Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

BBSR-Online-Publikation Nr. 09/2019

Methodische Weiterentwicklungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR

Das Projekt des Forschungsprogramms „Modelvorhaben der Raumordnung (MORO)“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) durchgeführt.

ISSN 1868-0097

IMPRESSUM

Herausgeber
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat I 5 – Digitale Stadt, Risikovorsorge und Verkehr
Dr. Stefan Schönfelder
Thomas Pütz
thomas.puetz@bbr.bund.de

Auftragnehmer
Spiekermann & Wegener, Stadt- und Regionalforschung (S&W)
Dr. Björn Schwarze, Dr. Klaus Spiekermann
unter Mitarbeit von Tim Thomé

in Kooperation mit
Bergische Universität Wuppertal
Lehr- und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik
M.Sc. Tim Holthaus, Prof. Dr. Bert Leerkamp

FBS Forschungsbüro Scheiner
Prof. Dr. Joachim Scheiner

Stand
März 2019

Vervielfältigung
Alle Rechte vorbehalten
Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

Zitierweise
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Methodische Weiterentwicklungen der Erreichbarkeitsanalysen des
BBSR. BBSR-Online-Publikation 09/2019, Bonn, April 2019.

© BBSR April 2019

Liebe Leserinnen und Leser,

mit seinem Erreichbarkeitsmodell hat das BBSR eine Grundlage geschaffen, die regionalen und großräumigen Erreichbarkeitsverhältnisse in Deutschland abzubilden. Analysen zeigen beispielsweise, wie Standorte verkehrstechnisch angebunden sind und wie gut Einrichtungen der Daseinsvorsorge in den Regionen erreichbar sind.

Neue Daten und Analysemethoden erweitern nun die Aussagekraft der empirischen Arbeiten des BBSR. Die vorliegende Studie hat Handlungsempfehlungen erarbeitet, die sich auf die Weiterentwicklung der methodisch-technischen und inhaltlichen Grundlagen beziehen. Die Autoren empfehlen unter anderem, stärker die Verkehrsbelastungen im Streckennetz bei den Analysen zu berücksichtigen, die je nach Tageszeit unterschiedlich sind. Fahrplandaten des Öffentlichen Verkehrs sollen systematisch ausgewertet werden.

Die Studienergebnisse richten sich an all diejenigen, die sich in Wissenschaft und Planung mit Fragen der verkehrlichen Erreichbarkeit auf allen räumlichen Ebenen befassen.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.

Dr. Markus Eltges
Leiter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Inhalt

Kurzfassung ... 3

Summary ... 7

1 Zielsetzung und Forschungsansatz ... 10
1.1 Zielsetzung, Forschungsfragestellung und Herangehensweise ... 10
1.2 Aufbau des Berichts ... 12

2 Erreichbarkeitsanalysen des BBSR ... 14
2.1 Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell ... 14
2.2 Exemplarische Anwendungsbeispiele ... 16

3 Systematisierung von Erreichbarkeit ... 21
3.1 Generische Erreichbarkeitsindikatoren ... 21
3.2 Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell im Kontext ... 26

4 Anwendungsbeispiele anderer Erreichbarkeitsmodelle ... 29
4.1 Ausgewählte Beispiele ... 29
4.2 Erreichbarkeitsatlas Metropolregion Hamburg ... 31
4.3 Erreichbarkeit der Zentralen Orte in Mecklenburg-Vorpommern ... 35
4.4 Erreichbarkeitsmodell Österreich ... 38

5 Modellierung des Straßennetzes ... 40
5.1 Digitale Straßennetzgrundlagen ... 40
5.2 Aufbau eines Experiments zur Abbildung realistischer Reisezeiten im Straßenverkehr ... 42
5.2.1 Einbezogene Straßennetzmodelle ... 43
5.2.2 Regelbasierte Abbildung von Fahrgeschwindigkeiten ... 45
5.2.3 Gemessene Fahrgeschwindigkeiten ... 48
5.2.4 Vergleich attributierter Geschwindigkeiten ... 51
5.3 Relationsbezogener Reisezeitvergleich verschiedener Netzattributierungen ... 54
5.4 Flächenhafter Reisezeitvergleich verschiedener Netzattributierungen ... 62
5.5 Reisegeschwindigkeiten im Pkw-Verkehr nach Kreistypen ... 67
5.6 Zwischenfazit zur Modellierung des Straßennetzes ... 70

6 Integration des Öffentlichen Verkehrs ... 71
6.1 ÖV-Datenformate ... 71
6.2 ÖV-Datenquellen ... 74
6.3 Optionen der Integration von ÖV-Daten ... 75
6.3.1 Abfrage von Fahrplanauskunftssystemen ... 76
6.3.2 Interne Verarbeitung von Fahrplaninformationen ... 76

7 Ziele der Erreichbarkeitsmodellierung ... 78
7.1 Zielwahl und Nutzerpräferenzen ... 78
7.2 Zielauswahl und Zieldefinition ... 84
7.2.1 Ziele im Personenverkehr ... 84
7.2.2 Ziele im Güter- und Warenverkehr ... 88
7.3 Zielerreichung ... 90
7.4 Mindeststandards und Schwellenwerte ... 94

8 Erreichbarkeitsindikatoren in regionalen Wirkungsanalysen ... 99

9 Fazit und Umsetzungsempfehlungen 102
9.1 Hinweise aus der Literatur 102
9.2 Modellierung des Straßenverkehrs 104
9.3 Modellierung des Öffentlichen Verkehrs 106
9.4 Modellierung von Zielen 107
9.5 Zusammenfassende Empfehlungen 109
10 Literaturverzeichnis 112
11 Abbildungsverzeichnis 117
12 Tabellenverzeichnis 119

Kurzfassung

Hintergrund und Zielsetzung

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) verfügt über eine langjährige Erfahrung mit der Analyse und Darstellung verkehrlich-räumlicher Erreichbarkeiten in Deutschland. Die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalysen liefern für Raumordnung und -planung wichtige Hinweise über die Leistungsfähigkeit, Effizienz und Güte von Verkehrsinfrastrukturen und Siedlungssystemen. Zur Sicherung der Daseinsvorsorge geben sie Auskunft über Versorgungsqualität und Chancengerechtigkeit in den einzelnen Teilräumen.

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR basieren im Wesentlichen auf einem Erreichbarkeitsmodell für den Straßenverkehr, deren Kern ein GIS-System mit einem großen Bestand an georeferenzierten (Lage-)Informationen relevanter Einrichtungen und einem detaillierten Verkehrsnetz ist. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen Daten zu den Reisezeiten im Öffentlichen Verkehr aus externen Quellen bezogen, weiterbearbeitet sowie analysiert, um entsprechende Erreichbarkeitsverhältnisse für diesen Verkehrsträger darzustellen.

Vor dem Hintergrund neuer Datenverfügbarkeiten und Analysemethoden sowie politischer Zielsetzungen etwa im Bereich der nachhaltigen Mobilität oder der Sicherung der Daseinsvorsorge erscheint eine Aktualisierung und Erweiterung der Methodik der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen sinnvoll. Im Rahmen der kontinuierlichen Anwendung des Modells werden die Netzgrundlagen zwar laufend aktualisiert. Die Möglichkeiten für eine Weiterentwicklung der inhaltlichen sowie methodisch-technischen Grundlagen waren jedoch bisher nur eingeschränkt.

Das übergreifende Ziel dieser MORO-Studie war es, auf der Basis umfangreicher Informationsgrundlagen und unterschiedlichster Analysen konkrete Umsetzungsempfehlungen für die methodische, technische und strategische Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR zu entwickeln. Das Projekt hatte so eine Ausarbeitung von konzeptionell-methodischen und inhaltlich-strategischen Empfehlungen für die zukünftige Erreichbarkeitsmodellierung im BBSR zum Ziel. Hierbei ist die Entwicklung umsetzbarer Handlungsempfehlungen besonders relevant.

Konzeption

Zu Beginn wurde eine systematische Analyse des BBSR-Erreichbarkeitsmodells und der in Wissenschaft und Praxis verbreiteten Erreichbarkeitskonzepte und –modelle durchgeführt, die auch den internationalen Stand der Forschung in diesem Bereich umfasste. Auf dieser Grundlage konnten die Möglichkeiten der konzeptionellen, methodischen und technischen Weiterentwicklung der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen ausgelotet werden.

Im ersten größeren Baustein zu den Straßennetzgrundlagen wurde zunächst eine Analyse der verschiedenen, verfügbaren digitalen Verkehrsnetze durchgeführt. Hierbei wurde ermittelt, ob, und wenn ja, wie das für die BBSR-Erreichbarkeitsanalysen benutzte digitale Straßennetz modifiziert oder sogar ausgetauscht werden sollte. Schwerpunkt dieses Bausteins war eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Wege zur Generierung und Codierung realistischer Netzwiderstände auf den einzelnen Segmenten von Straßennetzen. Zur Frage realistischer Netzwiderstände wurde eine vergleichende Analyse der verschiedenen Schätzverfahren und Datenquellen (einschl. Big Data) hinsichtlich der grundsätzlichen Eignung, des Aufwands und der jeweils resultierenden Reisezeiten und Erreichbarkeiten durchgeführt. Hierdurch konnten Aussagen getroffen werden, wie die bisherigen Netzwiderstände des BBSR-Modells modifiziert und ergänzt werden können.

Im zweiten größeren Baustein wurden Wege aufgezeigt und diskutiert, wie die Ermittlung von Reisezeiten des Öffentlichen Verkehrs, die bisher außerhalb des BBSR-Analyserahmens liegen, in das Erreichbarkeitsmodell integriert werden können. Hierzu wurden unterschiedliche konzeptionelle und technische Möglichkeiten erörtert, die auf eine fahrplanscharfe Analyse von ÖV-Reisezeiten abzielen. Im Ergebnis zeigt dieser Baustein, wie die Implementierung eines ÖV-Moduls in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell aussehen kann.

Der dritte größere Baustein war den Zielen in den Erreichbarkeitsanalysen gewidmet. Dazu wurden nach raum-, verkehrs- und zeitstrukturellen Merkmalen Nutzerpräferenzen und das realisierte Zielwahl- und Verkehrsverhalten untersucht. Darauf aufsetzend fand eine Diskussion zur Relevanz und Definition einzelner Ziele für die Erreichbarkeitsmodellierung im Personen- sowie Wirtschafts- und Güterverkehr statt. Anschließend wurde den methodischen Fragen nachgegangen, unter welchen Bedingungen Ziele räumlich aggregiert werden können, wie mit räumlich besonders strukturierten Teilräumen umzugehen ist und wann in der Modellierung ein Zielort als erreicht eingestuft werden kann. Zudem erfolgte eine Diskussion über zutreffende Erreichbarkeitsmindeststandards und Schwellenwerte. Abschließend wurden zu diesem Themenkomplex Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen für die Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR abgeleitet.

Strategische Weiterentwicklung des BBSR-Erreichbarkeitsmodells

Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell für den Straßen- und öffentlichen Verkehr wurde hinsichtlich seiner inhaltlichen und technischen Ausrichtung kontinuierlich weiterentwickelt. Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell erlaubt fundierte und anerkannte Analyseergebnisse. Die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR werden anschaulich aufbereitet. Die Literatur zur Erreichbarkeit und die unterschiedlichsten Anwendungsbeispiele spannen ein sehr weites Feld von Optionen auf. Die strategische Weiterentwicklung des Erreichbarkeitsmodells des BBSR kann jedoch nicht darauf abzielen, alle möglichen Aspekte von Erreichbarkeit abzubilden. Es muss nach wie vor die jeweilige raumordnungspolitische Fragestellung ausschlaggebend für Art und Umfang der Analysen sein. Zudem müssen mögliche Erweiterungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittelfristig vor dem Hintergrund der bestehenden finanziellen und personellen Möglichkeiten umsetzbar sein. Gleichzeitig sollte die Kontinuität in dem bestehenden, umfangreichen Analysespektrum weitgehend gewahrt bleiben.

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR waren bislang überwiegend auf die Pkw-Erreichbarkeit fokussiert und nur in geringem Umfang auf Erreichbarkeit im Öffentlichen Verkehr oder im Güter- und Warenverkehr. Der Erreichbarkeit von Standorten per Fuß und Fahrrad sowie der Erreichbarkeit aus der Kombination verschiedener Verkehrsmittel und der Erreichbarkeit im Wirtschafts- und Güterverkehr wird eine zunehmende Bedeutung zugesprochen. Dies würde für das Modell entsprechende Weiterentwicklungen zur besseren Integration verschiedener Verkehrsnetzgrundlagen erfordern. Ebenso ist eine Verknüpfung des Nahversorgungsmodells des BBSR mit einem (kleinräumigen) Erreichbarkeitsmodell denkbar.

Erreichbarkeit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Tagesstunde, Wochentag, Jahreszeit) aufgrund unterschiedlicher Verkehrsnetzbelastungen, ÖV-Angeboten oder Restriktionen bei den Zielen (z. B. Öffnungszeiten) sehr verschieden sein. Bislang steht im Mittelpunkt der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mit dem Pkw die Philosophie des "frei fließenden" Straßenverkehrs, welche aber nur zu bestimmten Zeiten in der Realität vorkommt. Im ÖV wird Erreichbarkeit am Vormittag gemessen, also zu Zeiten mit vergleichsweise hohen Angeboten und ebenfalls geringeren Reisezeiten. Zu prüfen wäre, ob die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittel- bis langfristig für weitere Zeitfenster entwickelt werden können, um den realen Bedingungen besser zu entsprechen. Empfohlen werden die Abbildung unterschiedlicher Netzzustände im Straßenverkehr und eine flexible Berücksichtigung unterschiedlicher Reisezeiträume im öffentlichen Verkehr.

Der Aufwand zur Raumüberwindung lässt sich nicht nur in Form von Reisezeit abbilden. Kosten spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle für die Wahl von Verkehrsmittel und Zielen. Kosten können in Form von tatsächlichen monetären Reisekosten oder zusammenfassend mit der monetär ausgedrückten Reisezeit als generalisierte Kosten in Erreichbarkeitsanalysen berücksichtigt werden. Selbst die Einbeziehung von ökologischen Kosten (z.B. CO_2-Emissionen) wäre möglich. Zu prüfen wäre daher, bei welchen Arten von Erreichbarkeitsanalysen Reisezeiten durch Kosten zur Darstellung des Raumüberwindungsaufwands ersetzt werden können.

Es gibt eine Reihe von komplexeren, analytisch wertvollen Erreichbarkeitsindikatoren jenseits der klassischen einfachen Reisezeitindikatoren. Entsprechende Analysen sind mit dem Erreichbarkeitsmodell des BBSR bereits jetzt teilweise umsetzbar. Eine zusätzliche Herausforderung bei komplexeren Erreichbarkeitsindikatoren liegt in der Vermittelbarkeit der Ergebnisse, insbesondere in einer verständlichen Visualisierung. Basis der BBSR-Erreichbarkeits-

analysen sollten daher weiterhin die klassischen Reisezeitindikatoren bilden, die allerdings zielgruppenorientiert durch komplexere Erreichbarkeitsindikatoren ergänzt werden könnten. Hier bieten sich insbesondere Erreichbarkeitsindikatoren vom Typ Potenzialerreichbarkeit an. Hierbei werden interessierende Ziele, wie zum Beispiel Bevölkerung oder Arbeitsplätze, gewichtet aufsummiert. Die Gewichtung erfolgt mit dem Aufwand, diese Ziele zu erreichen (zum Beispiel Reisezeit, Kosten).

Mit einem fortentwickelten BBSR-Erreichbarkeitsmodell könnten mehr Analysen durchgeführt werden, die über eine rein modale Betrachtung hinausgehen. Die Kombination von Verkehrsarten in Erreichbarkeitsanalysen wie beispielsweise ausgedrückt durch die jeweils schnellste Verkehrsart oder durch aggregierte, multimodale Indikatoren kann weitere Aussagen zu den räumlichen Gegebenheiten in Bezug auf Erreichbarkeit ermöglichen. Die Einbeziehung intermodaler Wegeketten, also die Nutzung mehrerer Verkehrsmittel, ist eine weitere Herausforderung. Erforderlich wären auch vergleichende Analysen der Erreichbarkeitsbedingungen mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln. Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell könnte für Maßnahmen- und vergleichende Bewertungen stärker nutzbar gemacht werden, da reine Kosten-Nutzen-Analysen wenig über räumliche Prozesse und Effekte aussagen. Dies sollte nicht nur verkehrliche Maßnahmen, sondern auch solche der Standortplanung mit einschließen.

Es gibt nicht die eine Erreichbarkeit, Erreichbarkeit ist vielmehr eine sehr dynamische Größe und variiert auch stark zwischen den verschiedenen Räumen. Eine größere Bedeutung könnten vergleichende Erreichbarkeitsanalysen über die Zeit, zwischen Verkehrsmitteln, zwischen unterschiedlichen Netzzuständen durch Planungsmaßnahmen, sowie zwischen Städten und Regionen erlangen.

Es gibt viele neuartige und frei zugängliche, potenzielle Datenquellen (Open Data) für Verkehrsnetze und Zielaktivitäten, deren Nutzbarkeit für die Erreichbarkeitsmodellierung zu ermitteln ist. Gleichzeitig sind die Ergebnisse der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen für viele Akteure wichtig. Daher sollte die Nutzbarkeit der Ergebnisse, beispielsweise durch online verfügbare Visualisierungstools, erhöht werden. Eine Open Data-Ausrichtung sollte daher in zwei Richtungen stärker entwickelt werden, als Input für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR als auch durch eine nicht-restriktive Verfügbarmachung der Ergebnisse durch das BBSR. Ein Ansatz hierzu läge unter Hinzuziehung von (mehreren) Schwellenwerten in einer systematischen, laufenden Erreichbarkeitsbeobachtung des BBSR.

Technische Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR

Hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR werden die folgenden Schritte prioritär empfohlen:

Bei der Ermittlung der minimalen Reisezeiten im Individualverkehr sollten Zeitaufschläge die auftretenden Auf- und Abrüstzeiten (z. B. Weg zum abgestellten Pkw, Ausfahrt aus Garage, Parksuchzeit, Abstellen des Fahrzeugs am Ziel etc.) berücksichtigen. Zur Routenberechnung sollten die Quell- und Zielpunkte mit dem Verkehrsgraphen zudem über virtuelle Anbindungskanten verknüpft werden. Diesen Kanten sollten Raumüberwindungswiderstände für den Zugang bzw. Abgang zugewiesen werden. Beide Maßnahmen ermöglichen neben einer realistischeren Abbildung der Erreichbarkeitsverhältnisse eine bessere Vergleichbarkeit der Reisezeiten zwischen MIV und ÖV.

Für eine flächenhafte Abbildung der Erreichbarkeitsverhältnisse sollte zur Bildung von Isochronen ein Verfahren angewendet werden, das in den Zwischenräumen der Verkehrsgraphen ausgehend von den Netzknoten zu Reisezeitaufschlägen führt. Damit würde eine realistische Gesamtreisezeit für die Punkte in der Fläche zwischen den Netzknoten ausgegeben.

Zentrale Orte als Ziele (des Personen- und Güter- und Warenverkehrs) sollten räumlich präzise definiert und durch Zielflächen abgebildet werden. Wird die definierte Zielfläche erreicht, gilt der Zentrale Ort als erreicht. Mittelfristig sollten Zentrale Orte innergemeindlich ausdifferenziert werden.

Die verfügbaren Optionen zur Attributierung von Fahrgeschwindigkeiten sollten in Bezug auf ihre Umsetzbarkeit geprüft werden. Neben der kurzfristigen Korrektur auffälliger Attributierungen sollte als mittelfristig zu realisierende Option die Geschwindigkeitsattributierung mittels weiterer Strecken- und Siedlungsstrukturinformationen regelbasiert

verfeinert werden. Eine streckengenaue Attributierung mithilfe gemessener Geschwindigkeiten auf der Basis von Big Data-Quellen, wie in diesem Bericht dargelegt, kann aufgrund des Aufwands nur langfristig erfolgen.

In das BBSR-Erreichbarkeitsmodell sollten unterschiedliche Varianten des Straßennetzzustands (z. B. unbelastetes, normal belastetes oder extrem belastetes Netz) integriert werden. Dies erlaubt die Erreichbarkeitsmodellierung für unterschiedliche Zeiträume.

Zur Integration von digitalen Fahrplandaten in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell und zur Berechnung bundesweiter ÖV-Reisezeitenmatrizen durch das BBSR sollte die Entwicklung und der Einsatz einer Software-Lösung forciert werden, die eine flexible Nutzung von ÖV-Daten zur Modellierung der Erreichbarkeit im öffentlichen Verkehr erlaubt.

Summary

Background and objectives

The Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development (BBSR) within the Federal Office for Building and Regional Planning (BBR) has long-standing experience in analysing and presenting spatial transport-related accessibility in Germany. The results of the accessibility analyses provide important evidence for spatial planning on the performance, efficiency and quality of transport infrastructure and the settlement system. They inform also about the spatial distribution of and access to services of general interest and thus also about spatial equity in different parts of the country.

BBSR's accessibility analyses are primarily based on an accessibility model for road transport, which is a GIS-system with a large database on relevant points of interest and a detailed digital transport network. In addition, travel time data for public transport are regularly obtained from external sources, processed and analysed in order to present accessibility for this transport mode.

Given the availability of new data and analytical methods as well as political objectives in the fields of sustainable mobility or the continuance of services of general interest, an upgrade and expansion of the BBSR methodology for accessibility analyses seems reasonable. Although the network databases are continuously updated for the many applications of the model, possibilities for further developing the conceptual, methodological and technical base have been restricted so far.

The main objective of this MORO study was to give recommendations for the strategic, methodological and technical development of BBSR's accessibility approach based on comprehensive information and related analyses. The focus should be on actionable suggestions for action.

Concept

First, a systematic analysis of the BBSR accessibility model and the accessibility concepts used in international research and practice was conducted. This gave a framework for the subsequent steps of assessing the possibilities for the conceptual, methodological and technical enhancements of BBSR's accessibility analyses.

The first larger building block of the study was devoted to the road network database. An analysis of different available digital road transport networks was done to assess whether, and if yes, how BBSR's transport network database should be modified or even replaced. Core of this work package was a comparative analysis on different possibilities to generate and code realistic impedances on the individual links of the transport network. This included the assessment of different estimation techniques and data sources (including Big Data) in terms of their basic suitability, effort and resulting link speeds and accessibility characteristics. By doing this, statements were possible on how the network impedances applied in BBSR's model should be modified and amended.

The second larger building block addressed possibilities of how the calculation of public transport travel times, which is currently done outside BBSR's analytical capacity, could be integrated in the accessibility model. For this, different conceptual and technical possibilities for the inclusion of precise public transport timetable information were discussed. The result of this work package is how a realisable solution for the integration of a public transport module inside BBSR's accessibility model could look like.

The third larger building block was related to different aspects of destinations in accessibility analyses. User preferences, destination choice and mobility behaviour were analysed by spatial, transport and temporal aspects. Based on this, a reflection was done on the relevance and definition of individual destination categories for accessibility modelling in both, individual and commercial/freight transport. The work package included also aspects on how destinations might be spatially aggregated, how to deal with areas that have specific spatial structures, when a destination can be

considered to be reached or relevant accessibility minimum standards and thresholds. In conclusion, recommendations for action and implementation for the BBSR accessibility model were developed.

Strategic enhancements of BBSR's accessibility model

BBSR's accessibility model for road and public transport has been continuously developed in conceptual and technical respect. The BBSR accessibility model enables sound and acknowledged analyses which are presented in an appropriate way. Current literature on accessibility and other application examples yield a wide field of further options. The future strategic development of BBSR's accessibility model cannot aim at incorporating all possible aspects of accessibility. It has to be oriented in kind and extend on posed questions in the context of spatial planning policy and development. In addition, possible extensions of BBSR's accessibility analyses have to be implemented within given financial and personal capacities. At the same time, the continuation of the existing comprehensive analytical spectrum should be safeguarded.

BBSR's accessibility analyses have focused mainly on road accessibility by car and less on public transport accessibility or for commercial and freight transport. However, accessibility by bicycle or walking or the combination of different modes of transport and the accessibility for commerce and freight transport gains in importance. This would demand enhancements of BBSR's accessibility model with respect to an improved integration of different transport networks. Also, a link between BBSR's model on local supply and an (small-scale) accessibility model might be thought of.

Accessibility can be very distinct at different points in time (time of day, weekday, season) due to very different transport network loads, public transport supply or destination restrictions (e.g. opening hours). Up to now, BBSR's accessibility modelling for accessibility by car follows the philosophy of "free flowing" road transport, however, which in reality occurs only during certain periods. For public transport, accessibility is measured for the morning peak period, at a time with comparable high supply and again lower travel times. It should be checked whether BBSR's accessible analyses should be extended in the medium or long term to additional time slots in order to reflect additional conditions in real life. The recommendation is to cover different load situations on the road network and to be more flexible concerning different travel time periods by public transport.

The effort for spatial interaction can be also reflected by other variables than travel time. Travel costs play a decisive role for mode and destination choices. In accessibility models, costs can be reflected as real monetary travel costs or as generalised costs which combine real travel costs and a monetary assessment of travel time. Even the inclusion of ecological costs (e.g. CO_2-emissions) would be possible. It should be analysed, by which kind of accessibility analyses travel time should be replaced by a kind of cost to reflect the travel impedance.

There is a range of more complex and valuable accessibility indicators beyond classical travel time indicators. Such analyses could be partly done already now with the current accessibility model of BBSR. An additional challenge with more complex accessibility indicators is the communication of results; this is particular true for comprehensible visualisation. The traditional travel time indicator might form also the future base of BBSR's accessibility analyses, however, more complex accessibility indicators for certain target groups should be integrated as well. Accessibility indicators of the potential type should be preferred for this amendment. These indicators sum up the destinations of interest (such as population or jobs), however, each weighted by the effort (travel time or cost) to reach those opportunities.

An enhanced BBSR accessibility model could do additional analyses which go beyond pure modal considerations. The combination of different transport modes, e.g. expressed as fastest mode or as aggregate multimodal indicators, can enrich the statements on spatial patterns with respect to accessibility. The inclusion of intermodal trip chains with the use of several transport means is a further challenge. Comparative analyses on the accessibility opportunities provided by different transport modes would be necessary as well.

BBSR's accessibility model could be more intensively used for the assessment of projects and measures as cost-benefit-analyses do inform little about their spatial processes and effects. This should not be restricted to transport projects and measures but should include also location planning projects.

There is not only one single accessibility. Moreover, accessibility is a very dynamic dimension and varies strongly between different areas. Comparative analytical studies on accessibility over time, between transport modes, between different states of the network due to planning measures and between cities and regions should gain in importance.

There are many new and freely accessible potential data sources (Open Data) for transport networks and destinations for which the usability in accessibility modelling has to be assessed. At the same time, the results of BBSR's accessibility analyses are important for many stakeholders. To address this demand, the usability of results might be increased, e.g. by visualisation tools that are accessible online. Therefore, an Open Data orientation should be developed in two directions, as input for BBSR's accessibility modelling as well as by a non-restrictive access to its results. A feasible way would be a systematic and continuous accessibility monitoring by BBSR.

Technical enhancements of BBSR's accessibility modelling

Concerning the technical enhancements of BBSR's accessibility modelling, the following steps are recommended with priority.

When determining minimum travel times for individual transport, time additions should reflect the recurrent times at the beginning and at the end of a journey (e.g. walk to the parked car, exit from the garage, time for looking for a parking spot, time to place vehicle at the destination). For route calculation, origins and destinations should be linked with the transport graph via virtual connector links. Spatial impedance figures for access to and leaving the transport network should be assigned to these connector links. Both measures enable besides a more realistic reflection of accessibility a better comparison of travel time by car and by public transport.

For a full spatial cover of accessibility a method for generating isochrones should be applied, which includes additional times for the way from the network nodes to the areas between the transport graphs. This would result in a total travel time for the points in space between the network nodes which is more realistic than now.

Central places as destinations (of personal transport and goods and freight transport) should be defined in a way that is spatially more precise and which is represented by destination areas rather than single points. Once the destination area will be reached, the central place is considered to be reached. In the medium term, central places should get a differentiation within the municipal areas.

The options available for the attribution of travel speeds should be assessed with respect to their practicability. Besides the short-term correction of peculiar attributions, an option to be realised in the medium term is to refine the attribution of speeds based on additional information for links and settlement structure. An individual link-based attribution derived from measured speeds from big data sources as shown in this report can be realised in the long-term only given the necessary time and costs to do so.

Different variants of the state of the road network (e.g. free flowing, standard load or congested network) should be integrated in BBSR's accessibility model. This enables accessibility modelling for different points in time.

For the integration of digital timetable data in BBSR's accessibility model and for BBSR's own internal calculation of German-wide travel time matrices for public transport, the development and use of specific in-house software should be accelerated. This would allow a flexible use of public transport data for modelling accessibility by public transport.

1 Zielsetzung und Forschungsansatz

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) verfügt über eine langjährige Erfahrung mit der Analyse und Darstellung verkehrlich-räumlicher Erreichbarkeiten in Deutschland. Die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalysen liefern für Raumordnung und -planung wichtige Hinweise über die Leistungsfähigkeit, Effizienz und Güte von Verkehrsinfrastrukturen und Siedlungssystemen. Zur Sicherung der Daseinsvorsorge geben sie Auskunft über Versorgungsqualität und Chancengerechtigkeit in den einzelnen Teilräumen.

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR basieren im Wesentlichen auf einem Erreichbarkeitsmodell für den Straßenverkehr, deren Kern ein GIS-System mit einem großen Bestand an georeferenzierten (Lage-)Informationen relevanter Einrichtungen und einem detaillierten Verkehrsnetz ist. Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen Daten zu den Reisezeiten im Öffentlichen Verkehr aus externen Quellen bezogen, weiterbearbeitet sowie analysiert, um entsprechende Erreichbarkeitsverhältnisse für diesen Verkehrsträger darzustellen.

Vor dem Hintergrund neuer Datenverfügbarkeiten und Analysemethoden sowie politischer Zielsetzungen etwa im Bereich der nachhaltigen Mobilität oder der Sicherung der Daseinsvorsorge erscheint eine Aktualisierung und Erweiterung der Methodik der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen sinnvoll. Im Rahmen der kontinuierlichen Anwendung des Modells werden die Netzgrundlagen zwar laufend aktualisiert. Die Möglichkeiten für eine Weiterentwicklung der inhaltlichen sowie methodisch-technischen Grundlagen waren jedoch bisher nur eingeschränkt.

1.1 Zielsetzung, Forschungsfragestellung und Herangehensweise

Das übergreifende Ziel dieser MORO-Studie war es, auf der Basis umfangreicher Informationsgrundlagen und unterschiedlichster Analysen konkrete Umsetzungsempfehlungen für die methodische, technische und strategische Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR zu entwickeln. Das Projekt hatte so eine Ausarbeitung von konzeptionell-methodischen und inhaltlich-strategischen Empfehlungen für die zukünftige Erreichbarkeitsmodellierung im BBSR zum Ziel. Hierbei ist die Entwicklung umsetzbarer Handlungsempfehlungen besonders relevant.

Zur Erreichung der übergreifenden Zielsetzung waren eine Reihe grundsätzlicher Forschungsfragen vorgegeben, die hier nachfolgend mit den sich daraus ergebenden Aufgaben aufgeführt sind.

Wie gestaltet sich der aktuelle Forschungsstand zur Methodik der Erreichbarkeitsanalyse und -modellierung? Wie werden die Methoden in der Planungspraxis umgesetzt?

Diese Frage erfordert eine umfassende, systematische Analyse der in Wissenschaft und Praxis verbreiteten Erreichbarkeitskonzepte und -modelle. Umfassend meint hier eine breit angelegte Literatur- und Dokumentenanalyse, welche sich insbesondere auch mit dem internationalen Stand der Forschung beschäftigt. Die Quellen werden entlang eines einheitlichen Analyserasters mit Blick auf den Informationsbedarf des BBSR systematisch aufgearbeitet.

Besonders relevant sind die Aspekte:

- Erreichbarkeitsindikatoren
- Zonierung/Raster
- Verkehrsmittel
- Netzgrundlagen
- Messverfahren
- Softwareeinsatz
- Dynamik

Weitere Aspekte können die in den einzelnen Erreichbarkeitsanalysen benutzten bzw. festgelegten Bewertungsmaßstäbe sein und auch die Frage nach der Eignung der einzelnen Ansätze zur Darstellung räumlicher Unterschiede

bzw. zur Messung von räumlichen Disparitäten (Kohäsion). Ziel dieses ersten Bausteins ist ein Rahmen, in dem die konzeptionelle, methodische und technische Weiterentwicklung der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen möglich wäre.

Inwiefern kann das BBSR-Erreichbarkeitsmodell für den Straßenverkehr hinsichtlich seiner Netzgrundlagen ergänzt und modifiziert werden?

Hierzu wird eine Analyse der verschiedenen, verfügbaren digitalen Verkehrsnetze durchgeführt. Ziel der Analyse sind fundierte Aussagen, ob, und wenn ja, wie das für die BBSR-Erreichbarkeitsanalysen benutzte digitale Straßennetz modifiziert oder sogar ausgetauscht werden könnte.

Die Frage der geeigneten digitalen Netzdatenbasis erfordert eine Analyse und Bewertung anderer Netzdatenquellen zur Ergänzung oder zum Ersatz der bislang benutzten Straßennetzdatenbasis. Die Bearbeitung dieser Forschungsfrage wird konkrete Empfehlungen zur möglichen Modifizierung der Datenbasis für das Straßennetz erbringen, die auf einer abwägenden Bewertung von Aufwand und Nutzen einzelner Alternativen basieren.

Wie lassen sich die Straßennetzwiderstände in GIS-basierten Erreichbarkeitsmodellen so differenzieren, dass sich die modellierten Reisezeiten stärker dem tatsächlichen Niveau annähern?

Hierzu werden mögliche Methoden zur Generierung und Codierung realistischer Netzwiderstände auf den einzelnen Segmenten von Straßennetzen analysiert. Ziel der Analyse sind fundierte Aussagen, ob, und wenn ja, wie die Art der bisher angewendeten Netzwiderstände des BBSR-Modells modifiziert oder ergänzt werden könnte. Zu klären ist hier, was unter tatsächlichem Niveau der Reisezeiten zu verstehen ist, da diese aufgrund variierender Belastungen im Tages-, Wochen- und ggf. auch Jahresverlauf sehr unterschiedlich sein können. Ggf. sind hier auch Wege zu identifizieren, die diesen unterschiedlichen Niveaus der Reisezeiten zu verschiedenen Zeiten gerecht werden können.

Die Frage realistischer Netzwiderstände bedingt eine Analyse der verschiedenen Schätzverfahren und Datenquellen (einschl. Big Data) hinsichtlich der grundsätzlichen Eignung, des Aufwands und etwaiger monetärer Kosten. Die Bearbeitung dieser Forschungsfrage wird konkrete Empfehlungen zur möglichen Modifizierung der Attributierung der Straßennetzdatenbasis erbringen, die auf einer abwägenden Bewertung von Aufwand und Nutzen einzelner Alternativen basieren.

Welche Ziele können und sollen zukünftig bei Erreichbarkeitsanalysen im MIV und ÖV sowie im Straßengüterverkehr berücksichtigt werden? Wie können dabei nachfrageseitige Aspekte, d.h. (Ziel-)Wünsche und Möglichkeiten von Nutzern, stärker als bisher berücksichtigt werden?

Diese Forschungsfragen erfordern eine Überprüfung der bislang für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR verwendeten Ziele und Zielcluster. Zu analysieren ist, ob die bislang benutzten Ziele vollständig und relevant sind, welche Zielkategorien ggf. fehlen und ob Ziele stärker als bislang attributiert werden müssten, um aus der Raum-Zeit-Geografie abgeleitete Restriktionen wie Öffnungszeiten oder Kapazitäten in den Erreichbarkeitsanalysen berücksichtigen zu können.

Besondere Beachtung in der Analyse sollen die Zentralen Orte als Cluster relevanter Einzelziele erhalten. Die Überprüfung der Ziele soll sich insbesondere an empirischen Daten und Studien zum tatsächlichen Verkehrsverhalten unterschiedlicher Akteure mit unterschiedlichen Präferenzen orientieren. Aus der Bearbeitung dieser Forschungsfrage folgen Empfehlungen für eine mögliche Modifikation und ggf. Ergänzung der in den BBSR-Erreichbarkeitsanalysen zu verwendenden Ziele.

Wie könnte die Analyse von Reisezeiten und Erreichbarkeiten des Öffentlichen Verkehrs in das bestehende BBSR-Erreichbarkeitsmodell integriert werden?

Hier geht es darum, wie die Ermittlung von Reisezeiten des Öffentlichen Verkehrs, die bisher außerhalb des BBSR-Analyserahmens liegt, in das Erreichbarkeitsmodell integriert werden kann. Hierzu werden unterschiedliche Möglichkeiten erörtert, die auf eine fahrplanscharfe Analyse von ÖV-Reisezeiten abzielen. Diese sollte nicht nur einzelne Quelle-Ziel-Beziehungen berücksichtigen, sondern auf große, bundesweite Reisezeitmatrizen angewendet werden können.

Die Bearbeitung dieser Forschungsfrage wird aufzeigen, ob es technisch implementierbare Lösungen der Integration eines ÖV-Moduls in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell gibt und welchen zusätzlichen Aufwand dies mit sich bringen würde.

Ist es aus Sicht der Bundesraumordnung sinnvoll, einheitliche Festsetzungen zu Mindeststandards für die Erreichbarkeit Zentraler Orte oder sonstiger Ziele zu treffen und wenn ja, welche Empfehlungen sind für eine Herangehensweise bei der Berechnung von regionalen Erreichbarkeitsniveaus zu geben?

Hierzu wird der raumordnungspolitische Diskurs zu Mindeststandards der Erreichbarkeit und deren Anwendung in der raumplanerischen Praxis aufgearbeitet. Fokussiert werden sowohl der Nutzen als auch die Problematik einheitlicher Standards. Aus der Bearbeitung dieser Forschungsfrage ergibt sich eine Grundlage für die weitere politische Diskussion.

Welche Bedeutung haben die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalysen bei der Analyse von raumstrukturellen und regionalökonomischen Wirkungszusammenhängen?

Für diese Forschungsfrage wird die potenzielle Nutzbarkeit der mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell berechenbaren Indikatoren als erklärende Faktoren in Wirkungsanalysen aufgearbeitet. Durchgeführt wird hierzu eine Literaturanalyse im Themenbereich Erreichbarkeit und regionale (Wirtschafts-)Entwicklung. Im Ergebnis gibt es Hinweise darauf, ob die BBSR-Erreichbarkeitsindikatoren über die bisherigen Verwendungszusammenhänge hinaus Bedeutung für die Erklärung räumlicher Entwicklung in entsprechenden Wirkungsanalysen erlangen könnten.

Ein weiteres wichtiges Element der Methodik der Studie war die Hinzuziehung eines Expertenbeirats von Forschern und Praktikern aus den Bereichen Entwicklung, Anwendung und Nutzung von Erreichbarkeitsanalysen. Die Mitglieder des Beirats waren nach Beginn und zum Ende des Projekts eingebunden, reflektierten Arbeitsschritte, Zwischen- und vorläufige Endergebnisse und gaben Anregungen und Änderungsvorschläge. Mitglieder des Expertenbeirats dieses Projekts waren

- Peter Endemann (Regionalverband FrankfurtRheinMain),
- Prof. Dr.-Ing. Karst T. Geurs (Universität Twente, Niederlande),
- Holger Gnest (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz),
- Dr. Sebastian Wilske (Regionalverband Mittlerer Oberrhein),
- Prof. Dr.-Ing. Gebhard Wulfhorst (Technische Universität München).

Der fachliche Wissensaustausch erfolgte insbesondere durch zwei Beiratssitzungen in Form eintägiger Workshops. Neben den Beiratsmitgliedern nahmen Vertreter des BMVI, des BBSR und des Forschungsnehmers an den Workshops teil.

1.2 Aufbau des Berichts

Das Forschungsprojekt basiert auf einem Methoden-Mix: Zur Anwendung kommen vielfältige Recherchen, Datenanalysen sowie quantitative und qualitative empirische Untersuchungen. Mit dieser Studie erfolgt eine Aufbereitung der in der Fachwelt vorhandenen zukunftsweisenden und innovativen Ansätze zur Analyse bzw. Modellierung verkehrlich-räumlicher Erreichbarkeit, die für eine Weiterentwicklung der einschlägigen Analysen des BBSR potenziell relevant

sein können. Diese umfassen methodische bzw. (GIS-)technische Aspekte wie die Herleitung von Netzwiderständen zur Analyse von realistischen Reisezeiten, aber auch strategische Aspekte wie die Berücksichtigung von expliziten Nutzerwünschen bei der Zielwahl.

Dieser Bericht ist entsprechend den wesentlichen Arbeitsschritten des Projekts aufgebaut. Zunächst wird das Erreichbarkeitsmodell des BBSR mit den damit durchführbaren Analysen kurz vorgestellt (Kapitel 2). Mit einer Systematisierung des Konzepts der Erreichbarkeit nach Dimensionen und Grundtypen von Erreichbarkeitsindikatoren wird ein theoretisch-analytischer Rahmen gespannt, in welcher das Erreichbarkeitsmodell des BBSR eingeordnet wird (Kapitel 3). Einen Überblick über ausgewählte, beispielgebende Erreichbarkeitsanalysen von anderen Stellen gibt Kapitel 4.

Die weiteren Kapitel widmen sich dann einzelnen Aspekten der Erreichbarkeitsmodellierung. Ein erstes wichtiges Thema ist die Frage der Straßennetzdaten und insbesondere der Abbildung realistischer Fahrtgeschwindigkeiten. Hierzu sind umfangreiche Vergleichsanalysen durchgeführt worden, die in Kapitel 5 dokumentiert sind. Zur Integration von ÖV-Fahrplandaten in die Erreichbarkeitsmodellierung stellt Kapitel 6 wesentliche Optionen dar. Das Thema der zu erreichenden Ziele und deren Abbildung in der Erreichbarkeitsmodellierung werden in Kapitel 7 thematisiert. Kapitel 8 enthält einen Exkurs zur Rolle von Erreichbarkeit in regionalen Wirkungsanalysen.

Die Schlussfolgerungen mit den Empfehlungen für mögliche Weiterentwicklungen des Erreichbarkeitsmodells des BBSR werden zum Schluss des Berichts integriert vorgestellt, bei der auch eine mögliche Priorisierung vorgeschlagen wird (Kapitel 9).

2 Erreichbarkeitsanalysen des BBSR

Das heutige Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) führt seit den 1980er Jahren Erreichbarkeitsanalysen durch (Pütz, 2017b). Das erste System wurde auf der Basis der Software EVA als reines Straßennetzmodell für West-Deutschland mit Anschluss aller Gemeinden entwickelt und für die raumordnerische Bewertung von Verkehrsprojekten im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung genutzt und alsbald um den Schienenverkehr erweitert (Lutter u.a., 1992). Eine erste Weiterentwicklung erfolgte Anfang der 1990er Jahre im Rahmen eines Projekts für die Europäische Gemeinschaft zur Lagegunst europäischer Regionen. In diesem Kontext wurde das System zu einem europaweiten Erreichbarkeitsmodell unter Einbeziehung von Straßen-, Schienen- und Luftverkehr ausgebaut (Lutter u. a., 1993). Eine gravierende, bis heute wirksame Umstellung des Systems erfolgte zu Ende der 1990er Jahre. Seitdem wird ein kommerzielles Geoinformationssystem mit einem integrierten Netzwerkanalysemodul (ESRI ARC/INFO 7.0 – Network Modul bzw. ArcGIS Network Analyst) zur Datenhaltung und Erreichbarkeitsmodellierung auf der Basis europaweiter, intermodaler Verkehrsnetze (Straße, Schiene, Luft) genutzt.

Die durch das System des BBSR bereitgestellten Erreichbarkeitsindikatoren und die darauf basierenden Analysen werden heute in verschiedenen Kontexten genutzt. So sind Erreichbarkeitsindikatoren fester Bestandteil der laufenden Raumbeobachtung des BBSR geworden. Die Erreichbarkeitsanalysen haben einen festen Platz in den Raumordnungsberichten des Bundes, werden in vielfältigen weiteren raumbezogenen Analysen genutzt und informieren so Politik und Öffentlichkeit über raumrelevante Strukturen und Entwicklungen. Im Mittelpunkt stehen bundesweite Erreichbarkeitsanalysen, diese werden ergänzt durch regionale Vertiefungen und grenzübergreifende oder europaweite Betrachtungen.

Im Laufe der Jahre und Jahrzehnte ist das Erreichbarkeitsmodell des BBSR mit seinen Datengrundlagen und darauf aufsetzenden Analysefähigkeiten stetig weiterentwickelt worden. In diesen Prozessen ist das Modell immer wieder an die kontinuierliche Entwicklung von Software und zunehmend größer werdenden Beständen an relevanten Daten angepasst worden. Mit diesem Projekt wird geprüft, wie diese Entwicklung in Zukunft fortgesetzt werden könnte.

Dieses Kapitel soll daher zu Beginn dieses Berichts zu möglichen Weiterentwicklungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR einen zusammenfassenden Überblick über das Erreichbarkeitsmodell des BBSR und zu typischen Anwendungsfällen geben.

2.1 Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell

Das Ziel der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR ist, raum- und stadtentwicklungsrelevante Fragestellungen mit verkehrlichen oder erreichbarkeitsbezogenen Bezügen mit geeigneten Indikatoren, Auswertungen und deren (karto)grafischen Visualisierungen zu adressieren. Abbildung 2.1 zeigt schematisch die wesentlichen Komponenten der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR.

Der Kern der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR wird durch das hauseigene Erreichbarkeitsmodell gebildet. Die raumordnungspolitischen Fragestellungen mit Erreichbarkeitsbezügen ziehen bestimmte Formen von Analysen nach sich. Diese Anwendungen des Modells sind beispielsweise Netzanalysen, Regions- und Raumabgrenzungen, Lagegunst-, Versorgungsgrad- oder Potenzialanalysen.

Im Zentrum des Erreichbarkeitsmodells des BBSR steht ein Geoinformationssystem (GIS), welches einerseits zur Datenhaltung und -pflege eingesetzt wird und andererseits mit einem integrierten Netzwerkanalysetool die Berechnung der Erreichbarkeitsindikatoren ermöglicht. Im GIS werden im Wesentlichen zwei unterschiedliche Datengruppen vorgehalten, Netzgrundlagen und räumliche Bezugssysteme.

Hinsichtlich der Netzgrundlagen basiert das Modell auf bestehenden und geplanten Verkehrsnetzen für Straße, Schiene und Luftverkehr, welche im GIS digital vorgehalten und gepflegt werden. Das europaweite Straßennetz umfasst momentan etwa 920.000 Strecken und 716.000 Knoten, davon 662.000 Strecken und 518.000 Knoten in Deutschland. Das Schienennetz verfügt über 10.000 Strecken und 6.900 Knoten. Das Flugnetz basiert auf 11.600 Strecken und 541 Knoten.

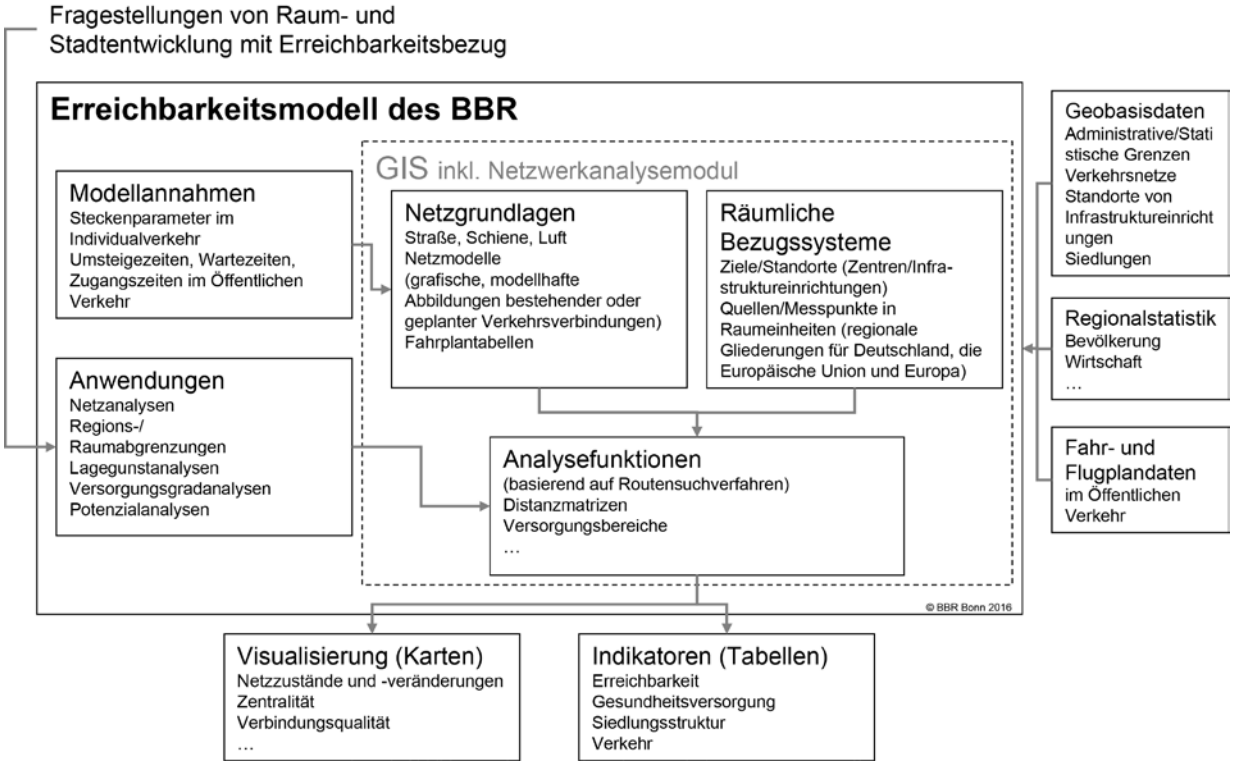


Abbildung 2.1: Komponenten der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR (Pütz, 2017a)

Die einzelnen Netzelemente sind mit einer Reihe von Attributen versehen, die wesentliche Kenngrößen der einzelnen Streckenabschnitte beschreiben. Hierzu zählen im Straßennetz Streckentyp (Autobahn, Landstraße, Fähre etc.), Streckenlänge, Geschwindigkeit, resultierende Fahrzeit, Verbindung von/nach und das Land. Für das Schienennetz sind für die Strecken Informationen zur Reisezeit, Bedienungshäufigkeit und Verbindung von/nach abgelegt; für das Flugnetz die Check-in-/-out-Zeiten, Flugzeit, Bedienungshäufigkeit und Verbindung von/nach. Viele der Attribute werden aus entsprechenden Datenbanken oder Fahrplänen entnommen, für einige Attribute sind Annahmen zu treffen. Dies gilt insbesondere für die in das Modell eingehenden Fahrgeschwindigkeiten auf den einzelnen Segmenten des Straßennetzes. Diese Geschwindigkeitsannahmen basieren auf den einzelnen Streckentypen (Stadtstraßen bis Autobahnen) zugeordneten Geschwindigkeitsprofilen, die in jeder Streckentypkategorie je nach Siedlungsstruktur noch zwischen schnellen und langsameren Strecken unterschieden sind, um unterschiedliche Verkehrsbelastungen näherungsweise abzudecken. Die Geschwindigkeitsannahmen werden für die verschiedenen Länder Europas differenziert getroffen. Die zeitlichen Schwankungen der Geschwindigkeiten auf den einzelnen Strecken im Tagesgang oder im Wochenverlauf bleiben unberücksichtigt, d. h., es gehen so Fahrzeiten eines weitgehend „frei fahrenden“ motorisierten Individualverkehrs, allerdings differenziert über die Siedlungsstruktur, in die Erreichbarkeitsanalysen ein.

Die zweite im GIS vorgehaltene Datengruppe bildet verschiedene Aspekte der räumlichen Bezugssysteme des Erreichbarkeitsmodells ab. Hierzu zählen insbesondere Daten zu den Quellen bzw. Messpunkten der Erreichbarkeit wie Gemeinden oder gleichmäßig im Raum verteilte Punkte als auch zu den unterschiedlichen Zielkategorien wie Zentren oder Standorte von Infrastruktureinrichtungen wie z. B. Flughäfen, Bahnhöfe, Krankenhäuser oder Autobahnanschlussstellen.

Das GIS stellt zudem weitere Funktionalitäten bereit: Mit einem Modul zur Netzwerkanalyse werden kürzeste Wege/Reisezeiten zwischen den Knoten der Verkehrsnetze berechnet und als Zeit- oder Distanzmatrizen abgelegt, die jeweils nächste Einrichtung bestimmt oder ein Einzugs-Versorgungsbereich ermittelt. Für den Öffentlichen Verkehr in Deutschland werden Reisezeitmatrizen für vorgegebene Relationen sowie Abfahrtstafeln der berücksichtigten Haltestellen von außerhalb dazugekauft. Diese Reisezeiten basieren auf Fahrplänen mit Linienfrequenzen und Umstiegsrelationen.

Die Erreichbarkeitsmodellierung geht dann so vonstatten, dass Gemeinden oder höhere Raumeinheiten oder auch gleichmäßig verteilte Rasterzellen als Fahrtenquellen gewählt werden. Ziele sind je nach Anwendung Zentren unterschiedlicher Hierarchiestufen oder Standorte von Verkehrsinfrastrukturen oder Einrichtungen der Daseinsvorsorge. Das Erreichbarkeitsmodell berechnet auf der Basis der eingebundenen Verkehrsnetze und ihrer Attribute Reisezeiten oder auch Wegstrecken zwischen Quellen und Zielen. Diese werden als Input für die Berechnung verschiedener Erreichbarkeitsindikatoren genommen, die zumeist als Reisezeit zum nächsten Zentrum bzw. nächsten Verkehrsinfrastruktur- oder Daseinsvorsorgestandort ausgedrückt werden.

Mit den so gewonnen, dann visualisierten und tabellarisch aufbereiteten Erreichbarkeitsindikatoren und weiteren Analysen kann die Erreichbarkeitssituation der Bevölkerung in den einzelnen Teilräumen erfasst und bewertet werden. Möglich werden zudem Aussagen zur regionalen Infrastrukturversorgung der Bevölkerung und deren Veränderung über die Zeit durch Aus- oder Rückbau von Infrastrukturen und Verkehrsdienstleistungen. Die Erreichbarkeitsanalysen ermöglichen außerdem grundlegende Erkenntnisse zur Siedlungsstruktur und zur Typisierung von Regionen in Deutschland und Europa in Bezug auf ihre Lagegunst mit einem Spektrum von zentralen bis zu peripheren Räumen.

2.2 Exemplarische Anwendungsbeispiele

Die Ergebnisse der mit dem zuvor umrissenen Modellsystem erarbeiteten Erreichbarkeitsanalysen werden in breiter Form genutzt. Das Spektrum reicht von der Integration in die Indikatorensysteme der deutschen und europäischen Raumbeobachtung über die Aufnahme in die Raumordnungsberichterstattung hin zu spezifischen Expertisen und Fachanalysen (Pütz, 2017b):

- Informationsgrundlagen für das räumliche Informationssystem des BBR
- Berichte (insbesondere Raumordnungsberichte)
- Expertisen und Fachanalysen wie etwa
  - Sicherstellung der Daseinsvorsorge
  - Indikatoren zur Neuabgrenzung der Fördergebiete der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW)
  - Bundesverkehrswegeplanung (BVWP)
  - MKRO-Flughafenkonzept
  - Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland

In der laufenden Raumbeobachtung des BBSR werden in den "Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung – INKAR" die folgenden Erreichbarkeitsindikatoren zugänglich gemacht (BBSR, 2018):

- Erreichbarkeit von Autobahnen
- Erreichbarkeit von Flughäfen
- Erreichbarkeit von IC/EC/ICE-Bahnhöfen
- Erreichbarkeit von Oberzentren
- Erreichbarkeit von Mittelzentren
- Erreichbarkeit von Krankenhäusern

Diese Erreichbarkeitsindikatoren sind für die Ebene der Gemeindeverbände für das Jahr 2016 verfügbar. Abgelegt ist jeweils der Wert für die durchschnittliche Pkw-Fahrzeit vom Gemeindebezugspunkt zur jeweilig zeitnächsten Gelegenheit. Indikatoren die mit dem Nahversorgungsmodell des BBSR, d.h. lediglich über Luftliniendistanzen erzeugt wurden, werden in diesem Abschnitt nicht betrachtet.

Erreichbarkeitsindikatoren des BBSR werden auch in anderen Datenbanken oder zielorientierten Indikatorensätzen benutzt. Ein Beispiel sind die über 60 Indikatoren zur Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Bundesregierung, 2017; Destatis, 2017). Hier wurde aus dem Erreichbarkeitsmodell des BBSR ein Indikator zur Beurteilung der ÖV-Angebotsqualität integriert, die bevölkerungsgewichtete durchschnittliche ÖV-Reisezeit von jeder Haltestelle zum nächsten Mittel- oder Oberzentrum.

Für den vorletzten Raumordnungsbericht 2011 (BBSR, 2012) wurden Analysen zur Erreichbarkeit von Zentralen Orten, Krankenhäusern und Verkehrsknotenpunkten analysiert. Die folgenden Karten fanden dazu Eingang in den Bericht:

- Erreichbarkeit von Ober- und Mittelzentren
- Erreichbarkeit von Schulen der Sekundarstufe II
- Erreichbarkeit von Krankenhäusern der Grundversorgung
- Erreichbarkeit von Oberzentren
- Erreichbarkeit von Autobahnen
- Erreichbarkeit von IC-/EC- und ICE-Bahnhöfen
- Erreichbarkeit von Flughäfen

Im aktuellen Raumordnungsbericht 2017 (BBSR, 2017), welcher thematisch auf den Bereich der Daseinsvorsorge fokussiert ist, ist wiederum eine Vielzahl an erreichbarkeitsbezogenen Analysen integriert. Beispielsweise werden die Erreichbarkeit weiterführender Schulen, die Erreichbarkeit von allgemeinen und spezialisierten Krankenhäusern und die Erreichbarkeit von Zentralen Orten analysiert. Karten mit der Darstellung von Erreichbarkeiten für das gesamte Bundesgebiet auf gemeindlicher Ebene oder auf Ebene von Rasterzellen werden für folgende Themen gezeigt:

- Erreichbarkeit von Schulen der Sekundarstufe II mit MIV und Wegfallszenario
- Erreichbarkeit beruflicher Schulen mit MIV
- Erreichbarkeit von Krankenhäusern (Grundversorger) mit MIV und Wegfallszenario
- Erreichbarkeit von Herznotfallambulanzen mit MIV
- Fußläufige Erreichbarkeit von Haltestellen
- Erreichbarkeit von Oberzentren mit MIV und ÖV (s. Abbildung 2.2)
- Erreichbarkeit von Mittelzentren mit MIV und ÖV

Das Wegfallszenario beschreibt jeweils eine Situation, in der von den Messpunkten/Verkehrsknoten nicht die jeweils erste Einrichtung, sondern nur die jeweils zweite Einrichtung erreicht werden kann.

Viele der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR nutzen als Indikator die kürzeste Reisezeit von den jeweiligen Quellpunkten zum (zeitlich) nächsten Ort der betrachteten Einrichtung oder Infrastruktur; dies zumeist mit dem Pkw und für das Gebiet Deutschlands. Die Anwendungsmöglichkeiten des Erreichbarkeitsmodells des BBSR gehen jedoch weit darüber hinaus. Dies sollen nachfolgende Beispiele illustrieren.

- Neben der Reisezeit sind andere Erreichbarkeitsindikatoren vorgesehen. Abbildung 2.3 zeigt als ein Beispiel ein Erreichbarkeitspotenzial. Zur Messung des Potenzials eines Ortes wird die Bevölkerung in allen Gemeinden Deutschland jeweils diskontiert über die Reisezeit von dem Ausgangsort dorthin aufsummiert. Mit diesem Indikatortyp können Marktpotenziale bestimmt werden oder die räumliche Lagegunst von Regionen klassifiziert werden, beispielsweise in Bezug auf Peripheralität oder Zentralität.
- Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR sind nicht auf die Ebene des Bundesgebiets beschränkt. Möglich sind europaweite oder auch regionale Analysen. Abbildung 2.4 zeigt ein Beispiel für eine regionale Analyse für das Gebiet der Metropolregion Hamburg. Die Karte ist zudem ein Beispiel für weitergehende Analysen der Erreichbarkeit, indem Pkw- und ÖV-Reisezeiten gegenübergestellt werden. Mit einer solchen Differenzenkarte lässt sich einfach visualisieren, in welchen Teilräumen der ÖV aufgrund seiner Reisezeiten konkurrenzfähig zum motorisierten Individualverkehr ist. Vergleichbare Differenzenkarten werden auch zur Analyse der Entwicklung der Erreichbarkeit über die Zeit durch den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur oder die Änderung von Angeboten im ÖV erstellt.

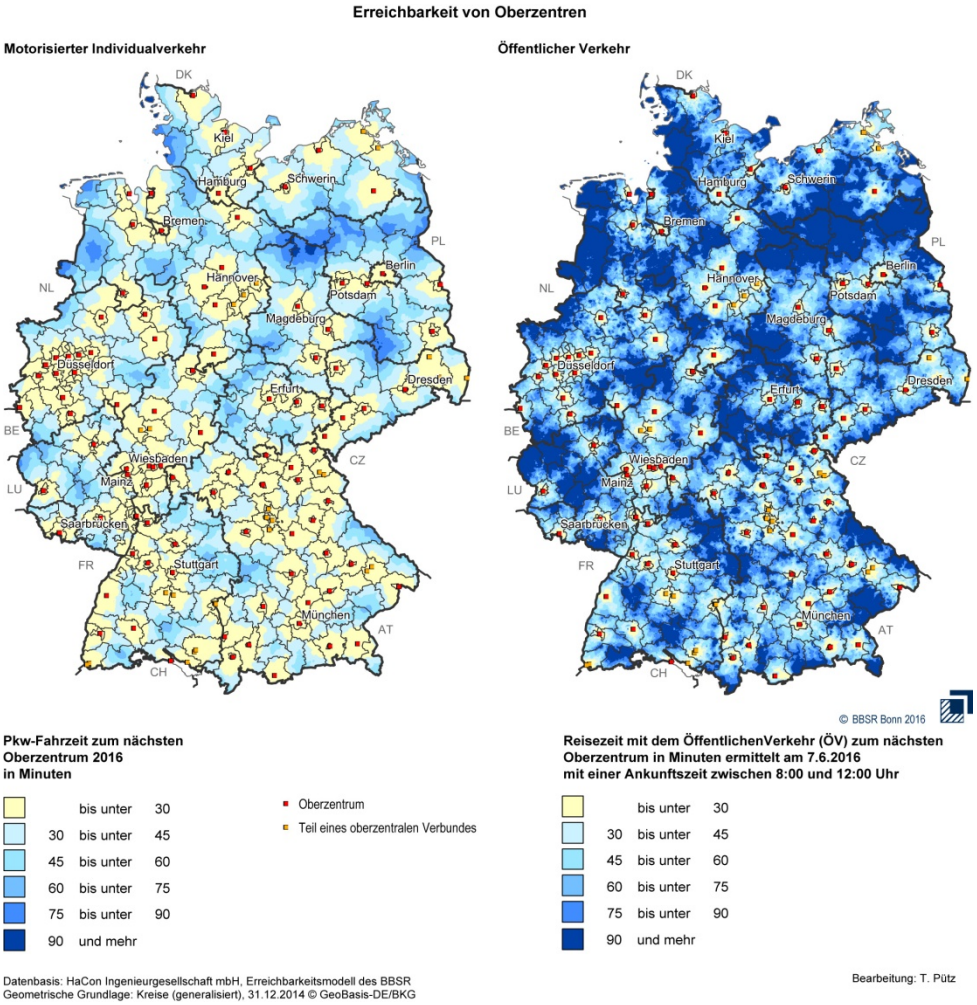


Abbildung 2.2: Erreichbarkeit von Oberzentren mit MIV und ÖV (BBSR, 2017, S. 114)

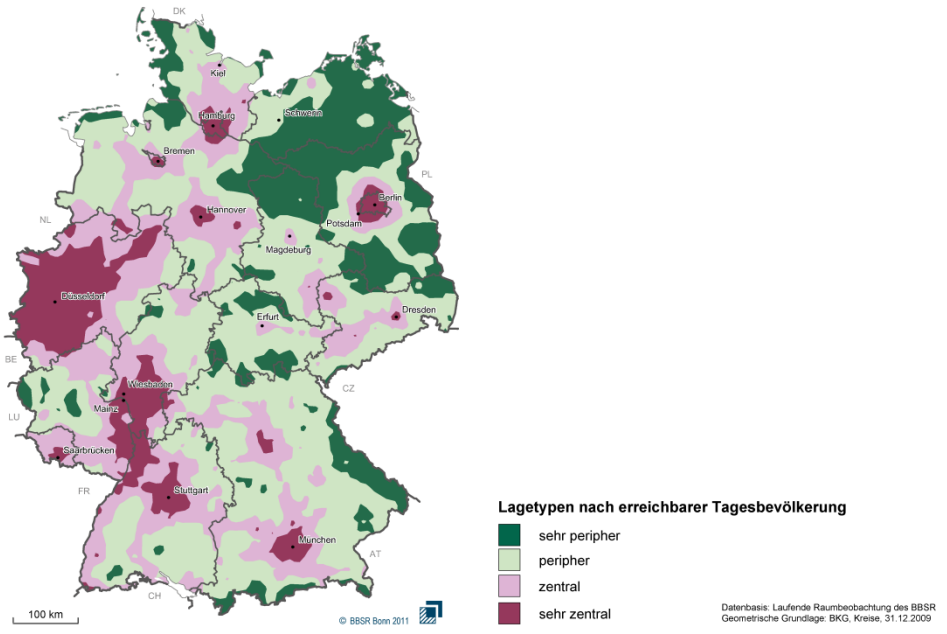


Abbildung 2.3: Erreichbarkeitspotenzial Bevölkerung im MIV (Pütz, 2017b)

- Das Erreichbarkeitsmodell des BBSR ist nicht auf den Personenverkehr beschränkt. Bei Analysen zur Erreichbarkeit im Straßengüterverkehr wird beispielsweise die Erreichbarkeit von Zentralen Standorten des Güterverkehrs ermittelt, gemessen als Lkw-Fahrzeit zum nächsten Standort (Pütz, 2014).
- Eine andere Art der Analyse aus der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR zeigt Abbildung 2.5. Hier werden Erreichbarkeiten nicht flächenbezogen ausgewiesen, sondern für einen vordefinierten Satz an Relationen zwischen jeweils zwei Orten, hier Oberzentren, bewertet. Insbesondere im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung wird so unter Berücksichtigung der Vorgaben der "Richtlinien zur integrierten Netzgestaltung (RIN)" (FGSV, 2008) die Verbindungsqualität zwischen Zentren bestimmter Hierarchiestufen bewertend analysiert und dargestellt (Buthe u. a., 2018).
- Neben der kartographischen Aufbereitung der Erreichbarkeitsverhältnisse bestehen Visualisierungsoptionen in Form verschiedener Diagramme, in denen durch Aggregation der Ergebnisse die Aussagen verdichtet werden.
- Abbildung 2.6 zeigt schließlich ein Beispiel für die analytische Verknüpfung von Erreichbarkeitsindikatoren des BBSR mit anderen Größen räumlicher Entwicklung gezeigt. Dargestellt sind Fahrzeitklassen von Lkw-Reisezeiten zum nächsten Metropolkern bzw. nächsten Zentralen Standort des Güterverkehrs, die der Beschäftigtenentwicklung in den Räumen der jeweiligen Fahrzeitklassen in Form von Box-Plots gegenüber gestellt sind.

