz in Teilen ähnlicher jedoch aufgrund anderer „Vorbilder“ anders argumentierter besteht in der Übertragung von bereits „vorgelebten“ verkehrssparsamen Verhaltensweisen aus Städten die sozusagen als Vorzeigestädte bzw. „Trendsetter“ gelten könnten.

Dazu wurden die Verhaltensweisen aller in den SrV-Daten verfügbaren Gemeinden systematisch analysiert und besonders verkehrssparsame bzw. emissionsarme Fallbeispiele gesucht. Als Kandidaten für Trendseterverhalten wurden dabei diejenigen Städte der jeweiligen Orts- und Topografiekategorie identifiziert, bei denen die Personengruppen zum einen überdurchschnittlichen Radverkehrsanteil aufweisen, insbesondere aber eine geringe Verkehrsleistung im MIV. Dabei wurden nur die für den Radverkehr relevanten Wege bis 15 km Länge betrachtet. Anschließend wurde über Testrechnungen im Modell die vermutete Vorreiterstellung des gewählten Städteverhaltens hinsichtlich geringer Emissionen bestimmt. Durch die Auswahl der „Trendsetterstädte“ auf Basis des Verhaltens von *Personengruppen*, erfolgt die Entscheidung „Trendsetterstadt, oder nicht“ unabhängig von der soziodemografischen Zusammensetzung der Bevölkerung in den Städten (z. B. keine Überbewertung von Studentenstädten). Weiterhin wird durch die Nichtberücksichtigung der Wege größer 15 km Länge die verkehrliche Wirkung der jeweils lokal sehr unterschiedlichen Stadt-Umland-Verflechtungen entkoppelt bzw. außen vor gelassen.

Im Ergebnis wurden die Städte:

- Kiel (*Oberzentrum bis 500 TEW, flach*), (B3)
- Jena (*Oberzentrum bis 500 TEW, hügelig*) (B4) und
- Bremen (*Oberzentrum mit mehr als 500 TEW, flach*) (B5)

als „Trendsetter“ ausgewählt.

Entsprechend der beschränkten Zahl der im SrV-Datensatz enthaltenen Städte stellt nicht notwendigerweise jeder der ermittelten „Trendsetter“ die Spitzenstadt für die entsprechende Orts- und Topografiekategorie in Deutschland dar, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten ist. Für die ermittelten „Trendsetterstädte“ lassen sich aus stadtspezifischen Einzeldaten Verhaltenskenngrößen als Modelleingangsgößen berechnen. Diese werden im Anschluss den Modellrechnungen als Input-Variation zugrunde gelegt. Das Verhalten dieser Städte (Aktivitätsraum und Verkehrsmittelwahl) wird somit auf den gesamten Ortstyp übertragen. Die daraus gewonnen Aussagen können auf Ebene der Ortstypen gegenübergestellt werden.

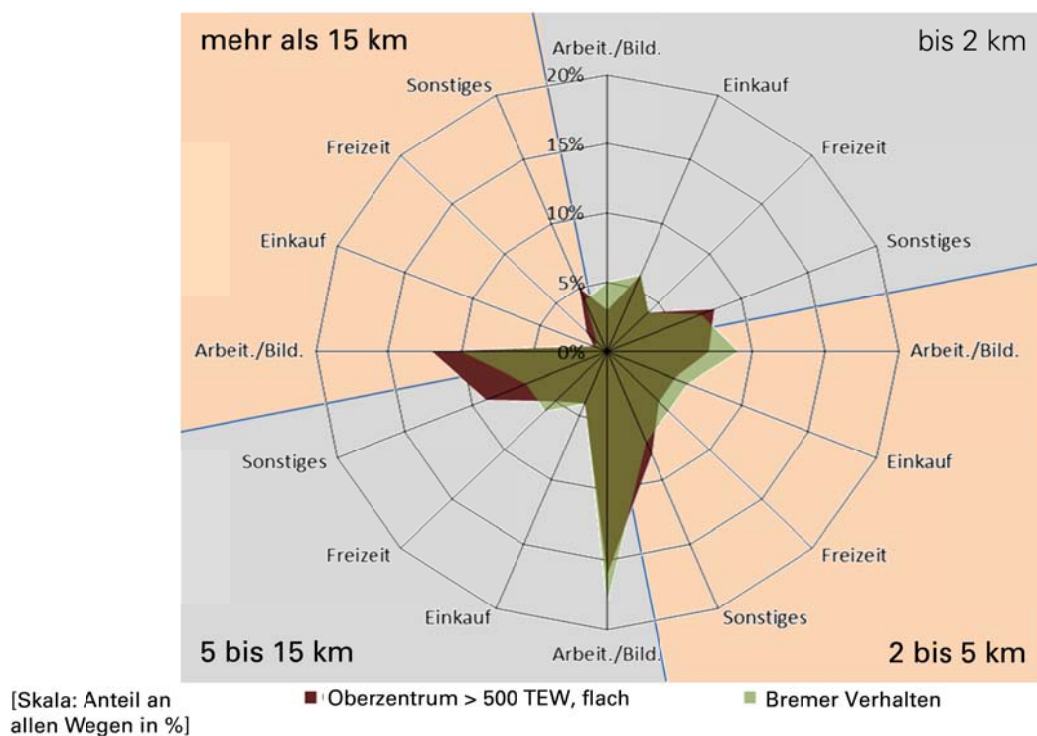


Abbildung 37: Aktionsraumprofil (Aktivitäts-Entfernungs-Matrix) von Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang im Vergleich „Oberzentren > 500 TEW, flach vs. Bremer Verhalten“ (Eigene Darstellung)

Abbildung 37 zeigt exemplarisch das Aktionsraumprofil von Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang im Vergleich des Ortstyps „Oberzentrum mit mehr als 500 TEW, flach“ (rote Fläche) mit Bremen (grüne Fläche). Dabei ist auffällig, dass die Bremer kürzere Arbeits- und Einkaufswege gegenüber dem Ortstypenmittel aufweisen.

Neben der Wahl von Art und Ort einer Aktivitätsgelegenheit im Raum ist auch die Verkehrsmittelwahl von Trendsettern für die Potenzialrechnung maßgebend. Abbildung 38 zeigt dazu beispielhaft den aus *ProFaiR* resultierenden Modal Split der Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang bei Wegen zur Arbeit in flachen Oberzentren mit mehr als 500 TEW im Vergleich zum Bremer Verhalten¹¹. Dabei ist auffällig, dass im Bereich bis 15 km - also mutmaßlich bei Wegen im städtischen Umfeld in Bremen - ein deutlich geringerer MIV-Anteil zu verzeichnen ist. Vor allem sind die Radverkehrsanteile gegenüber dem Ortstypenmittelwert in Bremen höher.

¹¹ Die A-priori-Wahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittelwahl wurden für die Trendsetterstädte analog zu dem in Kapitel 3.4 dargestellten Vorgehen (Modellschätzung mittels logistischer Regression) ermittelt und der Berechnung zugrunde gelegt.

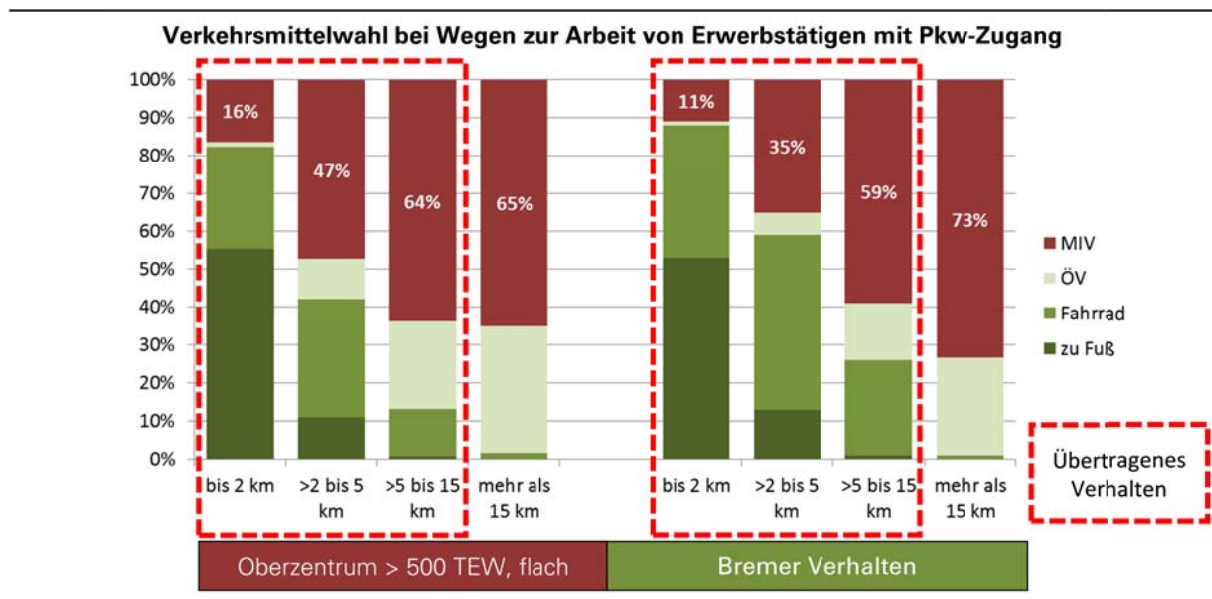


Abbildung 38: Verkehrsmittelwahl bei Wegen zur Arbeit von Erwerbstätigen mit Pkw-Zugang im Vergleich „Oberzentren > 500 TEW, flach vs. Bremer Verhalten“ (Eigene Darstellung)

Genutzt wird dieser Zusammenhang für die Berechnungsfälle „Orientierung an Trendsettern“ wie folgt: Die Aktionsräume der Personengruppen einer Trendsetterstadt werden auf den gesamten Ortstyp übertragen. Die Verkehrsmittelwahl wird für jede Personengruppe einer Trendsetterstadt für alle Wege bis 15 km (vgl. Abbildung 38, roter Rahmen) auf den Ortstyp übertragen (Ortsveränderungen im städtischen Kontext). Für Wege über 15 km wird der Ausgangswert beibehalten, da für jede Trendsetterstadt eine spezifische regionale Eingebundenheit vorliegt. Diese führt im Zusammenspiel mit den regionalen verkehrsinfrastrukturellen Angeboten zu Verhaltensweisen, die eine Potenzialrechnung sehr stark in die eine oder andere Richtung beeinflussen würde. Derartige Wirkungen bleiben daher bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Wirkungsannahme:

Für Personen(gruppen) eines Ortstyps werden Aktionsraum und Verkehrsmittelpräferenzen (Wege bis 15 km) der Personen(gruppen) einer „Trendsetterstadt“ angenommen.

Tabelle 15 und Abbildung 39 stellen die Ergebnisse der Berechnungen zusammen. Als Ausgangswert gelten die verkehrlichen und umweltrelevanten Kenngrößen des jeweiligen Ortstyps. Diesen sind die Werte gegenübergestellt, die sich aus der Trendsetterbetrachtung ergeben (Kieler-, Jenaer-, Bremer-Verhalten).

Der aufkommensbezogene Modal Split zeigt für alle Berechnungsfälle deutliche Verschiebungen. Interessant ist dabei, dass in allen drei Fällen MIV und ÖV Anteile verlieren. Gewinner bei Übertragung von „Kieler Verhalten“ und „Jenaer Verhalten“ sind Fußgänger- und

Radverkehr. Bei „Bremer Verhältnissen“ steigt nur der Radverkehrsanteil (plus 13 Prozentpunkte) zu Lasten aller anderen Verkehrsmittel.

Verkehrsleistungsbezogen sind die Verschiebungen ebenso deutlich. Bei „Kieler Verhältnissen“ würde eine relative Verschiebung vom ÖV (minus sechs Prozentpunkte) hin zu allen übrigen Verkehrsmitteln eintreten. Wird das „Jenaer Verhalten“ unterstellt, ergibt sich eine jeweils einprozentige Verschiebung vom MIV zu ÖV, Rad- und Fußgängerverkehr. Bei „Bremer Verhalten“ ergibt sich für den dazugehörigen Ortstyp ein deutlicher Gewinn des Fahrrads vor allem zu Lasten des ÖV.

Der Blick auf die Gesamtfahrleistung zeigt deutliche Fahrleistungsverlagerungs- und –vermeidungswirkungen. Für den Berechnungsfall „Kiel“ beträgt der Fahrleistungsrückgang im MIV sieben Prozent. Für flache Oberzentren bis 500 TEW wäre bei „Jenaer Verhältnissen“ elf Prozent Fahrleistungsreduktion für den MIV zu erwarten. Die größten MIV-Reduktionspotenziale wurden im Vergleich mit „Bremen“ errechnet. Mit diesem Ansatz ergäbe sich ein Rückgang der MIV-Fahrleistung von 17 Prozent.

Werden die Umweltentlastungspotenziale betrachtet kann für alle Berechnungsvarianten eine Reduktionswirkung bestätigt werden. Für die Berechnungsfall „Kieler Verhalten“ betragen die Reduktionen je nach Kenngröße zwischen sieben Prozent (CO, HC) und 13 Prozent (NO_x, NO₂). Für die Ortstyp „Oberzentrum bis 500 TEW, flach“ ergibt sich unter „Jenaer Bedingungen“ eine Reduktion zwischen neun Prozent (NO₂) und 17 Prozent (HC). Für den Berechnungsfall „Bremer Verhalten“ zeigen sich Entlastungen in der Größenordnung von zwölf Prozent (HC) und 25 Prozent (NO₂).

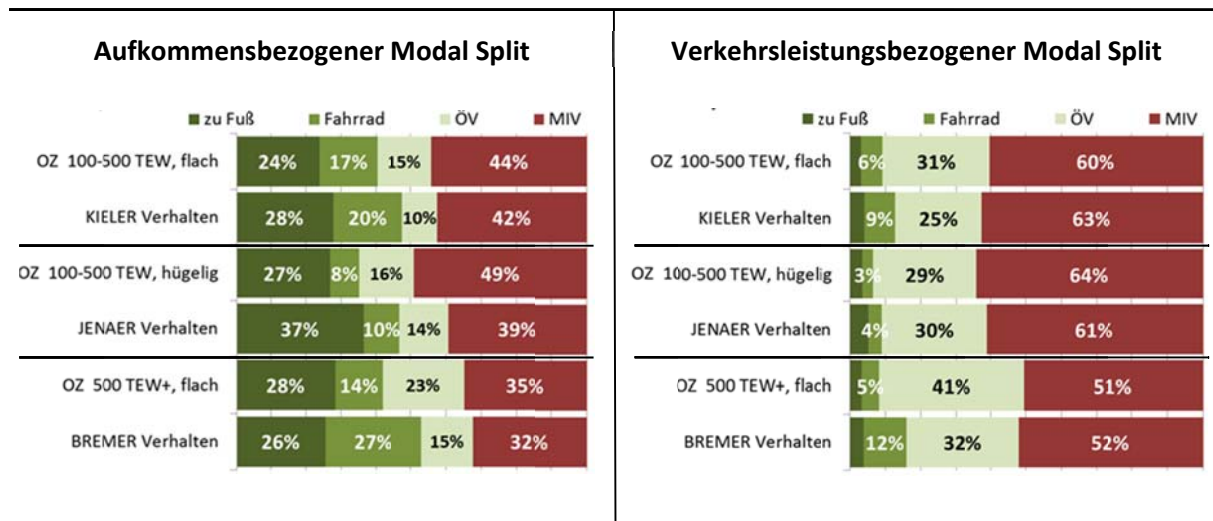
Die Belastung durch das klimarelevante CO₂ würde unter den Bedingungen des ersten Falls („Kieler Verhalten“) um elf Prozent, des zweiten Falls („Jenaer Verhalten“) um zehn Prozent und des dritten Falls („Bremer Verhalten“) um 23 Prozent zurückgehen.

Besonders bemerkenswert bei der Betrachtung der Umweltkenngößen ist, dass der Rückgang der Schadstoffe und Klimagase je nach Berechnungsfall sehr unterschiedlich ist. Dies liegt neben den unterschiedlichen Rückgängen im MIV vor allem auch an der unterschiedlichen Beteiligung des ÖV zur Emissionsreduktion.

Wenngleich diese Betrachtungen überaus fiktiven Charakter haben, wurden doch erhebliche Unterschiede deutlich, die auf planerische Ansätze und damit auf Gestaltungsmöglichkeiten zurückzuführen sind.

Tabelle 15: Berechnungsergebnisse „Verhalten von Trendsettern“ (Eigene Berechnung)

Kenngröße	Ausgang OZ 100-500 TEW, flach	KIELER Verhalten	Differenz	Ausgang OZ 100-500 TEW, hügelig	JENAER Verhalten	Differenz	Ausgang OZ 500 TEW +, flach	BREMER Verhalten	Differenz
Aufkommensbezogener Modal Split in %									
Fuß	24	28	+ 4	27	37	+ 10	28	26	- 2
Fahrrad	17	20	+ 3	8	10	+ 2	14	27	+ 13
ÖV	15	10	- 5	16	14	- 2	23	15	- 8
MIV	44	42	- 2	49	39	- 10	35	32	- 3
Verkehrsleistungsbezogener Modal Split in %									
Fuß	3	4	+ 1	4	5	+ 1	3	4	+ 1
Fahrrad	6	9	+ 3	3	4	+ 1	5	12	+ 7
ÖV	31	25	- 6	29	30	+ 1	41	32	- 9
MIV	60	63	+ 3	64	61	- 3	51	52	+ 1
Gesamtfahrleistung in Mio. Fzkm/Werktag									
Fuß	4,7	5,6	+ 19 %	7,1	9,8	+ 38 %	10	9,4	- 6 %
Fahrrad	9,1	11,7	+ 30 %	5,9	7,0	+ 18 %	14,5	28,4	+ 97 %
ÖV	4,6	3,6	- 26 %	5,8	5,6	- 4 %	8,2	5,1	- 37 %
MIV	69,9	64,8	- 7 %	98,7	87,8	- 11 %	113,1	93,9	- 17 %
Umweltwirkungen									
CO2 in 1.000 t/Werktag	15,3	13,6	- 11 %	21,8	19,6	- 10 %	28,1	21,6	- 23 %
Kraftstoff in 1.000 t/Werktag	5,2	4,6	- 12 %	7,4	6,7	- 10 %	9,8	7,5	- 24 %
CO in 1.000 t/Werktag	0,15	0,14	- 7 %	0,25	0,22	- 14 %	0,23	0,20	- 14 %
HC in t/Werktag	19,1	17,9	- 7 %	28,1	23,4	- 17 %	29,8	26,2	- 12 %
NOx in t/Werktag	44,0	38,1	- 13 %	64,7	58,4	- 10 %	79,6	60,1	- 24 %
NO2 in t/Werktag	9,3	8,0	- 13 %	13,9	12,7	- 9 %	16,8	12,6	- 25 %
Partikel in t/Werktag	1,3	1,2	- 9 %	2,0	1,8	- 11 %	2,2	1,8	- 19 %
KEA in TJ/Werktag	266,7	235,5	- 12 %	378,7	341,1	- 10 %	499,4	381,2	- 24 %



Fahrleistung und Umweltwirkungen

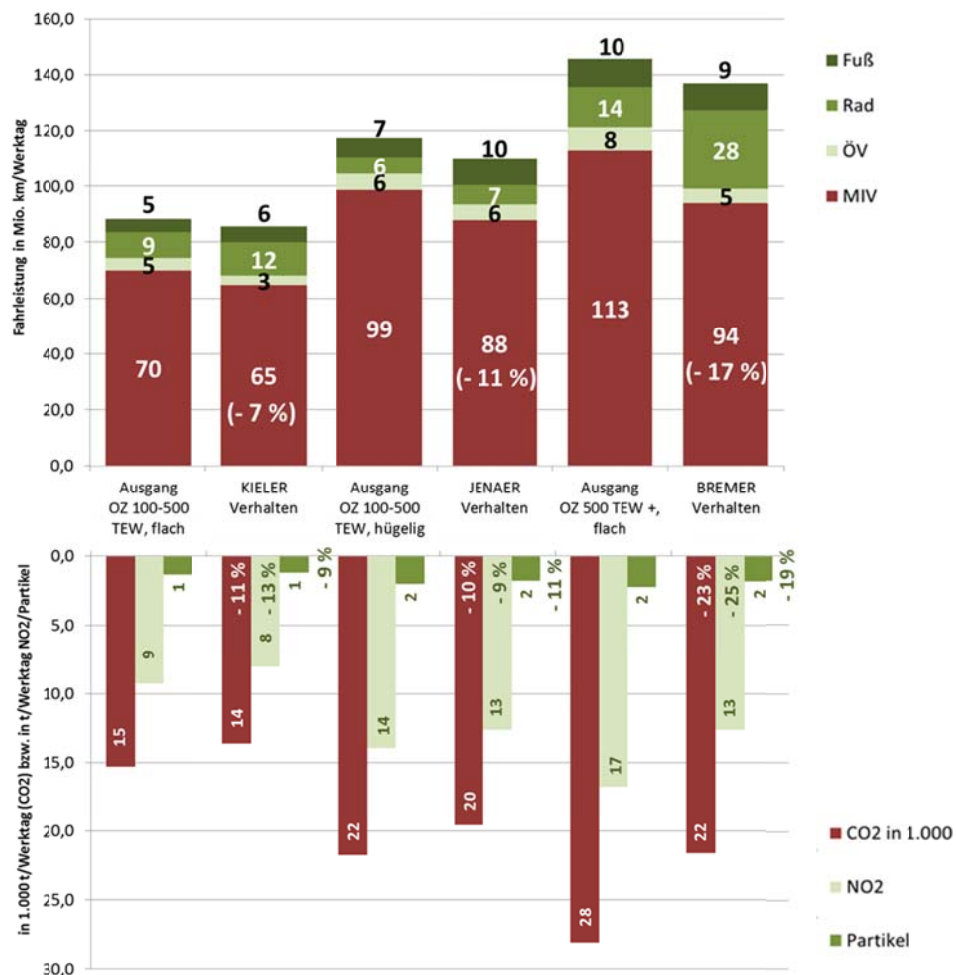


Abbildung 39: Berechnungsergebnisse „Verhalten von Trendsettern“ (Eigene Darstellung)

4.4 Zusammenführung der Ergebnisse

Im Folgenden sollen einige wesentliche Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel vergleichend gegenübergestellt werden. Diese Darstellung dient einer ersten übergreifenden Einordnung der durch die Modellbetrachtungen gewonnenen Erkenntnisse.

Die im Rahmen der als Sensitivitätsanalyse durchgeführten Variationsrechnungen führen zu Ergebnissen, die eine Beurteilung der Reagibilität kommunaler Stadtverkehrssysteme unter Annahme hypothetischer Wirkungen erlauben.

Stellvertretend für die Vielzahl von Ergebnissen der unterschiedlichen Berechnungsfälle werden die MIV-Fahrleistungsreduktion und die CO₂-Emissionsreduktion jeweils in einer eigenen Übersicht zusammengestellt. Abbildung 40 zeigt dazu eine Indexdarstellung der ermittelten Bandbreite in Bezug auf die zu erwartende Reduktion der MIV-Fahrleistung.

Die geringste Fahrleistungsreduktion ist dabei zunächst für die Berechnungsfälle der Pauschalverlagerung kurzer MIV-Wege auf das Fahrrad festzustellen. Reduktionen sind demnach lediglich im unteren einstelligen Prozentbereich zu erwarten. Insgesamt sechs der neun dargestellten Berechnungsfälle zeigen relative geringe Fahrleistungsreduktionen auf maximal 89 % gegenüber den Ausgangswerten.

Lediglich die Berechnungen unter Annahme des BREMER-Verhaltens und der beiden Berechnungsvarianten unter Annahme besonders verkehrssparsamer Verhaltensweisen („Autonutzung statt Autobesitz“ zeigen Reduktionen über 15 %. Dabei liegen die Werte unter BREMER-Verhaltensannahmen und die der konservativen Betrachtung von Autonutzung statt Besitz mit einer Reduktion auf 83 % bzw. 81 % gegenüber den Ausgangswerten dicht beieinander. Für den optimistischen Berechnungsfall zu Autonutzung statt Besitz ergibt sich ein deutlicher Abstand zu den übrigen Ergebnissen mit einer MIV-Fahrleistungsreduktion auf 62 % der Ausgangswerte.

