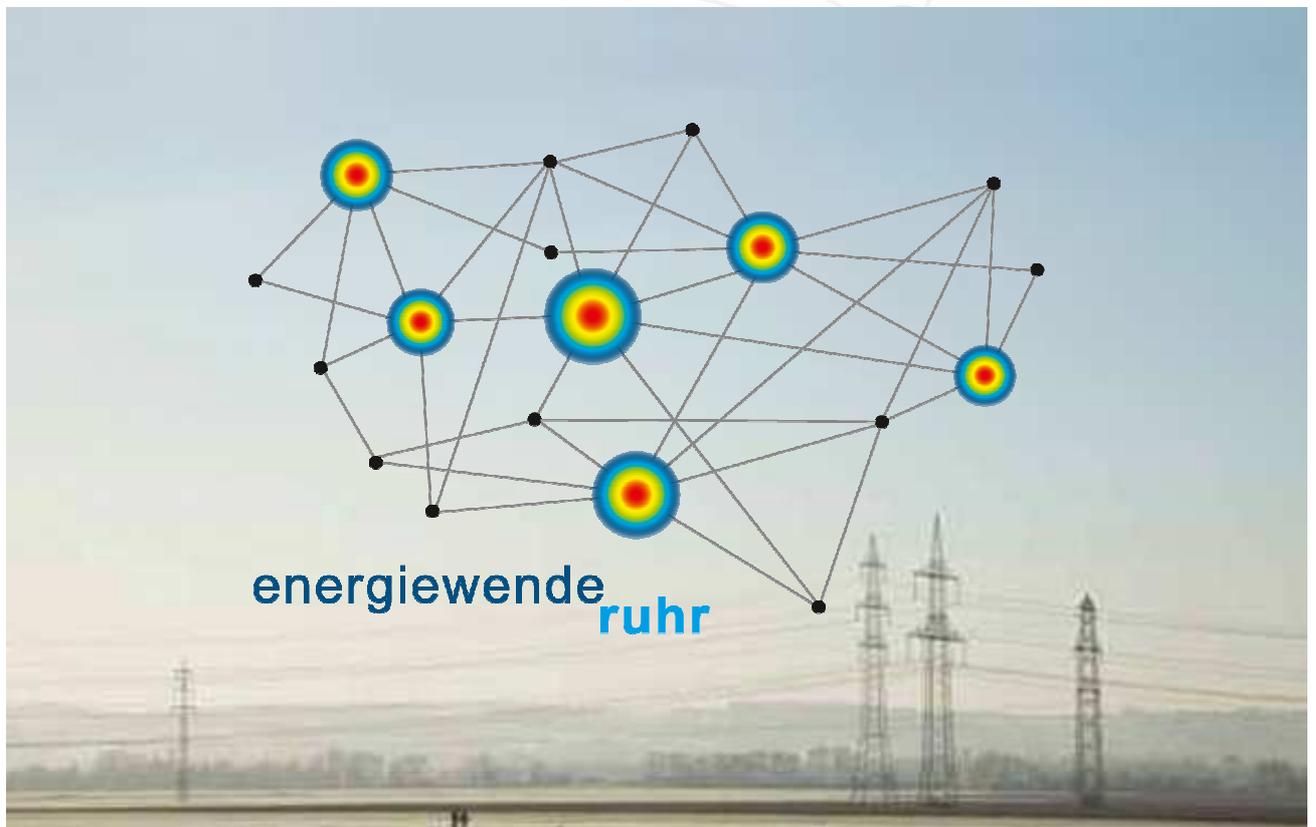


# Integriertes Modell Ruhrgebiet 2050 Projektbeschreibung

Oktober 2014



GEFÖRDERT DURCH:



IN KOOPERATION MIT:

- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Koordination)
- Kulturwissenschaftliches Institut Essen
- Technische Universität Dortmund, Fachgebiet Städtebau, Stadtgestaltung und Bauleitplanung
- Spiekermann & Wegener (S&W) Stadt- und Regionalforschung
- Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen



## Impressum

Integriertes Modell Ruhrgebiet 2050: Projektbeschreibung

Kristine Brosch, Felix Huber, Björn Schwarze, Klaus Spiekermann, Michael Wegener  
2014, Dortmund/Wuppertal

Teilprojekt 1.1.1 Integriertes Modell "Städte und Klimawandel – Ruhrgebiet 2050"

Microsoft Word 2010

Gefördert durch die Stiftung Mercator

## KONTAKTPERSONEN

Prof. Dr.-Ing. Michael Wegener

Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung

Lindemannstraße 10

44137 Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Felix Huber

Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen

Bergische Universität Wuppertal

Pauluskirchstraße 7

42285 Wuppertal

## Inhalt

|   |                          |    |
|---|--------------------------|----|
| 1 | ZIEL                     | 4  |
| 2 | STAND DER FORSCHUNG      | 4  |
| 3 | DAS IRPUD-MODELL         | 6  |
| 4 | PROJEKTGRUPPE            | 7  |
| 5 | MODELLENTWICKLUNG        | 9  |
| 6 | MODELLDATEN              | 10 |
| 7 | SZENARIEN                | 12 |
| 8 | AUSWERTUNG DER SZENARIEN | 15 |
| 9 | LITERATUR                | 16 |

## 1. Ziel

Die Klimaforscher sind sich darin einig, dass anthropogene Treibhausgasemissionen wesentlich zur Veränderung des Klimas beitragen, und dass einschneidende Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an die Folgen nicht mehr zu vermeidender Klimaänderungen notwendig sind. Die Bundesregierung hat zum Ziel, bis zum Jahre 2020 die Treibhausgasemissionen Deutschlands gegenüber 1990 um vierzig Prozent und bis zum Jahre 2050 um achtzig Prozent zu reduzieren. Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen strebt an, die Treibhausgasemissionen des Landes bis 2020 um 25 Prozent zu reduzieren. Viele Städte sind Klimabündnissen beigetreten oder haben ambitionierte Klimaschutzprogramme beschlossen.

Städte sind die größten Emittenten von Treibhausgasen durch Heizung, Klimatisierung, Produktion und Verkehr und durch ihre hohe Siedlungsdichte besonders verwundbar für Klimafolgeschäden wie Sturmschäden, Überschwemmungen, Dürreperioden oder Hitzewellen. Mit mehr als fünf Millionen Einwohnern ist das Ruhrgebiet einer der bedeutendsten Agglomerationsräume in Europa. Wie können die Klimaschutzziele im Ruhrgebiet erreicht werden?

Gegenwärtige Politikansätze im Ruhrgebiet konzentrieren sich auf kleinteilige Maßnahmen zur Reduzierung von Energieverbrauch und Treibhausgasen und gehen umfassende Strategien zum Klimaschutz noch zu wenig entschieden an. Dabei verfügt das Ruhrgebiet durch seine industrielle Vergangenheit und seine polyzentrische Siedlungsstruktur über ein besonderes Potential für die Umwidmung ehemaliger Industrieflächen und die Entwicklung verkehrsreduzierender und energieeffizienterer Siedlungsstrukturen.

