

CLIMATE CHANGE

25/2019

Sozioökonomische Szenarien als Grundlage der Vulnerabilitätsanalysen für Deutschland

Teilbericht des Vorhabens „Politikinstrumente zur
Klimaanpassung“

CLIMATE CHANGE 25/2019

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3716 48 1000

FB000075/ZW

Sozioökonomische Szenarien als Grundlage der Vulnerabilitätsanalysen für Deutschland

Teilbericht des Vorhabens „Politikinstrumente zur Klima-
anpassung“

von

Christian Lutz, Lisa Becker, Philip Ulrich, Martin Distelkamp
Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS),
Osnabrück

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS)
Heinrichstraße 30
49080 Osnabrück

Abschlussdatum:

Februar 2019

Redaktion:

Fachgebiet 1.6 KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung
Dr. Inke Schauser

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Sozioökonomische Szenarien als Grundlage der Vulnerabilitätsanalysen für Deutschland

Für die Analyse und Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland im Rahmen der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudie 2021, die im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie im Auftrag der Bundesregierung (2015) entsteht, wurden drei sozioökonomische Szenarien für Deutschland entwickelt. Nach einem Überblick über die Bedeutung globaler Megatrends aus den Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft, Politik, Umwelt und Technologie für Deutschland werden in diesem Bericht die fünf internationalen Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) dargestellt, die mögliche globale Zukünfte beschreiben und mit verschiedenen Klimaszenarien verknüpft werden können. Sie dienen als Ausgangspunkt für die in diesem Bericht zu entwickelnden drei nationalen Szenarien: (1) Das Trendszenario schreibt aktuelle Entwicklungen für Bevölkerung, Wirtschaft, Energie, Verkehr und Flächeninanspruchnahme trendmäßig in die Zukunft fort. (2) Eine nachhaltige Entwicklung, in der die Ziele der Bundesregierung erreicht werden, wird in dem Szenario Stabilität abgebildet. (3) Das dritte Szenario weist eine höhere sozioökonomische Dynamik auf, indem sich die Rahmendaten für Bevölkerungsentwicklung und BIP-Wachstum am oberen Rand aktueller Projektionen orientieren.

Die Szenarien wurden anhand des makroökonomischen Modells PANTA RHEI zunächst auf nationaler Ebene quantifiziert und dabei in die aktuelle Szenarienlandschaft eingeordnet. Anschließend wurden die Effekte mit dem Modell PANTA RHEI Regio regionalisiert und auf Kreisebene ermittelt. Nach einer methodischen Einführung und der Darstellung der demographischen Vorgaben in der regionalen Perspektive werden die Ergebnisse einzeln für die Themen Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Wohnen, Verkehr, Stromerzeugung sowie Flächenentwicklung dargestellt. Die Modelle sind im Anhang ausführlich beschrieben.

Abstract: Socio-economic scenarios as a basis for vulnerability analyses for Germany

Three socio-economic scenarios have been developed for the analysis and assessment of the impacts of climate change in Germany within the framework of the Climate Impact and Vulnerability Study 2021, which is being carried out within the framework of the German Adaptation Strategy on behalf of the Federal Government (Bundesregierung 2015). After an overview of the significance of global megatrends in the areas of society, economy, politics, environment and technology for Germany, the five international Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) have been analysed, which describe possible futures and can be connected with different climate scenarios. They serve as a starting point for the three national scenarios to be developed in this report: (1) The trend scenario continues current developments for population, economy, energy, transport and land use into the future. (2) A sustainable development in which the targets of the Federal Government are achieved is represented in the stability scenario. (3) The third scenario shows a higher socio-economic dynamic by assuming the upper edge of current projections for population development and GDP growth as framework data.

The scenarios were first quantified at the national level using the macroeconomic model PANTA RHEI and classified into the current scenario landscape. The effects were then regionalised using the model "PANTA RHEI Regio" and determined at administrative district level. After a methodical introduction and the presentation of the demographic specifications in the regional perspective, the results are shown individually for the topics of value added, employment, housing, transport, electricity production and land use. The models are described in detail in the appendix.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	16
Summary.....	28
1 Einleitung.....	39
2 Analyse der Megatrends.....	41
2.1 Definition und Überblick.....	41
2.2 Die Megatrends im Einzelnen.....	43
2.2.1 Gesellschaftliche Megatrends.....	43
2.2.1.1 Bevölkerung.....	43
2.2.1.2 Urbanisierung.....	47
2.2.1.3 Geänderte Krankheitsmuster und Gefahr von Pandemien.....	48
2.2.1.4 Geänderte Arbeitswelt und höhere Bildung.....	49
2.2.1.5 Lebensweise und Ernährung.....	50
2.2.2 Wirtschaftliche Megatrends.....	50
2.2.2.1 Wirtschaftliche Entwicklung.....	50
2.2.2.2 Energie- und Ressourcenverbrauch.....	54
2.2.3 Umweltbezogene Megatrends.....	57
2.2.4 Technologische Megatrends.....	58
2.2.5 Politische Megatrends.....	59
2.3 Quantifizierbarkeit von Megatrends.....	60
3 Shared Socioeconomic Pathways (SSPs).....	61
3.1 Definition und Überblick.....	61
3.2 Analyse der SSPs.....	64
3.2.1 SSP 1 – Nachhaltigkeit („Taking the Green Road“).....	65
3.2.2 SSP 2 – Mittlere Herausforderungen („Middle of the Road“).....	65
3.2.3 SSP 3 – Regionale Rivalität („A Rocky Road“).....	66
3.2.4 SSP 4 – Ungleichheit („A Road Divided“).....	67
3.2.5 SSP 5 – Fossil befeuerte Entwicklung („Taking the Highway“).....	68
3.2.6 Vergleich der SSPs.....	69
3.2.7 Bedeutung der SSPs für Deutschland.....	70
3.3 Auswahl von drei SSPs im Vorhaben.....	72

3.3.1	Vergleich der Rahmendaten für Deutschland	72
3.3.1.1	Bevölkerung	72
3.3.1.2	Urbanisierung	74
3.3.1.3	BIP	75
3.3.2	SSPs als mögliche Ausgangspunkte nationaler Szenarien	77
4	Entwicklung der nationalen Szenarien	79
4.1	Analyse vorhandener Zukunftsszenarien.....	79
4.2	Charakterisierung der Szenarien.....	83
4.3	Auswahl von drei unterschiedlichen Szenarien bzgl. des sozioökonomischen Wandels	90
4.4	Quantifizierung der drei Szenarien auf nationaler Ebene	94
4.4.1	Trend	94
4.4.2	Dynamik	98
4.4.3	Stabilität	101
4.4.4	Die drei Szenarien im Vergleich	104
4.5	Einordnung der drei Szenarien	108
5	Die sozioökonomischen Szenarien aus regionaler Perspektive	111
5.1	Überblick über das methodisches Vorgehen	111
5.2	Bevölkerungsentwicklung	113
5.2.1	Methodisches Vorgehen zur Ermittlung der regionalspezifischen Bevölkerungsprojektion.....	114
5.2.2	Bevölkerungsentwicklung bis 2045.....	116
5.2.2.1	Die Szenarien Trend und Stabilität	116
5.2.2.2	Das Szenario Dynamik.....	118
5.3	Entwicklung von BIP, Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit in den Szenarien.....	120
5.3.1	Trendszenario	121
5.3.2	Die Szenarien Dynamik und Stabilität.....	124
5.4	Wohnen, Pkw-Bestände und Stromproduktion.....	125
5.4.1	Entwicklungen im Trendszenario.....	125
5.4.2	Entwicklungen in den Szenarien Dynamik und Stabilität	130
5.5	Siedlungs- und Verkehrsflächen	133
5.5.1	Fläche im Szenario Trend	133
5.5.2	Abweichungen zwischen den Szenarien.....	137
5.6	Einordnung der regionalen Ergebnisse	141
6	Quellenverzeichnis	144

A	Anhang	152
A.1	Klassifikation der Varianten in Bevölkerungsprojektionen.....	152
A.2	Nationales umweltökonomisches und energiewirtschaftliches Modell PANTA RHEI	153
A.3	Bundesweites, regionalwirtschaftliches und flächendynamisches Modell PANTA RHEI REGIO	155
A.3.1	Themenfeld „Erwerbstätigkeit und Wertschöpfung“	157
A.3.2	Themenfeld „Wohnen und Pkw-Bestände“	158
A.3.3	Themenfeld „Siedlungs- und Verkehrsflächen“	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Themenfelder der Megatrends	41
Abbildung 2:	Entwicklung der Weltbevölkerung nach verschiedenen Varianten der UN-Projektion.....	44
Abbildung 3:	Projektionen der Bevölkerungsentwicklung für Deutschland ..	45
Abbildung 4:	Historische (1950 bis 2014) und projizierte (2015 bis 2050) Anteile an städtischer Bevölkerung in Deutschland, Europa und der Welt.....	47
Abbildung 5:	Regionale Bevölkerungsentwicklung Deutschlands	48
Abbildung 6:	Projektion der durchschnittlichen, jährlichen BIP- Wachstumsraten	51
Abbildung 7:	BIP-Projektion in den EU-15-Staaten.....	52
Abbildung 8:	Historische (2000 und 2015) und projizierte Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs.....	55
Abbildung 9:	Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch im Referenzszenario in den EU-28-Mitgliedsstaaten	56
Abbildung 10:	Planetare Grenzen (Planetary Boundaries) und ihre aktuelle Belastung	58
Abbildung 11:	Einteilung der SSPs nach ihren sozioökonomischen Herausforderungen für Mitigation und Anpassung	62
Abbildung 12:	Beispielhafte Erreichbarkeit der RCPs in Quantifizierungen der SSPs mit IAMs	63
Abbildung 13:	Quantifizierungen der SSPs im globalen Bezugsrahmen von IIASA (Bevölkerung, BIP, BIP pro Kopf) und von NCAR (Urbanisierung).....	64
Abbildung 14:	Quantifizierungen für Deutschland nach IIASA (Bevölkerung, BIP) und NCAR (Urbanisierung)	71
Abbildung 15:	Vergleichende Darstellung der Bevölkerungsprojektionen	73
Abbildung 16:	Urbanisierungsgrad nach UN und den SSPs	75
Abbildung 17:	Vergleich der BIP-Quantifizierungen nach IIASA und OECD.....	76
Abbildung 18:	Fristigkeit von sozioökonomischen Szenarien.....	80
Abbildung 19:	Projektionen der Bevölkerungszahlen.....	84
Abbildung 20:	Projektionen des BIP.....	85
Abbildung 21:	Projektionen des Primärenergieverbrauchs in Deutschland....	86
Abbildung 22:	Projektionen der THG-Emissionen in Deutschland	87
Abbildung 23:	Vergleich der Bevölkerungszahl und der Zahl der Wohnungen	105
Abbildung 24:	Vergleich der BIP-Entwicklung.....	106
Abbildung 25:	Vergleich des Endenergieverbrauchs und des EE-Anteils	107
Abbildung 26:	Vergleich der Personen- und der Güterverkehrsleistung.....	108
Abbildung 27:	Schematische Übersicht zu den Themenfeldern, räumlichen Ebenen und Detailtiefen der Modellierung.....	112