Werden die Ergebnisse der Berechnungen nach dem primären Wirkungsprinzip der angenommenen Handlungsstrategien unterschieden zeigt sich, dass vorwiegend auf Verlagerung abzielende Strategien (Kurze Wege mit dem Rad, Wahrnehmung des Rades als Option) bereits ein nicht ganz unerhebliches Reduktionspotenzial haben. Die stärkste Reduktion ist für dabei für den Berechnungsfall „Wahrnehmung – optimistisch“ ermittelt worden (89 % der MIV-Fahrleistung gegenüber der Ausgangssituation).

Größere Potenziale sind jedoch erst durch Kombination verlagernder und vermeidende Handlungsstrategien erschließbar. Allerdings gehen die Ergebnisse dabei sehr weit auseinander. Die Berechnung ergibt eine große Spreizung, ausgehend von einer Reduktion auf 93 % (KIELER Verhalten) bis zu einer Reduktion auf 62 % (Autonutzung statt –besitz „optimistisch) gegenüber der Ausgangssituation (vgl. Abbildung 40).

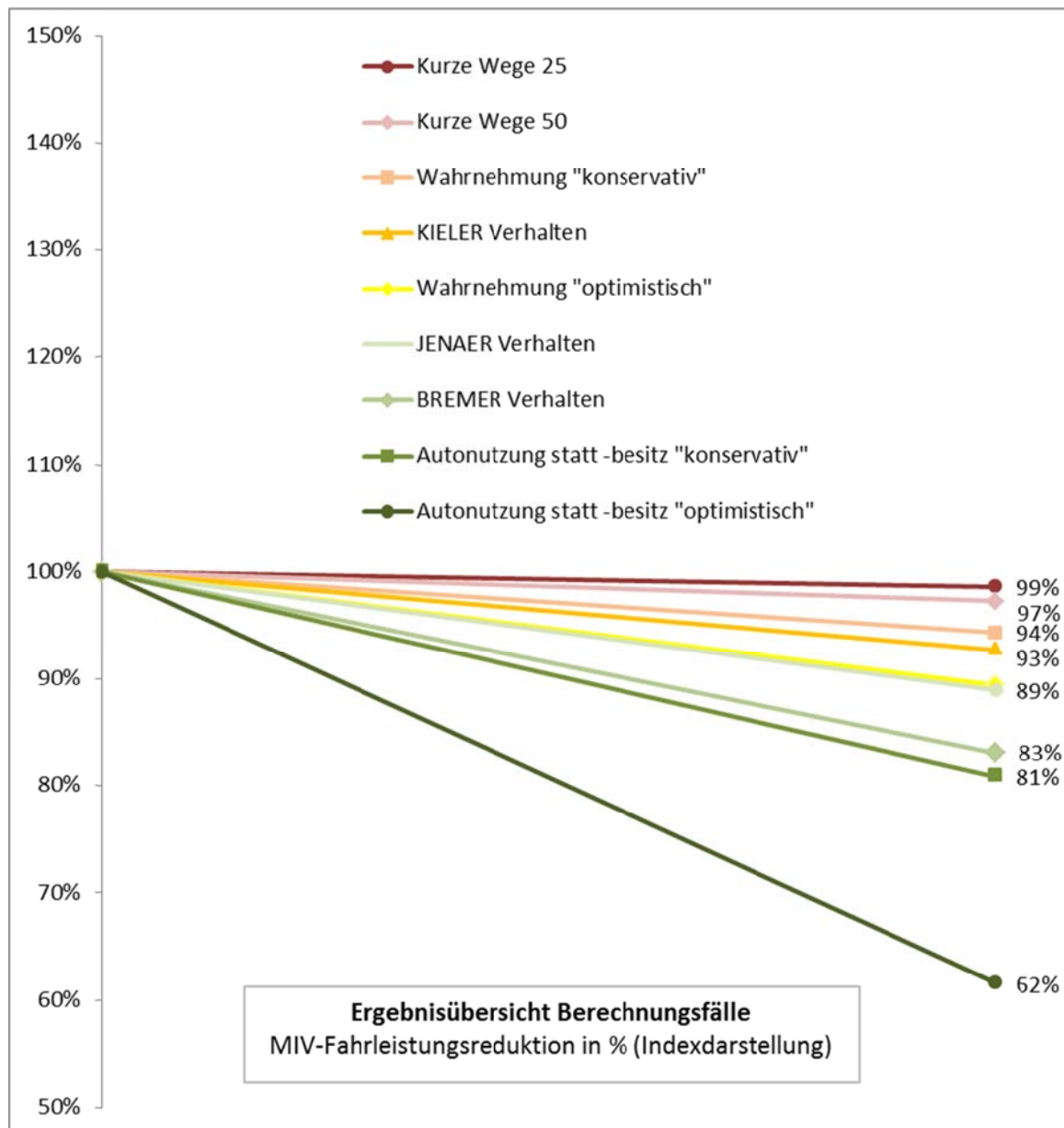


Abbildung 40: Übersicht der Berechnungsergebnisse „Variationsrechnungen zur MIV-Fahrleistungsreduktion“ (Eigene Darstellung)

Abbildung 41 beinhaltet eine dem Vergleich der Fahrleistungsreduktion analoge Darstellung für das klimarelevante Treibhausgas CO₂. Zusätzlich zu den in Abbildung 40 dargestellten Berechnungsfällen werden die als Referenzpotenzial bezeichneten Ergebnisse der „Grünen Flotte“ ausgewiesen. Diese stellen die Reduktionswirkungen unter Festhaltung heutiger Verhaltensweise (Fahrleistung) bei Weiterentwicklung der Fahrzeugflotte, d. h. bei Durchdringung der Fahrzeugflotte mit Motoren, die neuere Abgasnormen erfüllen, dar. Die Gegenüberstellung erfolgt wie bereits in Abbildung 40 als Indexdarstellung.

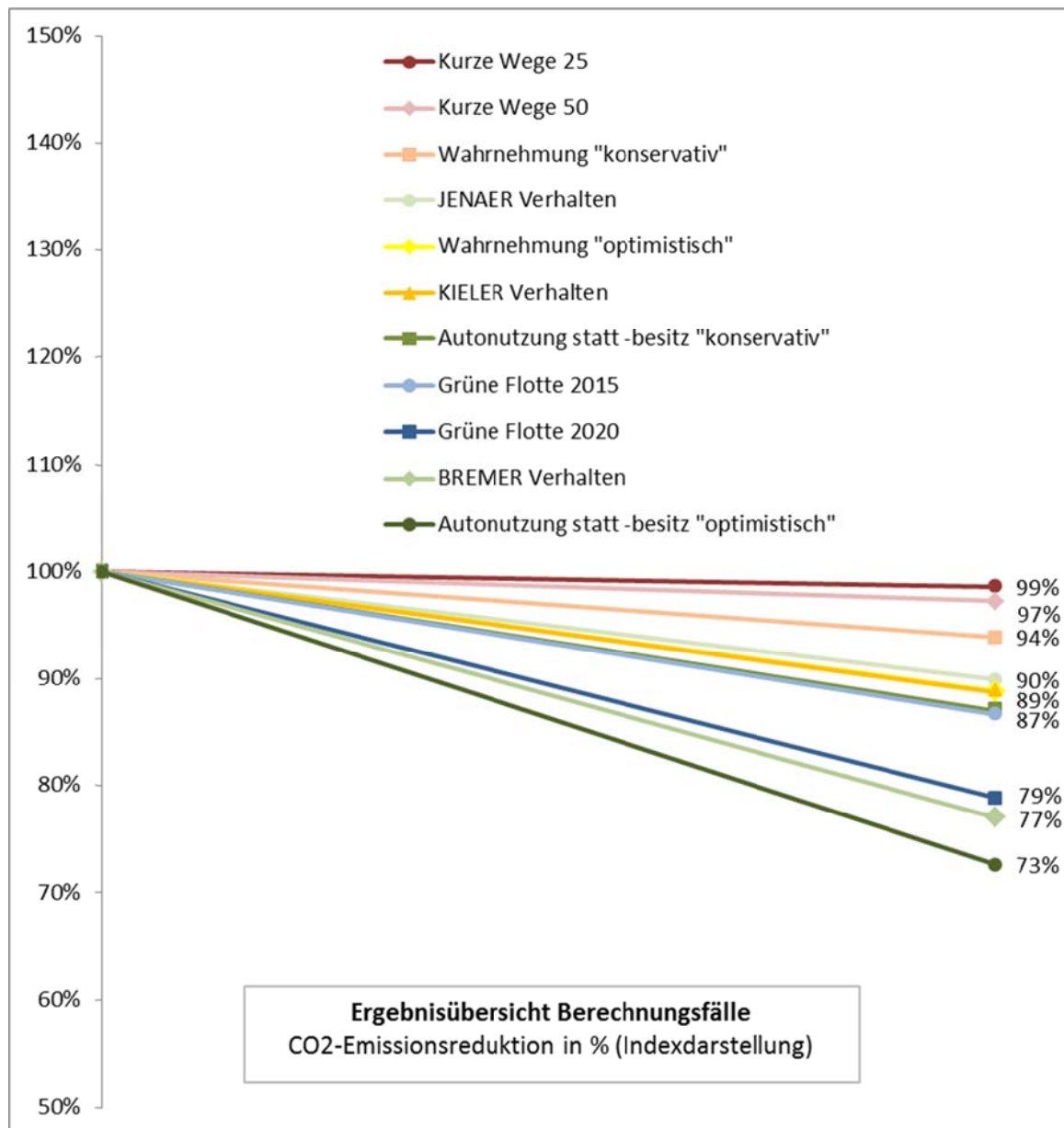


Abbildung 41: Übersicht der Berechnungsergebnisse „Variationsrechnung zur CO₂-Emissionsreduktion“ (Eigene Darstellung)

Die Berechnung der zur CO₂-Reduktionen führen unter Annahme einer primären Verlagerungswirkung (Kurze Wege mit dem Rad, Wahrnehmung des Rades als Option) zu einer größenordnungsmäßig gleichen Entlastungswirkung wie bereits im Rahmen der Fahrleistungsbetrachtung ermittelt. Demnach ist im optimistischen Fall (Wahrnehmung „optimistisch“) von einer Entlastung auf 89 % gegenüber den Ausgangswerten auszugehen.

Für die Berechnungsfälle mit verkehrsverlagernder und –vermeidender Wirkung erreichen die Emissionsreduktionen mindestens 90 % (JENAER Verhalten) und im günstigen Fall 73 % (Autonutzung statt –besitz „optimistisch“) der Ausgangssituation. Beachtenswert ist dabei, dass sich für die Berechnungsfälle Autonutzung statt –besitz Fahrleistungssteigerungen im

ÖV ergeben. Sinkende Emissionen im MIV werden dadurch teilweise durch steigende ÖV-Emissionen kompensiert.

Interessant erscheinen auch die Ergebnisse der Betrachtung von „Trendsettern“. Für alle drei Berechnungsfälle gehen steigende Fahrleistungen im nichtmotorisierten Verkehr einher mit einer Reduktion der Fahrleistungen sowohl für den MIV als auch für den ÖV. Dies drückt sich auch in einer relativ gesehen stärkeren CO₂-Reduktion aus.

Unter Annahme der Flottenbedingungen von 2015 bzw. 2020 sind aus der rein technischen Weiterentwicklung CO₂-Reduktionen auf 87 % bzw. auf 79 % der Ausgangssituation zu erwarten.

5 Maßnahmenzenarien zur Ausschöpfung von CO₂-Minderungspotenzialen

5.1 Herleitung von Maßnahmenzenarien

Die im vorstehenden Kapitel vorgestellten Variationsrechnungen verdeutlichen Systemzusammenhänge auf den Modal Split, die modale Fahrleistung sowie auf CO₂- und Schadstoffausstoß bezugnehmend auf empirische Grundkenntnisse und Daten aus dem Analysejahr 2008. Das Bezugsjahr 2008 wurde vereinbart, um zunächst die Transparenz der Wirkungszusammenhänge aufzudecken und diese nicht durch zeitlich variable Modellierungsgrößen (z. B. zukünftige Bevölkerungsstruktur, Flottenzusammensetzungen und Emissionsfaktoren) zu überdecken. Zum anderen wurde damit auch die Kompatibilität und Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des BMVBS/BSV-Projektes (vgl. Kap. 2.2) hergestellt.

Unter ergänzender Nutzung verkehrsplanerischer Kenntnisse und Erfahrungen auch aus dem Parallelvorhaben, dem durchgeführten Expertenworkshop, dem NRVP sowie internationaler Best Practices werden im Folgenden zwei Maßnahmenzenarien zur Ausschöpfung von Einsparpotenzialen des Radverkehrs für den Klimaschutz dargestellt. Diese Szenarien korrespondieren mit der Bandbreite der Variationsrechnungen. Unter dem Begriff Maßnahmenzenario soll dabei ein Bündel von wesentlichen Maßnahmen verstanden werden, das geeignet ist, die Ziele (zur Klimagasreduktion mit besonderer Berücksichtigung von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs) zu erreichen.

Szenarien stellen nach GÖTZE (1999) hypothetische Zukunftsbilder und entsprechende Entwicklungspfade dar. Maßnahmenzenarien beinhalten im Allgemeinen neben Annahmen zu demographischen, wirtschaftlichen und sonstigen Entwicklungen vor allem Annahmen zu Handlungsoptionen für die Zukunft und deren Wirkungen. Vereinfachend sollen im Rahmen dieser Untersuchung „Maßnahmenzenarien“ entworfen werden, deren Wirkungen nicht mit prognostischen Methoden für die Zukunft abgebildet werden, sondern für die unter Nutzung der Ergebnisse der Variationsrechnungen Wirkungsaussagen bezogen auf das Jahr 2008 gemacht werden. Insbesondere mit Blick auf den Fahrradverkehr ist die Wissenschaft heute noch nicht in der Lage, die Effekte insbesondere weicher Maßnahmen und die kurzen Radwege hinreichend zuverlässig im Rahmen der üblichen makroskopischen Modellierung zu erfassen. Dennoch werden auch Richtungsaussagen und zu erwartende Wirkungen, für die relativ gesicherte Zukunftsaussagen vorliegen, diskutiert.

Abbildung 42 stellt das Herangehen zur Herleitung der Maßnahmenzenarien vor. Ausgehend von den Ergebnissen der Variationsrechnungen und anderweitig vorliegenden Systemkenntnissen wurden Maßnahmenzenarien als Handlungsorientierung sozusagen rekursiv entwickelt.

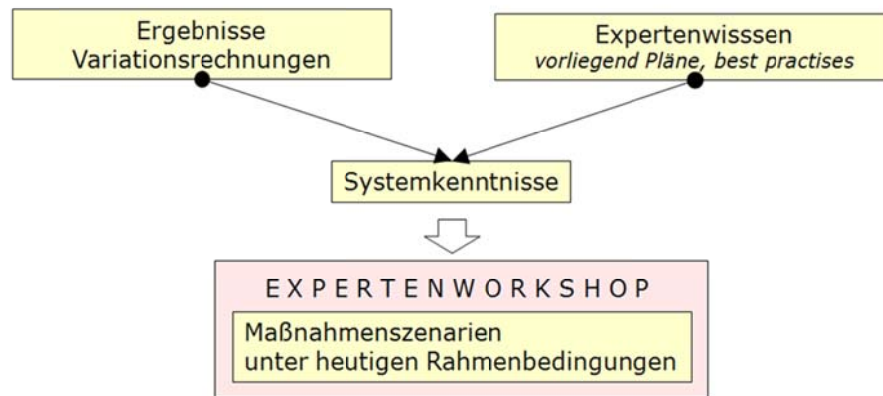


Abbildung 42: Herleitung der Maßnahmenszenarien (Eigene Darstellung)

Struktur und Grundgedanken der Maßnahmenszenarien wurden in einem projektbegleitenden Expertenworkshop am 29.6.2011 entwickelt. Sie basieren auf einer ausführlichen Maßnahmenzusammenstellung und anschließenden Aggregation zu Kernmaßnahmen (vgl. Anhang II).

Für die Maßnahmenszenarien wurden zwei aufeinander aufbauende Ansätze verfolgt:

- a) Pfad einer primär auf den Radverkehr fokussierten Förderung, die das Leitbild des NRVP „Radverkehr als System“ umsetzt
- b) Radverkehrsförderung als Bestandteil einer weiter gehenden, breit ansetzenden CO₂-Minderungspolitik, die mit einem integrierten Ansatz weitere flankierenden Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung, verkehrssparende Siedlungsstrukturen und Förderung eines Modal Shift vom Kfz-Verkehr zum umweltschonenden Mobilitätsverbund durch u. a. Förderung einer stärkeren multimodalen Mobilität insbesondere durch neue Mobilitätsdienstleistungen beinhaltet.

Dabei wurde von folgendem Denkansatz ausgegangen: Allein Maßnahmen der traditionellen Radverkehrsförderung, die vor allem auf Angebotsverbesserungen für den Radverkehr sowie ein fahrradfreundlicheres Klima abzielen, können nur begrenzte Effekte bewirken. Maßgeblich wird das Verkehrsverhalten durch den Wohnstandort und den Besitz bzw. die Verfügbarkeit eines Kfz determiniert. Wo es nicht gelingt, die Motorisierung und Nutzung mit und von privaten Kfz zu senken, gehen Gewinne des Radverkehrs in großen Teilen zu Lasten des Zu-Fuß-Gehens oder des ÖV (Kannibalisierungseffekte). Auch ohne ein weiteres Anwachsen der Kfz-Fahrleistungen, reichen die mit ca. 20 % erheblichen CO₂-Minderungen zur Zielerreichung nicht aus, die allein über fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Reduktion des

CO₂-Ausstoßes möglich sind¹². Ergänzend muss deshalb der Anteil der MIV-Fahrleistung weiter sinken und der Mobilitätsverbund hat einen größeren Anteil der Verkehrsarbeit zu übernehmen, um die politischen Minderungspotentiale zu erreichen. Das heißt, die Maßnahmen der traditionellen Radverkehrsförderung sind durch geeignete Maßnahmen einer an Nachhaltigkeitszielen orientierten integrierten Raum- und Verkehrsplanung zu ergänzen, die Verkehrsvermeidung im Sinne des Leitbildes der „Stadt der kurzen Wege“ und die Förderung multimodalen Verkehrsverhaltens mit einem breit angestrebten Modal Shift (Verkehrsverlagerung) betreibt.

Eine nachhaltige integrierte Stadt- und Verkehrsplanung (vgl. Sustainable Mobility Planning, EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011) beachtet als Qualitätsmerkmal die sieben Integrationsaspekte der Abbildung 43.



Abbildung 43: Integrationsaspekte der Verkehrsentwicklungsplanung (Eigene Darstellung in Anlehnung an BECKMANN UND KREITZ (1999), S. 22)

¹² Denkbar sind auch neue Rebound-Effekte, d. h. dass möglicherweise im Gegensatz zu den Annahmen der Variationsrechnung „Grüne Flotte“ in Wirklichkeit auch in den nächsten Jahren eine Entwicklung zu stärker motorisierten und damit wieder stärker emittierenden Fahrzeugen weiterhin stattfindet und die Konsumenten die technischen Minderungspotentiale in Deutschland gar nicht nutzen.

Sie berücksichtigt die Ziele anderer Fachplanungen, Planungsebenen, benachbarter Planungsräume bei der „integrierten“ Verbesserung und Effektivierung des multimodalen Verkehrssystems für alle Fahrtzwecke im Dialog mit möglichst allen Bedarfsträgern, Verkehrsteilnehmern und den vom Verkehr Betroffenen.

Besonderen Stellenwert hat die breite Palette von Maßnahmen, die nicht nur Angebotsplanungen und Infrastrukturverbesserungen beinhalten, sondern vor allem über siedlungsstrukturelle, preis-, ordnungs-, und informationspolitische Maßnahmen versucht, Bedarf und Nachfrage, somit die Raumstruktur und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu beeinflussen (vgl. Abbildung 44).

0. Maßnahmen der Raumordnung und Flächennutzung	
• Festsetzung von Nutzungen an Orten mit möglichst geringem Verkehrsaufwand (integrierte Standorte, Innenentwicklung) • Siedeln an Ö(PN)V-Achsen • Fördermittelvergabe mit Vorgaben	
1. Bauliche und technische Maßnahmen	(Engineering)
• Bauliche und technische Maßnahmen für alle Verkehrsträger, multi- und intermodaler Nutzung • Fahrzeugtechnische Verbesserungen • IT-Entwicklungen, intermodale Navigations- und Informationssysteme	
2. Ökonomische Maßnahmen	(Economy)
• Besteuerung (Fahrzeuge, Energieeinsatz, ...) • Road pricing (Straßen- und Citymaut) • Tarife • Land value capture • Parkraumbewirtschaftung	
3. Ordnungspolitische Maßnahmen	(Enforcement)
• Gesetzgebung, Emissionsstandards • Zugangsbeschränkung, autofreie Zonen, <u>Umweltzonen</u> • Geschwindigkeitsbegrenzungen • Polizeiliche und kommunale Überwachung • Verkehrslenkung und -leitung	
4. Informationspolitische Maßnahmen	(Education)
• Verkehrserziehung in Schulen • Fahrschulausbildung • Public Awareness, PR-Kampagnen • Mobilitätsmanagement auf allen Ebenen • Mediennutzung • Bürgerbeteiligung	
5. Organisatorische und logistische Maßnahmen	
• Effizienzverbesserungen (z.B. Car-Sharing, Car-Pooling, konsolidierte Warentransporte durch Citylogistik etc.) • Differenzierte Angebote v.a. auch für multi- und intermodales Verkehrsverhalten • Nutzervorteile und Incentives für „Best Practises“	

Abbildung 44: Integrierte Maßnahmenpalette Verkehr (Eigene Darstellung)

Abbildung 45 zeigt die Korrespondenz der Variationsrechnungen mit den Maßnahmenzenarien. Beide Szenarien beinhalten die je nach betrachtetem Zeithorizont absehbaren CO₂-Minderungen durch die Modernisierung der Fahrzeugflotte (Variationsrechnung: Grüne Flotte). Für den vereinbarten Betrachtungszeitraum 2008 entfällt allerdings dieser Einfluss. Die anderen Variationsrechnungen veranschaulichen die ergänzenden, theoretisch möglichen Umweltentlastungspotenziale, die über Verhaltensänderungen, Maßnahmen zur Angebotsverbesserung und weitergehende preis- und ordnungspolitische Strategien des Demand Managements erzielt werden können.

Dabei korrespondiert das Maßnahmenzenario der Standard-Radverkehrsförderung mit den Variationsrechnungen „Kurzer Wege mit dem Rad“ und „Wahrnehmung des Rades als Option“. Bei beiden Variationsrechnungen werden Fahrleistungs- und Emissionsreduzierungen ohne Änderung der im Modell eingestellten Quelle-Ziel-Beziehungen, d. h. nur durch Verlagerung der Verkehrsmittelwahl auf den existierenden Wegen, berechnet. Die Verkehrsmittelpräferenzen zu Gunsten des Radverkehrs auf diesen Wegen werden vor allem durch ein verbessertes Angebotsniveau an Radverkehrsanlagen und sonstigen radverkehrsbezogenen Angeboten verschoben.

Das Maßnahmenzenario der weitergehenden CO₂-Minderungspolitik bezieht sich auf entsprechende Ansätze der Variationsrechnungen „Autonutzung statt -besitz“ und „Orientierung an Trendsettern“, in denen neben Ansätzen der Verkehrsverlagerung vom MIV zum Radverkehr insbesondere ein verkehrssparsameres Verhalten (Verkehrsvermeidung) der Verkehrsteilnehmer angenommen wird, d.h. die Vermeidung von Verkehr durch einen höheren Anteil kurzer und damit auch fahrradfreundlicherer Wege.

Variationsrechnungen	Primäres Wirkungsprinzip		Maßnahmenzenarien	
			A	B
Grüne Flotte	- Technologie	-	(X)	(X)
Kurze Wege mit dem Rad	Verkehrsverlagerung	-	X	X
Wahrnehmung des Rades als Option			X	X
Autonutzung statt -besitz	Verkehrsverlagerung und Vermeidung von Verkehr	-		X
Orientierung an Trendsettern				X

Abbildung 45: Einordnung der Maßnahmenzenarien (Eigene Darstellung)

Verkehrsverlagerung	Verkehrsvermeidung
Maßnahmen zur integrierten Radverkehrsförderung, die im vorliegenden Siedlungs- und Verkehrssystem primär auf die Stärkung des Radverkehrs mit entsprechendem Modal Splits abzielen.	Maßnahmen, die, ausgehend von einer Verteuerung des MIV, die daraus resultierenden Effekte veränderter Wohnstandorte, Pkw-Besitz und Förderstrategien auf <i>neue Mobilitätsdienstleistungen</i> (z. B. Öffentliche Leihfahrzeuge zur individuellen Nutzung) stärken.