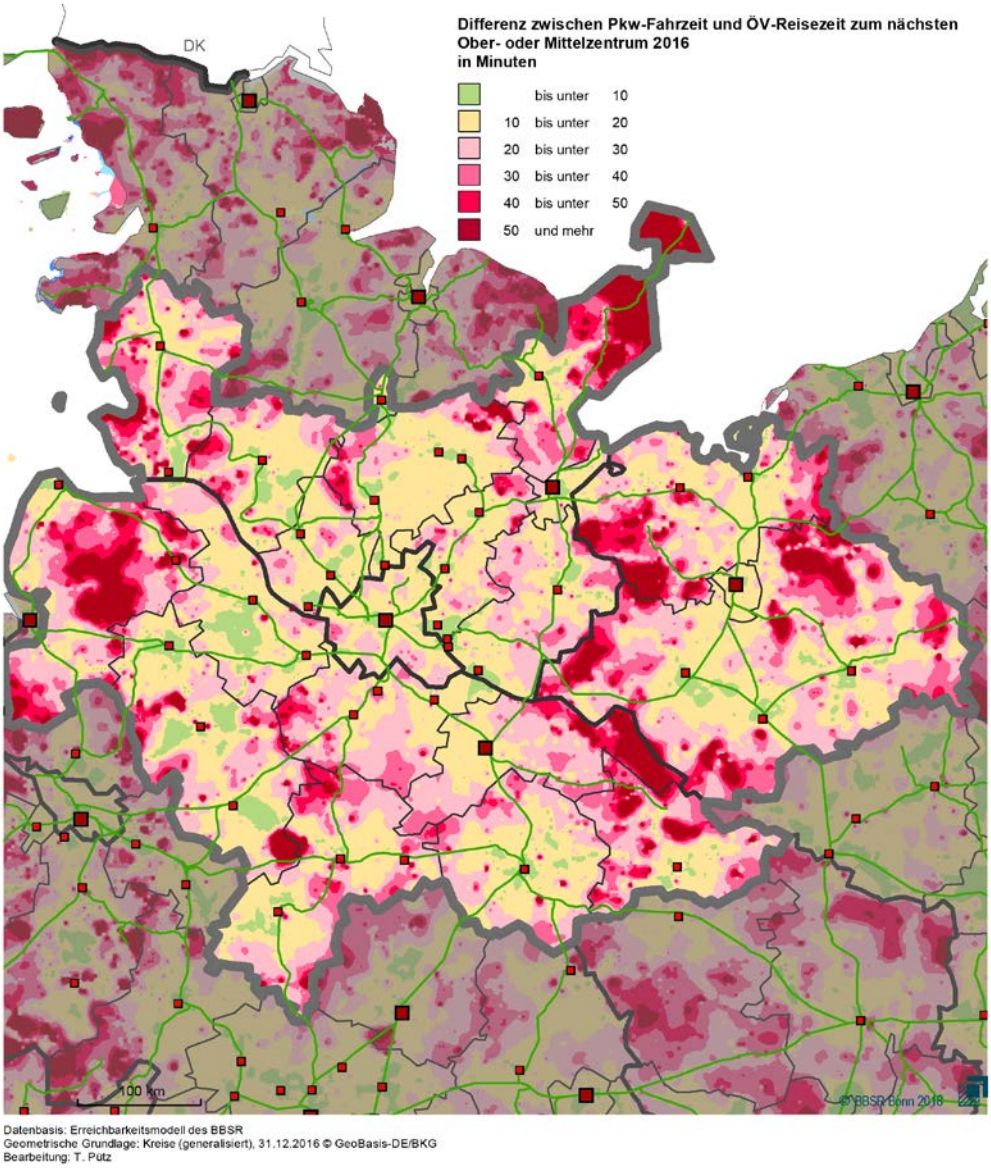


Abbildung 2.4: ÖV-Erreichbarkeit zentraler Orte in der Metropolregion Hamburg (Pütz und Schönfelder, 2018)

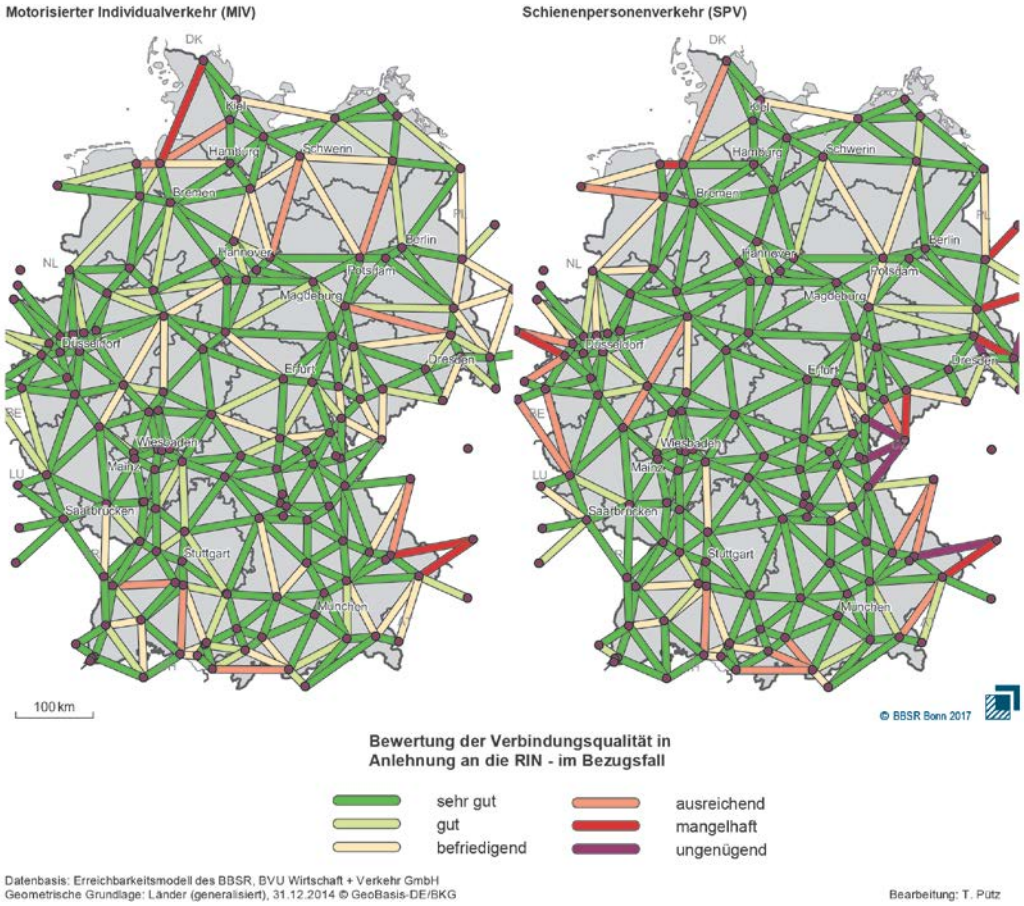


Abbildung 2.5: Bewertung der Verbindungsqualität im motorisierten Individualverkehr und im Schienenverkehr zwischen Oberzentren (Buthe u. a., 2018, S. 7)

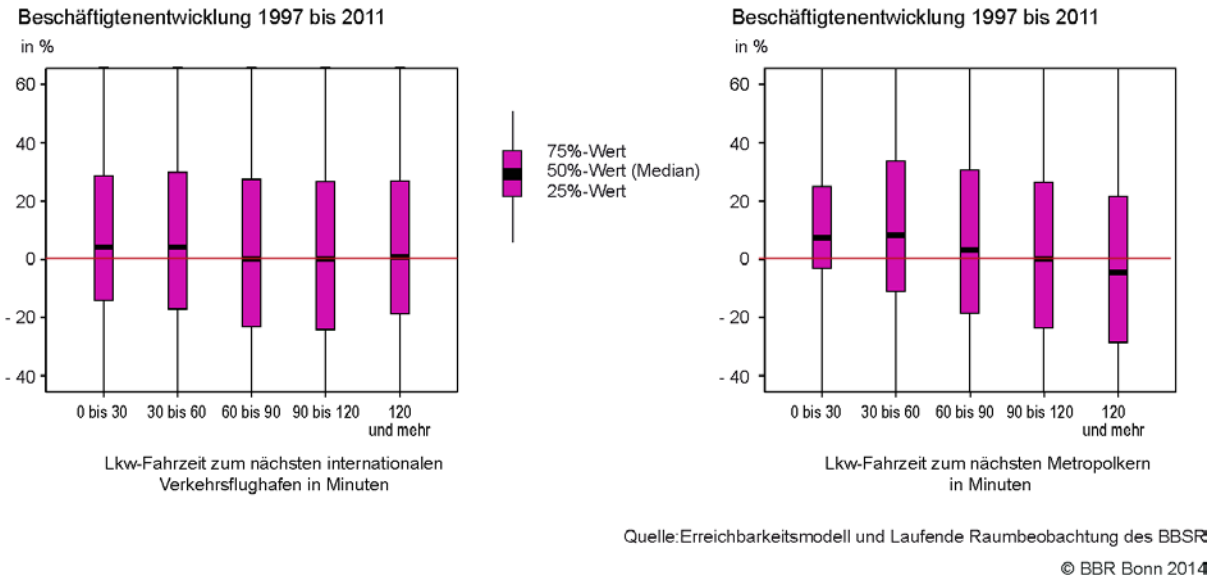


Abbildung 2.6: Beschäftigtenentwicklung nach Lkw-Fahrzeitklassen (Pütz, 2014, S. 202)

3 Systematisierung von Erreichbarkeit

Erreichbarkeit ist ein vielschichtiges Konzept. Es existiert nicht „die eine“ Erreichbarkeit. In diesem Kapitel wird eine grundsätzliche Systematisierung von Erreichbarkeit anhand verschiedener Aspekte (hier nachfolgend als Dimensionen bezeichnet) und den daraus ableitbaren Erreichbarkeitsindikatoren vorgestellt (Kapitel 3.1). Die Erreichbarkeitsdimensionen dienen gleichzeitig zur Einordnung des im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Erreichbarkeitsmodells des BBSR (Kapitel 3.2). Wesentliche Dimensionen werden in Bezug auf das Erreichbarkeitsmodell des BBSR und seiner Weiterentwicklung in den nachfolgenden Kapiteln näher betrachtet.

3.1 Generische Erreichbarkeitsindikatoren

Erreichbarkeit hat viele Facetten und wird in unterschiedlichen Kontexten unterschiedlich verstanden und definiert. Eine allgemeine Beschreibung des Konzepts der Erreichbarkeit in den räumlichen Wissenschaften liefern Wegener u. a. (2001, S. 7): „Erreichbarkeit ist das wichtigste 'Produkt' eines Verkehrssystems. Sie bestimmt den Standortvorteil eines Gebietes […] relativ zu allen Gebieten, einschließlich zu sich selbst. Erreichbarkeitsindikatoren messen den Nutzen, den Haushalte und Unternehmen in einem Gebiet aus der Existenz und der Nutzung der für ihr Gebiet relevanten Verkehrsinfrastruktur ziehen“.

Erreichbarkeit wird somit „als ein Maß für die räumlich-verkehrliche Zugänglichkeit von Orten zur Entfaltung menschlicher Aktivitäten verstanden. Es ist ein Angebotsmaß und keineswegs eine Kenngröße für Verhalten (...). Die hinter dem Konzept von Erreichbarkeit stehenden Fragen lauten, welche Aktivitätsorte oder Einrichtungen Individuen ausgehend von einem Standort mit welchen Verkehrsmitteln und welchem Verkehrsaufwand erreichen können, beziehungsweise welche nachgefragten Aktivitäten sie mit angemessenem Aufwand ausüben können“ (Schwarze, 2015, S. 38).

Erreichbarkeit ist so eine Ausweitung des Mobilitätsansatzes (Morkisz und Wulfhorst, 2010). Reflektiert Mobilität die Möglichkeit zur Raumüberwindung, so umfasst Erreichbarkeit das Zusammenspiel von Mobilität mit der räumlichen Anordnung von Aktivitätsorten und Gelegenheiten (Schwarze, 2015). Damit bildet Mobilität eine wichtige Basis für Erreichbarkeit, sie bildet „eine wichtige Voraussetzung für die Teilhabe an verschiedenen Aktivitäten“ (Gertz und Altenburg, 2009, S. VII). Die zweite, genauso wichtige Basis ist die Verfügbarkeit und Anordnung der Aktivitätsziele und -gelegenheiten im Raum. Erreichbarkeit wird so aus dem Zusammenspiel von Mobilitätsbedingungen und raumstrukturellen Gegebenheiten geformt.

Das Konzept von Erreichbarkeit ist theoretisch gut fundiert. Es lässt sich sowohl aus der mikroökonomischen Entscheidungs- und Verhaltenstheorie als auch aus der Empirie ableiten. Jedoch sind die Möglichkeiten zur Operationalisierung und Modellierung von Erreichbarkeit sehr vielfältig. Nur das Wissen um die Potenziale und Grenzen bei der Modellierung von Erreichbarkeit sowie die Stärken, Schwächen und Auswirkungen von Modellierungsannahmen ermöglicht es, eine geeignete und dem Untersuchungszweck angemessene Modellierung vorzunehmen. Bei Erreichbarkeitsanalysen hat jede Modellannahme Einfluss auf Genauigkeit, Dimension, Verständlichkeit, Vermittelbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Zur Messung von Erreichbarkeit mittels geeigneter Indikatoren sind eine Reihe von Dimensionen der Erreichbarkeit zu berücksichtigen und zu operationalisieren (Wegener u. a., 2001). Diese werden in Tabelle 3.1 zusammengefasst erläutert.

Tabelle 3.1: Dimensionen von Erreichbarkeit (Wegener u. a., 2001, S. 9)

Dimension	Erläuterung
Quellen	Erreichbarkeitsindikatoren können aus Sicht unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen wie sozialer oder Altersgruppen berechnet werden, aus Sicht unterschiedlicher Personengruppen wie Geschäftsreisende oder Touristen oder aus Sicht unterschiedlicher wirtschaftlicher Akteure wie Branchen oder Unternehmer.
Ziele	Erreichbarkeitsindikatoren können die Lage eines Gebiets im Raum in Bezug auf Gelegenheiten, Aktivitäten und Ressourcen wie Bevölkerung, Wirtschaft, Universitäten oder touristische Sehenswürdigkeiten messen. Die Ziele können auf unterschiedliche Weise berücksichtigt werden, nur Ziele über einer bestimmten Größe, alle Ziele proportional zu ihrer Größe oder stärkere Gewichtung der größeren Ziele, um Agglomerationseffekte auszudrücken.
Raumüberwindungswiderstand	Der Raumüberwindungswiderstand kann als Funktion eines oder mehrerer Merkmale der Verkehrsverbindungen zwischen den Gebieten ausgedrückt werden. Mögliche Merkmale sind Entfernung (Luftlinie oder über Verkehrsnetze), Reisezeit, Transportkosten, Bequemlichkeit, Zuverlässigkeit oder Sicherheit. Der Raumüberwindungswiderstand kann auf unterschiedliche Weise in die Berechnung eingehen: als mittlerer Raumüberwindungswiderstand aller Ziele, als Obergrenze (entferntere Ziele werden überhaupt nicht berücksichtigt) oder nichtlinear (entferntere Ziele werden geringer berücksichtigt).
Restriktionen	Die Nutzung von Verkehrsverbindungen kann durch Vorschriften wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrverbote für bestimmte Fahrzeuggrößen oder Fahrzeitobergrenzen sowie durch Kapazitätsbeschränkungen durch Steigungen, Gefällestrecken oder Verkehrsstaus eingeschränkt werden.
Barrieren	Zusätzlich zum Raumüberwindungswiderstand können nichträumliche, z.B. politische, wirtschaftliche, rechtliche, kulturelle oder sprachliche Barrieren zwischen Gebieten berücksichtigt werden, umgekehrt auch spezielle nicht räumliche Beziehungen zwischen Gebieten wie z.B. eine komplementäre Wirtschaftsstruktur.
Verkehrsarten	Es ist möglich, entweder nur den Personenverkehr, nur den Güterverkehr oder beide Verkehrsarten zu betrachten.
Verkehrsmittel	Erreichbarkeitsindikatoren können für die Straße, die Schiene, die Binnenwasserstraßen oder den Luftverkehr berechnet werden. Multimodale Erreichbarkeitsindikatoren verknüpfen Erreichbarkeitsindikatoren verschiedener Verkehrsmittel. Intermodale Erreichbarkeitsindikatoren berücksichtigen Reisen mit mehr als einem Verkehrsmittel.
Räumlicher Maßstab	Die Berechnung von Erreichbarkeitsindikatoren im europäischen, transnationalen oder regionalen Maßstab erfordert Daten in unterschiedlicher räumlicher Auflösung sowohl in Bezug auf die Gebietsgröße als auch hinsichtlich der Darstellung der Verkehrsnetze, des Zugangs von den Regionen zu den Verkehrsnetzen und der Warte- und Umsteigezeiten innerhalb von Verkehrsknoten.
Gerechtigkeit	Anhand von Erreichbarkeitsindikatoren können Räume identifiziert werden, in denen Ungleichgewichte in der Erreichbarkeit vorliegen, beispielsweise zwischen reichen und armen, zentralen und peripheren, städtischen und ländlichen oder zwischen nahe an Verkehrsknoten oder fern von Verkehrsknoten gelegenen Gebieten.
Dynamik	Erreichbarkeitsindikatoren können für unterschiedliche Zeitpunkte berechnet werden, um Veränderungen in der Erreichbarkeit durch Verkehrsinfrastrukturinvestitionen, andere verkehrspolitische Maßnahmen oder durch Veränderungen bei den Zielsystemen und deren Einfluss auf Verringerung oder Vergrößerung der Unterschiede in Erreichbarkeit aufzuzeigen.

Eine etwas andere Systematisierung der Erreichbarkeit haben Geurs und van Wee (2004) vorgeschlagen (Tabelle 3.2). Danach lässt sich Erreichbarkeit in vier Komponenten strukturieren, in die räumliche, die verkehrliche, die zeitliche und die individuelle.

Tabelle 3.2: Komponenten von Erreichbarkeit (Geurs und van Wee, 2004)

Komponente	Erläuterung
Räumliche Komponente	Räumliche Gegebenheiten sind eine entscheidende Größe der Erreichbarkeit. Zu berücksichtigen sind (a) die Menge, Qualität und räumliche Verteilung von Gelegenheiten (z.B. Arbeitsplätze, Einkaufsgelegenheiten, Gesundheitsversorgung, soziale und Freizeitmöglichkeiten), (b) die Nachfrage nach diesen Gelegenheiten an den Ausgangsorten und (c) die Verknüpfung von Nachfrage und Angebot, welches sich auch als Wettbewerb um Aktivitäten mit begrenzten Kapazitäten ausdrücken kann.
Verkehrliche Komponente	Das Verkehrssystem lässt sich als individuellen Aufwand zur Überwindung der Distanz zwischen Quelle und Ziel mit einem bestimmten Verkehrsmittel beschreiben. Der Aufwand beinhaltet zeitliche, monetäre und sonstige (z.B. Verlässlichkeit, Komfort, Risiko) Aspekte. Der Reiseaufwand ergibt sich aus der Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage im Verkehrssystem.
Zeitliche Komponente	Zeitliche Restriktionen ergeben sich aus individuellen Zeitbudgets und der Verfügbarkeit von Gelegenheiten zu verschiedenen Tageszeiten.
Individuelle Komponente	Erreichbarkeit wird stark von den individuellen Gegebenheiten beeinflusst. Dies umfasst die Bedürfnisse (abhängig von Alter, Einkommen, Ausbildungsniveau, Haushaltssituation), Fähigkeiten (physische Situation der Personen, Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln) und Möglichkeiten (in Abhängigkeit von Einkommen, Verkehrsbudget, Ausbildungsniveau) der einzelnen Personen.

Je nach Berücksichtigung und Operationalisierung der verschiedenen Dimensionen können einfache oder komplexe Erreichbarkeitsindikatoren gebildet werden. Einfache Erreichbarkeitsindikatoren berücksichtigen zumeist nur die Ausstattung eines Gebietes mit Verkehrsinfrastruktur (z.B. gemessen als Länge des Autobahn- oder des Eisenbahnnetzes oder der Anzahl von ÖPNV-Haltestellen) oder mit Gelegenheiten (z.B. gemessen als Anzahl der Kindergärten in einem Stadtquartier). Komplexere Erreichbarkeitsindikatoren kombinieren die relevanten Eigenschaften der Siedlungsstruktur als auch des Transportsystems (Davidson, 1977). Sie bilden die Lagegunst eines Ortes im Raum in Bezug auf die von ihm aus über das Verkehrssystem potenziell erreichbaren Aktivitätsziele und Gelegenheiten ab.

Allgemein lassen sich komplexere Erreichbarkeitsindikatoren als ein Konstrukt zweier Funktionen beschreiben (Schürmann u. a., 1997; Wegener u. a., 2001), die eine repräsentiert die interessierenden Ziele, d.h. Aktivitäten und Gelegenheiten und die andere den Aufwand, die Zeit, die Entfernung oder die Kosten, um diese zu erreichen:

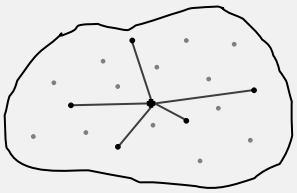
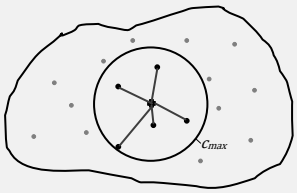
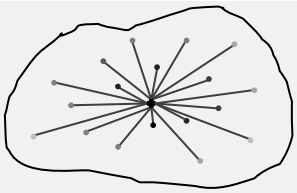
$$A_i = \sum_j \mathrm{g}(W_j)\ \mathrm{f}\ (c_{ij})$$

wobei A_i die Erreichbarkeit des Gebiets i ist, W_j die zu erreichende Zielaktivität oder Gelegenheit W im Gebiet j, und c_{ij} ist der Aufwand vom Gebiet i ins Gebiet j zu gelangen. Die Funktionen $g(W_j)$ und $f(c_{ij})$ werden als Aktivitätsfunktion und als Widerstandsfunktion bezeichnet. Sie werden multiplikativ miteinander verknüpft und stellen so gegenseitige Gewichte dar, d.h., beide sind notwendige Elemente von Erreichbarkeit. „Die zugrundeliegende Interpretation lautet: Je größer die Zahl der attraktiven Ziele in den Gebieten j ist und je erreichbarer diese von Gebiet i aus sind, desto größer ist die Erreichbarkeit des Gebiets i“ (Wegener u. a., 2001, S. 14.).

Die Aktivitäts- und Widerstandsfunktion können verschieden spezifiziert werden. Daraus lassen sich drei generische Typen von komplexen Erreichbarkeitsindikatoren bestimmen (Tabelle 3.3).

Reiseaufwandsindikatoren messen die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit zu einem vorab definierten Satz an Zielaktivitäten zu gelangen. Der Reiseaufwand wird im Normalfall als Reisedistanz, Reisezeit, Reisekosten oder generalisierte Kosten angegeben. Reiseaufwandsindikatoren werden dann zumeist ausgedrückt als Summe des Reiseaufwandes oder als durchschnittlicher Reiseaufwand zu einem vorgegebenen Satz an Aktivitätsstandorten wie beispielsweise die durchschnittliche Reisezeit zu den nächsten drei Flughäfen. Wenn nur ein Zielaktivitätsstandort vorgegeben ist, lassen sich Reiseaufwandsindikatoren als Isochronenkarten oder Isokostenkarten darstellen. Eine Sonderform sind Reiseaufwandsindikatoren, bei denen der Aufwand ausschließlich zum nächstgelegenen (in Distanz, Zeit oder Kosten ausgedrückt) Aktivitätsziel gemessen wird wie beispielsweise die ÖV-Reisezeit zum nächsten Mittelzentrum.

Tabelle 3.3: Generische Erreichbarkeitsindikatoren (Schwarze, 2015, S. 54 nach Schürmann u. a., 1997)

Indikatortyp	Reiseaufwandsindikator	Kumulationsindikator	Potenzialindikator
Beschreibung	Akkumulierter Reiseaufwand zu einem definierten Quantum an Aktivitätsgelegenheiten	Akkumulierte Aktivitätsgelegenheiten innerhalb eines definierten Reisebudgets	Akkumulierte Aktivitätsgelegenheiten gewichtet mit einer Widerstandsfunktion
Aktivitätsfunktion $g(W_j)$	W_j oder 1 falls $W_j \geq W_{min}$ 0 falls $W_j < W_{min}$	W_j	W_j^{α}
Widerstandsfunktion $f(c_{ij})$	c_{ij}	1 falls $c_{ij} \leq c_{max}$ 0 falls $c_{ij} > c_{max}$	$c_{ij}^{-\beta}$ oder $\exp(-\beta\, c_{ij})$ oder $\exp\left(-\frac{c_{ij}^2}{\gamma}\right)$
Schematische Darstellung			

mit W_{min} und c_{max} als Konstanten und α, β und γ als Parameter

Kumulationsindikatoren messen die Anzahl an möglichen Zielaktivitäten, die innerhalb einer vorab definierten Obergrenze in Bezug auf Reisezeit, Reisekosten o.ä. erreicht werden können. Die Erreichbarkeit eines Ortes ist danach umso höher, je mehr Ziele in dem vorgegebenen Reisebudget erreicht werden können. Der einzelne Reiseaufwand spielt dabei keine Rolle, solange er unterhalb der Obergrenze bleibt. Bei den Zielen können entweder die Anzahl der Standorte (z.B. Anzahl Mittelzentren oder Anzahl Theater) oder die jeweiligen Größen (Bevölkerung, Arbeitsplätze, Bruttoinlandsprodukt etc.) aufsummiert werden. Bekannt ist der aus der Raum-Zeit-Geografie abgeleitete Indikator (Törnqvist, 1970) der täglichen Erreichbarkeit ("daily accessibility"), welcher beispielsweise die Anzahl an Kontaktgelegenheiten aufsummiert, die ein Geschäftsreisender theoretisch innerhalb einer Tagesreise mit vorgegebener Aufenthaltsdauer an den Zielorten aufsuchen könnte.

Potenzialindikatoren berücksichtigen über eine entsprechend definierte Widerstandsfunktion die Bevorzugung von in Bezug auf Reisezeit, Reisekosten etc. günstiger zu erreichenden Gelegenheiten gegenüber aufwändiger zu erreichenden Gelegenheiten. Die Lagegunst eines Ortes ist umso höher, je größer die Menge der reiseaufwandsgewichteten Aktivitäten ist. Potenzialindikatoren beruhen so auf der theoretisch fundierten und empirisch ermittelten Annahme, dass die Attraktivität von Aktivitätsgelegenheiten mit deren Größe steigt, aber mit wachsendem Reiseaufwand sinkt (Hansen, 1959; Schürmann u. a., 1997). Die Ermittlung von Bevölkerungspotenzialen ist die häufigste Form dieses Indikatortyps, wobei in den einfachsten Fällen die Raumwiderstandsfunktion lediglich durch die Luftliniendistanz ausgedrückt wird.

Komplexere Erweiterungen von Potenzialindikatoren können Aspekte wie den Ausgleich zwischen der räumlich unterschiedlichen Verteilung von Angebot und Nachfrage bzw. Wettbewerb einschließen wie z.B. im Bereich des Arbeitsmarktes oder der Gesundheitsvorsorge (Joseph und Bantock, 1982; Shen, 1998; Geurs und Ritsema van Eck, 2003; Wan u. a., 2012; Delamater, 2013). Wettbewerb in der Erreichbarkeitsanalyse kann auf drei Wegen berücksichtigt werden (Schwarze, 2015, S. 154ff.): der Einbeziehung nur der jeweils lokalen Nachfrage an den Zielorten, der Einbeziehung des Nachfragepotenzials an den Zielorten, beide mit theoretischen Schwächen, oder als effektivem Wettbewerb mit Angebots- oder Nachfrageüberhängen (Jones, 1981, S. 17). Bei letzterem wird in einem Index als Erreichbarkeitspotenzial sowohl das von einem Ort zu erreichende potenzielle Angebot als auch das Nachfragepotenzial dieses Ortes integriert (Weibull, 1976; Knox, 1978; van Wee u. a., 2001).

Die drei Grundtypen von Indikatoren (Reiseaufwand, Kumulation, Potenzial) sind zu den standörtlichen Erreichbarkeitsindikatoren zu zählen. Sie messen die theoretisch von einem Standort aus zu erreichenden Aktivitäten und Gelegenheiten und vernachlässigen dabei zumeist Präferenzen und Handlungsmöglichkeiten einzelner Personen. Solche Aspekte werden in individuellen Erreichbarkeitsindikatoren wie Nutzen- oder Aktionsraumindikatoren berücksichtigt.

Erreichbarkeit kann als Nutzen interpretiert werden, den die Bewohner eines Gebietes aus den Gelegenheiten ziehen, die sie von dem Gebiet aus bei vorgegebenem Reiseaufwand erreichen können (Ben-Akiva und Lermann, 1979). Dabei wird angenommen, dass Individuen aus einer gegebenen Anzahl von Aktivitäts- und Transportmöglichkeiten diejenige Kombination auswählen, die ihnen den höchsten Konsumentenmehrwert verspricht. Berechnet werden Nutzenindikatoren so nach dem Maximierungsprinzip. Die Erreichbarkeit eines Ortes wird aus der Summe der individuellen Entscheidungen zur Nutzenmaximierung abgebildet. Berücksichtigt werden können Variablen zur Attraktivität der Aktivitätsgelegenheiten sowie der Raumüberwindungsaufwand als auch sozio-ökonomische Charakteristika und Präferenzen des Individuums.

Aktionsraumindikatoren, basierend auf der Raum-Zeit-Geografie Hägerstrands (1970), berücksichtigen die räumlich-zeitlich-institutionellen Handlungsmöglichkeiten von Individuen bei der Ausübung von Aktivitäten. Individuen unterliegen dabei drei Gruppen von Restriktionen:

- Kapazitätsrestriktionen mit personenbezogenen, nicht-räumlichen Einschränkungen der Mobilität durch Geld- und Zeitbudgets, die individuelle Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln oder die Fähigkeit diese zu nutzen,
- Kopplungsrestriktionen durch fehlende Verknüpfbarkeit von Aktivitäten an verschiedenen Standorten,
- institutionellen Restriktionen mit beschränktem Zugang zu Einrichtungen aufgrund Eigentumssituation, Öffnungszeiten, Eintrittsgebühren oder Preisen.

Zur Messung wird bei Aktionsraumindikatoren häufig der tägliche Aktionsraum verwendet (Kwan, 1998). Dafür wird beispielsweise die Flächengröße des Aktionsraums bestimmt. Andere Aktionsraumindikatoren ähneln kumulierten Erreichbarkeitsindikatoren, in dem sie in den Aktionsräumen die Aktivitäten von Interesse aufsummieren.

Tabelle 3.4: Vor- und Nachteile komplexer Erreichbarkeitsindikatoren (Schwarze, 2015, S. 65)

Indikatortyp	Vorteile	Nachteile
Reiseaufwands-indikatoren	- Verständlichkeit des Ansatzes - Einbindung von Mindeststandards - Einfache Berechenbarkeit - Nachvollziehbarkeit und Kommunizierbarkeit	- Arbiträre Definition der Aktivitätsziele, insb. bei Aktivitäten mit Wahlfreiheit - Unrealistische Abbildung menschlichen Verhaltens - Vernachlässigung der räumlichen Komponente
Kumulations-indikatoren	- Verständlichkeit des Ansatzes - Einbindung von Mindeststandards - Einfache Berechenbarkeit - Nachvollziehbarkeit und Kommunizierbarkeit der Ergebnisse	- Arbiträre Definition der Grenzbedingung - Übersensitivität bei Reisezeitänderungen - Problematische Gleichbehandlung naher und ferner Aktivitätsziele innerhalb des definierten maximalen Reiseaufwands - Unrealistische Abbildung menschlichen Verhaltens
Potenzial-indikatoren	- Verhaltenstheoretische Grundlage - Realistische Abbildung menschlichen Verhaltens	- Bestimmung der Funktionsparameter - Als Indexwert mit schwierigerer Interpretation und Kommunizierbarkeit der Ergebnisse
Nutzen-indikatoren	- Verhaltenstheoretische Grundlage - Realistische Abbildung menschlichen Verhaltens - Disaggregierter, individualisierter Ansatz - Monetarisierbarkeit der Ergebnisse	- Komplexität des Ansatzes - Hoher Datenaufwand - Bestimmung der Funktionsparameter - Problematische Interpretier- und Kommunizierbarkeit
Aktionsraum-indikatoren	- Disaggregierter räumlich-zeitlicher Ansatz - Berücksichtigung individueller Handlungsmöglichkeiten und -einschränkungen	- Komplexität des Ansatzes - Sehr hoher Daten- und Rechenaufwand - Notwendige Bestimmung der Funktionsparameter - Diffizile Aggregation der individuellen Ergebnisse - Diffizile Modellierbarkeit zukünftiger Entwicklungen

Es gibt nicht den für alle Fragestellungen und Themen allein geeigneten Typ von Erreichbarkeitsindikator. Alle hier beschriebenen Typen haben Vor- und Nachteile, die in der Kommunizierbarkeit, der theoretischen oder empirischen Fundierung, den Definitionsnotwendigkeiten oder dem Aufwand zur Bestimmung liegen können (Tabelle 3.4).

Damit stellt sich die Frage nach dem Verwendungszusammenhang einer Erreichbarkeitsanalyse. Zielt die Aufgabe klar auf eine bestimmte Fragestellung, reicht in der Regel ein Erreichbarkeitsmodell mit einer Festlegung auf einen Indikator mit einer genauen Spezifikation der einzelnen Dimensionen aus. Ein Erreichbarkeitsmodell aber, welches viele unterschiedliche Themen und Fragestellungen zu behandeln hat, sollte in der Lage sein, unterschiedliche Typen von Erreichbarkeitsindikatoren mit unterschiedlichen, wechselnden Definitionen der Dimensionen zu berechnen.

3.2 Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell im Kontext

In diesem Abschnitt wird der Versuch unternommen, die BBSR-Erreichbarkeitsmodellierung mit den in Abschnitt 3.1 benannten Dimensionen der Erreichbarkeit zu klassifizieren und erste Schlussfolgerungen zu ziehen. Dazu werden den Teilmodellen für die verschiedenen Verkehrsträger im Erreichbarkeitsmodell die im vorigen Abschnitt erläuterten Dimensionen von Erreichbarkeit gegenübergestellt und entsprechend ausgewertet (Tabelle 3.5). Auf der Basis der Dimensionen der Erreichbarkeit können erste Reflektionen zur Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR formuliert werden:

Raumbezugssystem

Das Modellsystem verfügt über ein flexibel, nach erforderlicher räumlicher Analysetiefe einzusetzendes Raumbezugssystem für die Quellen in der Erreichbarkeitsmodellierung. Dieses können repräsentative Punkte von Gebietseinheiten wie Kreise oder Gemeinden oder aber auch regelmäßig im Raum verteilte Rasterpunkte sein.

Ziele

Die Ziele im Modell sind entweder Repräsentanten (Zentroide) von Gebietseinheiten, die mit ihrer Einstufung im Zentrale Orte System genutzt werden können, oder Standorte von unterschiedlichen Infrastruktureinrichtungen. Ein Schwerpunkt liegt im Bereich von Einrichtungen der Daseinsvorsorge. Standorte für den Wirtschafts- und Güterverkehr werden ebenfalls berücksichtigt. Das Erreichbarkeitssystem für den Straßenverkehr kann einfach um zusätzliche Standortkategorien erweitert werden. Für den Öffentlichen Verkehr sind die Ziele beschränkt auf Mittel- und Oberzentren sowie IC/ICE-Bahnhöfe und Flughäfen.

Raumüberwindungswiderstand

Der Raumüberwindungswiderstand ist auf Reisezeiten beschränkt. Kosten, insbesondere Reisekosten im Öffentlichen Verkehr oder Transportkosten im Güterverkehr sind nicht hinterlegt. Auch generalisierte Kosten können so nicht berücksichtigt werden.

Berechnung Raumüberwindungswiderstand

Die Berechnung des Raumüberwindungswiderstands ist für die verschiedenen Verkehrsmittel unterschiedlich implementiert. Im Straßenverkehr wird ein Netzwerkmodul eines kommerziellen GIS-Systems auf Basis selbst gepflegter Verkehrsnetze mit entsprechender Attributierung genutzt. Für den Öffentlichen Verkehr existiert keine eigene Verkehrsnetzdatenbasis; hier werden in Abständen von wenigen Jahren Reisezeitmatrizen von einem kommerziellen Unternehmen hinzugekauft. Diese Reisezeitmatrizen sind mit der Berücksichtigung aller ÖV-Haltepunkte in Deutschland von den Fahrtenquellen räumlich sehr detailliert. Bei den Fahrtzielen kann jedoch nur ein begrenzter Satz ein Zielen berücksichtigt werden. In der aktuellsten Abfrage für 2018 waren dies Mittel- und Oberzentren, IC/ICE-Bahnhöfe, Flughäfen sowie Krankenhäuser der Schwerpunkt- und Maximalversorgung, insgesamt 1.621 Ziele.

Tabelle 3.5: Dimensionen und Indikatortypen Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR

Dimension / Indikatortyp / Sonstiges	Verkehrsmittel		
	Straßenverkehr	Öffentlicher Verkehr*	Luftverkehr
Quellen	• Repräsentanten von Kreisen, Gemeinden • gleichmäßig verteilte Rasterzellen mit 20.000 oder 39.000 Punkten • alle Netzknoten (bei regionalen Analysen)	• 270.000 Haltestellen	• Quellen des Straßenverkehrs, da immer mit ihm in Kombination,
Ziele	• Zentrale Orte • Einrichtungen Daseinsvorsorge • Flughäfen • IC/ICE Bahnhöfe • Besondere Standorte (z.B. Factory Outlet Center, Tankstellen) • Standorte für Güterverkehr • Bevölkerung • Arbeitsplätze	• Zentrale Orte • Flughäfen • IC/ICE Bahnhöfe	• Zentren • Bevölkerung • Arbeitsplätze
Raumüberwindungswiderstand	Reisezeit (basierend auf Geschwindigkeitsprofilen für Pkw und Lkw, unterschiedliche Straßenkategorien, differenziert nach schnell, mittel, langsam)	Reisezeit (basierend auf Fahrplan für morgendlichen Zeitraum)	Reisezeit (basierend auf Flugzeit und Check-in/out Zeiten)
Berechnung	*Kürzeste Wege mit ArcGIS mittels Network Analyst auf der Basis eines europaweiten Straßennetzes mit 920.000 Strecken und 718.000 Knoten*	*Detaillierte, fahrplanbasierte Reisezeitmatrizen von HACON für einen festen Zeitraum (werktags morgens)*	*wie beim Straßenverkehr unter Einbeziehung der Flugnetze*
Restriktionen	Geschwindigkeitsbeschränkung/Stau implizit über Geschwindigkeitsprofile	ÖPNV-Fahrpläne mit Frequenzen und Umsteigeerfordernissen und -wartezeiten	Bedienungshäufigkeit
Barrieren (sonst.)	-	-	-
Verkehrsarten	• Personenverkehr • Güterverkehr	• Personenverkehr	• Personenverkehr
Räumlicher Maßstab	• Region • Bund • Europa	• Region • Bund • (angrenzende Regionen)	• Europa
Gerechtigkeit	• Ausweisung Erreichbarkeitstypologie (Lagetypen) • Versorgungsqualität	• Ausweisung Erreichbarkeitstypologie (Lagetypen)	• Ausweisung Erreichbarkeitstypologie (Lagetypen)
Dynamik	• vergangene Entwicklung • zukünftige Planungen • Szenarien (z.B. Wegfall von Standorten, Sturmflutszenario)	• (Vergleich für 2009, 2012 und 2016 möglich)	
Indikatortyp	• Reisezeitaufwand • (Kumuliert) • Potenzial	• Reisezeitaufwand • Potenzial	• Reisezeitaufwand • Potenzial
Sonstige Auswertungen	Verbindungsqualität nach RIN	ÖV-Erschließung (Anzahl Haltestellen)	

* Für die Analyse des Öffentlichen Verkehrs wurde hier nicht das aktuell kaum genutzte Schienennetzmodell Deutschland und Europa herangezogen, sondern die überwiegende Verwendung von ÖV-Daten durch den Kauf externer Reisezeitmatrizen zwischen Haltestellen und ausgewählten Zielkategorien.

Eine begrenzte Erweiterung des Zielsatzes ist möglich, Vergleiche der Erreichbarkeit über die Zeit für die neuen Ziele aber nicht. Reisezeiten werden nur für Ankünfte in einem morgendlichen Zeitkorridor von vier Stunden und für Ziele ausgewiesen, die innerhalb von drei Stunden Fahrzeit liegen. Diese Beschränkungen der nur extern beziehbaren Reisezeiten für den Öffentlichen Verkehr haben deutliche Auswirkungen auf den Umfang der möglichen Analysen, die deutlich unter denen des Straßenverkehrs liegen; da die Vorteile einer flexiblen Nutzung einer eigenen Verkehrsnetzdatenbasis hier nicht gegeben sind.

Verkehrsarten

Beide Verkehrsarten, Güter- und Personenverkehr, sind für das Straßenverkehrsmodell implementiert. Schienen- und Flugnetze sind bisher nur für den Personenverkehr genutzt worden. Der Öffentliche Personenverkehr ist selbstredend nur für den Personenverkehr.

Räumlicher Maßstab

In Bezug auf den räumlichen Maßstab ist das Erreichbarkeitsmodellsystem sehr breit aufgestellt und entsprechend den Anforderungen sehr flexibel zu nutzen.

Gerechtigkeit

In der Dimension Gerechtigkeit liefert das Modellsystem verschiedene Aggregationen der Erreichbarkeitsindikatoren zu Lagetypen und Versorgungsqualitäten, mit denen eine Bewertung des jeweiligen Untersuchungsraums hinsichtlich der gleichwertigen räumlichen Verteilung des jeweiligen Erreichbarkeitsindikators möglich ist.

Dynamik

Die Erfassung von Erreichbarkeitsdynamik über die Zeit wird mit dem Modellsystem aufgrund der zuvor benannten Restriktionen in den Verkehrsnetzdaten für den Öffentlichen Verkehr bisher insbesondere für den Straßenverkehr durchgeführt. Für den Straßenverkehr wird eine zeitliche Dynamik insbesondere in Form von bestimmten Planfällen für den weiteren Verkehrsinfrastrukturausbau im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung und für Standortszenarien, insbesondere dem Wegfall von Standorten der Daseinsvorsorge, abgebildet. Modellierungen und Analysen der historischen Entwicklung der Erreichbarkeit sind ebenfalls durchgeführt worden.

Indikatortypen

Bei den Indikatortypen liegt der Schwerpunkt der Erreichbarkeitsanalysen auf den Reiseaufwandsindikatoren. Der am häufigsten benutzte Indikator ist die Reisezeit zum nächsten Zentrum bzw. zum nächsten Standort. Erreichbarkeitspotenzialanalysen werden ebenfalls durchgeführt. Kumulierte Erreichbarkeitsindikatoren spielen kaum eine Rolle. Die meisten Erreichbarkeitsindikatoren sind standörtliche Erreichbarkeitsindikatoren, d. h. sie weisen die Erreichbarkeit für bestimmte Punkte im Raum aus. Individuelle Erreichbarkeitsindikatoren, die den Nutzen für einzelne Personen(gruppen) oder deren Aktionsräume erfassen, sind im System nicht vorgesehen.

4 Anwendungsbeispiele anderer Erreichbarkeitsmodelle

Das Konzept der Erreichbarkeit ist theoretisch gut fundiert. Es lässt sich sowohl aus der mikroökonomischen Entscheidungs- und Verhaltenstheorie als auch aus der Empirie ableiten. Jedoch sind die Möglichkeiten zur Operationalisierung und Modellierung von Erreichbarkeit sehr vielfältig. Das Wissen um die Potenziale und Grenzen bei der Modellierung regionaler Erreichbarkeit sowie um die Stärken, Schwächen und Auswirkungen der Modellierungsannahmen ermöglichen es, eine geeignete und dem Untersuchungszweck angemessene Modellierung vorzunehmen. Gerade bei Erreichbarkeitsanalysen hat jede Modellannahme Einfluss auf die Genauigkeit, Dimension, Verständlichkeit/Vermittelbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

In diesem Kapitel werden daher ausgewählte Beispiele für die Anwendung von Erreichbarkeitsmodellen aufbereitet und zusammengefasst dargestellt. Das Kapitel beginnt mit Kurzprofilen einiger Beispiele aus Deutschland und seinen Nachbarländern (Kapitel 4.1), danach werden drei Beispiele aus dem deutschsprachigen Raum, die vertiefende Hinweise für die Erreichbarkeitsmodellierungen des BBSR geben können, etwas ausführlicher vorgestellt. Die drei Beispiele sind auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen angesiedelt, d. h. auf der regionalen Ebene einer Metropolregion (Kapitel 4.2), der Ebene eines deutschen Bundeslandes (Kapitel 4.3) und der eines Staates (Kapitel 4.4).

4.1 Ausgewählte Beispiele

Dieser Abschnitt stellt Kurzprofile für Anwendungsbeispiele von anderen Erreichbarkeitsmodellen dar, die für die Weiterentwicklung des BBSR-Erreichbarkeitsmodells wertvolle Hinweise geben können. Daher werden keine kommunalen Erreichbarkeitsanalysen aufgeführt, sondern Beispiele für die Ebene der Region, die Ebene der Bundesländer und die Ebenen der Länder und Europas.

Ebene Regionen

Mit einem Erreichbarkeitsatlas für die Metropolregion München wurde Erreichbarkeit als Faktor heutiger und zukünftiger Standortqualität analysiert. Dies beinhaltete eine Analyse der internen Vernetzung bzw. des Zugangs zu Aktivitäten in der Metropolregion, die Analyse der Erreichbarkeit von Gateways (z.B. Flughafen, ICE/IC-Bahnhöfe, Autobahnknotenpunkte, Güterverkehrszentren), von Wissenschaftsstandorten und Freizeiteinrichtungen als auch die äußere Anbindung der Region im nationalen und europäischen Maßstab. Letzteres wurde mit einem Erreichbarkeitsmaß "Contactability" durchgeführt, welche mit raum-zeitlichen Restriktionen operiert (Büttner u. a., 2011; Büttner und Wulfhorst, 2016).

In der Metropolregion Hamburg wurde ein die regionale und kommunale Planung unterstützendes System zur langfristigen und zukunftsfähigen Strategiefindung entwickelt, welches die konzeptionelle Verknüpfung von Verkehrssystemen, Raumausstattungen und Bevölkerungsinteressen mittels Erreichbarkeitsanalysen umfasst (Peter und Gertz, 2017; Metropolregion Hamburg, 2017a). Durch die bereitgestellten Kartenwerke und Analysen soll die Transparenz von Planungsoptionen und -entscheidungen für die Bevölkerung weiter erhöht werden. Der kürzlich fertiggestellte Erreichbarkeitsatlas gibt einen Überblick darüber, mit welchen Verkehrsmitteln wichtige Ziele wie Schulen, Bahnhöfe, Krankenhäuser, Arbeitsplätze, Einkaufsläden, Freizeiteinrichtungen und Behörden erreichbar sind und welche Reisezeiten dabei entstehen. Der Fuß- und Radverkehr, Park- sowie Bike und Ride-Anlagen sind dabei ebenso berücksichtigt wie entstehende Mobilitätskosten (s. ausführlicher Kapitel 4.2).

Im Rahmen des Aktionsprogramm regionale Daseinsvorsorge, durchgeführt als Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur, wurden für die Modellregionen neben kleinräumigen, rasterbasierten Einwohnervorausschätzungen Erreichbarkeitsindikatoren berechnet, welche über die Versorgung einzelner Nutzergruppen mit Einrichtungen der Daseinsvorsorge informieren und welche zur Abschätzung der Erreichbarkeitsfolgen unterschiedlicher regionaler Strategieoptionen dienten. Erreichbarkeiten wurden für den Straßenverkehr, den ÖPNV, den Fahrradverkehr und für Fußwege unter Nutzung vollständiger Verkehrsnetze und vollständiger Fahrplaninformationen ermittelt (Schwarze und Spiekermann, 2014a; 2014b).

Ebene Bundesländer

In einem Erreichbarkeitsprojekt zur Überprüfung des Systems der Zentralen Orte für die bayerische Landesplanung wurden die Erreichbarkeiten der Standorte der Daseinsvorsorge in Bayern ermittelt. Dies umfasste Einrichtungen der Grundversorgung (Grund- und Hauptschulen, Ärzte, Zahnärzte, Apotheken, Sparkassen, Post und Polizei, Einzelhandel) und der gehobenen Versorgung (Realschulen, Gymnasien, Finanzämter, Arbeitsagenturen, Krankenhäuser). Erreichbarkeiten wurden für den MIV und den ÖV für verschiedene Altersgruppen der Bevölkerung berechnet. Für eine möglichst realitätsnahe Erreichbarkeitsmodellierung wurden die Einwohner Bayerns in Rasterquadrate von 1 ha Größe disaggregiert und eine Datenbasis mit allen Straßen und ÖV-Linien in Bayern entwickelt (Schürmann und Spiekermann, 2010; Spiekermann, 2013).

Im Rahmen der Fortschreibung des Landesraumentwicklungsprogramms des Bundeslands Mecklenburg-Vorpommern wurde eine Analyse der augenblicklichen Erreichbarkeitsverhältnisse für den öffentlichen Personenverkehr (ÖV), für das Fahrrad und das Pedelec sowie für die Kombination von ÖV und Fahrrad/Pedelec erstellt (Schwarze und Spiekermann, 2013). Diese Analyse schließt auch eine Bewertung mittels der zeitlichen Schwellenwerte der Richtlinien zur Integrierten Netzgestaltung (RIN) (FGSV, 2008) ein. Konkret wurde die Erreichbarkeit der Zentralen Orte aus der Fläche heraus, die Erreichbarkeit der Zentralen Orte untereinander sowie die Erreichbarkeit der benachbarten größeren Zentren außerhalb des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern ermittelt, analysiert und tabellarisch und visuell aufbereitet (s. ausführlicher Kapitel 4.3)

Beispiele aus anderen Ländern und der europäischen Ebene

In einigen Nachbarländern Deutschlands existieren Erreichbarkeitsmodelle, die das jeweilige Landesgebiet abdecken. In diesem Abschnitt folgen exemplarische Beispiele für landesweite Erreichbarkeitsmodellierungen aus der Schweiz, Österreich, Polen und den Niederlanden sowie ein Hinweis auf europaweite Erreichbarkeitsmodellierungen.

Für die Schweiz liegt eine Längsschnittanalyse der Erreichbarkeit vor (Fröhlich u. a., 2006; Axhausen u. a., 2010). Dabei wurde die historische Entwicklung der Erreichbarkeit im MIV und im öffentlichen Verkehr mit der gleichzeitig stattfindenden Bevölkerungsentwicklung in Beziehung gesetzt. Als Erreichbarkeitsindikator wurde ein Erreichbarkeitspotenzial mit der Bevölkerung als Zielgröße benutzt. Dieses wurde für 150 Bezirke für den Zeitraum 1850 bis 2000 und für die 2.900 Schweizer Gemeinden für den Zeitraum seit 1950 ermittelt. Die Erreichbarkeitsmuster wurden u. a. auch in Form dreidimensionaler Erreichbarkeitsoberflächen visualisiert.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel aus der Schweiz stellen die Erreichbarkeitsmodelle von BAK BASEL dar. Diese haben explizit die Bestimmung von Erreichbarkeit als einen wesentlichen Standortfaktor im regionalen Wettbewerb zum Ziel (BAK Basel Economics, 2015; 2016). Es existieren drei Modelle, eins für die globale Erreichbarkeit und eins für die europäische Erreichbarkeit, jeweils für funktionale Regionen Europas (etwa NUTS-2 Regionen) und eins für die regionale Erreichbarkeit in der Schweiz für die Kantone und Gemeinden des Landes. Entsprechend der Zielsetzung wird Erreichbarkeit in den Modellen jeweils als eine Kombination von Reisezeit und Wirtschaftskraft gemessen. Das globale Modell berücksichtigt nur Ziele außerhalb Europas. Das europäische Modell berücksichtigt als Ziele die Regionen Europas und basiert auf einer Integration von Flug-, Straßen- und Eisenbahnverkehr. Das Schweizer Modell berücksichtigt nur in der Schweiz liegende Ziele und gibt separate Ergebnisse für den MIV, den Öffentlichen Verkehr und den Öffentlichen Verkehr mit Frequenzen aus. Zielgröße ist das jeweilige Bruttoinlandsprodukt, verwendet wird offenbar ein Erreichbarkeitsindikator des Potenzialtyps. Alle Ergebnisse werden auf den Mittelwert standardisiert, d. h. es sind nicht die absoluten Größen von Interesse, sondern die Unterschiede zwischen den betrachteten Räumen. Die Ergebnisse werden vorwiegend in Karten und Säulendiagrammen visualisiert.

Für den Österreichischen Bundesverkehrswegeplan haben Bökemann und Kramar (1999) die Wirkung verschiedener Optionen des Verkehrsinfrastrukturausbaus auf die regionale Wettbewerbsposition mittels Erreichbarkeitsindikatoren bewertet. Für alle Gemeinden wurden Potenzialerreichbarkeiten für Straße und Schiene ermittelt. Zusätzlich zu diesen traditionellen Erreichbarkeitsmaßen wurde ein alternativer Indikator entwickelt. Dabei bildeten die Bahnhöfe die Zielgrößen, die jeweils nach der Anzahl der sie bedienenden Züge differenziert nach Zugkategorie gewichtet wurden. Die Pkw-Zugangszeit zu den Bahnhöfen wurde mittels einer negativen Exponentialfunktion als Raumwiderstand be-

nutzt. Zur Analyse der räumlichen Disparitäten der Erreichbarkeit wurden statistische Maße wie die Ranggrößenverteilung und der GINI-Koeffizient mit Lorenzkurven verwandt.

Bedeutend für Österreich sind die seit den späten 1980er Jahren durchgeführten Erreichbarkeitsanalysen der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK). Die letzte veröffentlichte Aktualisierung für das Jahr 2005 nutzte Reisezeiten für Pkw und Öffentlichen Verkehr zu den nächsten regionalen Zentren und Oberzentren als Erreichbarkeitsindikatoren (ÖROK, 2007). Die Berechnungen wurden für ein Österreich abdeckendes Rastersystem mit einer Kantenlänge von 250 Metern durchgeführt. Die Pkw-Erreichbarkeiten berücksichtigten die Verkehrsverhältnisse auf den einzelnen Straßenabschnitten, die ÖV-Erreichbarkeiten basierten auf Fahrplänen und beinhalteten Warte- und Umsteigezeiten. Augenblicklich werden die Erreichbarkeitsanalysen der ÖROK aktualisiert (Weiss u. a., 2018). Hierzu wurde ein Erreichbarkeitsmodell mit dem Ziel entwickelt, regelmäßige Aktualisierungen der Analysen mit geringem Aufwand zu ermöglichen, die Vergleichbarkeit zukünftiger Analysen sicherzustellen und so fundierte Analysen über die Zeit zu ermöglichen (s. ausführlicher Kapitel 4.4).

Für Polen ist ein Erreichbarkeitsmodell für den Straßen- und den Bahnverkehr entwickelt worden, welches Erreichbarkeitsindikatoren für die Gemeindeebene berechnet (Komornicki u. a., 2010; Stepniak u. a., 2013). Das Erreichbarkeitsmodell wird u. a. auch für die Bewertung von polnischen Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen im Kontext der Anmeldungen von Verkehrsprojekten für den Europäischen Kohäsionsfonds benutzt (Rosik u. a., 2015; Komornicki u. a., 2018). Berechnet werden vorwiegend Indikatoren des Typs Erreichbarkeitspotenzial für Straße, Schiene und eine Aggregation von beiden. Für den Personenverkehr wird die Bevölkerung als Zielvariable benutzt, für den Güterverkehr das Bruttoinlandsprodukt. Der Raumüberwindungswiderstand wird durch Reisezeiten abgebildet, welche für den Straßenverkehr auf Geschwindigkeitsannahmen für einzelne Streckentypen und für den Bahnverkehr auf Entwurfsgeschwindigkeiten basieren.

Die Niederlande sind Gegenstand einer großen Zahl an Erreichbarkeitsstudien und -modellen, welche sehr unterschiedliche Themen und Indikatorenkonzepte beinhalten. In vielen Studien wird insbesondere der Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen besondere Beachtung geschenkt. So nutzen Geurs und Ritsema van Eck (2001) Kumulations- und Potenzialindikatoren zur Bewertung der jetzigen Erreichbarkeitssituation und zukünftig aufgrund von Flächennutzungs- und Verkehrsveränderungen sich einstellenden Erreichbarkeitsverhältnissen auf dem Arbeitsmarkt. Betrachtet werden die Erwerbstätigen am Wohnort und die verfügbaren Arbeitsplätze in den Zielorten.

In dem aktuell laufenden Forschungsprojekt ASTRID (Accessibility, Social justice and TRansport emission Impacts of transit-oriented Development strategies) der Universität Twente wird die unausgewogene Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen in den Kontext weiterer Aspekte räumlicher Entwicklung analysiert (Pritchard u.a., 2018). Insbesondere werden die Beziehungen zwischen Erreichbarkeit, Wohnstandortverhalten, Belastung mit Luftschadstoffen und Fragen der Gerechtigkeit untersucht. Relevant ist die Tür-zu-Tür-Methode zur Bestimmung der Reisezeiten für Pkw, Rad, Rad und ÖV, Gehen und ÖV, d. h. die Einbeziehung aller Teilstrecken. Reisezeiten werden zudem unter Nutzung von Big Data-Quellen ermittelt, d. h. TomTom-Geschwindigkeitsdaten für den Pkw-Verkehr und ÖV-Fahrpläne im GTFS-Format.

Auf europäischer Ebene wurde mit den Erreichbarkeitsmodellierungen des ESPON Programms ein breiter Indikatorensatz vorgelegt. Insbesondere im Projekt ESPON TRACC sind entsprechend den in Kapitel 3 aufgeführten drei generischen Indikatorentypen (Reiseaufwand, kumulierte Erreichbarkeit, Potenzialerreichbarkeit) systematisch Erreichbarkeitsindikatoren definiert und für die Regionen Europas implementiert worden: Diese reichen von globalen über europäische und nationale bis hin zu regionalen Indikatoren (Spiekermann u. a., 2015; Huber und Spiekermann, 2014; Stepniak und Spiekermann, 2013).

4.2 Erreichbarkeitsatlas Metropolregion Hamburg

Das Anwendungsbeispiel des Erreichbarkeitsatlas Metropolregion Hamburg (Metropolregion Hamburg, 2017b) ist hier von besonderem Interesse, da es einerseits den MIV und den öffentlichen Verkehr integriert behandelt und andererseits als Webtool online zur Verfügung steht. Der Erreichbarkeitsatlas ist als Leitprojekt „Regionale Erreichbarkeitsanalysen“ der Metropolregion Hamburg von der TU Hamburg entwickelt worden (Peter und Gertz, 2017). Das Modell-

system erlaubt Erreichbarkeitsanalysen für den MIV, den ÖV, das Fahrrad und das zu-Fuß-Gehen. Insbesondere sind auch kleinräumige Analysen möglich.

Datengrundlagen

Die Datengrundlagen für das dem Erreichbarkeitsatlas der Metropolregion Hamburg zugrundeliegende Erreichbarkeitsmodell umfasst Daten der Raumstruktur als auch die erforderlichen Verkehrsnetze.

Wichtige raumstrukturelle Datengrundlage ist die kleinräumige Abbildung der Bevölkerung. Mit einem Rastersystem mit 100 Metern Kantenlänge und den auf dem Zensus 2011 basierenden Bevölkerungsdaten für 230.000 bewohnte Rasterzellen sind die Wohnstandorte der Bevölkerung als Ausgangspunkte für die meisten Analysen gegeben. Aus Rechenzeitgründen werden die Daten allerdings auf ein Rastersystem mit 500 Metern Kantenlänge aggregiert.

Das zweite Element der abgebildeten Raumstruktur sind die Ziele. Diese umfassen zahlreiche Aspekte, die das tägliche Mobilitätsverhalten mitbestimmen. Dazu gehören Bildungs- und Freizeiteinrichtungen, Supermärkte, Apotheken, Hausärzte, Freizeitgelegenheiten und Arbeitsplätze.

Für das Straßen- und Wegenetz wurden OpenStreetMap (OSM)-Daten aufbereitet. Den einzelnen Streckenabschnitten wurden in der Netzaufbereitung jeweils Maximalgeschwindigkeit, Kapazität sowie etwaige Nutzungsbeschränkungen zugewiesen. Zudem wurden Kreuzungen mit Ampeln kodiert, die entsprechenden Knoten wurden mit durchschnittlichen Wartezeiten von einer Minute versehen. Mit diesen Informationen wurde ein Verkehrsmodell angesteuert, welches unter Berücksichtigung der auf die einzelnen Streckenelemente umgelegten Verkehrsnachfrage und der Kapazität die erzielbaren Durchschnittsgeschwindigkeiten für den Pkw-Verkehr ermittelt.

Das Verkehrsnetz für den öffentlichen Verkehr besteht aus Haltestellen und den auf Fahrplänen basierenden Fahrzeiten zwischen diesen Haltestellen. Im ÖV-Netz wurden die fahrplanmäßigen Fahrten der Fahrplanperiode 2016/2017 aufgenommen. Der Fernverkehr der Bahn wird (bei wenigen Ausnahmen) nicht in der ÖV-Netzgrundlage berücksichtigt, da er als nicht relevant für die Erreichung der Ziele der Alltagsmobilität angesehen wird.

Routing

Die Fahrzeiten für den ÖV setzen sich zusammen aus Gehzeiten zur Ausgangshaltestelle und von der Endhaltestelle zum Ziel, aus der aus der Bedienungshäufigkeit abgeleiteten Startwartezeit an der Ausgangshaltestelle und aus der eigentlichen ÖV-Fahrzeit einschließlich der ggf. erforderlichen Umsteigezeit an Zwischenhaltestellen. Dazu wurde eine integrierte Verkehrsnetzdatenbasis geschaffen, die sowohl das Fuß- und Radwegenetz zur Verknüpfung der Haltestellen mit den bewohnten Rasterzellen und den Zielen umfasst als auch das eigentliche ÖV-Netz. Fahrplanreisezeiten sind für unterschiedliche Tageszeiten verfügbar und werden je nach den Erfordernissen der zu erreichenden Ziele, z.B. Schule oder Einkaufen, unterschiedlich benutzt.

Die Suche des zeitkürzesten Weges erfolgt von den Rasterzellen aus über die umliegenden Haltestellen durch das ÖV-Netz zu den Haltestellen, die die möglichen Ziele umfassen. Die kürzeste Reisezeit muss so nicht über die fußläufig nächste Haltestelle erfolgen, sondern wird in dem integrierten Verkehrsnetzmodell über alle möglichen Verbindungen hinweg ermittelt. Nicht dokumentiert ist, wie die Routensuche im eigentlichen ÖV-Netz geschieht, d. h. ob ein eigenständiger Routensucher in das Modellsystem integriert ist oder ob vorab auf anderem Wege Reisezeitmatrizen zwischen allen Haltestellen für die betrachteten Zeitkorridore ermittelt wurden.

Das Routing im Individualverkehr ist nicht näher dokumentiert.

Erreichbarkeitsindikatoren

Das Erreichbarkeitsmodell für die Metropolregion Hamburg bietet Indikatoren für alle in Kapitel 3 identifizierten generischen Grundtypen an: Reiseaufwandsindikatoren, Kumulationsindikatoren und Potenzialindikatoren, Zusätzlich werden Ausstattungsindikatoren bereitgestellt:

- Reiseaufwandsindikatoren werden hier als Reisezeit zur zeitlich am schnellsten erreichbaren Einrichtung definiert. Reisezeiten werden für die unterschiedlichen Verkehrsmittel berechnet. Zusätzlich können für den öffentlichen Verkehr auch die Anzahl der notwendigen Umsteigevorgänge und die Anzahl der Verbindungen in einem vorgegebenen Zeitraum ausgegeben werden.
- Kumulationsindikatoren summieren die innerhalb vorgegebener Reisezeitbudgets erreichbaren Ziele. Im stadtregionalen Zusammenhang werden hier Reisezeitbudgets von 30 und 60 Minuten betrachtet.
- Für Potenzialindikatoren werden in diesem Erreichbarkeitsmodell zwei verschiedene Gewichtungsfunktionen der Reisezeit eingesetzt, welche die Bedeutung der Reisezeit für die Erreichbarkeit mal mehr und mal weniger betonen. Dies drückt sich beispielsweise darin aus, ob eine Zielgröße mit einer Reisezeitentfernung von 30 Minuten mit 22 oder mit 55 Prozent in die Erreichbarkeit eingeht.
- Als Ausstattungsindikatoren werden in diesem Erreichbarkeitsmodell zwei ÖV-bezogene Aspekte definiert. Beide Indikatoren messen Qualitäten von ÖV-Haltestellen. Der erste benennt die Anzahl der Abfahrten von jeder Haltestelle für bestimmte Zeiträume, der zweite benennt die Anzahl der unterschiedlichen Linien, die eine Haltestelle bedienen.

Auswertungen

Mit dem Erreichbarkeitsmodell für die Metropolregion Hamburg wurden etwa 250 Auswertungen durchgeführt, d. h. unterschiedliche Erreichbarkeitsindikatoren für die verschiedenen Verkehrsmittel und die verschiedenen Ziele miteinander kombiniert.