Abbildung 28:	Bevölkerungsentwicklung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen Deutschlands von 2000 bis 2045 – die Szenarien Trend und Stabilität	117
Abbildung 29:	Bevölkerungsentwicklung bis 2045 in den Szenarien Trend und Stabilität.....	117
Abbildung 30:	Bevölkerungsentwicklung in den Szenarien Trend und Dynamik – jährliche Veränderung zwischen 2015 und 2045	118
Abbildung 31:	Differenz des Bevölkerungsstandes im Szenario Dynamik zum Bevölkerungsstand im Szenario Trend	119
Abbildung 32:	Trendszenario – Entwicklung des Pro-Kopf-BIP in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands	121
Abbildung 33:	Entwicklung des Anteils des Produzierenden Gewerbes an der Wertschöpfung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario.....	122
Abbildung 34:	Entwicklung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt – das Trendszenario	123
Abbildung 35:	Entwicklung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt im Zeitraum 2015 bis 2045 – die Szenarien im Vergleich	125
Abbildung 36:	Entwicklung des Wohnungsbestands in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario.....	126
Abbildung 37:	Entwicklung der Wohnfläche je Wohnung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario.....	127
Abbildung 38:	Entwicklung des Pkw-Bestandes in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario	128
Abbildung 39:	Entwicklung der Bruttostromerzeugung und EE-Anteil in den Bundesländern – Trendszenario.....	129
Abbildung 40:	Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden im Zeitraum 2015 bis 2045 – die Szenarien im Vergleich	130
Abbildung 41:	Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche für die drei Hauptnutzungsarten, gleitender 4-Jahresdurchschnitt, historisch und im Szenario Trend	134
Abbildung 42:	Entwicklung der Gebäude- und Freiflächen einschließlich der Betriebsflächen, gleitender 4-Jahresdurchschnitt, historisch und im Szenario Trend.....	135
Abbildung 43:	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche insgesamt (2016–2030 und 2030–2045) im Szenario Trend, siedlungsstrukturelle Kreistypen	136
Abbildung 44:	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Szenario Trend für die Landkreise und kreisfreien Städte	137

Abbildung 45:	Entwicklung der Flächeninanspruchnahme in den drei sozioökonomischen Szenarien, gleitender 4-Jahresdurchschnitt, Zielpfad.....	138
Abbildung 46:	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächen zwischen 2016 und 2045 – Vergleich zwischen den Szenarien	139
Abbildung 47:	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den drei Szenarien im Zeitraum 2016 bis 2045	140
Abbildung 48:	Das Modell PANTA RHEI im Überblick.....	155
Abbildung 49:	Das Modell PANTA RHEI REGIO im Überblick.....	156

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überblick über die globalen Megatrends.....	42
Tabelle 2:	Durchschnittliche, jährliche BIP-Wachstumsraten für Deutschland.....	53
Tabelle 3:	Charakterisierung des SSP 1	65
Tabelle 4:	Charakterisierung des SSP 2	66
Tabelle 5:	Charakterisierung des SSP 3	67
Tabelle 6:	Charakterisierung des SSP 4	68
Tabelle 7:	Charakterisierung des SSP 5	69
Tabelle 8:	Quantifizierungen der BIP-Wachstumsrate von IIASA und OECD	76
Tabelle 9:	Personenverkehrsleistung in Mrd. Pkm	89
Tabelle 10:	Güterverkehrsleistung in Mrd. tkm	89
Tabelle 11:	Bestand an E-Fahrzeugen in Mio.....	90
Tabelle 12:	Quantifizierung der Szenarien im Energiebereich.....	92
Tabelle 13:	Quantifizierung der Szenarien im Verkehr	92
Tabelle 14:	Zusammenfassung der drei Szenarien	94
Tabelle 15:	Sozioökonomische Entwicklung im Trendszenario	96
Tabelle 16:	Energie und Verkehr im Trendszenario	97
Tabelle 17:	Sektorale Bruttowertschöpfung im Trendszenario	98
Tabelle 18:	Sozioökonomische Entwicklung im DynamikszENARIO.....	99
Tabelle 19:	Energie und Verkehr im DynamikszENARIO	100
Tabelle 20:	Sektorale Bruttowertschöpfung im DynamikszENARIO	101
Tabelle 21:	Sozioökonomische Entwicklung im Stabilitätsszenario.....	102
Tabelle 22:	Energie und Verkehr im Stabilitätsszenario	103
Tabelle 23:	Sektorale Bruttowertschöpfung im Stabilitätsszenario.....	104
Tabelle 24:	Schema zur modellbasierten Umsetzung der Szenarien aus regionaler Perspektive.....	113
Tabelle 25:	Übersicht über die Datengrundlagen und Annahmen in den regionalen Szenarien für Bevölkerung	116
Tabelle 26:	Bevölkerungsdichte in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045	120

Tabelle 27:	Erwerbstätige in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045 – das Trendszenario.....	123
Tabelle 28:	Entwicklung des Pro-Kopf-BIP in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045	124
Tabelle 29:	Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden in den siedlungsstrukturellen Kreistypen – das Trendszenario.....	127
Tabelle 30:	Differenz der Pkw-Bestände zum Trendszenario insgesamt und nach Kreistypen – das Dynamik- und das Stabilitätsszenario	131
Tabelle 31:	Kennzahlen der regionalen Verteilung der Bruttostromerzeugung in den drei Szenarien	132
Tabelle 32:	Entwicklung des Anteils der SuV-Flächen an der Bodenfläche in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045	140
Tabelle 33:	Durchschnittliches SuV-Flächen-Wachstum in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045	141
Tabelle 34:	Varianten der UN-Bevölkerungsprojektionen.....	152
Tabelle 35:	Varianten der Destatis-Bevölkerungsprojektionen.....	152
Tabelle 36:	Grundlagen und Ergebnisse der regionalen Längsschnittregressionen.....	157
Tabelle 37:	Konfiguration der Panel-Schätzgleichungen im Bereich Wohnen	159
Tabelle 38:	Konfiguration der Panel-Schätzgleichungen im Bereich Flächendynamik.....	161
Tabelle 39:	Anpassungsroutinen für die Projektion der Flächennutzungsarten	162

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AMS	Aktuelle-Maßnahmen-Szenario
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BCG	Boston Consulting Group
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
BR	Bundesregierung
BRIICS	Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China und Südafrika
BVU	Beratergruppe Verkehr und Umwelt
CAGR	Compound Annual Growth Rate (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate)
CCS	Carbon Capture and Storage
CGE	Computable General Equilibrium
Destatis	Statistisches Bundesamt
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EC	Europäische Kommission (engl. European Commission)
EE	Erneuerbare Energien
EEA	Europäische Umweltagentur (engl. European Environment Agency)
EU	Europäische Union
EU 15	15 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union vor der Erweiterung im Jahr 2004 (Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden, Spanien, Vereinigtes Königreich)
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
EWI	Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (engl. Food and Agriculture Organization of the United Nations)
FNB Gas	Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas

Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
ggü.	gegenüber
GMT	globaler Megatrend
GWS	Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung
HH	Haushalte
IAB	Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung
IAM	Integrated Assessment Model
IE	Leipziger Institut für Energie
IEA	Internationale Energie Agentur
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
Ifo Institut	Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München
IFW	Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel
IIASA	Internationales Institut für angewandte Systemanalyse (engl. International Institute for Applied Systems Analysis)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IMF	Internationaler Währungsfonds (engl. International Monetary Fund)
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISOE	Institut für sozial-ökologische Forschung
IWH	Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle
JRC	Joint Research Center
KBV	Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung
KWVA	Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudie
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NBIC	Nano-, Bio-, und Informationstechnologie sowie Neurowissenschaften (engl. Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science)
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NPV	Net Present Value
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. Organisation for Economic Co-operation and Development)
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
PEV	Primärenergieverbrauch
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilometer
PwC	PricewaterhouseCoopers GmbH
r2b	research to business energy consulting
RCP	Representative Concentration Pathway

ROR	Raumordnungsregion
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
SDG	Sustainable Development Goals
SGB	Sozialgesetzbuch
SSP	Shared Socioeconomic Pathway
SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer
UBA	Umweltbundesamt
UN	Vereinte Nationen (engl. United Nations)
V-Analyse	Vulnerabilitätsanalyse
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
W/m²	Watt pro Quadratmeter (Einheit der Bestrahlungsstärke)
WHO	Weltgesundheitsorganisation (engl. World Health Organization)
WUP	World Urbanization Prospects (der Vereinten Nationen)
ZEW	Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung

Zusammenfassung

Einleitung

Im Jahr 2015 wurde erstmals die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel sektorenübergreifend-integriert in einem Netzwerk von Bundesbehörden bewertet. Mittels dieser Vulnerabilitätsanalyse wurden in einem Screeningverfahren deutschlandweit und handlungsfeldübergreifend die Regionen und Systeme identifiziert, die besonders durch den Klimawandel gefährdet, d. h. vulnerabel, sind. Dabei wurden Daten der Klimaforschung mit sektoralen und sozioökonomischen gemessenen und modellierten Daten verschnitten. Ziel solcher übergreifenden Vulnerabilitätsstudien ist es, mittels eines einheitlichen Vorgehens und einheitlicher Kriterien handlungsfeldspezifische und -übergreifende Aussagen zu treffen.