Abbildung 46: Präzisierung der Begriffe „Verkehrsverlagerung“ und „Verkehrsvermeidung im Kontext der Maßnahmenszenarien (Eigene Darstellung)

Die bereits im Kapitel 4.3.1 (S. 56) als Wirkprinzipien eingeführten Begriffe „Verkehrsverlagerung“ und „Verkehrsvermeidung“ werden in der vorstehenden Übersicht noch einmal hinsichtlich der Maßnahmenszenarien konkretisiert dargestellt.

5.2 Maßnahmenszenario A: Förderung des Systems Radverkehr

Das Maßnahmenszenario einer pragmatischen und eher konventionellen Förderung des Systems Radverkehr orientiert sich an den Nutzeranforderungen der Radfahrer und zielt auf eine Verbesserung der Radverkehrsbedingungen in Stadt und Land ab. Es betrachtet den Radverkehr als zentrales, integriertes und immer mitzudenkendes Element des Verkehrssystems. Im Nationalen Radverkehrsplan „Fahr Rad 2002 – 2012“ des BMVBS wurde entsprechend das Leitbild „Radverkehr als System“ eingeführt:

Mit einer gezielten Betrachtung, Förderung und Verzahnung aller Komponenten des Radverkehrssystems sollte den Bedürfnissen der Radfahrer ausreichend Rechnung getragen werden. Die Komponenten wurden den Bereichen Infrastruktur, Service, Öffentlichkeitsarbeit und zum Teil auch Recht zugeordnet (vgl. Abbildung 47).

Zentrale Anforderung der Förderung des Systems Radverkehr ist der Aufbau einer adäquaten Radverkehrsinfrastruktur. Diese stellt die Voraussetzung dafür dar, dass Maßnahmen in den Bereichen Service, Kommunikation und Recht ihre Wirkung entfalten können. Ein funktionierendes Radverkehrsnetz zeichnet sich dabei durch Zusammenhang (keine Netzlücken), Sicherheit (Verkehrssicherheit sowie soziale Kontrolle), Direktheit (möglichst keine Umwege), Komfort (ebener Oberflächenbelag etc.) sowie Attraktivität (ansprechendes Umfeld) aus. Die Umsetzung der aktuellen Richtlinien und Empfehlungen der FGSV (insbes. RIN, RASt und ERA) bildet dafür die Grundlage. In den Maßnahmenszenarien wird deshalb ein richtliniengerechter Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur angestrebt.

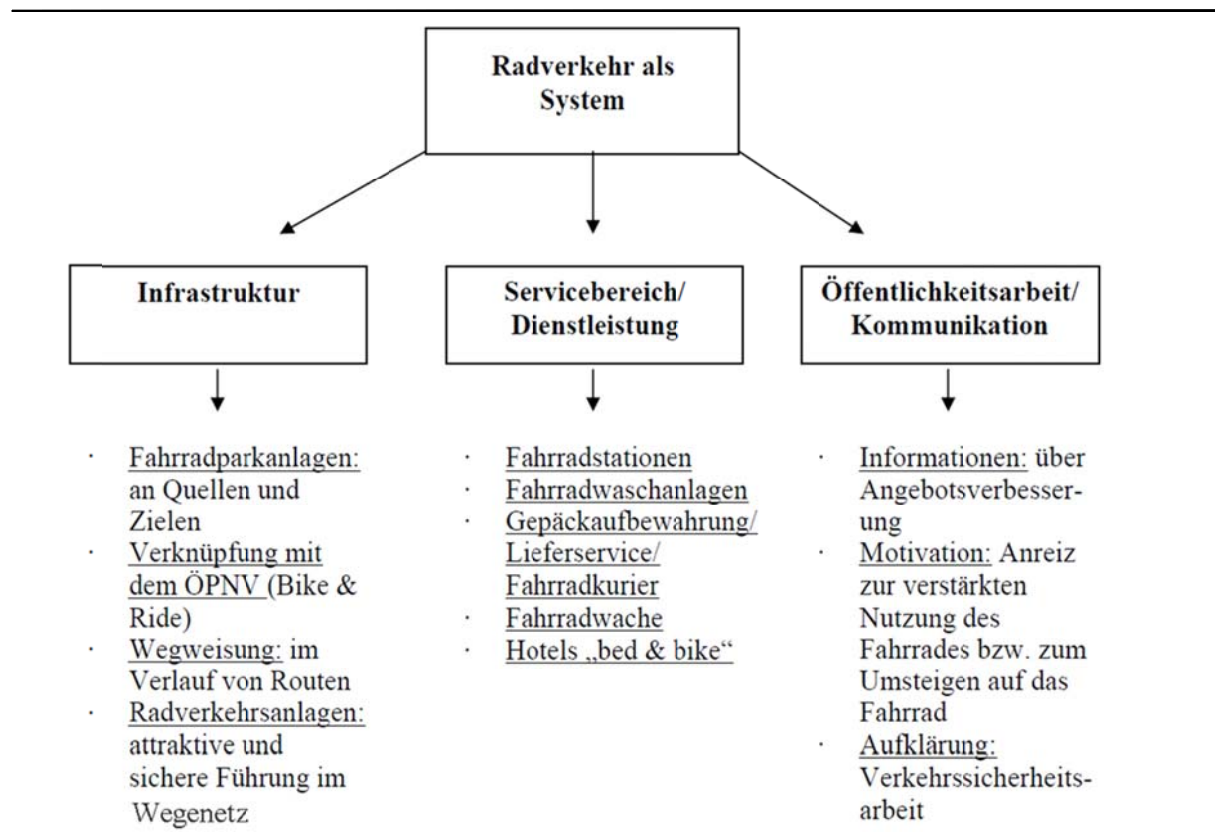


Abbildung 47: Radverkehr als System [Quelle: PFEIFFER (2004)]

Um ein leistungsfähiges Radverkehrssystem aufzubauen, ist ein Zusammenspiel verschiedener administrativer Ebenen (Kommune, Land, Bund, EU) sowie weiterer Akteure notwendig. Das Maßnahmenzenario geht davon aus, dass das Leitbild „Radverkehr als System“ zunehmend als selbstverständlicher Teil von Verkehrsplanung und Politik auf allen Ebenen gesehen wird.

In Tabelle 16 sind wesentliche Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel des Szenarios zusammengestellt. Grundlage dafür sind im Wesentlichen die Maßnahmenbeschreibungen des Nationalen Radverkehrsplans 2002 – 2012, die Maßnahmenempfehlungen des Bicycle Policy Audits (BYPAD)¹³, die Empfehlungen des Expertenworkshops¹⁴ zum Projekt „Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz“ sowie die Empfehlungen des Expertenkreises zur Weiterentwicklung des Nationalen Radverkehrsplanes¹⁵. Bewusst wurden diejenigen Maßnahmen und Empfehlungen, die sich übergreifend auf andere Politikbereiche (z. B. Stadt-

¹³ www.bypad.org

¹⁴ Workshop am 28.6.2011 in Berlin

¹⁵ Empfehlungen der von Bundesminister Dr. Peter Ramsauer MdB berufenen Expertinnen und Experten zur Weiterentwicklung des Nationalen Radverkehrsplans vom 16. September 2011, <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=UA7EOG63>

entwicklungs- und Regionalplanung) beziehen, hier ausgeklammert und im Maßnahmenzenario B „Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf allen Ebenen“ verwendet.

Durch einen Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur nach dem Stand der Technik werden Komfort und Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer verbessert. Dies erhöht vor allem die Chancen der Radverkehrsnutzung für Wegedistanzen, bei denen andere Verkehrsmittel über keinen nennenswerten Vorteil bzgl. der Reisezeit verfügen. Bei Wegen bis zu fünf Kilometer ist das gegenüber dem Auto der Fall. Hier liegen die Gründe für die Nutzung des Autos nicht beim Reisezeitvorteil, sondern eher bei Gesichtspunkten wie Komfort- und Sicherheitserwägungen, Gepäcktransport, Imagefragen oder einfach nur Bequemlichkeit und Gewohnheit. Das Verlagerungspotenzial bei den kurzen Wegen kann neben Infrastrukturverbesserungen vor allem auch durch Image- und Aufklärungskampagnen erschlossen werden.

Tabelle 16: Maßnahmenübersicht des Maßnahmenzenarios A (Eigene Darstellung)

Szenario A Förderung des Systems Radverkehr	
Infrastruktur	Geschlossene Radverkehrsnetze
	Radverkehrsanlagen nach dem Stand der Technik
	Wegweisung
	Fahrradabstellanlagen
	Verknüpfung mit ÖPNV (Fahrradverleihsysteme, Fahrradmitnahme)
	Sondermaßnahmen (Fahrradstationen/Mobilitätszentralen, Fahrrad-schnellwege, Förderung und Berücksichtigung von Pedelets
Information	Mobilitätsschulung und Mobilitätsberatung
	Mobilitätsmanagement
	Werbe- und Informationskampagnen
	Informations- und Weiterbildungsangebote für Entscheidungsträger und Fachleute
Preispolitik	Förderung von Dialog und Netzwerken
	Budgets für harte und weiche Radverkehrsmaßnahmen
	Steuerliche und betriebliche Incentives für die Fahrradnutzung
Recht	Staatliche Förderprogramme für den Radverkehr
	Stellplatzpflicht für Fahrräder
	Besondere Abwägungserfordernisse der Sicherheit nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer, gleichzeitige Abwägung von Fahrkomfort und Fahrradstraßen, Aufhebung von Einfahrverboten, etc.
	Fahrradfreundliche Lichtsignalanlagen
Sonstiges (u. a. Organi-sation und Betrieb)	Qualitätsmanagement, Verkehrssicherheitsaudits und -analysen,
	Serviceangebote
	Radverkehrsbeauftragte und AG Radverkehr
	Radverkehrs- und Fußgängerführung an Baustellen
	Reinigung und Winterdienst von Radverkehrsanlagen

Das Potenzial zur Verlagerung von längeren MIV-Wegen lässt sich vermehrt durch Beschleunigungsmaßnahmen im Radverkehr erschließen. Im Rahmen des Reisezeitbudgets jeder Person kann so ein größerer Radius erschlossen werden und der Reisezeitvorteil bei Autonutzung zu Gunsten der Fahrradnutzung verschoben werden. Beschleunigung ist dabei nicht vorrangig im Sinne der Steigerung der Höchstgeschwindigkeiten zu sehen, sondern als Komplex aller Maßnahmen zur Verkürzung der Tür-zu-Tür-Reisezeit. Dazu gehören u. a.:

- Separate, möglichst kreuzungsfreie Führung der Radverkehrshaupttrouten
- Signaltechnische Beschleunigung des Radverkehrs („Grüne Welle“ möglichst auch für Radfahrer)
- Abkürzungen, z. B. durch Öffnung von Sackgassen und Einbahnstraßen in Gegenrichtung
- Ebenerdige und eingangsnaher Abstellanlagen
- Direktes Linksabbiegen ermöglichen
- Pedelecs oder Fahrradlift zur raschen Überwindung von Höhenunterschieden.

Es ist zu beachten, dass eine gleichzeitige Beschleunigung des innerörtlichen MIV in der Regel Sicherheitsrisiken erhöht (stadtverträgliche Geschwindigkeit) und die Zeitvorteile des Radverkehrs wieder zu Nichte machen kann.

Insbesondere durch eine abgestimmte Kombination von Radnutzung und Öffentlichem Verkehr (B+R, Öffentliche Fahrräder, Fahrradmitnahme¹⁶) lassen sich weitere Potenziale zur Verlagerung längerer MIV-Wege erschließen. Die Verknüpfung der Vorteile von Rad und ÖPNV macht dieses System konkurrenzfähiger, u. a. München mit seinem ambitioniertem B&R-System ist dafür ein gutes Beispiel.

Netzvorteile des Radverkehrs gegenüber dem MIV sind ebenfalls ein Mittel zur Generierung von Radfahrten. So lassen sich in Kiel deutliche Steigerungen der Radnutzung beobachten, nachdem durch den Bau der Frauenbrücke die Radrelationen von vier Kilometer auf einen Kilometer Länge verkürzt wurde.

Beschleunigungsmaßnahmen des Radverkehrs könnten mit Kfz-Regelgeschwindigkeiten von 30 km/h z. T. auch im Vorbehaltsnetz kombiniert werden und so das Geschwindigkeitsniveau von MIV und Radverkehr angleichen. Das Beispiel Köln zeigt, dass sich damit auch Grüne Wellen gemeinsam für Kfz-Verkehr und schnelle Radfahrer installieren lassen. Hier

¹⁶ Aufgrund hohen Ressourcenbedarfs für die Fahrradmitnahme sollte es das Ziel sein, dass die Fahrradmitnahme durch ein hochwertiges Angebot an Leihfahrrädern sowie B&R-Plätzen substituiert wird, vgl. AHRENS ET AL. (2010).

wurde eine Geschwindigkeit von 30 km/h empfohlen und gleichzeitig die Benutzungspflicht der Radverkehrsanlage aufgehoben.

Den Bedürfnissen der Radfahrer nach sicherer und direkter Radverkehrsführung kann in Erschließungsstraßen in der Regel ohne gesonderte Radverkehrsanlagen durch Mitbenutzung der Fahrbahn entsprochen werden. Hier ist ein angepasstes Geschwindigkeitsniveau des Kfz-Verkehrs sicher zu stellen (bauliche Verkehrsberuhigung, Tempo-30-Zone etc.). Im Hauptstraßennetz kann eine vom Kfz-Verkehr separate Führung des Radverkehrs durch straßenbegleitende, baulich abgesetzte Radwege oder durch Markierungslösungen auf Fahrbahnniveau (Radfahrstreifen, Schutzstreifen) erfolgen. Letztere haben den Vorteil, dass durch den Sichtkontakt mit dem Kfz-Verkehr unter anderem Abbiegeunfälle an Kreuzungen verringert werden, so dass auch bei hohem Radverkehrsaufkommen kaum Kapazitätsbeschränkungen bestehen, Interferenzen mit Fußgängern vermieden werden und die Einrichtung meist mit geringem Aufwand möglich ist.

Das Radverkehrspotenzial hinsichtlich einer schnellen und komfortablen Radverkehrsführung kann so oftmals schon durch einfache Markierungslösungen mit geringem Aufwand weitgehend erschlossen werden. Nachteilig bei einer Führung des Radverkehrs auf Radfahrstreifen und Schutzstreifen sind die Gefahren, die von haltenden oder parkenden Fahrzeugen auf diesen Streifen ausgehen, so dass sie weniger den Bedürfnissen sogenannter schwacher Verkehrsteilnehmer (Kinder/Eltern, Ältere) nach subjektiv sicherer Radverkehrsführung entspricht. Insbesondere diese Personengruppen fühlen sich erst auf baulich abgesetzten Radwegen bzw. bei Radverkehrsführung auf Gehwegniveau ausreichend sicher. In deutschen Regelwerken, der Rechtsprechung und der Planungspraxis wird deshalb mehr und mehr eine Fahrbahnführung in Verbindung mit einer „Radfahrer frei“-Regelung auf Gehwegniveau eingeführt, allerdings dürfen sich Radfahrer auf so gekennzeichneten Gehwegen nur mit Schrittgeschwindigkeit bewegen.

In deutschen Städten wie Münster oder Bremen, die über eine lange Fahrradtradition verfügen und in denen der Radverkehr großflächig über baulich abgesetzte Radwege geführt wird, ist zunehmend eine Überlastung der bestehenden Radverkehrsanlagen zu beobachten. Hier wird angenommen, dass eine notwendige Neuaufteilung des Straßenraumes zu Gunsten des Radverkehrs zunehmen wird.

Weiterhin kann die Verlagerung längerer Wege durch Radschnellwege gefördert werden. Diese binden insbesondere das Umland ein oder verbinden Städte.

Selbst unter heutigen Bedingungen lassen sich mit Mitteln der Standard-Radverkehrsförderung als System auch eine Reihe von Verlagerungspotenzialen bei Wegelängen >5 km und selbst bei Wegelängen >15 km erschließen (vgl. Abbildung 32, S. 63).

Hier setzen beispielsweise Maßnahmen der Mobilitäts- sowie Gesundheitsberatungen in Betrieben an. Positiven Gesundheitswirkungen werden körperlichen Betätigungen von täglich mehr als 30 min Dauer zugeschrieben. Diese finden sich auf regelmäßigen Wegen wie zur Arbeit oder Ausbildung mit längerer Entfernung. Arbeitgeber können für die Radnutzung Incentives wie z. B. sehr arbeitsplatznahe Abstellanlagen oder besondere Prämierungen anbieten.

Ein weiterer Bestandteil des Maßnahmen szenarios ist der vermehrte Einsatz von Pedelecs und anderen Elektrofahrrädern. Obwohl elektrisch unterstützte Fahrräder derzeit nur selten genutzt werden, weist ihr Verkauf sehr hohe Zuwachsraten auf. Ihr Einsatz verspricht die Erschließung von neuen Radverkehrspotenzialen insbesondere in hügligen Regionen sowie bei weiten Wegen von bis zu 20 – 30 km Länge. Aufgrund spezieller Anforderungen durch hohes Gewicht, gutes Beschleunigungsvermögen und ein teilweise hohes Geschwindigkeitsniveau benötigen Pedelec-fahrer verstärkt qualitativ hochwertige Radverkehrsanlagen. Dies betrifft in erster Linie ausreichende Dimensionierung sowie eine hinreichende Separierung vom Fußgängerverkehr. Weiterhin wichtig sind ebenerdige, bewachte oder anderweitig gesicherte Fahrradparkanlagen sowie Ladesysteme.

In erster Näherung könnte angenommen werden, dass durch den Einsatz von Pedelecs hügelige Städte potenziell eine mit flachen Städten vergleichbare Fahrradnutzung erreichen können. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass topografisch bewegte Städte zumeist historisch gesehen nicht nur einen aufzuarbeitenden Nachholbedarf in der Radverkehrsinfrastruktur sowie auch hinsichtlich der öffentlichen Meinung und Akzeptanz des Fahrrades als Alltagsverkehrsmittel haben. Im Parallelvorhaben (BMVBS/BSV-Projekt, vgl. Kap. 2.2) wurde für sogenannte „Pedelectrisierungs-Szenarien“ in den Modellstädten Gütersloh und Coburg jeweils ca. ein Drittel höhere Fahrleistungs- und CO₂-Einsparungen im Vergleich zum Standard-Szenario harter und weicher Maßnahmen ermittelt.

Das Maßnahmen szenario der Radverkehrsförderung als System wird nicht regional differenziert. Für Städte mit unterschiedlichem Ausgangsniveau des Radverkehrs gestaltet sich der zeitliche wie finanzielle Aufwand zur Ausschöpfung der Radverkehrspotenziale unterschiedlich und in diesem Kontext auch die reell erreichbare Fahrradnutzung bzw. CO₂-Einsparung im Kfz-Verkehr. In Abhängigkeit vom Ausgangszustand können unterschiedliche Herangehensweisen an die Radverkehrsförderung nötig sein. Dies betrifft auch den für den NRVP 2020 geplanten Förderschwerpunkt ländlicher Raum. Die im Maßnahmen szenario der Radverkehrsförderung als System beschriebenen Maßnahmen konzentrieren sich auf die Schaffung ausreichender Angebote für Radfahrer, insbesondere bezüglich der Infrastruktur. Vor dergründig werden damit Alternativen zur Verlagerung möglichst von MIV-Fahrten auf das Fahrrad geschaffen. Es wird davon ausgegangen, dass für den besprochenen Typ von Maßnahmen der Anreiz zur grundsätzlichen Änderung von Lebensgewohnheiten und damit der

Quelle-Ziel-Beziehungen der Bevölkerung hinsichtlich einer Verkehrsvermeidung sich nicht signifikant ändert (vgl. Abbildung 45, S. 86). Verkehrsvermeidung und kürzere Wege können erst stattfinden, wenn Mobilitätsbedürfnisse stärker im Nahraum befriedigt werden. Dies ist stark an den Wohnstandort, sowie Autobesitz gekoppelt.

Mittels konventioneller Radverkehrsförderung im Maßnahmenzenario A können die sich durch Verkehrsvermeidung bietenden Potenziale nur sekundär und damit eher beschränkt erschlossen werden. Erst im zweiten Maßnahmenzenario B werden Maßnahmen einbezogen, die v. a. auch raumstrukturelle und Verhaltensänderungen direkter und wirkungsvoller ansprechen.

5.3 Maßnahmenzenario B: Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf allen Ebenen

Da das muskelkraftbetriebene Fahrrad eine begrenzte Reichweite aufweist, zeigen sich die heutigen Beschränkungen im Radverkehrspotenzial zu großen Teilen als Ergebnis einer historischen Entwicklung zu immer längeren Wegen im Kontext expandierender Siedlungsstrukturen. Das im Folgenden in Ergänzung zum Maßnahmenzenario A beschriebene Maßnahmenzenario B betrachtet deshalb die Radverkehrsförderung als Bestandteil einer weitergehenden, offensiven CO₂-Minderungspolitik, so dass kurze Wege sich wieder lohnen, lange MIV-Wege vermieden werden und durch eine überproportionale Verteuerung der Nutzung privater Kfz zunehmend die Verkehrsmittel des Mobilitätsverbundes genutzt werden. Dadurch wird sich das Siedlungssystem wieder zunehmend kompakt entwickeln.

Die äußeren Triebkräfte des Szenarios sind absehbare globale Tendenzen. Dies betrifft zum einen die Verknappung an Ressourcen (insbesondere Erdöl), verbunden mit einer weltweit steigenden Nachfrage danach. Im Ergebnis ist nicht nur mit einem weiter steigenden Preis zu rechnen, sondern nach RAMMLER (2012) auch mit einer stärkeren Preisschwankung. Damit wird die private Autonutzung teurer und immer weniger berechenbar, der relative Kostenvorteil des Fahrrades und der anderen Verkehrsmittel des Umweltverbundes wird zunehmend größer. So lassen sich schon heute bei uns deutliche Reurbanisierungstendenzen und somit Chancen für Entwicklungen wieder hin zu verkehrsärmeren Strukturen feststellen.

Ergänzende Komponenten, die die private Autonutzung verteuern und erschweren, sind immer anspruchsvollere Grenzwerte für Emissionen und Immissionen (Luftreinhaltung und Lärmschutz) sowie die in Städten immer knapper werdenden Flächen für den fließenden, vor allem aber für den ruhenden Verkehr.

Verkehrs- und auch sozialpolitisch wird die Daseinsvorsorge bezüglich einer Mobilitätssicherung kaum mehr durch Autos für alle zu leisten sein, sondern zunehmend durch verträglichere und kostengünstigere alternative Mobilitätsangebote (v. a. den konventionellen öffentli-

chen Verkehr, allerdings zunehmend abgestimmt, ergänzt und vernetzt mit neuen Mobilitätsdienstleistungen wie z. B. Mitfahrzentralen, öffentliche Autos des klassischen CarSharing sowie des flexiblen CarSharing-on-Demand, Fahrradverleihsysteme, Taxen etc.). Insbesondere die verkehrspolitische Förderung von Mobilitätsangeboten, die den privaten Autobesitz zunehmend überflüssig machen, kann zu deutlichen Verhaltensänderungen bei den Verkehrsteilnehmern führen.

2008 verfügten bereits 43 % der Bevölkerung in den SrV-Pegelstädten über kein Kfz (Führerschein und Auto im Haushalt). Diese Menschen nutzen für ihre Mobilität Kraftfahrzeuge halb so viel wie Menschen mit Pkw-Verfügbarkeit (57 % der Bevölkerung in den Pegelstädten des SrV 2008, vgl. Abbildung 48).