Diese Auswertungen sind online zugänglich. Dazu wurde ein so genanntes Planungsportal entwickelt, welches einen Onlinezugriff bietet. Dieses Online-Tool erlaubt die Visualisierung der Erreichbarkeitsindikatoren. Dabei ist eine individuelle Klassifizierung und Einfärbung der jeweiligen Erreichbarkeitsindikatoren möglich. Zudem ist der Export der so definierten und erstellten Karten für die Weiternutzung durchführbar. Das Planungsportal wird als ein wesentlicher Baustein zur Integration der Erreichbarkeitsanalysen in die Planungspraxis der verschiedenen Ebenen der Metropolregion Hamburg betrachtet.

Abbildung 4.1 zeigt beispielhaft die ÖV-Erreichbarkeit der Oberzentren, Abbildung 4.2 die Anzahl notwendiger Umstiege im ÖV zum Erreichen des nächsten Oberzentrums.

Fazit

Das Erreichbarkeitsmodell für die Metropolregion Hamburg und die damit ermöglichten Analysen geben Hinweise darauf, wie wichtig und aussagekräftig die Berücksichtigung der unterschiedlichen Typen von Erreichbarkeitsindikatoren für die räumliche Analyse ist. Zudem ist die Integration aller relevanten Verkehrsmittel in einem einheitlichen Modell bedeutsam. Hier ist insbesondere die integrierte Verkehrsnetzabbildung der ÖV-Netze mit den Fuß- und Radwegenetzen zur nahtlosen Ermittlung von ÖV-Reisezeiten hervorzuheben.

Hervorzuheben ist auch die Möglichkeit, die Erreichbarkeitsanalysen über das geschaffene Portal online zu betrachten und Karten für individuelle Zwecke generieren zu können. Diese Art der Verfügbarmachung von Ergebnissen von Erreichbarkeitsanalysen für die Öffentlichkeit, aber auch für die planerisch tätigen Fachleute ist ein Schritt in Richtung von mehr Transparenz im Verstehen und Steuern von räumlichen Prozessen.

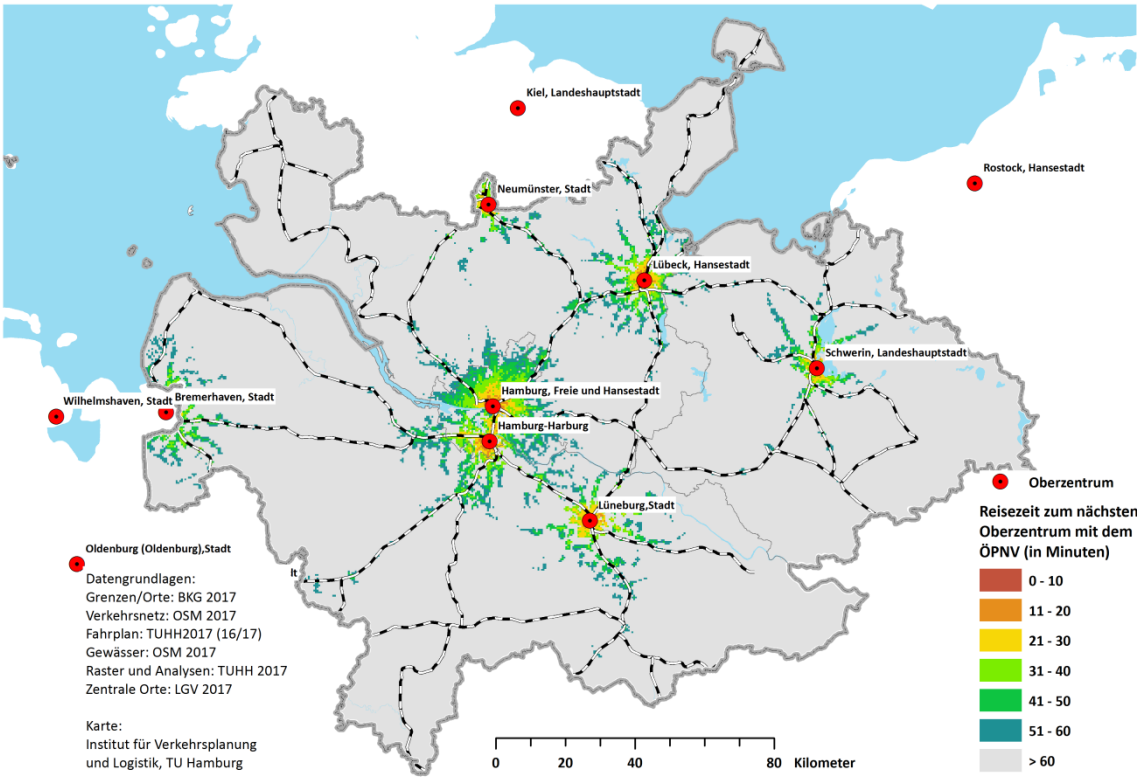


Abbildung 4.1: ÖV-Erreichbarkeit des nächsten Oberzentrums in der Metropolregion Hamburg (Peter und Gertz, 2017, S. 62)

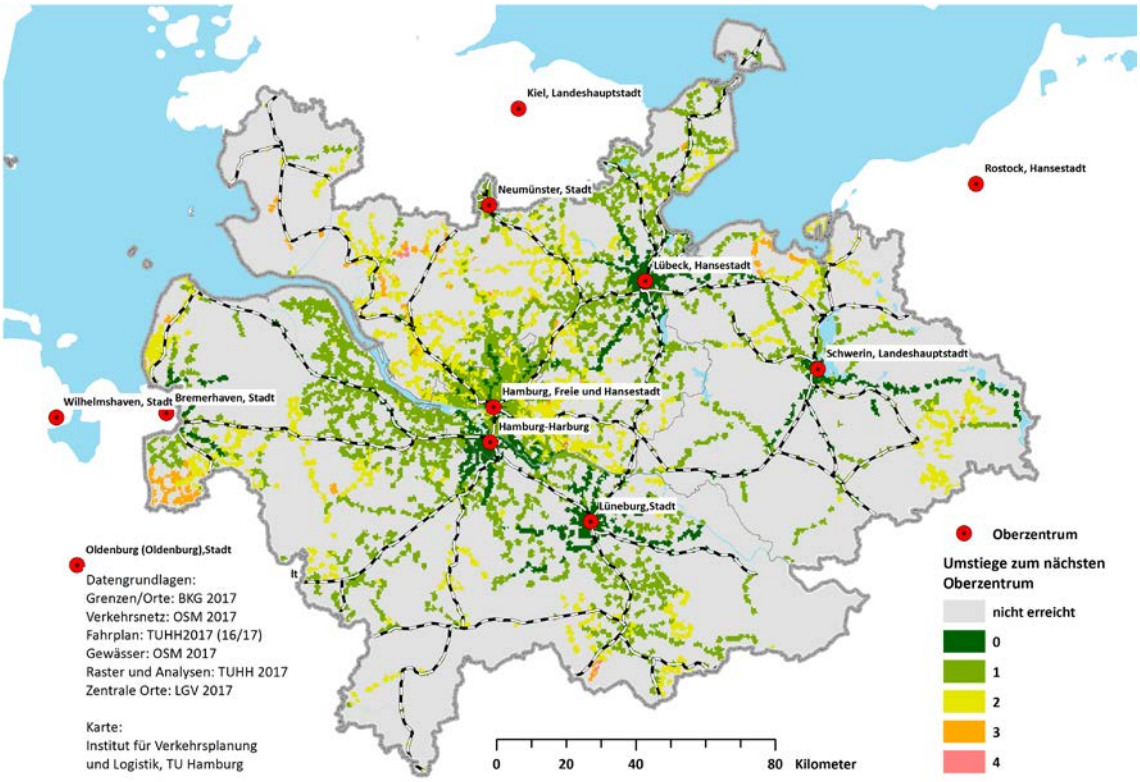


Abbildung 4.2: Notwendige Umstiege bei der ÖV-Erreichbarkeit des nächsten Oberzentrums in der Metropolregion Hamburg (Peter und Gertz, 2017, S. 63)

4.3 Erreichbarkeit der Zentralen Orte in Mecklenburg-Vorpommern

Das Anwendungsbeispiel ist von besonderem Interesse, da hier für ein flächenmäßig großes Bundesland ein Erreichbarkeitsmodell aufgesetzt wurde, welches kleinräumig differenzierte Berechnungen durchführt und welches einen digitalen ÖV-Fahrplan mit allen Umsteigerelationen für verschiedene Wochentage integriert. Die Erreichbarkeitsanalyse wurde im Jahr 2013 für das Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt (Schwarze und Spiekermann, 2013). Ziel war die Bestimmung der Erreichbarkeit der Zentralen Orte mit dem ÖV, mit dem Fahrrad und dem Pedelec und mit einer Kombination aus ÖV und Fahrrad und Pedelec als Zubringer aus der Fläche und die Bewertung der Erreichbarkeit der Zentralen Orte untereinander. Während ersteres mit einem klassischen Erreichbarkeitsmodell durchgeführt wurde, wurde für die Bewertung der Zentralen Orte untereinander die Bewertungsvorgaben der Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN) (FGSV, 2008) herangezogen.

Datengrundlagen

Für die Erreichbarkeit der Zentralen Orte aus der Fläche ist ein hoch aufgelöstes Raumbezugssystem implementiert worden, um Erreichbarkeitsunterschiede innerhalb von Gemeinden untersuchen zu können. Dazu wurde Mecklenburg-Vorpommern in kleinräumige Rasterzellen von 100 x 100 m Größe unterteilt. Da das Bevölkerungsraster des Zensus 2011 noch nicht verfügbar war, wurde mittels eines räumlichen Disaggregierungsverfahrens die Bevölkerung den Rasterzellen zugeteilt. Die Rasterzellen bildeten als Wohnstandorte der Bevölkerung die Fahrtenquellen für die Erreichbarkeitsanalyse aus der Fläche.

Die Zentralen Orte waren im Erreichbarkeitsmodell die Fahrtziele. Für jeden Zentralen Ort wurde ein ellipsenförmiges Zielgebiet definiert, das räumlich das Stadtzentrum mit den wesentlichen zentralörtlichen Einrichtungen und in der Regel den Bahnhof bzw. Busbahnhof umfasst. Das Fahrtziel gilt als erreicht, wenn die Zielellipse erreicht ist.

Für die Analyse der Erreichbarkeit wurden die einzelnen Verkehrsnetzmodelle für den ÖV, das Fahrrad/Pedelec sowie für die Kombination von Fahrrad/Pedelec und ÖV datentechnisch aufbereitet. Für zwei ausgewählte Stichtage, ein Wochentag während der Schulzeit und ein Samstag, wurde das vollständige ÖV-Netz abgebildet. Hierzu wurden digitale Fahrplandaten, die für Mecklenburg-Vorpommern im HAFAS-Rohdatenformat verfügbar waren, erfasst, geprüft und aufgrund von Datenlücken bei etwa 80 Buslinien und 180 Haltestellen manuell vervollständigt. Der so vollständige Fahrplan wurde mittels entsprechender Programme der Bearbeiter in ein routingfähiges ÖV-Netzmodell überführt.

Für die Bestimmung der Erreichbarkeit mit Fahrrad und Pedelec wurden Informationen aus dem AAA-Datenmodell des amtlichen Digitalen Landschaftsmodells (Basis-DLM) der Landesvermessung Mecklenburg-Vorpommern aufbereitet. Über die Objektartengruppe Verkehr wurde ein routingfähiges Verkehrsnetzmodell erzeugt, das sämtliche mit dem Fahrrad/Pedelec befahrbaren Straßen und Wege umfasst. Bundesautobahnen, Kraftfahrstraßen und reine Fußwege sind ausgeschlossen. Die wesentliche Differenzierung des Straßen- und Wegenetzes erfolgt über die Informationen zur Objektart, zur Straßenwidmung, zur Straßenfunktion und zum Bestand von begleitenden Fahrstreifen, z.B. Fuß- oder Radwegen. Eine weitere Differenzierung ist über die Informationen zur inner- oder überörtlichen Verkehrsbedeutung der Straße, zur Befestigung der Straße, zur Anzahl der Fahrstreifen und zur Breite der Fahrbahn möglich. Das für Mecklenburg-Vorpommern generierte Verkehrsnetzmodell umfasst insgesamt etwa 633.000 Kanten und etwa 560.000 Knoten.

Routing

Das Routing sowohl für den ÖV als auch für Fahrrad und Pedelec sowie für die Kombinationen von beiden wurde von den Bearbeitern mit eigens entwickelter Software durchgeführt, in deren Kern sich ein effizienter Routensuchalgorithmus befindet.

Mit dem aus den Fahrplandaten aufbereiteten ÖV-Netzmodell wurden für die vorab definierten Fahrtenquellen und -ziele die kürzesten ÖV-Reisezeiten bestimmt. Dazu wurden für jede Quelle sämtliche Ziele betrachtet. Es wurde der

gesamte ÖV-Fahrplan für Mecklenburg-Vorpommern inklusive realer Umsteigezeiten ausgewertet. Die ÖV-Reisezeit setzt sich aus der Gehzeit von der Rasterzelle des Wohnstandortes zur Ersteinstiegshaltestelle, einer plausiblen Wartezeit an der Ersteinstiegshaltestelle und der fahrplangenauen ÖV-Fahrzeit einschließlich ggf. erforderlicher Umsteigezeiten zusammen. Befindet sich die Endhaltestelle nicht in der Zielellipse des Zentralen Ortes, wird auf die ÖV-Reisezeit noch die Gehzeit von der Endhaltestelle zum Zielgebiet aufaddiert.

Als Ersteinstiegshaltestellen kommen zunächst alle bedienten Haltestellen im Umkreis von drei Kilometern vom Wohnstandort in Frage. Sollten sich innerhalb von drei Kilometern Luftliniendistanz nicht mindestens vier Haltestellen befinden, wird der Radius schrittweise erhöht, bis vier Haltestellen gefunden wurden. Die Gehzeit für den fußläufigen Zugang zur Ersteinstiegshaltestelle und ggf. der Abgang von der Endhaltestelle zur Zielfläche bemisst sich über eine Luftliniengeschwindigkeit von 4 km/h.

Die Berechnung der kürzesten ÖV-Reisezeiten kann mit dem vorliegenden Erreichbarkeitsmodell sowohl für bestimmte Stichtage als auch für bestimmte Zeitpunkte oder Zeiträume vorgenommen werden. In dieser Studie wurde die Erreichbarkeit von Zentralen Orten für einen Werktag bei Abfahrt zwischen 6 und 8 Uhr morgens und für einen Samstag bei Abfahrt zwischen 9 und 11 Uhr morgens ermittelt. Mit diesen Zeitkorridoren von zwei Stunden wird das gesamte ÖV-Angebot zur Spitzenzeit abgebildet.

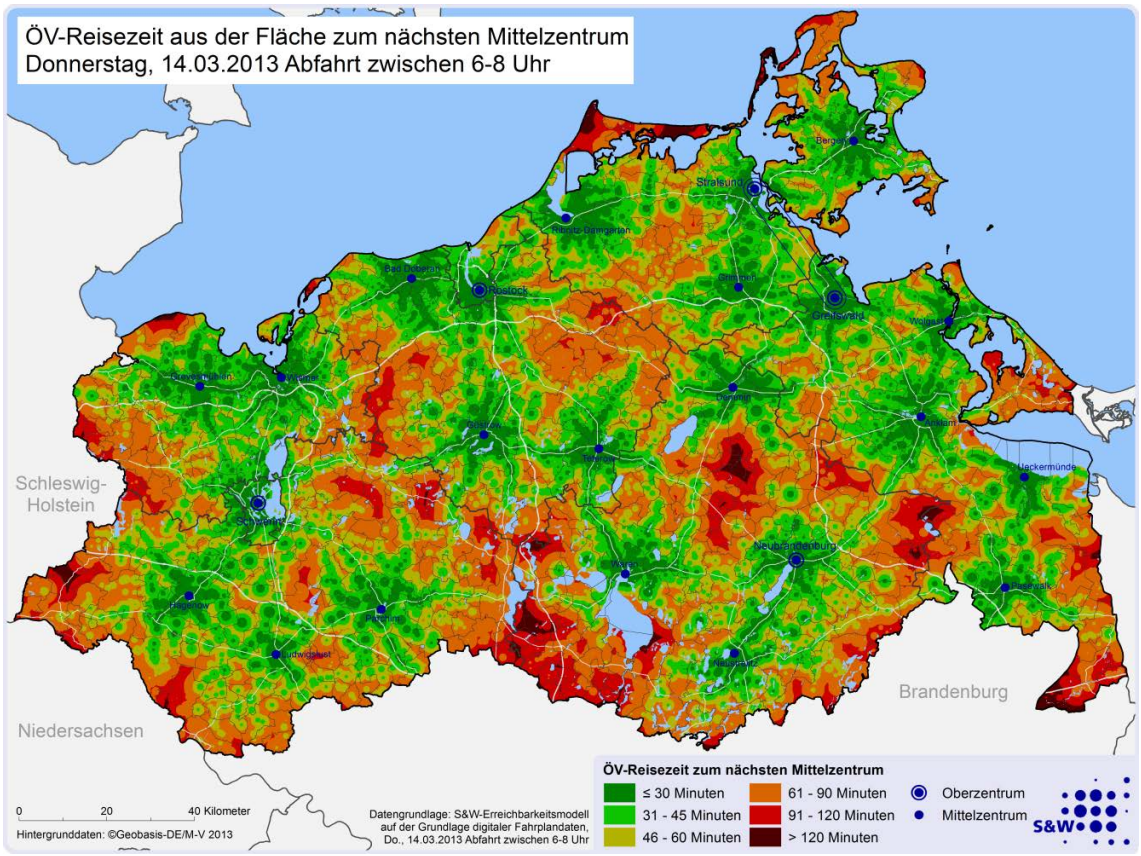
Auswertung

Die Erreichbarkeit der Zentralen Orte Mecklenburg-Vorpommerns wurde tabellarisch und kartografisch aufbereitet. Insbesondere wurde analysiert, wie viel Prozent der Gemeinden und wie viel Prozent der Einwohner die Zentralen Orte unterschiedlicher Hierarchiestufen in welcher Reisezeitklasse an den gewählten Stichtagen bzw. Uhrzeiten erreichen können. Abbildung 4.3 zeigt exemplarisch die Erreichbarkeit der Mittelzentren in Mecklenburg-Vorpommern mit dem ÖV für einen Werktag und für einen Samstag. Die Bewertung der Erreichbarkeit zwischen den Zentralen Orte ist ebenfalls kartografisch aufbereitet worden, wobei die sich ergebende Bewertung nach den Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN) (FGSV, 2008) in farbige Linien zwischen den Orten umgesetzt wurde.

Fazit

Eine auf einem kleinräumigen Rastersystem aufbauende Analyse der Erreichbarkeitsgrade der Bevölkerung kommt zu präziseren Ergebnissen als räumlich höher aggregierte Erreichbarkeitsanalysen etwa für Gemeinden. Die Erreichbarkeitsanalyse für Mecklenburg-Vorpommern zeigt, dass rasterbasierte Analysen auch für große Räume möglich sind. Sie erlauben eine räumlich sehr differenzierte Ermittlung von Reisezeiten. Dies ist insbesondere bei den ÖV-Erreichbarkeiten relevant, da diese kleinräumig, je nach Lage der Haltestellen zu den Wohnstandorten und je nach Verkehrsangebot an den Haltestellen sehr unterschiedlich sein können.

Das Beispiel gibt aber auch Hinweise auf die Modellierbarkeit der ÖV-Erreichbarkeit. Demnach ist die Integration der Routensuche für den Öffentlichen Verkehr in bestehende Erreichbarkeitsmodelle durchführbar, wenn auch mit einigem Aufwand an Datenaufbereitung, ggf. Schließen von Datenlücken und Rechenzeit für die Berechnung der Reisezeitmatrizen verbunden. Im Gegenzug ergeben sich Vorteile bei der flexiblen Nutzung von ÖV-Daten, insbesondere auf die so gegebene Unabhängigkeit in der Definition und Auswahl von Zielen und Fahrtenzeiträumen.



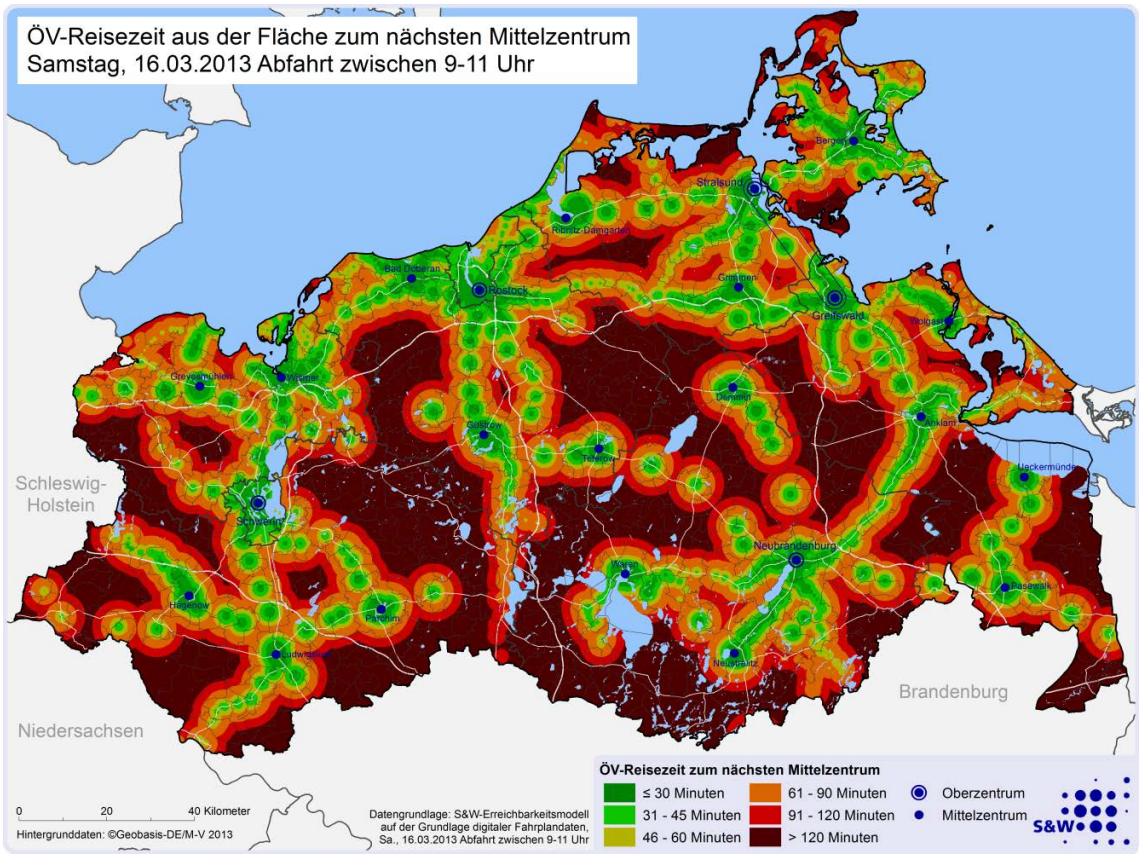


Abbildung 4.3: ÖV-Reisezeiten aus der Fläche zum nächsten Mittelzentrum werktags (14.03.2013, oben) und samstags (16.03.2013, unten) (Schwarze und Spiekermann, 2013)

4.4 Erreichbarkeitsmodell Österreich

Das Anwendungsbeispiel Erreichbarkeitsmodell Österreich ist von besonderem Interesse, da hier aktuell für die nationale Ebene ein neues Erreichbarkeitsmodell für den Straßenverkehr und den öffentlichen Verkehr entwickelt wird. Die Neuentwicklung dieses Modells soll regelmäßige Aktualisierungen der Erreichbarkeitsanalysen für Österreich mit geringem Aufwand ermöglichen, die Vergleichbarkeit zukünftiger Analysen sicherstellen und so fundierte Analysen über die Zeit gewährleisten. Zudem soll das Modell sehr flexibel sein, um es für unterschiedliche Fragestellung bei möglichst überschaubarem Rechenaufwand zu nutzen (nachfolgende Angaben auf der Basis von Weiss u. a., 2018).

Das Erreichbarkeitsmodell ist modular aufgebaut, d. h. es besteht aus verschiedenen, ggf. weiter differenzierten Einzelprozessen, die die Teilschritte Datenaufbereitung, MIV-Routing, ÖV-Routing und Auswertung umfassen.

Datenaufbereitung

Das Erreichbarkeitsmodell Österreich nutzt als Raumbezug ein für Österreich vorliegendes Rastersystem mit einer Kantenlänge von 100 Metern. Die bewohnten Rasterzellen dienen als Quellpunkte der analysierten Fahrtbeziehungen, d.h. die Erreichbarkeitsindikatoren werden für die bewohnten Flächen berechnet. Als Ziele werden regionale und überregionale Zentren und Bildungseinrichtungen benutzt.

Für die Abbildung des Straßenverkehrs und der Fußwege zu den ÖV-Haltestellen liegt für Österreich ein routingfähiger Netzwerkgraph (GIP) der öffentlichen Hand vor (GIP.at, 2018). Das Straßen- und Wegenetz hat den Aktualitätsstand April 2016. Der Graph enthält Abbiegevorschriften und Einbahnstraßen. Für die Attributierung der MIV-Geschwindigkeiten werden auf der Basis von Floating Car Data berechnete Durchschnittsgeschwindigkeiten auf den Streckenabschnitten des so genannten österreichischen Durchfahrtnetzes benutzt. Sollten aufgrund geringer Datenmengen keine plausiblen Geschwindigkeiten vorliegen, werden die im Netzwerkgraph GIP hinterlegten Durchschnittsgeschwindigkeiten genommen. Dieses sind nach Straßenfunktion und inner- und außerorts differenzierte, auf empirischen Untersuchungen basierende Geschwindigkeitsannahmen (GIP.at, 2016). Aufschläge für Parksuchzeiten werden auf Grundlage von Informationen zu hochverdichteten Kernzonen definiert.

Fahrplandaten und Haltestellen für den Öffentlichen Verkehr werden als HAFAS-Fahrplandaten von der ARGE ÖVV bezogen. Als Stichtage wurden zwei Wochentage im Jahr 2016 gewählt, einer mit und einer ohne Schülerverkehre. Betrachtet wird jeweils die Hauptverkehrszeit morgens sowie der ganze Tag.

MIV-Routing

Zur Ermittlung der kürzesten Reisezeiten im MIV wird der Network Analyst von ArcGIS der Firma ESRI benutzt. Berechnet wird jeweils die Reisezeit von den Startpunkten zum jeweils am schnellsten erreichbaren Zielpunkt. Ob hier im MIV-Routing als Startpunkte die Knoten des Netzes oder die bis zu 3,5 Mio. bewohnten oder besiedelbaren Rasterzellen benutzt werden, wird in den Quellen nicht benannt. Im Ergebnis des MIV-Routings liegt für jede Rasterzelle die minimale Reisezeit zu einem Standort der jeweiligen Zielkategorie vor.

ÖV-Routing

Das Routing im ÖV ist aufwändiger. Es besteht im Wesentlichen aus drei Teilen, welche die drei abgebildeten Teilwege bei einer Fahrt mit dem ÖV reflektieren.

Das erste Teilstück bilden die Fußwege von den bewohnten Rasterzellen zu den ÖV-Haltestellen. Hierzu wird der zu Fuß begehbare Teilbereich des Netzwerkgraphen GIP benutzt. Mittels des Network Analysts von ArcGIS werden die Fußwege von den einzelnen bewohnten Rasterzellen zu den umliegenden Haltestellen ermittelt. Das Zumutbarkeitskriterium von maximal 1.250 Metern Fußweg bildet dabei eine Obergrenze.

Das zweite Teilstück bildet die eigentliche Fahrt mit den Verkehrsmitteln des ÖV. Dazu wird aus den HAFAS-Fahrplandaten unter Nutzung von PTV VISUM eine Haltestellen-Haltestellen-Matrix generiert. Bei den vorliegenden

37.000 Haltestellen für Österreich und das benachbarte Ausland ergibt sich eine Größe der Matrix von 1,3 Mrd. Relationen. Für jede Relation werden die Reisezeit, die Umsteigehäufigkeit, die Umsteigewartezeit und die Bedienungshäufigkeit abgelegt. Es wird mehrfach betont, dass die Erstellung dieser Matrizen für die verschiedenen Zeitpunkten der aufwändigste Schritt in der Erreichbarkeitsmodellierung darstellt, ohne den Aufwand jedoch genauer zu benennen. Aus diesem Grund werden die ÖV-Matrizen auch vorab berechnet und abgelegt.

Das letzte Teilstück, der Fußweg von der Zielhaltestelle zum eigentlichen Ziel wird wie das erste Teilstück modelliert.

Mit Hilfe eines Auswertungsprogramms in Python werden die drei Teilstücke eines ÖV-Weges zusammengeführt. D. h., es wird für jede Rasterzelle ermittelt, über welche Abfahrts- und Ankunftshaltestelle mit den dorthin oder von dort erforderlichen Fußwegen sich die Reisezeit zu der jeweiligen Zielkategorie minimieren lässt. Abgeglichen wird diese ÖV-Reisezeit noch mit der reinen Gehzeit zwischen Rasterzelle und Zielkategorie, so dass bei reinen Fußwegen, die kürzer als eine ÖV-Gesamtreisezeit sind, die Fußwegedauer für die Rasterzelle für die weitere Analyse benutzt wird.

Auswertung

Mit diesem so aufgesetzten Erreichbarkeitsmodell lässt sich eine Reihe von Analysen durchführen. Benannt werden Erreichbarkeit als Kriterium im Rahmen der Verkehrsplanung und Raumordnung, wo sich Gebiete mit über- und unterdurchschnittlicher MIV und ÖV Erreichbarkeit identifizieren lassen. Auswertungen können einwohner- oder flächenbezogen sein und von den Rasterzellen beliebig zu höheren räumlichen Ebenen aggregiert werden und als Zugänglichkeiten, Erschließung, Erreichbarkeitsgrade oder Einzugsbereiche ausgedrückt werden. Hingewiesen wird darauf, dass die Ergebnisse von Erreichbarkeitsanalysen auch als Grundlage für die Ausweisung von Vorrangflächen für Siedlungsflächen dienen können. Abbildung 4.4 zeigt mit der ÖV-Reisezeit zu regionalen Zentren ein Beispiel einer Ergebnisdarstellung des Erreichbarkeitsmodells Österreich.

Fazit

Das Erreichbarkeitsmodell Österreich ist als ein Beispiel aufzufassen, in dem unter Nutzung und Integration neuer digitaler Datenquellen wie Floating Car Data und Fahrplandaten ein landesweites Erreichbarkeitsmodell aufgesetzt wird. Hinzuweisen ist auf den modularen Aufbau, d. h. für die einzelnen Schritte der Erreichbarkeitsmodellierung werden jeweils eigenständige Software-Pakete oder selbst entwickelte Routinen verwandt. Mit der Verfügbarkeit eines geeigneten Straßennetzgraphen und den darauf auf Basis von FCD kodierten Geschwindigkeiten und der Verfügbarkeit eines landesweiten ÖV-Fahrplans in digitaler Form ist die eigentliche Erreichbarkeitsmodellierung autark und nicht auf Zuarbeit oder Zukauf einzelner Zwischendaten von Dritten angewiesen.

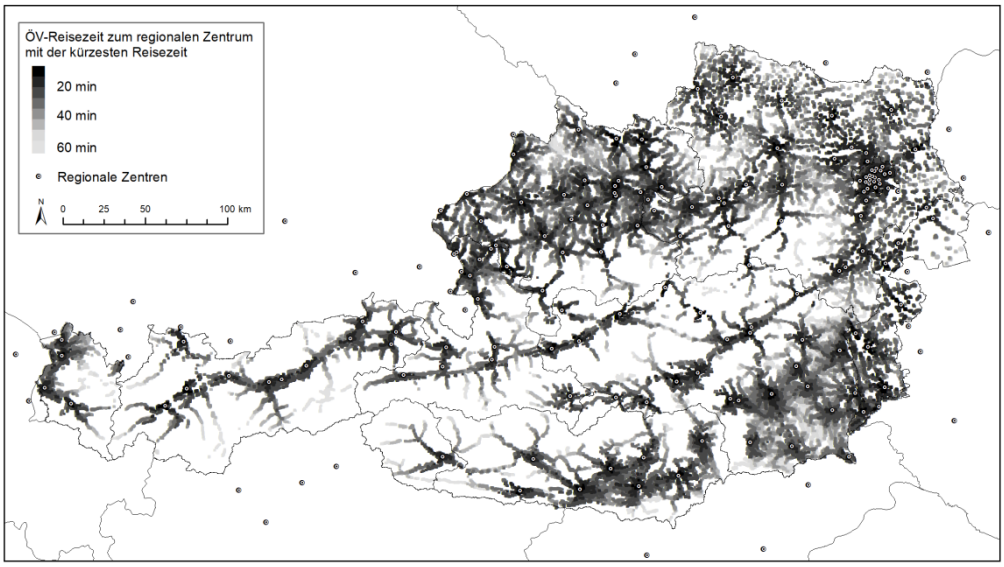


Abbildung 4.4: Erreichbarkeitsmodell Österreich: ÖV-Reisezeit zu regionalen Zentren (Weiss u. a., 2018)

5 Modellierung des Straßennetzes

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über mögliche digitale Verkehrsnetzgrundlagen und deren Attributierung in der Erreichbarkeitsmodellierung. Adressiert wird so die Fragestellung, mit welchen digitalen Straßennetzgrundlagen und mit welcher Attributierung das Verkehrsgeschehen auf der Straße realistisch in Erreichbarkeitsanalysen abgebildet werden kann.

Zur Berechnung von Reiseaufwänden in Verkehrsnetzen muss das verkehrliche Angebot als Verkehrsgraph modelliert werden. Die Modellierung eines Verkehrsgraphen erfolgt üblicherweise verkehrsmittelorientiert, das heißt unimodal zum Beispiel für den Pkw-Verkehr. Die Entscheidung, wie ein Verkehrsgraph modelliert wird, hängt vom Untersuchungszweck ab. Seine räumliche Auflösung gibt den Grad der feststellbaren Interaktion vor. So sollte ein Pkw-Verkehrsgraph alle relevanten Relationen über das Straßennetz enthalten. Gleichzeitig ist zu beachten, dass mit zunehmender Feinmaschigkeit des Verkehrsnetzes zwar die Rechenläufe und eine etwaige Datenaufbereitung aufwändiger werden, die Ergebnisse jedoch nicht unbedingt besser.

Ein routingfähiger Verkehrsgraph besteht aus topologisch verknüpften Kanten und Knoten, denen Gewichte zugewiesen sind. Die Gewichte repräsentieren die angenommenen Raumüberwindungswiderstände, anhand derer im Netz der kürzeste beziehungsweise schnellste Weg zwischen zwei Knoten ermittelt wird. Die Datenhaltung erfolgt in der Regel in einem Geoinformationssystem. Die Verkehrsgraphen liegen in diesem Fall georeferenziert vor. Bei der Modellierung des Graphen für den Straßenverkehr (Pkw und/oder Lkw) repräsentieren die Kanten die befahrbaren Straßenabschnitte. Wenn zulässige Fahrtrichtungen und Verkehrsregelungen abgebildet werden sollen, müssen die Kanten gerichtet sein.

Kantenattribute können die zulässige Höchstgeschwindigkeit, eine reale mittlere Fahrgeschwindigkeit, Länge, Straßenkategorie, Kapazität, Verkehrsbelastung, eine tages- und wochenzeitabhängige Fahrzeit, Straßenbenutzungsgebühren, Fahrtrichtung, Verkehrsregelungen (z.B. zulässiges Gesamtgewicht, maximale Durchfahrtshöhe, Abbiegevorschriften) usw. sein. Kreuzungspunkte, Mautstationen oder Modell-Zentroide werden durch Knoten repräsentiert. Als Eigenschaften können sie neben dem Knotentyp Verkehrsregelungen, mittlere Wartezeiten, Abbiegewiderstände oder Informationen zu Benutzungsgebühren enthalten.

Die Erkundung geeigneter digitaler Verkehrsnetzgrundlagen und ihrer Attributierung innerhalb der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird dargestellt, welche routingfähigen Straßennetzgrundlagen für die Erreichbarkeitsmodellierung beim BBSR in welcher Form geeignet wären (Kapitel 5.1). Daran anschließend wird über ein umfangreicheres Datenexperiment berichtet, in dem die Geschwindigkeitsattributierung im Straßennetz des BBSR mit möglichen anderen, aus unterschiedlichen Quellen stammenden Attributierungen verglichen werden (Kapitel 5.2-5.4). Weitere Hinweise zur Attributierung von Straßenverkehrsnetzen gibt eine Sonderauswertung von Mobilitätsdaten (Kapitel 5.5). Ein Zwischenfazit zur Modellierung von Straßennetzen (Kapitel 5.6) bildet den Abschluss dieses Kapitels.

5.1 Digitale Straßennetzgrundlagen

Die Erreichbarkeitsmodellierungen beim BBSR bedienen vielfältige Zwecke. Ursprünglich wurde das Erreichbarkeitsmodell des BBSR zur Analyse der regionalen und großräumigen Erreichbarkeitsverhältnisse in Deutschland und Europa entwickelt. Neben diesen großräumigen Analysen werden in jüngerer Zeit beim BBSR verstärkt Erreichbarkeitsanalysen zur regionalen Daseinsvorsorge nachgefragt, die inzwischen 70 Prozent aller Anwendungen ausmachen.

Die Straßen- und Verkehrsnetzdatenbank ist eine Eigenentwicklung des BSSR, das die Datenbank kontinuierlich pflegt. Das Straßennetzmodell des BBSR ist in seiner räumlichen Auflösung auf die Gemeinden ausgelegt. Eine einheitliche Netzdichte liegt aber nicht vor. Aufgrund der an das BBSR herangetragenen Anforderungen wurde das Netzmodell projektspezifisch in einzelnen Teilräumen unter Nutzung externer Straßennetzgrundlagen wie ATKIS-

DLM oder OpenStreetMap (OSM) verfeinert. Das europaweite Straßennetzmodell umfasst etwa 920.000 Strecken und 718.000 Knoten, davon 662.000 Strecken und 518.000 Knoten in Deutschland.

Die einzelnen Netzelemente sind mit einer Reihe von Attributen versehen, die wesentliche Kenngrößen der einzelnen Streckenabschnitte beschreiben. Hierzu zählen im Straßennetz der Streckentyp (Autobahn, Landstraße, Fähre etc.), Streckenlänge, Geschwindigkeit, resultierende Fahrzeit, Verbindung von/nach und das Land und auf Autobahnen die Zählstellen bzw. -abschnitte der Bundesverkehrszählung. Historische und zukünftige Veränderungen im Straßennetz sind im Netzmodell mit entsprechenden Zeitstempeln versehen. Bei einer ggf. sich als sinnvoll erweisenden Neuaufsetzung des Straßennetzmodells auf eine andere Datenbasis sollte die zeitliche Netzentwicklung auf das neue Netz transferiert werden.

Das Straßennetzmodell des BBSR wird in einem Geoinformationssystem (GIS) vorgehalten, welches einerseits zur Datenhaltung und -pflege eingesetzt wird und andererseits mit einem integrierten Netzwerkanalysetool die Berechnung der Erreichbarkeitsindikatoren ermöglicht. Mit der Nutzung des GIS ist beim BBSR eine autarke Datenhaltung und Fortschreibung gegeben, da die Netzgrundlagen frei editierbar und ergänzbar sind.

Auf dem deutschen Markt befindliche Straßennetzgrundlagen stehen im Fokus dieses Abschnitts: Die Fragestellung ist, ob das jetzt für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR genutzte Straßennetzmodell durch eine andere Netzgrundlage ersetzt oder modifiziert werden kann, um eine verbesserte Qualität zu erzielen. Dies bedingt eine systematische Aufstellung potenzieller Datenquellen routingfähiger Straßennetzgrundlagen. Eignungskriterien für die Prüfung der Straßennetzgrundlagen sind Verfügbarkeit, Kosten, Detaillierungsgrad, Vollständigkeit, Konsistenz, Korrektheit, Aktualität, Dynamik/Historie, Editierbarkeit, angebotene Attributierung der Kanten, Knoten und Relationen, Eignung für Analysen für den Lkw-Verkehr usw. Die Straßennetzmodelle werden abschließend auch in Bezug auf die Abbildbarkeit von Netzwiderständen untersucht.

Die folgenden Straßennetzgrundlagen unterschiedlicher Datenanbieter sind analysiert worden:

Überörtliche Straßennetze
- o EuroRegionalMap
- o NEMOBFStr
- o RRG GIS Verkehrsnetze

Detaillierte Straßennetze
- o ATKIS Basis DLM
- o OpenStreetMap

Straßennetze zur Navigation
- o HERE
- o TomTom
- o PTV Validate

Diese zum Straßennetzmodell des BBSR möglicherweise alternativen bzw. ergänzenden Straßennetzgrundlagen wurden in Form kurzer, bereits bewertender Steckbriefe analysiert. Dies bildet die Grundlage für die nachfolgende Bewertung der Straßennetzmodelle und für vertiefte Überprüfungen, die in umsetzbaren Handlungsempfehlungen für eine Modifikation oder Ergänzung des Straßennetzmodells des BBSR münden.

Zwischenfazit zu digitalen Straßennetzgrundlagen

Das BBSR hält für seine Erreichbarkeitsanalysen im Straßenverkehr eine umfangreiche und flexibel zu handhabende Straßennetzgrundlage vor. Diese ist räumlich und sachlich für die im Regelfall zu bearbeitenden Aufgaben und Analysen bestens geeignet. Zudem bestehen eingeübte Verfahren, diese digitale Straßennetzgrundlage zu pflegen und weiterzuentwickeln, d. h. weitere Attribute zu ergänzen oder zu modifizieren, weitere Netzelemente beispielsweise im Rahmen von regionalen Vertiefungen aus anderen, für das BBSR vollständig kostenfreien Netzdaten (ATKIS DLM oder OSM) einzubinden. Das bestehende Netz wird in einem aktuellen GIS-System vorgehalten, welches die vollständige Editierbarkeit der Daten zulässt und zudem weitere Funktionalitäten zur Netzanalyse bereitstellt. Ein großer,

nicht zu unterschätzender Vorteil ist die damit gegebene vollständige Kontrolle des BBSR über die vorhandene digitale Straßennetzgrundlage.

Die betrachteten digitalen Straßennetzgrundlagen bieten für die Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR entweder aufgrund der Attributierung, Abdeckung und/oder Detaillierung (EuroRegionalMap, RRG Verkehrsnetze) oder aufgrund der hohen Kosten bei den anderen kommerziellen Anbietern her keine überzeugende Alternative. Für die digitalen Straßennetzgrundlagen gilt, dass auf Basis der Attributinformationen den Kanten und Knoten noch realistische Raumüberwindungswiderstände zuzuweisen wären, um mit dem Verkehrsgraphen verlässliche Pkw-Reisezeiten berechnen zu können. Bei einem Umschwenken auf die Straßennetzgrundlagen von kommerziellen Anbietern würden sich zudem neue Abhängigkeiten ergeben, die ja gerade bei den ÖV-Netzgrundlagen überwunden werden sollen. Ein erheblicher Aufwand würde auch darin bestehen, die bislang vorhandenen Informationen im Straßennetzmodell des BBSR, insbesondere zur historischen Entwicklung und zu möglichen zukünftigen Entwicklungen, in eine neue Straßennetzgrundlage einzubinden.

5.2 Aufbau eines Experiments zur Abbildung realistischer Reisezeiten im Straßenverkehr

Die zweite wesentliche Fragestellung zu den Straßennetzgrundlagen ist, wie durch den Einsatz von ergänzenden Informationen eine Annäherung an realistische Reisezeiten bei der Abbildung des Straßenverkehrs im BBSR-Erreichbarkeitsmodell erreicht werden kann. Hierzu wurden im Sinne einer erweiterten Machbarkeitsstudie exemplarische Datenanalysen und Tests am Beispiel von drei ausgewählten Untersuchungsräumen durchgeführt. Dies ermöglicht, Annahmen und Ergebnisse des BBSR-Modells im Vergleich mit anderen Netzgrundlagen bzw. anderen Annahmen und Formen der Attributierung von Geschwindigkeiten zu sehen. Zudem werden inhaltlich-konzeptionelle Alternativen erprobt, die eine fundierte Beurteilung des Nutzens entsprechender Datensätze und Verfahren erlauben.

Um belastbare Aussagen zur Güte der einzelnen Optionen zu erzielen, wurden drei Testräume definiert. Für diese Testräume wurden die zur Verfügung stehenden Netzmodelle aufbereitet und ggf. zuvor ermittelte Optionen der Datenveredelung geprüft. Für jeden Testraum wurden fünfzehn Quelle-Ziel-Relationen definiert, für die für jede Option die Reisezeiten bzw. -geschwindigkeiten berechnet wurden. Ein Vergleich der Optionen ist damit auf der Ebene einzelner Kantentypen und auf der Ebene längerer Fahrten auf den definierten Quelle-Ziel-Relationen möglich. Darüber hinaus wurden für jeden Testraum zwei exemplarische Ziele definiert, zu denen die Reisezeiten aus dem gesamten Testraum hin analysiert und in Form von Isochronenkarten dargestellt wurden. Mit diesem Test lassen sich dann die Annahmen des BBSR-Erreichbarkeitsmodells mit den Ergebnissen anderer Optionen vergleichen, zudem ist auch ein Vergleich der anderen Optionen untereinander möglich.

Die Anforderungen an die Auswahl der drei Testräume waren, dass sie mit einer Größe von 100 km x 100 km eine ausreichende Ausdehnung haben, sie sich raum- und verkehrsstrukturell unterscheiden, indem durch sie sowohl hoch verdichtete, staugefährdete Räume als auch sehr ländliche Räume abgedeckt werden, sie unterschiedliche Topografien beinhalten und sie über das Bundesgebiet verteilt vorliegen. Auf dieser Basis wurden die folgenden drei Testräume für die Untersuchung definiert:

- Der Testraum Mecklenburg/Prignitz umfasst Schwerin, die Landeshauptstadt Mecklenburg-Vorpommern, und Teile der mecklenburgischen Landkreise Nordwestmecklenburg, Ludwigslust-Parchim, Rostock und Mecklenburgische Seenplatte sowie die brandenburgische Prignitz. Es handelt sich um einen in großen Teilen dünn besiedelten Raum.
- Der Testraum Rhein-Ruhr ist der größte Verdichtungsraum Deutschlands der sich an den namensgebenden Flüssen Rhein und Ruhr erstreckt. Die Bevölkerungsschwerpunkte des polyzentrisch strukturierten Ballungsraums sind das Ruhrgebiet, Köln/Bonn, Wuppertal und Düsseldorf. Teile des Bergischen Lands zählen auch zum Testraum.
- Der Testraum Franken/Oberpfalz umfasst Teile der Metropolregion Nürnberg und der Oberpfalz. Er beinhaltet sowohl stark verdichtete als auch dünn besiedelte Teilräume. Die Fränkische Alb und Vorläufer des Fichtelgebirges und des Oberpfälzer Walds sind ebenso Bestandteil dieses Testraums.

In den nachfolgenden Abschnitten werden zunächst die für diese vergleichende Analyse herangezogenen digitalen Straßennetzgrundlagen beschrieben (Kapitel 5.2.1). Nach Art der Abbildung von Fahrgeschwindigkeiten auf den Netzen werden regelbasierte Verfahren (Kapitel 5.2.2) und auf gemessenen Geschwindigkeiten basierende Verfahren (Kapitel 5.2.3) unterschieden und in den jeweiligen Abschnitten vorgestellt. Abschließend wird ein erster, visueller Vergleich der unterschiedlichen Geschwindigkeitsattributierungen gegeben (Kapitel 5.2.4). Die eigentlichen, mit diesen generierten Datensätzen durchgeführten Analysen hinsichtlich der Reisezeiten werden in den nachfolgenden Unterkapiteln dargestellt.

5.2.1 Einbezogene Straßennetzmodelle

Für den flächendeckenden Vergleich sind vier Straßennetzmodelle herangezogen worden, die im Abschnitt 5.1 genannt wurden:

- BBSR-Straßennetzmodell. Das vom BBSR gepflegte und attributierte europaweite Netzmodell bildet die Grundlage für die BBSR-Erreichbarkeitsmodellierung des Straßenverkehrs.
- DLM 250. Das DLM 250 (Maßstab 1:250.000) ist Bestandteil des Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystems (ATKIS), das im Stand 2017 sämtliche der Landesvermessung bekannten Straßen und Wege in Deutschland enthält.
- OSM. OpenStreetMap (OSM) ist ein frei verfügbares, gemeinschaftliches Produkt unterschiedlicher Mitwirkender. OSM-Daten sind für Routen- und Erreichbarkeitsberechnungen in Europa nutzbar.
- NEMOBFStr/BUW. Das Netzmodell der Bundesfernstraßen (NEMOBFStr) wurde mit dem Stand 2012 in die Analysen einbezogen.

Eine erste Sichtung der Straßennetzmodelle fokussiert insbesondere auf die Netzdichte und den Abstraktionsgrad der jeweiligen Straßennetzmodellierung. Abbildungen 5.1 zeigt beispielhaft am Testräume Rhein-Ruhr die bestehende Dichte der einzelnen Verkehrsnetze. Abbildung 5.2 zeigt repräsentative Beispiele für festzustellende Unterschiede in den vier Netzmodellen.

Autobahnen und relevante nationale und regionale Hauptverkehrsstraßen, die dem überörtlichen Durchgangsverkehr und dem überwiegend durchgehenden innerörtlichen Verkehr dienen, sind in allen untersuchten Netzmodellen enthalten.

Beim BBSR-Netzmodell ist auffällig, dass es in scheinbar unregelmäßiger Weise stärker verdichtet ist. Der Graph enthält neben den überörtlichen Straßen stellenweise sehr detailliert auch Neben- und Wohnstraßen. Es handelt sich hierbei um punktuelle Nachverdichtungen des Netzmodells für regional abgegrenzte, kleinräumige Analysen zur Erreichbarkeit von Daseinsvorsorgeeinrichtungen, die über die Attribute Streckenkategorie und -typ selektierbar sind. Ein derartiger Detailierungsgrad ist für die Berechnung überörtlicher Erreichbarkeiten nicht notwendig. Dadurch können möglicherweise im Einzelfall Auswirkungen auf Routenwahl und Reisezeiten nicht ausgeschlossen werden. Abgesehen davon abstrahiert das BBSR-Netzmodell bei Autobahnen und überörtlichen Hauptverkehrsstraßen dem Modellzweck entsprechend deutlich, Autobahnkreuze bspw. werden durch nur einen Knoten abgebildet (Abbildung 5.2, unten).

Die aufbereiteten Netzmodelle DLM 250 und OSM basieren jeweils auf einer Selektion nach Straßenkategorie. Das aus DLM 250 aufbereitete Netzmodell mit überörtlichen Straßen erscheint ebenso wie das OSM-Netzmodell der Hauptverkehrsstraßen für den Nutzungszweck ausreichend dicht zu sein. Grundsätzlich sind in den Ausgangsdaten für diese beiden Netzmodelle noch zahlreiche untergeordnete Strecken enthalten, die ggf. in die Netzmodelle eingepflegt werden könnten.

Diese beiden aufbereiteten Straßennetzmodelle haben hinsichtlich ihrer Netzdichte und Streckenführung einen hohen Detailierungsgrad. Kreisverkehre und Zu- und Abfahrten werden kantengetreu abgebildet (Abbildung 5.2). Im OSM-Netzmodell werden darüber hinaus Richtungsfahrbahnen unterschieden. Dies führt zu einer für den beabsichtigten Zweck (über)genauen Abbildung von mehrspurigen Straßenknoten und Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen wie z.B. Autobahnen.

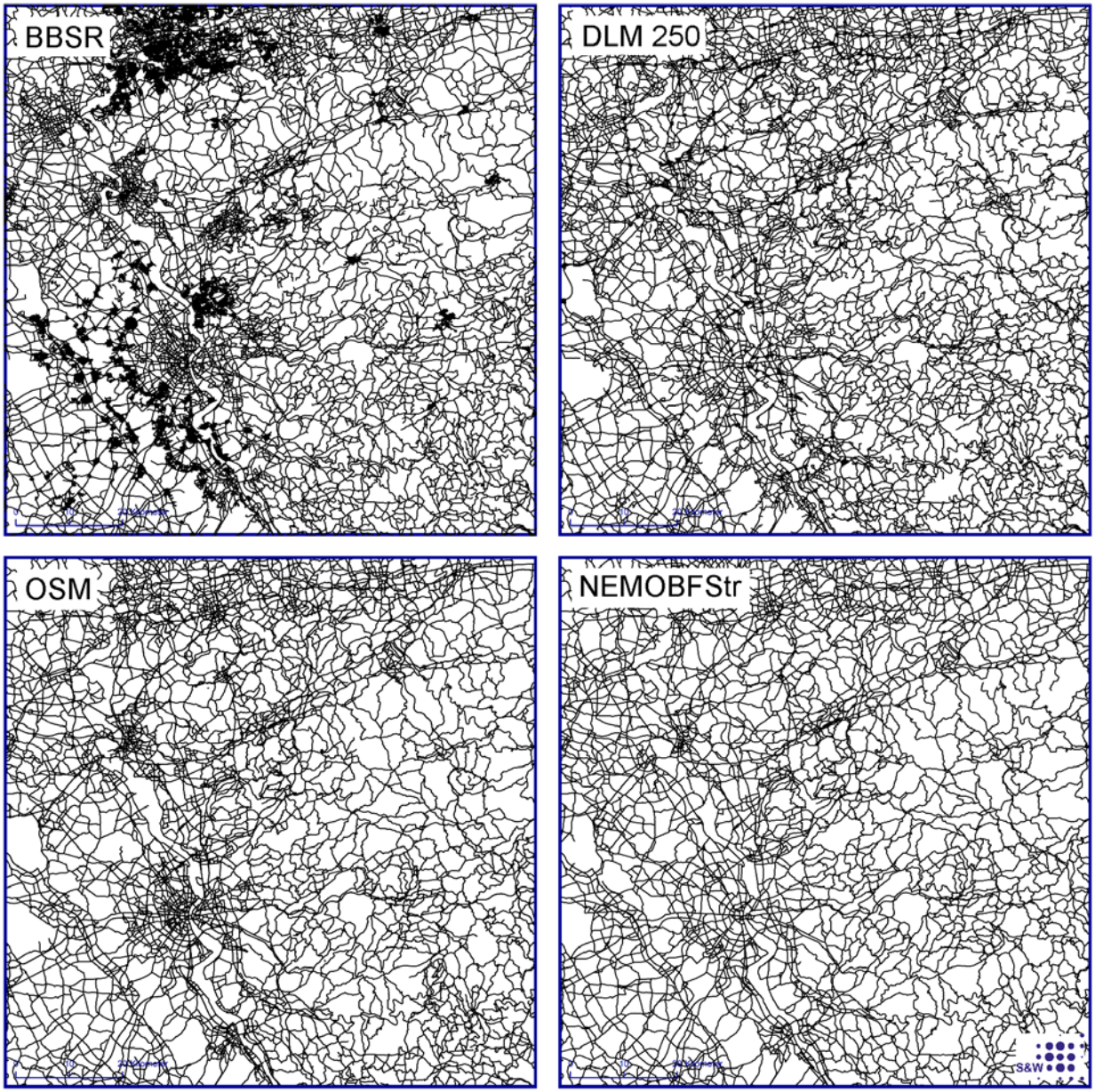


Abbildung 5.1: Netzdichten der Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr

Das Netzmodell der Bundesfernstraßen (NEMOBFStr) dient der Abbildung des weiträumigen Straßennetzes in der Bundesrepublik und Europa und umfasst sämtliche entsprechenden Streckenabschnitte. Es ist offizielle Grundlage für die Bundesverkehrswegeplanung und enthält auch geplante Verkehrswege. Die Netzdichte entspricht in etwa der der anderen Netzmodelle. Der Abstraktionsgrad, insbesondere an komplexeren Kreuzungen und Autobahnabfahrten ist höher als bei den DLM und OSM Netzmodellen und entspricht in etwa dem des BBSR-Netzmodells (Abbildung 5.2).

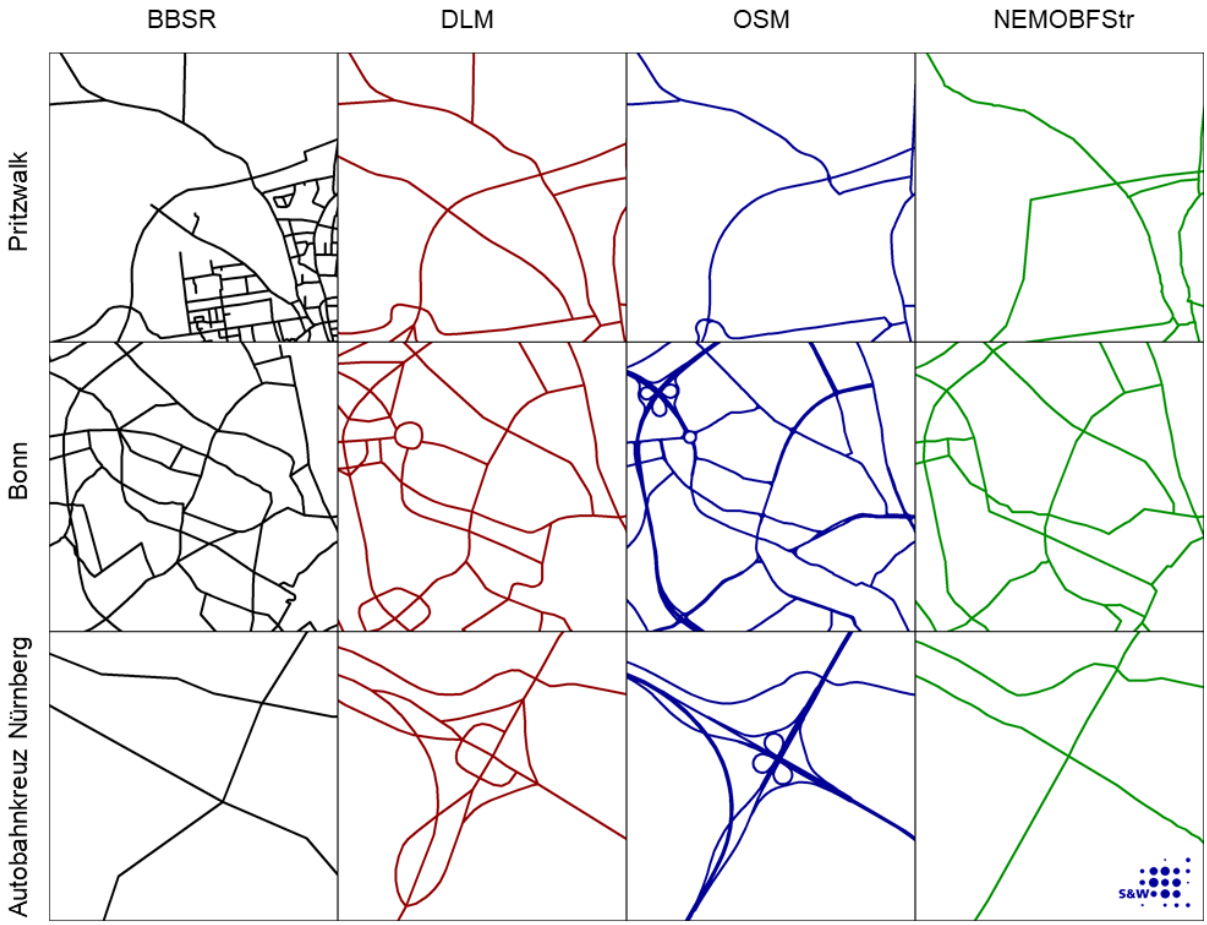


Abbildung 5.2: Abstraktionsgrade der Netzmodelle an beispielhaften Ausschnitten

Die hier näher untersuchten Straßennetzmodelle unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Aktualität. Ein interessantes Beispiel bietet der Baufortschritt der Bundesautobahn A14. Der am 20. Dezember 2017 für den Verkehr frei gegebene 9,8 km lange Abschnitt zwischen der Anschlussstelle Grabow und der Anschlussstelle Groß Warnow ist im OSM-Netzmodell, das für diese Analyse im Februar 2018 heruntergeladen wurde, bereits enthalten – in den übrigen Modellen jedoch noch nicht, d.h. auch nicht im amtlichen DLM mit Stand 2017, das zeitgleich zum OSM-Modell heruntergeladen wurde.

Die betrachteten Straßennetzgrundlagen haben, mit Ausnahme des BBSR-Straßennetzmodells, keine Attribute zur Reisezeit oder zu erzielbaren Reisegeschwindigkeit auf den einzelnen Streckenabschnitten. Geschwindigkeitsattribute wurden, wie in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben, im Verlauf dieser Untersuchung aufgrund der in den Netzen vorhandenen Attribute unter Einbeziehung weiterer Annahmen und Verfahren auf die Netze gelegt.

Abschließend ist festzuhalten, dass die vier betrachteten digitalen Straßennetzmodelle in Bezug auf ihre Netzdichte mehr oder weniger vergleichbar sind. Die Analyse der Auswirkungen auf die Reisezeiten durch die vorgenommenen Geschwindigkeitsattributierung deckt so im Wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Attributierungsverfahren auf, nicht aber gravierende Unterschiede zwischen den verschiedenen Netzgeometrien.

5.2.2 Regelbasierte Abbildung von Fahrgeschwindigkeiten

Die klassische, über Jahrzehnte fortentwickelte Form der Geschwindigkeitsattributierung von Straßennetzen für die Erreichbarkeitsmodellierung ist die Anwendung von einfachen Zuordnungsregeln. Im einfachsten Fall wird pro Straßenkategorie eine einheitliche Geschwindigkeit auf allen Strecken einer bestimmten Kategorie angenommen. Mit der

zunehmenden Datenverfügbarkeit (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsmengen, Siedlungsstruktur etc.) wurden diese Regeln so erweitert, dass regionale und lokale Besonderheiten Berücksichtigung finden.

Für den Vergleichstest unterschiedlicher Straßennetzgrundlagen für die Erreichbarkeitsmodelle wurden vier solcher Netzmodelle aufbereitet. Die wesentlichen Merkmale dieser Netzmodelle hinsichtlich der Geschwindigkeitsattributierung werden nachfolgend kurz erläutert. Tabelle 5.1 stellt die Geschwindigkeitsannahmen und -setzungen der zuvor dargestellten Netzgrundlagen im Überblick dar

BBSR-Netzmodell

Im BBSR-Netzmodell stellen die Netzwiderstände die angenommenen Pkw-Geschwindigkeiten für den weitgehend „frei fahrenden“ motorisierten Individualverkehr dar. Unterschieden werden fünf Streckenkategorien, die von Autobahnen bis Stadtstraßen reichen. Diesen werden jeweils durchschnittliche Geschwindigkeitswerte zugeordnet, die in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur jeweils noch nach schnellen, mittleren und langsameren Strecken unterschieden werden. Das BBSR-Straßennetzmodell stellt so die zu prüfende Referenz dar.

DLM 250/S&W

Für die räumlichen Ebenen der regionalen und bundesweiten Erreichbarkeitsmodellierung wird das überwiegend überörtliche Straßennetz des DLM 250 (ver01_I) als ausreichend detailliert betrachtet. Aus den Straßenobjekten wurde von S&W für diese Untersuchung ein routingfähiger Verkehrsgraph erzeugt, der ebenfalls fünf verschiedene Straßenkategorien beinhaltet. Durch Verschneidung mit der Siedlungsstruktur des DLM 250 werden diese Straßenkategorien nach inner- und außerorts unterschieden und mit jeweils durchschnittlichen PKW-Fahrgeschwindigkeiten attributiert. Liegen bei einzelnen Streckenabschnitten weitere Informationen zur Anzahl Fahrspuren oder Fahrbahnbreite vor, sind die Fahrgeschwindigkeiten jeweils noch weiter differenziert worden.

Derartig attributierte Straßennetze auf der Basis des DLM sind beispielsweise in den Erreichbarkeitsanalysen des Aktionsprogramms Regionale Daseinsvorsorge benutzt worden (Schwarze und Spiekermann, 2014). Das so attributierte DLM-Netz folgt der Philosophie der BBSR-Netzattributierung mit relativ pauschalen Geschwindigkeitsannahmen aufgrund von Streckentyp und Siedlungsstrukturinformationen.

OSM/S&W

OSM-Daten sind für Routen- und Erreichbarkeitsberechnungen in Europa nutzbar. Das Straßen- und Wegenetz ist flächendeckend erfasst. Für die hier relevante Raumebene wurde aus dem vollständigen OSM-Straßennetzdatensatz mittels Selektion und Datenaufbereitung durch S&W ein routingfähiger Verkehrsgraph des überörtlichen Straßennetzes erzeugt. Neben der Streckenklassifizierung nach sieben Straßenkategorien wurden insbesondere die OSM-Informationen zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie externe Informationen über die Bevölkerungsdichte der Gemeinden und des näheren Umfelds eines Streckenabschnitts genutzt.

Die Grundannahme ist, dass die realisierbare mittlere Pkw-Geschwindigkeit eine Funktion von erlaubter Höchstgeschwindigkeit und Bevölkerungsdichte ist. Höhere Bevölkerungsdichten führen zu höheren Abschlägen von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die Einwohnerdichte an einem Straßenabschnitt wird mittels eines Abstandspuffers aus den Zensus 2011-Rasterdaten ermittelt. Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten werden den OSM-Daten entnommen. OSM-Strecken, auf denen in den Ausgangsdaten keine Höchstgeschwindigkeiten attributiert sind, wurden vorab auf der Grundlage ihrer Streckenklassifizierung typische Höchstgeschwindigkeiten zugewiesen.