Seit Dezember 2017 werden in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des UBA, gemäß dem Auftrag der Bundesregierung (2015), die bisherigen Arbeiten im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie fortgeführt, die in diesem Bericht dargestellt werden. Beabsichtigt ist, bis 2021 eine aktualisierte Analyse und Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels Deutschlands vorzunehmen (Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudie, KWVA 2021). Hierbei sollen wieder die Gegenwart, die Mitte des Jahrhunderts (2031–2060) und das Ende des Jahrhunderts (2071–2100) betrachtet werden. Im Folgenden werden die von der GWS entwickelten drei sozioökonomische Szenarien Trend, Stabilität und Dynamik dargestellt, die der KWVA 2021 zugestellt werden. Diese Szenarien bilden mögliche und wahrscheinliche Zukünfte ab, die mit den sozioökonomischen Entwicklungspfaden (SSPs) des Weltklimarates (IPCC) sowie den vorhandenen sozioökonomischen Projektionen für Deutschland kompatibel sind.

Zunächst erfolgt eine Literaturanalyse von Megatrends auf globaler und nationaler Ebene (Kapitel 2). Sie dient der Ableitung von Kenngrößen, mit denen zukünftige gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Entwicklungen in Deutschland charakterisiert werden können.

Darauf folgt die Analyse der internationalen Shared Socio-economic Pathways (SSPs) (Kapitel 3). Hierbei werden die SSPs hinsichtlich ihrer Bedeutung für die narrativen Szenarien für Deutschland betrachtet. Darauf aufbauend werden drei SSPs in die nähere Auswahl genommen, die von besonderer Bedeutung für Deutschland und den Klimawandelanpassungsprozess sind.

Im Anschluss werden die drei sozioökonomischen Szenarien auf nationaler Ebene entwickelt (Kapitel 4). Hierfür werden zunächst vorhandene Zukunftsszenarien im sozioökonomischen Bereich in der kurzen, mittleren und langen Frist betrachtet, welche anschließend mit den zuvor analysierten SSPs verglichen werden. Die sozioökonomischen Szenarien für die Vulnerabilitätsstudie werden darauffolgend ausgewählt, parametrisiert und mittels des nationalen Modells PANTA RHEI modelliert. Zusammenfassend werden die Szenarien hinsichtlich ihrer Unsicherheiten beurteilt.

Kapitel 5 widmet sich den regionalen Ergebnissen für die drei Szenarien, die mittels PANTA RHEI Regio berechnet wurden. Nach einer methodischen Einführung und der Darstellung der demographischen Vorgaben in der regionalen Perspektive werden die Ergebnisse einzeln für die Themen Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Wohnen, Verkehr, Stromerzeugung sowie Flächenentwicklung dargestellt. Dabei folgt eine gesonderte Auseinandersetzung mit der Entwicklung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr und eine Darstellung eines Entwicklungspfades zur Erreichung von Flächenzielen im Stabilitätsszenario.

Analyse der Megatrends

Die OECD (2016) definiert Megatrends als weitreichende Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft, Politik, Umwelt und Technologie, die sich zwar langsam bilden, jedoch einen nachhaltigen

und dauerhaften Einfluss auf viele, wenn nicht sogar die meisten menschlichen Aktivitäten, Prozesse und Wahrnehmungen haben. Wengleich sich die Megatrends in der Regel auf einen globalen Wandel beziehen, werden die Trends vor allem mit Blick auf Deutschland betrachtet. Dabei geht es insbesondere um die Frage, ob die Megatrends für Deutschland stark ausgeprägt sind und welche Bedeutung unterschiedliche mögliche zukünftige Pfade der Megatrends für die Vulnerabilität Deutschlands haben werden.

Die Betrachtung der Megatrends zeigt, dass sich langfristige Trends unterschiedlich gut quantifizieren lassen. Einige Megatrends sind für die kommenden Jahrzehnte gut vorhersagbar und mit Zahlen belegbar. Das gilt insbesondere für die Bevölkerungsentwicklung, die nur langsam auf geänderte Annahmen zur Fertilität und Wanderungsbewegungen reagiert. Auch für das Wirtschaftswachstum existieren langfristige Projektionen, wobei die Entwicklung der arbeitsfähigen Bevölkerung als wichtiger Produktionsfaktor u. a. durch die Bevölkerungsentwicklung weitgehend gegeben ist. Daneben spielen Annahmen über technologische Entwicklungen eine Rolle. Länder mit niedrigerem Einkommensniveau haben eher die Möglichkeit, wirtschaftlich aufzuholen und dabei von vorhandenen Technologien und Produktionsverfahren zu profitieren als Länder an der Spitze des technischen Fortschritts. Insofern sagen viele Studien einen weiteren wirtschaftlichen Aufstieg der bevölkerungsreichen Länder Asiens, aber auch des globalen Südens insgesamt voraus.

Bei anderen globalen Trends sind die Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung größer. Ob der internationale Handel in den kommenden Jahrzehnten eher von Freihandel oder Protektionismus geprägt sein wird, ist nicht seriös einschätzbar. Auch bei internationalen Abkommen etwa zum Klimaschutz ist unklar, ob und in welchem Umfang sie umgesetzt werden. Anders als bei naturwissenschaftlichen Zusammenhängen fließen in politische Entscheidungen und generell menschliches Handeln sich im Zeitverlauf ändernde Werturteile und Erfahrungen ein, sodass Aussagen über die Zukunft inhärent unsicher sind.

Schließlich gibt es bei technologischen Megatrends begründete Annahmen, dass sich der Wandel beschleunigen und viele Lebensbereiche erfassen wird. Digitalisierung und Innovationen werden das menschliche Leben und Arbeiten massiv verändern. Wie genau, ist unbekannt. Spezifische Projektionen über Jahrzehnte sind nicht möglich. Eine Quantifizierung über Jahrzehnte wäre „Anmaßung von Wissen“.

Shared Socioeconomic Pathways

Die SSPs wurden in gemeinsamer Anstrengung der internationalen wissenschaftlichen Community entwickelt und beschreiben plausible globale Entwicklungen, die in Zukunft zu unterschiedlichen Herausforderungen für die Abschwächung des Klimawandels und die Anpassung an den Klimawandel führen. Die SSPs basieren auf fünf Narrativen, die alternative sozioökonomische Entwicklungen beschreiben. Die langfristigen demographischen und wirtschaftlichen Projektionen der SSPs weisen eine große Bandbreite an globalen Zukünften aus. Sie dienen einerseits als Basis zur Ableitung der Antriebspfade, der Representative Concentration Pathways (RCP), sowie andererseits zur Charakterisierung der Anpassungs- und der Klimaschutz-(Mitigations-)herausforderungen. In den Narrativen werden Entwicklungen in den Bereichen Bevölkerung und menschliche Entwicklung, Wirtschaft und Lebensstil, Politik und Institutionen, Technologie, Umwelt und natürliche Ressourcen qualitativ beschrieben (O'Neill et al. 2017).

Die Narrative der SSPs wurden in erster Linie für den internationalen Kontext entworfen. Die Anwendung auf einzelne Weltregionen oder Ländergruppen ist teilweise unproblematisch, teilweise lässt sie sich gerade auf Länderebene nur mit Differenzierungen und regionalen Anpassungen durchführen.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden drei Szenarien entwickelt, die von besonderer Bedeutung für Deutschland und den Klimawandelanpassungsprozess sind. Hierfür sollen die SSPs als ein Ausgangspunkt dienen. Sie sind dabei als Ausgangspunkte für die Entwicklung nationaler Szenarien unterschiedlich gut geeignet.

Für ein Business-as-usual- oder Trendszenario eignet sich SSP 2 als Basis, bei dem die gegenwärtigen Entwicklungen fortgeschrieben werden. So wird in diesem Szenario vor allem das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum ähnlich wie in aktuellen Langfristprojektionen verlaufen: Variante 2a der aktualisierten 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Destatis 2017a) führt zu einer Bevölkerung von 80,2 Mio. Personen im Jahr 2045, für das BIP im aktuellen Projektionsbericht (UBA 2017a) wird ab 2026 eine langfristige jährliche Wachstumsrate von 0,8 % angenommen. Somit wird hier also angenommen, dass sich das Wachstum des BIP gegenüber den letzten Jahrzehnten abschwäche. Darüber hinaus würden Umweltziele zwar verfolgt, jedoch nur mit einer zeitlichen Verzögerung erreicht, da sich u. a. Energie- und Verkehrswende weiterhin auch an kurzfristigen wirtschaftlichen Interessen orientieren.