Insgesamt		100	42	58
Personengruppen		Bevölkerungsanteil in %	MIV % aller Wege	Umweltverbund % aller Wege
Mit Pkw-Zugang	• 18 – 65 Jahre, berufstätig	33	64	36
	• 18 – 65 Jahre, nicht berufstätig	13	43	57
	• über 65 Jahre	11	49	51
	Gesamt	57	57	43
Ohne Pkw-Zugang	• unter 18 Jahre	13	32	68
	• 18 – 65 Jahre, berufstätig	8	24	76
	• 18 – 65 Jahre, nicht berufstätig	10	13	87
	• über 65 Jahre	12	11	89
	Gesamt	43	21	79

Abbildung 48: Modal Split der Personengruppen mit und ohne Auto im SrV-Städtepegel

(Eigene Darstellung)

Erstmals seit Beginn der Aufzeichnung des Verkehrsverhaltens durch Haushaltsbefragungen im Jahr 1972 nahm zwischen 2003 und 2008 der Anteil der Haushalte ohne Pkw in den Pegelstädten des SrV von 34 % auf 37 % zu. Dieser Durchschnittswert der Pegelstädte steigt deutlich mit der Stadtgröße und Angebotsqualität des ÖPNV. So lag der Prozentsatz der Haushalte ohne Pkw im Jahr 2008 in Düsseldorf bei 38 %, in Dresden bei 40 %, in Leipzig bei 42 % und in Berlin bei 45 %. Der immer teurer werdende private Autobesitz sowie gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Mobilität auch ohne eigenes Auto werden dazu führen, dass immer mehr Menschen wieder in die Städte bzw. die Nähe ihrer Arbeitsplätze ziehen und auf eigene Autos verzichten. Da die Nutzung öffentlicher Autos den Preisvergleich ÖPNV und Autonutzung unmittelbar verdeutlicht, werden dann mehr Fahrten mit dem ÖPNV als mit dem Auto erledigt. Maßnahmen, die diese aus verkehrs- und umweltpolitischer Sicht gewünschte Entwicklung fördern, sind in Tabelle 17 zusammengestellt.

Tabelle 17: Maßnahmenübersicht des Maßnahmen szenarios B (Eigene Darstellung)

Szenario B Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf allen Ebenen (ergänzend zu den Maßnahmen von Szenario A)	
Infrastruktur	Ausbau der Anlagen des Mobilitätsverbundes
	Flächendeckende Netze von „Mobil-Punkten“
Information	Ausdehnung der Informations- und Beratungsangebote auf die multi-modale Nutzung des Mobilitätsverbundes
	Nutzerfinanzierung des Straßenverkehrs auf Landkreis-, Kreis- und Gemeindeebene
Preispolitik	Indirekte Nutzer- bzw. ÖPNV-Erschließungsgebühr
	Neuordnung der Kfz-Steuer
	Reform der Finanzierung eines nachhaltigen Stadtverkehrs
	Incentives für die Nutzung öffentlicher Fahrzeuge (ÖPNV inkl. CarSharing und Leihfahrräder)
	Förderung integrierter Standorte, ggf. Verkehrserzeugungsabgaben
	Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung
Recht	Geschwindigkeitsbeschränkungen auf BAB, Land- und Stadtstraßen
	CarSharing- und Fahrradverleihstationen im öffentlichen Straßenraum als privilegierte Nutzung
	Nachweis von Fahrradstellplätzen
	Gesetzlich vorgeschriebenes betriebliches Mobilitätsmanagement
Sonstiges (u. a. Organisation und Betrieb)	Intensivierte Geschwindigkeits- und Parkraumüberwachung
	Verbessertes multimodales Dienstleistungsangebot

Verkehrspolitik und CO₂-Minderung werden im Szenario B über vernetzt wirkende Maßnahmen auf allen Ebenen und in unterschiedlichen Sparten als Gemeinschaftsaufgabe von Bund, Ländern und Kommunen verstanden. Grundlegende Voraussetzung für das erweiterte Maßnahmen szenario ist langfristig gesehen die Entwicklung von verdichteten und reurbanisierten, dezentral konzentrierten Stadtstrukturen. Integrierte Wohnstandorte mit nahegelegenen Infrastrukturen und Versorgungseinrichtungen führen zu kürzeren Wegen und damit besseren Voraussetzungen für das Radfahren, Zu-Fuß-Gehen und den Verzicht auf das eigene Auto.

Auf dem Schritt für Schritt zu begehenden Weg zu den beschriebenen Strukturen sind nach und nach entsprechende Maßnahmen und Rahmenbedingungen zu schaffen. Dies betrifft u. a. integrierte Mobilitätsangebote wie CarSharing oder Öffentliche Fahrradverleihsysteme, Informationsangebote wie Wohnstandortberatung oder Mobilitätsbildung in Schulen, aber auch Parkraummanagement/-bewirtschaftung und weitere preis- und ordnungspolitische Maßnahmen. Es ist anzunehmen, dass sich über eine stringente flächendeckende Nutzerfinanzierung des Verkehrs ein großes Potenzial für Verhaltensbeeinflussung ergibt. Städte wie London oder Stockholm zeigen, dass durch die isolierte Einführung einer City-Maut die Kfz-Verkehrsnachfrage im Bereich von -20% deutlich gesenkt werden konnte.

Die beschriebenen Strukturen und Angebote sind im ländlichen Bereich nur beschränkt möglich, auch wenn Modelle wie alternative Bedienformen im ÖPNV, Mitfahrgelegenheiten oder Pedelecs punktuell Potenziale für Verbesserungen bieten. Deshalb wurden in der Variations-

rechnung „Autonutzung statt -besitz“ entsprechende Gebiete mit geringer Siedlungsdichte sowie geringer ÖPNV-Erschließung und Nahversorgung nicht berücksichtigt.

Die steigenden Kfz-Kosten und Rahmenbedingungen werden schrittweise zu einer Änderung von Lebensstilen und Lebensweisen führen. Personen ohne Auto suchen eher Freizeit- und Einkaufsgelegenheiten in der Nähe auf und vermeiden durch ihre Wohnstandortwahl die Notwendigkeit, sich für regelmäßige Wege, insbesondere dem zur Arbeit, autoabhängig zu machen.

Eine diesbezüglich notwendige Daseinsvorsorge kann von den Aufgabenträgern effizient gewährleistet werden, wenn ÖPNV, Fußgängerverkehr, Radverkehr und CarSharing als Mobilitätsverbund ausgebaut und intensiv ohne Mobilitätseinschränkungen genutzt werden.

Das Maßnahmenzenario greift aktuelle Trends von Einstellungs- und Verhaltensänderungen auf. Bei jungen Menschen ist zurzeit deutlich zu beobachten, dass sie weniger Autos kaufen und nutzen. Mit neuen Informationsmöglichkeiten (Smartphones) navigieren sie sich überaus geschickt und kostengünstig durch das immer besser werdende multimodale Mobilitätsangebot. Dies hat seit 2003 neben dem demografischen Wandel (u. a. nachlassende Wegehäufigkeit im Alter) und Mobilitätseinschränkungen aus wirtschaftlichen Gründen zu deutlichen Rückgängen vor allem beim städtischen MIV geführt¹⁷. Die Tendenzen können durch geeignete Maßnahmen, vor allem einer entsprechenden Infrastruktur (Umverteilung von Flächen, individualisierte neue Mobilitätsdienstleistungen - möglichst als Teil des ÖPNV - und offensiver Informations- und Preispolitik) gefördert werden.

Ausgehend vom Stand des Wissens, dass öffentliche Leihfahrräder und CarSharing-Angebote wie der ÖPNV zur Reduktion des Autoverkehrs und verstärkter Nutzung des Mobilitätsverbundes beitragen, sollten diese ebenso wie Taxen, Bussen und Bahnen durch die StVO im öffentlichen Straßenraum privilegiert werden.

Wesentliche Hemmnisse auf dem Weg zu einer „Stadt der kurzen Wege“ treten auch verwaltungsseitig durch sektorales Denken auf. Große Einflüsse kommen aus den betriebswirtschaftlichen Entscheidungszwängen bzgl. Boden- und Immobilienpreisen sowie der früher steuerlichen Förderung des Einfamilienhauses und der steuerlichen Unterstützung weiterer beruflicher Wege durch die Kilometerpauschale sowie auch der Förderung einer doppelten Haushaltsführung. Auch hier wird im Maßnahmenzenario unterstellt, dass durch entsprechende Gesetzesänderungen klimapolitisch kontraproduktive Subventionen abgebaut werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Maßnahmenzenario B zusätzlich zum Maßnahmenzenario A bedeutend größere Potenziale zur Reduktion von CO₂-Emissionen

¹⁷ vgl. MiD und SrV 2008, Straßenverkehrszählungen in Großstädten seit Mitte der 1990er Jahre

erschließt, weil die Vermeidung langer Wege und die Reduzierung von privatem Autobesitz zentrale Zielgrößen einer integrierten Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf allen Ebenen darstellen.

5.4 Wirkungsabschätzung der Maßnahmenzenarien

Wie genau die Einzelmaßnahmen sowie ihre komplexen Überlagerungen in den Maßnahmenzenarien wirken, kann nicht exakt mit vorliegenden Modellen bestimmt werden. Mit den Variationsrechnungen konnte jedoch gezeigt werden, wie Modal Split, Verkehrsleistung und Emissionen der deutschen Bevölkerung im Jahr 2008

- auf Veränderungen der Fahrzeuge („Grüne Flotte“),
- auf Verkehrsverlagerungen bei kurzen Wegen („Kurze Wege mit dem Rad“),
- auf die Realisierung eines als möglich wahrgenommenen Verhaltens („Wahrnehmung des Rades als Option“),
- auf die Übertragung des Verhaltens mit und ohne Pkw-Zugang („Autonutzung statt -besitz“) sowie
- auf die Übertragung des Verhaltens aus verkehrssparsamen Beispielstädten auf alle ähnlichen Städte („Orientierung an Trendsettern“)

reagiert. Damit spannt sich für die Maßnahmenzenarien ausgehend von den zugeordneten Wirkprinzipien (verlagernd/vermeidend) der in Abbildung 49 dargestellte Wirkungsbereich für die Reduktion von CO₂-Emissionen auf.

Da keine exakte „Berechnung“ der Wirkung der Szenarien möglich ist (insbesondere Superposition bzw. Verknüpfung der Effekte aus weichen Maßnahmen), sind in Abbildung 49 nur die Größenordnungen denkbarer Effekte angegeben. Ausgehend von den Variationsrechnungen, die entsprechend des Modellansatzes Ergebnisse für den mittleren Werktag liefern, wurden die prozentualen Reduktionen auf die CO₂-Emissionen gemäß TREMOD für das Basisjahr 2008 (vgl. Tabelle 11, S. 43) übertragen.

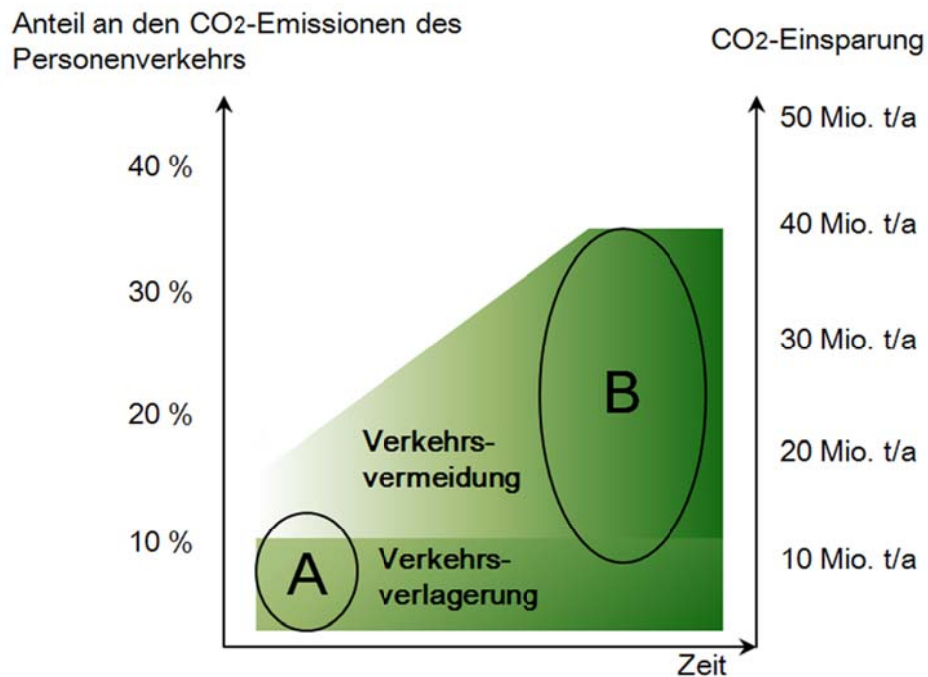


Abbildung 49: Wirkungsabschätzung der Maßnahmenzenarien „A“ und „B“ hinsichtlich der Reduktion von CO₂-Emissionen (Eigene Darstellung)

Während das Maßnahmenzenario A schwerpunktmäßig auf Angebot und Nachfrage des Radverkehrs abzielt, greift das Maßnahmenzenario B weiter (vgl. Abbildung 45 sowie Abbildung 46), so dass die zugeordneten hypothetischen Variationsrechnungen einen größeren Bereich denkbarer Wirkungen überspannen. Während die Maßnahmen des Szenario A bereits kurzfristige Wirkung zeigen können, entwickeln sich (u. a. siedlungsstrukturell begründete) Vermeidungswirkungen erst im längeren Zeithorizont, so dass hier ein Potenzial aufgezeigt wird, dass nur langsam und schrittweise mit einer entsprechenden Politik ausgeschöpft werden kann.

Die ermittelten Größenordnungen von CO₂-Minderungspotenzialen für das Maßnahmenzenario A „Radverkehr als System“ liegen ziemlich genau im Bereich der im Tabelle 1 (S. 8) ermittelten Werte für Radverkehrspotenziale zur CO₂-Minderung aus der Literatur. Diese beschränkten sich fast ausschließlich auf die eher konventionellen Ansätze der „Verkehrsverlagerung“ und ergaben für Deutschland Einsparungen zwischen vier Mio t/a und 13,5 Mio t/a. Die ermittelten Größenordnungen von CO₂-Minderungspotenzialen für das Maßnahmenzenario B „Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO₂-Minderungspolitik auf allen Ebenen“ erreichen als Obergrenze bereits ohne Berücksichtigung motortechnischer und kraftstoffseitiger Maßnahmen fast den in Kap. 1.1 für Deutschland genannten Zielwert von 40 Mio t/a (bzw. 40 % Reduktion).

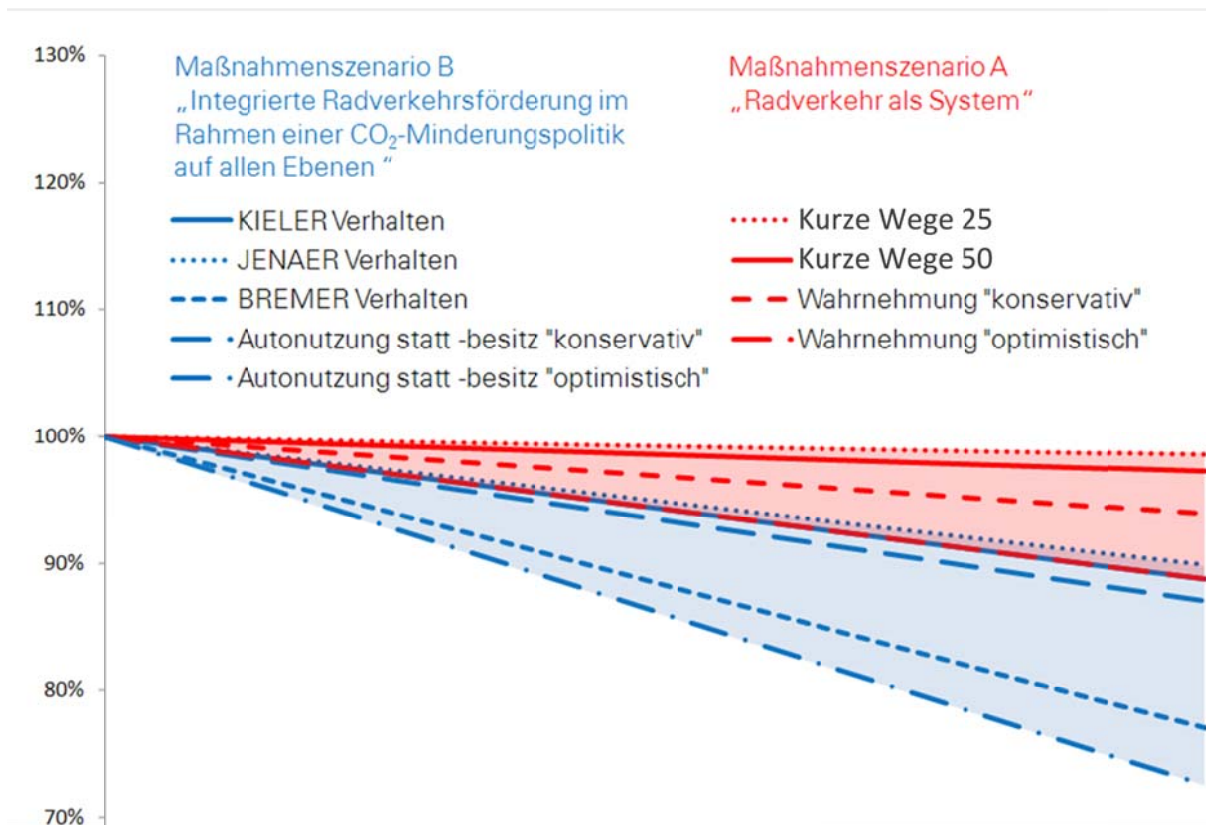


Abbildung 50: CO₂-Emissionen, Zuordnungsansatz von Maßnahmenzenarien und Variationsrechnungen (Eigene Darstellung)

Der gewählte Ansatz, den Maßnahmenzenarien korrespondierende Variationsrechnungen zuzuordnen, ist nicht trennscharf. Er wurde pragmatisch a priori gewählt und soll mögliche Größenordnungen der Wirkungen vermitteln. In Abbildung 50 ist das Zuordnungsprinzip für die CO₂-Emissionen dargestellt. Die relativ klare Trennung der Zuordnungstrichter für Maßnahmenzenario A (rot) und Maßnahmenzenario B (blau) war vorher so nicht absehbar. Für andere Emissionsarten treten teilweise bedeutend stärkere Überlappungen auf.

Im Anhang III sind auch die Ergebnisse in dieser Index-Darstellungsart für die Steigerungen der Modal-Split-Anteile und Fahrleistungen des Radverkehrs, Reduktionen der Modal-Split-Anteile und Fahrleistungen des MIV sowie Reduktionen der Emissionen an CO₂, NO₂, Partikel, CO und HC dargestellt.

Die mit dem Maßnahmenzenario A korrespondierenden Ansätze für Variationsrechnungen erzeugen besonders große Steigerung des Radverkehrsanteils am Modal Split und der Radverkehrsleistung (jeweils eine Vervielfachung!). Für die resultierenden Emissionsminderungen sind jedoch die Fahrten und Fahrleistungen der Kraftfahrzeuge und insbesondere des MIV relevant. Bei den MIV-Fahrleistungen sowie den Schadstoffemissionen weisen die mit dem Maßnahmenzenario B korrespondierenden Ansätze für Variationsrechnungen in der Regel die größeren Minderungspotenziale auf.

Bemerkenswert ist, dass der im „Kieler Verhalten“ enthaltene hohe Anteil von kurzen MIV-Fahrten zwar realisierte Potenziale zur Verringerung der MIV-Fahrleistung enthält, bei den kaltstartrelevanten CO- und HC-Emissionen jedoch kaum Verbesserungen liefert. Dies ist nicht szenariotypisch, sondern muss im Sinne eines „Ausreißers“ behandelt werden, da die Maßnahmenzenarien eine Reihe von Maßnahmen zur Verlagerung und Vermeidung gerade kurzer Wege implizieren.

Zu diskutieren ist weiterhin die Überlagerung der im Kapitel 5.2 und 5.3 entwickelten verhaltensorientierten Maßnahmenzenarien mit Technikszenarien. Der Einsatz verbrauchs- und emissionsärmerer Motoren und Kraftstoffe wirkt – abgesehen von entsprechenden Rebound-Effekten – ergänzend zu den aufeinander aufbauenden Maßnahmenzenarien A und B. Die Anteile der verhaltensorientierten Maßnahmenzenarien werden jedoch relativ gesehen kleiner.

Ein Rechenbeispiel dafür ist die Variationsrechnung „Grüne Flotte“, die bei Übertragung der Fahrzeugflotte von 2020 auf das Verkehrsverhalten des Basisjahres 2008 eine Reduktion der CO₂-Emissionen von – 21% ergeben würde. Verhaltensänderungen, die zusätzlich zu einer Reduktion der Fahrleistung führen, gehen dann nur noch mit 79% der ursprünglich für das Jahr 2008 berechneten Höhe ein.

6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die in den Jahren 2010 – 2012 bearbeitete Untersuchung „Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz“ (UBA/TUD) wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführt. Sie wurde in enger Abstimmung mit dem vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) beauftragten und von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) betreuten Vorhaben „Einsparpotenziale des Radverkehrs im Stadtverkehr“ (BMVBS/BSV) realisiert.

Das Parallelvorhaben aus dem Forschungsprogramm Stadtverkehr des BMVBS führte Verkehrsmodellrechnungen in den drei Modellstädten Coburg, Gütersloh und Mönchengladbach durch, um ähnliche Forschungsfragen zu beantworten. Entwickelt wurden stadtspezifische Szenarien mit diversen Maßnahmen zur integrierten Förderung des Radverkehrs inklusive eines verstärkten Einsatzes von Pedelecs. Diese Analysen und Berechnungen zeigten, dass eine Reduzierung der Kfz-Fahrleistungen und damit Reduzierung von CO₂-Emissionen in allen Beispielstädten möglich ist. Sie betrug für die jeweils konkreten Randbedingungen auf der Grundlage der durchgeführten Berechnungen in Coburg bis zu drei Prozent, in Gütersloh zehn Prozent und in Mönchengladbach 13 Prozent.

„Deutliche Wirkungen in allen Beispielstädten konnten schon in den Szenarien, weiche und harte Maßnahmen, welche eine regelwerkkonforme Umsetzung der vorhandenen Radverkehrsanlagen beinhalteten, nachgewiesen werden. Durch eine Pedelectrisierung der Bevölkerung entstehen weitere hohe Potenziale.“ (BMVBS/BSV, S. 82) - Die mit der Stärkung des Radverkehrs erzielte Reduktion der Kfz-Fahrleistungen in Gütersloh und Mönchengladbach führte zu einer Verringerung der Verkehrsstörungen und damit zu zusätzlichen CO₂-Minderungseffekten. Insgesamt wurde deutlich, dass aufgrund der kurzen Wegelängen des Radverkehrs CO₂-Minderungen durch konventionelle Maßnahmen zu seiner Verbesserung in einer Größenordnung von drei Prozent möglich sind. Diese ließen sich in den Modellrechnungen auf 13 Prozent steigern (Mönchengladbach), wenn weitere flankierende integrierte Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung umgesetzt und damit eine bewusster Mobilität der Bevölkerung angestrebt werden.

Im Unterschied zu den Berechnungen in drei einzelnen Städten wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durch die Technische Universität Dresden das Modell *ProFaiR* entwickelt, mit dem Ergebnisse für ganz Deutschland ermittelt wurden.

Auf der Grundlage von Daten des Jahres 2008 aus den Großerhebungen „Mobilität in Städten“ (SrV) und „Mobilität in Deutschland“ (MiD) wurden über sogenannte Variationsrechnungen verkehrliche und Umwelteffekte aus folgenden Wirkungsnahmen berechnet:

Wirkungsannahmen zur Maßnahmengruppe Technik (T):

Modernisierung nur der Kfz-Fahrzeugflotte (Grüne Flotte)

- T1 Emissionsberechnung für die Fahrleistungen des Jahres 2008 mit den voraussichtlichen Emissionen der Fahrzeugflotte des Jahres 2015
- T2 Emissionsberechnung für die Fahrleistungen des Jahres 2008 mit den voraussichtlichen Emissionen der Fahrzeugflotte des Jahres 2020

Wirkungsannahmen zur Maßnahmengruppe A:

Förderung des „Radverkehrs als System“

- A1. Kurze Wege mit dem Rad 25 (Substitution von 25 % der privaten Kfz-Fahrten kürzer als 5 km durch das Fahrrad)
- A2. Kurze Wege mit dem Rad 50 (Substitution von 50 % der privaten Kfz-Fahrten kürzer als 5 km durch das Fahrrad)
- A3. Wahrnehmung des Rades als Option „konservativ“ (Einsatz des Fahrrades für alle als gut und sehr gut erreichbar eingeschätzten Ziele in „flachen“ Gemeinden und nur für alle sehr gut erreichbaren Ziele in „hügeligen“ Gemeinden)
- A4. Wahrnehmung des Rades als Option „optimistisch“ (Einsatz des Fahrrades für alle als gut und sehr gut erreichbar eingeschätzten Ziele in „flachen“ und „hügeligen“ Gemeinden)

Wirkungsannahmen zur Maßnahmengruppe B:

Integrierte CO₂-Minderungspolitik für den Bereich Verkehr auf allen Ebenen („Bewusste Mobilität“)

- B1. Autonutzung statt Besitz „konservativ“ (Übertragung des Verhaltens von Personen ohne Pkw auf Personen mit Pkw an Wohnstandorten mit mehr als 150 EW/km², ÖV-Haltestelle näher 500 m und Einzelhandelsversorgung mit mehr als 400 m² Verkaufsfläche näher als 800 m)
- B2. Autonutzung statt Besitz „optimistisch“ (Übertragung des Verhaltens von Personen ohne Pkw auf Personen mit Pkw an Wohnstandorten mit mehr als 150 EW/km², ÖV-Haltestelle näher 500 m)
- B3. bis B5.
Orientierung an Trendsettern (Übertragung des Verhaltens aus den Musterstädten Jena, Kiel, Bremen auf andere Städte dieses Ortstyps)

Mit Hilfe der Modellrechnungen konnten die Reagibilitäten des Systems verdeutlicht und mögliche Wirkungen hinsichtlich Fahrleistungsänderungen sowie CO₂- und Schadstoffreduzierungen für das Bezugsjahr 2008 annäherungsweise quantifiziert werden.