Eine der Ursachen dafür, dass dieses Potential bisher nicht genutzt wird, ist der Mangel an Wissen über besondere Potentiale für Klimaschutzmaßnahmen der Siedlungs- und Verkehrsplanung und welche Wirkungen sie haben würden.

Deshalb soll in dem vorgeschlagenen Projekt ein am Institut für Raumplanung der Universität Dortmund entwickeltes Simulationsmodell der städtischen Siedlungsentwicklung, Mobilität und Umwelt so erweitert werden, dass es die Auswirkungen von Maßnahmen der Siedlungs- und Verkehrsplanung und anderer Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel auf Umwelt, Wirtschaft, Mobilität und Lebensqualität am Beispiel des Ruhrgebiets abbildet. Das Modellsystem soll zur Durchspielung und Bewertung unterschiedlicher Szenarien angewendet werden, die sich durch mögliche Kombinationen von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundes- und Landesregierung unterscheiden. Die Wirkungen der Szenarien für das Ruhrgebiet sollen auch für Nichtexperten verständlich in anschaulichen Diagrammen und Karten dargestellt werden.

## 2. Stand der Forschung

Die absehbaren Folgen des Klimawandels sind ein Thema der Forschung seit den 1970er Jahren. Bereits 1992 im Vorfeld der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro hat die Bundesregierung den Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) eingerichtet. Im selben Jahr wurde das Potsdam-Institut für

Klimafolgenforschung (PIK) gegründet. Aber erst mit dem Vierten Assessment Report (AR4) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der Vereinten Nationen von 2007 (IPCC, 2007) wurde auch einer breiten Öffentlichkeit bewusst, dass einschneidende Klimaänderungen und ihre Folgen wie Überflutungen, Stürme oder Hitzewellen nicht mehr abwendbar sind, und dass zur Verhinderung noch schlimmerer Klimafolgen der Ausstoß von Treibhausgasen in den wohlhabenden Ländern der Erde reduziert werden muss.

Die Folge dieses Bewusstseinswandels ist eine Zunahme wissenschaftlicher Beschäftigung mit den räumlichen Auswirkungen des Klimawandels. Es gibt inzwischen zahlreiche Untersuchungen der Auswirkungen unterschiedlicher Klimaszenarien auf die regional wirksamen Risiken von Überschwemmungen, Hitzewellen oder Veränderungen der Vegetation und Biodiversität (EEA, 2003; UBA, 2005; UBA/PIK, 2005; ESPON 1.3.1, 2006; BMU, 2007; Beierkuhnlein und Foken, 2008; BUND, 2008; Heiland u.a., 2008; IfR, 2008; ESPON Climate, 2011). Auch gibt es erste Untersuchungen über mögliche Maßnahmen zur Verminderung oder Verlangsamung des Klimawandels oder zur Anpassung an nicht mehr vermeidbare Klimaänderungen, zumeist im Sinne von Handlungsempfehlungen (Baumüller u.a., 1993; UBA/PIK, 2005; Fleischhauer und Bornefeld, 2006; Stern u.a., 2006; ARL, 2007; Ritter, 2007; Bartolomew u.a., 2007; BMU, 2007; Europäische Kommission, 2007; BUND, 2008; IfR, 2008; BMBF, 2009; Stadt Essen, 2009; Stadt Dortmund, 2011; MKUNLV, 2011).

Allerdings richten sich nur wenige dieser Handlungsempfehlungen an Städte, und diese beschränken sich zumeist auf Empfehlungen kurzfristig zu realisierender Anpassungsmaßnahmen. Die viel schwierigeren Maßnahmen zum Klimaschutz und ihre möglicherweise starken Auswirkungen auf Lebensstile, Konsumverhalten, Standortwahl und Mobilität bleiben in der Regel unberücksichtigt oder werden nachrangig behandelt – angesichts der Selbstverpflichtung vieler Städte zur Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen ein Defizit der wissenschaftlichen Politikberatung. Was fehlt, sind Wirkungsanalysen und Wirkungsprognosen, die – soweit dies nach den heutigen Stand des Wissens möglich ist – quantifizieren, welche Auswirkungen die vorgeschlagenen und weitere Maßnahmen der Siedlungs- und Verkehrsplanung und andere Maßnahmen auf die Reduzierung von Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen und Klimafolgeschäden haben würden, welche Informations-, Beteiligungs- und Entscheidungsstrategien zu ihrer Umsetzung notwendig wären, und welcher Preis in Form von Investitionen und Konsum- oder Mobilitätsverzicht im Falle ihrer Realisierung zu zahlen wäre. Auch fehlen Aussagen darüber, welche Wechselwirkungen (Synergien) zwischen den einzelnen Maßnahmentypen wie rechtlichen, fiskalischen oder planerischen Maßnahmen möglicherweise bestehen, das heißt, ob sich Maßnahmen in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken, ergänzen, substituieren oder konterkarieren.

Andere europäische Länder sind in dieser Hinsicht weiter. Als ein Beispiel hierfür kann das Cities Programme des Tyndall Centre for Climate Change Research in Großbritannien dienen (Dawson u.a., 2009). Das Ziel des Programms ist die Entwicklung eines Modellsystems, mit dem die Auswirkungen des Klimawandels in Städten simuliert und alternative Vermeidungs- und Anpassungsstrategien verglichen werden können. Das in Entwicklung befindliche *Urban Integrated Assessment Framework* erlaubt die Analyse von Vermeidungs- und Anpassungsstrategien wie Steuern, Abgaben, Emissionshandel, Verdichtung, Durchmischung, Bebauungsbeschränkungen, Infrastrukturausbau, alternative Treibstoffe, Nachfragebeein-

flussung, Rückhaltebecken, Wärmedämmung von Gebäuden und sparsamere Fahrzeuge in einem einheitlichen Modellrahmen. Die Bearbeiter des hier beschriebenen Projekts stehen in Kontakt mit den Bearbeitern des Cities Programme und haben bereits in eigenen Vorarbeiten Methoden und Ergebnisse mit ihnen ausgetauscht. Eine weitere Zusammenarbeit während des Projekts ist vorgesehen.

### 3. Projektgruppe

Die Projektgruppe besteht aus drei wissenschaftlichen Einrichtungen:

- Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung (S&W)
- Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen, Bergische Universität Wuppertal (LUIS)
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI)

Die Mitglieder der Projektgruppe verfügen über langjährige Erfahrungen in der Modellierung der Wechselwirkungen zwischen Flächennutzung und Verkehr in Stadtregionen und deren Verknüpfung mit räumlich hoch aufgelösten Umweltauswirkungsmodellen:

- *Stadtsimulation* (S&W). Das zur Anwendung vorgesehene Simulationsmodell von Siedlungsentwicklung, Verkehr und Umwelt in Stadtregionen ist das einzige Modell dieser Art in Deutschland. Das IRPUD-Modell wurde am Institut für Raumplanung der Technischen Universität Dortmund entwickelt (Wegener, 2011) und in zahlreichen Forschungsprojekten für die Europäische Kommission (Lautso u.a., 2004; Fiorello u.a., 2006) und die Landesregierung Nordrhein-Westfalen (Spiekermann und Wegener, 2005; Huber u.a., 2007) angewendet. Das Modell prognostiziert für jede Simulationsperiode im Rahmen der wirtschaftlichen Entwicklung der Gesamtregion (Wegener, 2008) Standortentscheidungen von Unternehmen, Wohnungsinvestoren und Haushalten, die aus ihnen resultierenden Wanderungen und Verkehrsströme, die Entwicklung der Bautätigkeit und Flächennutzung, die Wirkung öffentlicher Planungseingriffe in den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnen und Verkehr und die Auswirkungen auf die Umwelt in Form von Treibhausgasen, Luftqualität, Verkehrslärm, Freiraum und Biodiversität.
- *Siedlungs- und Bebauungsstrukturen* (LUIS). Das Lehr- und Forschungsgebiet Umweltverträgliche Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen der Bergischen Universität Wuppertal (LUIS) befasst sich mit den Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungs- und Bebauungsstrukturen auf Verkehrserzeugung, Flächeninanspruchnahme, Energieverbrauch, Lärmausbreitung und Luftbewegungen in Städten. Hierzu gehören Fragen der städtebaulichen Integration von Verkehrsstrassen und der Straßenraumgestaltung in Wohn- und Gewerbegebieten. Für das Projekt relevante Erfahrungen sind ferner die Modellierung von Umweltauswirkungen (Luftschadstoffe, Verkehrslärm) bei unterschiedlichen Siedlungs- und Bebauungsstrukturen im Projekt ILUMASS (Beckmann u.a., 2007). Hinzu kommen die Erfahrungen aus der Leitung des Querschnittsausschusses 7 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen zum 'Postfossilen Verkehr' (Huber und Falk, 2013).

- *Regionale Klimaschutzstrategien (WI)*. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI) befasst sich in seiner Forschungsgruppe "Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik" mit Strategien und Instrumenten für eine effektive und integrierte Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik auf lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Im Mittelpunkt stehen dabei die Synergieeffekte von Politikstrategien, die eine nachhaltige Entwicklung der Energie- und Verkehrssysteme sowie den Klimaschutz fördern. Politikinstrumente im Bereich Endenergieeffizienz bilden einen weiteren Schwerpunkt. Das Institut berät verschiedene Stadtregionen bei der Planung und Durchsetzung von Klimaschutzprogrammen.

## 4. Das IRPUD-Modell

In dem Teilprojekt 1.1.1 Integriertes Modell "Städte und Klimawandel – Ruhrgebiet 2050" wird das bisher für die Stadtregion Dortmund angewendete am Institut für Raumplanung der Universität Dortmund entwickelte Modell von Flächennutzung, Verkehr und Umwelt in Stadtregionen auf das ganze Ruhrgebiet erweitert und zur Abschätzung der Auswirkungen von Flächennutzungs-, Verkehrs- und anderen Maßnahmen zur Reduzierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen auf Wirtschaft, Mobilität, Lebensqualität und Umwelt im Ruhrgebiet angewendet.

Das IRPUD-Modell prognostiziert für jede Simulationsperiode intraregionale *Standortentscheidungen* von Unternehmen, Wohnungsbauinvestoren und Haushalten, die aus ihnen resultierenden *Wanderungen* und *Verkehrsströme*, die Entwicklung der *Bautätigkeit* und *Flächennutzung* und die Wirkung öffentlicher *Planungseingriffe* in den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnen, Infrastruktur und Verkehr (Wegener, 2011).

Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung der wichtigsten im Modell abgebildeten Teilsysteme und Wechselwirkungen zwischen ihnen und den wichtigsten Planungsmaßnahmen, deren Wirkung mit dem Modell untersucht werden kann.

Die vier Quadrate in den Ecken des Diagramms zeigen die hauptsächlichen Bestandsgrößen des Modells: Bevölkerung, Arbeitsplätze, Wohnungen und Nichtwohngebäude (Industrie- und Gewerbegebäude und öffentliche Einrichtungen). Die Akteure, die diesen Bestandsgrößen entsprechen, sind Individuen, Haushalte, Beschäftigte, Unternehmen und Bauinvestoren. Diese Akteure interagieren auf fünf Teilmärkten der Stadtentwicklung. Die fünf Teilmärkte und die auf ihnen ablaufenden Transaktionen sind:

- der Arbeitsmarkt: Einstellungen und Entlassungen,
- der Markt für Nichtwohngebäude: Betriebsansiedlungen, Betriebsverlagerungen und Betriebsschließungen,
- der Wohnungsmarkt: Zuwanderung, Abwanderung, Einzüge und Umzüge,
- der Bau- und Bodenmarkt: Neubau, Modernisierung und Abriss,
- der Verkehrsmarkt: Ortsveränderungen und ihre Folgen Erreichbarkeit, Staus, Unfälle, Lärm und Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen,

Für jeden Teilmarkt zeigt das Diagramm Angebot und Nachfrage und die sich daraus ergebenden Markttransaktionen. Das Angebot in den Teilmärkten ist eine Funktion der Nachfrage; die Nachfrage in der Gesamtregion eine Funktion exogener Vorgaben. Die Nachfrage in den Teilräumen der Stadtregion ist eine Funktion der Gesamtnachfrage; ihre räumliche Verteilung wird durch das Angebot an Arbeitsplätzen, Gebäuden und Flächen in den Teilräumen und dessen Attraktivität bestimmt. Die Attraktivität des Angebots ist allgemein eine benutzergruppenspezifische Funktion von Lage (Erreichbarkeit), Qualität und Preis. Die großen Pfeile in der Abbildung bezeichnen exogene Vorgaben: entweder Prognosen der Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung der Gesamtregion auf der Grundlage langfristiger ökonomischer und demographischer Trends oder Politikmaßnahmen in den Bereichen Wirtschaftsförderung, Wohnungsbau, öffentliche Einrichtungen und Verkehr.

Die roten Ellipsen zeigen zusätzlich, in welchen Bereichen des im Modell abgebildeten Systems Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet werden sollen.