Tabelle 5.1: Annahmen zu Pkw-Geschwindigkeiten in regelbasierten Netzmodellen

Netz-modell	Angenommene Pkw-Geschwindigkeit in km/h			
BBSR	*Straßentyp*	*Geschwindigkeitsprofil*		*Pkw-Geschwindigkeit*[1]
	Autobahn	schnell		110-120
		mittel		100-110
		langsam		90
	Bundesstraße, vierspurig, kreuzungsfrei	nicht differenziert		90
	Bundesstraße	schnell		75
		mittel		65
		langsam		55
	Landstraße	schnell		65
		mittel		55
		langsam		45
	Stadtstraße[2]	schnell		40
		mittel		30
		langsam		20
DLM 250 (S&W)	*Straßentyp*	*Außerorts*	*Innerorts*[3]	*Sonstiges*
	Autobahn	100	70	70 außerorts, einspurig 70 außerorts, schmale Fahrbahn
	Bundesstraße	75	40	85 außerorts, breite Fahrbahn 60 außerorts, schmale Fahrbahn
	Landesstraße	70	40	75 außerorts, breite Fahrbahn 60 außerorts, schmale Fahrbahn
	Kreisstraße	60	35	70 außerorts, breite Fahrbahn 50 außerorts, schmale Fahrbahn
	Gemeindestraße	35	30	
OSM (S&W)	*Geschwindigkeitsbegrenzung (km/h), Beispiele*	*minimale Geschwindigkeit*	*maximale Geschwindigkeit*	jeweils in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte (Gemeinden bei Autobahnen, Umfeld bei sonstigen Straßen)
	130	65	110	
	100	50	85	
	70	35	60	
	50	25	43	
NEMOBFStr/BUW	*Straßentyp*	*Geschwindigkeit*		
	Autobahn	nach Geschwindigkeits-Verkehrsstärken-Diagrammen der HBS (falls Strecke ausreichend detailliert codiert) ansonsten 120		
	Landstraßen	nach Geschwindigkeits-Verkehrsstärken-Diagrammen der HBS (falls Strecke ausreichend detailliert codiert) ansonsten 51 bis 71 (je nach Kurvigkeitsklasse) für zweistreifige Abschnitte, 84 bis 109 für mehr als zweistreifige Abschnitte		
	Innerortsstraßen	30		

1 Ortsabhängig sind vereinzelt auch niedrigere Geschwindigkeiten attributiert.
2 Innerhalb von Städten können andere Straßentypen wie Bundesstraßen als Stadtstraßen deklariert sein.
3 Innerorts wird durch räumliche Verschneidung der Ortslagen der DLM 250-Ebene sie01_f ermittelt.

Es wird in der Attributierung nach Autobahnen und autobahnähnlichen Strecken und sonstigen Strecken differenziert. Für Autobahnen und autobahnähnliche Strecken gilt

$$v = v_{max} \times cfa \times 1 - \frac{\rho_{Gemeinde}}{5.000}$$

und für die sonstigen Strecken gilt:

$$v = v_{max} \times cfa \times 1 - \frac{\rho_{Strecke}}{10.000}$$

mit v als angenommene Pkw-Geschwindigkeit, v_{max} als zulässige Höchstgeschwindigkeit, cfa als konstanter allgemeiner Reduktionsfaktor von $0{,}85$, $\rho_{Gemeinde}$ als Einwohnerdichte (Ew./km²) der zur Strecke zugehörigen Gemeinde und $\rho_{Strecke}$ als Einwohnerdichte (Ew./km²) der unmittelbaren Umgebung der Strecke innerhalb eines Abstands von 1.000 Metern. Um den Abschlag einzuschränken, ist die maximale Einwohnerdichte der Gemeinde auf 2.000 Einwohner/km² und die maximale Einwohnerdichte der Streckenumgebung auf 4.000 Einwohner/km² begrenzt. Die angenommenen Pkw-Geschwindigkeiten betragen maximal 85 Prozent der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und liegen damit stets unterhalb von ihr.

Es ist zu beachten, dass die Funktionen nicht kalibriert worden sind, sondern experimentell ermittelt und gesetzt worden sind. Das Ziel dieser Form der Netzattributierung war es, die Staugefährdung in stärker verdichteten Gemeinden und Siedlungsbereichen abzubilden, d. h. ein stärker belastetes Straßennetz zu simulieren.

NEMOBFStr/BUW

Die Kanten des Netzmodells der Bundesfernstraßen (NEMOBFStr, Stand 2012) enthalten keine Angaben zu Fahrtgeschwindigkeiten, aber zu den Verkehrsstärken. Dem NEMOBFStr wurden daher durch die BUW auf der Basis von Attributskombinationen mittels Geschwindigkeits-Verkehrsstärken-Diagrammen (q-v-Beziehungen) aus dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (FGSV, 2015) Pkw-Fahrgeschwindigkeiten zugewiesen. Grundlage für diese Geschwindigkeitsparametrisierung bildet eine Attributskombinationen aus Verkehrsbelastung, Straßenkategorie, Ausbauzustand, Kurvigkeit, Steigung, siedlungsstrukturelle Lage usw. (s. ausführlicher BMVI, 2016, S. 38ff.). Waren im NEMOBFStr für einzelne Streckenabschnitte nicht alle erforderlichen Attribute vorhanden, wurden mittlere Fahrgeschwindigkeiten angenommen.

Dieses Netzmodell ist ein Beispiel für die Verwendung von Verkehrsmengeninformationen zur Ermittlung von Geschwindigkeiten für einzelne Streckenabschnitte. Das Netzmodell konnte in dieser Untersuchung nur für den visuellen Vergleich der kodierten Geschwindigkeiten der einzelnen Netzmodelle benutzt werden (s. Abschnitt 5.2.4), nicht aber für die weiteren Analysen[1].

5.2.3 Gemessene Fahrgeschwindigkeiten

Mit der Verfügbarkeit neuer Datenquellen ("Big Data"), insbesondere durch die von Navigationssystemen und Smartphones generierten Bewegungsdaten, ergeben sich auch potenziell neue Möglichkeiten, Verkehrsnetze sehr differenziert mit Geschwindigkeiten zu parametrisieren.

In dieser Untersuchung wurden exemplarisch drei solcher „neuer“ Datenquellen herangezogen, die nachfolgend kurz vorgestellt werden.

[1] Bei den weiteren Analysen steht die regelbasierte Zuweisung von Kantenwiderständen als Annahme im Fokus, dies wurde exemplarisch mit den beiden Straßennetzmodellen OSM und DLM 250 durchgeführt.

HERE und Google Maps

Im Rahmen der Untersuchung war ein beschränkter Zugriff auf Daten der Navigationsdienstleister HERE und Google Maps möglich. Dem HERE- und Google Maps-Netzmodellen liegen proprietäre Navigationsdaten ihrer jeweiligen Navigations- und Mobildienste zugrunde. Wie diese Bewegungsdaten konkret aufbereitet werden, ist Geschäftsgeheimnis. Für den hier durchgeführten Reisezeitenvergleich wurden lediglich die von diesen Online-Routensuchdiensten ausgegebenen Ergebnisse ausgewertet.

Die Reisezeiten beim HERE-Routensuchdienst variieren abhängig vom Tages- und Wochenverlauf, wenn insgesamt auch nur äußerst gering. Die Standardreisezeit von Google Maps wird unabhängig vom Tages- und Wochenverlauf als Konstante herausgegeben. Ergänzend zur Routensuche mit einem Standardwert als Ergebnis bietet Google Maps auch die Einbettung eines internen Verkehrsvorhersagemodells in den drei Varianten „optimistic“, „best guess“ und „pessimistic“ an. Es handelt sich bei der Abfrage allerdings um eine „Black Box“, weiterführende methodische Erläuterungen zur Methode der Simulation und über die Annahmen der Varianten liegen nicht vor.

Abbildung 5.3 zeigt für eine beispielhafte Relation die von Google Maps herausgegebene Standardreisezeit und die Reisezeiten der Varianten im Tagesverlauf. Im Ergebnis liegt die Standardreisezeit relativ nah an der Best-Guess-Variante. Dabei werden die Werte des Verkehrsmodells weitgehend unterschritten. Die Reisezeiten der optimistischen und pessimistischen Varianten liegen demgegenüber deutlich unterhalb bzw. oberhalb der Standardreisezeit.

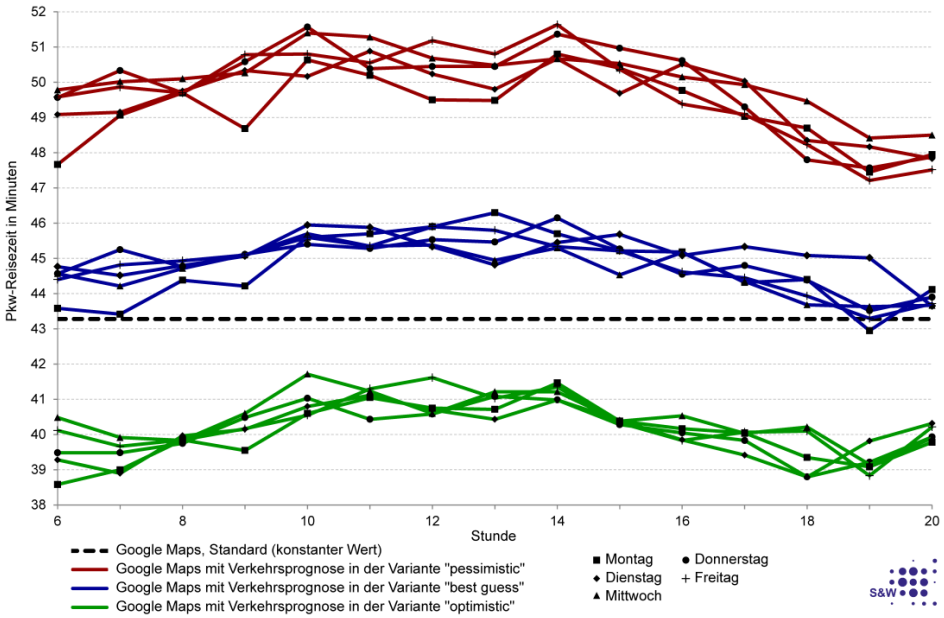


Abbildung 5.3: Von Google Maps prognostizierte Pkw-Reisezeiten zwischen Parchim und Pritzwalk im Tagesverlauf für Wochentage vom 19. bis 23.11.2018 (Datenbasis: www.google.de/maps/)

OSM/FCD

Im von der BUW aufbereiteten OSM/FCD-Netzmodell beruhen die Geschwindigkeitsannahmen auf Floating Car Data (FCD) des ADAC aus dem Jahr 2015, die im Rohformat vorliegen und für diese Untersuchung aufbereitet wurden (nähere Informationen zur angewandten Aufbereitungsmethode finden sich bei Leerkamp und Holthaus (2018)). Die hier benutzte OSM-Netzgeometrie ist dieselbe, wie sie für die regelbasierte Geschwindigkeitsattributierung OSM/S&W benutzt wurde (s. Kapitel 5.2.2).

FCD sind Momentaufnahmen von Navigations- und Trackinggeräten und besitzen neben der Information über die Position u. a. Informationen über die Fahrgeschwindigkeit sowie über die Fahrrichtung. Über die Position und die Fahrrichtung können die Geschwindigkeitsinformationen auf ein Netzmodell übertragen werden. Abbildung 5.4 zeigt

Abbildung 5.4: FCD-Messwerte im Nahbereich der AS Erlangen–Tennenlohe (BAB 3)

beispielhaft FCD im Nahbereich der BAB 3 AS Erlangen–Tennenlohe. Obwohl kein Netz im Hintergrund liegt, kann die Lage und die Klasse der Straße anhand der FCD und der enthaltenen Geschwindigkeiten abgeleitet werden.

Zur Abbildung der Geschwindigkeit im belasteten aber nicht überlasteten Netz hat sich der Median der gemessenen Geschwindigkeitswerte im Zeitraum von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr an Arbeitstagen bereits in mehreren Anwendungen bewährt und wurde deswegen als initiale Parametrisierung für die Testräume im Netz hinterlegt.

Im Rahmen von Erreichbarkeitsanalysen ist, neben einem durchschnittlich belasteten Netz, die Abbildung eines Netzzustands in der Spitzenstunde bzw. in den Nebenstunden (leeres Netz) von besonderer Bedeutung. Deswegen wurde für denselben Zeitraum das 15 %-Perzentil (v15) und 85 %-Perzentil (v85) zur alleinigen Parametrisierung genutzt und geprüft, ob diese Geschwindigkeiten die o.g. Netzzustände repräsentieren. Durch die Nutzung von v15 über alle Arbeitstage (Mo-Fr) im Jahr können temporär überlastete Streckenabschnitte identifiziert werden und somit auf mögliche Netzdefizite hinweisen, während v85 ein störungsfreies Netz im freien Verkehrsfluss darstellt. Ist der Abstand zwischen v15 und v85 groß und v15 im Vergleich zur zulässigen Geschwindigkeit gering, ist dies ein Hinweis auf eine temporäre Netzüberlastung. Bei einem geringen Abstand von v15 und v85 und einer im Vergleich zur zulässigen Geschwindigkeit geringen v85, handelt es sich ggf. um eine dauerhafte Überlastung des Streckenabschnitts.

Zur Abbildung der stundenbezogenen Geschwindigkeiten (Median) für den relationsbezogenen Vergleich dieser Untersuchung werden jeweils die FCD-Messwerte 30 Minuten vor und nach der vollen Stunde (zwischen 06:00 Uhr und 20:00 Uhr) berücksichtigt.

Abbildung 5.5 zeigt exemplarisch die Geschwindigkeitsverteilung aller FCD je Streckenkante der BAB 1 zwischen der AS Münster-Flughafen und dem AK Dortmund/Unna an einem Arbeitstag (Mo-Fr) zwischen 06:30 Uhr und 07:30 Uhr. Deutlich wird die sehr große Variation der Geschwindigkeiten zwischen den einzelnen Fahrzeugen auf den einzelnen Netzelementen. So ist erkennbar, dass das 5 %-Perzentil der Geschwindigkeit (v5) je Netzelement häufiger unterhalb von 60 km/h liegt und die Differenz zwischen v5 und v95 auf einigen Netzelementen groß ist. Diese Variation der Geschwindigkeiten deutet auf einen, hinsichtlich der fahrbaren Geschwindigkeit, unzuverlässigen Streckenabschnitt hin und ist an Verflechtungsstellen von AS bzw. Autobahn-Kreuzen zu finden. Streckenkanten, auf denen die Geschwindigkeit nur gering streut, sind

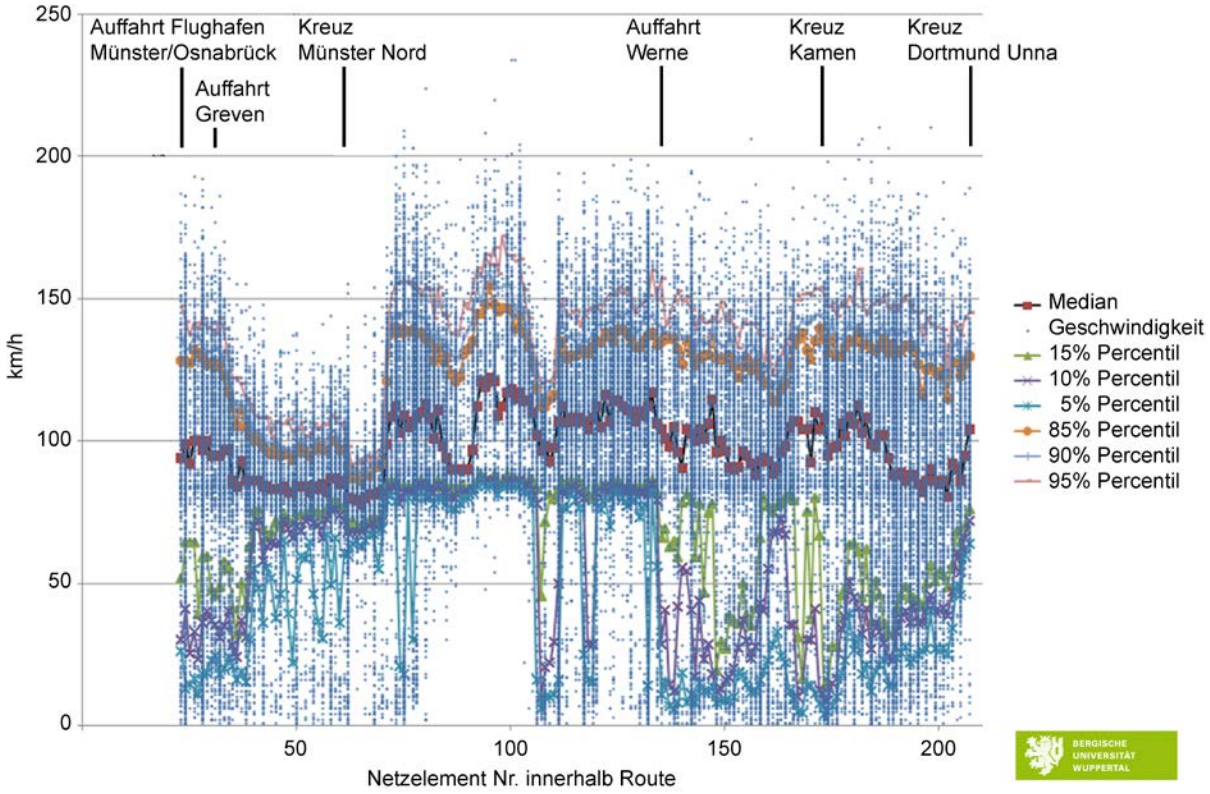


Abbildung 5.5: Geschwindigkeitsverteilung je Streckenkante, Route AS Münster-Flughafen bis AK Dortmund/Unna über BAB 1

- Streckenabschnitte mit Geschwindigkeitsbegrenzungen (Abstand zwischen Median und v5 größer als zwischen Median und v95) oder
- Streckenabschnitte mit einer hohen Zuverlässigkeit hinsichtlich der fahrbaren Geschwindigkeit (Abstand zwischen Median und v5 kleiner als zwischen Median und v95).

Strecken ohne ausreichende oder mit nicht plausiblen FCD-Daten wurden aus dem FCD-Datensatz abgeleitete streckentypische Geschwindigkeiten zugewiesen.

5.2.4 Vergleich attributierter Geschwindigkeiten

Die drei Testräume dieser Untersuchung in Mecklenburg-Vorpommern/Brandenburg, Nordrhein-Westfalen/Rheinland-Pfalz und Bayern unterscheiden sich insbesondere in den Siedlungsstrukturen und der Topografie und damit in den Verkehrsnetzen. In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Netzwiderstände der Straßennetzmodelle für diese drei Testräume flächendeckend visuell überprüft. Analysiert wurden das BBSR-Netzmodell, das DLM 250-Netzmodell (aufbereitet durch S&W), das OSM/S&W-Netzmodell (S&W), das OSM/FCD-Netzmodell (BUW) und das NEMOBF-Str-Netzmodell (BUW) (vgl. ausführlich Schwarze und Spiekermann, 2018).

Für die unterschiedlichen Netzmodelle wurden die für die drei Testräume generierten Geschwindigkeitssetzungen in vergleichenden Abbildungen dargestellt (s. Schwarze und Spiekermann, 2018). Die Abbildungen zeigen die Geschwindigkeitsannahmen als Gegenüberstellungen für die Straßenkategorien Autobahn/autobahnähnliche Straße, Bundesstraße/Primary Road (OSM) und übrige Straßentypen. An dieser Stelle können die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Netzmodellen für die drei Straßenkategorien nur für einen Testraum, Rhein-Ruhr und nur für die Kategorie Autobahn/autobahnähnliche Straße exemplarisch gezeigt werden (Abbildung 5.6).

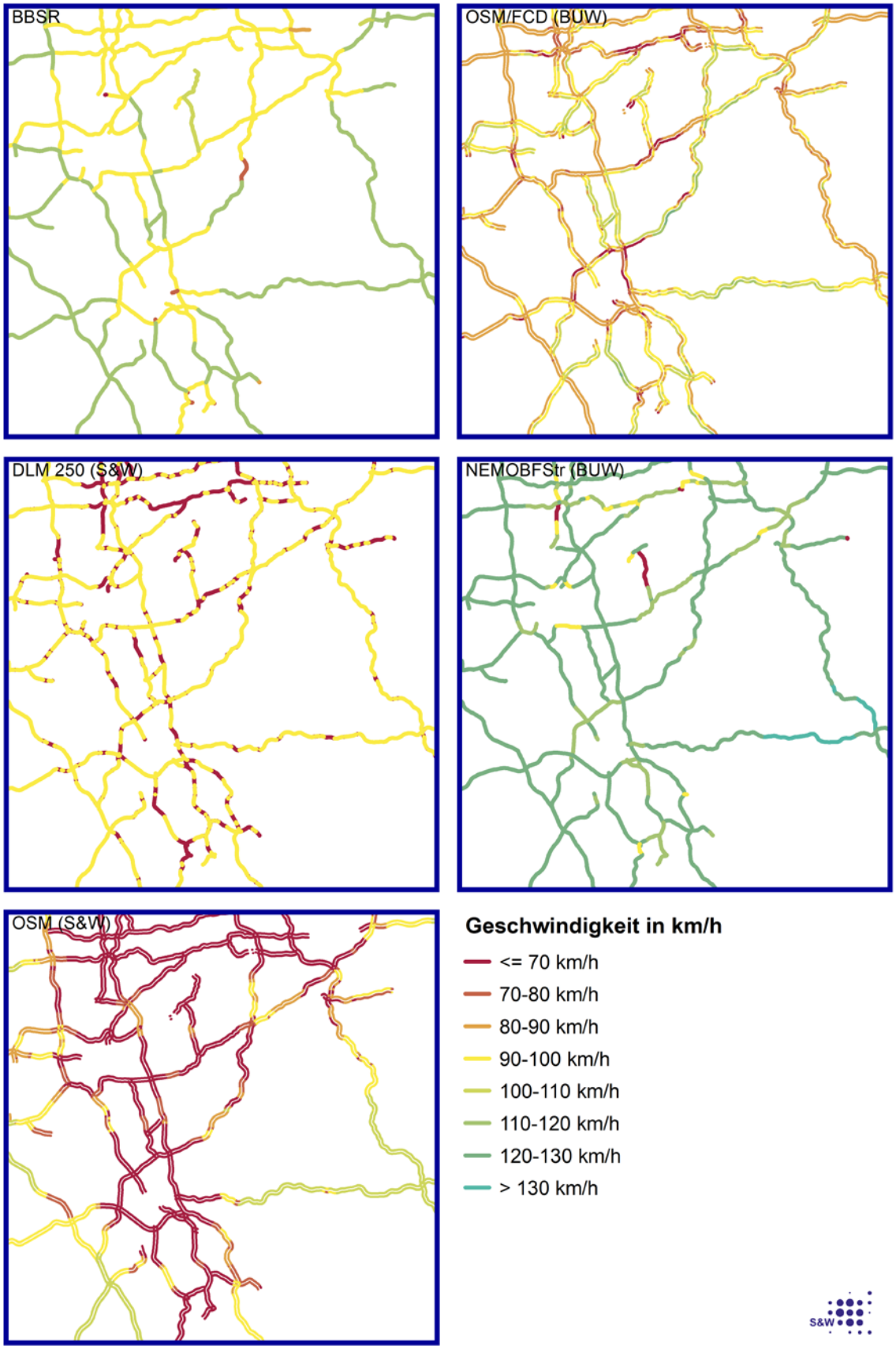


Abbildung 5.6: Geschwindigkeitsannahmen der verschiedenen Netzmodelle für die Straßenkategorie „Autobahn/autobahnähnliche Straße“ im Testraum Rhein-Ruhr

Der visuelle Vergleich zeigt deutliche Unterschiede in den Geschwindigkeitsannahmen zwischen den gemessenen streckenabschnittsbezogenen FCD-Daten und den übrigen Verkehrsnetzmodellen, deren regelbasierte Annahmen überwiegend auf Straßentypen basieren. Trotz der Verwendung von Medianwerten treten Geschwindigkeitsunterschiede im OSM/FCD-Netzmodell auf einzelnen Streckenabschnitten, insbesondere im Autobahnnetz, deutlich differenzierter hervor. Stellenweise ähnlich verhält es sich im OSM/S&W-Netzmodell, dessen Netzwiderstände aus den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und Bevölkerungsdichten unter Annahme höher belasteter Netze abgeleitet werden. In den übrigen Netzmodellen sind die getroffenen Annahmen demgegenüber „regelmäßiger". Teilweise zu kleinteilig erscheint im DLM 250-Netzmodell allerdings die punktuelle Geschwindigkeitsdifferenzierung nach Ortslagen im Autobahnnetz. Die Geschwindigkeitsannahmen im BBSR-Netzmodell wirken homogener und verzichten auf eine sehr kleinteilige Differenzierung der Geschwindigkeiten innerhalb gleicher Siedlungsstrukturtypen.

In allen Netzmodellen werden die Netzhierarchien und die damit zusammenhängenden Geschwindigkeitsunterschiede nachvollziehbar abgebildet. Die zwischen innerörtlichen und außerörtlichen Strecken bestehenden Unterschiede werden ebenfalls nachvollziehbar modelliert. Hinsichtlich des Niveaus der angenommenen Geschwindigkeitswerte bestehen zwischen den verschiedenen Netzmodellen allerdings Unterschiede. Im NEMOBFStr werden insbesondere im Bereich der außerörtlichen Straßen deutlich höhere Geschwindigkeiten als in den übrigen Netzmodellen angenommen. Höher als im DLM 250-Netzmodell, OSM/S&W-Netzmodell und OSM/ FCD-Netzmodell sind beim BBSR-Netzmodell die Geschwindigkeitswerte im Autobahnnetz. Das OSM/S&W-Netzmodell bildet gerade für dicht besiedelte Räume einen Zeitpunkt mit sehr hohem Verkehrsaufkommen ab, so dass sich die Geschwindigkeitsannahmen deutlich zwischen städtischen und ländlichen Regionen unterscheiden. Hinsichtlich der anderen Straßenkategorien liegen die Geschwindigkeitsannahmen im BBSR-Netzmodell stellenweise unterhalb der Werte des OSM/FCD-Netzmodells. Hinsichtlich der Abweichungen zwischen den einzelnen Netzmodellen ist kein systematisches Bild zu erkennen.

Da für das OSM/S&W-Netzmodell und das OSM/FCD-Netzmodell (BUW) dieselbe OSM-Netzdatengrundlage zur Parametrisierung benutzt worden ist, ist ein direkter Vergleich auf Basis der einzelnen Streckensegmente möglich. Abbildung 5.7 zeigt einen solchen für zwei ausgewählte Straßenkategorien, Bundes- und Landesstraßen. Mit dem OSM/S&W-Netzmodell war das Ziel verfolgt worden, ein eher belastetes, aber nicht überlastetes Netz aus der Kombination von zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Umgebungsdichte der Wohnbevölkerung abzubilden; für das OSM/FCD Netzmodell wurden die Medianwerte auf den einzelnen Streckenabschnitten für diesen Vergleich gewählt. Für beide Netzmodelle wurden die parametrisierten Geschwindigkeiten auf Klassen von 1 km/h aggregiert, so dass sich eine Matrix der Geschwindigkeitsbeziehungen zwischen beiden Netzmodellen generieren ließ. Für die Darstellung sind die Netze aller drei Testräume benutzt worden. Die kleinen farbigen Quadrate der Abbildung zeigen die Häufigkeit der Besetzung der einzelnen Zellen an; dies reicht von den nur wenig besetzten hellblauen Zellen bis zu den häufig besetzten pinken Zellen.

Für beide Straßenkategorien ergibt sich ein ähnliches Muster des Vergleichs der Geschwindigkeiten. Für die niedrigeren Geschwindigkeitsklassen liegen die Annahmen des OSM/S&W-Netzmodells überwiegend unterhalb derjenigen der jeweiligen FCD-Mediane. Hier wirkt offenbar die Information zur Umgebungsdichte in der beabsichtigten Richtung eines stärker belasteten Netzes. In den höheren Geschwindigkeitsklassen, die vornehmlich außerhalb geschlossener Ortschaften auftreten, sind jedoch die FCD-Mediane der Geschwindigkeit überwiegend unterhalb der Annahmen des OSM/S&W-Netzmodells. Bei letzterem gibt es auf diesen schnelleren Abschnitten im Straßennetz keine oder nur kaum Dämpfung durch die Dichte und tendenziell eine vergleichsweise höhere Geschwindigkeit.

Die Korrelation zwischen den beiden Netzmodellen in Bezug auf die Geschwindigkeitsannahmen ist relativ hoch. Dies gilt auch für andere Straßenkategorien, mit Ausnahme der Autobahnen, und gilt auch bei Betrachtung nur einzelner Testräume. Diese relativ hohe Übereinstimmung ergibt sich, ohne dass eine Eichung des OSM/S&W-Netzmodells anhand der FCD-Daten erfolgt ist. Im Prinzip würde sich so für alle Straßenkategorien unterhalb der Autobahnen und autobahnähnlicher Straßen die Möglichkeit ergeben, aus zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und Umgebungsdichten abzuleitende Geschwindigkeitsannahmen mit FCD-Daten in ausgewählten Testräumen zu kalibrieren und die resultierenden Funktionen bundesweit anzuwenden.

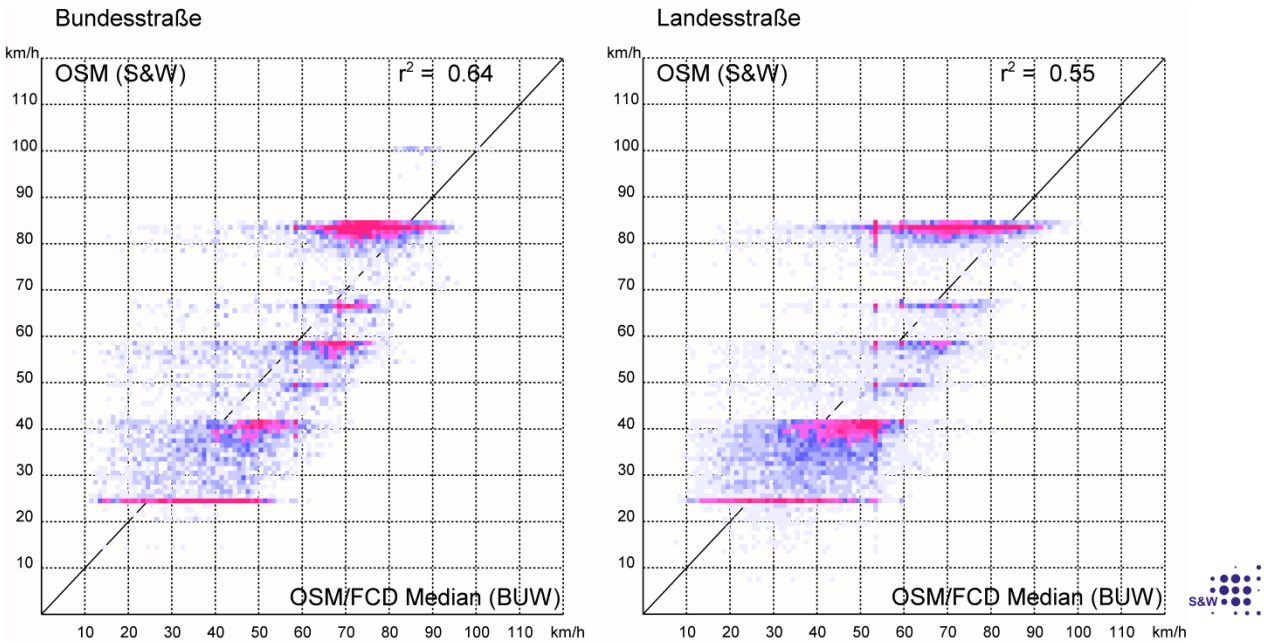


Abbildung 5.7: Vergleich der Geschwindigkeitsannahmen OSM/FCD (BUW) und OSM (S&W)

5.3 Relationsbezogener Reisezeitvergleich verschiedener Netzattributierungen

Mit dem Reisezeitenvergleich werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Geschwindigkeitsannahmen und Netzmodelle auf die jeweiligen Erreichbarkeitsergebnisse untersucht. Hierzu wurden für jeden der drei Testräume jeweils 15 Relationen definiert, für die die ermittelten Reisezeiten exemplarisch analysiert wurden (vgl. ausführlich Schwarze und Spiekermann, 2018). Die definierten Relationen beinhalten eine große Bandbreite möglicher Verkehrsverflechtungen (Kurz- bis Langstrecken, zentralörtliche bis tangentiale Verkehre, diverse Straßenkategorien, urbane bis rurale Raumtypen usw.).

Für den relationsbezogenen Reisezeitenvergleich standen folgende Netzmodelle zur Verfügung:

- BBSR-Netzmodell,
- DLM 250-Netzmodell,
- OSM/S&W-Netzmodell.
- HERE Online-Navigationsdienst (Standard),
- Google Maps Online-Navigationsdienst (Standard, pessimistische und optimistische Variante),
- OSM/FCD-Modell (Medianansatz, 0,15-Perzentil und 0,85-Perzentil),

Die regelbasierten Netzmodelle arbeiten üblicherweise nur mit einer Geschwindigkeit pro Streckenabschnitt, die einen bestimmten Zustand der Verkehrssituation abbilden soll. Die Netzmodelle mit empirisch ermittelten Streckengeschwindigkeiten liefern nach Untersuchungstag und Zeitpunkt differenzierende Reisezeiten. Für diese Netzmodelle wurden für den Reisezeitenvergleich die Pkw-Reisezeiten an den Werktagen in einer Woche von 6 bis 20 Uhr mit Abfahrtszeit zur jeweils vollen Stunde auf allen 45 Relationen untersucht. Es können somit Rückschlüsse zu den Reisezeitschwankungen im Wochen- und Tagesverlauf gezogen werden.

Die Abbildungen 5.8 bis 5.13 zeigen exemplarisch für zwei Relationen je Testraum die Vergleiche der mit den verschiedenen Netzmodellen berechneten Reisezeiten und die Schwankungen im Tages- und Wochenverlauf (entsprechende Grafiken für alle anderen Relationen enthält Schwarze und Spiekermann, 2018).

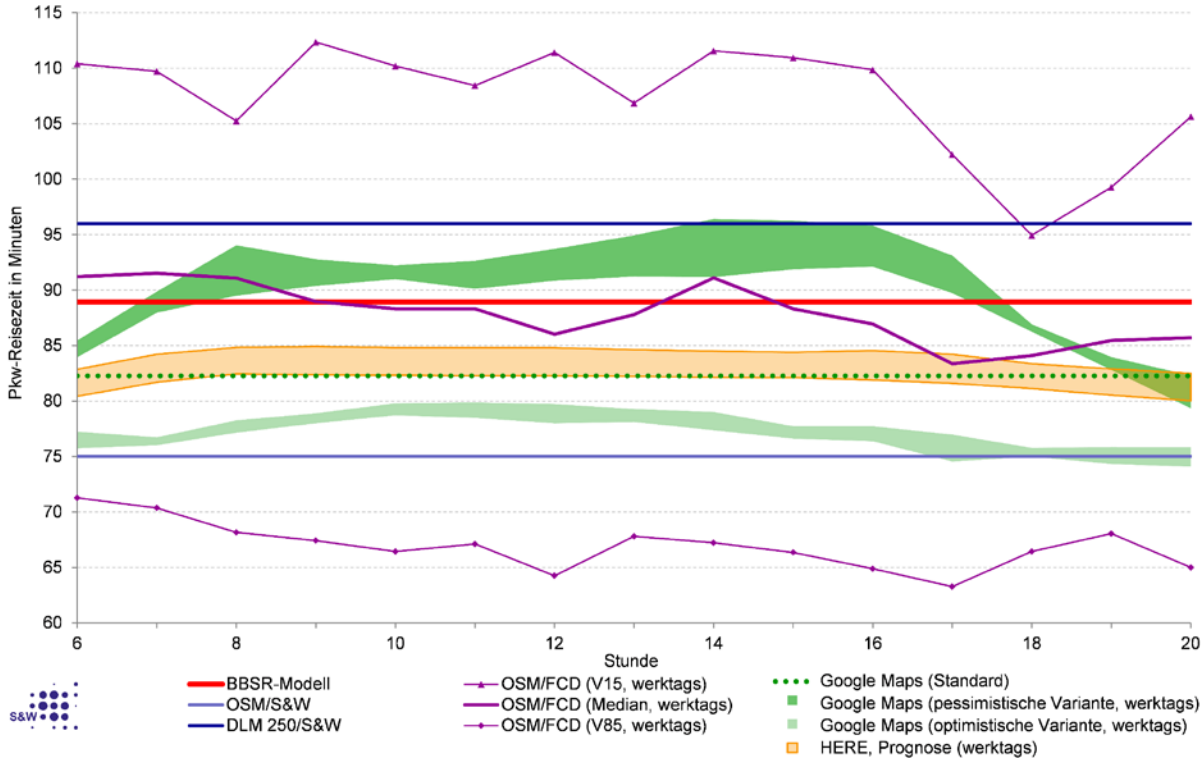


Abbildung 5.8: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Mecklenburg/Prignitz zwischen Schwerin und Hohen Wengelin im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

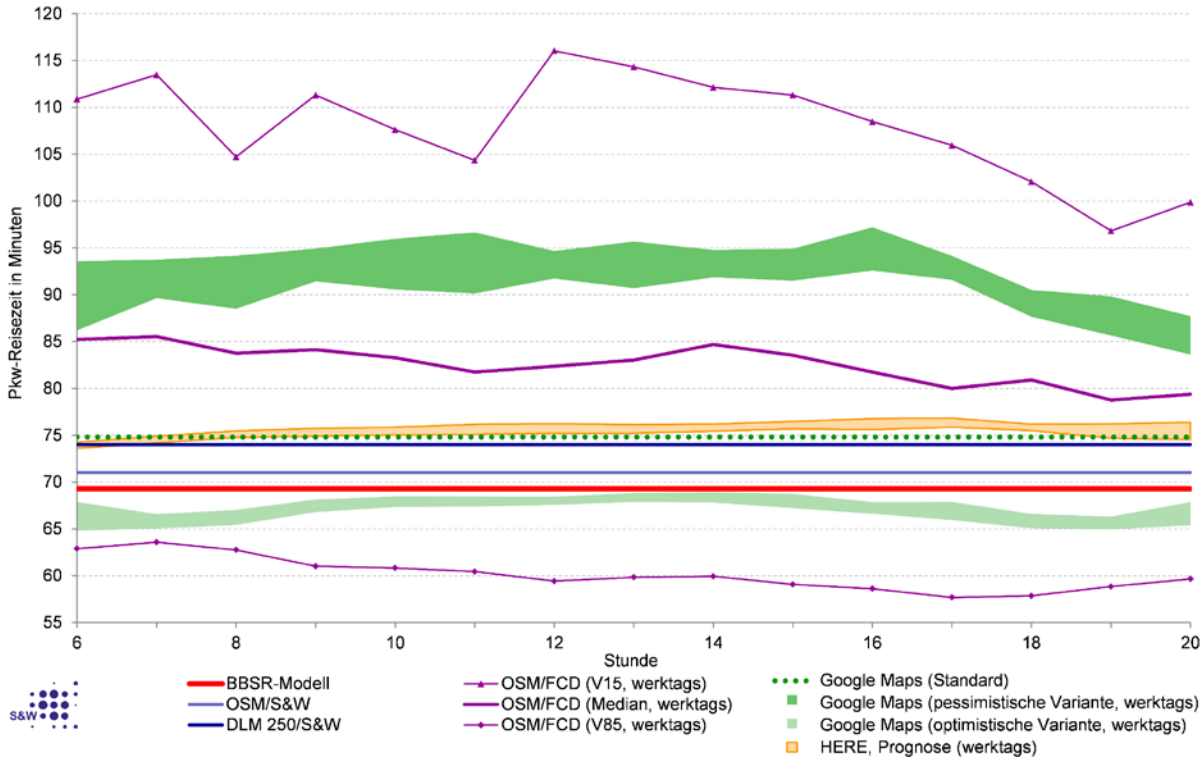


Abbildung 5.9: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Mecklenburg/Prignitz zwischen Schwerin und Wittstock/Dosse im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

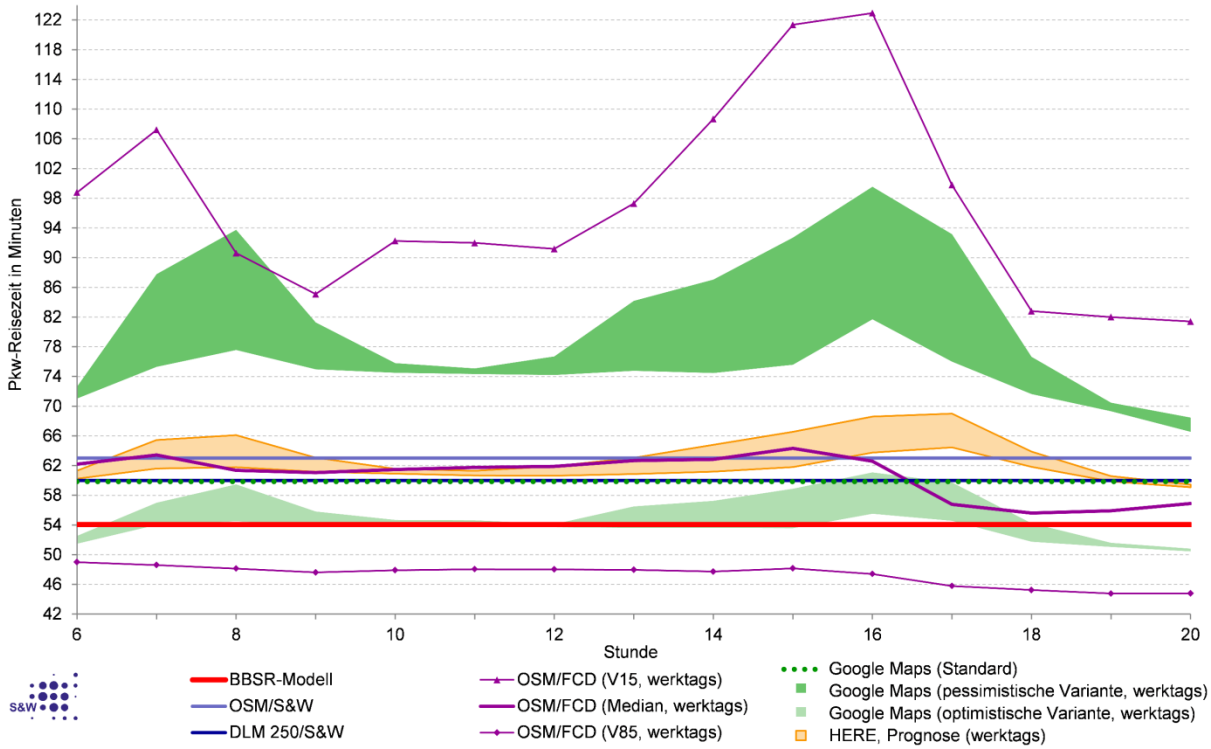


Abbildung 5.10: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr zwischen Duisburg und Unna im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

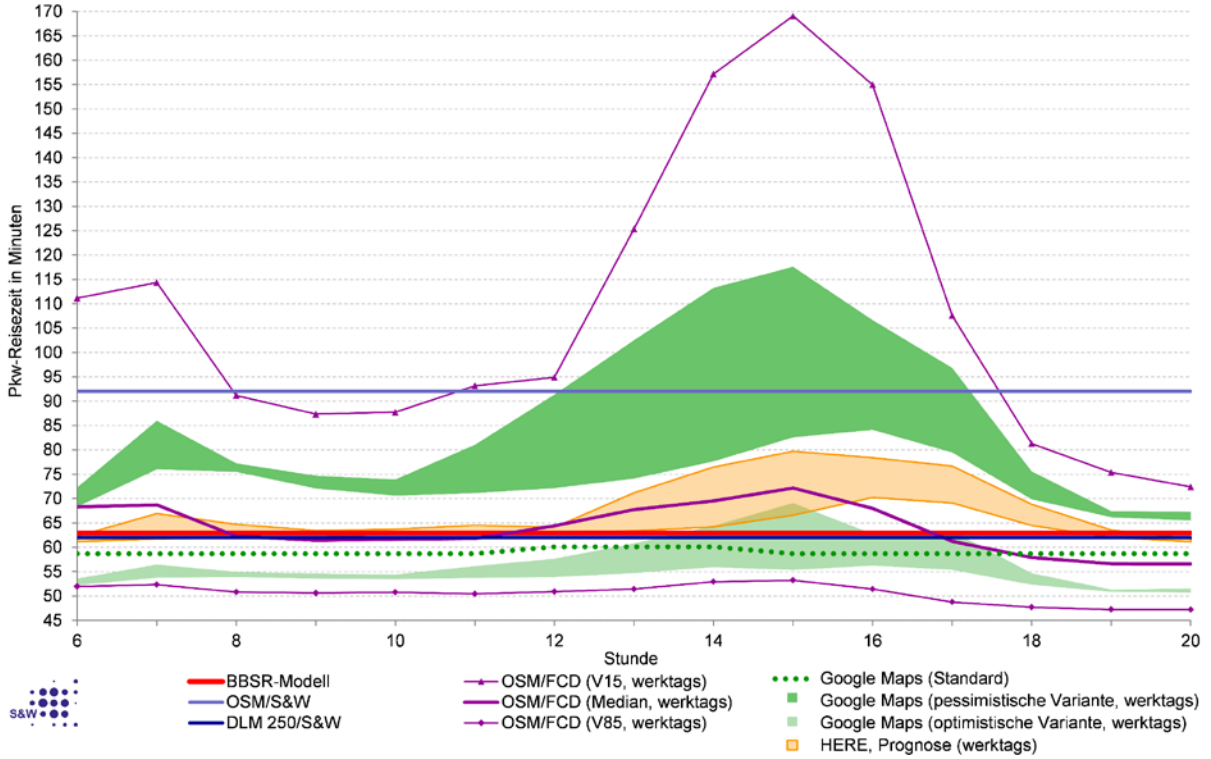


Abbildung 5.11: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr zwischen Bonn und Bergneustadt im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

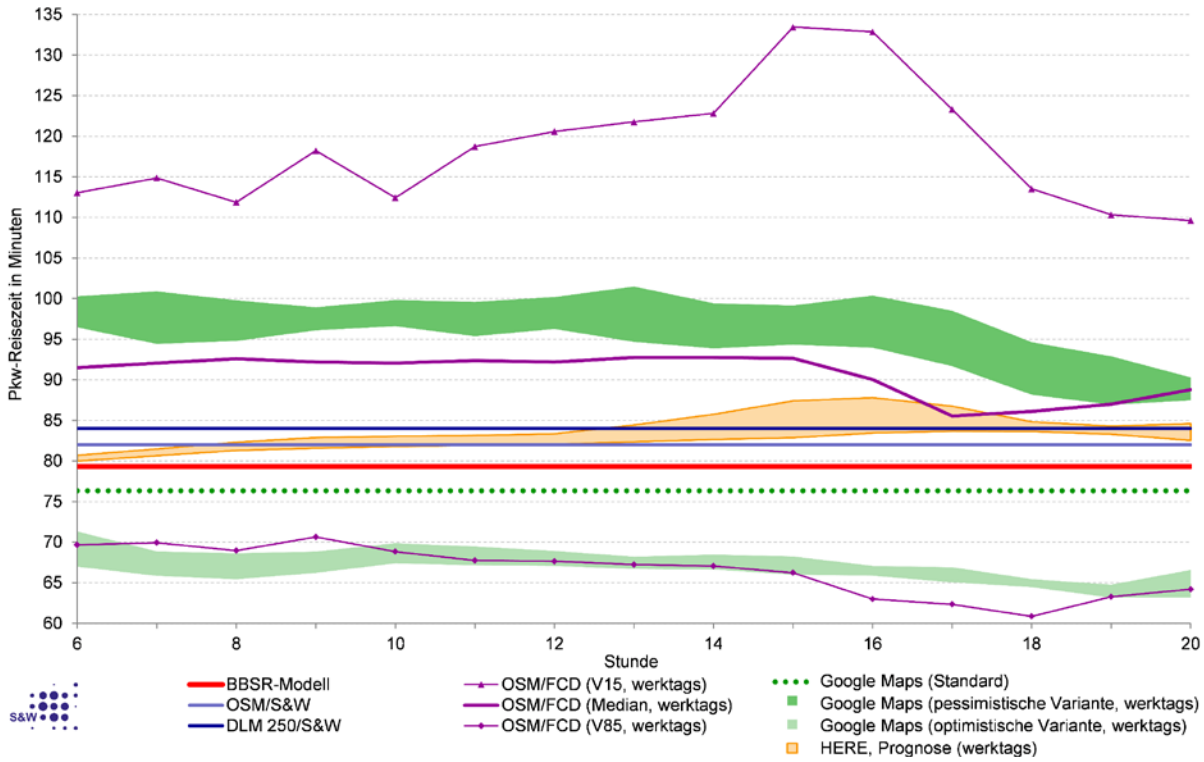


Abbildung 5.12: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Franken/Oberpfalz Roth und Weiden i.d. Oberpfalz im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

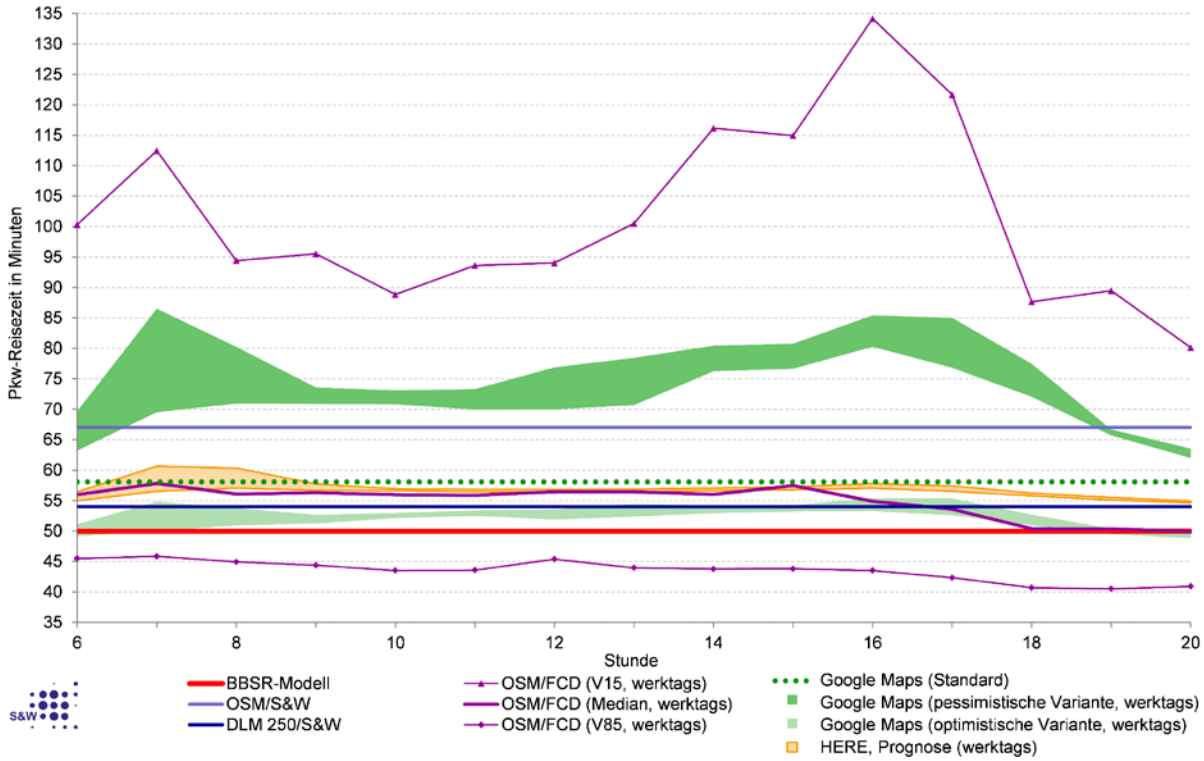


Abbildung 5.13: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Franken/Oberpfalz Bamberg und Nürnberg im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018

Zunächst einmal zeigen die Diagramme die enorme Spannweite an Reisezeiten für eine einzelne Relation, die mit den verschiedenen Verfahren generiert werden. Insbesondere demonstrieren die auf empirisch gemessenen Geschwindigkeiten basierenden Modelle (Google, HERE, OSM/FCD) die beachtlichen Schwankungen von Reisezeiten im Wochen- und Tagesverlauf. Die mit regelbasierten Modellen generierten Reisezeiten geben jeweils immer nur einen einzigen, die jeweiligen Annahmen zu einer bestimmten Verkehrslage reflektierenden Reisezeitwert an. Diese liegen zumeist, aber nicht immer zwischen den Extremwerten der dynamischen Modelle. Diese regelbasierten Reisezeiten liegen auch nicht notwendigerweise dicht beieinander.

Die höchsten Reisezeitschwankungen auf den einzelnen Relationen erzeugt das Verkehrsmodell von Google. Insbesondere die pessimistische, d.h. hohe Verkehrsdichten einbeziehende Prognosevariante hat eine große zeitliche Dynamik und liefert zumeist die längsten Reisezeiten. Sowohl die pessimistische als auch die optimistische Variante von Google zeigen, dass die nachmittäglichen Spitzenstunden meist über den Reisezeitwerten der morgendlichen Spitzenstunden liegen. Freitags verschiebt sich die nachmittägliche Spitzenstunde zeitlich etwas nach vorne, da Netzüberlastungen freitags aufgrund der Überlagerung von Berufs- und Freizeitverkehr eher auftreten. Die von Google ausgegebene Standardreisezeit, die statisch über den ganzen Tag gilt, bewegt sich vornehmlich im Bereich der optimistischen Prognosevariante.

Die HERE-Prognosen liefern ebenfalls für verschiedene Tageszeiten an den verschiedenen Wochentagen unterschiedliche Reisezeiten. Deren Spreizung ist über die Wochentage hinweg relativ gering und bewegt sich im Rahmen der optimistischen Google-Variante.

Die FCD-Daten gehen in diese Diagramme mit ihren stündlichen Medianwerten der Reisezeiten an den Werktagen ein. Die FCD-basierten Reisezeiten bilden auf den untersuchten Relationen auch den Tagesgang ab, allerdings aufgrund der Mittelung mit einer deutlich geringeren Ausprägung als die mit dem Verkehrsmodell von Google simulierten Daten. Im Normalfall bewegen sich die FCD-Daten auch im Bereich der optimistischen Google-Prognose und der HERE-Prognose.

Wie stellen sich im Vergleich zu den auf gemessenen Werten basierenden Reisezeiten die der Netzmodelle dar, die regelbasiert abgeleitet worden sind und nicht nach Tageszeit oder Wochentag differenzieren? Hierzu liegen je Relation drei Reisezeiten vor, die aus dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell, die aus dem hier mit ähnlich gelagerten Annahmen zu mehr oder weniger frei fließendem Verkehr versehenen DLM-Netzmodell (DLM/S&W) generierten Reisezeiten und die eher auf verkehrsbelastete Situationen abzielenden Reisezeiten aus der Kodierung des OSM-Netzes (OSM/S&W). Im Prinzip entsprechen die für die verschiedenen Relationen generierten Reisezeiten den zu erwartenden Werten, aber es existieren auch einige Abweichungen.

Die Reisezeiten des BBSR-Erreichbarkeitsmodells bewegen sich zumeist im unteren Bereich des von den anderen Datenquellen über den Tag aufgespannten Reisezeitbereichs. Dies entspricht der Erwartung eines Netzmodells, welches den mehr oder weniger frei fließenden Verkehr abbilden möchte. Allerdings sind Reisezeiten auf einigen Relationen im Vergleich zu den optimistischen Prognosen von Google oder HERE noch niedriger, d.h. die unterstellten Geschwindigkeitsprofile mögen etwas zu hoch sein. Dies scheint insbesondere bei Relationen innerhalb von Agglomerationsräumen oder von diesen oder größeren Zentren nach außerhalb der Fall zu sein, wie beispielsweise zwischen Schwerin und Wittstock/Dosse (Abbildung 5.9), zwischen Bonn und Bergneustadt (Abbildung 5.11) oder zwischen Bamberg und Nürnberg (Abbildung 5.12). Bei Relationen im eher ländlichen Bereich können die Reisezeiten des BBSR-Modells vereinzelt aber auch oberhalb der Reisezeiten anderer Ansätze liegen (Abbildung 5.8).

Das ebenfalls mit aus dem Streckentyp abgeleiteten pauschalen Geschwindigkeitsannahmen kodierte DLM-Netzmodell erbringt auf den meisten Relationen ähnliche Reisezeiten wie das BBSR-Modell. Diese weichen jeweils nur wenige Minuten voneinander ab. In den ländlichen Bereichen, wo das BBSR-Modell im Vergleich zu den gemessenen Reisezeiten relativ hohe Werte zeigt, liegen die bei dem DLM-Netzmodell sogar noch höher (Abbildung 5.8).

Das aus der Bevölkerungsdichte auf Stauanfälligkeit schließende OSM/S&W-Netzmodell weist im Vergleich zu den anderen Ansätzen zwei gegenläufige Charakteristika der Reisezeiten auf. Auf Relationen, die durch höher verdichtete Gebiete verlaufen wie durch den Kernraum des Ruhrgebiets zwischen Duisburg und Unna (Abbildung 5.10) oder etwas weniger deutlich zwischen Bamberg und Nürnberg (Abbildung 5.13) liegen die Reisezeit oberhalb der anderen

regelbasierten Netzmodelle und befinden sich im Bereich der pessimistischen Variante des Google-Modells. Auf anderen Relationen die nur wenig oder gar nicht durch verdichtete Gebiete führen, sind die Reisezeiten dieses belastungsorientierten Ansatzes zur Geschwindigkeitskodierung im Bereich der anderen Modelle oder darunter. Dies bedeutet, dass die hier getroffenen Geschwindigkeitsannahmen für nicht aufgrund der Umgebungsdichte staugefährdete Netzsegmente mit 85 Prozent der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu optimistisch sein mögen.

Eine alle 45 Relationen zusammenfassende Übersicht der mit den Netzmodellen ermittelten Reisezeiten enthalten Abbildungen 5.14 und 5.15, jeweils in aggregierter Darstellungsform. Die im Tages- und Wochenverlauf variierenden Reisezeiten der auf empirischen Daten basierenden Netzmodelle (HERE, Google Maps, OSM/FCD) wurden hierfür zu einem einzigen werktäglichen Gesamtwert zusammengefasst. Für die Reisezeiten von HERE und Google Maps wurde der Mittelwert der stundenweise erfassten Reisezeiten bestimmt, d.h. in den Gesamtwert ging die ermittelte Reisezeit für jede Stunde werktags zwischen 6 und 20 Uhr vereinfachend gleichgewichtet ein. Bei den OSM/FCD-Reisezeiten konnte nach der tatsächlichen Anzahl der Messungen werktags zwischen 6 und 18 Uhr gewichtet aggregiert werden. Diese gewichteten Werte werden den Reisezeiten der übrigen Straßennetzmodelle (BBSR, DLM/S&W, OSM/S&W), denen durchschnittliche Geschwindigkeitsannahmen zugrunde liegen, gegenübergestellt.

Die Streuung der Reisezeiten der Netzmodelle auf den 45 Relationen zeigt Abbildung 5.14 nach den drei Testräumen sortiert. Die 0,15-Perzentile und 0,85-Perzentile der FCD-Daten bilden in der Regel die Extremwerte und so den Rahmen für die übrigen Modellergebnisse. Insbesondere die Ausschläge nach oben, d.h. die höheren Reisezeiten im 0,15-Perzentil, sind teilweise beachtlich, insbesondere in verdichteten Teilräumen. Neben dem 0,15-Perzentil der FCD-Daten liegen die mit dem Verkehrsmodell von Google Maps simulierten Modellergebnisse in der pessimistischen Variante regelmäßig oberhalb der übrigen Modellergebnisse. Die anderen Reisezeitwerte liegen dichter beinander, aber auch hier gibt es durchaus signifikante Abweichungen, welche teilweise auf die unterschiedliche Zielsetzung der Kodierung zurückzuführen ist. Diese Abweichungen können bei den längeren Relationen mit Reisezeiten von ein bis zwei Stunden durchaus bis zu einer halben Stunde betragen; aber auch bei den sehr kurzen Relationen von bis zu einer halben Stunde sind Differenzen zwischen den Netzmodellen von bis zu zehn Minuten möglich.

Die vom BBSR-Modell erzeugten Reisezeiten liegen im Prinzip in diesem engeren Korridor. Aufgrund der zugrundeliegenden Philosophie der benutzten Geschwindigkeitsprofile (freier Verkehrsfluss) liegen die BBSR-Reisezeiten aber gerade in den Relationen der Agglomerationsräume am unteren Rande der jeweiligen Reisezeitspannen ohne die Extremwerte.

Abbildung 5.15 stellt die Ergebnisse des BBSR-Modells im Vergleich zu den Netzmodellierungen, die auf gemessenen Reisezeiten basieren, dar. Die 45 untersuchten Relationen sind nach der Reisedauer sortiert. Es wird hier nochmals deutlich, dass die BBSR-Werte grundsätzlich im Rahmen der gemessenen Werte liegen. Zumeist liegen die BBSR-Reisezeiten etwas unterhalb der auf gemessenen Reisezeiten basierenden Durchschnittswerte.

Eine Korrelationsanalyse auf Basis der 45 Relationen zeigt, dass die vom BBSR-Modell erzeugten Reisezeiten in einem sehr hohen Zusammenhang zu den Ergebnissen der anderen einbezogenen Netzmodelle stehen (Tabelle 5.2). Die größte Korrelation besteht zwischen dem BBSR-Ansatz und dem DLM/S&W-Netzmodell mit einem R^2 von 0,99. Beide Verkehrsnetze sind mit einer ähnlichen Methode basierend auf streckentypbezogenen Geschwindigkeitsprofilen attributiert worden. In der Korrelationsgüte mit dem BBSR-Modell folgen dann knapp dahinter die Online-Navigationsdienste HERE und Google Maps (Standardwert und optimistische Variante). Zu dem OSM/FCD-Ansatz mit Medianwerten beträgt die Korrelation $R^2 = 0,93$. Bereits deutlich größere Abweichungen bestehen gegenüber dem Verkehrsmodell von Google Maps in der pessimistischen Variante, dem OSM/S&W-Modell mit der Orientierung auf dichtebezogene Staugefährdung sowie mit dem 0,15-Perzentilansatz des OSM/FCD-Modells. Dies ist insofern erklärbar, als dass diese drei Netzmodelle nicht einen Durchschnittsnetzzustand abbilden, sondern eher auf stark verkehrsbelastete Netzzustände abzielen.