Durch Vorwegnahme des im Jahr 2020 erwarteten technischen Standes der Fahrzeuge nach den Annahmen des aktuellen Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) ließen sich ohne Änderung der Fahrleistungen bereits Emissionsreduktionen in Höhe von bis zu 21 Prozent ermitteln sofern diese Minderung nicht durch eine weitere Zunahme des Kfz-Verkehrs wieder kompensiert würde. Noch größere Minderungen würden bei den Luftschadstoffen eintreten.

Die Verlagerung kurzer Kfz-Wege bis fünf Kilometer Länge bringt nur eine geringe Änderung der CO₂-Emissionen von ein bis drei Prozent des werktäglichen Personenverkehrs, da der Anteil dieser Wege an der Fahrleistung niedrig ist. Würden auch für alle als „sehr gut“ bzw. „gut“ mit dem Fahrrad erreichbar wahrgenommenen (weiter entfernten) Ziele das Fahrrad genutzt, steigt das Potenzial deutlich auf sechs bis elf Prozent der gesamten CO₂-Emissionen des werktäglichen Personenverkehrs.

Die Ergebnisse bestätigen mit den Wirkungsannahmen zur Maßnahmengruppe A, dass mit den konventionellen Maßnahmen der Radverkehrsförderung deutliche Modal-Split-Steigerungen für den Radverkehr in einer Größenordnung von über zehn Prozent möglich sind (A2: Kurze Wege 50). Würden die Menschen die von ihnen wahrgenommene Fahrraderreichbarkeit in die Tat umsetzen, würde der Fahrrad-Modal-Split in Deutschland von elf Prozent auf 38 Prozent („konservativ“) oder gar 49 Prozent („optimistisch“) ansteigen. Wegen der kürzeren Weglängen des Radverkehrs wären das aber nur sechs bzw. elf Prozent weniger gefahrene Kilometer bzw. CO₂-Minderung. – Die Substitution der kurzen Pkw-Fahrten um 25 oder 50 Prozent führt zu nur ein bis drei Prozent weniger Fahrleistung und damit auch CO₂-Minderung. Bei den Luftschadstoffen (insbesondere CO und HC) wirkt sich die Verlagerung kurzer Wege durch den Kaltstart etwas stärker aus als den CO₂-Emissionen. - Damit werden die Größenordnungen der Ergebnisse der o. g. Paralleluntersuchung im Auftrag der BAST bestätigt.

Die Wirkungen einer Verlagerung (kurzer) MIV-Wege auf das Fahrrad sind jedoch beschränkt, so lange die Aktionsräume der Verkehrsteilnehmer (Quelle und Ziel) sich nicht ändern. Erst flankierende siedlungsstrukturelle Maßnahmen und eine ergänzende steuer- und preispolitische Anreizpolitik, die mittel- bis langfristig dazu führen, dass verstärkt integrierte Standorte als Wohnlage und Aktivitätsziele genutzt werden und damit die Autoabhängigkeit reduziert wird, gestatten die Erschließung eines deutlich größeren Potenzials. Kompaktere Siedlungsstrukturen schaffen die Voraussetzung für substanziell mehr Rad- und Fußverkehr, da häufiger kurze Wege auftreten.

Die weitergehenden Wirkungsannahmen zur Maßnahmengruppe B, die stärker auf eine grundsätzliche Änderung des Mobilitätsverhaltens setzen, indem die habitualisierte Nutzung eigener Pkw durch verstärkte ÖPNV-Nutzung, Radfahren und zu Fuß gehen, aber auch durch Mitfahren und das Nutzen öffentlicher Autos abgelöst wird, führen bezogen auf den Radverkehr zu Modal-Shifts von 11 auf nur 13 Prozent („konservativ“) bzw. auf 15 Prozent („optimistisch“) aber zu signifikanten Fahrleistungsrückgängen von 19 bis 38 Prozent bzw. einer CO₂-Minderung von 13 bzw. 27¹⁸ Prozent. Hier wird deutlich, dass zur Erreichung der CO₂-Ziele nicht allein sektorale Teilmaßnahmen reichen. Vor allem wegen der besonderen CO₂-Relevanz langer Fahrten sind umfassende integrierte, nachhaltige multimodale Verkehrskonzepte zielführend, deren Maßnahmen ein bewussteres Verkehrsverhalten mit einer breiten Palette vor allem auch preispolitischer, informatorischer, siedlungsstruktureller und infrastrukturpolitischer Handlungsansätze fördern. Hierbei sind von besonderer Bedeutung neue Dienstleistungsangebote wie CarSharing oder Leihfahrräder, die als Ergänzung oder Teil des ÖPNV dazu beitragen, dass in Städten der Besitz eines immer teurer werdenden eigenen Autos zunehmend entbehrlich wird.

Die Variationsrechnungen unter Zugrundelegung des Verhaltens in Trendsetterstädten zeigen, dass Aktivitätsmuster, wie sie in bestehenden Strukturen und Verhaltensweisen in Referenzstädten anzutreffen sind, bei Übertragung auf alle Städte des jeweiligen Ortstyps Emissionsreduktionen im niedrigeren zweistelligen Bereich bewirken würden (errechnete CO₂-Einsparung elf bis 23 Prozent). Sie belegen, dass auch unter bereits heute anzutreffenden Verhaltensweisen deutliche Reduktionen möglich sind.

Deutlich wird, wie wichtig das gleichzeitig koordinierte Handeln auf allen möglichen Ebenen der CO₂-Minderung ist. Daher wurden in der Untersuchung exemplarisch mit zwei Szenarien für die Maßnahmengruppen A „Förderung des Radverkehrs als System“ und weitergehend B „Integrierte CO₂-Minderungspolitik“ („Bewusste Mobilität“) die Strategien, Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt, mit denen die Minderungspotenziale ausgeschöpft

¹⁸ Der beachtliche Unterschied zwischen den Fahrleistungsänderungen und CO₂-Minderungen ergibt sich dadurch, dass deutliche Fahrleistungszuwächse im ÖV zu verzeichnen sind.

werden können. Aktuelle Tendenzen der Energiekostensteigerung und der Emissionsgesetzgebung initiieren und unterstützen das. In Verbindung mit den zu beobachtenden Effekten der Kostensteigerung kann auch ein relativer Bedeutungsverlust der privaten Autonutzung als wichtiger Baustein zum Aufbau neuer, verkehrssparsamer Mobilitätsmuster ohne privaten Autobesitz, in denen Wege insgesamt kürzer und radverkehrsaffiner sind, gesehen werden. Adäquate ordnungsrechtliche und preispolitische Maßnahmen (Tabelle 17, S. 95) sowie siedlungsstrukturelle Weichenstellungen hin zur „Stadt der kurzen Wege“ bilden die Grundlage entsprechender Maßnahmenaktivitäten.

In ländlichen Gebieten ist eine autoarme und verkehrssparsame Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse ungleich schwieriger zu realisieren als im städtischen Umfeld. Bei Betrachtung von Ortstypen ist festzustellen, dass bei Bewohnern von ländlichen Gemeinden sowie von Klein- und Grundzentren der größte Teil der CO₂-Emissionen in Deutschland anfällt. Dies zeigt, dass sich hier Maßnahmen in besonderem Maße lohnen können, verdeutlicht jedoch auch das Dilemma einer dispersen Siedlungsstruktur, die überdurchschnittlich weite Wege erzwingt. Eine Verteuerung der Autonutzung wäre in ländlichen Gebieten besonders wirksam und würde einen besonderen Druck für die Schaffung von Alternativen zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse bedeuten. Dies betrifft die Realisierung einer in stärkerem Maße wohnortnahen Versorgungsstruktur, Schulstandortplanung etc. im Sinne einer dezentralen Konzentration, aber auch die Stärkung konventioneller und alternativer Bedienformen im ÖPNV, dessen Netz insbesondere auf die Kombination mit der Nutzung anderer Verkehrsmittel, z. B. auch von (Elektro-) Fahrrädern als Zubringer, auszurichten ist. Eine Verteuerung der Autonutzung birgt allerdings auch unbekannte Risiken für die Entwicklung ländlicher Räume.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Potenziale des Radverkehrs für die Reduktion von Klimagasemissionen in Deutschland vorhanden sind. Eine trennscharfe Abbildung nur von Radverkehrsmaßnahmen war dabei weder möglich noch sachlogisch angebracht. Die Kombination von technischen Maßnahmen zur Emissionsreduktion mit verhaltensbeeinflussenden Maßnahmenbündeln zur Verlagerung und Vermeidung von Verkehr können ein Potenzial erschließen, mit dem für Deutschland die gesetzten Ziele des Klimaschutzes - auch für den Bereich Verkehr - erreicht werden können.

7 Quellen- und Literaturverzeichnis

Ahrens, G.-A., Hellenschmidt, J., Ließke, F., Wittwer, R. (2007): Wenn zwei das Gleiche tun, erheben sie noch lange nicht dasselbe - Die Haushaltsbefragungen ‚Mobilität in Deutschland – MiD ‘ und ‚Mobilität in Städten – SrV‘ stehen vor ihrer Neuauflage“. In: Internationales Verkehrswesen, 6/2007, S. 270 – 274.

Ahrens, G.-A.; Aurich, A.-P.; Bartz, C.; Maier, R.; Schiller, C.; Winkler, C.; Wittwer, R. (2008): „Entwicklung der Straßenverkehrssicherheit und ihrer Rahmenbedingungen bis 2015/2020“. Forschungsbericht zum FE 82.301/2006 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt); Dresden, November 2008

Ahrens, G.-A., Ließke, F., Wittwer, R., Hubrich, S. (2009): Endbericht zur Verkehrserhebung ‚Mobilität in Städten – SrV 2008‘ und Auswertungen zum SrV-Städtepegel. Technische Universität Dresden, <http://www.tu-dresden.de/srv/SrV_Web/2008/download/Staedtepegel_SrV2008.pdf>

Ahrens, G.-A., Aurich, T., Böhmer, T., Klotzsch, J. (2010): Interdependenzen zwischen Fahrrad- und ÖPNV-Nutzung - Analysen, Strategien und Maßnahmen einer integrierten Förderung in Städten, TU Dresden im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Beckmann, K ; Kreitz, M (1999): Definition einer integrierten Gesamtverkehrsplanung, in: Rheinisch-westfälische Technische Hochschule Aachen (Hrsg.): Stadt Region Land, Heft 67, Aachen

Deffner, J. (2009): „Zu Fuß und mit dem Rad in der Stadt – Mobilitätstypen am Beispiel Berlins“. Institut für Raumplanung (IRPUD) der Fakultät Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund (Hrsg.), ISBN 978-3-88211-173-6, 274 S.

Europäische Kommission (2011): Weißbuch zum Verkehr; Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Generaldirektion Mobilität und Verkehr

Follmer, R.; Gruschwitz, D.; Ließke, F.; Wittwer, R (2010): Mobilität in Brandenburg und Berlin: Integrierte Auswertung MiD und SrV 2008. Bonn, aufgerufen am 29.08.2011.
<http://www.mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/MiDSrVBericht.pdf>

GfK (2010): „Nahversorgungsdichte im ländlichen Raum“. Pressemitteilung zur Studie der GfK GeoMarketing GmbH, Bruchsal, Stand: 16.04.2010, aufgerufen am: 27.05.2011
http://www.gfk-geomarketing.de/fileadmin/newsletter/pressemitteilung/nahversorgungsdichte_4-2010.html

Götze, U. (1999): Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung, o.O. 1999, ISBN 3824400782

Haase, M., Pfeil, M. (2002): Radverkehrspotenziale in Sachsen. Strategien und Maßnahmen zur Stärkung des Umweltverbundes, Forschungsvorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt und Geologie, Ingenieurbüro für Systemberatung und Planung, Dresden

Hautzinger, H.; Stock, W.; Mayer, K.; Schmidt, J.; Heidemann, D.: „Fahrleistungserhebung 2002 - Inländerfahrleistung“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 120, Bergisch Gladbach, 2005a, 104 S.

Hautzinger, H.; Stock, W.; Schmidt, J.: „Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 121, Bergisch Gladbach, 2005b, 26 S.

INFRAS AG (2010): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, download unter www.hbefa.net, Januar 2010

Kalinowska, D.; Kloas, J.; Kuhfeld, H.; Kunert, U. (2005): „Aktualisierung und Weiterentwicklung der Berechnungsmodelle für die Fahrleistungen von Kraftfahrzeugen und für das Aufkommen und für die Verkehrsleistung im Personenverkehr (MIV)“. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Endbericht, Berlin, März 2005, 206 S.

Knörr, W.; Kutzner, F.; Lambrecht, U.; Schacht A. (2010): „Fortschreibung und Erweiterung - Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960 – 2039 (TREMOT, Version 5)“. Endbericht zum FuE 3707 45 101 im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg, 2010, 75 S.

Kutter, E. (1972): Demographische Determinanten städtischen Personenverkehrs. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Braunschweig

Lohse, D. und Schneider, R. (1997): Vergleichende Untersuchungen der aggregierten und disaggregierten Verkehrsplanungsmodelle. Dresden, Technische Universität Dresden, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Heft 3

Pfeiffer, I. (2004): Wirksamkeit von Maßnahmen zur Förderung des Rad- und Fußverkehrs am Beispiel des Modellvorhabens „Fußgänger- und Fahrradfreundliche Stadt“ des Umweltbundesamtes. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Lehrstuhl für Verkehrs- und Infrastrukturplanung

Prechtel, N. (2011): „Klassifikation der Gefälleverhältnisse im deutschen Hauptstraßennetz auf Gemeindebasis“. Interner Endbericht, Technische Universität Dresden, März 2011 (unveröffentlicht)

Rammner, S. (2012): Zukunft! – Neue Anforderungen an die Mobilitätspolitik? Vortrag auf der 5. Fahrradkommunikationskonferenz: Radverkehrsförderung – mit Konzept zum Erfolg am 09./10. November 2011 in Kassel

Rodt, S.; Georgi, B.; Huckestein, B.; Mönch, L.; Herbener, R.; Jahn, H.; Koppe, K.; Lindmaier J.; Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland, Dessau-Roßlau, UBA-Texte 5/2010. Stand: 03/2010, aufgerufen am: 30.05.2011 <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3773.pdf>>

Ruete, M. (2011): Einheitlicher EU-Verkehrsraum, In: Internationales Verkehrswesen (63) 3/2011, S. 12-14

Schnabel, W.; Lohse, D. (2011): „Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung – Band 2: Verkehrsplanung“. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin, 631 S.

Steinmeyer, I. (2003): „Kenndaten der Verkehrsentstehung im Personenwirtschaftsverkehr“. (Dissertation), Hrsg.: Kutter, E. und Sjöstedt, L. von der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Huss-Verlag, München.

Steierwald, G.; Künne, H.-D.; Vogt, W. (2005): „Stadtverkehrsplanung“. Springer Verlag, Berlin, 829 S.

Wittwer, R. (2008). Raumstrukturelle Einflüsse auf das Verkehrsverhalten - Nutzbarkeit der Ergebnisse großräumiger und lokaler Haushaltsbefragungen für makroskopische Verkehrsplanungsmodelle. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, ISSN 1432 – 5500, 11/2008; 250 S.

Zimmermann, M. (1994): Angebotsplanung für den Radverkehr in topografisch bewegten Räumen. Ein Beitrag zur Frage der Zweckmäßigkeit, Dissertation an der Bergischen Universität-Gesamthochschule Wuppertal, Wuppertal

Anhang I: Literaturübersicht

Kurzform	Kompletztitel	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentielle Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
ACHTENHAGEN & RICHARD 2010	Achtenhagen, S.; Richard, J.: Klimaschutz und Verkehr in Hamm Bewertung der CO ₂ -Wirkung unterschiedlicher Verkehrsentwick- lungsszenarien. Aachen. 2010.			X		X		
BERGSTRÖM & MAGNUSSON 2003	Bergström, A.; Magnusson, R.: Potential of transferring car trips to bicycle during winter. In: Transportation Research Part A (2003), S. 649-666	X		X				
BERNHOF & CARSTENSEN 2008	Bernhoft, I.M.; Carstensen, G.: Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. In: Transportation Research Part F, Vol. 11 (2008), pp. 83-95	X						
BMVBW 2004c	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.): Mobilität in Deutschland 2002 - Fahrradverkehr. Bonn. 2004 http://edoc.difu.de/edoc.php?id=A3G50H67 Abruf: 11.08.2011	X		X				
BOHNERT & STIEWE 2010	Bohnert, M.; Stiewe, M.: Wirkungsabschätzung und Bewertung von Mobilitätsmanagement im gesamtstädtischen und regionalen Kontext/Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtver- kehr, Aachen: IBS, 2010, S. 67-70				X			X
BRACHER u.a. 2002	Bracher, T.; Backes, T.; Uricher, A.; UBA (Hrsg.): Möglichkeiten der Umweltentlastung und Kostenreduzierung im Verkehr durch Ver- kehrsplanung (mit Leitfaden für die LCTP-Anwendung in Kommu- nen). Berlin, 2002. <a href="http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-
l/2133.pdf">http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf- l/2133.pdf Abruf: 29.08.2011		X			X		X
BRANDENBERG u.a. [o. Jahr]	Brandenberg, C., Matzarakis, A. & Arnberger, A.: The effects of weather on frequencies of use by commuting and recreation bicyclists./ Universität Freiburg, Freiburg, [o. Jahr] <a href="http://www.mif.uni-
freiburg.de/ISB/vs2/report/brandenburgetal.pdf">http://www.mif.uni- freiburg.de/ISB/vs2/report/brandenburgetal.pdf Abruf: 27.07.2011	X						
BRÖG u.a. 1982	Brög, W.; Förg, O. G.; Küffner, B.: Das Potential des Fahrrads im Außerortsverkehr. In: Forschung, Straßenbau und Straßenver- kehrstechnik, Heft 368 (1982), Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg		X					
BUEHLER & PUCHER 2008	Buehler, R.; Pucher, J.: Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. In: Transport Reviews, Vol. 28, No. 4, S. 495-528. 2008.			X		X	X	
Cycling Embassy of Denmark	Cycling Embassy of Denmark (Hrsg.): Bicycle statistics from Den- mark. <a href="http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Bicycle-
statistics-from-Denmark.pdf">http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Bicycle- statistics-from-Denmark.pdf Abruf: 22.07.2011			X				
DIOS u.a. 2000	Dios Ortúzar, J.; Jacobelli, A.; Valeze, C.: Estimating demand for a cycle-way network. In: Transportation Research Part A (2000), S. 353-373	X			X			
DROGOSCH 2010	Drogosch, K. E. J.: Das Elektro-Fahrrad als Alternative – wofür? Berlin, Humboldt-Universität, Geographisches Institut, Bachelorar- beit, 2010.	X						
FARROKHIAVI & STIEWE 2009	Farrokhkhiavi, R.; Stiewe, M. effizient mobil – das Aktionspro- gramm für Mobilitätsmanagement. Köln. 2009.	X	X	X				X
FIETSBERAAD 2004	Fietsberaad (Hrsg.): Why the car, why the bicycle?. Utrecht: Fiets- beraad, 2004 Stand: 2004 <a href="http://fietsberaad.nl/index.cfm?lang=en&repository=Why
+the+car%2C+why+the+bicycle%3F">http://fietsberaad.nl/index.cfm?lang=en&repository=Why +the+car%2C+why+the+bicycle%3F , Abruf: 2011-05-30	X						
FIETSBERAAD Datum?	Fietsberaad: CO ₂ reduction more feasible by better bicycle infrastructure.		X				X	

Kurzform	Komplettizität	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentielle Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
FIETSBERAAD u.a. 2009	Fietsberaad (Hrsg.); Mobycon (Hrsg.); Lightmoet & Partners (Hrsg.): Radfahren in den Niederlande. Ministerium für Verkehr, Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten Direktorat-General für das Personenverkehr: den Haag, 2009 Stand: 2009 http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Radfahren%20in%20den%20Niederlanden2009.pdf Abruf: 22.07.2011			X		X		
Fietsverkeer 2004	Fietsverkeer (Hrsg.): Opdat mythen ooit verdwijnen - Argumenten om voor de fiets. Niederlande:2004							
FLIEGNER 2002	Fliegner, S.: CarSharing als Alternative? Mobilitätsstilbasierte Potenziale zur Autoabschaffung. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung, Band 3, Mannheim: Verlag MetaGIS Infosysteme, 2002	X						X
FRANKE 2000	Franke, T.; Friedrich Ebert Stiftung (Hrsg.): Berechnung von Modal-Split-Anteilen und Verlagerungspotential.Stand: 2000-10 http://www.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/00388004.htm , Abruf: 2011-05-25	X	X					X
FRICK 2009	Frick, R. u.a.: Mobilität in Zürich - Vertiefung Veloverkehr; Mobilität + Planung. Zürich, 2009	X	X	X				
Frick u.a. 2005	Frick, R., Wüthrich, P., Keller, M.: CO ₂ -Potential des Langsamverkehrs - Verlagerung von kurzen MIV-Fahrten. Bern, 2005							
FRICK u.a. 2003	Frick, R; Wüthrich, P., Keller, M.: Effizienz von öffentlichen Investitionen in den Langsamverkehr Schlussbericht. Bern. 2003.		X					
GATERSLEBEN & APPLETON 2007	Gatersleben, B.; Appleton, K. M.: Contemplating cycling to work: Attitudes and perceptions in different stages of change. In: Transportation Research Part A (2007), S. 302-312	X						
GATERSLEBEN & HADDAD 2010	Gatersleben, B.; Haddad, H.: Who is the typical bicyclist?. In: Transportation Research Part F 13 (2010), S. 41-48, Elsevier		X	X				
HÄCKER u.a. 1991	Häcker, S., Hundt, G., Richter, W.: Verkehrsmittelwahl im Einkaufsverkehr der Stadt Münster, Düsseldorf: ADFC, 1991							
HAGEMEISTER & TEGEN- KLEBINGAT 2011	Hagemeister, C.; Tegen-Klebingat, A.: Mobilität und Alter - Fahrgewohnheiten ältererRadfahrerinnen und Radfahrer. Band 05 Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung. Köln:2011	X						
HAGEMEISTER u.a. 2005	Hagemeister, C.; Schmidt, A.; Seidel, T.; Schlag, B.: Criteria for Cyclists everyday route choice. Traffic and Transport Psychology, Dresden, 2005							
HANDY & HEINEN 2011	Handy, S.; Heinen, E.: Similarities in Attitudes and Norms, and its Effect on the Decision to Commute by Bicycle: Evidence from the Bicycle Cities Davis and Delft. In: Heinen, E. Bicycle commuting. Amsterdam. Delft. 2011. S. 123-147.	X	X				X	
HANDY u.a. 2010	Handy, S.; Xing, Y.; Buehler, J.: Factors associated with bicycle ownership and use: a study of six small U.S. cities. In: Transportation, 37 (2010), S. 967-985. http://www.springerlink.com/content/c966160l4642281k/ Abruf: 29.08.2011							
HAUSTEIN u.a. 2007	Haustein, S., Hunecke, M., Manz, W.: Verkehrsmittelnutzung unter Einfluss von Wetterlage und -empfindlichkeit. In: Internationales Verkehrswesen, Heft Nr. 9/2007 (2007), S. 392-396	X						
HEINE 1995	Heine, W.-D.: Warum wird das Auto benutzt? Verkehrsmittelwahlverhalten aus umweltpsychologischer Sicht. In: Internationales Verkehrswesen, Heft Nr. 6/1995 (1995), S. 370-377, Hamburg: DVV Media Group GmbH	X						