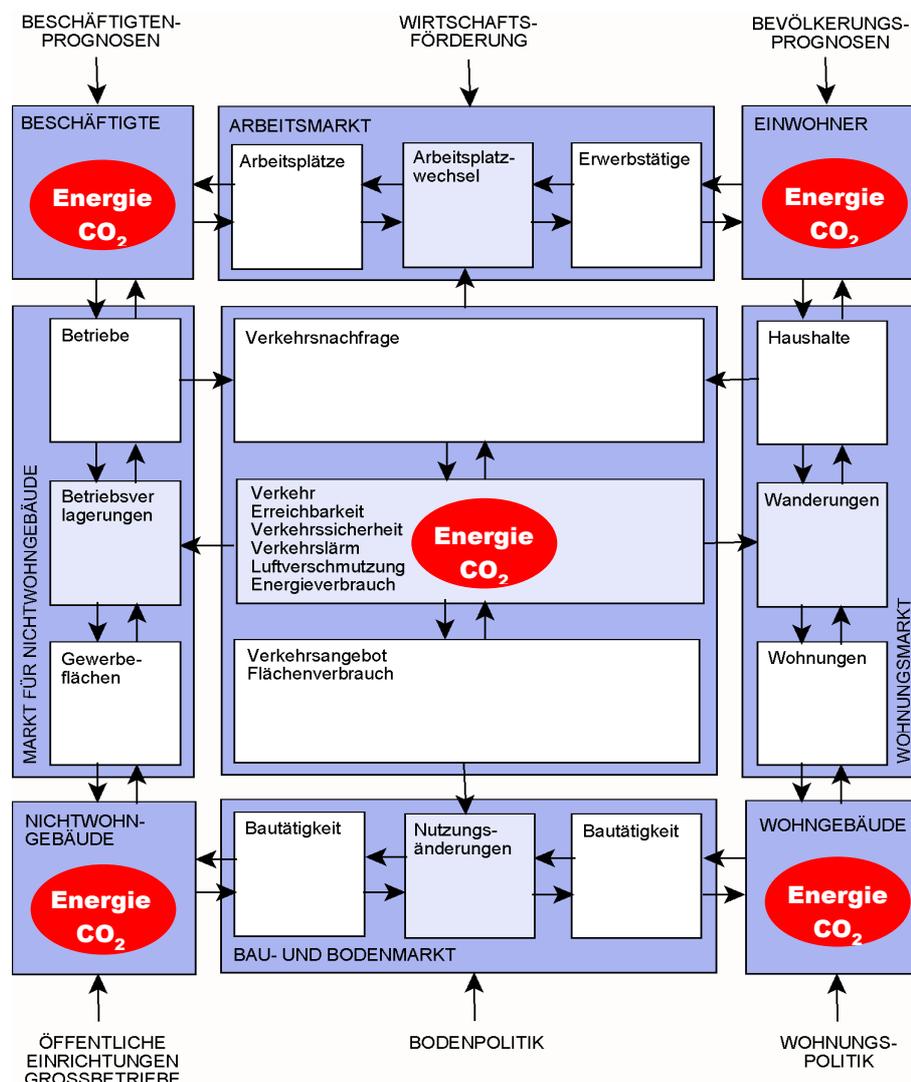


Abbildung 1. Das IRPUD-Modell

## 5. Modellentwicklung

Das IRPUD-Modell ist in jüngerer Zeit bereits in verschiedener Hinsicht erweitert worden. Im Rahmen des am Fachgebiet Städtebau und Bauleitplanung der TU Dortmund durchgeführten Projekts "Schichten einer Region" wurde der Verkehrsteil des Modells auf das ganze Ruhrgebiet einschließlich seines Umlands erweitert, allerdings zunächst nur für einen Zeitpunkt (Reicher u.a., 2011). In Zusammenarbeit mit der Universität Cambridge wurde das Modell kürzlich um einen Modellbaustein zur Abschätzung der Investitionsbereitschaft von Hauseigentümern für Maßnahmen der energetischen Sanierung erweitert (Fuerst und Wegener, 2014).

Für die geplante Anwendung des Modells für das gesamte Ruhrgebiet wird das Modell darüber hinaus in folgenden Aspekten erweitert (Huber u.a., 2011; 2013):

- *Prognosezeitraum.* Der Prognosezeitraum des Modells wird von bisher 1970-2030 auf 1990-2050 verschoben. Das Basisjahr 1990 wird vorgeschlagen, weil das Jahr 1990 vielfach als Referenzjahr für Treibhausgasemissionen verwendet wird.
- *Modellerweiterungen.* Das Modell wird mit räumlich hoch aufgelösten Teilmodellen der Umweltauswirkungen von Flächennutzung, Energieerzeugung und -verwendung und Verkehr so verknüpft, dass nicht nur die Auswirkungen auf die Umwelt, sondern auch die Wirkungen der Umweltqualität auf die Standortwahl von Haushalten und Unternehmen abgebildet werden. Zum Teil sind die hierfür benötigten Umweltauswirkungsmodelle bereits in einfachen Versionen vorhanden, müssen aber noch mit dem Gesamtmodell integriert werden (Luftqualität, Verkehrslärm, Biodiversität, Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs), zum Teil werden sie im Rahmen des Projekts neu entwickelt. Nach dem gegenwärtigen Stand der Arbeitsplanung werden zunächst die folgenden Modellerweiterungen vorgenommen:
  - Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs
  - Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Gebäuden
  - Fahrradverkehr
  - Dezentrale Energieerzeugung (Solarenergie, Quartierslösungen)

Weitere Modellerweiterungen können je nach der noch zur Verfügung stehenden Zeit oder in weiteren Projektstufen vorgenommen werden:

- Luftqualität
  - Verkehrslärm
  - Biodiversität, Freiraumqualität
  - Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen Haushalte
  - Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen Unternehmen
  - Wasser: Rückhaltebecken, Deiche
  - Mikroklima, Hitzewellen
- *Untersuchungsgebiet.* Das Untersuchungsgebiet des Modells wird von der Stadtregion Dortmund im östlichen Ruhrgebiet auf das gesamte Ruhrgebiet im Sinne des Gebiets des Regionalverbands Ruhr erweitert. Dabei ergaben sich für die räumliche Untergliederung

zung des Untersuchungsgebiets zwei Optionen: die räumliche Untergliederung des Untersuchungsgebiets in die 336 Grundzentren oder die 1166 Verkehrszellen der Integrierten Gesamtverkehrsplanung Nordrhein-Westfalen (IGVP, 2005). Aufgrund von Analysen der Datenverfügbarkeit wurde schließlich eine Zwischenlösung von 687 Stadtteilen der 53 Ruhrgebietsgemeinden gewählt (Abbildung 2). Sie stellen die "internen" Zonen des Modells dar. Zur Erfassung der Außenbeziehungen werden zusätzlich 134 Umlandgemeinden als "externe" Zonen in die Modellierung einbezogen (Schwarze u.a., 2014). Darüber hinaus wird das Untersuchungsgebiet für die Umweltmodelle in Rasterzellen von 100x100m Größe aufgeteilt (Abbildung 3).

## 6. Modelldaten

Für die Erweiterung des Modells auf das ganze Ruhrgebiet werden Daten über Bevölkerung, Erwerbstätigkeit, Haushaltsstruktur, Wohnungsbestand, Beschäftigte, Gewerbegebäude, öffentliche Bildungs- und Gesundheitseinrichtungen, die vorhandene Flächennutzung und die Flächennutzungspläne im Ruhrgebiet benötigt. Für die Erzeugung der im Modell benötigten mehrdimensionalen Verteilungen sind zum Teil aufwändige zusätzliche bi- und multiproportionale Schätzverfahren erforderlich (Wegener 2013).

Die Strukturdaten werden für das Basisjahr der Simulationen, das Jahr 1990, benötigt. Wegen ihrer zeitlichen Nähe zum Basisjahr werden die Ergebnisse der Volks-, Berufs-, Gebäude-, Wohnungs- und Arbeitsstättenzählung von 1987 verwendet (Schwarze und Wegener, 2013). Die Strukturdaten werden für die 687 internen Zonen des Modells benötigt. Für die Eichung des Modells werden ähnliche Strukturdaten für einen oder mehrere jüngere Zeitpunkte benötigt. Da die für die Eichung verwendeten Daten räumlich stärker aggregiert sein dürfen, können sie zumeist aus veröffentlichten Statistiken entnommen werden.