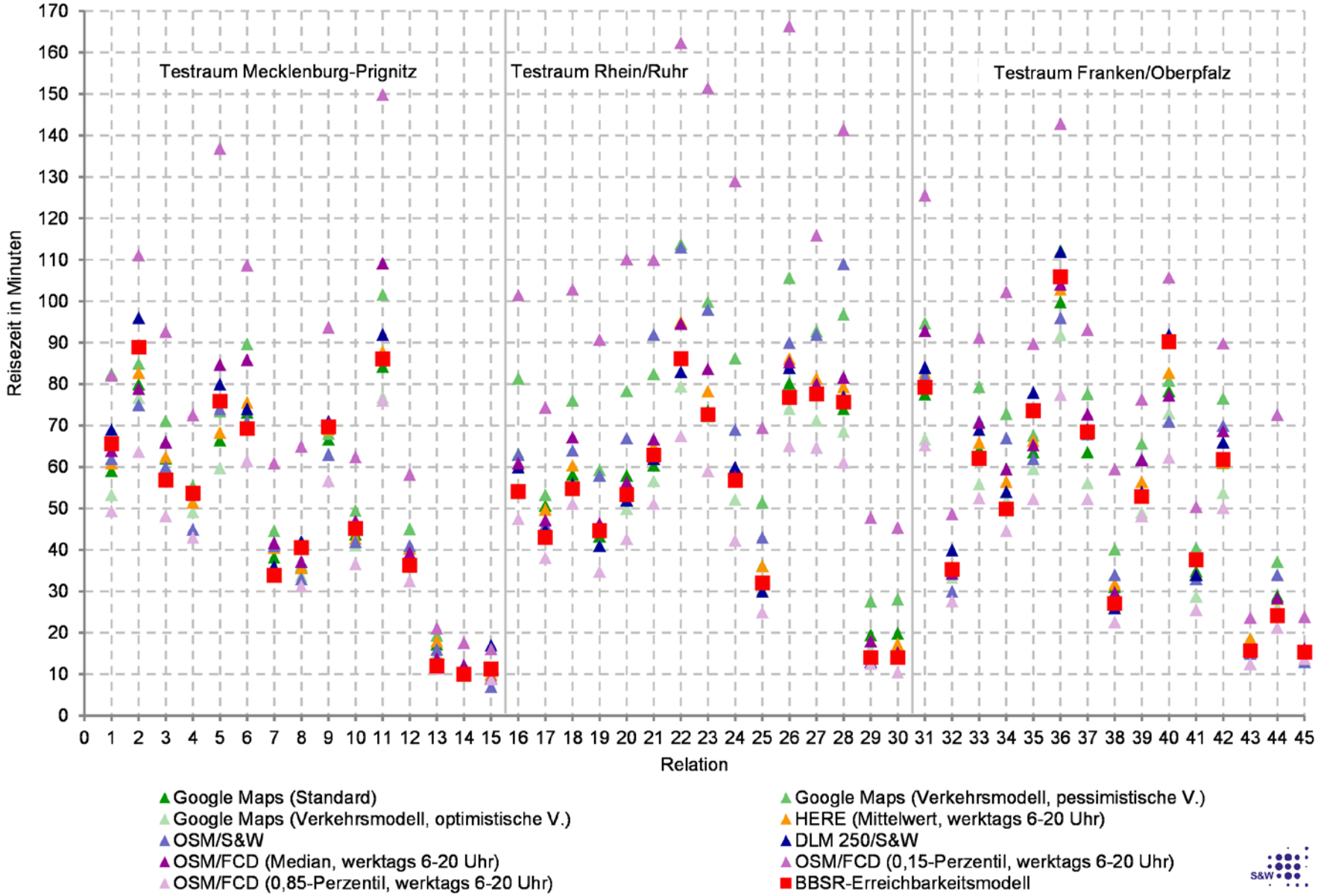


Abbildung 5.14: Pkw-Reisezeiten der Netzmodelle für die 45 Relationen in der Woche vom 5.3. bis zum 9.3.2018, sortiert nach Testraum

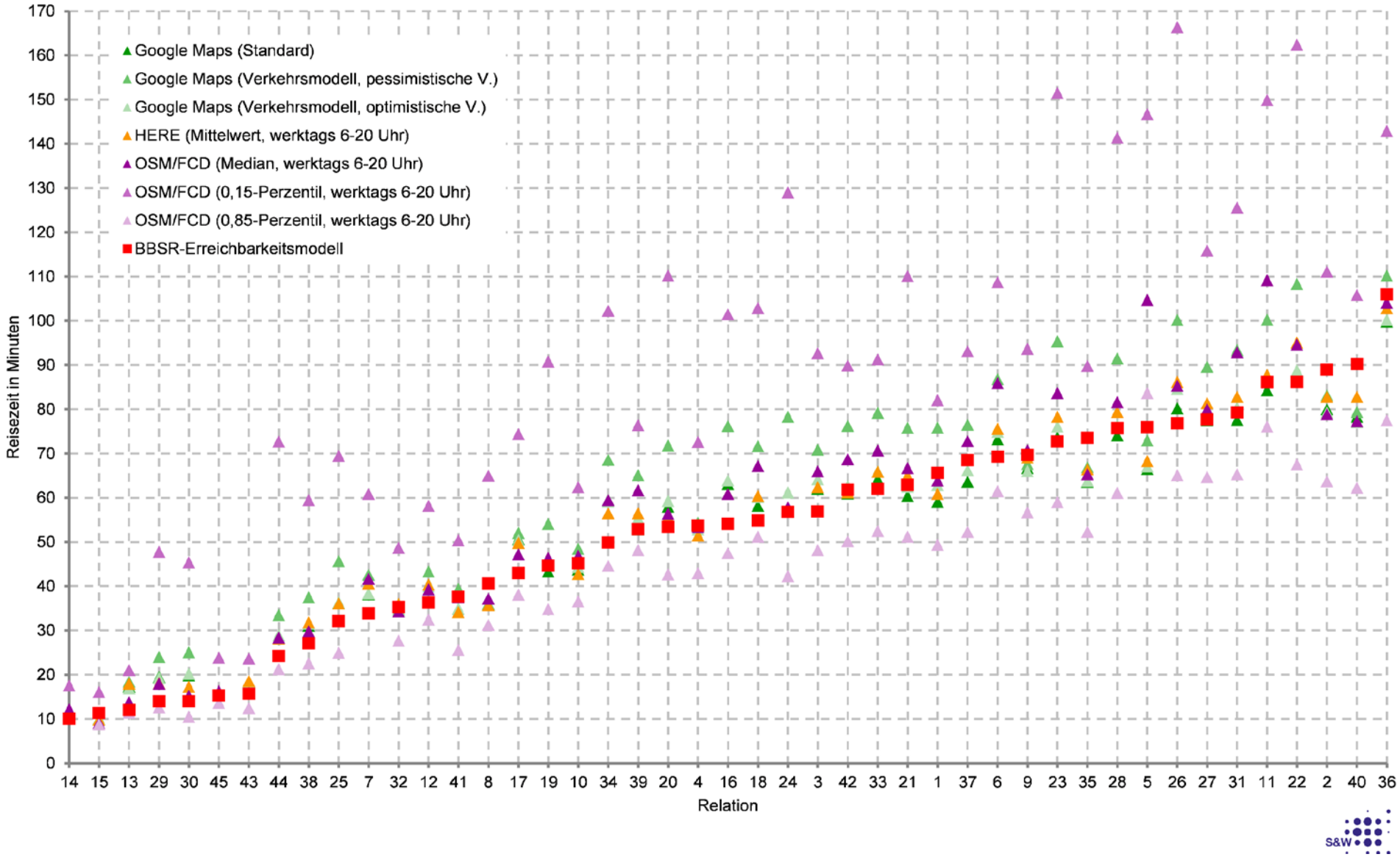


Abbildung 5.15: Pkw-Reisezeiten von BBSR-Modell und auf Messung basierenden Netzmodellen für die 45 Relationen in der Woche vom 5.3. bis zum 9.3.2018, sortiert nach Reisedauer

Tabelle 5.2: Bestimmtheitsmaß einer Korrelationsanalyse der Reisezeiten des BBSR-Ansatzes im Vergleich zu den anderen Netzmodellen (n=45)

Verkehrsnetzmodell	Charakteristik	R^2
DLM 250/S&W	Freier Verkehrsfluss	0,9883
HERE (Mittelwert, werktags 6-20 Uhr)	Durchschnittliche Situation	0,9689
Google Maps (Standard)	Durchschnittliche Situation	0,9654
Google Maps (Verkehrsmodell, optimistische Variante, Mittelwert, werktags 6-20 Uhr)	Freier Verkehrsfluss	0,9647
OSM/FCD (0,85-Perzentil, werktags 6-20 Uhr)	Freier Verkehrsfluss	0,9374
OSM/FCD (Median, werktags 6-20 Uhr)	Durchschnittliche Situation	0,9267
Google Maps (Verkehrsmodell, pessimistische Variante, Mittelwert, werktags 6-20 Uhr)	Hoch belastetes Netz	0,8710
OSM/S&W	Belastetes Netz	0,8390
OSM/FCD (0,15-Perzentil, werktags 6-20 Uhr)	Hoch belastetes Netz	0,7773

Die Analyse der Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle für die 45 ausgewählten Relationen zeigt einerseits, dass die verschiedenen Netzmodelle jeweils auf konsistenten Annahmen bzw. Datengrundlagen basieren. Es existieren keine nicht erklärbaren Ausreißer. Dies gilt insbesondere auch für das hier zu untersuchende BBSR-Modell. Gleichzeitig zeigt sich auf den einzelnen Relationen aber auch die hohe Variabilität der Reisezeiten, die insbesondere von der zugrundeliegenden Verkehrssituation abhängt. Gerade die auf empirischen Messungen basierenden Reisezeitmodelle machen deutlich, dass es für keine Relation den „einen“ Reisezeitwert gibt, die Spannweiten im Tagesverlauf, zwischen einzelnen Wochentagen und insbesondere zwischen unterschiedlichen Verkehrsbelastungen sind sehr groß.

5.4 Flächenhafter Reisezeitvergleich verschiedener Netzattributierungen

Mit einem Vergleich von Isochronen werden die flächendeckenden Wirkungen der unterschiedlichen Geschwindigkeitsannahmen hinsichtlich der Erreichbarkeit untersucht. Der Isochronenvergleich ist für sechs ausgewählte Zielorte exemplarisch durchgeführt worden. In jedem Testraum befinden sich zwei exakt über Koordinaten lokalisierbare Ziele.

Für den Isochronenvergleich standen fünf Erreichbarkeitsmodelle zur Verfügung: das BBSR-Netzmodell, das DLM/S&W Netzmodell, das OSM/S&W-Netzmodell, das OSM/FCD-Netzmodell und das HERE-Netzmodell. Die Grundlagen dieser Netzmodelle sind in den vorherigen Abschnitten bereits beschrieben worden.

Mit den Isochronenkarten werden die in den Netzmodellen ermittelten zeitlichen Entfernungen zu diesen sechs Zielstandorten flächendeckend dargestellt. Die Karten veranschaulichen einerseits die Unterschiede hinsichtlich der attributierten Netzwiderstände in den einzelnen Erreichbarkeitsmodellen und andererseits ihre Unterschiede in Bezug auf das Verfahren zur Aufbereitung der Ergebnisse für die Zwischenräume zwischen den Straßen.

Für jedes einbezogene Netzmodell erfolgt im Ergebnis eine Darstellung von Isochronen der Zielorte (Schwarze und Spiekermann, 2018). Abbildung 5.16 zeigt hier für den Testraum Mecklenburg/Prignitz die Isochronenkarten nur für jeweils einen Zielstandort in einer Gegenüberstellung.

Die Isochronenkarten spiegeln die Annahmen der Netzmodelle hinsichtlich der Geschwindigkeitsattributierungen räumlich als unterschiedlich weit ausgedehnte Reisezeitbereiche wider. Höhere unterstellte Geschwindigkeiten führen zu einer weiteren Ausdehnung der in einer bestimmten Reisezeitklasse abgedeckten Fläche gegenüber Netzmodellen mit geringeren Geschwindigkeitsannahmen.

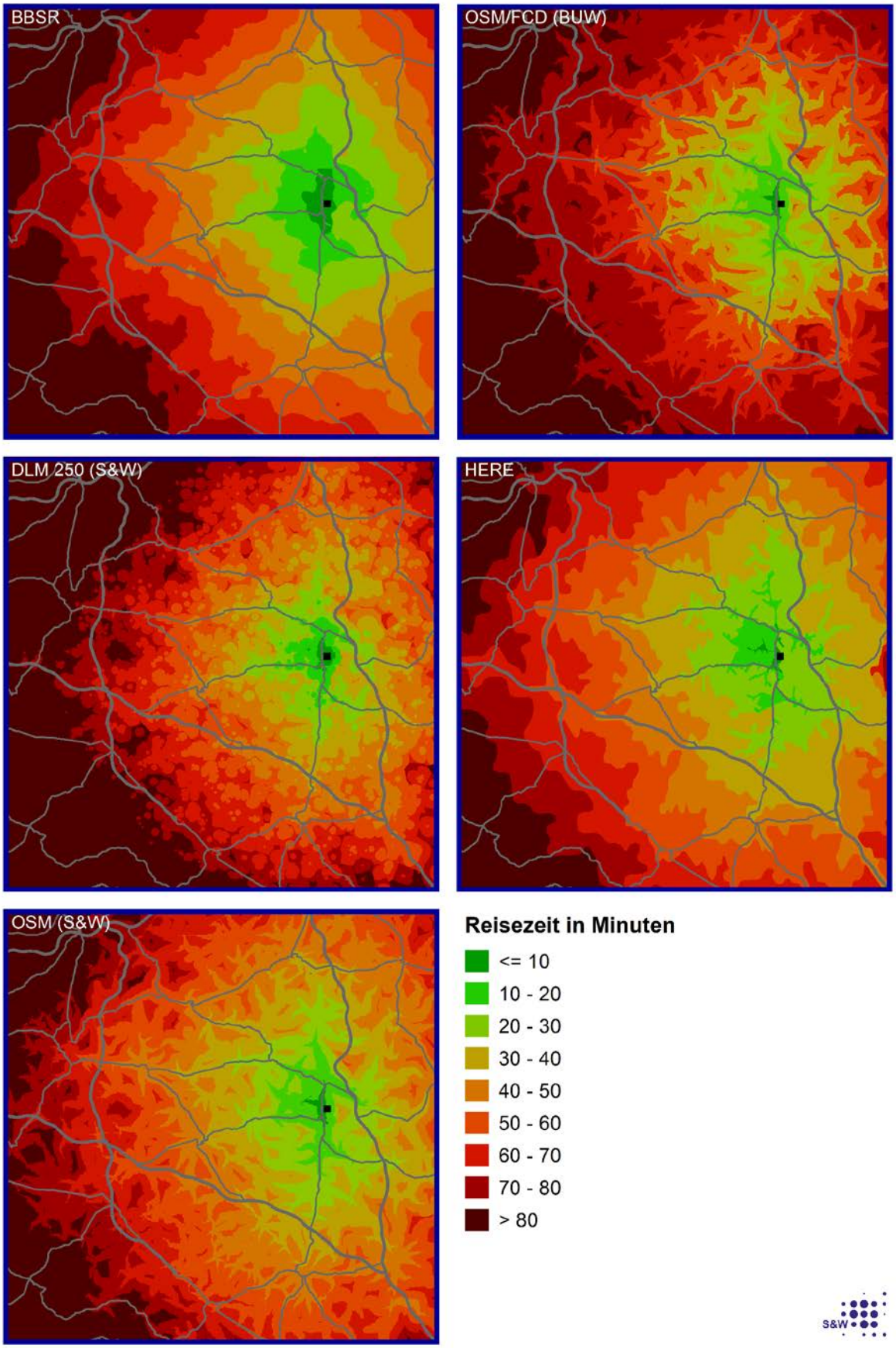


Abbildung 5.16: Vergleich der Isochronenkarten für den Zielstandort Plau im Testraum Mecklenburg/Prignitz

Im gering verdichteten Bereich um Plau im Testraum Mecklenburg/Prignitz nimmt die Reichweite des BBSR-Modells eine mittlere Position im Vergleich zu den anderen Netzmodellen ein (Abbildung 5.16). Bei den regelbasierten Ansätzen ist die Reichweite des DLM/S&W-Netzmodells geringer, die des OSM/S&W-Netzmodells größer. Bei den auf gemessenen Reisezeiten basierenden Netzmodellen ist die Reichweite des BBSR-Modells größer als die des OSM/FCD-Netzmodells (median), aber kleiner als die des HERE-Modells.

Im stark verdichteten Bereich um Solingen im Testraum Rhein-Ruhr sind die Reichweiten des BBSR-Netzmodells etwa in der Dimension derer des DLM/S&W-Netzmodells und der auf HERE basierenden Isochronen. Dagegen sind die Reichweiten des OSM/FCD-Netzmodells (median) und insbesondere des staurisikoorientierten OSM/S&W-Netzmodells deutlich geringer. Unterschiede bestehen so auch zwischen den beiden auf Messwerten basierenden Netzmodellen, d.h. die (uns nicht bekannte) Mittelwertbildung des HERE-Netzmodells führt zu anderen Ergebnissen als die Nutzung der Medianwerte im OSM/FCD-Netzmodell.

Im wiederum eher ländlichen Gebiet um den Zielstandort Sulzbach im Testraum Franken/Oberpfalz stehen wiederum BBSR-Netzmodell und HERE als auch das OSM/S&W-Netzmodell relativ nah beieinander. Die Reichweiten des OSM/FCD-Netzmodells (median) sind wiederum geringer als auch die des DLM/S&W-Netzmodells.

Für einen direkteren Vergleich der Netzmodelle zeigt Abbildung 5.17 die 30 Minuten-Isochrone des BBSR-Modells jeweils einem der anderen Netzmodelle gegenübergestellt. Die 30 Minuten-Reichweite im BBSR-Modell entspricht in

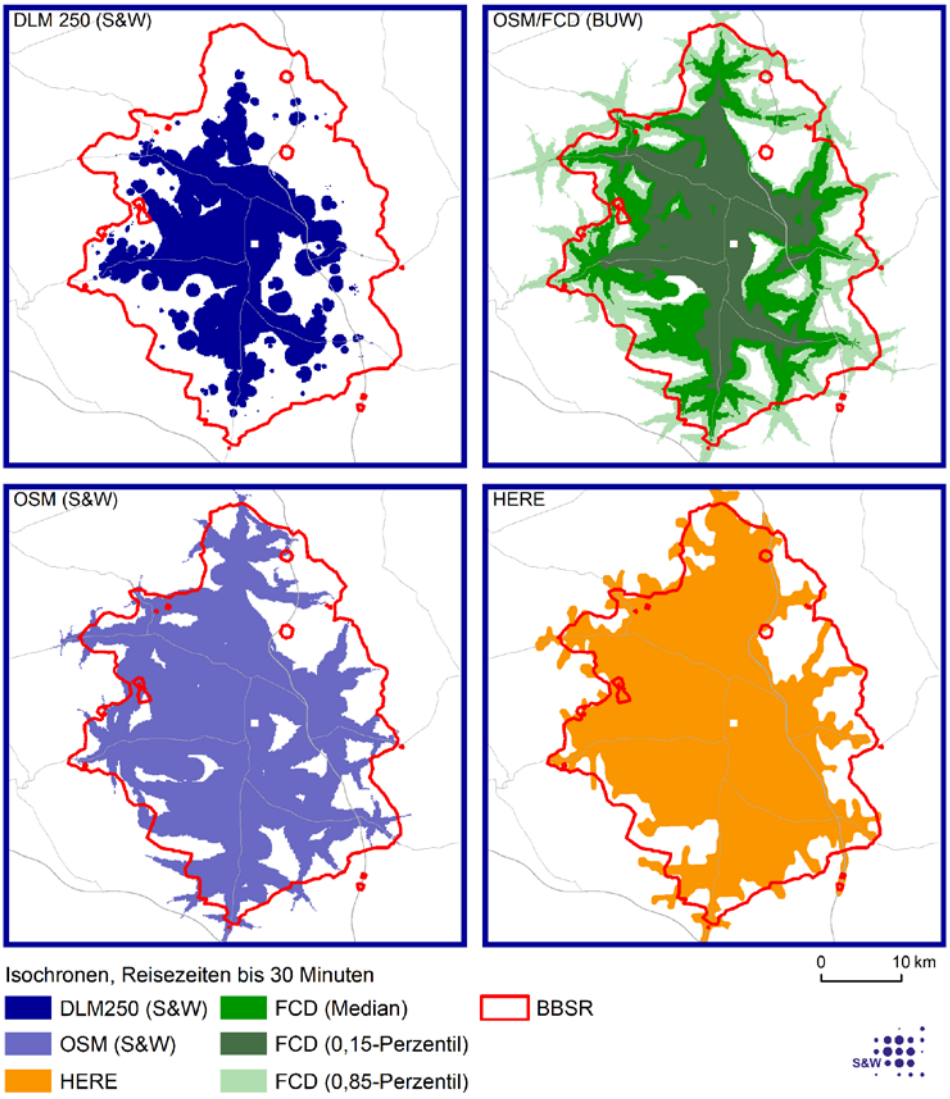


Abbildung 5.17: Vergleich der 30-Minuten-Isochronen für den Zielstandort Plau

etwa derjenigen im OSM/S&W und HERE, wenn von der unterschiedlichen Behandlung der Zwischenräume zwischen den Hauptachsen abgesehen wird. Die für den ländlichen Raum vergleichsweise niedrigen Geschwindigkeitsannahmen des DLM/S&W Modells führen zu einer deutlich reduzierten Reichweite gegenüber dem BBSR-Modell. Bei der Darstellung der drei Werte (Median, v15-Perzentil und v85-Perzentil) des OSM/FCD-Modells wird deutlich, dass selbst in einem eher gering verdichteten Raum die Unterschiede in der Reichweite innerhalb eines vorgegebenen Reisezeitraums sehr groß sein können. Die Reichweite des BBSR-Modells entspricht in etwa dem des FCD-Medians. Im unbelasteten OSM/FCD-Netz (v85) ist der mögliche Aktionsraum innerhalb von 30 Minuten deutlich größer, im stark belasteten OSM/FCD-Netz (v15) räumlich deutlich eingeschränkter.

Auffällig ist auch das unterschiedliche Erscheinungsbild der Isochronen. Die Isochronen des OSM/FCD-Erreichbarkeitsmodells, des DLM/S&W-Erreichbarkeitsmodells und des OSM/S&W-Erreichbarkeitsmodells wirken ziseliert, da sie feinteiliger und detaillierter ausgeprägt sind. In den Zwischenräumen des Straßennetzes liegen teilweise sogar deutlich ausgeprägte Erreichbarkeitstäler. Anders verhält es sich bei den Isochronen des BBSR-Erreichbarkeitsmodells, die sich in ihrem Erscheinungsbild konzentrischer verteilen. Zwischen diesen beiden Ausformungen liegt die Isochronendarstellung im HERE-Modell.

Zwei Aspekte sind ursächlich für diese prinzipiell unterschiedliche Art der Isochronendarstellung. Zum einen bestimmt die Feinheit der Verkehrsgraphen die Darstellung. In dem OSM/FCD- und dem OSM/S&W-Erreichbarkeitsmodell beträgt mit Ausnahme der Autobahnen die maximale Länge einer Straßenkante lediglich 100 Meter. Es liegen hierdurch zur Isochronenbildung wesentlich mehr Messpunkte als in den anderen Erreichbarkeitsmodellen vor. Für das DLM/S&W ist diese Segmentierung nicht durchgeführt worden, so dass in den Testräumen dessen Knotenanzahl nur etwa ein Fünftel der Knotenanzahl des OSM/S&W Netzes beträgt. Abbildung 5.18 stellt beispielhaft für das BBSR-Modell und das OSM/S&W Modell die Netzknoten dar, von denen aus der Zielort in Solingen innerhalb von 30 Minuten erreichbar ist. Die Abbildung zeigt zudem erneut, dass die unterschiedlichen Geschwindigkeitsannahmen für die beiden Netzmodelle eine unterschiedliche Reichweite innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne von 30 Minuten bewirken.

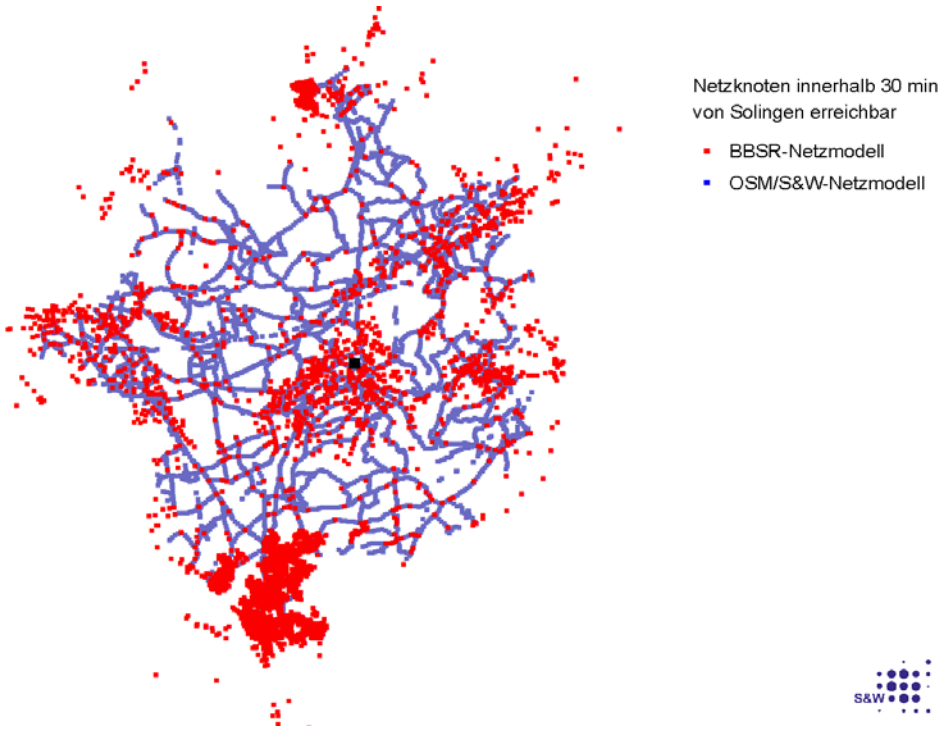


Abbildung 5.18: Netzknoten, von denen der Zielort in Solingen innerhalb von 30 Minuten erreichbar ist, BBSR und OSM/S&W Netzmodelle im Vergleich

Zum anderen bestimmt das angewandte räumliche Interpolationsverfahren die Darstellung entscheidend.

- Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell verwendet die IDW-Interpolation (Inverse Distance Weighting). Die Reisezeiten im Zwischenraum werden über eine entfernungsabhängig gewichtete Kombination verschiedener Referenzpunkte ermittelt. Dies bedeutet, dass es für den Zugang (bzw. Abgang) von den Zwischenräumen zu den Netzknoten keinen Reisezeitaufschlag gibt, d.h. die Reisezeiten in den Zwischenräumen gewichtete Mittelwerte der umliegenden Knoten darstellen. Je nach Parametereinstellung wird die zu interpolierende Oberfläche dadurch mehr oder minder stark geglättet.
- Die Isochronen in den DLM/S&W-, OSM/S&W und OSM/FCD-Erreichbarkeitsmodellen wurden nach einem anderen Verfahren erstellt. Hier wurde die Gesamtreisezeit als Kombination der Reisezeit von dem Knoten zum Zielstandort im Verkehrsnetz und der Reisezeit aus der Fläche zu diesem Knoten ermittelt. Die Reisezeit aus der Fläche in den Straßenzwischenräumen wurde mit einer angenommenen Luftliniengeschwindigkeit von 12 km/h berechnet. Dies bedeutet, dass es in den Zwischenräumen immer noch einen Reisezeitzuschlag gibt, der den Reisewiderstand des Weges zum nächsten Netzknoten repräsentiert. Die Unterschiede im visuellen Erscheinungsbild zwischen dem DLM/S&W-Isochronen und den beiden OSM-basierten Isochronen ergeben sich aus einer etwa fünffach höheren Anzahl an Netzknoten in den OSM-basierten Netzmodellen.
- Das exakte Verfahren der Isochronendarstellung im HERE-Modell ist unklar. Output des proprietären HERE-Erreichbarkeitsmodells sind Punktkoordinaten, die die Stützpunkte der Isochronen darstellen. Ob die Stützpunkte Knoten im Verkehrsnetz repräsentieren, den erreichbaren Abschnitt einer Kante markieren oder das Resultat eines räumlichen Interpolationsverfahrens sind, konnte nicht nachvollzogen werden.

Zur Abschätzung der Effekte der beiden grundsätzlich unterschiedlichen Wege der Isochronendarstellung sind die Ergebnisse des BBSR-Modells einmal testhalber mit dem für die DLM- und OSM-Netze angewandten Verfahren aufbereitet worden. Abbildung 5.19 zeigt für beide Verfahren die Isochronenbänder für den Bereich 25-30 Minuten an. Die Unterschiede sind klar erkennbar. Das Standard-Interpolationsverfahren des BBSR führt dazu, dass die Isochronenbänder vom Zielpunkt aus weiter nach außen verschoben werden, d.h. die Reichweite innerhalb vorgegebener Zeitspannen größer ist als mit einem Verfahren, welches Reisezeitzuschläge für das Erreichen der Zwischenräume von den Netzknoten aus berücksichtigt.

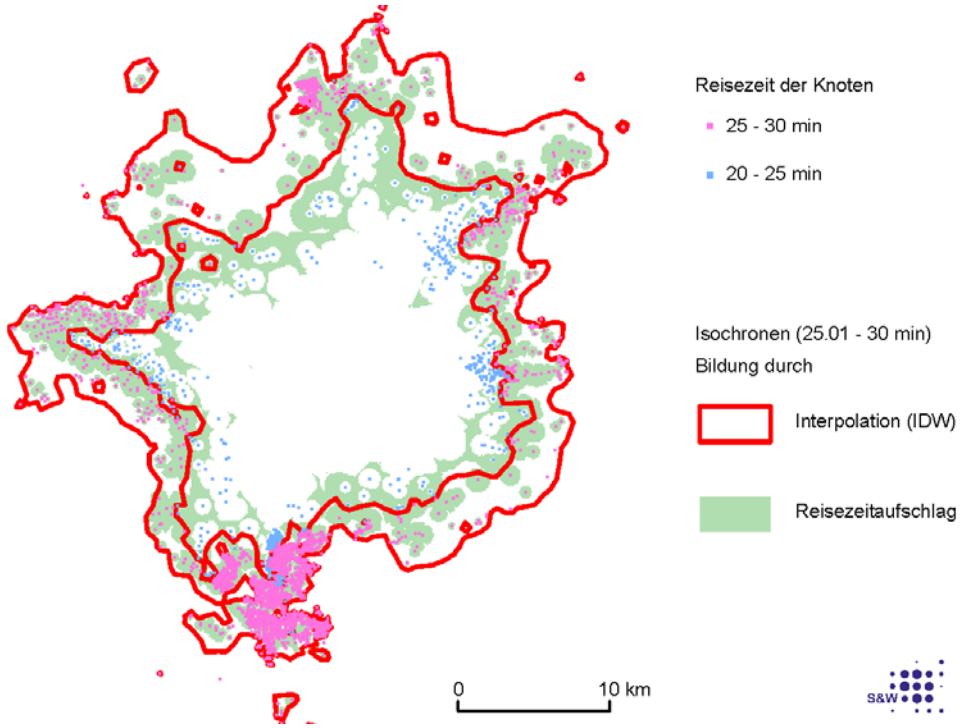


Abbildung 5.19: Isochronenbänder des BBSR-Erreichbarkeitsmodells für den Zielort Solingen auf Basis unterschiedlicher Isochronenbildungsverfahren

Wie schon in den Teilanalysen zuvor ist es auch hinsichtlich des Isochronenvergleichs bemerkenswert, dass keine eindeutigen Aussagen zu den Ergebnissen der Erreichbarkeitsmodelle getroffen werden können. Zu unsystematisch unterscheiden sie sich in den sechs untersuchten Anwendungsfällen. Dies wird abschließend nochmals in Abbildung 5.20 deutlich, wo für alle Zielstandorte und Erreichbarkeitsmodelle die kumulierte Zahl der Einwohner dargestellt ist, die den Zielstandort innerhalb eines bestimmten Reisezeitintervalls erreichen kann. Die Einwohnerdaten basieren auf der Zensus 2011-Einwohnerverteilung im 1 Hektar-Raster. Die Daten werden für Zeitintervalle von 5 Minuten für Reisezeiten zwischen 10 und 40 Minuten dargestellt.

Die Zahl an Einwohnern, die den Zielstandort erreichen kann, nimmt, ebenso wie die Flächengröße der Isochronenpolygone, mit zunehmender Reisezeit überproportional zu. Wertesprünge treten insbesondere auf, wenn einwohnerstarke Kommunen erreicht werden. Wie zuvor schon diskutiert wurde, basieren die Erreichbarkeitsmodelle auf unterschiedlichen Geschwindigkeitsannahmen. Daher wachsen zwischen den Erreichbarkeitsmodellen mit zunehmender Reisezeit die Abweichungen in den ausgegebenen Erreichbarkeiten an. Eine klare Tendenz, die sich in allen sechs Anwendungsfällen wiederfindet, ist nicht zu erkennen. Abhängig vom untersuchten Zielstandort kann das BBSR-Erreichbarkeitsmodell das Modell mit den höchsten Erreichbarkeitswerten wie für Ludwigslust oder das Modell mit den niedrigsten Erreichbarkeitswerten wie für Pegnitz sein.

Eindeutig ist der Effekt der Isochronenbildung beim BBSR-Erreichbarkeitsmodell. Werden die Isochronen wie bislang durch Interpolation gebildet, sind aufgrund der Vergrößerung der erreichbaren Flächen gegenüber dem Ansatz mit Reisezeitzuschlägen für die Zwischenräume auch die Werte der jeweils in bestimmten Zeiteinheiten erreichbaren Einwohner größer. Dieser Effekt ist aber deutlich kleiner, als die Erreichbarkeitseffekte, die durch die in den verschiedenen Modellen angenommenen Geschwindigkeiten auf den Elementen der jeweiligen Straßennetze bewirkt werden.

5.5 Reisegeschwindigkeiten im Pkw-Verkehr nach Kreistypen

Einen gesonderten Beitrag zur Bestimmung von Geschwindigkeiten zur Parametrisierung von Erreichbarkeitsmodellen können auch Daten aus Befragungen zum Verkehrsverhalten liefern. Darin werden Wegedauer und Distanz durch die Befragten geschätzt, woraus sich die mittlere erzielte Geschwindigkeit auf einem Weg ermitteln lässt. Die Ergebnisse unterliegen seitens der Befragten Schätzfehlern (v.a. Rundungsfehler). Die Verzerrungen sind jedoch bei großen Stichproben eher gering, weil die Fehlschätzungen durch Rundung nicht systematisch in die gleiche Richtung (positiv oder negativ) weisen. Die Schätzungen beziehen sich im Unterschied zu Messdaten von Navigationsanbietern auf den gesamten Weg einschließlich Zu- und Abgangswegen. Insofern bilden sie die erzielten Reisegeschwindigkeiten auf einem Gesamtweg realistischer ab.

Im Rahmen dieses Projektes ist eine Sonderauswertung der Kontiv/MID für die Jahre 1976, 1982, 2002 und 2008 hinsichtlich der Geschwindigkeiten im MIV durchgeführt worden (Scheiner, 2018a). Diese Befragungen zum Verkehrsverhalten lassen aufgrund der Stichprobenumfänge eine Auswertung nach Distanzklassen und Tageszeiten im Zeitvergleich zu, differenziert nach Wochentagtyp (werktags oder Wochenende), allerdings räumlich differenziert nur auf der aggregierten Ebene von zusammengefassten Kreistypen des BBSR (Kernstädte, verdichtete Kreise und ländliche Kreise).

Die auf Basis dieser Befragungsdaten ermittelten Geschwindigkeiten nehmen mit der zurückgelegten Wegstrecke deutlich zu. Bei Wegen bis 3 km liegt die mittlere Reisegeschwindigkeit bei rund 16 km/h, bei Wegen zwischen 10 und 25 km bei etwa 43 km/h und bei Wegen von 100 bis 200 km Länge bei 82 km/h.

Im Zeitvergleich zwischen 1976/1982 und 2002/2008 hat die mittlere Reisegeschwindigkeit in praktisch allen Entfernungsklassen mit durchschnittlich 2,7 km/h leicht zugenommen. Bei den kurzen Wegen unter 3 km Länge ist der Zuwachs lediglich 0,7 km/h, bei den Wegen zwischen 3 km und 50 km bewegt sich die Geschwindigkeitszunahme etwa im Durchschnitt, bei den längeren Wegen betragen die Zunahmen zwischen 5 und 12 km/h. Die Geschwindigkeitszunahme erfolgt so trotz der zunehmenden Verkehrsbelastung und damit Netzwiderständen aufgrund der gestiegenen Motorleistung der Fahrzeuge, womit in staufreien Abschnitten entsprechend schneller gefahren werden kann, und aufgrund des gleichzeitigen Neu- und Ausbaus des Straßennetzes, wodurch sich auch Wege eher geringer bis mittlerer Länge von Landstraßen auf Bundesfernstraßen, insbesondere auf Autobahnen verlagert haben.

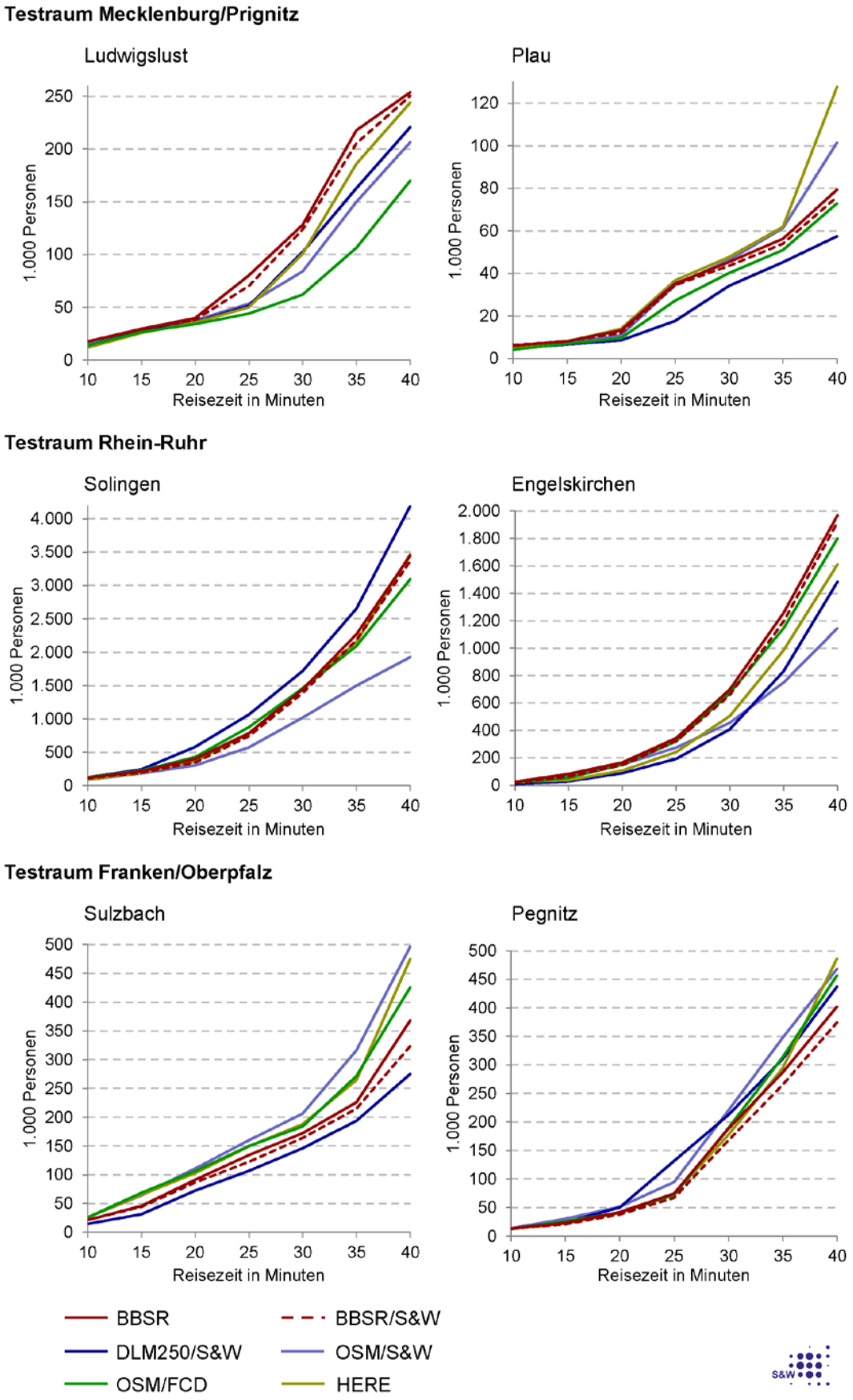


Abbildung 5.20: Vergleich der ermittelten Einwohnerzahlen, die innerhalb einer bestimmten Zeitdauer den jeweiligen Zielstandort erreichen können

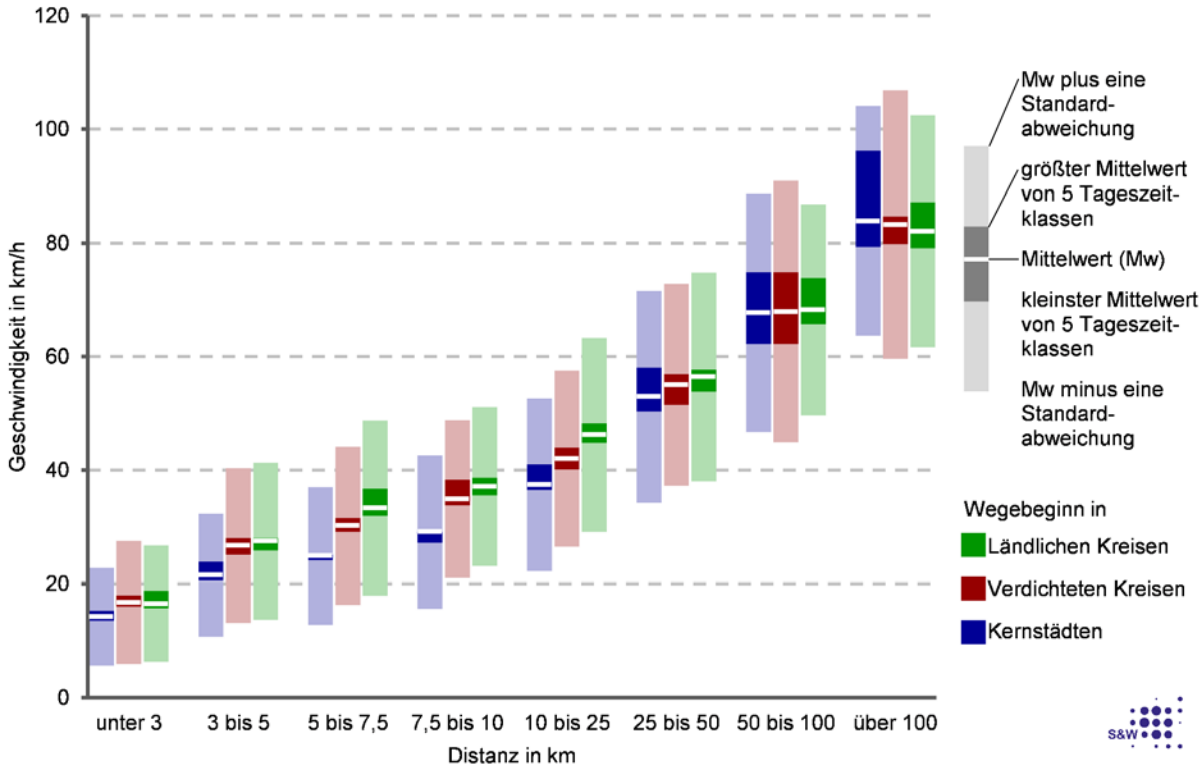


Abbildung 5.21: Mittlere Geschwindigkeiten im MIV, 2008, nach Distanzklasse, Kreistyp und Uhrzeit an Werktagen (Quelle: Scheiner, 2018a, nach MID 2008)

Die Differenzierung nach Kreistypen zeigt deutlich geringere erzielte Geschwindigkeiten von in Kernstädten beginnenden Wegen gegenüber Wegen, die in suburbanen oder ländlichen Kreisen starten (Abbildung 5.21). Die Geschwindigkeitsreduktionen in Kernstädten gegenüber dem Durchschnitt belaufen sich auf rund 12 % und beziehen sich praktisch ausschließlich auf den städtischen und intraregionalen Verkehr (Wege bis 25 km, Reduktionen von 11-16 %). Bei Wegen zwischen 25 und 50 km Länge beträgt diese Reduktion noch 4 %. Stellt man in Rechnung, dass diese Unterschiede zum großen Teil dadurch verursacht werden, dass diese Verkehre auf Stadtstraßen mit entsprechenden Geschwindigkeitsregelungen und einer Vielzahl von Knoten stattfinden, muten die räumlichen Unterschiede sehr moderat an. Zwischen verdichteten und ländlichen Kreisen unterscheiden sich die erzielten Geschwindigkeiten noch weniger. In ländlichen Kreisen liegen sie etwas höher. Dies gilt wiederum für Wege auf regionaler Ebene (5-25 km Länge).

Die Differenzierung nach Tageszeiten zeigt eher geringe Unterschiede. An Werktagen werden bei Wegen in der Nachmittagsspitze etwas geringere Geschwindigkeiten erzielt als in der Morgenspitze. Dies entspricht der stärkeren Ausprägung der Nachmittagsspitze (Scheiner, 2006). In den dazwischenliegenden Stunden (9-16 Uhr) unterscheiden sich die Geschwindigkeiten von der Nachmittagsspitze allerdings praktisch nicht. Hierzu ist anzuführen, dass eine nennenswerte Schwachverkehrszeit zwischen den Peaks praktisch nicht mehr existiert (Scheiner, 2006). Etwas höhere Geschwindigkeiten werden nachts erreicht. Diese spiegeln Reisegeschwindigkeiten im weitgehend unbelasteten Netz wider. Sie liegen je nach Distanzklasse rund 5-10 % höher als in der Nachmittagsspitze. An Wochenenden werden geringfügig höhere Geschwindigkeiten erzielt. Eine räumliche Differenzierung bringt hier keine wesentlichen neuen Erkenntnisse. Der Zeitvorteil gegenüber Werktagen liegt je nach Distanzklasse bei rund 0-5 %.

Deutlich größer als die zeitlichen Unterschiede in den einzelnen Distanzklassen sind die Standardabweichungen. Diese liegen schon in den kürzeren Distanzklassen bei 10 bis 15 km/h, bei Distanzen von mehr als 50 km liegt die Standardabweichung zumeist bei mehr als 20 km/h. Dies bedeutet, dass innerhalb der aggregierten Kreistypen in den einzelnen Distanzklassen die verschiedenen Wege mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten zurückgelegt werden. Der Vorzug dieser Daten liegt somit weniger in der Attributierung einzelner Netzelemente, sondern vielmehr in

der Eignung als Benchmark, an der sich die verschiedenen Wege zur Attributierung von Geschwindigkeiten auf Straßennetzen im Durchschnitt der erzielten Geschwindigkeiten orientieren können.

Für die Attributierung von Straßennetzen im Rahmen der Erreichbarkeitsmodellierung können hieraus drei Schlussfolgerungen gezogen werden:

- In allen Raumkategorien werden kürzere Distanzen mit einer deutlich geringeren Reisegeschwindigkeit bewältigt als längere Strecken. Die MID-Befragungsdaten reflektieren bei den abgefragten Wegezeiten die Tür-zu-Tür-Reisezeiten, d. h., es werden immer die Auf- und Abrüstzeiten bei der Pkw-Nutzung (Weg zum abgestellten Pkw, Ausfahrt aus Garage, Parksuchzeit etc.) mit einberechnet. Damit sind solche Zeiten bei der Erreichbarkeitsmodellierung zu berücksichtigen. Nur die Einbeziehung der reinen Pkw-Fahrzeit, d.h. der Annahme eines Starts bei laufendem Motor und Abstellmöglichkeit unmittelbar vor dem Ziel, würde diese Differenzierung der ermittelten Reisegeschwindigkeiten nach Distanzen nicht ermöglichen.
- Innerhalb aller Reisedistanzklassen sind Fahrten in höher verdichteten Bereichen langsamer als in geringer verdichteten. Die Siedlungsstruktur kann daher bei der Geschwindigkeitsattributierung eine wichtige Stellgröße sein.
- In allen untersuchten Konstellationen sind die Standardabweichungen vom Mittelwert sehr groß. Dies ist ein weiteres Indiz, dass es die „eine“ Reisezeit oder die „eine“ Geschwindigkeit nicht gibt. Bei Erreichbarkeitsmodellierungen ist daher zu kommunizieren, welche Verkehrssituation die Attributierung bestimmt hat. Im Idealfall sind mehrere Verkehrssituationen mit unterschiedlichen Belastungen des Straßennetzes in den digitalen Modellnetzen und damit in den Erreichbarkeitsanalysen zu modellieren.

5.6 Zwischenfazit zur Modellierung des Straßennetzes

Die hier zuvor dargelegte Analyse hatte zum Ziel, für die Erreichbarkeitsmodellierung im BBSR Aussagen zu geeigneten digitalen Straßennetzgrundlagen und zur realistischen Modellierung von Netzwiderständen im Straßennetz zu erzielen. Hierzu wurden zum einen zugängliche Straßennetzgrundlagen analysiert und zum anderen Netz- und Geschwindigkeitsdaten und -annahmen unterschiedlicher Netzmodelle systematisch untersucht. Durch Nutzbarmachung von Navigations- und Floating Car-Daten konnten die Annahmen und Ergebnisse von Modellen wie dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell, die auf regelbasierten Geschwindigkeitsannahmen basieren, mit vergleichbaren Modellansätzen sowie mit jenen Modellen verglichen werden, die auf Werten basieren, die in der Realität tatsächlich gemessen wurden.

Die Analyseergebnisse sind ebenso spannend wie ernüchternd. Allen Erreichbarkeitsmodellen liegen Annahmen über den betrachteten Netzzustand zugrunde. Diese Annahmen müssen in sich konsistent sein. In der Realität bestehen hinsichtlich der Erreichbarkeit im Straßennetz deutliche Unterschiede im Tages- und Wochenverlauf. Die Unterschiede zwischen einem belasteten und störungsfreien Netzzustand können hierbei groß sein. So reicht auf einzelnen Relationen die Reisezeit in den Spitzenstunden an das Doppelte der Reisezeit in den Nebenstunden heran. Der Verkehrsfluss ist störungsanfällig und unterliegt mitunter sehr großen Schwankungen.

Die Ergebnisse der regelbasierten Erreichbarkeitsmodelle zu den Reisezeiten auf ausgewählten Relationen und in ausgewählten Testräumen entsprechen in der Dimension denjenigen, die auf gemessenen Geschwindigkeiten basieren, insbesondere bewegen sie sich im Rahmen der für extreme Netzzustände (gestörtes Netz, freies Netz) festgestellten Spannweiten. Mit diesen Erreichbarkeitsmodellen, also auch mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell, werden realistische durchschnittliche Fahr- und Reisegeschwindigkeiten abgebildet.

Allerdings brachte der räumlich-zeitliche Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Erreichbarkeitsmodelle sowohl zwischen den regelbasierten als auch innerhalb der auf empirischen Daten basierenden Erreichbarkeitsmodelle gewisse Ausschläge in die eine oder andere Richtung zu Tage. Liefert ein Erreichbarkeitsmodell eine im Vergleich zu den übrigen Modellen überdurchschnittlich gute Erreichbarkeit auf einer Relation, so ist dies kein Garant dafür, dass dies im Vergleich für eine andere Relation auch gilt. Die Ergebnisse der Erreichbarkeitsmodelle untereinander zeigen kein homogenes Bild. Es wurden Abweichungen in beide Richtungen festgestellt, so dass ein durchdringendes Muster nicht erkennbar ist.

6 Integration des Öffentlichen Verkehrs

Im Erreichbarkeitsmodell des BBSR gibt es zwei Arten, den Öffentlichen Verkehr abzubilden. Zum einen besteht ein Schienennetzmodell für Deutschland und Europa, auf welches streckenbezogene Reisezeiten und Bedienungshäufigkeiten kodiert sind; Linieninformationen und fahrplangemäße Umsteigezeiten sind nicht vorhanden. Das Schienennetzmodell wird aber kaum noch genutzt. Der zweite, hauptsächlich benutzte Weg besteht in der Nutzung von extern bereitgestellten, fahrplanbasierten Reisezeitmatrizen für den Öffentlichen Verkehr, in dem dann neben dem Bahnverkehr auch Busse, Straßen-, Stadtbahnen etc. enthalten sind.

Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell hat somit für den gesamten Öffentlichen Verkehr keine eigene Verkehrsnetzdatenbasis als Grundlage. Die aktuelle Modellierung basiert auf vorberechneten Reisezeitmatrizen, die vordefiniert von einem kommerziellen Unternehmen in regelmäßigen Abständen hinzugekauft werden. Dabei werden in den Reisezeitmatrizen als Fahrtenquellen zwar sämtliche ÖV-Haltepunkte in Deutschland (ca. 230.000) sowie 40.000 im benachbarten Ausland berücksichtigt, bei den Fahrtzielen jedoch nur ein begrenzter Satz an Zielorten. Bei der Abfrage im Jahr 2016 waren dies mit den Mittel- und Oberzentren, IC/ICE-Bahnhöfen und Flughäfen nur insgesamt 1.428 Ziele. Bei der aktuellsten Abfrage im Jahr 2018 wurde dieser Satz an Zielorten um Krankenhäuser der Schwerpunkt- und Maximalversorgung erweitert, so dass nunmehr 1.621 Ziele berücksichtigt werden. Im begrenzten Rahmen wären prinzipiell weitere Zielergänzungen möglich. Nicht realisierbar sind allerdings Auswertungen für vergangene Jahre für Zeitvergleiche.

Die ÖV-Matrizen enthalten für die vordefinierten Fahrtbeziehungen für einen am Vormittag auf vier Stunden Zeitkorridor beschränkten Ankunftszeitraum und einer maximalen Reisezeit von drei Stunden die kürzesten Reisezeiten mit dem Öffentlichen Verkehr sowie weitere Angaben wie Umsteigehäufigkeiten und die Anzahl möglicher Verbindungen im Suchzeitraum. Insgesamt hat die Quelle-Ziel-Matrix einen Umfang von etwa 30 Millionen Verbindungen (Pütz, 2017b).

Durch die Integration und die Vorgaben bei der Erstellung der Reisezeitmatrizen ist das BBSR-Erreichbarkeitsmodell für den Öffentlichen Verkehr in seinen Analysemöglichkeiten limitiert. Es ist im Vergleich zum Straßenverkehr bedeutend weniger flexibel. Dieses drückt sich insbesondere darin aus, dass mit Mittel- und Oberzentren, ICE/IC-Haltepunkten, Flughäfen und Krankenhäusern nur ein Ausschnitt der in der Regel in den straßenverkehrsbezogenen Erreichbarkeitsanalysen des BBSR benutzten Zielstandorte für die ÖV-Erreichbarkeit analysiert werden kann.

Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel Möglichkeiten einer flexibleren und zügigeren Nutzbarmachung und Integration von fahrplangenauen Reisezeiten für die Erreichbarkeitsmodellierung und -analyse des BBSR für den Öffentlichen Verkehr untersucht. Es wird konkret der Frage nachgegangen, wie die Analyse von Reisezeiten und Erreichbarkeiten des Öffentlichen Verkehrs in das bestehende BBSR-Erreichbarkeitsmodell integriert werden kann. Um sich vom Weg der extern bereitgestellten ÖV-Reisezeitmatrizen zu lösen, ist die eigenständige Erzeugung derartiger Matrizen im BBSR vonnöten. Dafür werden zunächst gängige Datenformate zur Abbildung der ÖPNV-Fahrpläne vorgestellt (Kapitel 6.1) sowie mögliche Bezugsquellen für Sollfahrplandaten (Kapitel 6.2) ausgewertet. Abschließend werden verschiedene Ansätze zur Integration digitaler Sollfahrplandaten in die Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR unter besonderer Berücksichtigung ihrer technischen, finanziellen und personellen Implikationen diskutiert (Kapitel 6.3).

6.1 ÖV-Datenformate

Zur Abbildung der Straßennetze in digitalen Netzmodellen für die Erreichbarkeitsmodellierung reichen in der Regel Geometrien und Attribute zur Typologie und Charakteristika der einzelnen Streckenabschnitte. In der klassischen Erreichbarkeitsmodellierung des Öffentlichen Verkehrs, insbesondere wenn dies auf den Bahnverkehr beschränkt ist, wurden häufig auch nur typische Geschwindigkeiten oder aus Fahrplänen abgeleitete Reisezeiten und ggf. Bedienungshäufigkeiten auf den Streckenabschnitten abgelegt. Hiermit wurden zumeist nur einfache Erreichbarkeiten, häufig nur im Fernverkehr der Bahn ermittelt. Umsteigebeziehungen wurden dabei geschätzt. Mit der Verbreitung von

digitalen ÖV-Fahrplanauskunftssystemen wächst aber auch der Bedarf, fahrplanscharfe Erreichbarkeiten zu ermitteln. Die Abbildung von Fahrplänen des Öffentlichen Verkehrs in digitaler Form ist jedoch wesentlich komplexer als die Abbildung von Straßennetzen.

In Deutschland haben sich zahlreiche Systemanbieter von Planungssoftware im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs am Markt etabliert. Je nach Anwendungszweck unterstützen deren Produkte die Betriebsüberwachung und Steuerung, die Fahr- und Personalplanung, die Statistik und Fahrgastzählung oder die Fahrgastinformation und Fahrplanauskunft. Entsprechend unterschiedlich sind die ÖPNV-Datenmodelle, mit denen Liniennetze und Fahrpläne abgebildet werden.

Zur Erreichbarkeitsanalyse mit dem Öffentlichen Verkehr existieren keine hierfür optimierten ÖPNV-Datenmodelle. Stattdessen werden in der Regel offene Schnittstellenformate (VDV-452, DELFI, GTFS) oder die ÖPNV-Datenformate bekannter Fahrplanauskunftssysteme (z.B. HAFAS, EFA) genutzt. Üblicherweise sind diese in ihrer Struktur komplexer und mit deutlich mehr Informationsinhalten belegt als dies für die bloße Modellierung von Erreichbarkeit notwendig wäre. Für die Erstellung von Reisezeitmatrizen wäre eine Abbildung des Liniennetzes im Sollfahrplan mit geokodierten Haltestellen im Prinzip ausreichend.

Im Folgenden werden die wichtigsten ÖV-Datenformate kurz vorgestellt:

DIVA/DINO

Die Mentz Datenverarbeitung GmbH vertreibt seit Ende der 1970er-Jahre ihr dialoggesteuertes Verkehrsmanagement- und Auskunftssystem DIVA. Seit 1985 wird die Elektronische Fahrplanauskunft (EFA) vermarktet. Beide Produkte werden weltweit von zahlreichen ÖV-Betreibern, Verkehrsverbünden und Behörden eingesetzt. Das proprietäre DIVA-Austauschformat gewährleistet die Übertragung von Haltestellen- und Fahrplandaten zwischen Softwaremodulen. Allerdings ist für dieses herstellerspezifische Datenformat eine öffentliche Dokumentation nicht vorgesehen (Kaufmann, 2014). Jedoch ermöglichen (teils kostenpflichtige) Schnittstellenmodule den Export der Daten in andere ÖV-Datenformate, zum Beispiel nach Transmodel (Europäisches Referenzdatenmodell für den Öffentlichen Verkehr, EN12896) oder VDV-452.

Das bekannteste Austauschformat ist die öffentlich dokumentierte DINO-Schnittstelle. Die ASCII-Dateien haben die Notation <dateiname>.din. Die erste Zeile beinhaltet gemäß VDV-Standard jeweils den Tabellenheader. Sie baut auf dem VDV-Datenformat auf, wenngleich das Format in Details auch davon abweicht. Der Hauptunterschied zwischen dem DINO-Format und dem Standardformat VDV-452 liegt in der Modellierung der Fahrzeiten und Tagesarten. Eine detaillierte Beschreibung des DINO-Austauschformats findet sich bei MENTZ (2016).

HAFAS

Die HaCon Ingenieur GmbH, heute eine 100-prozentige Tochtergesellschaft der Siemens AG, entwickelte Ende der 1980er Jahre für die Deutsche Bundesbahn eine erste elektronische Fahrplanauskunft. Aus diesem leitet sich das noch heute von der Deutschen Bahn verwendete HaCon Fahrplan-Auskunfts-System (HAFAS) ab, das für europaweite Fahrplaninformationen von zahlreichen europäischen Eisenbahngesellschaften verwendet wird und als Online-Auskunftssystem in über 20 Ländern installiert ist.

Haltestellen- und Fahrplaninformationen werden im proprietären HAFAS-Rohdatenformat (HRDF) vorgehalten (HaCon, 2008). HRDF ist gut dokumentiert und kann de facto als deutscher Industriestandard bezeichnet werden. Die Daten werden in nach ISO-8859-1 kodierten Textdateien mit vordefiniertem Spaltenformat abgelegt. Zu den zwingend notwendigen Dateien zählen ein Haltestellenverzeichnis, die Koordinaten der Haltestellen, die Fahrplandaten (Fahrten mit An- und Abfahrtszeiten), die Gültigkeitsperiode der Fahrplandaten, Informationen über die Verkehrstage der Fahrten, Angaben zu den benutzten Verkehrsmitteln, Fußwege zwischen benachbarten Haltestellen und Festlegung von Haltestellengruppen und haltestellenbezogenen Umsteigezeiten. Weitere optionale Dateien (z.B. zu Prioritäten etc.) können die Datenbasis ergänzen.

VDV – Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

Anfang der 1990er-Jahre führten erste Initiativen der führenden Hersteller von Planungssoftware im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs zur Verbesserung der Interoperabilität zwischen den unterschiedlichen Softwareprodukten. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) veröffentlichte als Ergebnis der VDV-Schnittstelleninitiative die Schriftenserie VDV-45x, in der Standards für ein ÖPNV-Datenmodell definiert sind. Diese im deutschsprachigen Raum allgemein anerkannte Schriftenserie umfasst Festlegungen zu Dateiformaten für die Datenübertragung (VDV-451) sowie abgestimmte Standards zur Abbildung von Liniennetzen und Fahrplänen (VDV-452), Echtzeit-Fahrplandaten (VDV-453, VDV-454, VDV-459), Dienstplänen (VDV-455), Infrastrukturdaten (VDV 456) und automatischen Fahrgastzählsystemen (VDV-457, VDV-458).

Für den Datenaustausch von Liniennetzen und Fahrplänen ist ein qualifiziertes ASCII-Datenformat vorgesehen (siehe VDV, 1999; 2013). Die inhaltlichen Informationen werden in einer Gruppe mehrerer Dateien festgehalten. Jede Datei umfasst einen Header, einen Body mit Tabellenheader, Tabellenbody sowie Tabellentrailer und einen Trailer. Ein Datensatz besteht aus mehreren Datenfeldern, die durch Strichpunkte voneinander getrennt sind. Nach dem letzten Datenfeld eines Datensatzes folgt kein Feldtrennzeichen, sondern ein Zeilenumbruch. Alle Einträge beginnen mit einem aus drei Buchstaben bestehenden Deskriptor, der die Bedeutung der folgenden Zeilen angibt. Eine detaillierte Beschreibung des Datenformates mit Erläuterung und Beispielen findet sich unter https://www.vdv.de/oepnv-datenmodell.aspx:

DELFI – Durchgängige elektronische Fahrplaninformation

Ende der 1990er-Jahre wurde die erste Fassung der Durchgängigen elektronischen Fahrplaninformation (DELFI) entwickelt (Engelhardt und Schnittger, 2009). DELFI ist das Ergebnis der Zusammenarbeit von sechzehn Bundesländern, der Deutschen Bahn AG und fünf Systemherstellern. Mit DELFI wurden die regionalen Nahverkehrsauskunftssysteme der Bundesländer und die Fernverkehrsauskunft der DB AG in einem bundesweiten System zu einer integrierten Gesamtverbindungsinformation zusammengeführt. Die Integration der Haltestellen- und Fahrplandaten erfolgt über eine technische Austauschplattform mittels des Netzwerkprotokolls SOAP (Simple Object Access Protocol) und basiert auf einer XML-Schnittstelle. Das heißt, die Verbindungsauskunft wird nicht aus einem einheitlichen Datenpool, sondern über ein verteiltes System auf der Basis dezentral vorliegender regionaler Daten aus unterschiedlichen Fahrplanauskunftssystemen (z.B. EFA, EVA, HAFAS, GEOFOX) ermittelt. Die inhaltliche Qualität und zeitliche Performance sind daher an eine gut funktionierende Zusammenarbeit der Partner sowie an hochwertige, aktuelle Hard- und Softwareprodukte gebunden. Eine Grundlage bildete der Aufbau eines nationalen Haltestellenverzeichnisses. Eine Beschreibung der Delfi-Komponenten mit Erläuterung der XML-Schnittstelle findet sich unter https://www.delfi.de/bibliothek.

GTFS – General Transit Feed Specification

In den letzten Jahren hat sich die General Transit Feed Specification (GTFS) zum weltweiten Standardaustauschformat für Haltestellen- und Fahrplaninformationen entwickelt (Google, 2017). Seinen Ursprung hatte GTFS im Zuge der Integration von Nahverkehrsdaten in Google Maps mit der Entwicklung des Google Transit Trip Planners im Jahr 2005. Anders als in Europa hatte es in den Vereinigten Staaten bis dahin keine Standardisierungsbemühungen für Fahrplandaten gegeben, und es existierte auch kein einheitlicher Industriestandard. Diese Lücke füllte das öffentlich definierte GTFS, das sich rasant verbreitete und zum Standard für zahlreiche (Online-)Anwendungen im Bereich von Fahrplan- und Routeninformation wurde. Inzwischen veröffentlichen auch mehr und mehr deutsche Nahverkehrsverbünde und ÖPNV-Unternehmen in Open Data Lizenz ihre digitalen Fahrplandaten und Haltestellenkoordinaten im GTFS-Standard.

Das GTFS-Format besteht aus einer Sammlung von CSV-Textdateien im UTF-8-Format, die zu einer Zip-Datei zusammengeführt sind. Als Mindestanforderung muss diese Zip-Datei die Dateien agency.txt (Beschreibung der beteiligten ÖPNV-Unternehmen), stops.txt (ÖV-Haltestellen), routes.txt (ÖV-Linien), trips.txt (Fahrten), stop_times.txt

(Fahrplanzeiten) und calendar.txt (Bedienzeiträume) enthalten. Im Vergleich mit anderen Datenmodellen überzeugt GTFS durch vergleichsweise übersichtliche Datenstrukturen. Eine detaillierte Datenspezifikation mit Beispielen findet sich unter https://developers.google.com/transit/gtfs/.

6.2 ÖV-Datenquellen

Fahrplandaten werden der Allgemeinheit als Fahrpläne zugänglich gemacht und enthalten weder datenschutzrechtlich geschützte personenbezogene Daten noch Betriebsgeheimnisse. Das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in den Jahren 2009/2010 geförderte FoPS-Vorhaben „Eigentums- und Nutzungsrechte an Daten im ÖV“ hatte zum Ergebnis, dass nach Schöpfungshöhe und Investition der Schutzgrad von Daten zu bestimmen ist. Es zeigte sich, dass nur in Ausnahmefällen der Datenüberlassung ein Urheberschutz besteht. Fahrplandaten sind demnach als Werk, als Datenbankwerk oder durch Investitionsschutz nach EU-Direktive bzw. Sui-Generis-Rechten in der Regel nicht urheberrechtlich geschützt. Da so in den meisten Fällen von keinem besonderen Rechtsschutz für Fahrplandaten auszugehen ist, wird der Datenaustausch zwischen Aufgabenträger, Verkehrsunternehmen, Serviceunternehmen etc. regelmäßig durch Datenüberlassungsverträge oder aufgrund von Lizenzbestimmungen geregelt.

Eine besondere Herausforderung für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR für den Öffentlichen Verkehr besteht darin, dass digitale Soll-Fahrplandaten inklusive der Haltestellenkoordinaten benötigt werden, die das gesamte Bundesgebiet flächendeckend und vollständig abdecken. Ein zuverlässiger Anbieter war die Deutsche Bahn AG, die neben bundesweiten und sogar grenzübergreifenden Fahrplaninformationen auch historische Fahrplandaten im HAFAS-Rohdatenformat (HRDF) anbietet. Aufgrund der derzeitigen von Unsicherheit geprägten Rechtslage in Bezug auf die Überlassung von Daten werden aktuell (Stand Juli 2018) nur DB-eigene Daten weitergegeben. Für die nicht DB-eigenen Fahrplandaten wird eine Freigabe durch die Dateninhaber (Aufgabenträger/Verbund) verlangt. Solche Nutzungsfreigaben dürften wohl für das BBSR als Bundesbehörde realisierbar sein, aber bei über 120 Verkehrsverbünden auch einigen organisatorischen Aufwand erfordern. Endgültige Sicherheit besteht allerdings aktuell nicht.

In seiner jetzigen Form ist Open Data nur für Bundesbehörden gültig, nicht aber für Unternehmen, die zu 100 Prozent im Eigentum der öffentlichen Hand stehen. Dies trifft sowohl auf die Deutsche Bahn AG als auch auf die Verkehrsunternehmen und Verkehrsverbünde zu. Trotzdem werden in jüngerer Zeit auf freiwilliger Basis vermehrt Fahrplan- und Haltestellendaten als Open Data unter freier Lizenz angeboten. Während mit OpenStreetMap ein detailliertes und flächendeckendes Straßennetzdatenmodell schon seit Längerem unter der Open Database-Lizenz frei nutzbar zur Verfügung steht, stellen nur einige wenige Verkehrsunternehmen und -verbünde erst seit Kurzem ihre Fahrplan- und Haltestellendaten zur freien Nutzung ins Internet. Die entsprechenden ÖV-Daten unterliegen zumeist Open Data-Lizenzbedingungen, die das entgeltlose Nutzen, Teilen und Bearbeiten der Daten für beliebige Zwecke unter der Bedingung erlauben, dass der Urheber des Werks genannt wird (z.B. DL DE BY 2.0, CC BY 4.0).

Aufgrund rechtlicher und unternehmerischer Vorbehalte ist die räumliche Abdeckung frei verfügbarer ÖV-Daten noch lückenhaft und für eine bundesweite Erreichbarkeitsmodellierung aktuell unzureichend. Aber auch in Deutschland steigt die Zahl öffentlich verfügbarer Fahrplan- und Haltestellendaten in nutzbaren Datenformaten stetig an. Die Verkehrsunternehmen versprechen sich von der Bereitstellung ihrer Fahrplan- und Haltestellendaten eine bessere Vernetzung ihrer Mobilitätsangebote und einen besseren Zugang ihrer Kundinnen und Kunden zum ÖPNV.