SSP 1 bietet sich als Ausgangspunkt für ein Nachhaltigkeitsszenario an. Im Gegensatz zum Trendszenario werden in diesem Szenario Nachhaltigkeitsthemen in den Fokus gerückt: Ziele insbesondere im Energie- und Klimabereich werden stärker verfolgt, sodass die Energie- und Verkehrswende erfolgreich realisiert werden kann. Für die Entwicklung neuer Technologien wird angenommen, dass sie zur Nachhaltigkeit beitragen, weil sie umwelt- und sozialverträglich eingesetzt werden.

Als Gegenstück zum Nachhaltigkeitsszenario ergibt sich das dritte Szenario aus einer dynamischen sozioökonomischen Entwicklung. Kein SSP bildet zu diesem Dynamikszenario ein eindeutiges Äquivalent ab: SSP 3 bildet eine stagnierende sozioökonomische Entwicklung ab und ist damit ungeeignet. SSP 4 eignet sich als Ausgangspunkt insbesondere für einen Vergleich von Entwicklungen in verschiedenen Ländern auf internationaler Ebene, da hierbei die räumlichen Unterschiede im Vordergrund stehen.

SSP 5 kommt einem solchen dynamischen Szenario hinsichtlich der Entwicklung von Technologie und Wirtschaftsleistung am nächsten, muss aber angepasst werden, weil es die Nutzung fossiler Energieträger betont. Dass es (scheinbar) mit nur geringen sozioökonomischen Herausforderungen an die Anpassung an den Klimawandel verbunden ist, hängt mit dem Optimismus in großtechnische Lösungen wie CCS oder Geo-Engineering zusammen und der hohen finanziellen und technischen Anpassungskapazität. Allerdings setzt dies voraus, dass es anders als heute zu einer massiven Umverteilung des Wohlstands kommen wird. Sowohl für die Bevölkerungs- als auch BIP-Entwicklung wird ein schnelles Wachstum angenommen: Der internationale Handel wächst stark, die Nachfrage nach Arbeitskräften bleibt hoch. Ein Teil des hohen BIP wird als Defensivausgaben eingesetzt, um die negativen Auswirkungen von Umweltschäden abzuschwächen. Neue Technologien z. B. im Mobilitätsbereich setzen sich schnell durch, hierbei wird der Klima- und Umweltschutz vernachlässigt. Ballungsräume stoßen aufgrund des starken Bevölkerungswachstums an Grenzen.

Entwicklung der nationalen Szenarien

Szenarien zeigen unterschiedliche, in sich konsistente Zukunftsentwicklungen auf. Für die Auswahl von drei deutschlandweiten sozioökonomischen Szenarien bieten die vorhandenen Langfristszenarien eine gute Grundlage.

Die verschiedenen aktuellen nationalen Szenarienstudien im Bereich Energie- und Klimaschutz lassen sich vereinfachend in zwei Gruppen einordnen. Einem Szenario, das entweder den aktuel-

len Politikstand festhält oder die spezifische Politikentwicklung trendmäßig moderat fortschreibt, wird ein Zielerreichungsszenario gegenübergestellt. Die zentralen sozioökonomischen Annahmen zu Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung sind in der Regel identisch. Bezüglich der Entwicklung in den Bereichen Energie und Klimaschutz passt die Trendfamilie gut zu SSP 2, „middle of the road“, das aktuelle Entwicklungen in die Zukunft fortschreibt. Die Gruppe der Zielszenarien stimmt gut mit SSP 1 überein, das eine nachhaltige Entwicklung abbildet. Für beide Szenarien sollten die Annahmen zu Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung gleich sein, um gut anschlussfähig an die nationalen Szenarien zu sein. Für das Stabilitätsszenario kann ein begrenzter Rückgang der Verkehrsleistungen im Vergleich zum Trendszenario durch politische Maßnahmen unterstellt werden. Eine dritte konsistente Szenarienfamilie lässt sich aus den vorhandenen Szenarienstudien nicht ableiten.

In Anlehnung an die untersuchten Szenarien, die sich überwiegend den Narrativen der SSP zuordnen lassen, werden im Folgenden drei nationale Szenarien beschrieben, für die im Projektverlauf die Datensets in Projektionen bis zum Jahr 2045 entwickelt wurden und die Ausgangspunkt für die regionalisierten Szenarien sind.

Eine nachhaltige Entwicklung beschreibt das Szenario Stabilität. Hierbei entwickeln sich die Bevölkerungszahlen nach aktuellem Trend mit einer langfristigen Nettozuwanderung von 200.000 Personen pro Jahr. Damit ist die Bevölkerungsprojektion vergleichbar mit Variante 2a der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2017a). Das BIP wächst zunächst mit 1,3 % bis 2020 und 1 % bis 2025 jährlich, langfristig mit einer Rate von 0,8 % pro Jahr in Anlehnung an den Projektionsbericht (UBA 2017a). Die Ziele der Energiewende zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz werden erreicht.

Das zweite Szenario Trend gestaltet sich als Business-as-usual-Szenario ähnlich zu SSP 2. Bevölkerungszahlen und Wirtschaftsleistung entwickeln sich wie im Stabilitätsszenario. Die Energie- und Klimaziele werden verfolgt, aber aufgrund geringerer Ambitionen zumeist erst mit zeitlicher Verzögerung erreicht.

Für ein drittes Szenario liefern weder die nationalen Langfristszenarien zu Energiewende und Klimaschutz noch die SSPs eine passende Grundlage. In diesem Dynamik-Szenario orientieren sich die Rahmendaten am oberen Rand der derzeit aktuellen untersuchten Projektionen. Die jährliche Nettozuwanderung beträgt 300.000 Personen, sodass für das Jahr 2045 eine Bevölkerungszahl von gut 83 Mio. Personen resultiert. Auch die BIP-Wachstumsrate liegt höher als im Stabilitäts- und Trendszenario: Langfristig wächst die Wirtschaftsleistung mit jährlich 1,2 %.

Für die Wirkung einer anderen Entwicklung der Wirtschaftsleistung auf die Verkehrsleistung liefert die Verkehrsverflechtungsprognose (Intraplan & BVU 2014) Hinweise: In der höheren und niedrigeren Szenariovariante ist das höhere/niedrigere BIP (+5,5 %/-5,9 %) im Jahr 2030 mit einer unterproportionalen Veränderung beim Personen- (+4,7 %/-4,4 %) und Güterverkehr (+3,7 %/-3,6 %) verbunden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über wesentliche Annahmen und Charakteristika der drei ausgewählten Szenarien auf nationaler Ebene. Entwicklungen mit Raumbezug wie die zukünftige Urbanisierung werden im Zusammenhang mit der Regionalmodellierung betrachtet.

Zusammenfassung der drei Szenarien

	Stabilität	Trend	Dynamik
Bevölkerungsentwicklung (jährliche Nettozuwanderung ab 2020)	Konstanz (200 T)	Konstanz (200 T)	Zunahme (300 T)
BIP	1,3 % bis 2020 1 % bis 2025 0,8 % ab 2026	1,3 % bis 2020 1 % bis 2025 0,8 % ab 2026	1,7 % bis 2020 1,3 % bis 2025 1,2 % ab 2026
Energiewende/ Klimaschutz	Zielerreichung	Zielerreichung verspätet	Deutliche Zielverfehlung
Verkehr	Verkehr in 2045 weitgehend THG-neutral, Begrenzung der Verkehrsleistung	Erreichung der Energie- und Klimaziele deutlich verspätet	hohe Transportleistung, Umwelt- und Klimaziele nachrangig
Landnutzung (vgl. Regionalmodellierung)	SuV-Ziel erreicht (30 ha minus x/Tag 2030)	Flächenziel verfehlt	Eher zunehmender Anstieg der Flächeninanspruchnahme

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Quantifizierung der drei Szenarien auf nationaler Ebene

Die drei Szenarien werden auf nationaler Ebene mit dem Modell PANTA RHEI quantifiziert. Sie sind damit jeweils in sich konsistent. Unterschiede zwischen den Szenarien sind Ergebnis der exogen gesetzten Vorgaben. Sie stellen Modellergebnisse im Wenn-Dann-Sinne dar. Ein Überblick über den Modellaufbau und die Systematik von PANTA RHEI befindet sich im Anhang A.2.

Trend: Die demographische Entwicklung ergibt sich aus Annahmen zur Entwicklung der Fertilitätsrate und Sterbewahrscheinlichkeiten gemäß Variante 2a der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausschätzung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2017a) sowie aus der Annahme einer jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Personen pro Jahr ab 2020, die überwiegend in den Arbeitsmarkt erfolgt. Damit sind die Neuzugewanderten im Jahr 2045 zumeist noch unter 65 Jahren alt. Im Ergebnis steigt die Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2030 gegenüber 2015 leicht an und sinkt anschließend. Die Einwohnerzahl liegt im Jahr 2045 um rund 2 Millionen niedriger als im Jahr 2015. Die Zahl der über 65-Jährigen wächst zwischen 2015 und 2045 um 6 Millionen. Die Bevölkerungszahl im erwerbsfähigen Alter von 15 bis 65 Jahren nimmt im Gegenzug bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2015 um über 4 Millionen ab.

Die Zahl der privaten Haushalte nimmt bis 2030 wie in der Vergangenheit auch in Zukunft stärker zu als die Bevölkerungszahl und bleibt bis 2045 weitgehend auf dem Niveau des Jahres 2030. Zusammen mit dem weiter steigenden verfügbaren Einkommen pro Kopf wächst die Zahl der Wohnungen schneller als die Zahl der Haushalte. Im Jahr 2045 gibt es mehr Wohnungen als private Haushalte.

Das Bruttoinlandsprodukt wächst annahmegemäß um durchschnittlich jährlich 1,3 % bis 2020, um 1 % bis 2025 und 0,8 % bis 2045. Überdurchschnittlich wachsen die Ausrüstungsinvestitionen und der Außenhandel. Dabei nehmen die Importe prozentual etwas stärker zu als die Exporte. Deutschland weist aber auch 2045 noch einen hohen Außenhandelsüberschuss aus. Unterdurchschnittlich entwickeln sich die Bauinvestitionen und der Staatskonsum.