Zusätzlich werden für die internen Zonen digitale Geodaten benötigt. Hierzu gehören:

- Historische Flächennutzungsdaten der digitalen Flächennutzungskartierung des ehemaligen Kommunalverbands Ruhrgebiet, möglichst für das Jahr 1990.
- Digitale Versionen der Flächennutzungspläne der Ruhrgebietsstädte. Sofern wesentliche Änderungen seit 1990 zu verzeichnen waren, möglichst auch frühere Versionen.

Die digitale Flächennutzungskartierung wird zur Ermittlung der Gebäudetypen und Bebauungsdichten im Basisjahr verwendet. Die digitalen Flächennutzungspläne dienen zur Berechnung der für Neubaumaßnahmen verfügbaren Flächen.

Zur Schätzung des Energieverbrauchs und des Solarenergiepotentials der vorhandenen Gebäude werden zusätzlich die von der InWIS Forschungs- & Beratungs GmbH nach gebäudeenergetischen Kriterien definierten 2040 Quartiere im Ruhrgebiet verwendet.

Für die erforderlichen Verkehrsnetzdaten wird aus Gründen der besseren Fortschreibbarkeit in zukünftigen Anwendungen eine Neuerfassung aller Verkehrsnetze nach neuesten Verfahren mit Hilfe der verfügbaren Datenbasen Stadtplanwerk Ruhrgebiet, OpenStreetMap sowie digitaler Fahrplandaten (Schwarze und Spiekermann, 2012) vorgenommen.

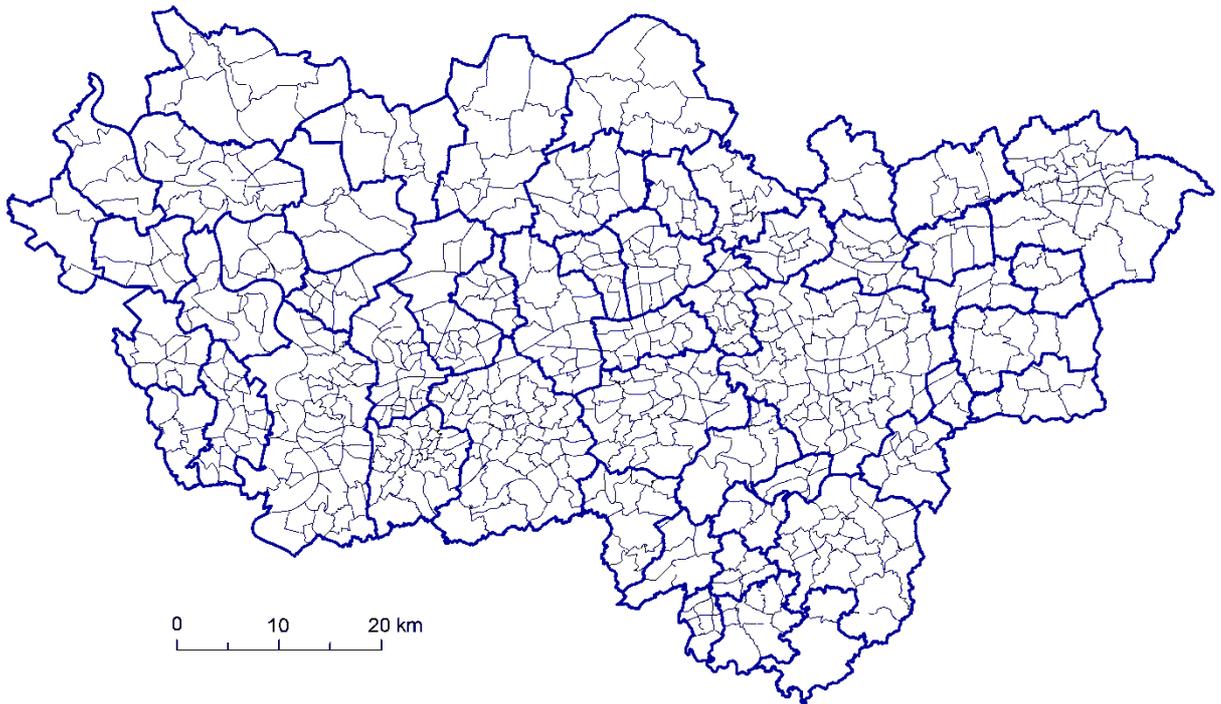


Abbildung 2. Räumliche Untergliederung des Untersuchungsgebiets in 687 Stadtteile