Den Anfang mit der öffentlichen Verfügbarmachung in Deutschland machte der Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB), der seine Fahrplandaten im Jahr 2012 der Allgemeinheit als Open Data freigegeben hat. Die DB Fernverkehr AG stellt seit dem Jahr 2016 die Soll-Fahrplandaten des Fernverkehrs aus dem Gesamtdatensystem von www.bahn.de zur Verfügung. Seit Mitte 2018 stellen der Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR), der Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), der Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB), der Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS), der Hamburger Verkehrsverbund (HVV) und der Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) ihre ÖV-Daten über die gemeinsame Plattform www.opendata-oepnv.de zur Verfügung. Das Portal soll sowohl dem Austausch zwischen Verbünden und ÖPNV-Nutzern als auch dem Dialog mit Entwicklern und Unternehmen dienen, die daran mit-

Tabelle 6.1: Öffentlich verfügbare Fahrplan- und Haltestellendaten (Stand: September 2018)

Verkehrsunternehmen/Verbund	Lizenzmodell	Datenformat
Aachener Verkehrsverbund GmbH	CC0	GTFS, HRDF
Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg GmbH	CC BY 3.0 DE	GTFS
Connect Fahrplanauskunft GmbH der Länder Niedersachsen und Bremen	Proprietäre Nutzungsvereinbarung, Zugriff muss beantragt werden	GTFS
DB Fernverkehr AG	CC BY 4.0	GTFS, inoffiziell
DB Regio AG, S-Bahn Stuttgart	CC BY 4.0	GTFS
Hamburger Verkehrsverbund	DL DE BY 2.0	GTFS
Leipziger Verkehrsbetriebe	DL DE BY 2.0	GTFS
Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (derzeit nur MVV-Regionalbusse verfügbar)	CC BY 4.0	GTFS
Verkehrsverbund Großraum Nürnberg	CC BY 3.0 DE	GTFS
Rhein-Neckar-Verkehr GmbH	DL DE BY 2.0	GTFS
Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH	DL DE BY 2.0, Zugriff muss beantragt werden	VDV-452
Verkehrsverbund Rhein-Ruhr AöR	CC BY 4.0	DINO
Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH	CC BY 4.0	GTFS
Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart	CC BY 4.0	GTFS
Verkehrsverbund Region Trier GmbH	DL DE BY 2.0, Zugriff muss beantragt werden	VDV-452
SWU Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm GmbH	ODbL 1.0, Zugriff muss beantragt werden	GTFS

wirken, die Angebote des öffentlichen Nahverkehrs zu optimieren. Flächendeckende Fahrplan- und Haltestellendaten werden dort derzeit vom VRR, VBB und VVS angeboten, die Daten weiterer Verbünde sind zur Veröffentlichung angekündigt. Eine Übersicht von Fahrplan- und Haltestellendaten, die nach eigenen Recherchen im September 2018 öffentlich verfügbar waren, zeigt Tabelle 6.1.

Ob und wann in Deutschland Fahrplan- und Haltestellendaten unter einer Open Data-Lizenz bundesweit flächendeckend zur Verfügung stehen, ist offen. Die Tendenz zielt allerdings klar in diese Richtung. Auch werden in einigen Nachbarländern wie zum Beispiel in Frankreich, der Schweiz oder den Niederlanden bereits heute national integrierte Fahrplan- und Haltestellendaten unentgeltlich als Open Data angeboten, insbesondere im GTFS-Format.

6.3 Optionen der Integration von ÖV-Daten

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR für den Öffentlichen Verkehr sind umso flexibler hinsichtlich Nutzungsmöglichkeiten und Analysepotenziale, je unabhängiger die Datenbasis von vorab definierten und durch Externe bereitgestellten Reisezeitenmatrizen ist. Besonders förderlich wären daher eine direkte und schnelle Integration und Nutzbarmachung von ÖV-Daten in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell mit Berechnungsoptionen, die über Parametereinstellungen unmittelbar und umfassend steuerbar sind.

Ein Zurückgreifen auf Standardmodule von ArcGIS oder auf andere GIS-basierte Module zur Integration von ÖV-Daten in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell ist dabei nicht zweckmäßig. Angesichts der zu verarbeitenden Datenvolumina übersteigt es die in der Regel vorhandenen Verarbeitungs- und Rechenkapazitäten. Entsprechende GIS-Module

und Softwareprodukte wie zum Beispiel der NetworkAnalyst, Citilabs, MobiAnalyst, OpenTripPlanner Analyst oder Traffic Analyst sind noch am ehesten für die Berechnung von Isochronen, das heißt die Berechnung der Erreichbarkeit für nur einen Quell- oder Zielort, und die Visualisierung von ÖV-Daten einsetzbar.

Für die direkte Integration von ÖV-Daten in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell stehen grundsätzlich zwei realisierbare Optionen zur Verfügung. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Optionen ist konzeptioneller Natur. In der ersten Option würden, analog zum bisher praktizierten Verfahren, Reisezeiten zwischen vordefinierten Quell- und Zielpunkten abgefragt und integriert, allerdings in diesem Fall unter der vollständigen Kontrolle des BBSR. In der zweiten Option würden zunächst die Fahrplandaten abgerufen und dann hausintern entsprechend der Anforderungen der anstehenden Erreichbarkeitsanalysen weiterverarbeitet. Die beiden Optionen unterscheiden sich aber auch hinsichtlich ihrer organisatorischen oder technischen Komplexität, der Selbstbestimmtheit sowie ihrer personellen und finanziellen Implikationen.

6.3.1 Abfrage von Fahrplanauskunftssystemen

Ein erster Ansatz zur Integration von ÖV-Daten wäre der direkte Zugriff auf die Fahrplandaten aus den Fahrplanauskunftssystemen. Mit der Durchgängigen elektronischen Fahrplaninformation (DELFI) ist ein bundesweites System zur Fahrplanauskunft entstanden, das in öffentlicher Hand liegt. Durch die DELFI-Konvention wird das System organisatorisch und strategisch vom Bund und den Ländern gemeinsam getragen. Für den Zugriff auf die Fahrplaninformationen müssten entsprechende rechtlich und ggf. technische (Schnittstellen, Server etc.) Vereinbarungen getroffen werden.

Zwar sind Fahrplanauskunftssysteme nicht speziell auf die Abfrage von Matrizen ausgelegt, sondern auf Abfragen von einzelnen Relationen fokussiert, dennoch ist die Abfrage von Reisezeitmatrizen durch eine Abfolge von zahlreichen relationsbezogenen Einzelabfragen möglich. Dies könnte durch eine Anwendungssoftware gesteuert werden, die die relationsbezogenen Reisezeiten über das DELFI-System abfragt und zu einer Matrix zusammenfügt.

Eine hierfür zu programmierende Anwendungssoftware könnte auf die speziellen Erfordernisse des BBSR zugeschnitten sein. Eine Steuerung wäre durch Parametereingaben und Randbedingungen (z.B. zu den Fahrtenquellen und -zielen, den Untersuchungstagen, der maximalen Reisedauer, der maximalen Anzahl von Umstiegen usw.) realisierbar. Mit entsprechenden Ausgabemodulen wäre die Integration der Ergebnisdaten in das bestehende BBSR-Erreichbarkeitsmodell umsetzbar.

Für die Erstellung bundesweiter Reisezeitenmatrizen, die in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell integrierbar sind, wäre ein mehrstündiger oder gar mehrtägiger Zeitaufwand vonnöten und vermutlich hinnehmbar. Angesichts von Abfragedauern von bis zu 6 Sekunden für einzelne Relationen wären hierfür allerdings umfangreiche Optimierungen bei der Systemarchitektur und der parallelen Verarbeitung von Suchabfragen notwendig. Für die Programmierung der Anwendungssoftware und ggf. für eine serverseitige Unterstützung wären Investitionskosten im höheren fünfstelligen Bereich und eher niedrige laufende Kosten anzurechnen. Der Personaleinsatz dürfte sich nicht wesentlich erhöhen. Datenmanagement und -pflege verblieben in der Hand der Betreiber der regionalen elektronischen Fahrgastinformationssysteme. Die größten Hürden liegen bei diesem Ansatz in der organisatorischen Einbindung und in der technischen Implementierung.

6.3.2 Interne Verarbeitung von Fahrplaninformationen

Ein anderer Ansatz zur Integration von ÖV-Fahrplandaten läge in der Generierung von Reisezeitmatrizen auf der Grundlage von Fahrplan- und Haltestellendaten beim BBSR selbst. Zur Anwendung könnte entweder eine proprietäre Software zur Generierung von ÖV-Reisezeitenmatrizen (z. B. PTV Visum) kommen oder es müsste eine auf die Erfordernisse des BBSR ausgerichtete Spezialsoftware entwickelt werden, dies vermutlich von einem externen Dienstleister.

Diese Software müsste aus mehreren Modulen bestehen. Über ein Benutzer-Interface wären zur Generierung der Reisezeitmatrizen das Festlegen der Ein- sowie Ausgabedaten und eine individuelle Bestimmung der Parametereinstellungen

stellungen und Randbedingungen (Untersuchungstag(e), Untersuchungszeit, maximale Reisedauer, maximale Anzahl von Umstiegen, Gehgeschwindigkeit, usw.) möglich. Mit einem Schnittstellenmodul, das ggf. mit einem GIS gekoppelt wäre, ließen sich vorliegende Inputdatenbestände (Fahrplan- und Haltestellendaten, ggf. auch Fahrtenquellen und -ziele) einlesen und verarbeiten. Den Kern der Spezialsoftware bildet ein effizienter Routensuchalgorithmus, mit dem die kürzesten Reisezeiten fahrplangenau und schnell ermittelt werden können. Das Ausgabemodul ermöglicht die Speicherung der Reisezeitenmatrizen und ggf. auch die Konvertierung der Fahrplan- und Haltestellendaten in ein benutzerdefiniertes Datenformat, das das BBSR-Erreichbarkeitsmodell direkt weiterverarbeiten kann. Haltestellen, Liniennetze und sogar einzelne Fahrten wären im GIS visualisierbar und nachprüfbar.

Der Einsatz eines separaten Softwareprogramms zur Verarbeitung von Fahrplan- und Haltestellendaten und zur Generierung von Reisezeitenmatrizen ist ein Ansatz, der bei regionalen Erreichbarkeitsmodellen regelmäßig angewandt wird. Der wesentliche Vorteil dieser Option ist, dass eine auf die Erfordernisse des BBSR ausgerichtete und anpassbare Spezialsoftware entwickelt würde, die vollständig in der Hand der Anwender der Erreichbarkeitsanalysen wäre. Hinsichtlich des Datenzugriffs und der Datenverarbeitung bestände maximale Flexibilität. Durch die Visualisierung der Fahrplan- und Haltestellendaten können Datenlücken und -fehler zügig identifiziert werden, so dass eine gute Qualität der Erreichbarkeitsanalysen für den Öffentlichen Verkehr gewährleistet werden kann. Zudem könnte das Softwarepaket durch ein Modul ergänzt werden, mit dem Fahrplandaten eingefügt oder modifiziert werden können, so dass durch die Modifikation der Fahrplandaten eigene Angebotsszenarien berechnet werden könnten.

Eine besondere Herausforderung stellt allerdings die Beschaffung der zu integrierenden Fahrplan- und Haltestellendaten dar, die für das BBSR-Erreichbarkeitsmodell in der Regel vollständig und flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet vorliegen sollten. In den Abschnitten zuvor wurden mögliche Datenquellen und Anbieter bereits aufgeführt. Kurzfristig erscheint der erfolgversprechendste Weg die zentrale Beschaffung von HAFAS-Fahrplandaten über die Deutsche Bahn AG zu sein. Dieser Weg mit der Deutschen Bahn AG als einen zuverlässigen Datenanbieter ist in der Vergangenheit bereits mehrfach erprobt. Ein anderer Lösungsansatz liegt in einer Zusammenarbeit mit den DELFI-Partnern. Die DELFI-Datenschnittstelle wird vom Bund, den Bundesländern, der Deutschen Bahn AG und Verkehrsverbünden unterstützt. Sie könnten einen direkten Zugriff auf die regionalen ÖV-Daten ermöglichen. In beiden Fällen wären entsprechende Datennutzungsvereinbarungen zu treffen.

Die zunehmende Bereitstellung von ÖV-Daten wird augenblicklich über entsprechende politische und bürgerschaftliche Initiativen forciert, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich das Open Data-Modell bei ÖV-Daten bundesweit durchsetzen wird. Bereits heute liegen für die Bundesländer Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Berlin und Brandenburg flächendeckende und beispielsweise für NRW großräumige ÖV-Daten im GTFS-Format frei verfügbar vor. Die Nutzung von Open Data mittel- oder langfristig bildet daher eine weitere realisierbare und zweckmäßige Option.

Auch für diese Option liegen die größten Barrieren in der Entwicklung des neuen Softwarepakets und in der Organisation der Datenbeschaffung. Für die Programmierung dürften Investitionskosten im höheren fünfstelligen Bereich zu veranschlagen sein. Softwarewartung und Datenbeschaffung dürften hingegen eher niedrige laufende Kosten verursachen. Da das BBSR für die Beschaffung und Verwaltung der ÖV-Daten zuständig wäre, ist der zu erwartende deutliche Zugewinn an Flexibilität mit einem moderaten höheren Personaleinsatz verbunden.

7 Ziele der Erreichbarkeitsmodellierung

Dieses Kapitel widmet sich den Zielen der Erreichbarkeitsmodellierung aus verschiedenen Blickwinkeln. Zunächst werden nach raum-, verkehrs- und zeitstrukturellen Merkmalen Nutzerpräferenzen und das realisierte Zielwahl- und Verkehrsverhalten untersucht (Kapitel 7.1). Darauf aufsetzend findet eine Diskussion zur Relevanz und Definition einzelner Ziele für die Erreichbarkeitsmodellierung im Personen- sowie Wirtschafts- und Güterverkehr statt (Kapitel 7.2). Anschließend wird den methodischen Fragen nachgegangen, unter welchen Bedingungen Ziele räumlich aggregiert werden können, wie mit räumlich besonders strukturierten Teilräumen umzugehen ist und wann in der Modellierung ein Zielort als erreicht eingestuft werden kann (Kapitel 7.3). Abschließend folgt eine Diskussion über zutreffende Erreichbarkeitsmindeststandards und Schwellenwerte (Kapitel 7.4).

7.1 Zielwahl und Nutzerpräferenzen

Im Kern dieser Untersuchung stehen folgende Fragen: Welche Zielaktivitäten werden wann und wie oft ausgeübt, welche Reisezeiten und -entfernungen werden zur Zielerreichung überwunden, und welche Verkehrsmittel werden dabei genutzt? Zunächst wird der methodische Untersuchungsansatz erläutert und danach wird auf die Ergebnisse eingegangen.

Der Bezug der Verkehrsverhaltensforschung zu Erreichbarkeiten liegt im Wesentlichen auf zwei Ebenen. Zum einen lassen sich Erreichbarkeiten indirekt aus dem realisierten Verkehrsverhalten interpretieren. Zum anderen werden Erreichbarkeiten als Einflussgrößen des Verkehrsverhaltens untersucht. Hier steht vor allem der erste Punkt im Focus.

Zur Abbildung von Erreichbarkeiten sind unterschiedliche Indikatoren des Verkehrsverhaltens geeignet – allerdings jeweils mit Einschränkungen. Der gängigste Indikator ist die aufgewendete Reisezeit (je Weg oder je Zeiteinheit). Geringere Reisezeit wird dabei als höhere Erreichbarkeit interpretiert. Ähnliches gilt für die zurückgelegte Distanz, wobei hier nach Verkehrsmitteln zu differenzieren ist, weil der Aufwand an Zeit bei einer gegebenen Distanz von der erzielten Geschwindigkeit und damit vom Verkehrsmittel abhängt.

Deshalb wurden nach Aktivitäten, Verkehrsmittel, Raumtyp und Zielortkategorie differenziert eine Synopse der Literatur zu den Themen Verkehrsverhalten und Nutzerpräferenzen vorgenommen sowie die Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD) aus dem Jahr 2008[2] ausgewertet. Da ein Weg nicht immer zweifelsfrei einem Zweck zugeordnet werden kann, war zunächst allerdings noch eine umfangreiche Aufbereitung der Daten von MiD erforderlich (Scheiner u.a., 2011). Diese resultiert in einer ähnlichen Häufigkeitsverteilung von Wegen wie in Verkehr in Zahlen ausgewiesen (Scheiner, 2018b). Im Folgenden werden die Ergebnisse der Querauswertung vorhandener Literatur und der Analysen von MiD zusammengefasst dargestellt.

Zur Abschätzung der Bedeutung unterschiedlicher Ziele in Erreichbarkeitsmodellen lässt sich zunächst die mengenmäßige Bedeutung verschiedener Aktivitäten heranziehen (Tabelle 7.1). Nach MiD 2008 ist die Freizeit der bedeutendste Verkehrszweck, gefolgt vom Einkauf. Nimmt man Einkäufe und private Erledigungen zusammen, liegen die entsprechenden Wege mit der Freizeit gleichauf. Diese Aktivitäten scheinen darüber hinaus im Zeitverlauf zuzunehmen (Follmer u. a., 2010, S. 118), was möglicherweise aber auf Methodeneffekte zurückzuführen ist.

Legt man die zurückgelegten Distanzen zugrunde, zeigen sich etwas andere Gewichte. Dann haben Freizeitwege eine noch höhere Bedeutung (40 %), aber auch Berufswege (21 %) und Geschäftswege (12 %) gewinnen aufgrund überdurchschnittlich langer Wege an Bedeutung. Freizeitwege sind im Mittel 14 km lang, Berufswege 18 km, und Geschäftswege 20 km. Dies sind gleichzeitig auch diejenigen Aktivitäten, für die die höchsten Zeitaufwände in Kauf genommen werden (Tabelle 7.1).

[2] Aktuelle Daten der MiD 2017 lagen zum Zeitpunkt der Analyse nicht vor.

Tabelle 7.1: Wegeanzahl, mittlere Wegedauer und Wegelänge nach Aktivitätsarten

Aktivitätsart	Wegeanzahl	Dauer	Distanz	Dauer ≥ 45 Min.	Distanz ≥ 50 km
Arbeit	14 %	26,1 Min.	17,2 km	16,3 %	6,4 %
Dienst, Geschäft	7 %	46,2 Min.	41,3 km	26,5 %	17,1 %
Ausbildung	6 %	22,8 Min.	8,3 km	13,1 %	2,3 %
Einkauf	21 %	15,3 Min.	6,1 km	5,1 %	1,2 %
Erledigung	12 %	20,1 Min.	9,3 km	9,5 %	2,6 %
Begleitung	8 %	16,0 Min.	8,8 km	5,4 %	2,7 %
Freizeit	32 %	33,5 Min.	15,7 km	21,6 %	4,9 %
Insgesamt	100 %	24,7 Min.	12,3 km	13,8 %	3,8 %

Daten: MiD 2008. Ergebnisse beruhen auf Selbstberichten der Befragten.

Aufgrund der starken Streuung der Wegedauern und Distanzen wird zusätzlich der Anteil „langer" Wege (nach Dauer bzw. Distanz) ausgewiesen. Auffallend ist, dass bei Geschäftswegen gegenüber Arbeitswegen sich vor allem die Distanzen stark abheben, weniger die Dauer. Dies ist auf die höheren erzielten Geschwindigkeiten vor allem bei den längeren Geschäftswegen zurückzuführen. Umgekehrt ist es bei Ausbildungswegen (einschließlich Wegen zur Schule). Aufgrund des hohen Anteils an Kindern und Jugendlichen und – damit verbunden – relativ geringer Pkw-Nutzung liegen zwar die Distanzen der Ausbildungswege deutlich unter dem Durchschnitt, die Wegedauern jedoch nur knapp.

Aus einer Vielzahl von Beobachtungen ist bekannt, dass die zurückgelegten Pendeldistanzen im Zeitverlauf länger werden (Guth, 2014; Scheiner u.a., 2011; DGB, 2016), das Binnenpendeln innerhalb einer Gemeinde abnimmt (Einig und Pütz, 2007; Guth, 2014; Galvin und Madlener, 2014; Holz-Rau und Scheiner, 2016) und das Fern- bzw. Wochenendpendeln zunimmt. In jüngster Vergangenheit scheinen die durchschnittlichen Pendeldistanzen allerdings zu stagnieren (Pütz, 2015).

Das Binnenpendeln innerhalb einer Gemeinde hat in den vergangenen Jahrzehnten stark abgenommen, und zwar sowohl zugunsten des Einpendeln in die großen Zentren als auch des Auspendelns aus Großstädten; letzteres hat in jüngerer Zeit besonders stark zugenommen (Holz-Rau und Scheiner, 2016). Vom klassischen Muster der Wohnsuburbanisierung (Wohnen im Umland, Arbeiten im Zentrum) haben sich die regionalen Pendlerströme bereits in den 1980er und 1990er Jahren gelöst. Das dominierende Einpendeln in das Zentrum ist dabei nicht etwa abgelöst, sondern ergänzt worden durch komplexe, disperse Ströme auf tangentialen Netzabschnitten im Umland der Städte, wo zunehmend Arbeitsmarktzentren entstanden sind. Diese besitzen sehr unterschiedliche Charakter und reichen von produktions- und logistikorientierten Standorten (Kamener Kreuz) bis zu hochspezialisierten, global orientierten Agglomerationen (Eschborn, Flughafen Frankfurt). Hinzu tritt das Wachstum von in der zentralörtlichen Hierarchie abwärts gerichteten Strömen ("counter-commuting"). So hat sich der Anteil der Erwerbstätigen, die in Agglomerationskernen wohnen, aber in kleinen Umlandgemeinden arbeiten im Zeitraum 1970-2007 von 2,6 % auf 14,2 % mehr als verfünffacht. Umgekehrt hat sich der Anteil der Pendler in den Agglomerationskern unter den Erwerbstätigen, die in kleinen Umlandgemeinden wohnen, von 68 % auf 33 % halbiert (alte Bundesländer, Guth, 2014, Tabellenband S. 61).

Zur Entwicklung der Zielortwahl beim Berufspendeln liefert Guth (2014) umfangreiche Analysen. Anhand der acht größten Verdichtungsräume der alten Bundesländer untersucht er die Entwicklung von räumlichen Strukturen und Pendeln im Zeitraum 1970 bis 2007[3]:

- In allen Regionen verlieren die Agglomerationskerne anteilig an Bevölkerung und Arbeitsplätzen. In polyzentralen Regionen gilt dies analog auch für „Nebenkerne" (Städte > 100.000 Einwohner, nicht Agglomerationskern). Dies kommt den weiteren Gemeinden im Umland zugute. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums schwächt sich der Suburbanisierungsprozess ab.

[3] Ergänzend betrachtet er die drei größten Verdichtungsräume der neuen Bundesländer 1999 und 2007. Dies ist aufgrund des begrenzten Betrachtungszeitraums sowie nur zwei Beobachtungszeitpunkten weniger aufschlussreich.

Tabelle 7.2: Zielortwahl beim intraregionalen Pendeln in den acht größten Agglomerationsräumen (alte Bundesländer)

Arbeitsort	Wohnort					
	Agglomerationskern		Weitere Kernstadt (> 100.000 EW)		Sonstige Umlandgemeinde	
	1970	2007	1970	2007	1970	2007
Wohnort (Binnenpendler)	95,4	79,5	87,8	62,9	68,2	32,9
Agglomerationskern	0,3	1,3	4,5	11,6	9,9	16,6
Weitere Kernstadt	1,7	5,0	4,3	10,0	6,0	11,3
Sonstige Umlandgemeinde	2,6	14,2	3,4	15,6	15,9	39,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quelle: Guth (2014, Tabellenband, Tabelle 13.5). Daten: Volks- und Arbeitsstättenzählungen 1970 und 1987, Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit 1999 und 2007. Nur abhängig Beschäftigte

- Aufgrund abnehmender Funktionsmischung nimmt flächendeckend das Erfordernis zum Pendeln zu. Die tatsächliche Zunahme geht allerdings weit über die raumstrukturell bedingte Notwendigkeit hinaus. Dies gilt sowohl für die Anteile übergemeindlicher Pendler an allen Pendlern als auch für die mittleren Pendeldistanzen.
- In allen Gemeindetypen aller Verdichtungsräume sind sowohl Ein- als auch Auspendelintensitäten gravierend gestiegen. Demnach werden immer weniger Arbeitsplätze durch am Ort ansässige Erwerbstätige eingenommen.
- Parallel zur Abnahme des Binnenpendelns entwickelten sich komplexere Pendelverflechtungen. In den Agglomerationskernen wohnende Erwerbstätige pendelten zunehmend in sonstige Gemeinden, sowie in Nebenkerne (z.B. Köln -> Leverkusen). Die in Nebenkernen wohnenden Erwerbstätigen pendelten zunehmend ebenfalls vor allem in sonstige Gemeinden, aber auch in den Agglomerationskern oder in Nebenkerne. Die gleiche Entwicklung gilt für die in sonstigen Umlandgemeinden wohnenden Erwerbstätigen. Die stärksten Zuwachsraten – also die stärkste relative Entwicklung – finden sich jeweils zugunsten der sonstigen Umlandgemeinden als Zielorte.
- Dies bedeutet, dass ein immer größerer Teil der Pendelbewegungen zwischen Umlandgemeinden stattfindet. und aufgrund seiner Kleinteiligkeit kartografisch kaum darstellbar ist. Diese Ströme umfassen z.B. für Frankfurt/Rhein-Main 52 %, für Stuttgart 62 %, für München 44 % und für Hamburg 43 % der intraregionalen Pendelströme (Guth u. a., 2010). Tabelle 7.2 quantifiziert die Relationen für das Jahr 2007 und zum Vergleich für 1970.

Aus MiD lassen sich neben der ersten Grobübersicht in Tabelle 7.1 von zweckspezifischen Distanzen und Wegedauern auch detailliertere Subkategorien von Einkäufen, Erledigungen und Freizeitunternehmungen entnehmen (Tabelle 7.3). Die Werte verdeutlichen, dass für den täglichen Einkauf im Wesentlichen kurze Wege zurückgelegt werden, aber für den mittel- bis langfristigen Bedarf einschließlich Einkaufsbummel durchaus auch höhere Distanz- und Zeitaufwände in Kauf genommen werden. Unter den Erledigungen ist dies ähnlich – häufige Aktivitäten (Post, Geldautomat…) sind mit kurzen Wegen verbunden, seltenere Unternehmungen eher mit Wegen mittlerer Länge.

Auch die Freizeitaktivitäten sind sehr ausdifferenziert. Häufige Aktivitäten (z.B. Hund ausführen) sowie Aktivitäten, die typischerweise überdurchschnittlich häufig von Kindern und Jugendlichen (Spielplatz, Jobben, Jugendfreizeitheim) oder von älteren Menschen (Kirche, Friedhof) genannt werden, sind mit kurzen Wegen verbunden. Für Gastronomiebesuche oder Sportaktivitäten werden bereits etwas längere Wege zurückgelegt (< 10 km). Bei spezialisierteren Aktivitäten (Weiterbildung, Kultur) liegen die mittleren Distanzen bereits über 10 km. Auch für private Besuche werden im Mittel längere Wege akzeptiert. Hier lässt sich eine besonders große Varianz vermuten (Besuche im näheren Umfeld, aber auch interregional); diese große Streuung ist aber auch bei vielen anderen Freizeitaktivitäten gegeben. Spaziergänge sind – vielleicht unerwartet – dabei mit mittleren Distanzen verbunden; dies liegt daran, dass sie in den Daten mit Spazierfahrten zusammengefasst sind. Besonders lange Wege treten, wie erwartet, bei Ausflügen bzw. Kurzreisen auf.

Die Zielwahl und der Verkehr unterliegen starken rhythmischen Variationen im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf. Typisch für den Tagesverlauf an Werktagen sind eine ausgeprägte Morgens- und Nachmittagsspitze (ca. 7 Uhr und 15-17 Uhr, jeweils Zeiten des Wegebeginns). Diese wird morgens durch Berufs- und Ausbildungswege verursacht, nachmittags durch eine Überlagerung von Berufs-, Ausbildungs-, Einkaufs- und Freizeitwegen (Follmer u. a., 2010, 134ff). Die Samstage sind durch eine spätere Morgenspitze (ca. 10 Uhr) und einen breiten, zum Abend hin langsam

Tabelle 7.3: Mittlere Wegedauer und Wegelänge für Einkäufe, Erledigungen und Freizeit nach Subkategorien und Wochentagtyp

Aktivität	Alle Tage		Mo-Fr		Wochenende	
	Dauer [min]	Distanz [km]	Dauer [min]	Distanz [km]	Dauer [min]	Distanz [km]
Einkauf						
Täglicher Bedarf (z.B. Lebensmittel, Tanken etc.)	12,3	4,4	12,5	4,5	11,4	3,7
Sonstige Waren	20,9	11,8	19,8	10,3	24,3	16,0
Einkaufsbummel	33,7	11,6	32,2	10,2	37,2	14,8
Sonstiger Einkaufszweck	16,3	7,1	16,4	6,8	16,1	8,1
Erledigung						
Behörde, Bank, Post, Geldautomat	13,8	3,6	14,0	3,7	12,0	3,1
Arztbesuch	19,8	7,6	19,8	7,5	*23,9*	*12,8*
Betreuung anderer Personen	17,3	7,7	18,8	7,0	*14,6*	*9,1*
Private Erledigung für andere Person	19,0	9,8	17,5	7,5	22,6	14,8
Dienstleistungen (z.B. Friseur, Schuster etc.)	17,5	10,8	17,1	10,7	19,9	11,5
Sonstiger privater Erledigungszweck	20,1	13,8	20,2	14,5	19,9	11,6
Freizeit						
Hund ausführen	39,3	3,9	39,4	3,6	39,2	4,4
Jugendfreizeitheim etc.	18,1	3,7	*16,1*	*3,4*	*25,7*	*4,8*
Spielplatz, Spielen auf der Straße etc.	36,1	2,9	35,5	1,8	37,1	5,0
Kirche, Friedhof	15,4	5,1	16,3	5,7	14,7	4,5
Ehrenamt, Verein, politische Aktivitäten	18,7	5,8	16,9	5,7	23,9	6,0
Jobben in der Freizeit gegen Entgelt	28,7	6,1	26,4	6,3	*36,6*	*5,7*
Begleitung von Kindern (Spielplatz etc.)	20,0	7,0	16,7	4,1	29,0	14,7
Hobby (z.B. Musizieren)	18,8	8,0	17,5	6,8	25,1	14,0
Schrebergarten, Wochenendhaus	20,2	5,7	19,4	6,0	21,7	5,2
Laufen, Joggen, Inlineskating etc.	49,4	8,2	47,2	7,4	54,3	9,7
Spaziergang, Spazierfahrt	68,9	10,3	65,6	8,3	72,6	12,6
Sport (selbst aktiv)	20,7	9,5	18,8	8,1	26,7	14,0
Gastronomiebesuch	19,5	9,4	17,2	7,6	23,3	12,4
Privater Besuch/Treffen	22,8	14,6	21,7	13,1	24,7	17,1
Weiterbildung	24,7	13,0	24,2	12,0	*28,7*	*21,1*
Besuch kultureller Einrichtung	32,5	17,1	30,7	14,6	35,0	20,5
Veranstaltungsbesuch (z.B. Fußballspiel, Markt)	28,3	17,0	28,5	15,3	28,1	18,1
Tagesausflug, mehrtägiger Ausflug	117,3	109,1	119,8	116,5	114,1	100,0
Sonstiger Freizeitzweck	32,0	18,9	27,7	16,8	38,0	22,0

Datengrundlage: MiD 2008. Ergebnisse beruhen auf Selbstberichten der Befragten. Kursiv: n<100

nachlassenden „Nachmittagsbuckel“ aus Einkaufs- und Freizeitwegen geprägt. Dieser hat sich in den letzten Jahrzehnten durch die Liberalisierung von Betriebs- und Öffnungszeiten entwickelt. Sonntage weisen eine schwächer ausgeprägte Spitze am frühen Nachmittag auf (Ausflüge, Besuche etc.). Insgesamt sind die rhythmischen Variationen im Tagesverlauf in den vergangenen Jahrzehnten deutlich schwächer geworden, d.h. die ehemals verkehrsschwachen Zeiten (Mittagszeit, Abendstunden, Samstagnachmittag) haben sich aufgefüllt (Scheiner, 2006). Dies ist allerdings nicht mit Entspannungen in den Hauptverkehrszeiten verbunden, sondern stellt vielmehr zusätzliche Verkehre dar.

Tabelle 7.4: Mittlere Wegedauer und Wegelänge für Einkäufe, Erledigungen und Freizeit nach Subkategorien und Verkehrsmittel

Aktivität	NMIV		MIV		ÖV	
	Dauer [min]	Distanz [km]	Dauer [min]	Distanz [km]	Dauer [min]	Distanz [km]
Einkauf						
Täglicher Bedarf (z.B. Lebensmittel, Tanken etc.)	11,1	2,4	12,5	5,7	24,1	5,7
Sonstige Waren	18,0	2,2	20,6	14,6	33,3	11,1
Einkaufsbummel	38,2	2,9	27,5	14,7	45,3	18,4
Sonstiger Einkaufszweck	12,6	1,3	17,0	10,1	30,5	8,4
Erledigung						
Behörde, Bank, Post, Geldautomat	13,0	1,2	13,3	6,0	23,6	6,2
Arztbesuch	15,6	1,6	19,0	10,1	34,8	9,4
Betreuung anderer Personen	11,4	1,9	21,2	13,2	*35,8*	*10,5*
Private Erledigung für andere Person	9,2	0,6	20,9	11,2	*41,2*	*22,7*
Dienstleistungen (z.B. Friseur, Schuster etc.)	13,8	13,1	17,6	9,7	32,5	10,3
Sonstiger privater Erledigungszweck	12,6	1,3	21,1	14,6	41,9	56,6
Freizeit						
Hund ausführen	40,1	2,8	27,8	9,3	*118,9*	*52,3*
Jugendfreizeitheim etc.	*16,7*	*1,0*	*20,2*	*8,1*	*19,4*	*2,7*
Spielplatz, Spielen auf der Straße etc.	37,9	1,2	18,6	12,6	*53,2*	*3,7*
Kirche, Friedhof	14,1	2,1	15,0	7,3	35,4	8,1
Ehrenamt, Verein, politische Aktivitäten	13,7	1,6	16,8	7,5	53,9	14,8
Jobben in der Freizeit gegen Entgelt	*33,6*	*3,0*	*22,2*	*7,8*	*45,4*	*12,5*
Begleitung von Kindern (Spielplatz etc.)	19,7	1,4	20,3	15,0	*24,0*	*3,3*
Hobby (z.B. Musizieren)	14,1	1,4	18,6	11,2	52,3	10,8
Schrebergarten, Wochenendhaus	20,1	2,2	19,3	9,2	*35,0*	*4,5*
Laufen, Joggen, Inlineskating etc.	58,8	6,3	24,0	9,7	*64,5*	*32,7*
Spaziergang, Spazierfahrt	72,2	5,2	49,5	27,7	99,4	20,4
Sport (selbst aktiv)	22,7	6,8	17,6	10,6	42,6	13,7
Gastronomiebesuch	15,7	2,7	20,2	14,1	37,4	15,9
Privater Besuch/Treffen	13,4	1,6	24,8	20,4	50,2	27,0
Weiterbildung	15,0	1,9	24,9	16,4	*47,5*	*27,9*
Besuch kultureller Einrichtung	22,1	3,0	28,9	18,8	56,0	29,1
Veranstaltungsbesuch (z.B. Fußballspiel, Markt)	18,3	1,9	28,2	22,7	61,3	34,1
Tagesausflug, mehrtägiger Ausflug	141,8	8,5	106,8	115,5	154,1	122,1
Sonstiger Freizeitzweck	29,3	2,7	25,4	18,4	79,6	81,4

Datengrundlage: MiD 2008. Ergebnisse beruhen auf Selbstberichten der Befragten. Kursiv: n<100

Die Differenzierung nach Wochentagtyp (Tabelle 7.3) zeigt, dass für einige Aktivitäten insbesondere an Wochenenden räumlich und zeitlich deutlich längere Wege zurückgelegt werden als an Arbeitstagen (hier Montag bis Freitag). Dies betrifft den mittleren bis längerfristigen Bedarf im Einkauf, den Einkaufsbummel, Erledigungen für andere Personen, den Besuch von Veranstaltungen oder kulturellen Angeboten, private Besuche, Sportaktivitäten, Gastronomiebesuche, Spazierwege/-fahrten, Wege für Hobbies oder zu kindlichen Aktivitäten. Nimmt man die nicht-motorisiert zurückgelegten Wege (NMIV) aus der Analyse heraus, zeigen sich erwartungsgemäß deutlich höhere Distanzen (Tabelle 7.4). Aus zeitlicher Perspektive sind insbesondere die Wege mit öffentlichen Verkehrsmitteln häufig sehr lang, die Wege mit dem MIV nicht. Am ehesten werden für Erledigungen mit dem MIV längere Wegedauern realisiert als mit dem NMIV, in vielen anderen Bereichen sind sie mit dem MIV kürzer als im NMIV.

Über die Länge bzw. Dauer der zurückgelegten Wege hinaus lässt sich mit MiD 2008 speziell für Einkäufe begrenzt auch der aufgesuchte Zielort analysieren. Die Zielwahl bei Einkaufswegen wurde in MiD in Form von vier Kategorien erfragt: innerhalb der näheren Umgebung bzw. des Wohnumfelds; Zentrum innerhalb der Stadt/Gemeinde; Einkaufszentrum am Rand der Stadt/Gemeinde; anderes Ziel. Unter den berichteten Einkäufen werden 39 % in der näheren Umgebung der Wohnung unternommen, 31 % in einem Zentrum innerhalb des Wohnortes, 23 % in einem Einkaufszentrum auf der grünen Wiese und 7 % an anderen Zielorten (vgl. Scheiner, 2011).

Einkäufe in der Wohnumgebung werden häufig zu Fuß unternommen. Deutlich längere Wege werden zu peripher gelegenen Einkaufszentren (7,0 km) zurückgelegt, aber auch zu integrierten Zentren (5,2 km) und insbesondere zu "sonstigen Orten" (12,9 km).Gleichzeitig unterscheidet sich die Verkehrsmittelnutzung stark zwischen den Zielorttypen. Während in Zentren in siedlungsstrukturell integrierter Lage (innerhalb des Ortes) der Anteil des MIV bei 55 % liegt, erreicht der MIV bei peripheren Einkaufszentren 83 %. Insgesamt erzeugt ein Einkauf in einem Einkaufszentrum auf der grünen Wiese drei bis vier Mal so viel MIV wie ein Einkauf im Wohnumfeld und 1,6-mal so viel MIV wie ein Einkauf in einem Einkaufszentrum in integrierter Lage.

Daneben erlaubt MiD 2008 eine Unterscheidung der aufgesuchten Wegeziele danach, ob sie innerhalb des Wohnorts liegen. Dies trifft für 47 % der Ziele in der Freizeit, 64 % der Ziele bei privaten Erledigungen, 72 % der Ziele beim Einkauf, 52 % bei der Ausbildung/Schule und 40 % der Geschäftswege zu[4]. Für Wege zum Arbeitsplatz enthält MiD 2008 diese Information nicht. Nach den Daten der Bundesanstalt für Arbeit sind 41 % der sozialversicherungspflichtig Erwerbstätigen Binnenpendler (Pütz, 2015, S. 6). Die Anteile der Innerortswege steigen mit zunehmender Gemeindegröße (Follmer u. a., 2010, S. 124). Dies trifft auch für Berufswege zu.

In ausgeprägter Weise unterscheidet sich nach den einzelnen Wegezwecken die Verkehrsmittelnutzung. Den Modal-Split nach Aktivitäten differenziert zeigt Tabelle 7.5. Dienst- und Geschäftswege werden im Wesentlichen allein mit dem Pkw zurückgelegt. Dies hat in starkem Maße mit lokalen Wegen zu tun (z.B. Handwerkerfahrten), während für berufliche Fernreisen auch andere Verkehrsmittel (Bahn, Flugzeug) verwendet werden. Die starke Pkw-Nutzung mit nur geringen Mitfahreranteilen gilt abgeschwächt auch für den Weg zum Arbeitsplatz. Auch im Begleitverkehr hat der Pkw einen sehr hohen Anteil (75 %), wobei das Mitfahren naturgemäß eine größere Rolle spielt. Der Schüler- und Ausbildungsverkehr ist stark durch öffentliche und nichtmotorisierte Verkehrsmittel geprägt. Einkäufe und Erledigungen werden zu ca. 60 % mit dem Pkw zurückgelegt. Die Heterogenität von Freizeitaktivitäten spiegelt sich in einer relativ ausgewogenen Verteilung der genutzten Verkehrsmittel, in Abhängigkeit von der konkreten Unternehmung, dem Ort, der Zeit und dem sozialen Charakter (allein oder als Paar, mit Freunden oder Familie etc.).

Tabelle 7.5: Verkehrsmittelwahl nach Aktivitäten differenziert

Aktivität	Modal Split (Wege) (%)					
	zu Fuß	Rad	MIV-M	MIV-F	ÖV	Alle
Beruf	8	10	5	65	12	100
Dienst, Geschäft	4	3	2	86	5	100
Ausbildung	24	15	19	8	34	100
Freizeit	33	11	20	29	7	100
Einkauf	28	11	13	45	4	100
Erledigungen	27	10	13	43	8	100
Begleitung	17	5	26	49	3	100
Wegedauer in Min. (Mittelwert)	23	19	25	21	41*	24
Distanz in km (Mittelwert)	1,4	3,2	18,3	14,7	12,3*	11,5

Quelle: Follmer u. a., 2010, S. 121 (Modal Split), S. 89 (Wegedauer und Distanz), * nur ÖPNV, ohne Fernverkehr

[4] Der Wert für Geschäftswege scheint recht hoch, umso mehr angesichts des hohen Pkw-Anteils. Hier sind jedoch in starkem Maße Wege von Handwerkern, Lieferdiensten etc. enthalten.

Bei den Mittelwertdarstellungen ist allerdings einschränkend zu beachten, dass der Freizeitsektor durch eine extrem große Spannweite von Aktivitäten und damit verbundenen räumlichen Orientierungen geprägt ist, die vom Spaziergang „um den Block“ bis hin zu großräumigen Eventverkehren reicht. Diese Spannweite gilt für berufliche Wege auf einem etwas höheren Distanzniveau ebenfalls, denn auch hier sorgt ein kleiner – aber deutlich zunehmender – Anteil der Wege bzw. Erwerbstätigen für einen hohen Anteil am Verkehrsaufwand, zum einen durch geschäftliche und dienstliche Fernreisen, zum anderen durch Fernpendeln am Wochenende oder in anderen zeitlichen Arrangements. Zielorte sehr langer Pendelwege sind primär Oberzentren, und dort insbesondere die Konzentrationen hochrangiger Geschäftszentren und hochqualifizierter Arbeitsplätze – Unternehmenshauptquartiere, Konferenzzentren, 'Business districts', Standorte des quartären Sektors bzw. unternehmensorientierter Dienstleistungen. Die Zielorte privater Reisen sind in starkem Maße ebenfalls Städte, insbesondere die größten Städte sowie die kulturell attraktiveren der kleineren Großstädte (Kurzurlaube).

Für großräumige Erreichbarkeitsanalysen ist zusammengefasst vor allem die Lage von Arbeitsplätzen, Zielorten von Geschäfts- und Dienstreisen sowie von langen Freizeitwegen auf der Grundlage hochspezialisierter Interessen und Lebensstile maßgeblich. Es kristallisiert sich eine zunehmende Komplexität bei den Verkehrsverflechtungen heraus, die sich zum einen in den rhythmischen Variationen im Tages- und Wochenverlauf und zum anderen in den räumlich weniger hierarchisch und zentralörtlich ausgerichteten bzw. den vermehrt dispersen Verkehren zeigen. In den jüngsten Dekaden haben sich Zielwahl und Verkehrsverhalten räumlich zusehends stärker ausdifferenziert, dagegen verloren innergemeindliche Verkehre an Bedeutung. Auswertungen aktueller Erhebungen zur Mobilität in Deutschland wie MiD 2017, die Zielortdaten umfassend und genauer berücksichtigen, werden zukünftig diesbezüglich weitergehende Erkenntnisse ermöglichen.

7.2 Zielauswahl und Zieldefinition

Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell wird die Lagegunst von Räumen bzw. die Erreichbarkeit von raumbedeutsamen Einrichtungen und Orten vorwiegend aus Sicht der Bevölkerung bestimmt. Analysen beziehen sich auf verschiedene Verkehrsträger und können sowohl den Personenverkehr als auch den Geschäftsreise- sowie Güter- und Warenverkehr einschließen. Das Spektrum reicht von der regionalen bis hin zur europäischen Ebene. Je nach Untersuchungszweck steht die Auswertung der Verbindungsqualitäten (Netzanalysen), der Teilhabechancen an gesellschaftlichen Vermittlungs- und wirtschaftlichen Austauschprozessen sowie der Gleichwertigkeit der Lebensbedingungen (Potenzialanalysen), der Versorgungslage der Bevölkerung mit Angeboten und Infrastrukturen der Daseinsvorsorge (Versorgungsgradanalysen) oder der Nachfrage oder wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit (Standortanalysen) im Vordergrund.

Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell ist mit einem umfangreichen Analysespektrum für die Bewertung von raumbedeutsamen verkehrlichen Planungsmaßnahmen oder die (laufende) Berichterstattung zur Raumentwicklung ein zentraler, unerlässlicher Baustein (vgl. Kap. 2).

Tabelle 7.6 listet den Kanon von Zielen auf, die nach eigenen Recherchen in jüngerer Zeit in den Erreichbarkeitsanalysen des BBSR für den Personenverkehr (MIV, ÖV) oder Güter- und Warenverkehr berücksichtigt wurden. Die Erreichbarkeit von Hausärzten bzw. Tankstellen wurde dabei nicht bundesweit, sondern nur in regionalen Fallstudien untersucht. In den meisten Fällen wurde die Erreichbarkeit zu den Zielen im Straßenverkehr (Pkw, Lkw) ermittelt, für Zentrale Orte, ICE/IC-Bahnhöfe und Flughäfen wurde zudem die Erreichbarkeit im ÖV berechnet.

7.2.1 Ziele im Personenverkehr

Der Vergleich zwischen den betrachteten Zielkategorien und Zielen in Tabelle 7.6 und jenen, die in überregionalen Erreichbarkeitsanalysen im In- und Ausland untersucht wurden (siehe hierzu auch Kapitel 4), verdeutlicht, dass der vom BBSR-Erreichbarkeitsmodell abgedeckte Zielkanon sehr umfangreich ist. So umfasst er die in der Analyse des Verkehrsverhaltens im Kapitel 7.1 als vordringlich identifizierten Zielaktivitäten und enthält darüber hinaus weitere Zielarten. Die wesentlichen regionalen und überregionalen Ziele zur Versorgung und Verkehrsverknüpfung sind im BBSR-Erreichbarkeitsmodell bereits als Ziele integriert.

Tabelle 7.6: Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell in jüngerer Zeit untersuchte Ziele

Thema	Ziel
Arbeitsplätze	Beschäftigte am Arbeitsort
Soziale Kontakte, Nachfragepotenziale	Einwohner
Zentrale Orte	Agglomerationszentren, Metropolzentren, Oberzentren, Mittelzentren
Verkehrsknoten	Flughäfen, Seehäfen, ICE/IC-Bahnhöfe, Autobahnanschlussstellen, Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs
Güterverkehr	Zentrale Standorte des Güterverkehrs, KV-Terminals
Gesundheitsversorgung	Krankenhäuser, Herznotfallambulanzen, Schlaganfall-Notfallambulanzen, *Hausärzte, Psychiatrische Tageskliniken*
Bildungswesen	Schulen der Sekundarstufe II, Berufliche Schulen
Nahversorgung/Einzelhandel	Shopping Center, Factory Outlet Centers, *Tankstellen*

Kursiv: Anwendung nur in regionalen Fallstudien

Für überörtliche Erreichbarkeitsanalysen sind Zentrale Orte zweifelslos die bedeutendste Zielkategorie. In ihnen agglomerieren sich soziale, kulturelle und wirtschaftliche Einrichtungen und Versorgungsangebote für die eigenen Einwohner und darüber hinaus auch für die Bevölkerung im jeweiligen Versorgungsbereich. Für die Raumordnung und Landesplanung ist die Sicherung der Erreichbarkeit der Zentralen Orte für alle Bevölkerungsgruppen ein wichtiges politisches Ziel. Das BBSR misst und analysiert regelmäßig die Erreichbarkeit der Zentralen Orte mit dem Pkw und dem ÖV. Per se stellen Zentrale Orte eine eigene Zielkategorie für die Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR dar. Insbesondere für die im Analysefokus des BBSR stehenden Ober- und Mittelzentren wird unterstellt, dass sich dort alle zentralörtlich bedeutsamen Infrastruktureinrichtungen befinden und dass sie zugleich zentrale regionale Handels- und Arbeitsplatzschwerpunkte sind.

Im Vordergrund des Zentrale-Orte-Konzeptes stehen die Sicherung der Tragfähigkeit der Einrichtungen und Angebote, die räumliche Standortbündelung in den Zentralen Orten und ihre Erreichbarkeit in einem vertretbaren Zeitaufwand. Tabelle 7.7 enthält die typischen Ausstattungsmerkmale Zentraler Orte für die drei zentralörtlichen Grundstufen. Zu den wichtigsten Funktionsbereichen zählen Arbeitsmarkt, Bildung, Gesundheit, Soziales, öffentliche Verwaltung, Rechtspflege, Kultur, Verkehr, Forschung, Einzelhandel, Dienstleistungen, Sport usw. Weitere Hinweise zur Priorisierung liefert eine im Jahr 2018 durch das BBSR durchgeführte Befragung zur Relevanz zentralörtlicher Indikatoren aus landesplanerischer Sicht. Demnach haben aus Sicht aller sechszehn Bundesländer Arbeitsmarkt- und Pendlerindikatoren die höchste Bedeutung, gefolgt von Bahnhöfen als wichtige Verkehrsknoten für den ÖV. An zweiter Rangstelle zählen zu den für eine zentralörtliche Funktion relevanten Ausstattungsmerkmalen Universitäten/Hochschulen, Gerichte, weiterführende Schulen, Krankenhäuser, Haus- und Facharztpraxen, öffentliche Pflegeeinrichtungen und Theater. An dritter Rangstelle wurden Autobahnanschlüsse, Flughäfen, Polizeidienststellen, Schulen mit Sekundarstufe II, berufliche Schulen, Förderschulen sowie Apotheken, Banken und Einzelhandelsbetriebe genannt.

Zentrale Orte sind für überregionale Erreichbarkeitsanalysen als Zielkategorie so relevant, weil sich viele einzelne Zielarten und -gelegenheiten in ihnen subsumieren. Allerdings kann auch der jeweilige Blick auf eine einzelne Zielart zweckmäßig sein. Denn eine bundesweite Erreichbarkeitsanalyse von Zielen einer Kategorie zum Beispiel aus den Bereichen Bildung, Gesundheit oder Verkehr liefert einerseits für die laufende Raumbeobachtung wertvolle Erkenntnisse über räumliche Strukturen und ihre Veränderungen und andererseits auch konkrete Hinweise für die Fachplanungen. Entsprechend sind regionale und überregionale Ziele zur Versorgung und Verkehrsverknüpfung schon jetzt als Zielkategorien im BBSR-Erreichbarkeitsmodell integriert (vgl. Tabelle 7.6). Es empfiehlt sich auch zukünftig, überörtlich relevante Ziele wie Krankenhäuser (differenziert nach Versorgungsstufe/Fachabteilungen), (Herz-) Notfallambulanzen, Schulen der Sekundarstufe II, Berufliche Schulen, Flughäfen, Seehäfen, ICE/IC-Bahnhöfe, Autobahnanschlussstellen usw. weiterhin zu berücksichtigen.

Tabelle 7.7: Typische Ausstattungsmerkmale Zentraler Orte

Zentralörtliche Grundstufe	Typische Ausstattung (zusätzlich zur Ausstattung der jeweils niedrigeren Stufen)
Oberzentrum	Hochwertige Funktionen der überregionalen Versorgung, u.a. mit Fach-/Hochschulen, spezialisierten Einrichtungen der Gesundheitsversorgung (z.B. Schwerpunktkrankenhäusern), Theatern/Opernhäusern, Sportstadien sowie überregionale Verkehrsknoten (z.B. Fernbahnhof)
Mittelzentrum	Gehobene Funktionen der regionalen Versorgung mit Einrichtungen der allgemeinen und beruflichen Aus- und Weiterbildung, Einrichtungen im Sozialbereich sowie größere Anlagen im Bereich Freizeit und Sport, darüber hinaus Dienstleistungseinrichtungen wie Behörden, weiterführende Schulen mit Sekundarstufe II, Gerichte, hochwertige Einrichtungen der Gesundheitsversorgung (z.B. Krankenhaus), großflächige Einzelhandels-einrichtungen sowie regionale Verkehrsknoten (z.B. Bahnhof)
Grundzentrum	Funktionen der überörtlichen Grundversorgung, u.a. mit Grundschulen, Sport- und Freizeiteinrichtungen, Arztpraxen, Apotheken, Nahversorger im Einzelhandel und andere Einrichtungen des Dienstleistungsbereichs (z.B. Postfiliale, Bankfiliale etc.)

Quelle: nach MKRO, 2016

Eine Auflistung zusätzlicher, grundsätzlich potenzieller Untersuchungsziele zeigt Tabelle 7.8. Für die überregionalen Erreichbarkeitsanalysen beim BBSR wären weitere interessante Zielkategorien, die zumindest in jüngerer Zeit unberücksichtigt blieben, Hochschulen/Universitäten, (wissenschaftliche) Bibliotheken, hochwertige Sport- und Freizeiteinrichtungen, Museen, Theater/Opern. Diese Ziele mit überregionalen Funktionen lassen sich aus dem Zentrale-Orte-Konzept ableiten.

Eine Analyse der Erreichbarkeit, bei der verstärkt auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Standorten fokussiert wird, wäre eine weitere interessante Anwendungsmöglichkeit des BBSR-Erreichbarkeitsmodells. Potenzielle Ziele könnten dabei Messen oder globale „Hot Spots“ (z.B. die Erreichbarkeit von Paris, London, New York usw.) sein. In diesem Zusammenhang lassen sich auch der Zugang und die Erreichbarkeit von und zu Märkten analysieren. Eine klassische und häufig in diesem Kontext vorgenommene Analyseform ist die Bestimmung der (über)regionalen Erreichbarkeit von Bruttoinlandsprodukt durch Potenzialindikatoren (vgl. hierzu auch Kapitel 3 und 4). In Bezug auf die nationale Wettbewerbsfähigkeit könnten zudem bereits aufgenommene Zielkategorien stärker gefiltert werden. Dann würde beispielsweise anstelle der Erreichbarkeit von Flughäfen eher die konzentrierte Erreichbarkeit größerer Luftfahrt-Drehkreuze oder anstelle der Erreichbarkeit von Zentralen Orten eher die konzentrierte Erreichbarkeit von Metropolen/Großstädte ab einer bestimmten Einwohnerzahl im Analysefokus liegen.

Aus dem politischen Ziel und gesetzlichen Auftrag einer Chancengerechtigkeit in der Versorgung durch eine flächendeckende Sicherung der Daseinsvorsorge lassen sich ebenso weitere Zielkategorien ableiten. Denn die Erreichbarkeit hat Auswirkungen auf die Versorgungsqualität und -sicherheit in den einzelnen Teilräumen. Für die Raumordnung, Landes- und Fachplanung ist für ausgewählte Daseinsvorsorgebereiche daher ein bundesweiter Vergleich der Erreichbarkeitsverhältnisse von Interesse. Das BBSR verfügt mit dem Nahversorgungsmodell über ein Modell, mit dem die Grundversorgung in Deutschland abgebildet wird. Als Bestandteil der laufenden Raumbeobachtung des BBSR wird damit die Versorgungsqualität der Bevölkerung über die kürzeste Luftliniendistanz zu Supermärkten, Apotheken, Hausärzten, Grundschulen, Schulen der Sekundarstufe I und Haltestelle des öffentlichen Verkehrs dargestellt. Denkbar wäre eine Integration dieses Modells mit einem Erreichbarkeitsmodell, um die Qualität der Modellierung zu erhöhen (zum Beispiel im Umgang mit Barrieren wie Gewässer etc.). Allerdings bedürfte es hierzu zumindest im Straßennetz einer erheblichen Ausweitung der Verkehrsdatenbasis im Erreichbarkeitsmodell, damit kleinräumige Verbindungsmöglichkeiten hinreichend präzise abbildbar sind. Eine gänzlich andere Art von Zielkategorie für die Erreichbarkeitsanalysen beim BBSR können landschaftlich oder naturschutzrechtlich geschützte Erholungsflächen sowie Freiflächen darstellen.

Tabelle 7.8: Weitere potenzielle Untersuchungsziele, die im BBSR-Erreichbarkeitsmodell aktuell nicht berücksichtigt werden

Thema	Ziel	Bedeutung
Wirtschaft	Weltweite Märkte („Hot Spots“)	international
	Messen	überregional
	Bruttoinlandsprodukt (als Erreichbarkeitspotenzial)	überregional
Bildungswesen	Hochschulen/Universitäten	überregional
	Wissenschaftliche Bibliotheken	überregional
	Weiterführende Schulen	regional
	Grundschulen	örtlich/regional
Gesundheitswesen	Facharztpraxen (z.B. Kinderärzte, Frauenärzte etc.)	regional
	Hausärzte	örtlich/regional
	Zahnärzte	örtlich/regional
	Apotheken	örtlich/regional
Freizeit/Sport/Kultur	Hochwertige Sport- und Freizeiteinrichtungen	überregional
	Hochwertige Museen	überregional
	Theater/Opern	überregional
Rettungswesen und Brandschutz	Polizei- und Rettungsdienststellen	regional
	Feuerwehren	regional
Natur	Naturschutzrechtlich geschützte Erholungsflächen	regional
	Freiflächen	örtlich/regional
Nahversorgung	Supermärkte/Discounter	örtlich/regional
	Bankfilialen	örtlich/regional
	Postfilialen	örtlich/regional
Verkehr	Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs	örtlich/regional

Die Bedeutung zusätzlicher Ziele für die Anwendungszwecke des Erreichbarkeitsmodells beim BBSR und der zu erwartende Erkenntnisgewinn sind stets neu abzuwägen, gerade dann, wenn derartige Zielarten über das Zentrale Orte-Konzept zumindest dem Prinzip nach theoretisch schon abgedeckt sind. Eine Integration weiterer Ziele in das Erreichbarkeitsmodell des BBSR macht vorrangig dann Sinn, wenn damit aufgekommene Untersuchungsfragen adressiert werden und/oder die Aussagekraft der Analyseergebnisse deutlich erhöht werden kann, wie es sich angesichts der vermehrten räumlichen Ausdifferenzierung der Ziele bereits andeutet.

Doch nicht nur die Erreichbarkeit von Zielen aus der Fläche, sondern auch die Erreichbarkeit der Teilräume untereinander hat raumordnerische Relevanz. Nach ROG § 2 Abs. 2 Nr. 3 ist durch einen schnellen und reibungslosen Personen- und Güterverkehr auf eine gute Erreichbarkeit der Teilräume untereinander hinzuwirken, vor allem in verkehrlich hoch belasteten Räumen und Korridoren. Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell führt das BBSR entsprechende Analysen zu Verbindungsfunktionen und -qualitäten bereits durch.

Eine andere Vorgehensweise zur Abbildung der Erreichbarkeitsverhältnisse in Deutschland läge in der Bildung eines Gesamterreichbarkeitsindex für zentralörtliche Funktionen. Der Gesamterreichbarkeitsindex würde durch eine Aggregation von Erreichbarkeitsindikatoren zu den einzelnen Zielen gebildet. Deren differenzierte Berechnung und Auswer-

tung ist sinnvoll, da nur so gezielt die spezifischen Besonderheiten und Problemlagen für einzelne Aktivitätsziele hervortreten können. Eine Vielzahl an Einzelindikatoren erlaubt eine detaillierte Analyse der Erreichbarkeitssituation und Wirkungszusammenhänge. Eine Aggregation wiederum ermöglicht die Bewertung mehrdimensionaler Ergebnisse als Ganzes. Daher bietet der Gesamterreichbarkeitsindex den Vorteil, dass „spezifische Gegebenheiten und Besonderheiten, die zum Teil auf Zufälligkeiten oder Ungenauigkeiten in den verwendeten Daten zurückzuführen sind[, abgeschwächt werden]. Die Zusammenfassung der einzelnen Indikatoren [...] trägt damit [..] zur Gewährleistung von robusteren und verlässlicheren Ergebnissen bei“ (Kramar u. a., 2011, S. 29). Weitere Erläuterungen mit Umsetzungsbeispielen finden sich bei Schwarze (2015, S. 126f.).

Die Operationalisierung der Einzelindikatoren und des Gesamterreichbarkeitsindex hat Auswirkungen auf die Ergebnisse. Welche Abweichungen sich aus einem aus Einzelindikatoren gebildeten Gesamterreichbarkeitsindex und der herkömmlich berechneten Erreichbarkeit von Zentralen Orten ergeben können, ist eine noch offene Forschungsfrage. Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell könnte (und ggf. sollte) ihr empirisch nachgegangen werden.

7.2.2 Ziele im Güter- und Warenverkehr

Ein verwandter, aber doch eigenständiger Themenbereich ist der Güter- und Warenverkehr. Wenngleich eher noch am Rande, wird der Güter- und Warenverkehr mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell in jüngerer Zeit vermehrt behandelt. Die dort betrachteten Autobahnanschlussstellen stellen selbst zwar kein direktes güterverkehrsrelevantes Ziel dar, da es sich weder um eine Produktionsstätte noch um einen Umschlagplatz noch um eine Verbrauchsstätte handelt. Dennoch finden sie vielfach als ein Zielsystem bei Erreichbarkeitsanalysen Verwendung, da sie als gleichbedeutend mit einer verkehrsgünstigen Lage betrachtet werden (Pütz, 2014).

Weitere wichtige Ziele von Erreichbarkeitsanalysen im Güter- und Warenverkehr sind Logistikstandorte des kombinierten Verkehrs (KV-Standorte), Güterverkehrszentren (GVZ), Flughäfen mit Güterverkehrsrelevanz, Binnen- und Seehäfen sowie die Standorte von Schlüsselindustrien (z.B. der Stahlbranche, Automobilbranche, Chemie-/Mineralölbranche, Lebensmittelindustrie sowie Energieerzeugung und Rohstoffgewinnung).

Nicht alle diese Ziele werden vom BBSR-Erreichbarkeitsmodell abgedeckt, so dass einige Daten erst aufbereitet werden müssten. Voraussichtlich komplex dürfte sich die Integration der Standorte von Schlüsselindustrien gestalten. Neben öffentlichen Datenquellen (Industrie- und Branchenverbände) kommen vor allem kostenpflichtige Angebote kommerzieller Datenanbieter (z.B. Hoppenstedt, Dafne) in Frage. Da zu vermuten ist, dass die industriellen Standorte eine gewisse Standorttreue aufweisen, fallen sie kostenmäßig zumindest bei Datenaktualisierungen weniger ins Gewicht. Ansatzpunkte bieten auch deutschlandweite Standortstudien mit Schwerpunkt Logistik, wie sie zum Beispiel periodisch von der Fraunhofer SCS (Veres-Homm u. a., 2015) und der Bulwiengesa (2015) erstellt werden. Beide Studien verfolgen dabei unterschiedliche Ziele. Während das Fraunhofer mit der Studie „Logistikimmobilien – Markt und Standorte“ alle zwei Jahre die Intensität der logistischen Nutzung (auf LAU1-Ebene) und die Attraktivität der Logistikregionen (auf NUTS3-Ebene) in Deutschland untersucht, liegt der Fokus der Bulwiengesa-Studie auf der Identifikation der Ansprüche von Markttreibern und deren Einfluss auf die Anforderungen auf Logistikimmobilien. Dazu wurden 2015 anhand der immobilienökonomischen Aktivität im Logistikimmobilienbereich auf Gemeindeebene 28 Logistikregionen identifiziert. Jede Logistikregion wird anhand unterschiedlicher Kriterien (u. a. Flächenverbrauch, Investitionsvolumen, Kaufpreisniveau €/ m², Flächenumsatz, …) hin beleuchtet. Beide Studien liefern Hinweise auf die Standortschwerpunkte und -verteilung von Logistikunternehmen bzw. auf bisher noch nicht ausgeschöpfte Standortpotenziale und können deswegen zur Berücksichtigung von Logistikstandorten im Erreichbarkeitsmodell einen sinnvollen Beitrag leisten.

In mehreren wissenschaftlichen Studien wurde der Versuch einer funktionalen räumlichen Gliederung des Güterverkehrs unternommen (vgl. Leerkamp u. a. 2012; Kotzagiorgis, 2013; 2014; BVU, 2014; 2015; Klemmer, 2016; Klemmer und Leerkamp, 2017). Bundesweit flächendeckende Ausweisungen Zentraler Orte des Güterverkehrs erfolgen bisher aufgrund der Datenverfügbarkeit nur auf Kreisebene. Die funktionale Gliederung wird dabei aus folgenden Kriterien hergeleitet:

- Höhe des Gesamtverkehrsaufkommens,
- Wertigkeit der Güter,
- Höhe des Container- und KV-Aufkommens,
- Erfüllung von Hubfunktionen im intermodalen Verkehr,
- Multimodalität,
- Höhe des grenzüberschreitenden Verkehrs,
- Höhe des Fernverkehrs,
- Höhe der Beschäftigung im Verkehrssektor.

Die Methode ist eindeutig und reproduzierbar. Für jedes Kriterium wird ein bundesweites Ranking durchgeführt. Mittels Gewichtung werden die Einzelergebnisse zu einem Gesamtindex zusammengefasst. In Kombination mit qualitativen Regeln erfolgt eine Zuweisung zu den Standorttypen „A“ (großräumige Bedeutung/ überdurchschnittliche Werte in fast allen Kriterien) bis „E“ (Lokale Standorte mit geringer Bedeutung für den Güterverkehr) (BVU, 2014; 2015). Tabelle 7.9 zeigt die Klassifizierungsmethode der „Zentralen Orte“ des Güterverkehrs als Übersicht. Die Methode wurde schon in Analysen zur Erreichbarkeit von Standorten des Güterverkehrs angewendet. Sie ist prinzipiell auch für die Raumwirksamkeitsanalyse und Erweiterung der RIN 2008 auf die Netzplanung des Güterverkehrs geeignet (vgl. Buthe u. a., 2014).