Im Energiebereich sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2045 gegenüber dem Jahr 2015 deutlich um fast ein Drittel. Der Endenergieverbrauch insgesamt und der Heizenergiebedarf der privaten Haushalte sind weniger stark rückläufig (etwa -17 % zwischen 2015 und 2045). Die Energieimporte gehen sogar um 43 % im Betrachtungszeitraum zurück, weil überwiegend importierte Energieträger wie Erdöl, Erdgas und Steinkohle zunehmend durch heimisch produzierte erneuerbare Energien ersetzt werden. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung erreicht mit den derzeit umgesetzten Maßnahmen einen Anteil von rund 50 % im Jahr 2030.

Die Personenverkehrsleistung steigt gemäß Verkehrsprognose 2030 (Intraplan & BVU 2014) um etwa 6 % gegenüber dem Jahr 2015 an und stagniert danach bei sinkender Bevölkerungszahl im erwerbsfähigen Alter. Der Güterverkehr wächst gemäß Verkehrsprognose weiter deutlich um 30 % bis 2030 und noch einmal um 13 % bis zum Jahr 2045, nicht zuletzt, weil auch der Außenhandel überdurchschnittlich zunimmt. Die Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr ändern sich in Zukunft kaum.

Bei der Entwicklung der Bruttowertschöpfung setzen sich im Dienstleistungssektor einige Trends der Vergangenheit in Zukunft weiter fort. Die Dienstleistungsbereiche weisen überwiegend überdurchschnittliche Wachstumsraten auf. Ausnahmen sind Banken und Versicherungen, freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleistungen und der Bereich der öffentlichen Verwaltung. Überdurchschnittlich entwickelt sich daneben auch das Baugewerbe. Rückläufig ist die Entwicklung der Bruttowertschöpfung bei Bergbau und Energieversorgung. Die Entwicklungen in Landwirtschaft und im verarbeitenden Gewerbe verlaufen durchschnittlich.

Dynamik: Im Dynamikscenario liegt die jährliche Nettozuwanderung bei 300.000 Personen pro Jahr und damit um 100.000 höher als im Trendszenario. Entsprechend wächst die Bevölkerung bis 2030 auf 84 Mio. und geht danach nur leicht auf gut 83 Mio. im Jahr 2045 zurück. Sie liegt damit ziemlich genau um 3 Mio. höher als im Trendszenario. Der Großteil der höheren Bevölkerung im Vergleich zum Trend ist im Jahr 2045 zwischen 15 und 65 Jahren alt. Die Zahl der privaten Haushalte steigt bis zum Jahr 2045 ebenfalls um knapp 3 Mio. auf 43,5 Mio. Die Zahl der Wohnungen nimmt noch etwas stärker zu.

Im Vergleich zum Trendszenario ist im Dynamikscenario ein stärkerer Anstieg der Exporte unterstellt, sodass das BIP die angenommenen höheren Wachstumsraten genau erreicht. Alle übrigen Größen passen sich modellendogen an. Beispielsweise steigen auch die deutschen Importe mit höheren Exporten und höherer inländischer Nachfrage stark an. Auch die Investitionen in Ausrüstungen reagieren überdurchschnittlich im Vergleich zum Trendszenario. Im Ergebnis sind die Exporte im Jahr 2045 größer als das BIP, die Ausrüstungsinvestitionen verdoppeln sich bis 2045 gegenüber dem Jahr 2015.

Mit höherer Bevölkerungszahl und höherer Wirtschaftsleistung liegen auch der Primär- und Endenergieverbrauch im Jahr 2045 höher als im Trendszenario. Allerdings ist die Veränderung des Energieverbrauchs unterdurchschnittlich und in den einzelnen Verbrauchssektoren ziemlich unterschiedlich. Für den Endenergieverbrauch für Raumwärme und im Bereich GHD sind die Unterschiede gering, weil zusätzliche, neu gebaute Wohnungen und Büros nur geringe Verbräuche aufweisen. Größer sind die Unterschiede in der Industrie und vor allem im Verkehr. Die Güterverkehrsleistung liegt um fast 20 % höher als im Trendszenario, um 75 % über dem Wert des Jahres 2015. Die Personenverkehrsleistung liegt im Jahr 2045 um knapp 10 % höher als im Trendszenario. Die Personenverkehrsleistung ist 2045 um 14 % höher als im Jahr 2015. Am Modal Split ändert sich gegenüber dem Jahr 2015 nur wenig.

Auf sektoraler Ebene verstärken sich die strukturellen Veränderungen, die bereits im Trendszenario sichtbar sind. Weite Teile des Dienstleistungssektors und das Baugewerbe weisen überdurchschnittliche Wachstumsraten aus. Im Bergbau und in der Energieversorgung sinkt die Wertschöpfung im Zeitverlauf dagegen sogar ab. Die öffentliche Verwaltung fällt zurück.

Stabilität: Im Stabilitätsszenario entspricht die Bevölkerungsentwicklung dem Trendszenario. Auch die wirtschaftliche Entwicklung verläuft insgesamt und in ihrer Nachfragestruktur sehr ähnlich wie im Trendszenario.

Deutlich anders sieht die Entwicklung dagegen in den Bereichen Energie und Verkehr im Vergleich zum Trendszenario aus. Zur Erreichung der Ziele der Bundesregierung gehen Primär- und Endenergieverbrauch gegenüber dem Jahr 2015 deutlich stärker zurück. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung erreicht 65 % im Jahr 2030 und knapp 84 % im Jahr 2045. Es gibt eine deutliche Verschiebung zwischen den Energieträgern. Die Bruttostromerzeugung ist im Jahr 2045 knapp 14 % höher als im Trendszenario, was einen starken Ausbau an erneuerbaren Energien in diesem Bereich bedeutet. Gleichzeitig sinkt der Einsatz der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas drastisch.

Die Personenverkehrsleistung geht bis zum Jahr 2030 um knapp 13 % gegenüber dem Jahr 2015 zurück und stagniert danach auf dem erreichten Niveau. Der Güterverkehr steigt dagegen bis zum Jahr 2045 noch einmal um fast 39 % an. Schienenverkehr und Binnenschifffahrt können dabei ihre Anteile ausbauen. Die Einhaltung der Klimaschutzziele setzt voraus, dass der Personen- und Güterverkehr auf der Straße in weiten Teilen emissionsfrei erfolgt, entweder durch Elektromobilität oder durch weitestgehend CO₂-frei erzeugte synthetische Kraftstoffe. Deutliche Preissteigerungen der Kraftstoffe im Vergleich zum Trendszenario sind nicht angenommen.

Der Vergleich der Quantifizierungen der drei Szenarien veranschaulicht die dargestellten Unterschiede. In Dynamik sind Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum und die davon beeinflussten Aktivitätsgrößen in den Bereichen Energie und Verkehr deutlich höher als im Trend. Im Stabilitätsszenario werden zentrale energie- und umweltpolitische Ziele erreicht, vor allem durch technische Lösungen, die noch entwickelt werden müssen.

Einordnung der drei Szenarien: Langfristszenarien werden zum einen als Planungsinstrumente eingesetzt. Insbesondere im Bereich der Energiewende und des Klimaschutzes bis 2050 sind daneben Zielszenarien entwickelt worden, die einerseits die Möglichkeit der angestrebten politischen Ziele demonstrieren und andererseits Handlungslücken identifizieren können. Auf diesen beiden Strängen bauen die Szenarien Trend und Stabilität auf. Wegen dieser Orientierung ist ihre Güte im Hinblick auf sozioökonomische Entwicklungen insgesamt als hoch einzustufen. Dagegen beschreibt das DynamikszENARIO eine stärkere Nettozuwanderung und eine höhere Zunahme der Wirtschaftsleistung bis zum Jahr 2045. Es bewegt sich am oberen Rand des derzeit diskutierten Szenarienfächers, ist somit noch durch andere Szenarien gedeckt.

Innerhalb der Szenarien können sich bestimmte Größen unter den gegebenen politischen, rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen schneller ändern und sich weiter von erwarteten Pfaden entfernen als andere. Die Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2045 und insbesondere die Entwicklung der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter zwischen 15 und 70 Jahren lassen sich abgesehen von der Nettozuwanderung gut projizieren. Da insgesamt außerdem die derzeitige Wohnbevölkerung die Gesamtentwicklung dominiert, sind die Aussagen zur langfristigen Bevölkerungsentwicklung als verlässlich einzuordnen. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass bestehende Infrastrukturen wie Städte und ihre Ver- und Entsorgung, Wohngebäude, eine heute bestehende Autobahn oder Bahnstrecke, Strom- und Gasnetze und große Industrieanlagen auch im Jahr 2045 noch vorhanden sein werden, ist hoch.

Das Modell PANTA RHEI ist vor diesem Hintergrund für die Erstellung der Szenarien bis zum Jahr 2045 gut geeignet. Es schreibt die Entwicklung von Bevölkerungszahl, gesamtwirtschaftlichen und wirtschaftsstrukturellen Größen in den drei Szenarien jeweils konsistent bis zum Jahr 2045 fort. Für den Energiebereich werden die Entwicklungen nach Energieträgern und Verbrauchssektoren in Abhängigkeit von ökonomischen Treibern detailliert bestimmt. Auch für den Verkehr sind verschiedene Verkehrsträger mit bestimmenden Größen erfasst. Das gesamte Modell wird simultan in Jahresschritten gelöst und nimmt verschiedene zentrale Annahmen und Entwicklungen aus weiteren Studien auf, die den Energiebereich und Verkehr noch detaillierter abbilden, insbesondere hinsichtlich technischer Zusammenhänge. Es wird von verschiedenen öffentlichen Auftraggebern für die Quantifizierung von Langfristszenarien genutzt.