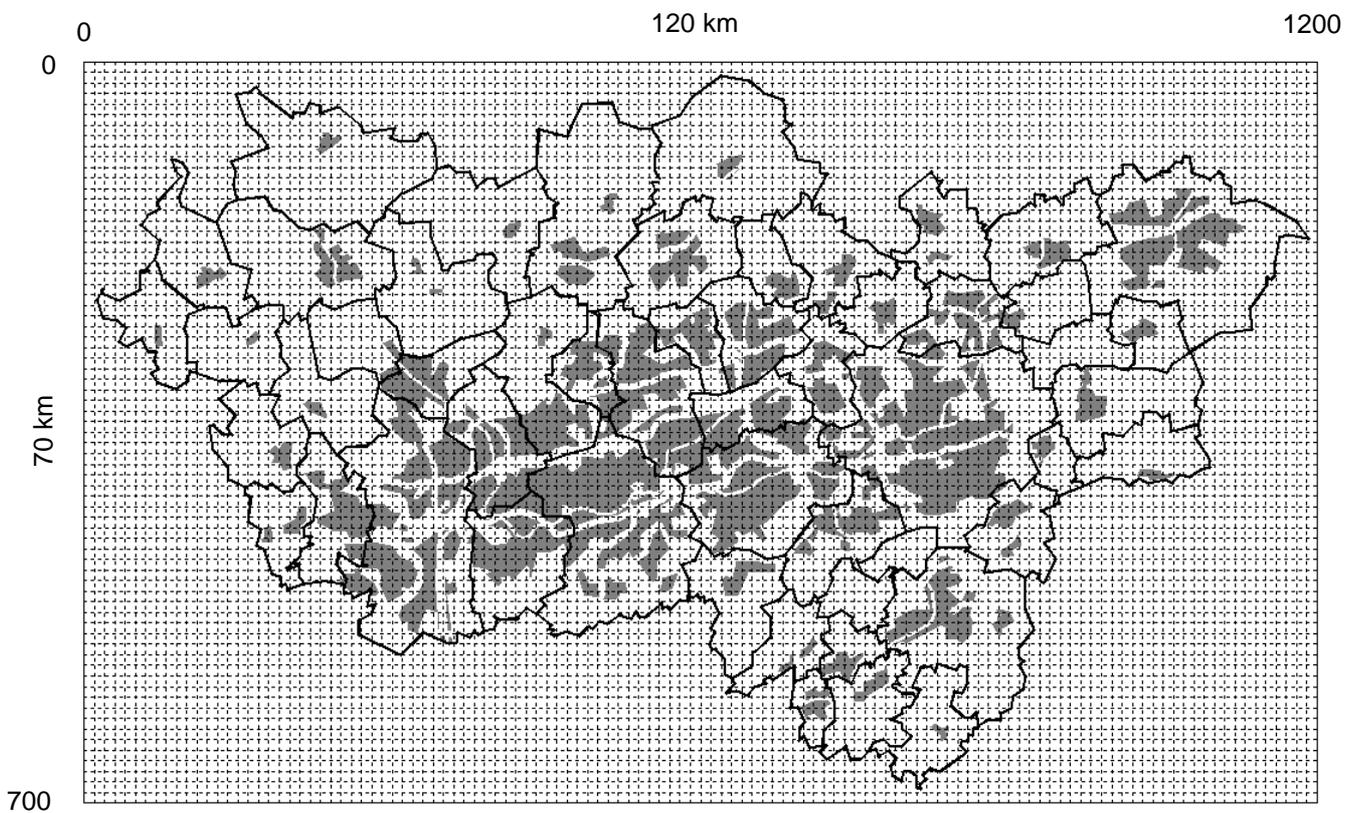


Abbildung 3. Die 100x100m-Rasterzellen der Umweltteilmodelle

## 7. Szenarien

Das erweiterte Modell soll zum Durchspielen und zur Bewertung räumlicher Szenarien mit Voraussagen zur zukünftigen Entwicklung von Flächennutzung, Verkehr, Energie und Umwelt im Ruhrgebiet bis 2050 angewendet werden.

Dabei wird zwischen Basisszenarien und Maßnahmenzenarien unterschieden:

- *Basisszenarien* geben die wahrscheinliche Entwicklung wieder, die zu erwarten ist, wenn alle heute bekannten Trends und Politikmaßnahmen unverändert bleiben. Es ist zurzeit vorgesehen, zwei unterschiedliche Basisszenarien zu verwenden: eins mit moderatem und eins mit erhöhtem Anstieg der Energiekosten.
- *Maßnahmenzenarien* projizieren die wahrscheinliche Entwicklung, die zu erwarten ist, wenn bestimmte Maßnahmen oder Kombinationen von Maßnahmen ausgeführt werden. Die zu erwartende Wirkung der Maßnahmen wird in der Regel als die Differenz zwischen den Ergebnissen der Maßnahmenzenarien und der entsprechenden Basisszenarien im Prognosejahr gemessen.

Bei der Definition der Szenarien wird von zwei Leitfragen ausgegangen:

- Bedingte Prognosen: "Welche Wirkungen wären bei Verwirklichung dieser Kombination von Maßnahmen zu erwarten?"
- Backcasting: "Welche Kombination von Maßnahmen müsste verwirklicht werden, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung und des Landes NRW zu erreichen?"

Dabei können unterschiedliche Annahmen über mögliche Entscheidungsprozesse und Umsetzungsstrategien im Ruhrgebiet gemacht werden.

### *Basisszenarien*

Für die Basisszenarien wurden folgenden Annahmen getroffen: Im Bereich der Siedlungsstruktur setzt sich der Trend der Suburbanisierung verlangsamt fort. Im Bereich Gebäudeenergie steigt die Energieeffizienz durch energetische Sanierungen und energieeffizientere Neubauten langsam weiter an, jedoch bei weitem nicht in dem für die Erreichung der Klimaschutzziele der Landesregierung erforderlichen Maße. Auch im Bereich dezentrale Energieversorgung gibt es eine geringe Zunahme erneuerbarer Energien, vor allem im Bereich Solarenergie. Im Bereich Verkehrsinfrastruktur wird Bestandserhaltung, aber kein Neubau angenommen.

### *Maßnahmenzenarien:*

Die Maßnahmenzenarien unterscheiden sich durch die in ihnen verwirklichten Maßnahmen oder Maßnahmenbündel: Basisszenarien, Flächennutzungsszenarien, Verkehrsszenarien und Kombinationsszenarien. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die bisher vorgeschlagenen Szenarien. Anschließend werden die Szenarien näher definiert. Die Liste der Szenarien ist vorläufig und kann aufgrund von Erfahrungen während der Arbeit noch modifiziert werden.

Tabelle 1. Basis- und Maßnahmenzenarien: Übersicht

| Szenarien                          |                            | Maßnahmen            | Energiepreise     |          |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|----------|
|                                    |                            |                      | +1% p.a.          | +4% p.a. |
| Basisszenario                      |                            | alle wie bisher      | A00               | B00      |
| Flächen-<br>nutzungs-<br>szenarien | Siedlungsstruktur          | Kompakte Stadt       | A11               | B11      |
|                                    |                            | Polyzentrische Stadt | A12               | B12      |
|                                    | Gebäude                    | Wohnungseigentum     | A21               | B21      |
|                                    |                            | Mietwohnungen        | A22               | B22      |
|                                    |                            | Neubau Wohnungen     | A23               | B23      |
|                                    |                            | Gewerbegebäude       | A24               | B23      |
|                                    |                            | Neubau Gewerbe       | A25               | B25      |
|                                    | Energieerzeugung           | Erneuerbare Energien | A31               | B31      |
| Quartierslösungen                  |                            | A32                  | B32               |          |
| Verkehrs-<br>szenarien             | Pkw                        | Steuern/Gebühren     | A41               | B41      |
|                                    |                            | Energieeffizienz     | A42               | B42      |
|                                    |                            | Rückbau              | A43               | B43      |
|                                    |                            | Tempolimits          | A44               | B44      |
|                                    |                            | Parkraumgebühren     | A45               | B45      |
|                                    |                            | Car-sharing          | A46               | B46      |
|                                    | ÖPNV                       | Ausbau               | A51               | B51      |
|                                    |                            | Taktverdichtung      | A52               | B52      |
|                                    |                            | Bürgerticket         | A53               | B53      |
|                                    | Fahrrad                    | Radschnellwege       | A61               | B61      |
|                                    |                            | Radverkehr allgemein | A62               | B62      |
|                                    | Fuß                        | Fußverkehr allgemein | A71               | B71      |
|                                    | Kombinations-<br>szenarien | Flächennutzung       | A11-A32 / B11-B32 | A81      |
| Verkehr                            |                            | A41-A71 / B41-B71    | A82               | B82      |
| Alle                               |                            | A11-A71 / B11-B71    | A83               | B83      |

### *Flächennutzungsszenarien*

Die Flächennutzungsszenarien umfassen Maßnahmen der Flächennutzungsplanung zur Beeinflussung der Siedlungsstruktur, Maßnahmen zur Förderung der energetischen Sanierung bestehender Gebäude und der Energieeffizienz von Neubauten sowie Maßnahmen zur Förderung der dezentralen Energieerzeugung in Quartieren:

- Siedlungsstruktur:
  - A11 / B11 Neubauten nur in Stadtkernen
  - A12 / B12 Neubauten nur an Bahnhöfen
- Energieverbrauch:
  - A21 / B21 Förderung energetischer Sanierungen durch Eigentümer
  - A22 / B22 Förderung energetischer Sanierungen im Mietwohnungsbau
  - A23 / B23 Förderung energieeffizienter Wohnungsneubauten
  - A24 / B24 Förderung energetischer Sanierungen im Nichtwohnungsbau
  - A25 / B25 Förderung energieeffizienter Gewerbeneubauten
- Energieerzeugung:
  - A31 / B31 Förderung erneuerbarer Energieerzeugung
  - A32 / B32 Förderung der Energieerzeugung in Quartieren