Tabelle 7.9: Standorttypen des Güterverkehrs

Typ	Standortbeschreibung	Klassifizierungsregel	Anzahl
A	Güterverkehrsstandorte mit großräumiger Bedeutung und überdurchschnittlichen Werten in fast allen Kriterien	In der Regel erreichen diese Standorte bei mindestens sechs Kriterien einen Rangplatz unter den ersten 50 Rängen und einen unter den ersten 100 Rängen.	27
B	Güterverkehrsstandorte mit überregionaler Bedeutung und hoher logistischer Bedeutung	In der Regel liegen bei diesen Standorten fünf Kriterien unter den ersten 100 Rängen. Besonderes Augenmerk liegt auf den bedeutenden KV-Standorten mit Umschlagszahlen über 100.000 t und Standorten mit hohem Verkehrsaufkommen oder nennenswerter Wertschöpfung.	54
C	Güterverkehrsstandorte mit regionaler Bedeutung	In der Regel erreicht bei diesen Standorten ein Kriterium die ersten 100 Ränge und drei bis vier Kriterien liegen zwischen den Rängen 100 und 200.	128
D	Güterverkehrsstandorte mit lokaler Bedeutung und nennens-werten Verkehrsaufkommen	Bei diesen Standorten erreicht mindestens ein Kriterium die Ränge zwischen 1 und 200, die restlichen finden sich fast immer über Rang 200. Die Verkehrsaufkommen dieser Standorte liegen in der Regel bei über 6 Mio. t.	154
E	Güterverkehrsstandorte mit lokaler Bedeutung und geringem Verkehrsaufkommen	Bei diesen Standorten liegen fast alle Kriterien immer über Rang 200. Die Verkehrsaufkommen dieser Standorte liegen bei unter 6 Mio. t.	49

Quelle: Kotzagiorgis, 2014, S. 184

Bedeutende Verkehrsstandorte in Deutschland sind insbesondere Standorte mit einem hohen Verkehrsaufkommen und einer hohen Funktionsdichte, wie z.B. Hamburg, Duisburg, Bremerhaven. Häufig gehen in diesen Standorten hohe Verkehrsaufkommen mit der Existenz von Logistikzentren (z.B. Häfen, Binnenhäfen, Güterverkehrszentren etc.) oder mit bedeutenden Verkehrserzeugern einher. Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell wurde die Erreichbarkeit der Zentralen Orte des Güterverkehrs der Standorttypen A und B berechnet. Die Ergebnisse tragen zum besseren räumlichen Verständnis bei, so dass die Analyse mit verbesserter Datenlage fortgesetzt werden sollte.

Das Ranking auf Kreisebene nach dieser Methode zur funktionalen räumlichen Gliederung des Güterverkehrs berücksichtigt allerdings nicht die Größe des Kreises und somit auch nicht die Verteilung der Güterverkehrsrelevanz innerhalb der Kreise. Insbesondere bei großen, differenziert strukturierten Kreisen können Standorte mit einer hohen hierarchischen Bedeutung unterrepräsentiert werden (so z. B. in Märkisches-Oderland, Teltow-Fläming[5]). Letztendlich handelt sich um einen ersten Ansatz für eine relative Hierarchisierung von Güterverkehrsstandorten auf Kreisebene. Den Ansprüchen eines Erreichbarkeitsmodells nach einer möglichst feingliedrigen Georeferenzierung und Typisierung (Logistik, Produktion, Rohstoffgewinnung, …) werden diese Standortausweisungen noch nicht vollends gerecht. In einem aktuell laufenden MORO-Vorhaben wird der beschriebene Ansatz daher dahingehend weiterentwickelt, dass die Methodik den Anforderungen an eine kleinräumige und inhaltliche Differenzierung besser gerecht werden kann. Dafür wird eine periodisch fortschreibbare Methode ausgearbeitet, mit der Standorträume des Güterverkehrs deutschlandweit auf der LAU1-Ebene funktional gegliedert werden können (vgl. Klemmer, 2016; Klemmer und Leerkamp, 2017). Die Ergebnisse sollen in ihrer räumlichen Auflösung und Differenzierung zu dem etablierten System der Zentralen Orte möglichst vergleichbar sein, so dass eine direkte Verknüpfung der Verkehrsnetzplanung mit der Raumplanung auch im Güterverkehr möglich wird. Mit der bekannten räumlichen Lage des für die LAU1-Ebene jeweils maßgebenden Standorts kann eine bessere Anbindung an bestehende Netzmodelle erfolgen. Die Ergebnisse sollen für Raumwirksamkeitsanalysen, Erreichbarkeitsanalysen und für eine Erweiterung der RIN 2008 auf die Netzplanung des Güterverkehrs genutzt werden. Darüber hinaus können die Zentralen Orte des Güterverkehrs auch einen Beitrag zu der Analyse von Wertschöpfungsketten leisten. Zudem können aus den identifizierten Standorten Schlussfolgerungen für den Logistikimmobilienmarkt abgeleitet werden.

7.3 Zielerreichung

Bei einer Erreichbarkeitsanalyse ist grundsätzlich nicht nur die Definition und Auswahl der Ziele, sondern auch die Art ihrer räumlichen und zeitlichen Modellierung entscheidend. Ziele können räumlich auf zwei verschiedene Arten modelliert werden. Zum einen kann ein Ziel als ein im Raum verortbarer Punkt abgebildet werden. Zum Beispiel können Zieleinrichtungen eine postalische Adresse besitzen, deren Lage im Raum durch Geokoordinaten eindeutig beschrieben ist. Zum anderen können Ziele als Zielflächen abgebildet werden. Dies wäre zum Beispiel bei einer Analyse der Erreichbarkeit von Naturschutzflächen oder bei einer Erreichbarkeitsanalyse von Zentralen Orten der Fall. Auch bei der Analyse der Erreichbarkeit von Aktivitätsgelegenheiten, die einer statistischen Gebietseinheit zugeordnet sind (z.B. Einwohner, Arbeitsplätze, Bruttoinlandsprodukt), sind Zielorte zunächst als Flächen dargestellt.

Die eigentliche Berechnung der Reisezeiten zwischen den Fahrtenquellen und Zielen erfolgt allerdings modelltechnisch nicht flächenbezogen, sondern knotenbezogen über einen Verkehrsgraphen. Zu analysierende Ziele müssen daher mit einem oder mehreren nächstgelegenen Knoten verknüpft, das heißt an das Netzmodell angebunden werden.

Nach einer einfachen Methode werden Erreichbarkeitsverhältnisse über das bloße Verkehrsnetzmodell bestimmt. Eine Anbindung der Ziele an den Verkehrsgraphen erfolgt im eigentlichen Sinn nicht. Stattdessen werden Knoten im Verkehrsgraphen als repräsentative Stellvertreter für die zu erreichenden Ziele festgelegt. Der Netzknoten k2 in Abbildung 7.1 wäre in diesem Beispiel der Stellvertreter für den Zielort. Wird der Netzknoten k2 erreicht, gilt der Zielort als erreicht. Dies entspricht dem augenblicklichen Stand des BBSR-Erreichbarkeitsmodells.

Hierbei ist beim Individualverkehr zu berücksichtigen, dass nur jene Verkehrsknoten als repräsentative Zielknoten verwendet werden, die einen Abgang vom Verkehrssystem ermöglichen. So sollten Autobahnkreuze, Brücken, Tunnel oder ähnliche nicht direkt zugängliche Bereiche ausgeschlossen werden. Ist das Ziel eine Zielfläche, können die innerhalb der Zielfläche liegenden Verkehrsknoten als Ziele gewählt werden. Die Zielfläche gilt als erreicht, wenn einer der identifizierten Netzknoten erreicht ist. Ist das Ziel ein Zielpunkt, werden der nächstgelegene Knoten oder auch mehrere nächstgelegene Knoten als Zielknoten bestimmt. Bei diesem Ansatz besteht die Gefahr einer systematischen Unterschätzung von Reisezeiten. Sie ist besonders hoch, wenn zwischen Zielknoten im Netzmodell und geo-

[5] Teltow-Fläming weist in Großbeeren (Grenze zu Berlin) ein ZOL des Typs „D1“ (GVZ Großbeeren) aus.

grafischen Zielpunkten eine größere Distanz liegt und der zur Distanzüberwindung erforderliche Raumüberwindungswiderstand unberücksichtigt bleibt.

Nach einer zweiten Methode werden Zielpunkte und Netzknoten über virtuelle Anbindungskanten miteinander verknüpft. Abbildung 7.1 schematisiert das Prinzip der Zielanbindung über eine virtuelle Anbindungskante (‘access link‘). Dieser Ansatz kommt häufig zur Anwendung und entspricht dem augenblicklichen Stand der Praxis. Dem Verkehrsgraphen werden für die Routenberechnung virtuelle Anbindungskanten sowohl für den Zugang zum Netz als auch für den Abgang vom Netz hinzugefügt. In Abbildung 7.1 ist diese Kante zur Anbindung des Zielorts rot dargestellt. Sie verbindet den nächstgelegenen Netzknoten k2 mit dem Zielort. Für den Abgang vom Netzknoten zum Zielpunkt wird den virtuellen Anbindungskanten ein angenommener Raumüberwindungswiderstand zugewiesen. Um ein realistisches Ergebnisse zu erzielen, werden mittels Geschwindigkeitsannahmen hierzu über die Luftliniendistanz ermittelte Geh- oder Fahrzeiten aufgerechnet, die teilweise noch mit einem mittleren Umwegfaktor multipliziert werden. Für den Zugang zum Netz wird das gleiche Prinzip angewendet.

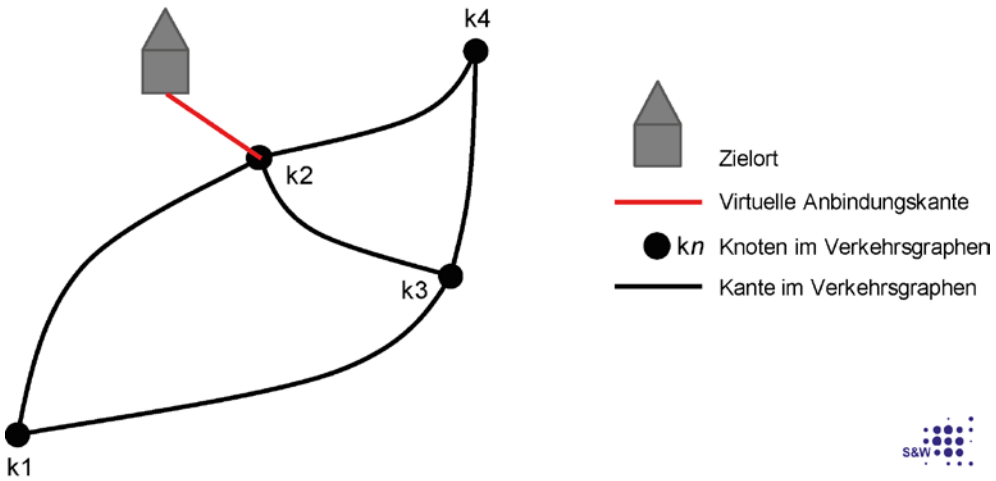


Abbildung 7.1: Anbindung eines Zielortes an den Netzknoten des Verkehrsgraphen

Zielflächen werden in der Regel durch repräsentative Referenzpunkte abgebildet. Ein stark vereinfachender Ansatz ist die Bestimmung eines Zentroids, das heißt die Verwendung des geometrischen Mittelpunkts der Fläche als Zielpunkt. Bei der Erreichbarkeitsberechnung würden alle in der Zielfläche verorteten Zielgelegenheiten stellvertretend durch einen Zentroid repräsentiert. Anstelle des geometrischen Mittelpunkts einer Zielfläche kann als Zentroid auch ein gewichteter Schwerpunkt Verwendung finden. Bei statistischen Daten wie Einwohnerdaten könnte der Zentroid beispielsweise im Schwerpunkt der überbebauten Siedlungsflächen innerhalb der zugehörigen statistischen Zone (z.B. Gemeinde) liegen. Für den Fall, dass Adresskoordinaten vorliegen, ist auch die Verwendung des mittleren Adresspunktes oder – noch besser – des Adressschwerpunktes in der Zielfläche eine geeignete Methode zur Definition des Zentroids. Ein anderer Ansatz liegt in der Verwendung mehrerer Zielpunkte für eine Zielfläche. Wird bei der Routensuche einer der Referenzpunkte der Zielfläche erreicht, gilt die Zielfläche als erreicht. Zielpunkte können mehrere Schwerpunkte von Teilräumen der Zielfläche oder definierbare Zugangspunkte zur Fläche (z.B. bei Schutzgebieten) sein. Ein häufig angewandtes Verfahren zur Erstellung der Zielpunkte besteht in der Aufrasterung der Zielfläche durch ein gleichmäßiges Linienraster, das über die Zielfläche gelegt wird. Die gleichmäßig verteilten Schnittpunkte der Rasterlinien sind die Zielpunkte.

Eine Besonderheit stellen Zentrale Orte dar. Für die Berechnung der Erreichbarkeit von Zentralen Orte sind die Ziele räumlich zu konkretisieren. Da sich in Zentralen Orten verschiedene Zieleinrichtungen an unterschiedlichen Standorten räumlich agglomerieren, werden Zentrale Orte weder durch das komplette Gemeindegebiet als Zielfläche noch durch nur einen einzelnen Zielpunkt, der im Zentrum des Zentralen Ortes liegt, realistisch repräsentiert. Stand der Praxis ist die Berücksichtigung einer Zielfläche im Zentrum des Zentralen Ortes. Ist eine nähere Abgrenzung unbe-

kannt, wird die Zielfläche in aller Regel vom angenommenen funktionalen Mittelpunkt des Zentralen Ortes (z.B. Rathaus, Markplatz) als Zielkreis oder als Zielellipse ausgebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse ist die Flächengröße variabel. Oft wird sie von der Hierarchiestufe, der Einwohnerzahl, der Siedlungsstruktur oder als Kombination davon abgeleitet. In einer Erreichbarkeitsstudie für das Land Mecklenburg-Vorpommern galt als Vorgabe, dass das ellipsenförmige Zielgebiet neben dem Stadtzentrum auch die zentrale ÖV-Haltestelle (z.B. Bahnhof, Zentraler Busbahnhof) umfassen sollte.

Abbildung 7.2 zeigt die Umsetzung der Zielellipsen am Beispiel der Stadt Parchim. Die durchschnittliche Flächengröße der Zielellipsen betrug in Mecklenburg-Vorpommern 67 ha. Bei der Analyse der Erreichbarkeit galt ein Zentraler Ort als erreicht, sobald mit dem ÖV eine innerhalb der Zielfläche liegende Haltestelle oder beim Individualverkehr die Zielfläche erreicht wird. Liegt beim ÖV eine Haltestelle in der Nähe der Zielellipse, so galt der Zentrale Ort als erreicht, sobald die Zielfläche von dieser Haltestelle aus zu Fuß erreicht wird (Schwarze und Spiekermann, 2013).

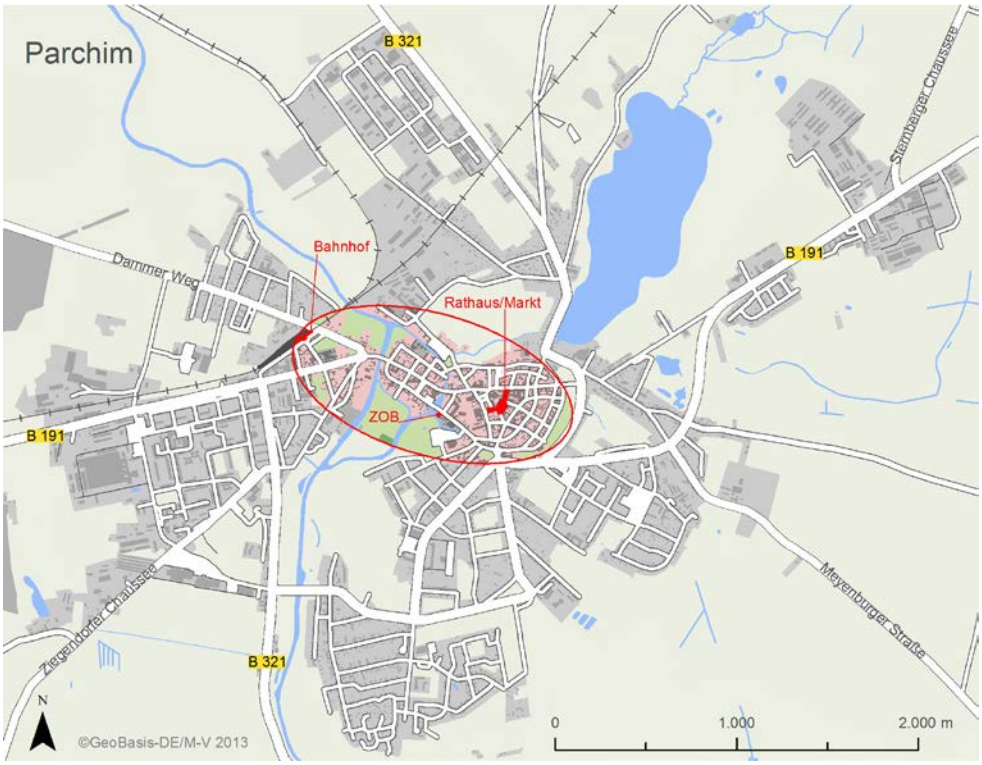


Abbildung 7.2: Zielellipse am Beispiel der Stadt Parchim (Quelle: Schwarze und Spiekermann, 2013, S. 8).

Nicht jeder Zentrale Ort hat die Form eines monofunktionalen Zentrums. Spezialfälle sind bei der Modellierung gesondert zu berücksichtigen. In Einzelfällen können die zentralörtlichen Funktionen durch zwei oder mehrere Orte in Funktionsteilung (z.B. als Städteverbünde) oder durch Funktionsräume erfolgen. In diesen Fällen ist anzuraten, dass die jeweiligen zentralörtlichen Funktionen durch eine jeweils eigene Zielfläche abgebildet werden. Ein bipolarer Zentraler Ort hätte dann zum Beispiel zwei Zielflächen. Wird eine dieser Zielflächen erreicht, gilt der Zentrale Ort als erreicht. Unüblich und in aller Regel nicht zweckmäßig ist eine Mittelwertbildung der Reisezeiten zu den beiden Zielflächen. Dieses Prinzip kann überhaupt nur dann Anwendung finden, wenn die räumliche Verteilung der zentralörtlichen Funktionen auf die Zielflächen und deren Komplementarität bekannt sind.

Insbesondere in flächenmäßig großen Städten und Metropolen existieren neben dem Hauptzentrum nicht selten weitere Ortsteilzentren oder einzelne Siedlungsbereiche, die zumeist untergeordnete zentralörtliche Funktionen ausüben. Aufgrund des Territorialprinzips erfolgt jedoch eine unzerteilte zentralörtliche Zuordnung von politischen Gemeinden (z.B. auch für die Hauptstadt Berlin). Innergemeindliche funktionale Trennungen oder Ergänzungen durch weitere Ortsteile mit Grund- oder gehobenen Versorgungsfunktionen (z.B. in Berlin durch Berlin-Spandau) sind nicht ausge-

wiesen. Eine Nichtberücksichtigung der realen innergemeindlichen Verteilung von zentralörtlichen Funktionen würde die Erreichbarkeitswerte jedoch verfälschen. Dies gilt umso mehr, desto größer die politische Gemeinde und desto mehr dem Ziel einer möglichst kleinräumigen Auswertung von Analyseergebnissen für Fahrtenquellen entsprochen wird. Ein möglicher Lösungsansatz für eine realitätsnahe Erreichbarkeitsmodellierung liegt in einer differenzierten Integration der funktionalen Teilräume, die empirisch nachweisbar oder durch kommunale Feststellung (z.B. als zentralörtliche Siedlungsschwerpunkte) festgelegt sind.

Ein gänzlich anderer Modellierungsansatz für die Erreichbarkeit von Zentralen Orten ist die Berechnung eines aggregierten Erreichbarkeitsindex zentralörtlicher Funktionen. Jede zentralörtliche Stufe ist durch eine funktionale (Mindestausstattung) bestimmbar. Daher können für jede zentralörtliche Funktionsart eigene, unter Umständen sogar adressscharfe Erreichbarkeitsanalysen durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass die Erreichbarkeiten zu den jeweiligen Versorgungs-, Gesundheits-, Bildungs-, Freizeiteinrichtungen usw. einzeln bestimmt werden. Die Ergebnisse können im Anschluss nach Einrichtungsart und Verkehrsmittel gewichtet und zu einem Erreichbarkeitsindex zentralörtlicher Funktionen zusammengeführt werden. Dem höheren Daten- und Rechenaufwand ständen präzisere Erreichbarkeitsergebnisse gegenüber, insbesondere auch für jene Zentrale Orte, in denen die betrachteten Zielstandorte eher dispers verteilt sind. Eine entsprechende Umsetzung dieses Ansatzes in der Praxis und systematische Auswertung ist bislang nicht bekannt.

Beispiele für Erreichbarkeitsanalysen, in denen Ziele zeitlich unterschiedlich modelliert werden, existieren hingegen. Der Grund hierfür ist klar: Je nach Typ können Aktivitäten bevorzugt an bestimmten Wochentagen oder zu bestimmten Tageszeiten ausgeübt werden. Die betrachteten Zieleinrichtungen haben in der Regel bestimmte Öffnungszeiten, zu denen sie aufgesucht werden können. Während Bildungseinrichtungen zumeist am Vormittag öffnen, beginnen Theaterveranstaltungen eher am Abend. Zugleich unterliegen die Verkehrsangebote starken rhythmischen Variationen im Tages- und Wochenverlauf. Überlastungen im Straßenverkehr sind tendenziell zu den Hauptverkehrszeiten auszumachen. Die Verkehrsangebote im öffentlichen Verkehr dünnen sich dagegen außerhalb der Hauptverkehrszeiten, an Ferientagen und Wochenenden aus.

Diese zeitliche Dynamik wird in Erreichbarkeitsanalysen durch die Orientierung auf einen bestimmten Untersuchungszeitraum (z.B. werktags 8 bis 11 Uhr) reflektiert. Im BBSR-Erreichbarkeitsmodell ist der Untersuchungszeitraum zur Bestimmung der Erreichbarkeit mit dem ÖV aufgrund der vorberechneten Reisezeitmatrizen (vgl. Kapitel 6) auf eine Ankunftszeit an Schultagen zwischen 8:00 und 12:00 Uhr festgelegt. Damit bildet das BBSR-Erreichbarkeitsmodell stets das umfangreichste Fahrplanangebot ab, das heißt die Erreichbarkeit zur morgendlichen Berufsverkehrsspitze inklusive der Schülerverkehre. Im Straßenverkehr, für den das BBSR-Erreichbarkeitsmodell bisher nur einen Netzzustand aufweist (vgl. Kapitel 5), könnten durch die Einführung unterschiedlicher Streckenbelastungsgrade zeitliche Variationen im Straßenverkehrsnetz (z. B. Spitzenstunde versus Abendstunde) abgebildet werden.

Neben der Festlegung auf einen bestimmten Untersuchungszeitraum lassen sich auch zeitlich variable Erreichbarkeitsindikatoren berechnen, die zu einem integrierten Gesamtindex aggregiert werden. So ermittelten Kämpf und Roth (2007) zunächst die Erreichbarkeiten von Geschäftsreisenden für sechs Zeitfenster (5:30-9:00 Uhr, 9:00-12:00 Uhr, 12:00-15:00 Uhr, 15:00-18:00 Uhr, 18:00-21:00 Uhr, 21:00-24:00 Uhr) eines Werktages und führten dies zu einem einheitlichen Tagesgesamterreichbarkeitswert zusammen. Für den ÖPNV empfiehlt das Department for Transport (2010) in England, die Erreichbarkeit wegen der Angebotsschwankungen über die Zeit jeweils für halbstündige Zeitfenster eines Tages zu berechnen und zeitspezifische Gewichtungsfaktoren zum Aggregieren der Ergebnisse zu verwenden. Dabei wird nach Reisezwecken sowie Hin- und Rückfahrten unterschieden. Die angenommenen Hauptreisezeiten erhalten den höchsten Gewichtungsfaktor, zum Beispiel betrifft dies für die Hinfahrt zum Arbeitsplatz den Zeitraum zwischen 7:30 bis 10:00 Uhr und für die Rückfahrt vom Arbeitsplatz nach Hause den Zeitraum zwischen 16:30 bis 19:00 Uhr. Fahrten, die zu anderen Zeiten unternommen werden, erhalten ein niedrigeres Gewicht. Das Gesamterreichbarkeitsergebnis erhält man, indem man die Summe der gewichteten Einzelergebnisse durch die Gesamtsumme der Gewichte dividiert. Abbildung 7.3 veranschaulicht diese Methode der zeitlichen Gewichtung für ein Beispiel aus Deutschland, in dem die Erreichbarkeit von Grundzentren berechnet wurde. Die Gewichtung erfolgte basierend auf empirischen Verkehrsverhaltensdaten.

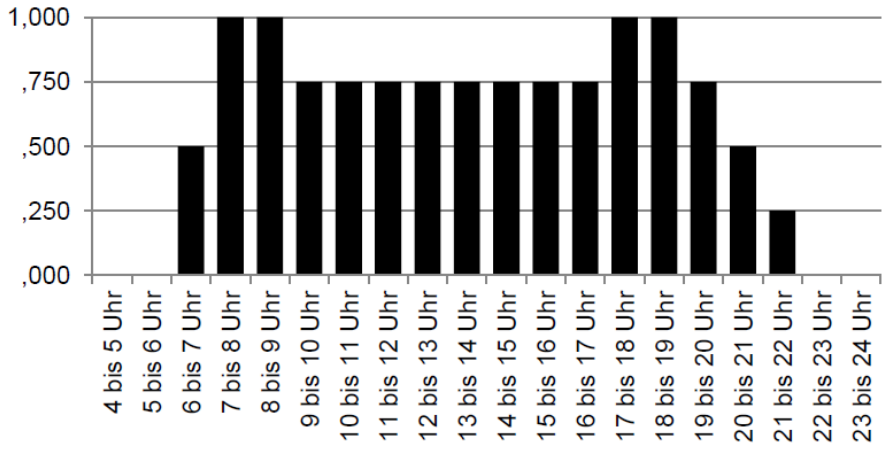


Abbildung 7.3: Stündliche Gewichtungsfaktoren für eine zeitabhängige Berechnung der Erreichbarkeit von Grundzentren (Quelle: Schwarze, 2015, S. 171)

Eine Berücksichtigung der Zeitkomponente ist vor allem aus den oben genannten Gründen zu befürworten. Relevant ist dabei vor allem, dass sich dadurch im IV unterschiedliche Netzzustände und im ÖV die Unterschiede im Angebot abbilden lassen. Bei der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR ist dies im Straßenverkehr implizit durch die Annahmen zu streckenbezogenen Geschwindigkeiten und im ÖV durch den vorgegebenen Ankunftszeitraum am Vormittag bereits enthalten. Es handelt sich um eine globale Festlegung, die für alle Ziele gleichermaßen gilt. Für die bislang betrachteten Zielarten ist diese Vereinfachung durchaus hinreichend, insbesondere für die Berechnung der Erreichbarkeit von Zentralen Orten auch allgemeiner Stand der Praxis. Eine größere zeitliche Variabilität sollte dennoch durch eine Integration weiterer Netzzustände und eine flexiblere Integration von ÖV-Fahrplandaten mittel- bis langfristig angestrebt werden.

Von der Berechnung zeitlich gewichteter, insbesondere stündlicher Erreichbarkeiten, die zu einem aggregierten Gesamterreichbarkeitswert zusammengeführt werden, wird hier abgeraten. Die Methode befriedigt eher wissenschaftlich-intellektuell als dass sie anwendungstauglich ist. Denn der Daten-, Rechen- und Analyseaufwand vervielfacht sich mit jedem zusätzlich zu berücksichtigenden Zeitfenster. Der mögliche Mehrwert für die Praxis steht in keinem positiven Verhältnis zu dem damit verbundenen Personal- und Kosteneinsatz. Der aktuelle Ansatz des BBSR ist für die momentanen Analysezwecke ausreichend.

7.4 Mindeststandards und Schwellenwerte

Bei Erreichbarkeitsanalysen werden Mindeststandards und Schwellenwerte vor allem im Zusammenhang mit Reiseaufwandindikatoren genannt, mit denen die minimale Reisezeit (oder Distanz) zum nächstgelegenen Aktivitätsziel bestimmt wird (Lutter u. a., 1993). Es handelt sich dabei nicht um einen Erreichbarkeitsindikator, mit dem Aspekte wie Wahlfreiheit von Zielaktivitäten und Zielorten oder Angebotsvielfalt bzw. Erreichbarkeitspotenziale abgebildet werden. Im Vordergrund der Analyse mit Reiseaufwandindikatoren steht häufig die Sicherung der Erreichbarkeit von Infrastrukturen, Dienstleistungsangeboten und Daseinsvorsorgeeinrichtungen, um ökonomische Austauschfunktionen und gesellschaftliche Teilhabe gewährleisten zu können. Zentrale Leitvorstellungen sind eine nachhaltige Raumentwicklung, effiziente und räumlich ausgewogene Raumstrukturen und die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse. Vom Gesetzgeber wurde dies im Raumordnungsgesetz in den Grundsätzen (ROG § 2) manifestiert.

In der Realität liegen in Deutschland für Erreichbarkeitsziele nur wenige politisch oder gesetzlich fest verankerte und definierte Mindeststandards oder Schwellenwerte vor. Sofern Aussagen zu Erreichbarkeitsstandards gemacht wurden, handelt es sich bei ihnen zumeist um planerisch-politische Ziel- oder Orientierungswerte ohne Bindungswirkung. Bezüglich der Erreichbarkeit von Zentralen Orten differenzieren die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen je nach Zentralitätsstufe „zwischen ÖPNV und MIV, in Berlin-Brandenburg wird lediglich auf mittelzentraler

Ebene eine Richtschnur für den MIV gesetzt und das Saarland gibt Richtwerte ausschließlich für den ÖPNV an, während in Niedersachsen nur allgemein von 30 Minuten auf mittelzentraler Ebene die Rede ist. Wird zwischen dem MIV und ÖPNV unterschieden, liegt die Zumutbarkeitsgrenze im ÖPNV i. d. R. – je nach Hierarchiestufe – zwischen 15 und 30 Minuten oberhalb der des MIV. Bei der Erreichbarkeit mit dem ÖPNV erfolgt teilweise eine weitere Konkretisierung, z. B. mehrfache Hin- und Rückfahrgelegenheiten in Hessen und in Thüringen“ (Greiving u. a., 2015, S. 48). Tabelle 7.10 fasst die durch die Landesplanung vorgegebenen Schwellenwerte zur Erreichbarkeit von Zentralen Orten zusammen.

Tabelle 7.10: Schwellenwerte der Landesplanung zur Erreichbarkeit von Zentralen Orten

Land	Oberzentrum	Mittelzentrum	Grundzentrum
Berlin/Brandenburg	-	MIV: 30-45 Min.	-
Hessen	ÖPNV: 60 Min. MIV: 60 Min.	ÖPNV: 60 Min.	-
Niedersachen	-	allgemein 30 Min.	-
Rheinland-Pfalz	MIV: 60 Min. ÖPNV: 90 Min.	MIV: 30 Min. ÖPNV: 45 Min.	-
Saarland	-	ÖPNV: 30 Min.	-
Sachsen	ÖPNV: 90 Min. MIV: 45 Min.	ÖPNV: 45 Min. MIV: 45 Min.	-
Sachsen-Anhalt	ÖPNV: 90 Min. MIV: 60 Min.	ÖPNV: 60 Min. MIV: 30 Min.	ÖPNV: 30 Min. MIV: 15 Min.
Thüringen	ÖPNV: 90 Min. MIV: 60 Min.	ÖPNV: 45 Min. MIV: 30 Min.	ÖPNV: 30 Min. MIV: 20 Min.

Quelle: Greiving u. a., 2015, S. 48f.

Eine Grundlage für raumordnerische Zielvorgaben zur Erreichbarkeit von Zentralen Orten und für die funktionale Gliederung der Verkehrsnetze aus der zentralörtlichen Gliederung sind die Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) (FGSV, 2008). Als ein für Deutschland geltendes technisches Regelwerk enthält sie als Schwellenwerte zur Erreichbarkeit von Oberzentren 60 im MIV bzw. 90 Minuten mit dem ÖPNV, zur Erreichbarkeit von Mittelzentren 30 bzw. 45 Minuten und zur Erreichbarkeit von Grundzentren 20 bzw. 30 Minuten.

Die Verbindungsqualität bemisst sich nach den RIN über Zielgrößen für eine angemessene Luftliniengeschwindigkeit aus der Fläche zu und zwischen Zentralen Orten. Es werden sechs Stufen der Angebotsqualität (SAQ) unterschieden:

A = sehr gute Verbindungsqualität,
B = gute Verbindungsqualität,
C = befriedigende Verbindungsqualität,
D = ausreichende Verbindungsqualität,
E = mangelhafte Verbindungsqualität,
F = unzureichende Verbindungsqualität.

Bei der Bestimmung der Qualitätsstufen für den MIV und ÖV wird nach der Entfernung differenziert, das heißt bei gleichbleibender Verbindungsqualität wird bei längeren Distanzen zwischen Zentralen Orten eine höhere Luftliniengeschwindigkeit als bei kürzeren Distanzen vorausgesetzt. Damit kann ein realistisches Bild erzielbarer Luftliniengeschwindigkeiten abgebildet werden. Abbildung 7.4 veranschaulicht dieses Prinzip und zeigt die Einordnung der entfernungsabhängigen Luftliniengeschwindigkeiten für den ÖV zu den sechs Qualitätsstufen der RIN 2008. Das BBSR verwendet dieses Klassifizierungsprinzip der RIN als Grundlage zur Bewertung von An- und Verbindungsqualitäten im Personen- und Güterverkehr in der Raumwirksamkeitsanalyse (vgl. Buthe u. a., 2014).

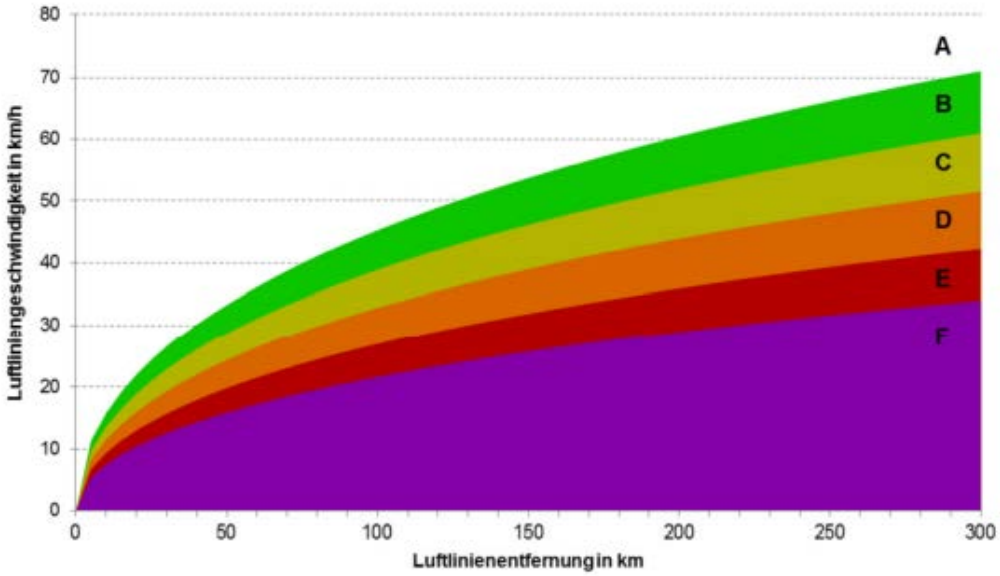


Abbildung 7.4: Qualitätsstufen für entfernungsabhängige Luftliniengeschwindigkeiten im ÖV nach den RIN 2008 (FGSV, 2008)

Häufig werden Schwellenwerte auf der Grundlage von Analysen über die tatsächlichen Erreichbarkeitsverhältnisse festgelegt. „Bei der Erreichbarkeit von Autobahnen orientiert sich die Raum- und Verkehrsplanung immer noch an Forderungen aus den 60er Jahren, in denen als Ziel der Bundesverkehrswegeplanung eine Erreichbarkeit innerhalb von 20 Kilometern für Autobahnen angestrebt wurde. Im BBSR werden seit dem Ende der 80er Jahre Analysen zur Erreichbarkeit von Autobahnen durchgeführt, bei denen ein Schwellenwert von 30 Minuten Pkw-Fahrzeit als raumordnerisch relevant identifiziert wurde und dies in der Raumordnungsberichterstattung dokumentiert ist“ (Buthe u. a., 2014, S. 35). Bei der Erreichbarkeit von Flughäfen wird ein Zielwert von 90 Minuten im MIV raumordnerisch für angemessen betrachtet (Beschluss der Ministerkonferenz für Raumordnung am 29.04.2008). Angesichts dessen, dass tatsächlich bereits 96 Prozent der Bevölkerung den nächsten Flughafen innerhalb von 90 Minuten Pkw-Fahrzeit (innerhalb von 60 Minuten sind es 75 Prozent der Bevölkerung) erreicht, wird ein Erreichbarkeitsniveau, das für 75 Prozent als bereits realisiert gilt, das heißt ein Schwellenwert von 60 Minuten für die Bewertung von Erreichbarkeitsdefiziten in der Raumwirksamkeitsanalyse als ausreichend angesehen (vgl. Buthe u. a., 2014, S. 36). „Ähnlich verhält es sich bei der Erreichbarkeit von IC-Bahnhöfen. Bei einem Schwellenwert von 60 Minuten Pkw-Fahrzeit sind es lediglich 1 % der Bevölkerung, die hier ein Erreichbarkeitsdefizit aufweisen. Bei dem gewählten Schwellenwert von 45 Minuten sind es dagegen immerhin rund 6 % der Bevölkerung“ (ebd.).

In den vom BMVI geförderten Modellvorhaben „Aktionsprogramm Regionale Daseinsvorsorge“ und „Langfristige Sicherung von Versorgung und Mobilität in ländlichen Räumen“ sind regionale Analysen der Erreichbarkeit von Daseinsvorsorgeeinrichtungen fester Bestandteil. Eine Schwierigkeit bei Auswertung und Interpretation der Ergebnisse ist die Festlegung eines Schwellenwertes, anhand dessen man eine gute von einer schlechten Erreichbarkeit unterscheidet. Die in den Modellregionen festgestellten Ausprägungen der Kriterien und Erreichbarkeitswerte variieren je nach den regionalen topografischen, verkehrlichen und siedlungsstrukturellen Bedingungen (vgl. Schwarze und Spiekermann, 2014, S. 90ff.). In der Regel bieten topografisch bewegte Gebiete oder Gebiete mit natürlichen Barrieren schlechtere Voraussetzungen für gute Erreichbarkeitsverhältnisse als ebene Landschaften. Darüber hinaus weisen gering verdichtete, rurale Regionen meist schlechtere Erreichbarkeitsverhältnisse auf als hoch verdichtete, urbane Zentren. Dies ist auch das Ergebnis einer internationalen Vergleichsstudie über Mindeststandards zur Erreichbarkeit von Hausärzten (Voigtländer und Deiters, 2015), in der 30 Minuten als maximal zumutbare Reisezeit im ländlichen Raum festgestellt wird. In einer MORO-Studie wurde die Zweckmäßigkeit von Kennzahlen in der Daseinsvorsorge, auch unter Erreichbarkeitsgesichtspunkten vor dem Hintergrund der in Modellregionen verwendeten Schwellenwerte, untersucht (BMVI, 2015). Die in Tabelle 7.11 aufgeführten Distanzen und Reisezeiten sollen hierbei lediglich als Beispiele für eine regional angenommene Zumutbarkeit und keineswegs als verbindliche Vorgaben verstanden werden.

Tabelle 7.11: Beispiele regionaler Schwellenwerte

Zieleinrichtung	Regional angenommene Schwellenwerte (Distanz bzw. Reisezeit)
KiTa	10-15 Min. mit MIV (Bsp. Oderlandregion)
Grundschulen	15 Min. mit ÖPNV (Bsp. Lkr. Hersfeld-Rotenburg) 15-20 Min. mit ÖPNV (Bsp. Lkr. Merzig-Wadern) Vorgabe Bayern: bis 2 km Schulweg keine Schülerbeförderung Vorgabe Thüringen, Sachsen: bis 30 min. mit ÖPNV
Weiterführende Schulen	Vorgabe Thüringen, Sachsen: bis 45 Min. mit ÖPNV
Hausarzt	10 Min. mit MIV, 30 Min. mit ÖPNV (Bsp. Südharz-Kyffhäuser) 15 Min. mit MIV (Bsp. Mitte-Niedersachsen) 15 Min. als allgemein akzeptierte Obergrenze (vgl. Neumeier, 2017) 20 Min. mit MIV (Bsp. Lkr. Hersfeld-Rotenburg) 20 Min. mit MIV, 30 Min. mit ÖPNV (Bsp. SPESSARTregional)
Krankenhaus	In Hessen sollen Notfallkrankenhäuser in 20 Minuten erreicht werden, maximal in 30 Minuten. Die Entfernung soll im Regelfall 15 bis 25 km betragen und maximal 30 bis 55 km sein. In Mecklenburg-Vorpommern sollen Akutkrankenhäuser in 25 bis 30 km erreichbar sein. In Nordrhein-Westfalen in 15 bis 20 km und zudem möglichst wohnortnah liegen. In Baden-Württemberg soll bei maximal einer Stunde Überführungszeit bei Verlegungen wie in Sachsen eine wohnortnahe Versorgung gesichert sein. In Brandenburg besteht die Vorgabe, dass Krankenhäuser auch bei mehr als 25 km Entfernung miteinander Fusionieren dürfen. (Winkel u.a. 2010)
Lebensmittel-versorgung	5 Min. mit MIV (Bsp. Lkr. Coburg) 10 Min. zu Fuß, 5-20 Min. mit MIV (Bsp. SPESSARTregional) 15 Min. zu Fuß (Bsp. Werra-Meißner-Kreis)

Quellen: BMVI, 2015; Projektgruppe „Demografischer Wandel“, 2017, S. 16

In einer BBSR-Studie zur Nahversorgung in ländlichen Räumen wurde die fußläufige Erreichbarkeit zum nächsten Supermarkt, zur Apotheke, zum Hausarzt, zur Grundschule sowie zur ÖV-Haltestelle untersucht und dabei als Schwellenwert eine Luftliniendistanz von 1 km bzw. eine Gehzeit von 15 Minuten verwendet (Burgdorf u. a., 2015). Auch eine Studie des Thünen-Instituts deutet darauf hin, dass 15 Minuten Wegezeit als relevanter Schwellenwert angesehen werden kann (Neumeier, 2017, S. 28f.).

Ein Beispiel für die Verwendung national einheitlicher Schwellenwerte ist die Accessibility Planning in England. Das Department for Transport (DfT) hat ein Erreichbarkeitsbeobachtungssystem etabliert, bei dem regelmäßig landesweit berechnete Erreichbarkeitsindikatoren veröffentlicht werden. Eine Besonderheit ist es, dass zwei Schwellenwerte zugleich angewendet werden. Für acht verschiedene Aktivitätsziele und drei unterschiedliche Verkehrsmittel werden ausgehend von einem unteren und oberen Schwellenwert die Erreichbarkeitsgrade ermittelt. Tabelle 7.12 zeigt die Kernerreichbarkeitsindikatoren, Ziele und Reisezeitgrenzen der Accessibility Planning in England als Übersicht.

Erreichbarkeitsschwellenwerte sollten auch in Deutschland umfassend und nach Zielkategorien unterschieden sowohl für den Personen- als auch für den Wirtschaftsverkehr aufgestellt werden, im Personenverkehr sollten dabei unterschiedliche Standards für den MIV und ÖV gelten. Nach dem ROG (§ 1 Abs. 3) soll sich die Entwicklung, Ordnung und Sicherung der Teilräume in die Gegebenheiten und Erfordernisse des Gesamtraums einfügen. In ROG § 2 Abs. 2 Nr. 3 wird konkretisiert, dass die Versorgung mit Dienstleistungen und Infrastrukturen der Daseinsvorsorge, insbesondere die Erreichbarkeit von Einrichtungen und Angeboten der Grundversorgung für alle Bevölkerungsgruppen zur Sicherung von Chancengerechtigkeit in allen Teilräumen in angemessener Weise zu gewährleisten ist. Die soziale Infrastruktur ist vorrangig in Zentralen Orten zu bündeln und die Erreichbarkeits- und Tragfähigkeitskriterien sind flexibel an die regionalen Erfordernisse auszurichten. Dieser in den Grundsätzen der Raumordnung auf die Notwendigkeit zu räumlich-differenzierter Konkretisierung auf der Ebene der Landes- und Regionalplanung abzielende Gedanke würde für Erreichbarkeitsanalysen tendenziell eher gegen bundesweit einheitliche Erreichbarkeitsstandards und für regional angepasste zumutbare Reisezeiten sprechen.

Tabelle 7.12: Accessibility Planning in England

Ziele	Reisezeitgrenze		Kernerreichbarkeitsindikator
	untere	obere	
Arbeitsplätze	20 Min.	40 Min.	% der Personen im erwerbsfähigen Alter (16-74 Jahre), die innerhalb von 20/40 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad mehr als 500 Arbeitsplätze erreichen können
			% der Empfänger von Arbeitslosengeld, die innerhalb von 20/40 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/dem Fahrrad mehr als 500 Arbeitsplätze erreichen können
Grundschulen	15 Min.	30 Min.	% der Grundschüler, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß eine Grundschule erreichen können
			% der Grundschüler mit Berechtigung für eine freie Schulmahlzeit, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß eine Grundschule erreichen können
Schulen der Sekundarstufe I	20 Min.	40 Min.	% der Sekundarstufen I-Schüler, die innerhalb von 20/40 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad eine Schule der Sekundarstufe I erreichen können
			% der Sekundarstufen I-Schüler mit Berechtigung für eine freie Schulmahlzeit, die innerhalb von 20/40 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad eine Schule der Sekundarstufe I erreichen können
Schulen der Sekundarstufe II	30 Min.	60 Min.	% der 16- bis 19-Jährigen, die innerhalb von 30/60 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad eine Schule der Sekundarstufe II erreichen können
Hausarztpraxen	15 Min.	30 Min.	% der Haushalte, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß eine Hausarztpraxis erreichen können
			% der Haushalte ohne Pkw, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß eine Hausarztpraxis erreichen können
Krankenhäuser	30 Min.	60 Min.	% der Haushalte, die innerhalb von 30/60 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß ein Krankenhaus erreichen können
			% der Haushalte ohne Pkw, die innerhalb von 30/60 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß ein Krankenhaus erreichen können
Lebensmittel-geschäfte	15 Min.	30 Min.	% der Haushalte, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad ein Lebensmittelgeschäft erreichen können
			% der Haushalte ohne Pkw, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad ein Lebensmittelgeschäft erreichen können
Zentrale Orte (Stadt-/Neben-zentren)	15 Min.	30 Min.	% der Haushalte, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad ein Stadt-/Nebenzentrum erreichen können
			% der Haushalte ohne Pkw, die innerhalb von 15/30 Minuten mit dem ÖPNV/zu Fuß/mit dem Fahrrad ein Stadt-/Nebenzentrum erreichen können

Quelle: Schwarze, 2015, S. 71

Ein aus Mindeststandards bestehendes bundesweit einheitliches Zielsystem ist angesichts regionaler Unterschiede nicht zweckmäßig und politisch nur äußerst schwierig umsetzbar. Zu Analyse- und Vergleichszwecken wäre allerdings eine Definition abgestimmter aktivitäts- und verkehrsmittelspezifischer Schwellenwerte interessant, so wie sie auch schon heute in bundesweiten Erreichbarkeitsstudien verwendet werden. Dabei dürfte die Definition nicht nur eines, sondern so wie in England zum Beispiel eines unteren und oberen Schwellenwertes die allgemeine Akzeptanz verbessern. Die definierten Schwellenwerte können auf einer empirischen Basis aufsetzen und aus den unterschiedlichen Raumgegebenheiten und Ansprüchen an die Erreichbarkeit abgeleitet werden. Sie dienen dann als Orientierungswerte für unterschiedliche Raumstrukturen. Ihr primärer Zweck läge aber in ihrer einheitlichen Nutzbarkeit als Analysemaßstab, zum Beispiel im Rahmen einer laufenden Erreichbarkeitsbeobachtung zur Ermittlung von Erreichbarkeitsgraden.

8 Erreichbarkeitsindikatoren in regionalen Wirkungsanalysen

Erreichbarkeit ist auch Standortfaktor, dies sowohl für die Wohnstandortwahl als auch für die Standortwahl von Wirtschaftsakteuren. Dabei werden je nach individuellen Präferenzen und Erfordernissen für Standortentscheidungen aus unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Aspekte von Erreichbarkeit stärker gewichtet als andere. Trotz aller Unterschiede stellt bessere oder schlechtere Erreichbarkeit immer einen Vor- oder einen Nachteil im Wettbewerb von Räumen auf unterschiedlichsten Ebenen, vom Wohnquartier über Städte, Metropolregionen, Staaten bis hin zu globalen Makroregionen dar.

„Eine gute Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen, Infrastruktureinrichtungen und Erholungsgebieten für die Bevölkerung sowie von Absatz- und Beschaffungsmärkten für die Unternehmen und Betriebe ist eine wichtige Voraussetzung für die Regionalentwicklung“ (Lutter u. a., 1992, S. 71). Aktuell wird Erreichbarkeit als Wettbewerbsfaktor im Standortwettbewerb insbesondere in den Erreichbarkeitsanalysen von BAK Basel Economics (2015, S. 3) thematisiert: „Ohne eine gut ausgeprägte Erreichbarkeit kann ein Standort nur eingeschränkt am wirtschaftlichen Wachstumsprozess teilhaben. Für international tätige Unternehmungen spielt der Zugang zu Beschaffungs- und Absatzmärkten eine zentrale Rolle. Die schnelle Überwindung von Distanzen hilft, Marktgelegenheiten wahrzunehmen. Dabei sind potentielle Märkte umso interessanter, je wirtschaftlich bedeutender und je besser zugänglich sie sind.“ In den Analysen von BAK Basel Economics werden überwiegend Indikatoren vom Typ Erreichbarkeitspotenzial zur Differenzierung von Regionen im Standortwettbewerb genutzt; Wirkungsanalysen, in denen der Zusammenhang von Erreichbarkeit und räumlicher Entwicklung bestimmt wird, werden allerdings nicht durchgeführt.

Es existiert zwar ein weit verbreitetes Verständnis, dass besser erreichbare Regionen wettbewerbsfähiger und so wirtschaftlich erfolgreicher sind als weniger gut erreichbare Regionen mit ansonsten ähnlichen Qualitäten, der empirische Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und wirtschaftlicher Entwicklung scheint über Erreichbarkeit hinaus aber komplexer zu sein (Vickerman u. a., 1999). Im europäischen Maßstab gibt es viele erfolgreiche Regionen im am besten erreichbaren Kernbereich, welche die theoretische Erwartung erfüllen "that location matters". Gleichzeitig gibt es aber auch zentral liegende Regionen, welche mit industriellem Niedergang und hohen Arbeitslosenquoten unter dem Strukturwandel leiden. Auf der anderen Seite des Spektrums liegen – wie theoretisch zu erwarten – die ärmsten Regionen Europas an der Peripherie Europas. Aber es gibt auch wohlhabende periphere Regionen, wie beispielhaft die Regionen in den Nordischen Ländern.

Dass es einen grundlegenden Zusammenhang zwischen Erreichbarkeit und regionaler Wirtschaftskraft gibt, verdeutlicht Abbildung 8.1. Gegenübergestellt wird hier für die Regionen Europas auf der NUTS 3-Ebene das multimodale Erreichbarkeitspotenzial, d. h. ein integriertes Potenzial, gebildet aus Straßen-, Schienen- und Lufterreichbarkeit, und Wirtschaftskraft ausgedrückt als Bruttoinlandsprodukt je Einwohner. Beide Indikatoren sind auf den europäischen Mittelwert standardisiert.

Werden die Differenzen zwischen den jeweils auf den europäischen Durchschnitt standardisierten BIP- und Erreichbarkeitswerten räumlich visualisiert, treten die von der Erwartung stärker abweichenden Regionen in den Vordergrund (Abbildung 8.2). Würde die über die Erreichbarkeit ausgedrückte Lagegunst die Wirtschaftskraft vollständig erklären können, müssten alle Regionen in Abbildung 8.1 auf der Diagonalen liegen und in Abbildung 8.2 gelb eingefärbt sein. Dies sind aber nur einige Regionen. Die Karte bestätigt die obige Aussage zu den von der theoretisch erwarteten Verteilung abweichenden Regionen.

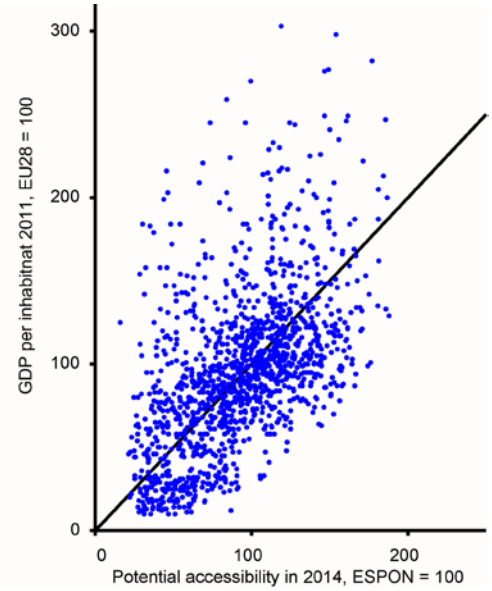


Abbildung 8.1: Erreichbarkeitspotenzial und regionale Wirtschaftskraft der NUTS 3-Regionen Europas (Spiekermann und Schürmann, 2014, S. 54)

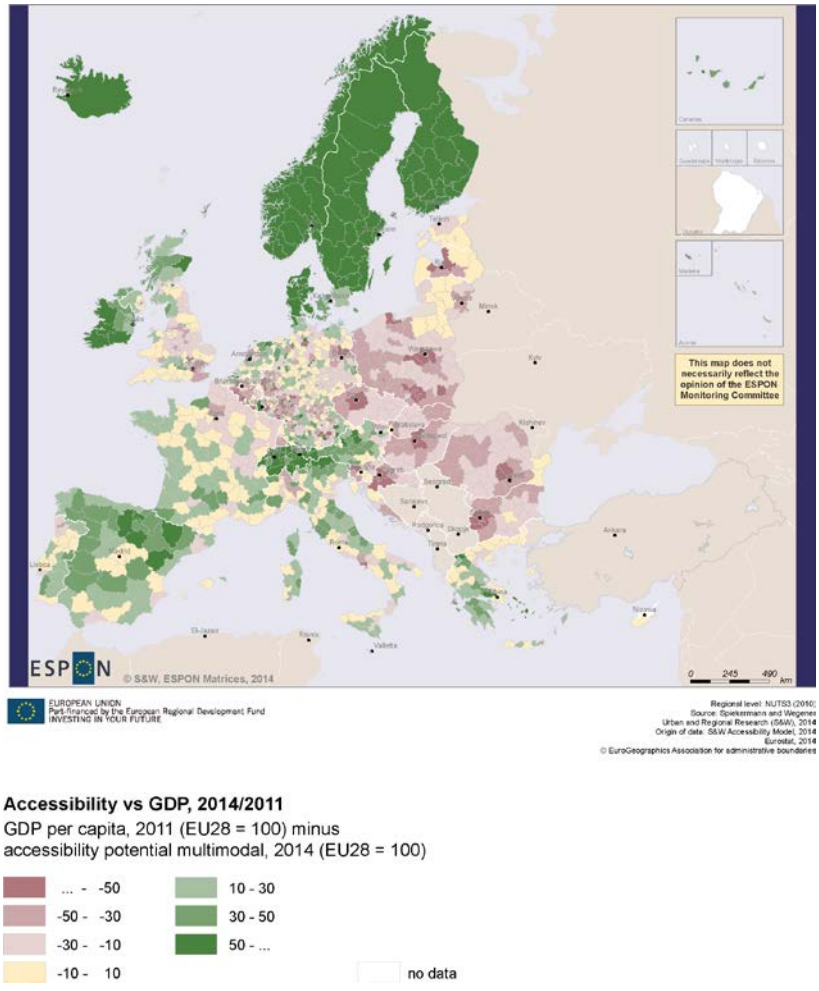


Abbildung 8.2: Relative Differenzen zwischen Erreichbarkeitspotenzial und regionaler Wirtschaftskraft der NUTS 3-Regionen Europas (Spiekermann und Schürmann, 2014, S. 54 und S. 59)

Es wird so nochmals deutlich, dass es neben der Erreichbarkeit eine Reihe weiterer Faktoren gibt, die regionale Entwicklung positiv oder negativ beeinflussen. Die Wirkung von Erreichbarkeit auf die regionale Entwicklung ist deshalb nur schwer zu erfassen. Es wird noch schwieriger, wenn man nicht nur die jeweiligen Niveaus betrachtet, sondern die Entwicklung über die Zeit. So gehören manche der wirtschaftlich am stärksten wachsenden Regionen zur Peripherie Europas, wie einige Regionen in den osteuropäischen EU-Mitgliedsstaaten. Es besteht daher unter den Regionalökonomen sogar Uneinigkeit über die Wirkungsrichtung und ob Verkehrsinfrastrukturentwicklung zur Polarisierung oder zur Kohäsion beiträgt (vgl. Vickerman, 1994).

In regionalökonomischen Modellen werden neben der expliziten oder impliziten Abbildung des Verkehrssystems und der Erreichbarkeit andere erklärende Faktoren einbezogen. Drei Grundtypen von regionalökonomischen Modellen lassen sich unterscheiden, die jeweils auch unterschiedlich das Verkehrssystem abbilden (Spiekermann u. a., 2015):

- Auf regionalen Produktionsfunktionen basierende Methoden modellieren die Wirtschaftsaktivitäten einer Region als Funktion von Produktionsfaktoren. Die klassischen Produktionsfaktoren sind Kapital, Arbeitskräfte und Boden. Später hinzugefügt wurde die Infrastrukturausstattung als öffentliches, von den Unternehmen der Region genutztes Gut. Aktuellere Modelle mit Produktionsfunktionen haben auf die Kritik reagiert, dass die Infrastrukturausstattung einer Region nichts über die Konnektivität aussagt. In diesen Modellen (z.B. SASI, ASTRA, MASST) wurden komplexere Erreichbarkeitsindikatoren als auch softe Standortfaktoren als erklärende Variablen eingeführt.
- Multiregionale Input-Output-Modelle bilden interregionale und interindustrielle Verknüpfungen ab. Diese Modelle schätzen die Handelsströme zwischen ökonomischen Branchen und zwischen Regionen als Funktion von technischen interindustriellen Input-Output-Koeffizienten und Transportkosten. Die regionale Endnachfrage in solchen Modellen ist exogen, das regionale Angebot ist aber elastisch. So können diese Modelle benutzt werden, um regionale Entwicklung als Reaktion auf Veränderungen in den Transportkosten zu prognostizieren. Je nach steigenden oder sinkenden Transportkosten kann die Nachfrage durch Importe aus näher oder entfernter liegenden Regionen gedeckt werden. Effekte von Verkehrsinfrastrukturentwicklungen können so abgebildet werden. Beispiele für operationale multiregionale Input-Output-Modelle sind MEPLAN, TRANUS und DELTA. Diese Modelle benötigen so aber keine Erreichbarkeitsindikatoren, sondern detaillierte Transportkostenmatrizen.
- Aktuellere, auf Input-Output basierende Modelle mit Handelsströmen berücksichtigen der neuen ökonomischen Geografie folgend auch Skalenerträge und nicht perfekten Wettbewerb. Diese Modelle werden als SCGE-Modelle (Spatial Computable General Equilibrium) bezeichnet, da sie ein allgemeines Gleichgewicht zwischen dem Verkehrssystem und den Standorten modellieren. Beispiele für diese Modelle sind CGEurope, RAEM und neuere Versionen des REMI-Modells. Auch diese Modelle benötigen keine Erreichbarkeitsindikatoren, sondern detaillierte Transportkostenmatrizen.

Zusammenfassend lassen sich in diesem Exkurs zur Rolle von Erreichbarkeit in regionalen Wirkungsanalysen zwei Dinge festhalten. Zum einen haben Erreichbarkeitsindikatoren alleine nur eine sehr begrenzte Aussagekraft hinsichtlich regionaler Effekte von Maßnahmen im Verkehrssystem. Bedeutung hinsichtlich von Wirkungsanalysen können Erreichbarkeitsindikatoren allenfalls im Rahmen von regionalökonomischen Modellen erlangen, welche eine Reihe von anderen erklärenden Faktoren beinhalten. Hierbei nutzen aber nur eine Gruppe von regionalökonomischen Modellen überhaupt Erreichbarkeitsindikatoren, die anderen nutzen Transportkosten.

9 Fazit und Umsetzungsempfehlungen

Das übergreifende Ziel dieser Studie war es, auf der Basis umfangreicher Informationsgrundlagen und unterschiedlichster Analysen Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen für die methodische, technische und strategische Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR zu entwickeln. Dieses Kapitel führt zunächst die Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen aus der Literaturanalyse und der Expertenbeteiligung (Kapitel 9.1) sowie zu den Teilaspekten Modellierung des Straßenverkehrs (Kapitel 9.2), Modellierung des öffentlichen Verkehrs (Kap. 9.3) und Modellierung der Ziele (Kap. 9.4) aus. Abschließend werden im Kapitel 9.5 die unterschiedlichen Ansatzpunkte resümierend und übergreifend bewertet sowie mit Prioritäten die konkreten Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen zur Weiterentwicklung für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR dargestellt.

9.1 Hinweise aus der Literatur

Aus der Literatur- und Dokumentenanalyse und den Beiträgen der Fachleute aus Wissenschaft und Praxis auf dem Expertenworkshop des Projekts lassen sich nachfolgend dargestellte Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR ziehen.

Ziele und Prioritäten der Erreichbarkeitsanalysen

Die Literatur zur Erreichbarkeit und die Anwendungsbeispiele spannen ein sehr weites Feld von Optionen auf. Die Weiterentwicklung des Erreichbarkeitsmodells des BBSR kann jedoch nicht darauf abzielen, alle möglichen Aspekte von Erreichbarkeit abzubilden. Es muss nach wie vor die jeweilige raumordnungspolitische Fragestellung ausschlaggebend für Art und Umfang der Analysen sein. Zudem müssen mögliche Erweiterungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittelfristig vor dem Hintergrund der bestehenden finanziellen und personellen Möglichkeiten umsetzbar sein. Gleichzeitig sollte auch die Kontinuität in dem bestehenden Analysespektrum weitgehend gewahrt bleiben.

Komplexität von Erreichbarkeitsindikatoren

Es gibt eine Reihe von komplexeren, analytisch wertvollen Erreichbarkeitsindikatoren jenseits der klassischen einfachen Reisezeitindikatoren. Entsprechende Analysen sind mit dem Erreichbarkeitsmodell des BBSR bereits jetzt teilweise umsetzbar. Eine zusätzliche Herausforderung bei komplexeren Erreichbarkeitsindikatoren liegt in der Vermittelbarkeit der Ergebnisse, insbesondere in einer verständlichen Visualisierung. Den Fokus der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen sollten daher weiterhin die klassischen Reisezeitindikatoren bilden, die fallweise durch komplexere Erreichbarkeitsindikatoren ergänzt werden.

Behandlung von Zielen

Standorte von Daseinsvorsorgeeinrichtungen und damit Ziele der Aktivitäten sind in den Zentralen Orten nicht immer im Stadtzentrum zu finden bzw. nur auf einen Punkt im Stadtzentrum beschränkt. Die adäquate Definition von Zielen, die den tatsächlichen Nutzerpräferenzen entsprechen, ist daher eine wichtige Voraussetzung. Zudem bilden Erreichbarkeitsmaße eine wichtige Grundlage, um die Wirksamkeit, Funktion und Einzugsbereiche von Zentralen Orten abzubilden. Insbesondere in Grenzregionen spielen auch Ziele jenseits der Grenze eine große Rolle für die in Deutschland wohnende Bevölkerung. In die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR für Deutschland und seine Regionen sollten daher Ziele und damit auch die jeweiligen Verkehrsnetze jenseits der Grenze einbezogen werden.

Fahrtzwecke

Im Zusammenhang mit Erreichbarkeitsanalysen zu unterschiedlichen Aktivitätsstandorten könnte eine nach Fahrtzwecken differenziertere Betrachtung stärker herausgearbeitet werden. Hier können auch zusammengesetzte Aktivitäten, z.B. "Einkaufen" berücksichtigt werden.

Integrierte Betrachtung verschiedener Verkehrsmittel und Verkehrsarten

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR waren bislang überwiegend auf Pkw-Erreichbarkeit fokussiert und nur in geringem Umfang auf Erreichbarkeit im Öffentlichen Verkehr oder im Güterverkehr. Auch der Erreichbarkeit von Standorten per Fuß und Fahrrad, der Erreichbarkeit aus der Kombination verschiedener Verkehrsmittel und der Erreichbarkeit im Wirtschafts- und Güterverkehr wird eine zunehmende Bedeutung zugesprochen. Dies würde für das Modell entsprechende Weiterentwicklungen zur besseren Integration verschiedener Verkehrsnetzgrundlagen erfordern.

Nah- und Fernverkehr

Eine erhöhte Fernerreichbarkeit kann sich mit der möglicherweise gleichzeitig ergebenden Spezialisierung und Konzentration von Zielen negativ auf die Naherreichbarkeit zum Beispiel von Daseinsvorsorgeeinrichtungen auswirken, da beispielsweise Einrichtungen mit geringeren Kapazitäten, aber in der Nähe liegend, aufgegeben werden. Wie können in Erreichbarkeitsanalysen derartige Wechselwirkungen von Nah- und Fernverkehr abgebildet werden? Diese Frage bewirkt in der Erreichbarkeitsmodellierung hohe Anforderungen an eine umfassende Netzmodellierung, insbesondere an den Teilbereich des Öffentlichen Verkehrs.

Geeignete Zeitfenster

Erreichbarkeit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Tagesstunde, Wochentag, Jahreszeit) aufgrund unterschiedlicher Verkehrsnetzbelastungen, ÖV-Angeboten oder Restriktionen bei den Zielen (z. B. Öffnungszeiten) sehr verschieden sein. Bislang steht im Mittelpunkt der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mit dem Pkw die Philosophie des "frei fließenden" Straßenverkehrs, welche aber nur in bestimmten Zeiten in der Realität vorkommt. Im ÖV wird Erreichbarkeit am Vormittag gemessen, also zu Zeiten mit vergleichsweise hohen Angeboten. Beides führt zur Abbildung von Erreichbarkeitsverhältnissen, die besser sind als zu anderen Tageszeiten oder zumindest im ÖV an Wochenenden. Die Erreichbarkeitsanalysen sollten daher auch weitere Zeitfenster einbeziehen, um mehr realen Bedingungen zu entsprechen.