Kurzform	Komplettizität	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentielle Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
HEINEN u. a. 2009	Heinen, E. u. a.: Workers mode choice in the Netherlands: The decision to cycle to work and the effect of work-related aspects, Paper for presentation at the 1st Transatlantic NECTAR Conference in Arlington, USA, 2009 http://www.google.de/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Frepository.tudelft.nl%2Fassets%2Fuid%3A5b3a6c56-7204-4bab-b36d-aa03d653e7e6%2F234350.pdf&rct=j&q=Workers%20mode%20choice%20in%20the%20Netherlands%3A&ei=KIRDTPKVD8ah-QbUlpHCCQ&usg=AFQjCNHoN7X94N4-612d82pGabcJk85mzg&cad=rja Abruf: 11.08.2011	X		X				
HÉRAN 2011	Héran, F. Méthode standard de calcul du linéaire d'aménagements cyclables en milieu urbain. o. Ort. 2011. http://villes-cyclables.org/modules/kameleon/upload/Calcul_du_lineaire_cyclable_1-11.pdf Abruf: 04.10.2011							X
Hildebrandt et al. 2008	Hildebrandt, E., Gündel, D., Rudert, J.: Technische Hilfen zur Überwindung topographischer Barrieren für den Alltags- und Freizeitverkehr mit dem Fahrrad. Hannover:2008							
HUNGER 1989	Hunger, D.: Bedingungen und Abhängigkeiten des städtischen Fahrradverkehrs, Dissertation, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Weimar, 1989	X		X				X
HUNT & ABRAHAM 2007	Hunt, J.D., Abraham, J. E.: Influences on bicycle use. In: Transportation, Heft 34 (2007), No. 4, Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, S.454-470	X						
HYDEN u.a. 1999	Hydén, C., Nilsson, A. & Risser, R.: How to enhance WALKing and CycliNG instead of shorter car trips and to make these modes safer./ University of Lund, Lund,1999 http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/walcyng.pdf Abruf: 27.07.2011					X		
ILLEK u. a. 2011	Illek, G. u. a.: Kosteneffiziente Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Gemeinden. Wien: BMVIT. 2011 http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/radverkehr/downloads/radverkehrsfoerderung2.pdf Abruf: 11.08.2011							
JENSEN u.a. 2000	Jensen u.a.: Collection of Cycle Concepts. Copenhagen, 2000 http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=17291 Abruf: 22.07.2011		X			X		
JONES u.a. 2007	Jones, T.; Parkin, J.; Ryley T.: Barriers to cycling: an exploration of quantitative analyses. In: CivilEngineering: Book Chapters. Paper 1. Bolton. 2007.			X				X
KALTER 2008	Kalter, M.-J. O.: Vaker op de fiets? Cycle more often? Effecten van overheidsmaatregelen. Den Haag, 2007 http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Vaker_op_de_fiets.pdf Abruf: 22.07.2011	X	X		X	X		X
KAMPMAN u.a. 2006	Kampman, B.; de Bruyn, S.; den Boer, E.: Cost effectiveness of CO ₂ mitigation in transport - An outlook and comparison with measures in other sectors. Delft: CE, 2006							X
KLAMA 2009	Klama, K.; ADFC-Monitor (Veranst.): Fahrradland Deutschland.Bremen, 2009	X						
KOLKE u.a. 2003	Kolke, R.; Jäcker, M.; Verron, H.; Zimmer, W.: CO ₂ - Minderung im Verkehr/Umweltbundesamt, Berlin, 2003		X					X
Körntgen 2009	Körntgen, S; BMVBS (Hrsg.): Berufsverkehr: Arbeitswege per Fahrrad - Potenzialanalyse für ein mittelständisches Unternehmen. Stand: 2006-02-17 http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/praxisbeispiele/anzeige.phtml?id=2027 , Stand: 2011-05-25		X			X		

Kurzform	Komplettizität	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentielle Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
KRAUSE & HILDEBRANDT 2006	Krause, J., Hildebrandt, E.: Fußgänger- und fahrradfreundliche Stadt. Chancen des Fuß- und Radverkehrs als Beitrag zur Umweltentlastung/ Umweltbundesamt, Texte Nr. 28/05, Forschungsbericht 200 96 133 UBA-FB 000872, Dessau: Umweltbundesamt, 2006		X	X	X			
Lebensministerium 2009	Thaler, R. u. a.: Erfolgreiche Wege für den Radverkehr. Leitfaden Radverkehrsförderung. Ein Praxis-Leitfaden für Kommunen, Schulen, Betriebe, Tourismus und Bauträger. Wien, 2009 http://publikationen.lebensministerium.at/filemanager/download/43721 Abruf: 22.07.2011					X	X	X
LITMAN 2010	Litman, T.: Evaluating Non-Motorized Transportation. Benefits and Costs. http://www.vtpi.org/nmt-tdm.pdf Abruf: 03.08.2011							
LOHMANN & HACKE 2001	Lohmann, G., Hacke, U.: Förderung des Fahrradverkehrs - Wie werden die Erwachsenen von morgen unterwegs sein? Ergebnisse einer Befragung von Jugendlichen in sechs Städten, IWU, Darmstadt, 2001							
LOUEN & FARROKHIAVI VI 2010	Louen, C.; Farrokhiavi, R.: Nutzen von Mobilitätsmanagement – Ergebnisse der Wirkungsabschätzung im Rahmen des Programms effizient.mobil./ Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr, AMUS 2010 - Bedeutung der Kosten in der Stadt- und Verkehrsplanung, E-Paper 1/2010, Aachen, 2010, S. 59-66	X			X			
LOUEN & STIEWE 2010	Louen, C.; Stiewe, M.: Evaluation der Prozesse und Wirkungen von Mobilitätsmanagement im Rahmen des Aktionsprogramms „effizient.mobil“. Graz, 2010 www.epomm.eu/ecommm2010/22_Mechtild_Stiewe_final.ppt Abruf: 22.07.2011		X	X				X
MASSINK 2009	Massink, R.: Estimating the Climate Value of Bicycling in Bogotá, Colombia, using a Shadow Pricing Methodology. Universität de los Andes, Masterarbeit, 2009 Stand: 2009 http://essay.utwente.nl/59405/1/scriptie_R_Massink.pdf Abruf: 22.07.2011		X	X				
MIGLBAUER u.a. 2009	Miglbauer, E.; Pfaffenbichler, P. C.; Freilmayr, W.: Kurzstudie Wirtschaftsfaktor Radfahren - Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Radverkehrs in Österreich. Wien, 2009 www.klimaaktiv.at/filemanager/download/43687 Abruf: 22.07.2011		X					
NANKERVIS 1999	Nankervis, M.: The effect of weather and climate on bicycle commuting. In: Transportation Research Part A, Vol. 33 (1999), pp. 417-431 http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VG7-3WXP2MJ-1&_user=1592544&_coverDate=08%2F31%2F1999&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C00053921&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1592544&md5=375e423e855495547903556ac30720ae Abruf: 27.07.2011	X						X
PARKIN u.a. 2007	Parkin, J., Wardman, M., Page M.: Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. Bolton/Leed: Springer Science+Business Media, 2007	X						
POOLEY 2010	Pooley, C.: Can increased walking and cycling really contribute to the reduction of transport-related carbon emissions? Lancaster. 2010. http://www.lec.lancs.ac.uk/research/society_and_environment/cycling/RGS_2010.pdf Abgerufen am 05.10.2011	X		X				X
POOLEY 2011	Pooley, C.: Understanding Walking and Cycling Summary of key findings and recommendations. Lancaster. 2011.	X		X		X		
PUCHER & BÜHLER 2008	Pucher, J.; Bühler, R.: Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark, and Germany. In: Transport reviews, Vol. 28 (2008), Nr. 4, S. 1-57		X	X		X		

Kurzform	Komplettizität	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentielle Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
PUCHER u. a. 2009	Pucher, J.; Dill, J.; Handy, S.: Infrastructure, Programs and Policies to Increase Bicycling. In: An International Review, Preventive Medicine, Vol. 50 (2009), No. S1 S. S106-S125 http://policy.rutgers.edu/faculty/pucher/Pucher_Dill_Handy10.pdf Abruf: 22.07.2011		X		X	X	X	
RICHARD & ACHTENHAGEN 2010	Richard, J.; Achtenhagen, S.: Klimaschutz und Verkehr in Hamm. Bewertung der CO ₂ -Wirkung unterschiedlicher Verkehrsentwicklungsszenarien. Aachen: 2010.			X	X			
RIT 2004	Rit, K.: Warum das Auto, warum das Fahrrad? In: Fietsverkeer, 2004, Jg. 3, Nr. 8, S. 3 - 4 http://www.fietsberaad.nl/library/fietsverkeer/Fietsverkeer_8.pdf							
RODRIGUEZ & JOONWON 2004	Rodríguez, D. A.; Joonwon, J.: The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. In: Transportation Research Part D 9 (2004), S. 151-173	X						
RODT u.a. 2010	Rodt, S.; Georgi, B.; Huckestein, B.; Mönch, L.; Herbener, R.; Jahn, H.; Koppe, K.; Lindmaier J.; Umweltbundesamt (Hrsg.): CO ₂ -Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland, Dessau-Roßlau, UBA-Texte 5/2010 Stand: 2010-03 http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3773.pdf Ab-ruf: 2011-05-30		X		X	X		
RÖHLING u.a. 2008	Röhling, W.; Burg, R.; Schäfer, T.; Walther, C.: Kosten-Nutzen-Analyse: Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen. Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS), Projekt 70.785/2006, Leitfaden, Denzlingen/Karlsruhe, 2008		X		X			
RONDINELLA u.a. 2010	Rondinella, G.; Fernandez, A.; Monzon de Caceres, A.: Nuevo enfoque en el analisis de los factores que condicionan el uso de la bicicleta como modo de transporte urbano. Madrid, 2010							
SAELENMIND E 2002	Saelensminde, K.: Walking- and cycling track networks Norwegian cities. Cost-benefit analyses including health effects and external costs of road traffic. Oslo: TOI, 2002 Stand: 2002 http://www.toi.no/article17775-29.html Abruf: 04.07.2011			X	X			
SAELESMINDE 2004	Saelensminde, K.: Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. In: Transportation Research Part A (2004), S. 593-606			X				
SCHULZ & KERWIN 1999	Schulz, U.; Kerwin, H.: Fahrradpotential in Bielefeld. Diskussionspapier Nr.8, Bielefeld 2000plus, Bielefeld, 1999							
SINUS 2011	SINUS (Hrsg.): Fahrradmonitor Deutschland 2011 - Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Heidelberg: 2011							
SOCIALDATA & SNIZEK + PARTNER OEG 2007	Socialdata; Snizek + Partner OEG: Radverkehrserhebung Wien - Fahrradnutzung in Wien 2006 Potenziale für das Fahrrad in Wien Vergleichende Analyse Zusammenfassung und Schlussfolgerungen. Wien. 2007.		X	X				
SOCIALDATA 2010	Socialdata: Fahrrad-Mobilität in Wien - Zufriedenheitsanalyse Rad-fahren in Wien. Linz. 2010.	X	X	X	X z.T.			
SOUCHE 2010	Souche, S.: Measuring the structural determinants of urban travel demand. Lyon, 2010 http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VGG-4Y41MGM-2/2/1fb3b684ae9e327826215e23c4cea4d3 Abruf: 27.07.2011							X
STINSON & BHAT 2004	Stinson, M.A.; Bhat, C.R.: Frequency of Bicycle Commuting: Inter-net-Based Survey Analysis. Washington. USA: TRB, 2004 Stand: 2004 http://www.enhancements.org/download/trb/trb2004/TRB2004-001493.pdf Abruf: 18.07.2011	X	X	X				

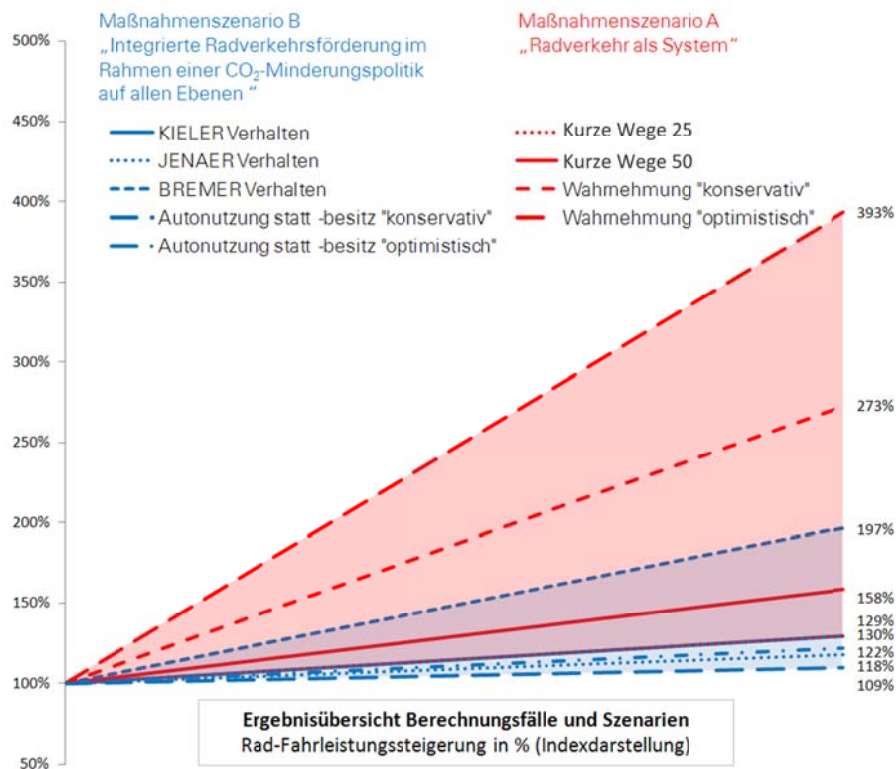
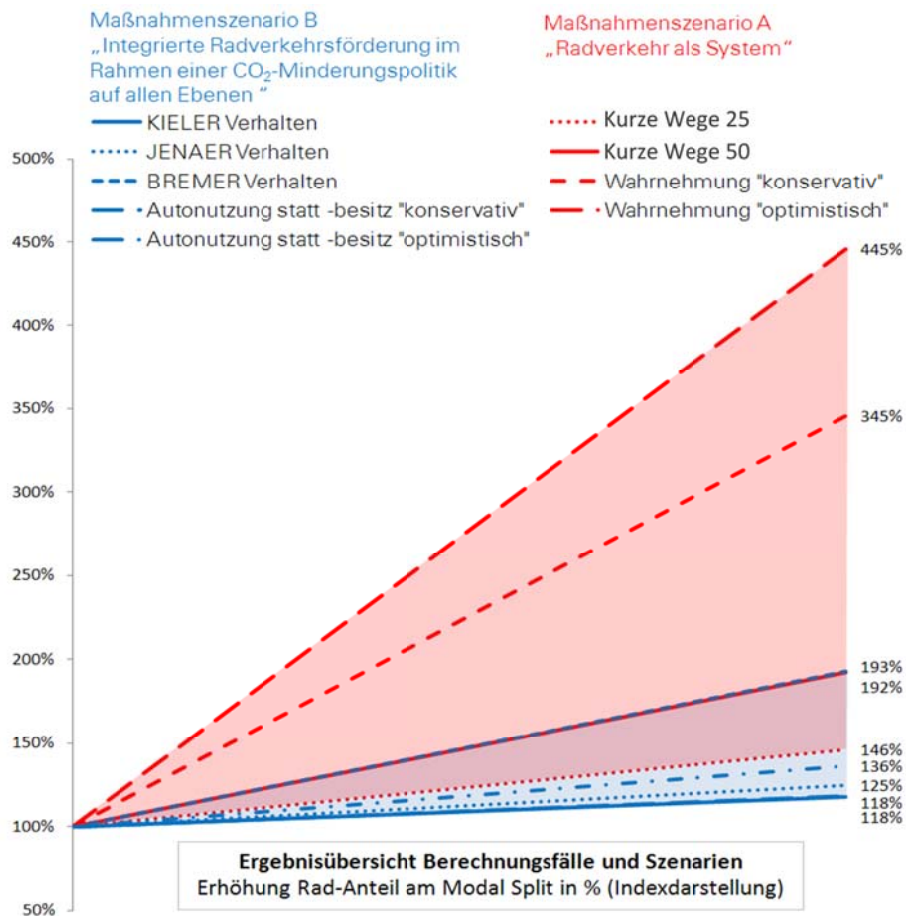
Kurzform	Komplettizität	Verkehrsmittelwahl, Motive, Einflussgrößen	Potentiale Radverkehr	Auswertung von Daten zur Radnutzung	Wirkung von Einzelmaßnahmen	Maßnahmen zur Radverkehrsförderung	Best Practice	Sonstiges
TEICHGRÄBER & AMBROSIOUS 1984	Teichgräber, W., Ambrosius, P.: Ermittlung der zu erwartenden Nachfrage im Fahrradverkehr in Abhängigkeit vom Ausbau des Radwegenetzes. In: Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 412, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, 1984	X						
THIEMANN- LINDEN u.a. 2004	Thieman-Linden, J., Gwiasda, P., Miller, G., Fromberg, A.: Fahrradverkehr - Erfahrungen und Beispiele aus dem In- und Ausland, direkt. Verbesserungen der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden. Heft 59/2004, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 2004		X					X
TIEFENTHALER & BRUNNER. 1991	Tiefenthaler, H., Brunner, P.: Verlagerungspotential vom motorisierten Individualverkehr zu alternativen Verkehrsmitteln im Stadtverkehr. In: Internationales Verkehrswesen, Heft Nr. 12/1991 (1991), S. 548-552	X		X				
TIMPE u.a. 2004a	Timpe, C., Brohmann, B., Bürger, V., Loose, W., Mohr, M.: Kommunale Strategien zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 50% am Beispiel der Stadt München. Endbericht, Öko-Institut e.V., Freiburg, 2004		X		X			
TITZE u. a. 2010	Titze, S. u. a.: Rad-freundliche Stadt x 2. Längsschnittstudie in der Stadt Graz. Graz: Institut für Sportwissenschaft, 2010 http://www.klimaaktiv.at/article/articleview/86057/1/11995/	X		X				
TRUNK 2010	Trunk, G.: Gesamtwirtschaftlicher Vergleich von Pkw- und Radverkehr Ein Beitrag zur Nachhaltigkeitsdiskussion. Wien. 2010.	X	X	X				
TWADDLE 2011	Twaddle, H.: Stated preference survey design and pre-test for valuing influencing factors for bicycle use. Technische Universität München, Institut of Transportation, Master Thesis, 2011	X		X				X
UPI 1997	UPI - Umwelt- und Prognoseinstitut e.V. (Hrsg.): Entwicklungen und Potentiale des Fahrrad-Verkehrs. Heidelberg, 1997 http://www.upi-institut.de/upi41.htm Abruf: 22.07.2011	X		X				
VAN HOUT & NUYTS 2007	Van Hout, K., Nuyts, E.; Velo City (Veranst.): Bicycle or Car? The Potential of Cycling in Flanders. München, 2007		X	X				X
VERRON u.a. 2005	Verron, H.; Huckestein, B.; Penn-Bressel, G.; Röthke, P.: Determinanten der Verkehrsentstehung. Dessau, 2005 http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2967.pdf Abruf: 27.07.2011	X						
VERVERS & ZIEGELAAR 2006	Ververs, R.; Ziegelaar, A.: Verklaringsmodel voor fietsgebruik gemeenten, research voor beleid, Leiden, 2006 http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/document00159.pdf Abruf: 27.07.2011	X						
WALSH u.a. 2008	Walsh, C.; Jakeman, P.; Moles, R.; O'Regan, B.: A comparison of carbon dioxide emissions associated with motorised transport modes and cycling in Ireland. In: Transportation Research Part D 13 (2008), S. 392-399				X			X
WINTERS u.a. 2011	Winters, M.; Davidson, G.; Kao, D.; Teschke, K.: Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. In: Transportation, 38 (2011), S. 153-168. http://www.springerlink.com/content/ex63304355024117/ Abruf: 29.08.2011	X						
ZIMMERMANN & BOHLE 2011	Zimmermann, F.; Bohle, W.: Hochrechnungsmodell von Stichprobenzählungen für den Radverkehr. Schlussbericht der TU Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List", Dresden: 2011	X	X	X				

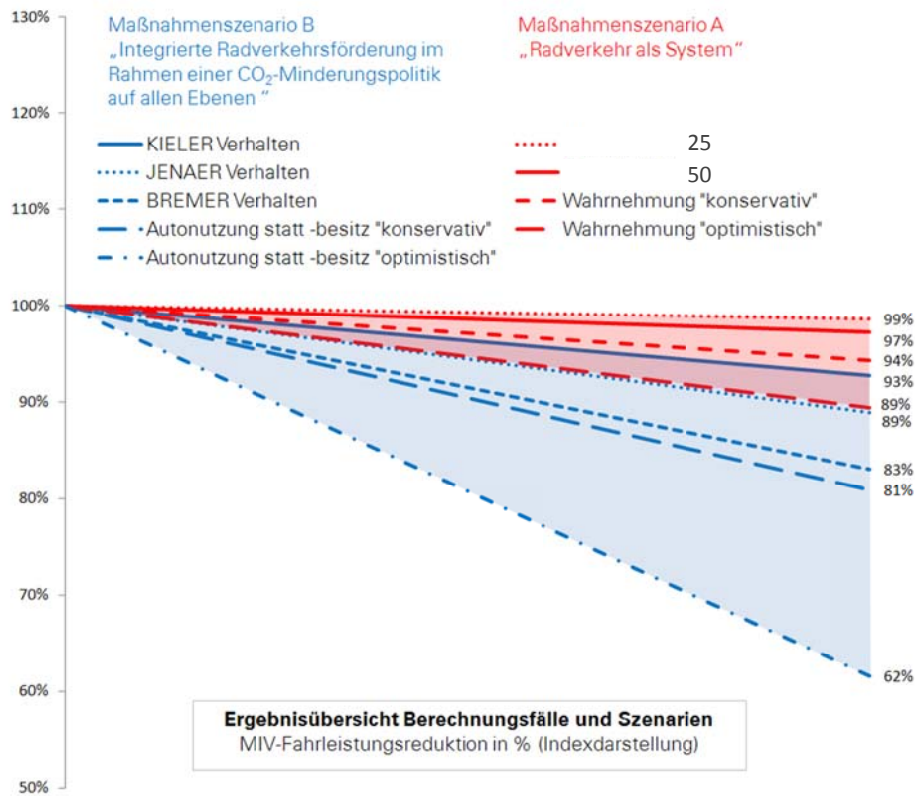
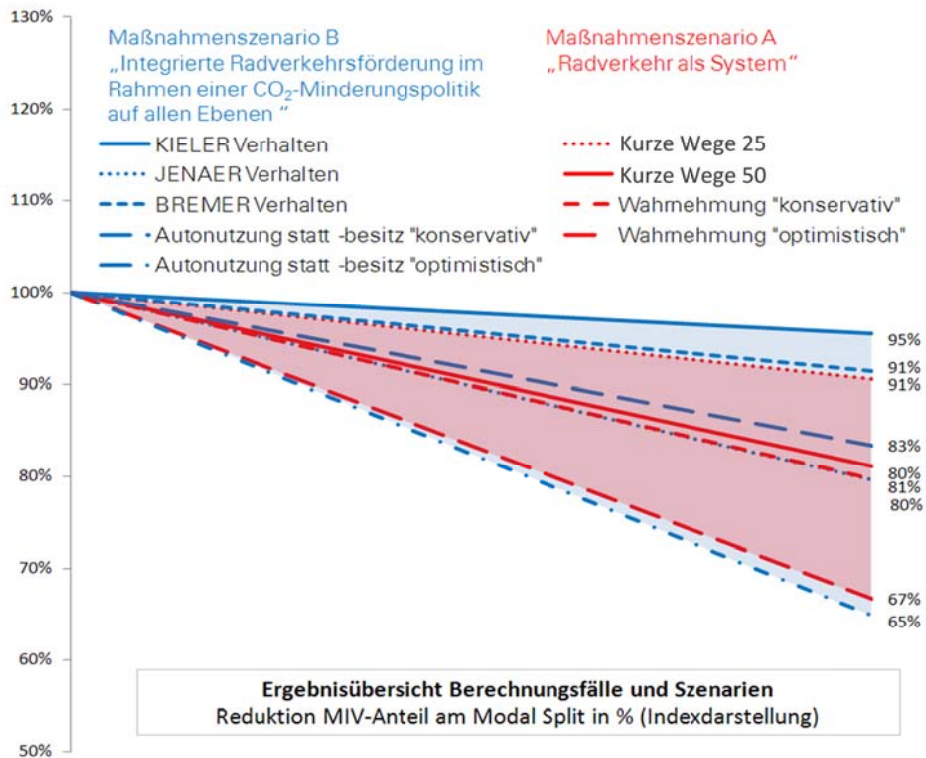
Anhang II: Detailübersicht der Maßnahmenzenarien