Die Aussagen zu den Szenarien gelten immer unter der Voraussetzung, dass keine Veränderungen auftreten, die die sozioökonomische Entwicklung radikal verändern. Bis zum Jahr 2045 nehmen entsprechend die Unsicherheiten deutlich zu, insbesondere was Güter angeht, deren Lebensdauer unter 10 bis 20 Jahren liegt. Denn von diesen Gütern (wie Autos) wird (fast) keines, das heute genutzt oder auch nur geplant wird, im Jahr 2045 noch in Betrieb sein. Die Verlässlichkeit der getroffenen Aussagen ist somit eng mit der Lebensdauer von Infrastrukturen und Gütern verbunden.

Die sozioökonomischen Szenarien aus regionaler Perspektive

Die Regionalisierung der Ergebnisse der in PANTA RHEI quantifizierten nationalen Szenarien erfolgt mit dem Modell PANTA RHEI Regio. Es besteht aus eigenen empirisch fundierten Verhaltens- und Schätzgleichungen und baut auf einem detaillierten Regionaldatensatz auf, um Entwicklungen auf der Ebene der Raumordnungsregionen und Kreise spezifisch zu beschreiben (vgl. Distelkamp et al. 2009). Das Modell nimmt Informationen aus dem nationalen Modell PANTA RHEI auf und hat die gleiche Modellphilosophie: detaillierte Erfassung des sektoralen Strukturwandels, vollständige Integration und empirische Fundierung. Diese Eigenschaften machen deutlich, dass es sich dabei nicht um ein „einfaches Herunterbrechen“ von nationalen Ergebnissen handelt. Jedoch lassen sich nationale und regionale Bestandteile der Szenarien unterscheiden. Grundsätzlich wirkt sich jede Veränderung der Vorgaben für das nationale Modell auf die Entwicklungen in den im Regionalmodell abgebildeten Regionen aus. Zugleich wirken diese Impulse jedoch spezifisch auf die jeweils darunter liegende Einheit. Weitere Informationen zum Regionalmodell sowie, seinen Möglichkeiten und Grenzen finden sich in Abschnitt 5.6 sowie im Anhang A.3.

Regionale Bevölkerungsentwicklung: Die Bevölkerungsentwicklung auf Kreisebene ist ein wichtiger Einflussfaktor auf alle im Regionalmodell errechneten Größen. Sie ist im Wesentlichen von außen vorgegeben und beruht auf Berechnungen anderer Institutionen. Allerdings sind aufgrund der unterschiedlichen Aktualität von bundesländerspezifischen Daten der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts und der detaillierteren Raumordnungsprognose des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung einige ergänzende Rechnungen durchgeführt worden.

Im Einzelnen wurde zur Quantifizierung der Szenarien wie folgt vorgegangen: Ausgangspunkt sind die in Abschnitt 4.4. dargestellten Bevölkerungsentwicklungen auf nationaler Ebene, die auf die Regionen konsistent verteilt werden. Da die Raumordnungsprognose wichtige Entwicklungen seit 2012 nicht berücksichtigt und es keine Anhaltspunkte für eine regionalisierte konsistente Ableitung des Szenarios Dynamik gibt, werden zunächst alle drei Szenarien zur Bundesländerebene auf Basis von Daten aus der aktualisierten 13. KBV (Variante 2a) definiert. Diese Variante geht langfristig von einem positiven Außenwanderungssaldo von 200.000 pro Jahr aus, und weist Entwicklungen für Gesamtdeutschland und Bundesländergruppen aus. Um Daten nicht

nur für Bundesländergruppen, sondern auch für einzelne Bundesländer verwenden zu können, werden die Daten aus der 13. KBV aus dem Jahr 2015 hinzugezogen. Ferner wird aus der Differenz aus der Variante 2 und Variante 1 dieser älteren Vorausberechnung, die sich nur durch die Annahmen von einem um 100 000 höheren Außenwanderungssaldo unterscheidet, ein Bundesländer-Schlüssel zur Verteilung von zusätzlicher Bevölkerung im Szenario Dynamik abgeleitet.

Anschließend wird die Raumordnungsprognose genutzt, um Entwicklungen in den Raumordnungsregionen sowie in den Landkreisen und kreisfreien Städten ausgehend von den Bundesländerergebnissen abzubilden. Zusätzlich wird ein regionaler Verteilungsschlüssel für die Außenwanderung im Szenario Dynamik verwendet. Dieser Verteilungsschlüssel wird aus einer Auswertung der regionalen Daten der Wanderungsstatistik auf Kreisebene generiert, um das zusätzliche Wanderungssaldo im Dynamikszenario gegenüber dem Trendszenario bis auf Kreisebene zu verteilen.

Regionale Entwicklung von BIP, Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit in den Szenarien:

Die Modellergebnisse zeigen, dass die Niveau-Unterschiede sowohl zwischen West- und Ostdeutschland als auch zwischen kreisfreien Großstädten und den ländlichen Kreisen bestehen bleiben. Auch wenn insbesondere für die städtischen (+1,5 % p. a.) Kreise Ostdeutschlands überdurchschnittliche Wachstumsraten des Pro-Kopf-BIP projiziert werden, werden die größten absoluten Zuwächse im Zeitraum bis 2045 für die westdeutschen kreisfreien Großstädte erwartet. Dabei bleiben Verteilungsmuster der Vergangenheit weitgehend bestehen.

Im Dynamikszenario wächst die deutsche Wirtschaft schneller als unter Trendannahmen. Dies gilt sowohl für städtische als auch für ländliche Regionen, wobei jedoch ländliche Kreise leicht überproportional hinzugewinnen. Ein West-Ost-Unterschied ist zwischen den beiden Szenarien jedoch nicht zu erkennen. Das Stabilitätsszenario erweist sich in Relation zum Trendszenario als wachstumsneutral. Dies gilt sowohl im bundesdeutschen Durchschnitt als auch weitestgehend bei einer nach Kreistypen differenzierten Sichtweise.

Wohnen, Pkw-Bestand und Stromerzeugung in den Szenarien: Die Entwicklung des **Wohnungsbestandes** ist im Wesentlichen ein Ergebnis der Entwicklung der Zahl der privaten Haushalte, die wiederum durch die demographischen Vorgaben geprägt ist. Im Trendszenario steigt im Zeitraum 2015 bis 2030 der Wohnungsbestand in Deutschland um 2,6 Mio. Bis zum Jahr 2045 kommt es zu einer weiteren Zunahme um 1,3 Mio. auf dann 45,3 Mio. Wohnungen.

Insgesamt ist die Dynamik des Wohnungsbestands in westdeutschen städtischen Kreisen besonders hoch. In den kreisfreien Großstädten Westdeutschlands wird für den Zeitraum von 2030 bis 2045 mit einer deutlich zurückgehenden, aber weiterhin positiven, Dynamik des Wohnungsbestands gerechnet. In den städtischen und ländlichen Kreisen Ostdeutschlands geht der Wohnungsbestand hingegen weiter zurück.

Allgemein wird im Trendszenario eine geringfügig abnehmende Dynamik des Wachstums der **Wohnflächen je Wohnung** erwartet. Unterschiede bei der Entwicklung der **Wohnfläche in Wohngebäuden** sind insbesondere zwischen den Szenarien Trend und Dynamik zu beobachten.

Im Hinblick auf die **Pkw-Bestände** lassen die nationalen Zusammenhänge bis 2030 eine durchschnittliche Zunahme um 0,5 % p. a. erwarten, vor allem in Folge eines weiteren Anstiegs der Anzahl der Haushalte. In der langen Frist (2030 bis 2045) wird in PANTA RHEI hingegen im Trend ein leichter Rückgang (-0,3 % p. a.) des bundesweiten Pkw-Bestandes projiziert.

In Westdeutschland kommt es im Zeitraum bis 2030 in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen zu einer weiteren Zunahme der Pkw-Bestände. Am niedrigsten fallen hierbei die Zuwächse in den kreisfreien Großstädten aus. In Ostdeutschland hingegen wird – mit Ausnahme der kreisfreien Großstädte – bereits für den Zeitraum bis 2030 mit einem Rückgang der Pkw-Bestände

gerechnet. Zurückgehende Pkw-Bestände werden im Zeitraum 2030 bis 2045 für alle siedlungsstrukturellen Kreistypen projiziert, wobei die deutlichsten Rückgänge in den kreisfreien Großstädten Westdeutschlands sowie in den städtischen und ländlichen Kreisen Ostdeutschlands erwartet werden.

Im DynamikszENARIO kommt es wegen des höheren Wachstums und der höheren Bevölkerungszahl im Vergleich zum Trend zu einem Anstieg der Pkw-Bestände. Bundesweit sind diese in 2030 um 0,51 Mio. bzw. 1 % höher als im Trendszenario und bis 2045 nimmt diese Differenz auf 1,44 Mio. bzw. 3,1 % zu.

Im Stabilitätsszenario hingegen gehen die Pkw-Bestände gegenüber dem Trendszenario deutlich zurück. Bundesweit beträgt diese Differenz im Jahr 2030 -3,1 Mio. bzw. -6,4 %. Bis 2045 erhöht sich diese Differenz auf -4,2 Mio. bzw. 9 %. Besonders deutlich wirkt sich das veränderte Verkehrsverhalten in den kreisfreien Großstädten aus, während der Pkw-Bestand in den städtischen Kreisen und ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen unterdurchschnittlich von der Entwicklung im Trendszenario abweicht.