Open Data

Es gibt viele neuartige und frei zugängliche, potenzielle Datenquellen (Open Data) für Verkehrsnetze und Zielaktivitäten deren Nutzbarkeit für die Erreichbarkeitsmodellierung zu ermitteln ist. Gleichzeitig sind die Ergebnisse der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen für viele Akteure wichtig. Daher sollte die Nutzbarkeit der Ergebnisse, beispielsweise durch online verfügbare Visualisierungstools, erhöht werden. Eine Open Data Ausrichtung sollte daher in zwei Richtungen stärker entwickelt werden, als Input für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR als auch durch eine nicht-restriktive Verfügbarmachung der Ergebnisse durch das BBSR.

Vergleichende Erreichbarkeitsanalysen

Es gibt nicht die eine Erreichbarkeit, Erreichbarkeit ist vielmehr eine sehr dynamische Größe und variiert stark zwischen den verschiedenen Räumen. Größere Bedeutung könnten vergleichende Erreichbarkeitsanalysen über die Zeit, zwischen Verkehrsmitteln, zwischen unterschiedlichen Netzzuständen durch Planungsmaßnahmen, sowie zwischen Städten und Regionen erlangen.

Maßnahmenbewertung

Das Erreichbarkeitsmodell sollte stärker für Maßnahmenbewertungen nutzbar sein, da reine Kosten-Nutzen-Analysen wenig über räumliche Prozesse und Effekte aussagen. Dies sollte nicht nur verkehrliche Maßnahmen, sondern auch solche der Standortplanung mit einschließen.

9.2 Modellierung des Straßenverkehrs

Digitale Straßennetzgrundlage

Das BBSR hält für seine Erreichbarkeitsanalysen im Straßenverkehr eine umfangreiche und flexibel zu handhabende Straßennetzgrundlage vor. Diese ist räumlich und sachlich für die im Regelfall zu bearbeitenden Aufgaben und Analysen bestens geeignet. Zudem bestehen eingeübte Verfahren, diese digitale Straßennetzgrundlage zu pflegen und weiterzuentwickeln, d.h. weitere Attribute zu ergänzen oder zu modifizieren, weitere Netzelemente beispielsweise im Rahmen von regionalen Vertiefungen aus anderen, für das BBSR vollständig kostenfreien Netzdaten (DLM oder OSM) einzubinden. Das bestehende Netz wird in einem aktuellen GIS-System vorgehalten, welches die vollständige Editierbarkeit der Daten zulässt und zudem weitere Funktionalitäten zur Netzanalyse bereitstellt. Ein großer, nicht zu unterschätzender Vorteil ist die damit gegebene vollständige Kontrolle des BBSR über die vorhandene digitale Straßennetzgrundlage.

Die betrachteten anderen digitalen Straßennetzgrundlagen für die Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR bieten weder von der Attributierung noch von den Kosten bei einigen kommerziellen Anbietern her eine empfehlenswerte Alternative. Bei einem Umschwenken auf die Straßennetzgrundlagen von kommerziellen Anbietern würden sich zudem neue Abhängigkeiten ergeben, die ja gerade bei den ÖV-Netzgrundlagen überwunden werden sollen. Ein erheblicher Aufwand würde auch darin bestehen, die bislang vorhandenen Informationen zu den Straßennetzen, insbesondere zur historischen Entwicklung und zu möglichen zukünftigen Entwicklungen, in eine neue Straßennetzgrundlage einzubinden.

Ein Umstieg auf eine der alternativen digitalen Straßennetzgrundlagen wäre so mit hohen Opportunitätskosten verbunden, ohne dass sich ein entscheidender Mehrwert für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR ergeben würde. Es wird daher empfohlen, die bisherige Straßennetzgrundlage beizubehalten und entsprechend den Anforderungen fortzuführen. Zu dieser Fortführung kann aber durchaus gehören, wie teilweise mit DLM und OSM-Netzdaten bislang schon praktiziert, einzelne Informationen und Attribute aus anderen Netzgrundlagen auf die BBSR-Straßennetze zu transferieren (s. dazu auch weiter unten zur Geschwindigkeitsattributierung).

Definition Verkehrssituation

Wenn die Geschwindigkeitsannahmen im BBSR-Erreichbarkeitsmodell verbessert werden sollen, besteht der erste Schritt darin, zu definieren, welcher Netzzustand abgebildet werden soll. Theoretisch kann sich dies je nach Anwendungsfall durchaus unterscheiden. Es ist daher zu hinterfragen, ob der Status quo des BBSR-Erreichbarkeitsmodells mit einem pauschalen Modellansatz hinsichtlich der Pkw-Geschwindigkeitsannahmen beibehalten werden soll oder ob ein flexibler, zweckgebundener Ansatz verfolgt werden soll. Bei einem solchen würden je nach Analysezweck unterschiedliche Varianten des Netzzustands (z.B. unbelastetes, normal belastetes oder extrem belastetes Netz) berücksichtigt werden. Entsprechend wären die Netzwiderstände zu attributieren.

Attributierung von Fahrgeschwindigkeiten, kurzfristig

Die Analyse der Reisezeiten in Bezug auf die 45 ausgewählten Relationen in den drei Testräumen (vgl. Kapitel 5.3) hat einige Hinweise erbracht, in welchen Teilräumen die Reisezeiten des BBSR-Modells erkennbar über oder unter denen anderer Netzmodelle liegen. Derartig andere Reisezeiten müssen nicht falsch sein, bedürfen aber der Ermittlung der Ursachen. Infolge dieser Prüfung sind drei Formen von Konsequenzen denkbar:

- Zum einen könnte festgestellt werden, dass die im Vergleich auffälligen Reisezeiten plausibel sind. In diesem Fall ergäbe sich kein Handlungsbedarf.
- Zweitens könnte die Abweichung aufgrund eines, mehrerer oder systematischer, dann ggf. zu hinterfragender Zuweisungen von Geschwindigkeitsprofilen zu einzelnen Streckensegmenten passieren, z.B. in der Zuweisung des Profils "schnell" auf Strecken wo "mittel" angebracht wäre. Solche Änderungen in der Zuweisung der Profile wären dann lokal durchführen.

- Drittens könnte die Abweichung aufgrund systematisch zu hoher oder zu niedriger Geschwindigkeiten für einzelne Straßentypen und deren Unterscheidung nach schnell, mittel, langsam zu liegen. Die momentan gewählten Annahmen für Autobahnen scheinen hier auch im Rahmen der Grundphilosophie des fließenden Verkehrs sehr optimistisch zu sein. Hier müsste systematisch experimentiert werden, ob eine Modifikation der Geschwindigkeitsannahmen Veränderungen in gewünschten Richtungen erbringen.

Attributierung von Fahrgeschwindigkeiten, mittelfristig

Die Analyse der digitalen Straßennetzgrundlagen mit gemessenen Geschwindigkeiten zeigt nochmals deutlich, dass die Variabilität von Geschwindigkeiten die Variabilität von Streckentypen, selbst nach siedlungsstruktureller Differenzierung, weit übersteigt.

Vertiefende Analysen zur streckenabschnittsbezogenen Gegenüberstellung von regelbasierten Geschwindigkeitsattributierungen (OSM/S&W) mit auf gemessenen Geschwindigkeiten beruhenden Netzattributierungen (OSM/FCD) zeigen, dass die Einbindung der Umgebungsdichte von Straßenabschnitten in die Ableitungsregeln gute Übereinstimmungen mit den gemessenen Geschwindigkeiten ergeben. Dies gilt allerdings nicht für Autobahnen und autobahnähnliche Strecken, da hier die Geschwindigkeiten von der Umgebungsdichte unabhängig sind und die benutzte Dichte der Gemeinden weniger verlässliche Bezüge zur gefahrenen Geschwindigkeit erbringt.

Eine mittelfristig zu realisierende Option zur Verfeinerung der Geschwindigkeitsattributierung in dem BBSR-Straßennetzmodell besteht darin, die konventionelle, regelbasierte Attributierung mit einer Integration weiterer Attributierungsfunktionen in einer detaillierteren Form fortzusetzen. Dabei sind je nach Ausgangsinformation für die einzelnen Streckenabschnitte zwei verschiedene Funktionstypen erforderlich:

- Für Autobahnen und einige andere Straßen liegen auf dem BBSR-Netzmodell Informationen der BAST über die Verkehrsstärken vor. Mit den entsprechenden Funktionen des Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS 2015 (FSGV, 2015) können die Fahrgeschwindigkeiten auf derartigen Streckenabschnitten generiert werden.
- Für andere Straßen ohne Verkehrsstärkeninformationen sollte ein Ansatz gewählt werden, der aus streckenabschnittsbezogenen Informationen zur Umgebungsdichte und zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit die durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten ermittelt. Eine solche Funktion ist in dieser Studie experimentell mit dem OSM/S&W-Netzmodell aufgesetzt worden. Für eine dauerhafte Implementierung eines solchen Ansatzes im BBSR-Netzmodell wäre allerdings eine Eichung der Funktionen an gemessenen Geschwindigkeiten beispielsweise auf der Basis des hier verwendeten OSM/FCD-Netzmodells erforderlich.

Attributierung von Fahrgeschwindigkeiten, langfristig

Eine aufgrund der Kostenimplikation nur langfristig zu realisierende Möglichkeit besteht darin, die Attributierung mithilfe gemessener Geschwindigkeiten auf der Basis von Big Data Quellen, wie in diesem Bericht dargelegt, streckengenau vorzunehmen. Die gemessenen Geschwindigkeiten könnten als durchschnittliche Geschwindigkeiten und ggf. zusätzlich auch als Geschwindigkeiten, die bestimmte Netzzustände wie hoch belastet oder unbelastet abbilden, direkt auf die Kanten des Netzmodells übertragen werden (für FCD-Daten s. beispielhaft Kapitel 5.2.3, ausführlicher in Leerkamp und Holthaus, 2018). Methodisch notwendig sind hierfür eine Definition der Geschwindigkeit (z.B. Median/v15/v85-Ansatz), die Berücksichtigung anormaler Messergebnisse (z.B. baustellenbedingte Verlangsamungen) und der Umgang mit möglicherweise auftretenden Datenlücken. Egal ob einmalig oder wiederkehrend, die Umsetzung dieses Ansatzes ist mit Kosten verbunden, die durchaus erheblich sein können. Daher sollte der Kosten-Nutzen-Aspekt genau überprüft werden.

Berücksichtigung von Reiseaufwänden zu Beginn und zum Ende von Fahrten

Zu Fahrtbeginn oder Fahrtende auftretende Auf- und Abrüstzeiten bei der Pkw-Nutzung (Weg zum abgestellten Pkw, Ausfahrt aus Garage, Parksuchzeit etc.) werden momentan im BBSR-Netzmodell nicht berücksichtigt. Die aus-

schließliche Einbeziehung der reinen Pkw-Fahrzeit in den Raumüberwindungswiderstand, d. h. der Annahme eines Starts bei laufendem Motor und Abstellmöglichkeit unmittelbar vor dem Ziel, verhindert eine empirisch ermittelte Differenzierung der Reisegeschwindigkeiten nach Distanzen und ergibt zu günstige Pkw-Reisezeiten, welche insbesondere auch Vergleiche zur Erreichbarkeit im ÖV erschweren. Eine Einbeziehung dieser Reiseaufwände zu Beginn und zum Ende von Pkw-Fahrten in die Straßennetzmodellierung wäre daher angebracht.

Eine derartige Einbeziehung von zusätzlichen Reisewiderständen zu Beginn und zum Ende einer Fahrt würde auch eine modifizierte Kodierung des Straßennetzes bzw. der Anbindung von Quellen und Zielen hieran bedingen. Bislang werden Quell- und Zielorte im Straßennetz durch den jeweils nächsten Netzknoten repräsentiert. Dies bedeutet, dass eine Fahrt direkt an dem Knoten im Straßennetz beginnt und an dem entsprechenden Knoten endet. Zusätzliche Reiseaufwände können so nicht im Netz kodiert werden, sondern allenfalls als Zuschlag bei Quellen oder Zielen hinzuberechnet werden. Bewährt hat sich, dass Quellen und Ziele als eigenständige Punkte im Netz kodiert werden und über (virtuelle) Zugangs-/Abgangsstrecken ("access links") an den nächsten oder besser noch die nächsten umgebenden Straßenknoten angebunden werden. Auf diesen Zugangs-/Abgangsstrecken können dann spezifische Reiseaufwände zu Beginn und zum Ende der Fahrt kodiert werden.

Isochronenbildung

Wie in den meisten Erreichbarkeitsmodellen werden im BBSR-Modell die Reisezeiten für die vorgegebenen Netzknoten berechnet; zur kartografischen Darstellung und ggf. aber auch zur analytischen Auswertung werden die Reisezeitwerte für zwischen den Netzknoten liegende Flächen interpoliert. Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell verwendet dazu die IDW-Interpolation (Inverse Distance Weighting). Die Reisezeiten im Zwischenraum werden über eine entfernungsabhängig gewichtete Kombination verschiedener Referenzpunkte ermittelt. Dies bedeutet, dass es für den Zugang (bzw. Abgang) von den Zwischenräumen zu den Netzknoten keinen Reisezeitaufschlag gibt, d. h. die Reisezeiten in den Zwischenräumen gewichtete Mittelwerte der umliegenden Knoten darstellen. Damit sind die Reisezeiten in den Zwischenräumen systematisch zu kurz, die Reichweite innerhalb vorgegebener Zeitspannen tendenziell zu groß und darauf aufsetzende Analysen wie beispielsweise die vom BBSR häufig durchgeführte Aufsummierung der Bevölkerung nach Reisezeiten ergeben leicht zu positive Werte.

Anzuraten ist hier die Umstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Reisezeiten in der Fläche, welches nicht zwischen den umliegenden Knoten mittelwertbildend operiert, sondern die Zugangszeit von den jeweiligen Punkten in der Fläche zu den umliegenden Netzknoten ermittelt und zur Gesamtreisezeit addiert. Eine Orientierung mag das hier vorgestellte Verfahren bei der Isochronenbildung der DLM/S&W-, OSM/S&W- und OSM/FCD-Netzmodelle bieten (vgl. Kap. 5.5). Dabei werden die Reisezeiten aus der Fläche in den Straßenzwischenräumen auf Basis einer angenommenen niedrigen Luftliniengeschwindigkeit ermittelt. Dies Verfahren bewirkt, dass es in den Zwischenräumen immer einen Reisezeitzuschlag gibt, der den Reisewiderstand des Weges zum nächsten oder besser zu den nächsten Netzknoten repräsentiert.

Ein derartiges Verfahren zur Interpolation wäre auch für die Analysen der ÖV-Erreichbarkeit sinnvoll. Dort ist es momentan notwendig, bei den ÖV-Reisezeiten Haltestellen mit einzelnen "Ausreißern" in Bezug auf die Reisezeit herauszufiltern, damit sich dies nicht im Kartenbild niederschlägt (Schönfelder und Pütz, 2018). Der bislang beschrittene Weg, einen Suchraum von 1 km aufzuspannen und die Haltestelle mit der kürzesten Reisezeit als Grundlage für die Interpolation zu nehmen, dies ohne Zugangswege zur Haltestelle zu berücksichtigen, führt auch hier zu zu kurzen ÖV-Reisezeiten. Geeigneter wäre es auch hier, die Punkte in der Fläche über Zugangsstrecken mit darauf kodierten Fußwegezeiten an die umliegenden Haltestellen anzubinden. Damit würde automatisch eine realistische Gesamtreisezeit für die Punkte in der Fläche zwischen den Netzknoten ausgegeben werden.

9.3 Modellierung des Öffentlichen Verkehrs

Eine Loslösung von der bisherigen Praxis des Zukaufs von ÖV-Reisezeitmatrizen mit den beschriebenen Restriktionen hinsichtlich Umfang und Flexibilität der Nutzung muss gegen die Vorteile der bisherigen Praxis abgewogen werden, die insbesondere in der relativ unkomplizierten Handhabbarkeit des Verfahrens liegt. Eine Umstellung des Sys-

tems der ÖV-Datenbeschaffung und Integration ist aber dringend anzuraten. Dies kann aber nur langfristig erfolgen und muss entsprechend vorbereitet werden. Die nachfolgenden Empfehlungen beinhalten daher eine dreiphasige Umstellung.

Kurzfristig Beibehaltung bzw. moderate Ausdehnung des Status-quo-Verfahrens

Für die nähere Zukunft kann nur die laufende Praxis des Zukaufs von ÖV-Reisezeitmatrizen weitergeführt werden. Dabei wäre es zumindest theoretisch denkbar, allerdings mit hohen laufenden Kosten verbunden, dies aber nicht in einem mehrjährigen Turnus, sondern immer dann, wenn es analyse- bzw. projektbezogen notwendig ist. Damit würden zunächst keine Investitions- oder weitere Personalkosten entstehen. Die laufenden Kosten für den fallbezogenen Zukauf der ÖV-Daten würden, abhängig von der Quantität des Datenzukaufs, aber die Kosten der anderen Optionen nach wenigen Jahren übersteigen. Zudem würde es sich nur um eine scheinbare Flexibilität handeln, da eine Abhängigkeit von wenigen Datendienstleistern bestehen bliebe.

Mittelfristig probeweises Entwickeln und Testen der integrierten Fahrplannutzung beim BBSR

In längerfristiger Perspektive ist aufgrund von Flexibilisierungs- und Kostengesichtspunkten die Autarkie des BBSR bei der Verarbeitung von ÖV-Fahrplandaten im Rahmen der Erreichbarkeitsanalysen erforderlich. Zuvor wurden zwei mögliche Modelle erörtert, die beide gangbare Wege aufzeigen. Es wird hier jedoch vorgeschlagen, den zweiten Weg, also die Inhouse-Generierung von ÖV-Reisezeiten auf der Basis der eigenen Verarbeitung von ÖV-Fahrplandaten zu gehen. Die erste Lösung, die Abfrage von ÖV-Reisezeiten für vorgegebene Relationen und damit die Erzeugung der erforderlichen Reisezeitmatrizen würde vermutlich auf Dauer die Flexibilität der ÖV-Erreichbarkeitsanalysen immer noch einschränken. So wäre es beispielsweise hiermit schwieriger, die immer wichtiger werdenden intermodalen Erreichbarkeiten mit der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel adäquat zu modellieren. Daher sollte langfristig die zweite Option angestrebt werden.

Diese zweite Option kann aber sicherlich, insbesondere aufgrund der vermutlich nur langfristig flächendeckend gegebenen öffentlichen Verfügbarkeit der ÖV-Fahrplandaten auch nur langfristig umgesetzt werden. Die Zwischenzeit sollte genutzt werden, die entsprechenden Verfahren und Schnittstellen zu entwickeln. Mittelfristig könnten so die Schnittstellen und die spezifischen Anforderungen exakt definiert werden und prototypisch implementiert werden. Dies könnte beispielsweise mit den bundesweit, im GTFS-Format verfügbaren Fernverkehrsdaten für den Bahnverkehr, ergänzt um ausgewählte regionale ÖV-Angebote im GTFS-Format wie sie für Berlin/Brandenburg, Niedersachsen oder große Teile Nordrhein-Westfalens bereits vorliegen, getestet werden.

Langfristig autarke und integrierte Fahrplannutzung beim BBSR

Die in der mittelfristigen Empfehlung entwickelten Schnittstellen würden mit den entsprechend erforderlichen Modifikationen dazu führen, dass langfristig das BBSR über ein operationelles Interface zu den ÖV-Fahrplandaten verfügen würde, welches erlauben würde, bundesweit die ÖV-Fahrpläne nahtlos in die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR einzubinden.

9.4 Modellierung von Zielen

Zielekanon

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR beinhalten bereits einen recht umfassenden Zielekanon, der hinsichtlich weiterer Ziele im Personen- und Güter- und Warenverkehr jüngst noch ausgeweitet wurde. Die Erweiterung des Zielekanons um Ziele des Güter- und Warenverkehr sollte fortgesetzt werden. Für großräumige Erreichbarkeitsanalysen des BBSR sind Zentrale Orte als Ziele sowohl für den Personen- als auch für den Güter- und Warenverkehr zweckmäßig. Die darüber hinaus gehende Berücksichtigung weiterer Ziele mit fachplanerischer Relevanz und die durchgeführten Analysen von An- und Verbindungsqualitäten im Personen- und Güterverkehr bilden eine insgesamt umfangreiche

Grundlage, mit der die Erreichbarkeitsverhältnisse in den einzelnen Teilräumen Deutschlands abgebildet und ausgewertet werden können. Die Erreichbarkeitsanalysen zu unterschiedlichen Aktivitätsstandorten und eine nach Fahrtzwecken differenziertere Betrachtung könnte zukünftig stärker herausgearbeitet werden. Anhaltspunkte hierfür können räumlich differenzierte Auswertungen von Mobilitäts- und Verkehrserhebungen liefern

Die Weiterentwicklung des Erreichbarkeitsmodells des BBSR kann jedoch nicht darauf abzielen, alle möglichen Aspekte von Erreichbarkeit abzubilden. Es muss nach wie vor die jeweilige raumordnungspolitische Fragestellung ausschlaggebend für Art und Umfang der Analysen sein. Zudem müssen mögliche Erweiterungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR vor dem Hintergrund der bestehenden finanziellen und personellen Möglichkeiten umsetzbar sein. Gleichzeitig sollte auch die Kontinuität in dem bestehenden Analysespektrum weitgehend gewahrt bleiben. Es wird daher angeraten, die gängige Praxis fortzusetzen, nur entsprechend dem Bedarf neuartige Ziele sukzessive zu integrieren.

Als langfristige Perspektive ist die Berechnung eines aggregierten Gesamtindex zentralörtlicher Funktionen zu überlegen. Die in dem Index zu berücksichtigenden einzelnen Ziele könnten sich hierbei an den definierten Ausstattungsmerkmalen von Ober- und Mittelzentren orientieren.

Ebenfalls in eher langfristiger Perspektive könnte über eine Integration von Erreichbarkeitspotenzialindikatoren nachgedacht werden, die Wettbewerbsfähigkeit abbilden. Das wirtschaftliche Erreichbarkeitspotenzial mit Bruttoinlandsprodukt als Ziel gilt in diesem Bereich als ein Standard-Erreichbarkeitsindikator.

Langfristig kann zudem über eine Verknüpfung des Nahversorgungsmodells des BBSR mit einem (kleinräumigen) Erreichbarkeitsmodell nachgedacht werden.

Räumliche Modellierung von Zielen

Standorte von Daseinsvorsorgeeinrichtungen und damit Ziele der Aktivitäten sind in den Zentralen Orten nicht immer im Stadtzentrum zu finden bzw. nur auf einen Punkt im Stadtzentrum beschränkt. Die adäquate Definition von Zielen, die den tatsächlichen Nutzerpräferenzen entsprechen ist daher eine wichtige Voraussetzung. Zentrale Orte sollten zumindest als Zielflächen modelliert sowie kurz- bis mittelfristig innergemeindlich ausdifferenziert werden. Mittelfristig sollten so auch die Ziele und Zentralen Orte des Güterverkehrs räumlich präzisiert werden.

In Grenzregionen spielen auch Ziele jenseits der Grenze eine große Rolle, d. h. der Raumbezug für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR sollte die Grenzregionen jenseits der Grenze einbeziehen.

Eine Anbindung der Ziele an Verkehrsgraphen mittels Anbindungskanten unter Berücksichtigung von entsprechenden Widerständen auf diesen Kanten führt gerade bei Verkehrsgraphen, die auf überörtliche Analysen ausgerichteten sind, zu realistischeren Ergebnissen. Bislang werden Quell- und Zielorte durch den jeweils nächsten Netzknoten repräsentiert. Zu empfehlen ist eine Verknüpfung der Quellen und Ziele mit dem Verkehrsgraphen zur Routenberechnung über virtuelle Anbindungskanten (Zugangs- und Abgangsstrecken) an den nächsten oder besser noch die nächsten umgebenden Netzknoten. Auf diesen virtuellen Anbindungskanten können dann spezifische Reiseaufwände zu Beginn und zum Ende der Fahrt kodiert werden.

Zeitliche Modellierung von Zielen

Erreichbarkeit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Tagesstunde, Wochentag, Jahreszeit) aufgrund unterschiedlicher Verkehrsnetzbelastungen, ÖV-Angeboten oder Restriktionen bei den Zielen (z. B. Öffnungszeiten) sehr verschieden sein. Bislang steht im Mittelpunkt der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mit dem Pkw die Philosophie des "frei fließenden" Straßenverkehrs, welche aber nur in bestimmten Zeiten in der Realität vorkommt. Im ÖV wird Erreichbarkeit am Vormittag gemessen, also ebenfalls zu Zeiten mit vergleichsweise hohen Angeboten. Zu prüfen wäre, ob die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittel- bis langfristig für weitere Zeitfenster entwickelt werden können, um den realen Bedingungen zu entsprechen. Dies würde die Abbildung unterschiedlicher Netzzustände im Straßenverkehr und eine Berücksichtigung unterschiedlicher Ankunftszeiten im öffentlichen Verkehr erfordern.

Abzuraten ist augenblicklich jedoch von einer Umstellung auf die Berechnung zeitlich gewichteter, insbesondere stündlicher Erreichbarkeiten, die zu einem aggregierten Gesamterreichbarkeitswert zusammengeführt werden. Der damit verbundene Daten-, Rechen- und Analyseaufwand und Personaleinsatz steht in keinem Verhältnis zu dem möglichen Mehrwert für die Praxis.

Erreichbarkeitsstandards und -schwellenwerte

Generell sollte auf die Definition von Erreichbarkeitsstandards und Schwellenwerte hingearbeitet werden, die sich an den vom BBSR ermittelten aktuellen Erreichbarkeitsverhältnissen orientieren. Langfristig könnte über die Etablierung einer systematischen, einheitlichen Erreichbarkeitsbeobachtung des BBSR nachgedacht werden, die basierend auf Kernerreichbarkeitsindikatoren mit Schwellenwerten, neben einer ausführlichen Bestandsanalyse auch Veränderungen im zeitlichen Verlauf ermöglicht. Die Erreichbarkeitsschwellenwerte sollten umfassend und nach Zielkategorien unterschieden sowohl für den Personen- als auch für den Wirtschaftsverkehr aufgestellt werden, im Personenverkehr sollten unterschiedliche Standards für den MIV und ÖV gelten. Wahrscheinlich ist eine gleichzeitige Anwendung von zwei oder mehreren Schwellenwerten zweckmäßig, die regionale Spezifika direkt mitberücksichtigt.

9.5 Zusammenfassende Empfehlungen

Die zusammenfassenden Empfehlungen dieser Studie beziehen sich einerseits unter konzeptionellen Aspekten auf die mögliche strategische Weiterentwicklung des BBSR-Erreichbarkeitsmodells, andererseits auf technische Aspekte dieser Weiterentwicklung.

Strategische Weiterentwicklung des BBSR-Erreichbarkeitsmodells

Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell für den Straßen- und öffentlichen Verkehr wurde hinsichtlich seiner inhaltlichen und technischen Ausrichtung kontinuierlich weiterentwickelt. Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell betreibt das BBSR ein Erreichbarkeitsmodell, mit dem fundierte und anerkannte Analyseergebnisse erzielbar sind. Die Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR werden anschaulich aufbereitet. Die Literatur zur Erreichbarkeit und die anderen Anwendungsbeispiele spannen ein sehr weites Feld von Optionen auf. Die strategische Weiterentwicklung des Erreichbarkeitsmodells des BBSR kann jedoch nicht darauf abzielen, alle möglichen Aspekte von Erreichbarkeit abzubilden. Es muss nach wie vor die jeweilige raumordnungspolitische Fragestellung ausschlaggebend für Art und Umfang der Analysen sein. Zudem müssen mögliche Erweiterungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittelfristig vor dem Hintergrund der bestehenden finanziellen und personellen Möglichkeiten umsetzbar sein. Gleichzeitig sollte die Kontinuität in dem bestehenden, umfangreichen Analysespektrum weitgehend gewahrt bleiben.

Die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR waren bislang überwiegend auf die Pkw-Erreichbarkeit fokussiert und nur in geringem Umfang auf Erreichbarkeit im Öffentlichen Verkehr oder im Güter- und Warenverkehr. Der Erreichbarkeit von Standorten per Fuß und Fahrrad sowie der Erreichbarkeit aus der Kombination verschiedener Verkehrsmittel und der Erreichbarkeit im Wirtschafts- und Güterverkehr wird eine zunehmende Bedeutung zugesprochen. Dies würde für das Modell entsprechende Weiterentwicklungen zur besseren Integration verschiedener Verkehrsnetzgrundlagen erfordern. Ebenso ist eine Verknüpfung des Nahversorgungsmodells des BBSR mit einem (kleinräumigen) Erreichbarkeitsmodell denkbar.

Erreichbarkeit kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Tagesstunde, Wochentag, Jahreszeit) aufgrund unterschiedlicher Verkehrsnetzbelastungen, ÖV-Angeboten oder Restriktionen bei den Zielen (z. B. Öffnungszeiten) sehr verschieden sein. Bislang steht im Mittelpunkt der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mit dem Pkw die Philosophie des "frei fließenden" Straßenverkehrs, welche aber nur in bestimmten Zeiten in der Realität vorkommt. Im ÖV wird Erreichbarkeit am Vormittag gemessen, also zu Zeiten mit vergleichsweise hohen Angeboten und ebenfalls geringen Reisezeiten. Zu prüfen wäre, ob die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR mittel- bis langfristig für weitere Zeitfenster entwickelt werden können, um den realen Bedingungen zu entsprechen. Empfohlen wird die Abbildung unterschiedli-

cher Netzzustände im Straßenverkehr und eine flexible Berücksichtigung unterschiedlicher Ankunftszeiten im öffentlichen Verkehr.

Der Aufwand zur Raumüberwindung lässt sich nicht nur in Form von Reisezeit abbilden. Kosten spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle für die Wahl von Verkehrsmittel und Zielen. Kosten können in Form von tatsächlichen monetären Reisekosten oder zusammenfassend mit der monetär ausgedrückten Reisezeit als generalisierte Kosten in Erreichbarkeitsanalysen berücksichtigt werden. Selbst die Einbeziehung von ökologischen Kosten (z.B. CO2-Emissionen) wäre möglich. Zu prüfen wäre daher, bei welchen Arten von Erreichbarkeitsanalysen Reisezeiten durch Kosten zur Darstellung des Raumüberwindungsaufwands ersetzt werden können.

Es gibt eine Reihe von komplexeren, analytisch wertvollen Erreichbarkeitsindikatoren jenseits der klassischen einfachen Reisezeitindikatoren. Entsprechende Analysen sind mit dem Erreichbarkeitsmodell des BBSR bereits jetzt teilweise umsetzbar. Eine zusätzliche Herausforderung bei komplexeren Erreichbarkeitsindikatoren liegt in der Vermittelbarkeit der Ergebnisse, insbesondere in einer verständlichen Visualisierung. Basis der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen sollten daher weiterhin die klassischen Reisezeitindikatoren bilden, die allerdings zielgruppenorientiert durch komplexere Erreichbarkeitsindikatoren ergänzt werden könnten. Hier bieten sich insbesondere Erreichbarkeitsindikatoren vom Typ Potentialerreichbarkeit an.

Mit einem fortentwickelten BBSR-Erreichbarkeitsmodell könnten mehr Analysen durchgeführt werden, die über eine rein modale Betrachtung hinausgehen. Die Kombination von Verkehrsarten in Erreichbarkeitsanalysen wie beispielsweise ausgedrückt durch die jeweils schnellste Verkehrsart oder durch aggregierte, multimodale Indikatoren kann weitere Aussagen zu den räumlichen Gegebenheiten in Bezug auf Erreichbarkeit ermöglichen. Die Einbeziehung intermodaler Wegeketten, also die Nutzung mehrerer Verkehrsmittel, ist eine weitere Herausforderung. Erforderlich wären auch vergleichende Analysen der Erreichbarkeitsbedingungen mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln.

Das BBSR-Erreichbarkeitsmodell könnte für Maßnahmen- und vergleichende Bewertungen stärker nutzbar gemacht werden, da reine Kosten-Nutzen-Analysen wenig über räumliche Prozesse und Effekte aussagen. Dies sollte nicht nur verkehrliche Maßnahmen, sondern auch solche der Standortplanung mit einschließen.

Es gibt nicht die eine Erreichbarkeit, Erreichbarkeit ist vielmehr eine sehr dynamische Größe und variiert auch stark zwischen den verschiedenen Räumen. Eine größere Bedeutung könnten vergleichende Erreichbarkeitsanalysen über die Zeit, zwischen Verkehrsmitteln, zwischen unterschiedlichen Netzzuständen durch Planungsmaßnahmen, sowie zwischen Städten und Regionen erlangen.

Es gibt viele neuartige und frei zugängliche, potenzielle Datenquellen (Open Data) für Verkehrsnetze und Zielaktivitäten deren Nutzbarkeit für die Erreichbarkeitsmodellierung zu ermitteln ist. Gleichzeitig sind die Ergebnisse der BBSR-Erreichbarkeitsanalysen für viele Akteure wichtig. Daher sollte die Nutzbarkeit der Ergebnisse, beispielsweise durch online verfügbare Visualisierungstools, erhöht werden. Eine Open Data Ausrichtung sollte daher in zwei Richtungen stärker entwickelt werden, als Input für die Erreichbarkeitsanalysen des BBSR als auch durch eine nicht-restriktive Verfügbarmachung der Ergebnisse durch das BBSR. Ein Ansatz hierzu läge unter Hinzuziehung von (mehreren) Schwellenwerten in einer systematischen, laufenden Erreichbarkeitsbeobachtung des BBSR.

Technische Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR

Hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung der Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR werden die folgenden Schritte prioritär empfohlen:

Bei der Ermittlung der minimalen Reisezeiten im Individualverkehr sollten Zeitaufschläge die auftretenden Auf- und Abrüstzeiten (z. B. Weg zum abgestellten Pkw, Ausfahrt aus Garage, Parksuchzeit, Abstellen des Fahrzeugs am Ziel etc.) berücksichtigen. Entsprechende Zeitaufschläge bilden die Pkw-Erreichbarkeit realistischer ab und ermöglichen eine bessere Vergleichbarkeit der Reisezeiten mit dem Pkw und ÖV.

Zur Routenberechnung sollten die Quellen und Ziele mit dem Verkehrsgraphen über virtuelle Anbindungskanten verknüpft werden. Den virtuellen Anbindungskanten sollten Raumüberwindungswiderstände für den Zugang bzw. Ab-

gang zugewiesen werden. Auch dies ermöglicht neben einer realistischeren Abbildung der Erreichbarkeitsverhältnisse eine bessere Vergleichbarkeit der Reisezeiten mit dem Pkw und ÖV.

Für eine flächenhafte Abbildung der Erreichbarkeitsverhältnisse sollte zur Bildung von Isochronen ein Verfahren angewendet werden, das in den Zwischenräumen der Verkehrsgraphen ausgehend von den Netzknoten zu Reisezeitaufschlägen führt. Damit würde eine realistische Gesamtreisezeit für die Punkte in der Fläche zwischen den Netzknoten ausgegeben.

Zentrale Orte als Ziele (des Personen- und Güter- und Warenverkehrs) sollten räumlich präzise definiert und durch Zielflächen abgebildet werden. Wird die definierte Zielfläche erreicht, gilt der Zentrale Ort als erreicht. Mittelfristig sollten Zentrale Orte innergemeindlich ausdifferenziert werden.

Die genannten Optionen zur Attributierung von Fahrgeschwindigkeiten sollte in Bezug auf ihre Umsetzbarkeit geprüft werden. Neben der kurzfristigen Korrektur auffälliger Attributierungen sollte als mittelfristig zu realisierende Option die Geschwindigkeitsattributierung mittels weiterer Strecken- und Siedlungsstrukturinformationen regelbasiert verfeinert werden. Eine streckengenaue Attributierung mithilfe gemessener Geschwindigkeiten auf der Basis von Big Data-Quellen, wie in diesem Bericht dargelegt, kann aufgrund des Aufwands nur langfristig erfolgen.

In das BBSR-Erreichbarkeitsmodell sollten unterschiedliche Varianten des Straßennetzzustands (z. B. unbelastetes, normal belastetes oder extrem belastetes Netz) integriert werden. Dies erlaubt die Erreichbarkeitsmodellierung für unterschiedliche Zeiträume.

Zur Integration von digitalen Fahrplandaten in das BBSR-Erreichbarkeitsmodell und zur Berechnung bundesweiter ÖV-Reisezeitenmatrizen durch das BBSR sollte die Entwicklung und der Einsatz einer Inhouse-Spezialsoftware forciert werden, die den Anforderungen einer flexiblen Nutzung von ÖV-Daten zur Modellierung der Erreichbarkeit im öffentlichen Verkehr erlaubt.

10 Literaturverzeichnis

Axhausen, K. W.; Fröhlich, P.; Tschopp, M. (2010): Changes in Swiss accessibility since 1850. Research in Transportation Economics 31 (1), S. 72-80.

BAK Basel Economics (2015): Erreichbarkeit als Standortfaktor. Globale und kontinentale Erreichbarkeit 2014. Öffentlicher Bericht zur Projektphase 2015/16. Basel: BAK Basel Economics.

BAK Basel Economics (2016): Erreichbarkeit als Standortfaktor. Regionale Erreichbarkeit in der Schweiz 2016. Basel: BAK Basel Economics.

BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Regionalforschung (2012): Raumordnungsbericht 2011. Bonn: BBSR.

BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Regionalforschung (2017): Raumordnungsbericht 2017. Daseinsvorsorge sichern. Bonn: BBSR.

BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Regionalforschung (2018): Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung – INKAR. www.inkar.de.

Ben-Akiva, M.; Lermann, S. (1979): Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. In: Hensher, D. A.; Stopher, R. (Hrsg.): Behavioural Travel Modelling. Andover, Hants: Croom Helm, S. 654-679.

BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2016): Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur: FE 23.0012/2010: Ableitung von Vorgaben zur Bestimmung der maßgebenden Verbindungsfunktionsstufe und von Qualitätsstufen zur Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualitäten in Straßennetzen. Erarbeitet von der Bergischen Universität Wuppertal. Berlin.

BMVI (Hrsg.): Kennzahlen in der Daseinsvorsorge. BMVI-Online-Publikation 01/2015.

Bökemann, D.; Kramar, H. (1999): Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen auf die regionale Standortqualität. Österreichischer Bundesverkehrswegeplan Arbeitspaket N0-S. Wien: TU Wien, Institut für Stadt- und Regionalforschung.

Buthe, B.; Pütz, T.; Staats, J. (2014): Methodik für die Raumwirksamkeitsanalyse Bundesverkehrswegeplanung 2015, Entwurf. Bonn und Berlin.

Buthe, B.; Pütz, T.; Staats, J. (2018): Verkehrsbild Deutschland. Raumordnerische Beurteilung von Verkehrsinfrastrukturprojekten. BBSR-Analysen Kompakt 04/2018. Bonn: BBSR.

Bundesregierung (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin: Die Bundesregierung.

Büttner, B.; Keller, J.; Wulfhorst, G. (2011): Erreichbarkeitsatlas - Grundla-gen für die Zukunft der Mobilität in der Metropolregion München. München.

Büttner, B.; Wulfhorst, G. (2016): The TUM Accessibility Atlas as a tool for fostering decision making processes on sustainable mobility in the metropolitan region of Munich. 14th WCTR 2016, Proceedings. Shanghai.

Bulwiengesa (2015): 2015 - Logistik und Immobilien. Viele Perspektiven. Eine Studie. Von http://www.bulwiengesa.de/sites/default/files/logistik_und_immobilien_2015_de.pdf.

Burgdorf, M., Krischausky, G.; Müller-Kleißler, R. (2015): Erreichbarkeit von Gütern und Dienstleistungen des erweiterten täglichen Bedarfs. BBSR-Analysen KOMPAKT 10/2015. Bonn: BBSR.

BVU (Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH) (2014): Raumwirksamkeitsanalyse - Anwendung der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN) im Schienennetzverkehr. Freiburg: BVU.

BVU (Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH) (2015): Raumwirksamkeitsanalyse zum BVWP 2015 - Aktualisierung der Datengrundlage für die Bewertung. Freiburg: BVU.

Davidson, K. B. (1977): Accessibility in Transport Land-use Modelling and Assessment. In: Envi-ronment and Planning A, Nr. 9, S. 1401-1416.

Delamater, P. L. (2013): Spatial accessibility in suboptimally configured health care systems: A modified two-step floating catchment area (M2SFCA) metric. In: Health & Place 24, S. 30-43.

Department for Transport (DfT) (2010): Core Accessibility Indicators Guidance. London: Department for Transport.

Destatis - Statistisches Bundesamt (2017): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2016. Wiesbaden: Destatis.

DGB, Abteilung Arbeitsmarktpolitik (2016): Mobilität in der Arbeitswelt: Immer mehr Pendler, immer größere Distanzen. Berlin.

Einig, K.; Pütz, T. (2007): Regionale Dynamik der Pendlergesellschaft. Entwicklung von Verflechtungsmustern und Pendeldistanzen. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 2-3, S. 73-91.

Engelhardt, S.; Schnittger, S. (2009): Report on the current status of the DELFI-system implementation, Version 5.0. https://www.delfi.de/sites/default/files/library_entries/ Delfi5Doc_v1_0.pdf.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung - RIN. Ausgabe 2008. Köln: FGSV.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2015): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2015. Köln: FGSV.

Follmer, R.; Gruschwitz, D.; Jesske, B.; Quandt, S.; Lenz, B.; Nobis, C.; Köhler, K.; Mehlin, M. (2010): Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht. Bonn und Berlin.

Fröhlich, P.; Tschopp, M.; Axhausen, K. W. (2006): Entwicklung der Erreichbarkeit der Schweizer Gemeinden: 1950-2000. Raumforschung und Raumordnung, 64 (6), S. 385-399.

Galvin, R.; Madlener, R. (2014): Determinants of Commuter Trends and Implica-tions for Indirect Rebound Effects: A Case Study of Germany's Largest Federal State of NRW, 1994-2013. FCN Working Paper No. 9/2014. Aachen: RWTH, Institute for Future Energy Con-sumer Needs and Behavior.

Gertz, C.; Altenburg, S. (2009): Chancen und Risiken steigender Verkehrskosten für die Stadt- und Raumentwicklung. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Steigende Verkehrskosten - bezahlbare Mobilität. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 12.2009. Bonn: BBSR, S. 785-796.

Geurs, K. T.; van Wee, B. (2004): Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. Journal of Transport Geography 12(2), S. 127-140.

Geurs, K. T.; Ritsema van Eck, J. R. (2001): Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impacts. RIVM report 408505 006, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.

Geurs, K. T.; Ritsema van Eck, J. R. (2003): Evaluation of accessibility impacts of land-use scenarios: the implications of job competition, land-use, and infrastructure developments for the Netherlands. In: Environment and Planning B: Planning & Design 30(1), S. 69-87.

GIP.at (2016): Intermodaler Verkehrsgraph Österreich. Standardbeschreibung der Graphenintegrationsplattform (GIP) Version 2.1 vom 08.06.2016. Copyright LA GIP.at. o.O.

GIP.at (2018): Intermodales Verkehrsreferenzsystem Österreich (GIP.at). Dokumentation. Version 2018-08. o.O.

Google (2017): General Transit Feed Specification Reference. Online verfügbar unter: https://developers.google.com/transit/gtfs/reference/

Greiving, S.; Winkel, R.; Flex, F.; Terfrüchte, T. (2015): Reform der Zentrale-Orte-Konzepte in den Ländern und Folgen für Siedlungsstruktur und Daseinsvorsorge. Endbericht.

Guth, D. (2014): Berufspendlerverkehr im Kontext (post)suburbaner Raumentwicklung: Trends seit 1970. Dissertation an der TU Dortmund, Fakultät Raumplanung.

Guth, D.; Holz-Rau, C.; Maciolek, M.; Scheiner, J. (2010): Beschäftigungssuburbanisierung, Siedlungsstruktur und Berufspendelverkehr: Ergebnisse für deutsche Agglomerationsräume 1999-2007. In: Raumforschung und Raumordnung 68(4), S. 283-295.

HaCon (2008): Dokumentation HAFAS Rohdatenformat, Eingabedateien der Datenaufbereitung, Version 5.20.27. Hannover: HaCon Ing. GmbH.

Hägerstrand, T. (1970): What about people in regional science? In: Papers of the Regional Science Association. Bd. XXIV, S. 7–21.

Hansen, W. G. (1959): How accessibility shapes land use. Journal of American Institute of Planners 25(1), S. 73-76.

Holz-Rau, C.; Scheiner, J. (2016): Raum und Verkehr – ein Feld komplexer Wirkungsbeziehungen. Können Interventionen in die gebaute Umwelt klimawirksame Verkehrsemis-sionen wirklich senken? In: Raumforschung und Raumordnung 74(5), S. 451-465.

Huber, F.; Spiekermann, K. (2014): Deutschland in Europa: Ergebnisse des Programms ESPON 2013. Heft 5: Erreichbarkeit und räumliche Entwicklung. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

Joseph, A. E.; Bantock, P. R. (1982): Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study. In: Social Science & Medicine 16(1), S. 85-90.

Komornicki, T.; Śleszyński, P.; Rosik, P.; Pomianowski, W. (2010): Spatial accessibility as a background for Polish transport Policy. Biuletyn KPZK. Warsaw [in Polnisch].

Komornicki, T.; Rosik, P.; Stępniak, M.; Śleszyński, P.; Goliszek, S.; Pomianowski, W.; Kowalczyk, K. (2018) Evaluation and Monitoring of Accessibility Changes in Poland Using the MAI Indicator. Warsaw: IGSO PAS, MD.

Jones, S. R. (1981): Accessibility Measures: A Literature Review. Transport and Road Research Laboratory Report 967. Crowthorne, Berkshire: Crown.

Kämpf, R.; Roth, U. (2007): Die Erreichbarkeit als Standortfaktor – Fakten und Analysen zur Erreichbarkeit der Nordschweiz. Basel: BAK Basel Economics AG.

Kaufmann, S. (2014): Opening Public Transit Data in Germany, A Status Quo. Diplomarbeit. Ulm: Universität Ulm, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Institut für Datenbanken und Informationssysteme (http://dbis.eprints.uni-ulm.de/1054/).

Klemmer, J. (2016): Entwicklung einer Methodik zur funktionalen Gliederung von Netzen des Güterverkehrs und zur Bewertung der Angebotsqualität. Aachen: erschienen in der Schriftenreihe des Fachzentrums Verkehr, Shaker Verlag.

Klemmer, J.; Leerkamp, B. (2017): Erster Beitrag zur Entwicklung der RIN-Güterverkehr als Ergänzung der Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). In: Straßenverkehrstechnik Heft 03/2017, S. 171-178.

Knox, P. L. (1978): The Intraurban Ecology of Primary Medical Care: Patterns of Accessibility and their Policy Implications. In: Environment and Planning A, Nr. 10(4), S. 415-435.

Kotzagiorgis, S. (2013): Verfahren zur funktionalen Gliederung von Netzen des Güterverkehrs BMVI-Ressortforschung.

Kotzagiorgis, S. (2014): Funktionale räumliche Gliederung des Güterverkehrs. In: Informationen zur Raumentwicklung Heft 3.2014, S. 176-187

Kramar, H., Kalasek, R. und Seidl, R. (2011): Abbildung des lokalen Verkehrsangebotes an ausgewählten Wohnstandorten in Österreich. „mobility2know"-Forschungsbericht. Wien: TU Wien, Fachbereich Stadt- und Regionalforschung

Kwan, M.-P. (1998): Space-time and integral measures of individual accessibility. A comparative analysis using a point-based framework. In: Geographical Analysis, Nr. 30(3), S. 191-216

Leerkamp, B.; Vollmer, R.; Hartmann, E.; Siegmann, J.; Klemmer, J.; Schönemann, R.; Carillo Zanuy, A.; Liebl, J.; Hakam, T. (2012): „Funktionale Gliederung von Netzen des Güterverkehrs", FE 22.0080/2012 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Abschlussbericht, Wuppertal, Aachen, Berlin, Nürnberg.

Leerkamp, B.; Holthaus, T. (2018): Technical Paper zum 2. Zwischenbericht. Wuppertal: Lehr- und Forschungsgebiet für Güterverkehrsplanung und Transportlogistik, Bergische Universität Wuppertal

Lutter, H.; Pütz, T.; Schliebe, K. (1992): Erreichbarkeit und Raumordnung – Ein Ansatz zur raumplanerischen Beurteilung von Verkehrsmaßnahmen. In: BfLR - Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): Erreichbarkeit und Raumordnung. Materialien zur Raumentwicklung, Heft 42. Bonn: BfLR, S. 89-111.

Lutter, H.; Pütz, T.; Spangenberg, M. (1993): Lage und Erreichbarkeit der Regionen in der EG und der Einfluß der Fernverkehrssysteme. Forschungen zur Raumentwicklung Band 23. Bonn: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.

MENTZ (2016): DINO-Austauschformat, Version 2.1, Dokumentation. München: MENTZ GmbH.

Metropolregion Hamburg (2017a): Erreichbarkeitsanalysen. http://metropolregion.hamburg.de/erreichbarkeitsanalysen/

Metropolregion Hamburg (2017b): Erreichbarkeitsatlas Regionsweite Auswertungen. http://metropolregion.hamburg.de/mobilitaet/9481702/erreichbarkeitsanalysen-atlas/

Morkisz, S.; Wulfhorst, G. (2010): Nahmobilität durch aktive Angebotspolitik – Strategien und Beispiele. In: PlanerIn, Nr. 4/2010, S. 9-11.

Neumeier, S. (2017): Regionale Erreichbarkeit von ausgewählten Fachärzten, Apotheken, ambulanten Pflegediensten und weiteren ausgewählten Medizindienstleistungen in Deutschland – Abschätzung auf Basis des Thünen-Erreichbarkeitsmodells. Thünen Working Paper 77. Braunschweig.

ÖROK (2007): Erreichbarkeitsverhältnisse in Österreich 2005. Modellrechnungen für den ÖPNRV und den MIV. Schriftenreihe 174. Wien: ÖROK.

Peter, M.; Gertz, C. (2017): Leitprojekt Regionale Erreichbarkeitsanalysen: Abschlussbericht und Erreichbarkeitsatlas Metropolregion Hamburg (Hrsg.); Institut für Verkehrsplanung und Logistik, TUHH (2017): Leitprojekt Regionale Erreichbarkeitsanalysen: Abschlussbericht und Erreichbarkeitsatlas.

Pritchard, J. P.; Stępniak, M.; Geurs, K. T. (2018, in press) Equity analysis of dynamic bike-and-ride accessibility in the Netherlands (Chapter 4). In: Lucas, K.; Martens, F.; Ciommo, D.; Kieffer, A. D. (Hrsg.): Measuring Transport Equity.

Projektgruppe „Demografischer Wandel“ (2017): Erfassung und Planung der Einrichtungen der Daseinsvorsorge, Schrittfolge zur Analyse der Tragfähigkeit und Erreichbarkeit Abgrenzung von Versorgungszentren und Kooperationsräumen. Beitrag des BMVI-Modellvorhabens „Langfristige Sicherung von Versorgung und Mobilität in ländlichen Räumen“.

Pütz, T. (2014): Erreichbarkeiten im Straßengüterverkehr. Informationen zur Raumentwicklung Heft 3.2014, S. 189-213.

Pütz, T. (2015): Pendlerströme. Quo navigant? Verkehrsbild Deutschland, BBSR-Analysen KOMPAKT15/2015. Bonn: BBSR.

Pütz, T. (2017a): Erreichbarkeitsmodell des BBSR. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/UeberRaumbeobachtung/Komponenten/Erreichbarkeitsmodell/erreichbarkeitsmodell_node.html

Pütz, T. (2017b): Das Erreichbarkeitsmodell des BBSR: Methodische Ansätze und ihre Weiterentwicklung. Vortrag auf dem Workshop des Expertenbeirats des MORO-Projekts "Methodische Weiterentwicklungen der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR, Bonn, 15. Dezember 2017.

Pütz, T., Schönfelder, S. (2018): Angebotsqualitäten und Erreichbarkeiten im öffentlichen Verkehr. Verkehrsbild Deutschland, BBSR-Analysen KOMPAKT 08/2018. Bonn: BBSR.

Rosik, P.; Stępniak M.; Komornicki, T. (2015): The decade of the big push to roads in Poland: impact on improvement in accessibility and territorial cohesion from a policy perspective. In: Transport Policy 37, S. 134-146.

Scheiner, J. (2006): Zeitstrukturen und Verkehr: Individualisierung der Mobilität? Tagesganglinien des Verkehrs 1976 bis 2002. In: Internationales Verkehrswesen 58(12), S. 576-583.

Scheiner, J. (2011): Zielwahl und Verkehrsmittelnutzung im Einkaufsverkehr – Verkehrserzeugung von Einkaufszentren. In: Bracher, T.; Haag, M.; Holzapfel, H.; Kiepe, F.; Lehmbrock, M.; Reutter, U. (Hrsg.): Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. Berlin: Wichmann. Kap. 2.2.1.10 (60. Ergänzungslieferung 4/11).

Scheiner, J.; Sicks, K.; Holz-Rau, C. (2011): Gendered activity spaces: trends over three decades in Germany. In: Erdkunde 65(4), S. 371-387.

Scheiner, J. (2018a): Zur Modellierung von Netzwiderständen: Analysen des Verkehrsverhaltens 1972-2008. Projektnotiz, Stand 12.02.2018. Dortmund: ForschungsBüro Scheiner

Scheiner, J. (2018b): Verkehrsverhalten und Nutzerpräferenzen: Fokus auf Aktivitäten und Zielwahl in MiD 2008. Projektnotiz, Stand 04.03.2018. Dortmund: ForschungsBüro Scheiner.

Schürmann, C.; Spiekermann, K.; Wegener, M. (1997): Accessibility Indicators. Berichte aus dem Institut für Raumplanung, Nr. 39. Dortmund: Institut für Raumplanung der Uni-versität Dortmund (IRPUD).

Schürmann, C.; Spiekermann, K. (2010):Erreichbarkeit ausgewählter zentralörtlicher Einrichtungen in Bayern. Studie für das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) Abteilung Landesentwicklung. Dortmund/Oldenburg: S&W, RRG.

Schwarze, B. (2015): Eine Methode zum Messen von Naherreichbarkeit in Kommunen. Münster: MV Verlag.

Schwarze, B.; Spiekermann, K. (2013): Analyse der Erreichbarkeit der Zentralen Orte in Mecklenburg-Vorpommern. Studie für das Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesent-wicklung Mecklenburg-Vorpommern. Dortmund: S&W.

Schwarze, B.; Spiekermann, K. (2014a): Kleinräumige Bevölkerungsvorausschätzung und Erreichbarkeitsmodellierung im Aktionsprogramm regionale Daseinsvorsorge. Abschlussergebnisse der Begleitforschung Zentrale Datendienste. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

Schwarze, B.; Spiekermann, K. (2014b): Bevölkerungsprognosen und Erreichbarkeitsszenarien im Rahmen der Entwicklung regionaler Strategien zur Sicherung der Daseinsvorsorge. In: Haber, M.; Rüdiger, A.; Baumgart, S.; Danielzyk, R.; Tietz, H.-P. (Hrsg.): Daseinsvorsorge in der Raumentwicklung. Sicherung – Steuerung – Vernetzung – Qualitäten. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung 143. Essen: Klartext Verlag, S. 87-100.

Schwarze, B.; Spiekermann, K. (2018): Flächendeckender Vergleich der Straßennetzmodelle. Projektnotiz MORO ACC PN 7. Dortmund: S&W.

Shen, Q. (1998): Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers. In: Environment and Planning B: Planning & design 25(3), S. 345-65.

Spiekermann, K. (2013): Accessibility Patterns: Bavaria Case Study. Europa XXI, 24, S. 49-59.

Spiekermann, K.; Schürmann, C. (2014): Update of maps: Travel time matrices on road, rail, air and multimodal for 2001, 2006, 2011 and 2014. Final Report. Luxemburg, Dortmund: ESPON & S&W.

Spiekermann, K.; Wegener, M.; Kveton, V.; Marada, M.; Schürmann, C.; Biosca, O.; Ulied Segui, A.; Antikainen, H.; Kotavaara, O.; Rusanen, J.; Bie-lanska, D.; Fiorello, D.; Komornicki, T.; Rosik, P.; Stepniak, M. (2015): Transport Accessibility at Regional/Local Scale in Europe TRACC Scientific Report. Luxemburg: ESPON.

Stepniak, M.; Rosik, P.; Komornicki, T. (2013): Accessibility Patterns: Poland Case Study. Europa XXI, 24, S. 77-93.

Stepniak, M.; Spiekermann, K. (Hrsg.) (2013): Transport Accessibility at Regional Scale in Europe. Europa XXI, 24.

Törnqvist, G. (1970): Contact Systems and Regional Development. Lund Studies in Geography, Bd. 35. Lund: C.W.K. Gleerup.

van Wee, B.;, Hagoort, M.; Annema, J. A. (2001): Accessibility Measures with Competition. In: Journal of Transport Geography, Nr. 9, S. 199-208.

VDV - Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (1999): Dateiformat für die Datenübertragung zwischen ÖPNV-Anwendungen. VDV-Schrift 451, Version 1.0. Köln: VDV.

VDV - Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (2013): VDV-Standardschnittstelle Liniennetz/Fahrplan. VDV-Schrift 452, Version 1.5. Köln: VDV.

Veres-Homm, U.; Kübler, A.; Weber, N.; Cäsar, E. S. (2015): Logistikimmobilien – Markt und Standorte 2015. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Vickerman, R. W. (1994): Regional science and new transport infrastructure. In: Cuadrado Rouro, J.; Nijkamp, P.; Salva, P. (Hrsg.): Moving Frontiers: Economic Restructuring, Regional Development and Emerging Networks. Aldershot: Avebury, S. 151-165.

Vickerman, R. W.; Spiekermann, K.; Wegener, M. (1999): Accessibility and economic development in Europe. In: Regional Studies 33, 1, S. 1-15.

Voigtländer, S.; Deiters, T. (2015): Mindeststandards für die räumliche Erreichbarkeit hausärztlicher Versorgung: Ein systematischer Review. In: Gesundheitswesen 2015; 77(12): 949-957 DOI: 10.1055/s-0035-1548805

Wan, N.; Zou, B.; Sternberg, T. (2012): A three-step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services. In: International Journal of Geographical Information Science 26(6), S. 1073-1089.

Weibull, J. W. (1976): An Axiomatic Approach to the Measurement of Accessibility. In: Regional Science and Urban Economics, Nr. 6, S. 357-379.

Wegener, M.; Eskelinen, H.; Fürst, F.; Schürmann, C.; Spiekermann, K. (2001): Kriterien für die räumliche Differenzierung des EU-Territoriums: Geographische Lage. Studienprogramm zur europäischen Raumplanung. Forschungen 102.1. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

Weiss, L.; Schwillinsky, S.; Castellazzi, B.; Prinz, T. (2018): Accessibility Model Austria – A Tool for an Austrian Nationwide Analysis of Motorised Individual and Public Transport Supply. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik 4-2018, S. 235-240. Berlin, Offenbach: Wichmann, VDE.

Winkel, R., Greiving, S., Hammler, L., Kloss, C., Körner, P., Pfohl, M., Pietschmann, H., Zöhler, D. (2010): Standardvorgaben der infrastrukturellen Daseinsvorsorge. BMVBS-Online-Publikation 13/2010.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Komponenten der Erreichbarkeitsanalysen des BBSR ... 15
Abbildung 2.2: Erreichbarkeit von Oberzentren mit MIV und ÖV ... 18
Abbildung 2.3: Erreichbarkeitspotenzial Bevölkerung im MIV ... 18
Abbildung 2.4: ÖV-Erreichbarkeit zentraler Orte in der Metropolregion Hamburg ... 19
Abbildung 2.5: Bewertung der Verbindungsqualität im motorisierten Individualverkehr und im Schienennverkehr zwischen Oberzentren ... 20
Abbildung 2.6: Beschäftigtenentwicklung nach Lkw-Fahrzeitklassen ... 20

Abbildung 4.1: ÖV-Erreichbarkeit des nächsten Oberzentrums in der Metropolregion Hamburg ... 34
Abbildung 4.2: Notwendige Umstiege bei der ÖV-Erreichbarkeit des nächsten Oberzentrums in der Metropolregion Hamburg ... 34
Abbildung 4.3: ÖV-Reisezeiten aus der Fläche zum nächsten Mittelzentrum werktags und samstags ... 37
Abbildung 4.4: Erreichbarkeitsmodell Österreich: ÖV-Reisezeit zu regionalen Zentren ... 39

Abbildung 5.1: Netzdichten der Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr ... 44
Abbildung 5.2: Abstraktionsgrade der Netzmodelle an beispielhaften Ausschnitten ... 45
Abbildung 5.3: Von Google Maps prognostizierte Pkw-Reisezeiten zwischen Parchim und Pritzwalk im Tagesverlauf ... 49
Abbildung 5.4: FCD-Messwerte im Nahbereich der AS Erlangen–Tennenlohe (BAB 3) ... 50
Abbildung 5.5: Geschwindigkeitsverteilung je Streckenkante, Route AS Münster-Flughafen bis AK Dortmund/Unna über BAB 1 ... 51
Abbildung 5.6: Geschwindigkeitsannahmen der verschiedenen Netzmodelle für die Straßenkategorie „Autobahn/autobahnähnliche Straße“ im Testraum Rhein-Ruhrn ... 52
Abbildung 5.7: Vergleich der Geschwindigkeitsannahmen OSM/FCD (BUW) und OSM (S&W) ... 54
Abbildung 5.8: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Mecklenburg/Prignitz zwischen Schwerin und Hohen Wengelin im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 55
Abbildung 5.9: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Mecklenburg/Prignitz zwischen Schwerin und Wittstock/Dosse im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 55
Abbildung 5.10: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr zwischen Duisburg und Unna im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 56
Abbildung 5.11: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Rhein-Ruhr zwischen Bonn und Bergneustadt im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 56
Abbildung 5.12: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Franken/Oberpfalz Roth und Weiden i.d. Oberpfalz im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 57
Abbildung 5.13: Pkw-Reisezeiten der verschiedenen Netzmodelle im Testraum Franken/Oberpfalz Bamberg und Nürnberg im Tagesverlauf für die Woche vom 22.10. bis zum 26.10.2018 ... 57
Abbildung 5.14: Pkw-Reisezeiten der Netzmodelle für die 45 Relationen in der Woche vom 5.3. bis zum 9.3.2018, sortiert nach Testraum ... 60
Abbildung 5.15: Pkw-Reisezeiten von BBSR-Modell und auf Messung basierenden Netzmodellen für die 45 Relationen in der Woche vom 5.3. bis zum 9.3.2018, sortiert nach Reisedauer ... 61
Abbildung 5.16: Vergleich der Isochronenkarten für den Zielstandort Plau im Testraum Mecklenburg/Prignitz ... 63
Abbildung 5.17: Vergleich der 30-Minuten-Isochronen für den Zielstandort Plau ... 64
Abbildung 5.18: Netzknoten, von denen der Zielort in Solingen innerhalb von 30 Minuten erreichbar ist, BBSR und OSM/S&W Netzmodelle im Vergleich ... 65
Abbildung 5.19: Isochronenbänder des BBSR-Erreichbarkeitsmodells für den Zielort Solingen auf Basis unterschiedlicher Isochronenbildungsverfahren ... 66
Abbildung 5.20: Vergleich der ermittelten Einwohnerzahlen, die innerhalb einer bestimmten Zeitdauer den jeweiligen Zielstandort erreichen können ... 68
Abbildung 5.21: Mittlere Geschwindigkeiten im MIV, 2008, nach Distanzklasse, Kreistyp und Uhrzeit an Werktagen ... 69

Abbildung 7.1: Anbindung eines Zielortes an den Netzknoten des Verkehrsgraphen 91
Abbildung 7.2: Zielellipse am Beispiel der Stadt Parchim 92
Abbildung 7.3: Stündliche Gewichtungsfaktoren für eine zeitabhängige Berechnung der Erreichbarkeit von Grundzentren 94
Abbildung 7.4: Qualitätsstufen für entfernungsabhängige Luftliniengeschwindigkeiten im ÖV nach den RIN 2008 96

Abbildung 8.1: Erreichbarkeitspotenzial und regionale Wirtschaftskraft der NUTS 3-Regionen Europas 100
Abbildung 8.2: Relative Differenzen zwischen Erreichbarkeitspotenzial und regionaler Wirtschaftskraft der NUTS 3-Regionen Europas 100

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Dimensionen von Erreichbarkeit ... 22
Tabelle 3.2: Komponenten von Erreichbarkeit ... 23
Tabelle 3.3: Generische Erreichbarkeitsindikatoren ... 24
Tabelle 3.4: Vor- und Nachteile komplexer Erreichbarkeitsindikatoren ... 25
Tabelle 3.5: Dimensionen und Indikatortypen Erreichbarkeitsmodellierung des BBSR ... 27

Tabelle 5.1: Annahmen zu Pkw-Geschwindigkeiten in regelbasierten Netzmodellen ... 47
Tabelle 5.2: Bestimmtheitsmaß einer Korrelationsanalyse der Reisezeiten des BBSR-Ansatzes im Vergleich zu den anderen Netzmodellen ... 62

Tabelle 6.1: Öffentlich verfügbare Fahrplan- und Haltestellendaten ... 75

Tabelle 7.1: Wegeanzahl, mittlere Wegedauer und Wegelänge nach Aktivitätsarten ... 79
Tabelle 7.2: Zielortwahl beim intraregionalen Pendeln in den acht größten Agglomerationsräumen (alte Bundesländer) ... 80
Tabelle 7.3: Mittlere Wegedauer und Wegelänge für Einkäufe, Erledigungen und Freizeit nach Subkategorien und Wochentagtyp ... 81
Tabelle 7.4: Mittlere Wegedauer und Wegelänge für Einkäufe, Erledigungen und Freizeit nach Subkategorien und Verkehrsmittel ... 82
Tabelle 7.5: Verkehrsmittelwahl nach Aktivitäten differenziert ... 83
Tabelle 7.6: Mit dem BBSR-Erreichbarkeitsmodell in jüngerer Zeit untersuchte Ziele ... 85
Tabelle 7.7: Typische Ausstattungsmerkmale Zentraler Orte ... 86
Tabelle 7.8: Weitere potenzielle Untersuchungsziele, die im BBSR-Erreichbarkeitsmodell aktuell nicht berücksichtigt werden ... 87
Tabelle 7.9: Standorttypen des Güterverkehrs ... 89
Tabelle 7.10: Schwellenwerte der Landesplanung zur Erreichbarkeit von Zentralen Orten ... 95
Tabelle 7.11: Beispiele regionaler Schwellenwerte ... 97
Tabelle 7.12: Accessibility Planning in England ... 98