### *Verkehrsszenarien*

Die Verkehrsszenarien umfassen Maßnahmen zur Erhöhung der Nachhaltigkeit des Verkehrs durch Verteuerung und Verlangsamung des Autoverkehrs und Förderung umweltfreundlicher Verkehrsarten durch neue Bahn-, Bus- und Straßenbahnlinien, Taktverdichtung und Beschleunigung im ÖPNV und Verbesserungen für den Rad- und Fußverkehr:

- Pkw:
  - A41 / B41 Mineralölsteuer, Straßenbenutzungsgebühren
  - A42 / B42 Förderung CO<sub>2</sub>-armer Fahrzeuge
  - A43 / B43 Rückbau mehrspuriger Straßen
  - A44 / B44 Flächenhafte Tempolimits 30/80/100 km/h
  - A45 / B45 Flächenhafte Parkraumbewirtschaftung
  - A46 / B46 Flächenhaftes Car-sharing
- ÖPNV:
  - A51 / B51 Neue Bahn-, Bus- und Straßenbahnlinien
  - A52 / B52 Taktverdichtung und Beschleunigung im ÖPNV
  - A53 / B53 Bürgerticket
- Fahrrad:
  - A61 / B61 Radschnellwegenetz Ruhrgebiet
  - A62 / B62 Beschleunigung des Radfahrens
- Fuß:
  - A71 / B71 Optimierte Fußwegenetze

### *Kombinationsszenarien*

Die Kombinationsszenarien umfassen unterschiedliche Kombinationen von Maßnahmen, um positive und negative Synergien zwischen den einzelnen Maßnahmen zu erkunden. Vorerst sind drei Kombinationsszenarien vorgesehen, in denen zunächst alle Flächennutzungsszenarien und dann alle Verkehrsszenarien und dann alle Szenarien überhaupt zusammengefasst werden:

- Flächennutzung: A81 / B81
  - A11-A12 / B11-B12
  - A21-A25 / B21-B25
  - A31-A32 / B31-B32
- Verkehr: A82 / B82
  - A41-A46 / B41-B46
  - A51-A53 / B51-B53
  - A61-A62 / B61-B62
  - A71 / B71
- Alle: A83 / B83
  - A11-A12 / B11-B12
  - A21-A25 / B21-B25
  - A31-A32 / B31-B32
  - A41-A46 / B41-B46
  - A51-A53 / B51-B53
  - A61-A62 / B61-B62
  - A71 / B71

Auch bei den Kombinationsszenarien können aufgrund der Erfahrungen während der Arbeit weitere Kombinationen erprobt werden.

## 8. Auswertung der Szenarien

Das Modell macht für jede Simulationsperiode bis 2050 detaillierte Aussagen über die kleinräumige Entwicklung von

- Einwohnern, Haushalten, Erwerbstätigen, Arbeitsplätzen,
- Flächennutzung und Gebäudebestand,
- Mobilität nach Wegehäufigkeit, Wegelänge und Verkehrsart,
- Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Luftqualität, Verkehrslärm,
- Freirauminanspruchnahme, Biodiversität.

Die Modellergebnisse können Synergien und etwaige Zielkonflikte zwischen den vorgesehenen Maßnahmen und damit den Bedarf für eine detaillierte Wechselwirkungsanalyse deutlich machen. Aus der Analyse der Ergebnisse können sich neue Gesichtspunkte ergeben, die zur Definition neuer Szenarien führen. Die Ergebnisse ausgewählter Szenarien werden in verständlicher Weise visuell aufbereitet und in Handlungshinweise umgesetzt.

Die Ergebnisse der ausgewählten Szenarien und die aus ihnen entwickelten Handlungshinweise werden auf Workshops Vertretern der Städte und Gemeinden und anderer Regionalakteure des Ruhrgebiets vorgestellt und mit ihnen im Hinblick auf geeignete Informations-, Beteiligungs- und Entscheidungsstrategien zur Vorbereitung und Umsetzung von praktischen Handlungsansätzen (Rechtsetzung, Finanzierung, Anreizsysteme) diskutiert. Die Ergebnisse des Teilprojekts können auf diese Weise in die Vernetzungsphase des Energiewende-Programms eingebracht werden und so zur Rationalität des gesellschaftlichen Diskurses beitragen.

## 9. Literatur

ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2007): *Europäische Strategien der Anpassung an die Folgen des Klimawandels: die Sicht der Raumplanung*. Positionspapier 73. Hannover: ARL.

Bartholomew, K., Chen, D.T., Ewing, R., Walters, J., Winkelman, S. (2007): *Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change*. Washington, DC: The Urban Land Institute and Smart Growth America. <http://www.smartgrowthamerica.org/gcindex.html>.

Baumüller, J., Hoffmann, U., Reuter, U. (1993): *Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung*. Stuttgart: Innenministerium Baden-Württemberg. <http://www.staedtebauliche.klimafibel.de>.

Beckmann, K.J., Brüggemann, U., Gräfe, J., Huber, F., Meiners, H., Mieth, P., Moeckel, R., Mühlhans, H., Schaub, H., Schrader, R., Schürmann, C., Schwarze, B., Spiekermann, K., Strauch, D., Spahn, M., Wagner, P., Wegener, M. (2007): *ILUMASS: Integrated Land-Use Modelling and Transport System Simulation*. Endbericht. Berlin: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. [http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/ILUMASS\\_Endbericht.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/ILUMASS_Endbericht.pdf).

Beierkuhnlein, C., Foken, T. (2008): Klimawandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. *Bayreuther Forum Ökologie* 113.

BMBF - Bundesministerium für Bildung und Forschung (2009): *KLIMZUG: Klimawandel in Regionen*. Berlin: BMBF. <http://www.klimzug.de/index.php>.

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): *Klimawandel in den Alpen. Fakten – Folgen – Anpassung*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz und Brot für die Welt, Evangelischer Entwicklungsdienst (2008): *Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt*. Eine Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie. Frankfurt: Fischer Taschenbuch Verlag.

Dawson, R. J., Hall, J. W., Barr, S. L., Batty, M., Bristow, A. L., Carney, S., Dagoumas, A., Evans, S., Ford, A., Harwatt, H., Köhler, J., Tight, M. R., Walsh, C. L. and Zanni, A. M. (2009): *A Blueprint for the Integrated Assessment of Climate Change in Cities*. Working Paper 129. Newcastle upon Tyne: Tyndall Centre for Climate Change Research. Programme. <http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp129.pdf>.