Im Modell PANTA RHEI-LÄNDER wird die **Bruttostromerzeugung** ausgehend von der Struktur und Veränderung des Energieträgermix in den Bundesländern fortgeschrieben. Im Ergebnis nimmt die Bruttostromerzeugung in jenen Bundesländern besonders stark zu, in denen ein hoher Anteil an erneuerbaren Energien vorliegt. Die höchste Steigerung wird im Trendszenario in Mecklenburg-Vorpommern und Rheinland-Pfalz, die stärkste Abnahme in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen gesehen. Dies hängt mit dem Ausbau der EE-Stromerzeugung im Trendszenario zusammen (vgl. Kapitel 4.2). Diese regionale Verschiebung verstärkt sich noch im Stabilitätsszenario, in dem Nordrhein-Westfalen gegenüber 2014 seinen Anteil an der Stromerzeugung mehr als halbiert. Zwischen den Szenarien Trend und Dynamik werden hingegen nur geringfügige Unterschiede in der regionalen Verteilung der Bruttostromerzeugung projiziert.

Flächeninanspruchnahme: Im Szenario Trend steigt die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr ausgehend vom Niveau der Jahre 2013 bis 2015 (66 ha pro Tag) bis 2020 auf etwa 68 ha pro Tag leicht an. Gründe sind die hohe Zahl an Neubauten, die überdurchschnittliche Konjunktorentwicklung und die Bevölkerungszunahme im Zeitraum 2016 bis 2020. Anschließend geht die tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche im gleitenden Vier-Jahres-Durchschnitt bis 2030 auf 44 ha pro Tag zurück und erreicht im Jahr 2045 einen Wert von 39 ha pro Tag. Die Ursachen liegen insbesondere in der langfristig in vielen Regionen zurückgehenden Anzahl an Einwohnern und privaten Haushalten.

Damit wird deutlich, dass die in unterschiedlichen politischen Programmen gesetzten Ziele zur Reduktion der Flächeninanspruchnahme im Trendszenario deutlich verfehlt werden. Die Reduktion auf 30 ha pro Tag im Jahr 2020, wie sie in früheren Nachhaltigkeitsstrategien und im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016a) gefordert wird, wird nicht erreicht. Auch niedrigere Werte unterhalb von 30 ha pro Tag im Jahr 2030 („30 minus X“, Bundesregierung 2016) oder gar ein Wert von 20 ha pro Tag (BMUB 2016b) können ohne zusätzliche Maßnahmen für einen deutlich sparsameren Umgang mit Flächen nicht erreicht werden.

Die Flächeninanspruchnahme verteilt sich im Zeitraum 2016 bis 2030 sehr unterschiedlich auf die Regionen. Um die Ballungszentren im Süden und Südwesten gibt es größere Räume mit hoher relativer Flächeninanspruchnahme. Aber auch das Umland von Hamburg, Köln und Berlin reicht in diesem Kontext weit in die ländlichen Räume hinein. Weiter entfernt von Ballungszentren und Großstädten fallen noch Westniedersachsen und der Südosten Bayerns mit hohen Zunahmen auf. Die Kernstädte selbst zeigen häufig eher geringe Veränderungswerte. Insbesondere die Kernstädte in Westdeutschland fallen in der räumlichen Verteilung im Zeitraum 2030 bis

2045 als Gebiete mit stärker verringertem Wachstum auf. Ansonsten ist das Muster der räumlichen Flächeninanspruchnahme ähnlich wie zwischen 2015 und 2030. Die größten zusammenhängenden Gebiete mit höherer Flächeninanspruchnahme befinden sich weiterhin in Bayern und Baden-Württemberg sowie im weiteren Hamburger Umland.

Im Vergleich der Szenarien zeigt sich, dass die Flächeninanspruchnahme im Szenario Dynamik im Jahr 2045 mit 46 ha pro Tag um 7,4 ha pro Tag höher ist als im Szenario Trend. Dieser Abstand zwischen den beiden Szenarien besteht bereits im Jahr 2030 und nimmt dann nur noch sehr leicht zu. Sowohl die stärkere Bevölkerungs- als auch Wirtschaftsdynamik tragen zu diesen Unterschieden in der Flächeninanspruchnahme bei.

Das Szenario Stabilität bildet wesentliche Trends hin zu einer Flächeninanspruchnahme von 20 ha pro Tag im Jahr 2030 sowie 5 ha pro Tag im Jahr 2045 ab. Damit wird im Jahr 2030 das Ziel „30 minus X“ der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie erreicht. Ein stärkerer Reduktionspfad auf 20 ha wie im Integrierten Umweltschutzplan 2030 wird knapp verfehlt. Im Jahr 2030 liegt der Veränderungswert um etwas über 4 ha pro Tag über dem ambitionierten Ziel. Der Abstand zu einem weitergeführten ambitionierten Zielpfad auf 0 ha pro Tag im Jahr 2050 ist im Jahr 2045 nur etwas geringer (9 statt 5 ha pro Tag).

In den Projektionen zeigt sich, dass in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen die zusätzliche Flächeninanspruchnahme im Szenario Dynamik im Zeitraum 2016 bis 2045 im Durchschnitt ähnlich hoch ist. Die größten Abstände zwischen Trend und Dynamik liegen bezogen auf die relativen Veränderungen in den städtischen und insbesondere großstädtischen Räumen. In der räumlich stärker aufgelösten Darstellung wird deutlich, dass sich die räumlichen Muster der Flächeninanspruchnahme zwischen dem Trendszenario und dem Dynamikszenario nicht grundlegend unterscheiden.

Einordnung der regionalen Ergebnisse: Während sozio-demographische Projektionen für die Regionen Deutschlands vergleichsweise regelmäßig veröffentlicht werden, sind integrierte räumliche Szenarien, die Demographie und Ökonomie gemeinsam betrachten und ggf. umweltökonomische Kennzahlen fortschreiben, eher selten. Solche integrierte Szenarien wurden beispielsweise für die Verkehrsverflechtungsprognose erarbeitet und sind im ESPON-Projekt ET2050 für alle NUTS3-Regionen der EU entwickelt worden. Solche oder ähnliche Arbeiten liegen speziell für Deutschland nun schon einige Jahre zurück und haben jeweils unterschiedliche thematische Schwerpunkte.

Die Projektionen mit PANTA RHEI Regio schließen daher eine Lücke in der deutschlandweiten, szenarienbasierten Regionalanalyse. Durch die Integration des nationalen Modells PANTA RHEI ist es möglich, eine Vielzahl von relevanten Kennzahlen für Regionen abzubilden. Die gesonderte Aufbereitung von regionalen Bevölkerungsprojektionen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine fundierte Betrachtung von alternativen sozioökonomischen Entwicklungen in den Regionen.

Die Bevölkerungsentwicklung ist im vorliegenden Modell Einflussgröße für fast alle Merkmale und Kennzahlen. Zugleich werden durch die Einzelbetrachtung von Branchen bis auf Kreisebene Implikationen des Wandels von Technologie und Arbeitsmarkt konsistent fortgeschrieben.

Bezogen auf die Güte zur räumlichen Verteilung der nationalen Kennzahlen gilt, dass sie mit der Güte der regionalen Bevölkerungsprojektion verknüpft ist. Während hier bis auf Bundesländerebene Vorausberechnungen mit jüngerer Datenbasis und aktuellen Annahmen berücksichtigt werden konnten, fand die Parametrisierung der Raumordnungsprognose, die Informationen für die Landkreise und kreisfreien Städte liefert, vor etwa vier Jahren statt, als jüngste Entwicklungen (Außenwanderungssaldo und Fertilität) nicht absehbar waren.

Zukünftige Arbeiten am Modell PANTA RHEI Regio selbst sollten sich darauf konzentrieren, unterschiedliche Einflussgrößen in den Themenfeldern Wohnen, Verkehr und Energie noch stärker regionalspezifisch zu erfassen. Gerade die Zukunft der Mobilität wird in städtischen Räumen anders aussehen als in ländlichen Räumen. Die genauere Analyse solcher Zusammenhänge ermöglicht es, die räumlichen Implikationen von gesellschaftlichen Transformationsprozessen oder auch des Klimawandels im Kontext von Szenarien noch besser abzubilden.

Summary

Introduction

In 2015, Germany's vulnerability to climate change was assessed for the first time across sectors and integrated in a network of federal authorities. This vulnerability analysis was used in a screening process to identify regions and systems throughout Germany and across all fields of action that are particularly exposed to climate change, i. e. are vulnerable. Data from climate research were combined with measured and modelled sector and socio-economic data. The aim of such overarching vulnerability studies is to make field-specific and field-overarching statements by means of a uniform approach and uniform criteria.

Since December 2017, a research project commissioned by the German Environment Agency (UBA), on behalf of the Federal Government (Bundesregierung 2015), has been continuing the previous work within the framework of the German Adaptation Strategy, which is presented in this report. It is intended to carry out an updated analysis and assessment of the impacts of climate change in Germany in 2021 (Climate Impact and Vulnerability Study, KWVA 2021). The present, the middle of the century (2031–2060) and the end of the century (2071–2100) are considered again. In the following, the three socio-economic scenarios trend, stability and dynamics developed by the Institute of Economic Structures Research (GWS) and supplied to KWVA 2021 are presented. These scenarios show possible and probable futures that are compatible with the socio-economic pathways (SSPs) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the existing socio-economic projections for Germany.

First, a literature review of megatrends at the global and national level is carried out (Chapter 2). It is used to derive parameters with which future social, political and economic developments in Germany can be characterised.

This is followed by an analysis of the international Shared Socio-economic Pathways (SSPs) (Chapter 3). Here, the SSPs are examined with regard to their significance of the narrative scenarios for Germany. On this basis, three SSPs of particular importance for Germany and the process of adaptation to climate change are selected.