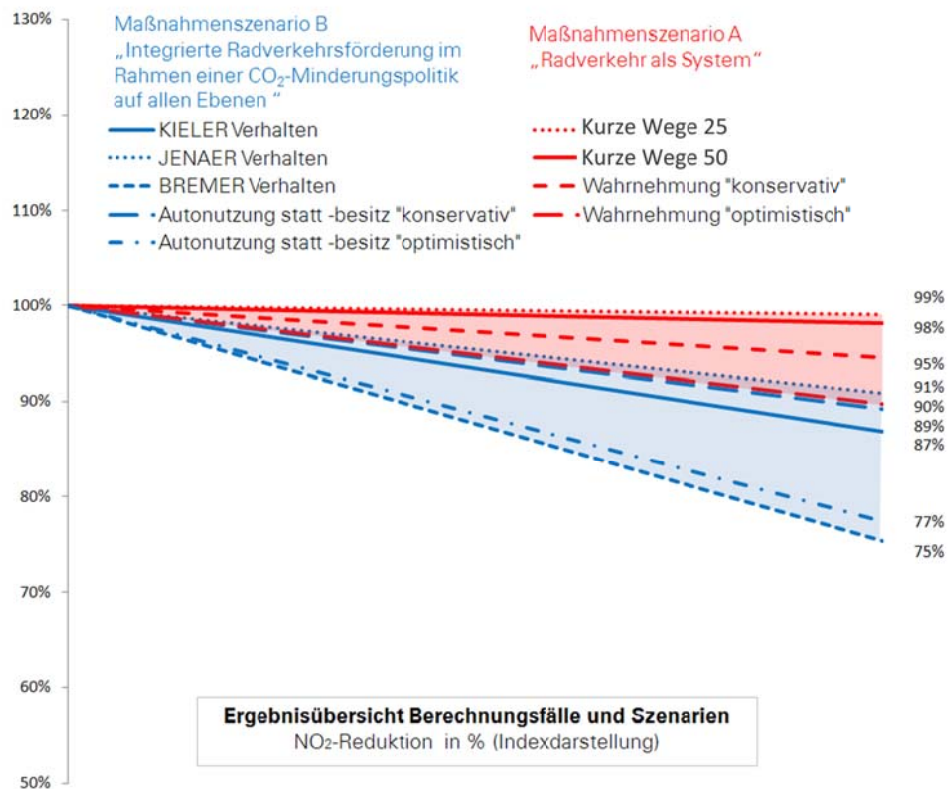
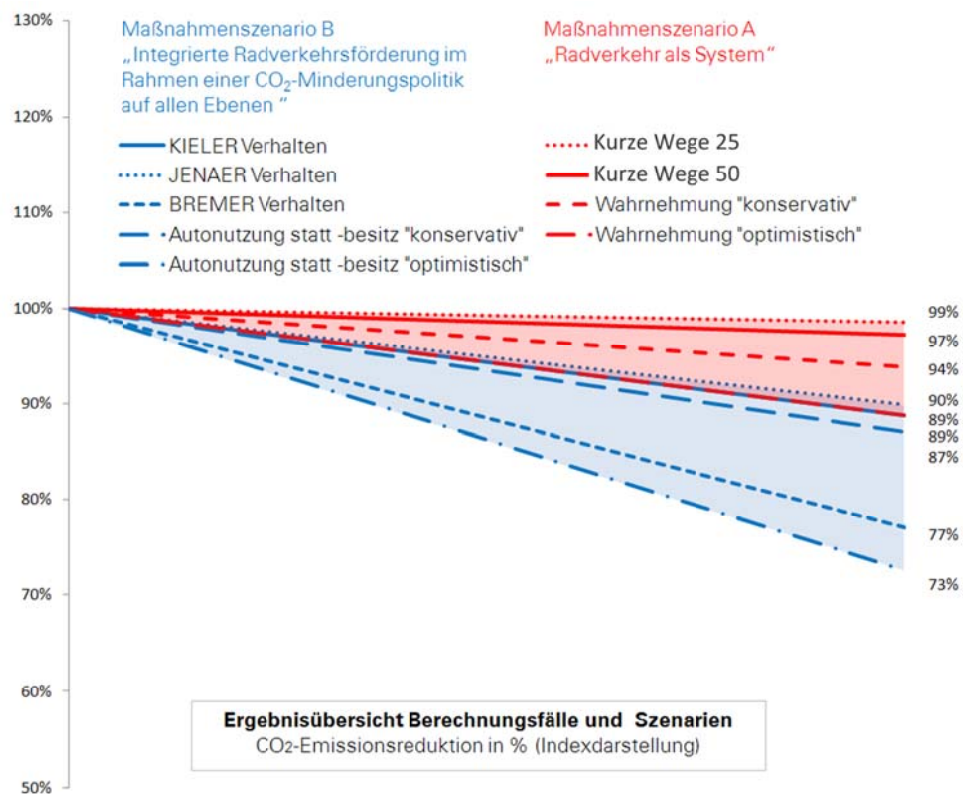
Maßnahmenzenario A Förderung des Systems Radverkehr		
Kategorie	Maßnahme	Beispiele
Technische und Infrastrukturmaßnahmen (Engineering)	Gemeindeübergreifendes, geschlossenes und hierarchisch gestuftes Radverkehrsnetz mit Einbeziehung der ÖV-Haltestellen	Schließung von Netzlücken
	Sichere und komfortable Radverkehrsführung durch Ausführung der Radverkehrsinfrastruktur entsprechend der Richtlinien und Empfehlungen sowie durch Entschärfung von Unfallschwerpunkten	Konfliktarme Führung des Radverkehrs an Haltestellen, Zweirichtungsradwege bei Bedarf an Straßen mit hoher Trennwirkung
	Leicht zugängliche, diebstahlsichere, witterungsgeschützte Fahrradbstanlagen an wichtigen Quell- und Zielpunkten (besonders Bahnhof, ÖV-Haltestellen)	Fahrradstationen, Bike und Ride Anlagen insbes. an SPNV-Haltestellen und ÖPNV-Endhaltestellen, PPP-Lösungen für private Abstellanlagen im Öffentlichen Raum
	Mit dem ÖPNV verknüpft, leicht zugängliches Öffentliches Fahrradverleihsystem	Öffentliches Fahrradverleihsystem mit Stationsabständen <300m
	Attraktivierung des Radverkehrs an Lichtsignalanlagen	Verkürzung Wartezeiten
	Technische Voraussetzungen zur Fahrradmitnahme im ÖPNV	Ausstattung neu zu beschaffender ÖPNV-Fahrzeuge mit genügend dimensionierten Mehrzweckabteilen; Fahrradanhängerauf touristische Linien
	Erfüllung der Anforderungen von Pedelecs hinsichtlich Verkehrsinfrastruktur und Fahrradparken	Dimensionierung von Radverkehrsanlagen (Breite, Radian), Führungsform, bewachte oder überwachte Abstellanlagen, Ladestationen
	Einheitliche und nutzerfreundliche Wegweisung	
Ausbildung und Information (Education)	Fahrradschnellwege	Komfortable Erschließung von Umlandgemeinden mit >15km Entfernung vom Stadtzentrum
	Verkehrserziehung und Radfahrausbildung für Schüler, Familien, Neueinsteiger, ...	Radfahrausbildung, Radschulwegplanung
	Public Awareness Kampagnen und Sicherheitsprogramme	„Fahrradfreundliche Kommune“, Aktion "Mit dem Rad zur Arbeit", Prominente aufs Rad
	Regelmäßige und detaillierte Informationen für Nutzer über Radverkehrsangebote und infrastrukturelle Änderungen	Fahrradstadtplan, Information bei Öffnung von Einbahnstraßen, Faltblatt zu Öffentlichen Abstellanlagen
	Mobilitäts- und Gesundheitsberatung	Mobilitätstage in Betrieben, Beratung der Krankenkassen
	Leitfaden und Informationen für Verwaltung und weitere Akteure bezüglich Radverkehrsförderung, -finanzierung und -führung	Fahrradakademie
	Workshops und regelmäßiger Dialog zwischen Verwaltung, Politikern, externen Experten und Radfahrer(organisationen)	Radforum, Runder Tisch Radverkehr und andere Formen der Bürgerbeteiligung
	Interkommunale Netzwerke zum Wissenstransfer	Fahrradkommunalkonferenzen, AG Radverkehr auf Länderebene
Preis- und Finanzpolitische Maßnahmen (Economy)	Sicherung und Ausweitung des Budgets für zielgerichtete Finanzierung des gesamten Maßnahmenpektrums des Radverkehrs	eigenständiges Budget für "weiche Maßnahmen" der Radverkehrsförderung
	Integration der Fahrradnutzung in das ÖV-Tarifssystem	Freier Fahrradverleih für ÖV-Ticketinhaber, kostenlose Fahrradmitnahme
	Steuerliche und betriebliche Anreizsysteme zur Fahrradnutzung	Arbeitgeber stellt Fahrrad zur Verfügung, Fahrradombola, Wegstreckenentschädigung für Dienstfahrten mit dem Fahrrad
Ordnungspolitische Maßnahmen (Enforcement)	Rechtlich festgelegte Stellplatzpflicht für Fahrräder mit definierten Anforderungen an Abstellanlagen	Festlegungen in den Bauordnungen
	Fahrradmitnahme im ÖV	Fahrradmitnahme im ICE erlauben, Ausschlusszeiten und Ausschlusszonen für Fahrradmitnahme im ÖPNV auf Kapazitätsengpässe beschränken
	Fahrbahnmitbenutzung durch Radfahrer	Radverkehrsführung auf der Fahrbahn mit dem Zusatz "Radfahrer frei" auf dem Gehwegniveau
	Netzerweiterung für Radfahrer durch Aufhebung von Einfahrverboten und Einrichtung von Fahrradstraßen	Einbahnstraßen in Gegenrichtung sowie Fußgängerzonen für Radfahrer geöffnet, soweit es die Rahmenbedingungen zulassen
sonstige Organisatorische und logistische Maßnahmen	Kommunale Gesamtstrategien zur Radverkehrsförderung mit Schwachstellenanalyse und Prioritätenreihung	Radverkehrskonzept, Verkehrsentwicklungsplanung
	Baulasträgerübergreifende, regionale Netzplanung und Abstimmung der Dringlichkeiten	Touristisches Radverkehrskonzept
	Integration der Radverkehrsbelange bei städtischen, regionalen und bundesweiten Strategien und Empfehlungen	Erarbeitung von Regelwerken, Nationaler Radverkehrsplan
	Qualitätsmanagement	Mängelmeldebogen für Radfahrer, regelmäßige Durchführung von BYPAD-Audits
	Innovative Serviceangebote	Fahrradtauschbörse, Selbsthilfewerkstatt, Fahrradverleih
	Betriebliches Mobilitätsmanagement	Bereitstellung von Dienstfahrrädern, Duschen und Umkleidemöglichkeiten
	Radverkehrsbeauftragte benennen und mit Kompetenzen ausstatten	Kommunaler Radverkehrsbeauftragter
	Sichere und komfortable Radverkehrsführung an Baustellen , ggf. mit Alternativrouten	keine Beschilderung "Radfahrer absteigen" zulässig
	Verkehrssicherheitsanalysen	Unfallanalysen, Sicherheitsaudits, Verkehrsschauen
	Reinigungs- und Winterdienst auf Hauptverbindungen des Radverkehrs	

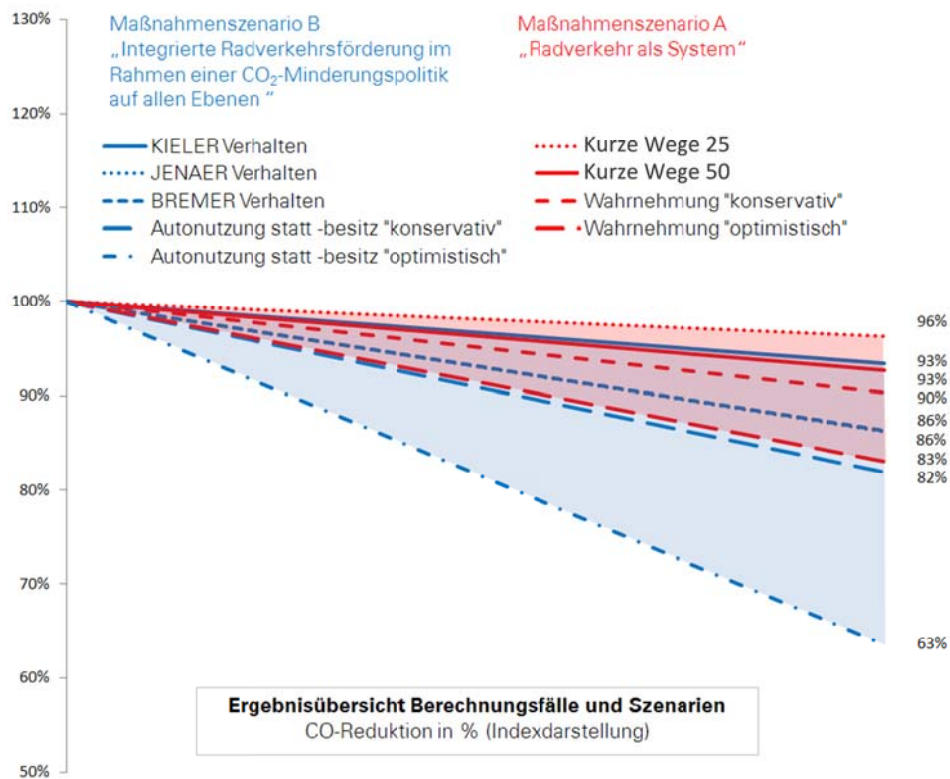
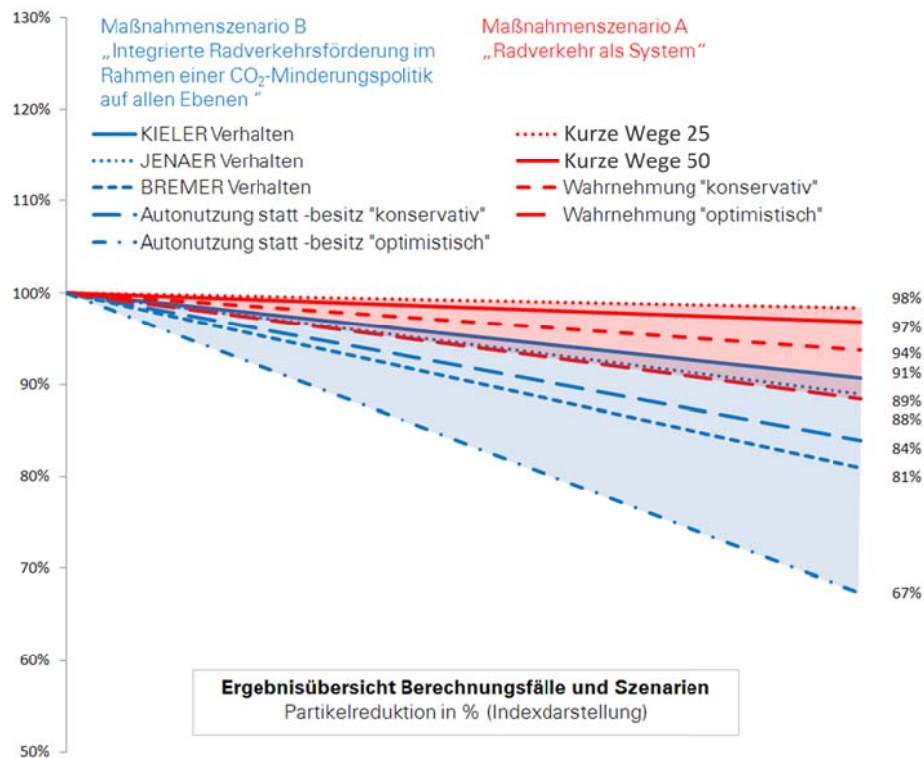
Maßnahmenszenario B Integrierte Radverkehrsförderung im Rahmen einer CO2-Minderungspolitik auf allen Ebenen (ergänzend zu den Maßnahmen von Szenario A)		
Kategorie	Maßnahme	Beispiele
Technische und Infrastrukturmaßnahmen (Engineering)	Integrierte Mobilitätsangebote im öffentlichen Raum	Bevorrechtigung von Öffentlichen Fahrrädern und Carsharing im öffentlichen Raum
	Infrastruktur zum Übergang zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln an Schnittstellen schaffen	P+R
Ausbildung und Information (Education)	Neubürgermarketing	
	Systematisches Mobilitätsmanagement	Mobilitätsbefragung + -beratung, Wohnstandortberatung
	Mobilitätserziehung	Beeinflussung zu rationaler und umweltbewusster Verkehrsmittelwahl
	Public Awareness Kampagnen für die Nutzung des Mobilitätsverbundes	Kampagne "Kopf an, Motor aus"
Preis- und Finanzpolitische Maßnahmen (Economy)	Reform des Finanzsystems bezüglich der Förderung von verkehrsarmen Wohn- und Gewerbeansiedlungen	Grunderwerbssteuer, Auslaufen der Eigenheimzulage, ÖPNV Erschließungsgebühren
	Steuerliche Neuordnung der Kfz-Nutzung	Aufhebung der Pendlerpauschale; Umwandlung der Kfz-Steuer in Mineralölsteuerrhöhung; CO2-Abgabe
	Parkraumbewirtschaftung	flächendeckende und differenzierte Parkraumbewirtschaftung in Quartieren
	Flächendeckende Nutzerfinanzierung der Straßeninfrastruktur	Citymaut, Straßenbenutzungsgebühren
	Finanzielle Anreize zur wohnortnahen Ansiedelung von Einzelhandelsstandorten	Gewerbe- und Grundstückssteuer
Ordnungspolitische Maßnahmen (Enforcement)	Zufahrtbeschränkungen für Kfz	Umweltzonen
	Parkraummanagement	Reduktion vorhandener Parkflächen, Anwohnerparkkonzept
	Mobilitätsmanagement für große Firmen gesetzlich festschreiben	
	Geschwindigkeitsbeschränkungen Kontrolle und Überwachung bestehender Regelungen	Tempo 30 außerhalb von Hauptverkehrsstraßen Geschwindigkeitskontrollen der Polizei
Organisatorische und logistische Maßnahmen	Multimodale Mobilitätsdienstleistungen	Leistungen wie Car Sharing, Öffentliche Räder, ÖPNV aus einer Hand
Raumordnungs-politische Maßnahmen	zentrenorientierte Siedlungsplanung mit Baulückenschließung, Verdichtung und Nahbereichsattraktivierung gezielte Nutzungsmischung neue Wohnformen	Umsetzung des Leitbildes der "kompakten Stadt" in der Verkehrs- und Bauleitplanung Bebauungsplan autofrei Siedlungen

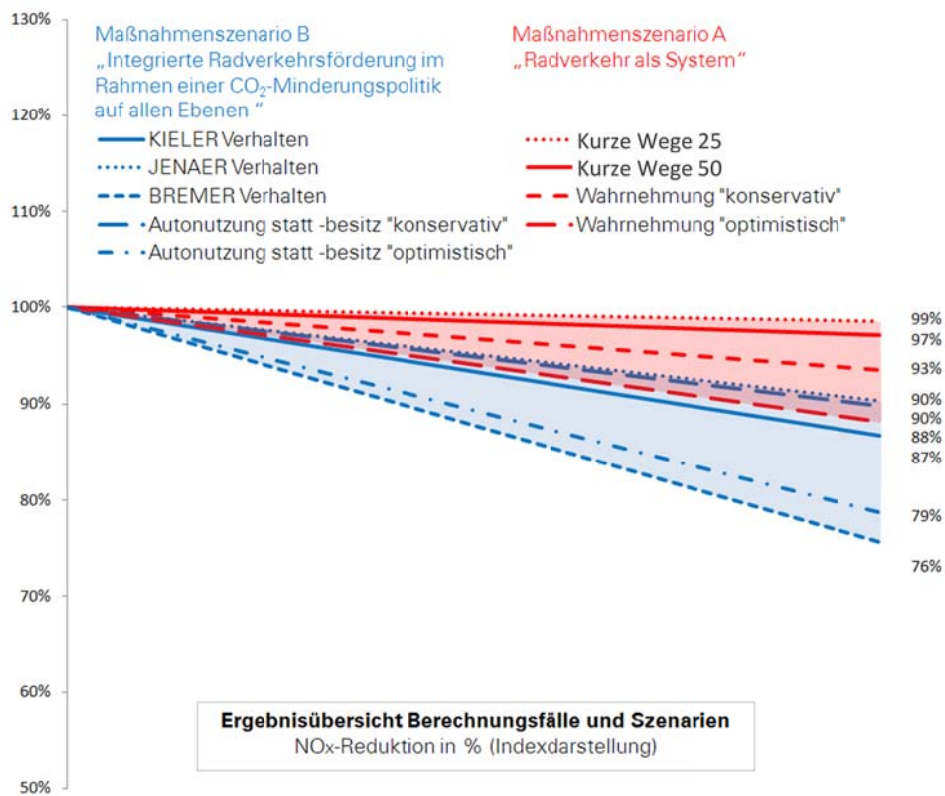
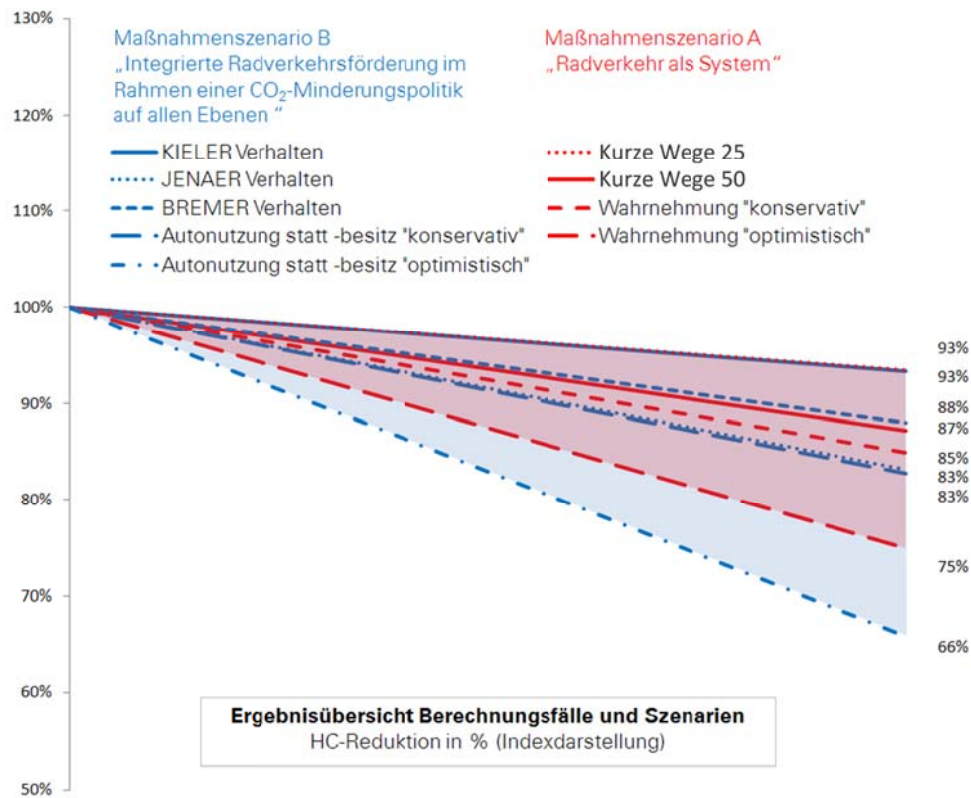
Anhang III: Ergebnisübersichten Berechnungsfälle und Szenarien











Anhang IV: Dokumentation „Klassifikation der Gefälleverhältnisse“



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften

Institut für Kartographie

Endbericht zur Studie „Klassifikation der Gefälleverhältnisse im deutschen Hauptstraßennetz auf Gemeindebasis“

März 2011

Dr. Nikolas Prechtel

1. Projektrahmen

Das Umweltbundesamt (UBA) hat ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt an die Lehrstühle für Verkehrs- und Infrastrukturplanung sowie Verkehrsökologie vergeben (FuE 3708 45 101), innerhalb dessen die „Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz“ zu untersuchen waren. Das Projekt zielt auf einen klar parametrisierten Modellansatz, der auf Basis allgemein statistischer Daten und spezifischer Befragungsergebnisse die Verlagerungspotenziale von Verkehr auf den klimafreundlichen Radverkehr ermittelt. Ein Faktor, der hier unbedingt zu berücksichtigen war, waren die Neigungsverhältnisse im Straßennetz, da man von einer Hemmschwelle in der regelmäßigen Fahrradnutzung ausgehen kann, wenn diese mit einer Gelände-bedingt hohen physischen Anstrengung verbunden ist. Die statistische Berechnung der Neigungsverhältnisse im deutschen Straßennetz auf Gemeindebasis wurde als Teilprojekt am Institut für Kartographie mit GIS-Werkzeugen durchgeführt. Die Bearbeitungszeit lag zwischen Dezember 2010 und Februar 2011. Die Datengrundlage wurde vom Umweltbundesamt gestellt.