- Europäische Kommission (2007): *Grünbuch "Klimawandel In Europa – Optionen für Maßnahmen der EU"*. KOM(2007)354 endgültig.
- EEA – European Environmental Agency (2003): *An Inventory of Biodiversity Indicators in Europe, 2002*. Technical Report 92. Copenhagen: European Environmental Agency.
- ESPON 1.3.1 (2006): *Spatial Effects of Natural and Technological Hazards*. Final Report. [http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/ESPON2006Projects/ThematicProjects/NaturalHazards/fr-1.3.1\\_revised-full.pdf](http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/ESPON2006Projects/ThematicProjects/NaturalHazards/fr-1.3.1_revised-full.pdf).
- ESPON Climate (2011): *ESPON Climate – Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies*. Final Report. Luxembourg. [http://www.espon.eu/main/Menu\\_Projects/Menu\\_AppliedResearch/climate.html](http://www.espon.eu/main/Menu_Projects/Menu_AppliedResearch/climate.html).
- Fleischhauer, M. Bornefeld, B. (2006): Klimawandel und Raumplanung – Ansatzpunkte der Raumordnung und Bauleitplanung für den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel. *Raumforschung und Raumordnung* 64.3, 161-171.
- Fiorello, D., Huismans, G., López, E., Marques, C., Steenberghen, T., Wegener, M., Zografos, G. (2006): *Transport Strategies under the Scarcity of Energy Supply*. STEPs Final Report, herausgegeben von A. Monzon und A. Nuijten. Den Haag: Buck Consultants International. <http://www.steps-eu.com/reports.htm>.
- Fuerst, F., Wegener, M. (2014): Energy efficiency of buildings: a new challenge for urban models. Kapitel 9 in Jin, Y. (Hg.): *Applied Urban Modelling: Assessing Pathways towards Energy Efficient and Climate-Wise Regions*. Cambridge: British Academy.
- Heiland, S., Geiger, B., Rittel, K., Steinl, C., Wieland, S. (2008): Der Klimawandel als Herausforderung für die Landschaftsplanung – Probleme, Fragen und Lösungsansätze. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 40.2, 37-41.
- Huber, F., Brosch, K., Reinbold, P., Hartwig, K.-H., Peistrup, M., Spiekermann, K., Wegener, M. (2007): *Ableitung von Kriterien einer ausreichenden Bedienung im ÖV für unterschiedliche Regionstypen in NRW*. Wuppertal: Bergische Universität. [http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/MBV\\_Endbericht\\_Final.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/MBV_Endbericht_Final.pdf).
- Huber, F., Falk, M. (2013): New options for mobility and transport infrastructure in the post-carbon society. *Routes & Roads* 357, 34-43.
- Huber, F., Schwarze, B., Spiekermann, K., Wegener, M. (2013): Modelling the energy transition in cities. Referat auf der 13th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Utrecht, 2.-4. Juli 2013. [http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/HSSW\\_CUPUM2013.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/HSSW_CUPUM2013.pdf).
- Huber, F., Spiekermann, K., Wegener, M. (2011): Cities and climate change: a simulation model for the Ruhr Area. In: Schrenk, M., Popovich, V.V., Zeile, P. (Hg.): Tagungsband der Tagung REAL CORP 2011, Essen, 18.-20. Mai 2011. [http://www.corp.at/archive/CORP2011\\_94.pdf](http://www.corp.at/archive/CORP2011_94.pdf).

IGVP – Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2005): *Integrierte Gesamtverkehrsplanung Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: MBV. <http://www.lvp.nrw.de/>

IfR – Informationskreis für Raumplanung (2008): Siedlungsentwicklung und Klimawandel. *RaumPlanung* 137.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Fourth Assessment Report Climate Change 2007*. New York: IPCC. <http://www.ipcc.ch/>.

Lautso, K., Spiekermann, K., Wegener, M., Sheppard, I., Steadman, P., Martino, A., Domingo, R., Gayda, S. (2004): *PROPOLIS: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*. PROPOLIS Final Report. Helsinki: LT Consultants. <http://www.spiekermann-wegener.de/pro/propolis.htm>.

MKULNV (2011): *Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel*. Düsseldorf: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. [http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/handbuch\\_stadtklima.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/handbuch_stadtklima.pdf).

Reicher, C., Kunzmann, K.R., Polivka, J., Roost, F., Utku, Y., Wegener, M. (Hg.) (2011): *Schichten einer Region – Kommentiertes Kartenwerk zur baulichen und räumlichen Struktur des Ruhrgebiets*. Dortmund: Fachgebiet Städtebau, Stadtgestaltung und Bauleitplanung, Fakultät Raumplanung, Technische Universität Dortmund.

Ritter, E.-H. (2007): Klimawandel – eine Herausforderung an die Raumplanung. *Raumforschung und Raumordnung* 65.6, 531-538.

Schwarze, B., Spiekermann, K. (2012): *Datenbedarf des Ruhrgebietsmodells: Netzdaten*. Projektnotiz RM 3. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung.

Schwarze, B., Thomé, T., Wegener, M. (2014): Die Zoneneinteilung des Ruhrgebietsmodells. Projektnotiz RM 5. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung.

Schwarze, B., Wegener, M. (2013): Datenbeschaffungsplan Integriertes Modell Ruhrgebiet 2050. Projektnotiz RM 6. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung.

Spiekermann, K., Wegener, M. (2005): *Räumliche Szenarien für das östliche Ruhrgebiet*. Schlussbericht. Dortmund: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen. <http://www.ils-forschung.de/down/raum-szenarien.pdf>.

Stadt Dortmund (2011): *Handlungsprogramm Klimaschutz 2020 der Stadt Dortmund*. Abschlussbericht. [http://umweltamt.dortmund.de/upload/binarydata\\_do4ud4cms/63/97/20/00/00/00/209763/endbericht\\_handlungsprogramm\\_klimaschutz.pdf](http://umweltamt.dortmund.de/upload/binarydata_do4ud4cms/63/97/20/00/00/00/209763/endbericht_handlungsprogramm_klimaschutz.pdf).

Stadt Essen (2009): *Unsere Stadt. Unser Klima. Integriertes Energie- und Klimakonzept der Stadt Essen*. Essen: Umweltamt Essen. [http://www.essen.de/Deutsch/Rathaus/Aemter/Ordner\\_59/Luft/Downloads/IEKK\\_2009\\_02\\_03\\_Master.pdf](http://www.essen.de/Deutsch/Rathaus/Aemter/Ordner_59/Luft/Downloads/IEKK_2009_02_03_Master.pdf).

Stern, N. u.a. (2006): *Stern Review on the Economics of Climate Change*. London: H.M. Treasury. [http://www.hm-treasury.gov.uk/stern\\_review\\_report.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm).

UBA – Umweltbundesamt (2005): *Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland*. Dessau: Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2946.htm>.

UBA/PIK – Umweltbundesamt, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2005): *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Dessau: Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2947.htm>.

Wegener, M. (2008): *SASI Model Description*. Working Paper 08/01. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung. [http://www.spiekermann-wegener.de/mod/pdf/AP\\_0801.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/mod/pdf/AP_0801.pdf).

Wegener, M. (2011): *The IRPUD Model*. Working Paper 11/01. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung. [http://www.spiekermann-wegener.de/mod/pdf/AP\\_1101\\_IRPUD\\_Model.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/mod/pdf/AP_1101_IRPUD_Model.pdf)

Wegener, M. (2013): *Datenbedarf des Ruhrgebietsmodells: Strukturdaten*. Projektnotiz RM 2. Dortmund: Spiekermann & Wegener Stadt- und Regionalforschung.