2. Datengrundlagen

2.1 Inhalte

Als Datengrundlage dienen *amtliche Geobasisdaten*, wie sie von den Vermessungsverwaltungen der Bundesländer erhoben und gepflegt werden, und von zahlreichen Landes- und Bundesbehörden genutzt werden. Vektordaten und Rasterdaten werden nach vereinheitlichten Standards unter der Bezeichnung ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) bereitgestellt. Vektordaten werden innerhalb von ATKIS als „Digitale Landschaftsmodelle“ bezeichnet und enthalten strukturierte digitale Repräsentationen der topographischen Objekte. Um verschiedenen Maßstäben und Detailniveaus in der Datenanalyse Rechnung zu tragen, existieren parallel mehrere Vektormodelle unter den Bezeichnungen Basis-DLM, DLM50, DLM250 und DLM1000. Ebenso werden Digitale Geländemodelle in verschiedenen Diskretisierungsniveaus angeboten, wobei flächendeckend für Deutschland derzeit nur das DGM25 und gröbere Modelle vorgehalten werden. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die ATKIS-Produkte zudem digitale topographische Karten (DTK) sowie digitale Orthofotos (DOP) umfassen. Alle wesentlichen technischen Informationen können dem Web-basierten Informationsportal der Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Vermessungsverwaltungen (AdV) entnommen werden (AdV, 2011).

Entscheidend bei der Produktauswahl für das Projekt waren folgende Gesichtspunkte:



- flächendeckende Datenverfügbarkeit eines konkreten Datenprodukts
- Eignung für die Fragestellung
- geometrische Konsistenz des gesamten Datenpaketes
- Datenmenge im Hinblick auf die notwendige Prozessierungsleistung.

Als Kernprodukt determiniert das genaueste flächendeckend verfügbare *Geländemodell* die Wahl der übrigen Daten. Beim DGM25 liegen in äquidistanter Rasterform in x- und y-Richtung *alle 25 Meter ein Höhenwert* vor. Der Datensatz für ganz Deutschland mit ca. 360.000 km² Fläche enthält somit knapp $6 \cdot 10^8$ Höhenpunkte, was bei einer 16bit-Integerspeicherung 1,2 GByte Datenvolumen entsprechen.

Das *Verkehrsnetz Deutschlands* ist in definierten Objektarten der ATKIS-Landschaftsmodelle wiedergegeben. Verkehrswege liegen in einem eigenen Objektbereich mit dem Code 3000 vor. In der höchsten Auflösung, dem „Basis-DLM“ kann – anlaog zu den abgeleiteten topographischen Karten im Basismaßstab – von einer nahezu vollständigen Abbildung des gesamten Wegenetzes bis zur Kategorie befestigter Wirtschafts- und Fahrwege ausgegangen werden. Das generalisierte *DLM250* beinhaltet unter den Verkehrswegen nach dem aktuellen Objektartenkatalog (BKG, 2010a) eine „vollzählige Erfassung der für den öffentlichen Verkehr zugelassenen überörtlichen Straßen sowie Erfassung von sonstigen Straßen, die der Erschließung von Siedlungs- oder Betriebsflächen dienen.“ Dieser Datenbestand wurde aus pragmatischen Gründen ausgewählt: er umfasst trotz Ausdünnung bereits ca. 396.000 km Straßennetz, also das vom Umweltbundesamt mit 231.000 km berechnete überörtliche Verkehrsnetz (UBA, 2011) sowie zusätzlich ca. 165.000 km an Gemeindestraßen. Zur geometrischen Erfassungsgenauigkeit existieren kaum Angaben. Weil aber das BasisDLM eine wesentliche Quelle darstellt und geometrische Generalisierung der Linien nur in Teilabschnitten notwendig ist, kann von mittleren Lagefehlern unter 20 m ausgegangen werden. Diese Werte harmonisieren gut mit dem Abtastintervall des Geländemodelles. Eine deutschlandweite Berechnung mit dem Wegenetz des BasisDLM hätte eine geschätzte Vervierfachung des Aufwandes nach sich gezogen und war im gegebenen Zeit- und Budgetrahmen unmöglich. Die bezogenen Straßendaten sind wie die gesamten Digitalen Landschaftsmodelle 2D-Repräsentationen, das heißt sämtliche Koordinaten sind als Rechts- und Hochwert, jedoch ohne Höhenkoordinate gegeben.

Für den notwendigen räumlichen Bezug der zu berechnenden Statistik – die Gemeindeebene – wurden vom UBA die Gemeindeflächen aus der *digitalen Verwaltungsgebietskarte (VG250)* bezogen (BKG, 2010b). In ihr ist das deutsche Staatsgebiet flächendeckend in Gemeindeflächen und höhere administrative Einheiten zerlegt. Das wichtigste Polygonattribut ist der Amtliche Gemeindegeschlüssel (AGS). Der AGS besteht aus insgesamt 8 Ziffern: Die ersten beiden Ziffern bezeichnen das Bundesland, die dritte bis fünfte Ziffer kennzeichnen Landkreis bzw. die kreisfreie Stadt. Die letzten drei Ziffern verweisen auf die Gemeinden innerhalb eines Landkreises. Bei kreisfreien Städten stehen an dieser Stelle drei Nullen.

2.2 Formate

Die Rasterdaten wurden gekachelt als GeoTiff-Rasterdaten übergeben.

Die Vektordaten (ATKIS DLM250, Ebene 3000 - Verkehr) sowie die Gemeindegrenzen wurden als *Shapefiles* geliefert. Dieses offene Format des GIS-Softwareherstellers *ESRI* stellt durch die weite Verbreitung einen inoffiziellen Industriestandard für Geodaten dar und ermöglicht in nahezu allen GIS-Softwareprodukten eine direkte Nutzung.



3. Prozessierung

3.1 Allgemeiner Ansatz

Der gewählte Ansatz besteht aus vier Hauptschritten:

- (1) Reduktion des Straßennetzes auf alle Straßen ohne Autobahnen
- (2) Erzeugung von 3D-Vektoren aus dem 2D-Straßennetz und dem Digitalen Höhenmodell
- (3) Gradientberechnung für äquidistante Segmentlängen
- (4) Berechnung einer Gradientenstatistik auf Gemeindebasis.

Die Auswahl aller Straßen ohne die für den Radverkehr nicht nutzbaren Autobahnen greift auf die Attributeinträge der ATKIS-DLM250-Straßendaten zu. Ausgewählte Objekte sind alle Straßen (Objektart 3101) mit einem Widmungscode von 1303 (Bundesstraße), 1305 (Landesstraße, Staatsstraße), 1306 (Kreisstraße) und 1307 (Gemeindestraße) sowie die gesamte, jedoch geringe Anzahl an enthaltenen Wegen (Objektart 3102).

Der hier verfolgte Prozessierungsansatz verknüpft die nur im 2D-Raum definierten Straßennetzgeometrien mit Höhenwerten aus dem Digitalen Höhenmodell. Da nur in Ausnahmefällen die 2D-Stützpunkte der Straße exakt mit dem Mittelpunkt einer DGM-Zelle zusammenfallen, stellen die vergebenen Höhenwerte nahezu immer lineare Interpolationen aus dem Geländemodell dar. Das genutzte Verfahren kann jedoch nicht ausschließlich auf die originalen Stützstellen der Straßengeometrie zurückgreifen, sondern muss zwingend die Tastweite verdichten, um einen sinnvollen Bezug zum Digitalen Höhenmodell herzustellen. Die gewählte Tastweite entspricht nach Verdichtung der linearen Auflösung des DGM, nämlich 25m (vgl. Abbildung 1).

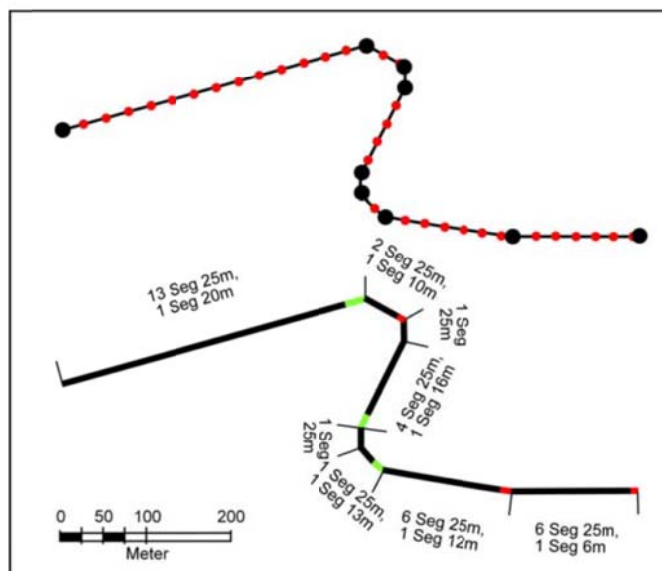


Abbildung 1:
Diskretisierung der Abtastweite auf 25 Meter (oben), Segmente $\geq 12,5$ Meter (grün) werden nachfolgend statistisch berücksichtigt, Segmente $< 12,5$ Meter (rot) nicht.

Die verdichteten, aber in ihrer 2D-Raumlage unveränderten, Straßennetzgeometrien umfassen nach dem oben beschriebenen Schritt (Verdichtung, 3D-Koordinatenberechnung) nunmehr pro Entität n Segmente in einer horizontalen Standardlänge von 25 Metern, sowie eine deutlich kleinere Anzahl mit kürzeren Segmentlängen als 25 Meter.

Für die nachfolgenden Schritte wurde eine *eigene Softwareerweiterung für ArcGIS Desktop*



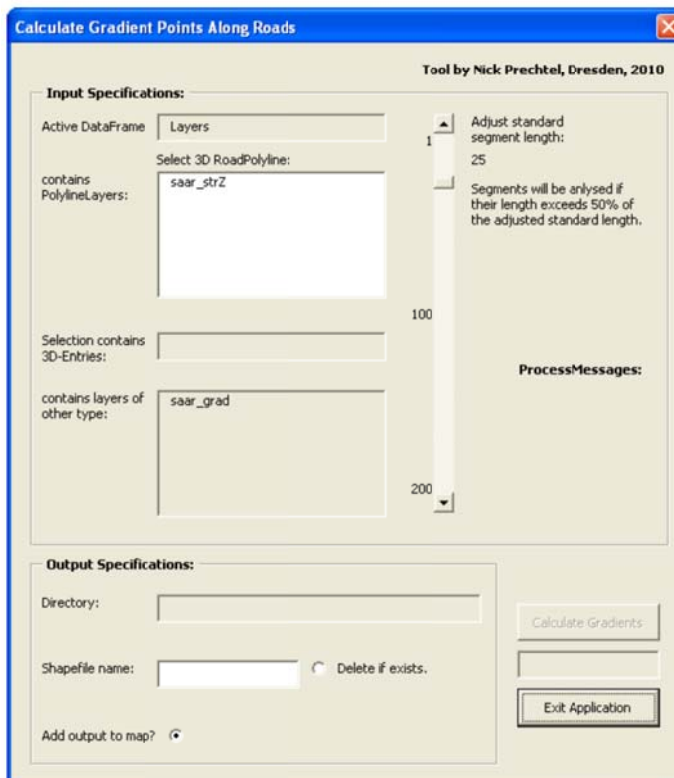
entwickelt. Sie umfasst zwei Funktionen:

- Die Gradientberechnung für jedes Straßensegment: Hier wird ein Absolutwert genutzt, da das Vorzeichen (Steigung oder Gefälle) für die Studie nicht relevant ist. Ebenso werden die Gradientwerte auf ganze Grad gerundet, um nachfolgend Häufigkeitsklassen bilden zu können. Resultat ist datentechnisch eine Punkt-FeatureClass, in der jedem Segmentmittelpunkt ein gerundeter Gradientwert (in Grad) zugeordnet ist.
- Die Summierung aller Gradientwerte aus Schritt pro Gemeinde: Mittels Gemeindeflüssel in der in (1) berechneten Punkt-FeatureClass werden sequenziell Untermengen gebildet, die alle Punkte innerhalb einer Gemeindefläche umfassen. Diese werden durchlaufen und dabei für jede Gradstufe absolute Häufigkeiten summiert. Diese Statistik wird in Tabellenform gespeichert. Um keine statistischen Fehler durch die notwendigerweise nicht vollständig in der Standardastweite vorliegenden Segmente zu verursachen, werden Segmente mit einer Länge von >12,5 m und <25 m einbezogen, Segmente mit einer Länge von <12,5 m ausgeschlossen. Angesichts der sehr hohen Gesamtpunktmenge können gerichtete Fehler (Unter- oder Überrepräsentation bestimmter Gradientklassen) ausgeschlossen werden.

Aufgrund der sehr *hohen absoluten Datenmenge* konnten die Ergebnisse nicht mit einem Programmlauf erzielt werden, sondern die kompletten Programmläufe erfolgten mit räumlichen Teilmengen der Daten. Primäres Teilungskriterium waren die Bundesländer. Bei den flächenmäßig größten Bundesländern mussten noch einmal Teilgruppen (z.B. Nordteil, Südteil) gebildet werden, die aber nur Zwischenresultate darstellen.

Die übergebenen Resultattabellen liegen in der Aggregationsstufe Bundesland vor.

3.2 Eigene Softwarewerkzeuge



Die Programmiererweiterungen wurden mit der Programmiersprache VisualBasic realisiert. Die Software ArcGIS Desktop der Fa. ESRI stellt dem Entwickler umfangreiche Bibliotheken im Windows-COM-Standard zur Verfügung (vgl. ESRI 2011). Die hier behandelte Aufgabe stützt sich primär auf die „Geometry“-Library. Nachfolgende Abbildungen 2 und 3 zeigen die englisch gehaltene Nutzerschnittstelle.

Abbildung 2: User Interface zur Programmergänzung „Gradientberechnung“.



Aggregates Point-wise Stored Gradients To Summary Table Tool by Nick Prechtel, Dresden, 2010

Input Specifications:

Active DataFrame: Remark: White control fields indicate necessary user entries!

contains PointLayers:

contains layers of other type:

Select Gradient Layer:

Select Gradient Field:

Select CaseField:

Change first case to be processed:

Output Specifications:

Directory:

Table name: Delete if exists?

Calculation:

Starts with:

Ends with:

Clip Gradient:

Abbildung 3: User Interface zur Programmergänzung „Gradientstatistik“.

3.3 Ausgabeformen

Die zweite Programmierweiterung („Gradientstatistik“) produziert eine dBase-Tabelle mit folgenden Datenmodell:

Feld	Datentyp	Beschreibung
Case	Text	AGS als Text wegen führender Null
Grad0	Long	absolute Häufigkeit: $0^\circ \leq \text{Gradient} < 0,5^\circ$
Grad1	Long	absolute Häufigkeit: $0,5^\circ \leq \text{Gradient} < 1,5^\circ$
Grad2	Long	absolute Häufigkeit: $1,5^\circ \leq \text{Gradient} < 2,5^\circ$
Grad3	Long	absolute Häufigkeit: $2,5^\circ \leq \text{Gradient} < 3,5^\circ$
...	...	...
Grad20	Long	absolute Häufigkeit: $19,5^\circ \leq \text{Gradient} < 20,5^\circ$

Tabelle 1: Ausgabedatenmodell.

Die erzeugten Tabellen lassen sich in SpreadSheet-Software wie Microsoft-Excel direkt öffnen. Hier kann man mit minimaler Interaktion eine beliebige Klassifikation in Neigungsklassen mit relativen Klassenhäufigkeiten durchführen. Konkret wurden hierzu drei Klassen mit Grenzen nach prozentualer Neigungsangabe vom Auftraggeber gewünscht: Gradient unter 2%, Gradient 2% - 5%, Gradient > 5%. Die Aggregation der in Grad vorliegenden Primärstatistik erfolgte



somit folgendermaßen:

Originalfelder	Aggregat-Klasse	Beschreibung
	Samples	Summe aller Berechnungen für eine Gemeinde
Grad0, Grad1	Grad2Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse <2%
Grad2, Grad3	Grad5Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse 2-5%
Grad4, ..., Grad20	Grad37Proz	relative Häufigkeit der Gradientklasse >5%
	GradMeanR	Mittlerer Gradient [°]

Tabelle 2: Aggregation der Primärstatistik.

Außerdem enthält die Endtabelle noch ein Feld „Samples“, welches die Gesamtzahl aller berechneten Gradienten für eine Gemeinde sowie ein Feld „GradMeanR“, welches eine mittlere Neigung in Grad wiedergibt.

Die gemeindeweise in drei Gradientklassen vorliegende Endstatistik lässt sich in Karten gut als Tortendiagramm darstellen, wie das nachfolgende Beispiel für das flächenmäßig kleine „Saarland“ zeigt (Abbildung 4). Angesichts der extrem hohen Anzahl an Gemeinden erfordert diese graphische Umsetzung über flächenbezogene Diagramme (Kartodiagramme) für ganz Deutschland allerdings entweder sehr große Ausgabeformate (A0) oder eine Aufspaltung in eine große Anzahl von Teilblättern, weswegen für das Gesamtgebiet eine inhaltlich vereinfachte Darstellungsform gewählt wurde, die nur den mittleren Neigungswert als Flächenfarbe umsetzt.

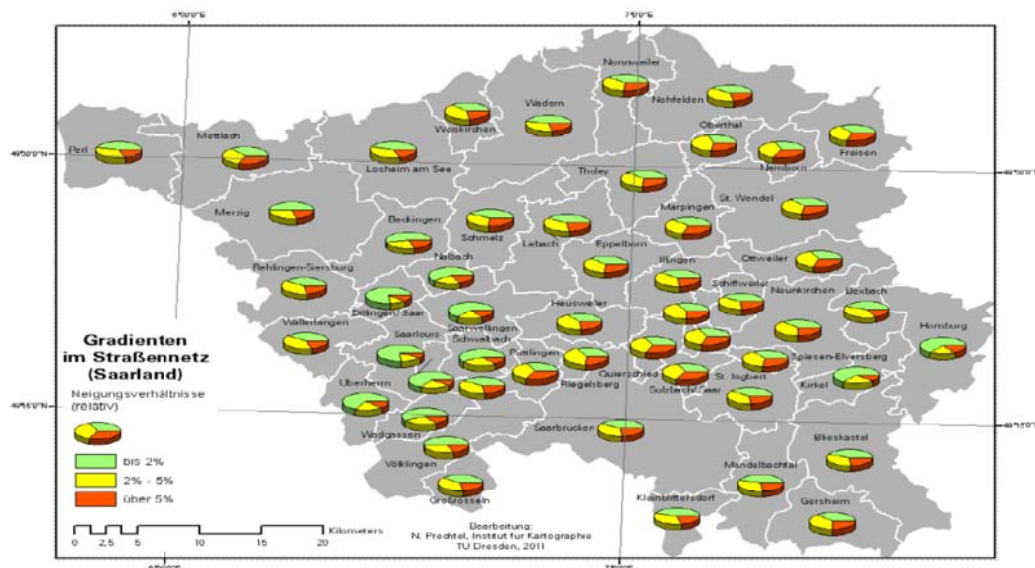


Abbildung 4: Darstellung der Straßengradienten als Tortendiagramme (Saarland).



4. Resultate

Mit Abschluss des Teilprojektes liegen für alle Gemeinden Gradientenstatistiken für die im Landschaftsmodell ATKIS-DLM250 enthaltenen Straßen vor. Die Gradienten beziehen sich auf Straßensegmente in schematischer 25m-Teilung und schöpfen damit die in den Ausgangsdaten enthaltene Information aus.

Statistisch bedeutete die Arbeit eine Berechnung und Klassifizierung von insgesamt 15.318.305 Gradienten aus einer Auswertung von 382.957,625 Straßenkilometern. Eine deutliche Verdichtung durch Einbeziehung eines größeren Anteils von Straßen niedrigerer Kategorie (im Wesentlichen Gemeindestraßen) sollte aus Gründen der Prozessdauer, sofern überhaupt sinnvoll, nur für eine Untermenge der Gemeinden erfolgen, da die Bearbeitung in einem Programmlauf auf ca. 600.000 Punkte beschränkt ist, um Hauptspeicherengpässe zu vermeiden.

Einige datenbedingte Unschärfen sind in der Berechnung enthalten, dürften aber in der gewählten aggregierten Statistik nicht zu gravierenden Fehlern führen. Eine *tendenzielle leichte Überschätzung der Gradienten* kann für die berechneten Straßen jedoch vermutet werden, weil:

- die geometrische Generalisierung im vorhandenen Modell tendenziell zu einer leichten Längenverkürzung bei den Straßenachsen führt, speziell dort, wo der Straßenverlauf starke Krümmungen aufweist.
- das Digitale Geländemodell die lokalen Höhenmaxima und -minima aufgrund von Unterabtastung nicht exakt wiedergeben kann. Das bedeutet, dass Kunstbauten wie lokale Aufdämmungen und Straßeneinschnitte sich nicht komplett im Höhenmodell und damit auch nicht in den berechneten Gradienten spiegeln. Auch dieses Phänomen führt zu einer lokalen Überschätzung der Gradienten.

In exakt die andere Richtung dürfte statistisch die ausgangsdatenbedingte Reduktion auf Hauptstraßen weisen. Würde man das gesamte befahrbare öffentliche Wegenetz in die Berechnung einspeisen, so dürfte das zu einer höheren Besetzung der höheren Gradientenklassen führen, da das Hauptstraßennetz schon in seiner historischen Anlage nach Möglichkeit einen relativ steigungsarmen Verlauf nimmt, während die interne Erschließung von Siedlungsgebieten in Hanglage weniger auf geringstmögliche Neigungen optimiert ist. Eine präzise Untersuchung der genannten Probleme konnte im vorliegenden Teilprojekt nicht erfolgen.

5. Bearbeitung

Die gesamte technische Konzeption wurde in Absprache mit Herrn Dr.-Ing. Rico Wittwer durch Herrn Dr. Nikolas Prectel, Institut für Kartographie der TUD, entwickelt. In der gleichen Hand lag die programmtechnische Entwicklung der oben beschriebenen Ergänzungsmodule für ArcGIS-Desktop. Die operationelle Prozessierung der Daten erfolgte durch Herrn Timo Schwedka, Student im Bachelorstudiengang „Kartographie und Geomedientechnik“. Für seine engagierte und kooperative Mitarbeit sei hiermit gedankt.



6. Internetquellen

AdV (2011): Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Homepage <http://www.adv-online.de>

BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2010a): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem - Digitales Landschaftsmodell 1:250.000, 58 S. <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/dlm250.pdf>

BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2010b): Vektordaten Bundesrepublik Deutschland - Verwaltungsgebiete 1 : 250 000 (VG250 und VG250-EW), 12 S., <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/vg250.pdf>

ESRI(2011): ArcGIS Resource Centre. ArcObjects SDK 10 .NET Framework. - http://help.arcgis.com/en/sdk/10.0/arcobjects_net/conceptualhelp/index.html#/Developing_with_ArcGIS/0001000001ww000000/

UBA – Umweltbundesamt (2011): Daten zur Umwelt – Verkehrswegearten in Deutschland (Tabelle), <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2333>

7. Endberichterstellung