Subsequently, the three socio-economic scenarios at national level are developed (Chapter 4). For this purpose, existing future scenarios in the socio-economic field are examined in the short, medium and long term, which are then compared with the previously analysed SSPs. The socio-economic scenarios for the vulnerability study are selected, parameterized and modelled using the national model PANTA RHEI. In summary, the scenarios are assessed concerning their uncertainties.

Chapter 5 presents the regional results for the three scenarios quantified with PANTA RHEI Regio. After a methodological introduction and the presentation of the demographic specifications in the regional perspective, the results are shown individually for the topics value added, employment, housing, transport, electricity and land use. This is followed by a separate analysis of the development of land use for settlement and transport and a presentation of a development path to achieve land use targets in the stability scenario.

Analysis of megatrends

The OECD (2016) defines megatrends as far-reaching changes in society, the economy, politics, the environment and technology that, while slowly emerging, have a sustained and lasting impact on many, if not most, human activities, processes and perceptions. Although the megatrends generally relate to global change, the trends are analysed primarily from the German perspective. In particular, the question is whether the megatrends for Germany are strongly pronounced

and what significance different possible future paths of the megatrends will have for Germany's vulnerability.

The analysis of the megatrends shows that long-term trends can be quantified differently well. Some megatrends can be estimated well for the coming decades and can be quantified. This applies in particular to population trends, which are reacting slowly to changes in assumptions about fertility and migration. Long-term projections also exist for economic growth, whereby the development of the working population as an important production factor is largely given by population development, among other factors. Assumptions about technological developments also play a role. Countries with lower income levels are more likely to catch up economically and benefit from existing technologies and production processes than countries at the forefront of technological progress. In this respect, many studies predict a further economic rise of the populous countries of Asia, but also of the global South as a whole.

For other global trends, uncertainties about future development are larger. Whether international trade in the coming decades will tend to be characterised by free trade or protectionism cannot be seriously assessed. It is also unclear whether and to what extent international agreements on mitigating climate change, for example, will be realised. In contrast to natural science contexts, political decisions and human behaviour in general are influenced by changing value judgements and experiences over time, so that statements about the future are inherently uncertain.

Finally, in the case of technological megatrends, there are well-founded assumptions that change will accelerate and affect many areas of life. Digitalization and innovation will drastically change human life and work. It is unknown how exactly this will happen. Specific projections over decades are not possible. A quantification over decades would be "arrogation of knowledge".

Shared Socioeconomic Pathways

The SSPs were developed as a joint effort of the international scientific community and describe plausible global developments that will lead to different challenges for climate change mitigation and adaptation in the future. The SSPs are based on five narratives describing alternative socio-economic developments. The long-term demographic and economic projections of the SSPs show a wide range of global futures. On the one hand, they serve as a basis for deriving the radiative forcing pathways, the Representative Concentration Pathways (RCP), and on the other hand for characterising the challenges of adaptation and mitigation. In the narratives, developments in the areas of population and human development, economy and lifestyle, politics and institutions, technology, environment and natural resources are described qualitatively (O'Neill et al. 2017).

The narratives of the SSPs were primarily developed for the international context. The application to individual world regions or country groups is partly unproblematic, partly it can only be carried out at the country level with differentiations and regional adjustments.

Within the framework of this project, three scenarios of particular importance for Germany and the climate change adaptation process are developed. For this, the SSPs should serve as a starting point. They are suitable for the development of national scenarios to different degrees.

For a business-as-usual or trend scenario, SSP 2 is an adequate basis for continuing current developments. In this scenario, population and economic growth in particular will be similar to current long-term projections: Variant 2a of the updated 13th coordinated population projection (Destatis 2017a) leads to a population of 80.2 million people in 2045. For GDP in the current projection report (UBA 2017a), a long-term annual growth rate of 0.8 % is assumed from 2026 onward. Therefore, it is assumed here that GDP growth will diminish in comparison with recent

decades. In addition, environmental targets would be pursued, but only achieved with a time lag, since, among other things, energy and transport transition would continue to be orientated towards short-term economic interests.

SSP 1 is adequate as a starting point for a sustainability scenario. In contrast to the trend scenario, this scenario focuses on sustainability issues: Targets, especially for energy and mitigating climate change, are pursued more strongly so that the energy and transport transition can be successfully realised. For the development of new technologies, it is assumed that they contribute to sustainability because they are used in an environmentally and socially friendly manner.

As a counterpart to the sustainability scenario, the third scenario results from a dynamic socio-economic development. None of the SSPs represents a clear equivalent to this dynamic scenario: SSP 3 describes stagnating socio-economic development and is therefore unsuitable. SSP 4 is particularly adequate as a starting point for a comparison of developments in different countries at the international level, since regional differences are the main focus here.

SSP 5 is most similar to such a dynamic scenario in terms of the development of technology and economic performance, but must be adjusted because it emphasises the use of fossil fuels. The fact that it is (apparently) associated with only minor socio-economic challenges to adaptation to climate change is linked to optimism in large-scale solutions such as CCS or geo-engineering and high financial and technical adaptation capacity. However, this presupposes that, unlike today, there will be a massive redistribution of wealth. Rapid growth is assumed for both population and GDP development: International trade is growing strongly and the demand for human resources remains high. One part of the high GDP is used as defensive expenditure to reduce the negative effects of environmental damage. New technologies, e.g. in the mobility sector, get rapidly established, while climate and environmental protection are being neglected. Urban agglomerations are reaching their limits due to strong population growth.

Development of the national scenarios

Scenarios show different, consistent future developments. The existing long-term scenarios provide a good basis for the selection of three socio-economic scenarios for Germany.

The various current national scenario studies in the field of energy transition and climate mitigation can be divided into two groups. A scenario that either keeps the current state of policy constant or continues moderately the trend in specific policy developments is compared with a target scenario. The central socio-economic assumptions on population and economic development are generally identical. With regard to developments in the fields of energy and climate protection, the trend family fits well with SSP 2, "middle of the road", which continues current developments into the future. The group of target scenarios fits well to SSP 1, which describes sustainable development. For both scenarios, the assumptions on population and GDP development should be the same in order to be easily compatible with the national scenarios. For the stability scenario, a limited decline in transport performance compared to the trend scenario can be assumed through policy measures. A third consistent scenario family cannot be derived from the existing scenario studies.

Based on the analysed scenarios, which can predominantly be assigned to the narratives of the SSPs, three national scenarios are described below for which the data sets have been developed in projections up to the year 2045 in the course of the project and which are the starting point for the regional scenarios.

The stability scenario describes a sustainable development. Here, the population develops according to the current trend with a long-term annual net immigration of 200 000 persons. This makes the population projection comparable with variant 2a of the 13th coordinated population

projection of the Federal Statistical Office (Destatis 2017a). GDP will initially grow at a rate of 1.3 % per year until 2020 and 1 % per year until 2025, and in the long term at a rate of 0.8 % per year based on the projection report (UBA 2017a). The targets of the energy transition to expand renewable energies and increase energy efficiency will be achieved.

The second scenario trend is constructed as a business-as-usual scenario similar to SSP 2. Population numbers and economic output develop as in the stability scenario. The energy and climate targets are being pursued, but due to lower ambitions they are usually only achieved with a time lag.

For a third scenario, neither the national long-term scenarios for the energy transition and climate protection nor the SSPs provide an adequate basis. In this dynamic scenario, the framework data are orientated towards the upper edge of the analysed current projections. The annual net immigration amounts to 300 000 persons, resulting in a population of more than 83 million in 2045. The GDP growth rate is also higher than in the stability and trend scenario: in the long term, economic output will grow by 1.2 % annually.

The forecast of transport interconnectivity (Intraplan & BVU 2014) provides indications of the effects of a different development in economic output on transport performance: In the higher and lower scenario variants, the higher/lower GDP (+5.5 %/- 5.9 %) in 2030 is associated with a disproportionately low change in passenger (+4.7 %/- 4.4 %) and freight transport (+3.7 %/ - 3.6 %).

The table below shows an overview of the main assumptions and characteristics of the three selected scenarios at national level. Regional developments such as future urbanisation are considered in the context of regional modelling.

Summary of the three scenarios

	Stability	Trend	Dynamics
Population development (annual net immigration from 2020 onward)	Constant (200 thousand)	Constant (200 thousand)	Increase (300 thousand)
GDP	1.3 % until 2020 1 % until 2025 0.8 % from 2026	1.3 % until 2020 1 % until 2025 0.8 % from 2026	1.7 % until 2020 1.3 % until 2025 1.2 % from 2026
Energy transition/ climate protection	Target achievement	Target achievement with time lag	Clear target failure
Transport	Transport in 2045 largely GHG-neutral, limitation of transport performance	Achievement of energy and climate protection targets significantly delayed	High transport performance, environmental and climate protection targets subordinated
Land use (see regional modelling)	Target for land use for settlements and transport infrastructure achieved (30 ha minus x per day 2030)	Target for land use missed	Rather growing increase in land use

Source: Own table.

Quantification of the three scenarios at national level

The three scenarios are quantified at national level using the PANTA RHEI model. Therefore, they are internally consistent. Differences between the scenarios are the result of exogenous assumptions. They represent model results in the if-then sense. An overview of model structure and systematics in PANTA RHEI can be found in Appendix A.2.

Trend: The demographic development results from assumptions on the development of the fertility rate and mortality rate according to variant 2a of the 13th coordinated population projections of the Federal Statistical Office (Destatis 2017a) as well as from the assumption of an annual net immigration of 200 000 persons per year from 2020 onward, that mainly takes place in the labour market. This means that in 2045 most of newly arrived immigrants will still be under 65 years old. As a result, the population will rise slightly by 2030 compared to 2015 and then fall. In 2045, the population will be around 2 million lower than in 2015. The number of people over 65 years will grow by 6 million between 2015 and 2045. The population of working age between 15 and 65 will decrease by more than 4 million by 2030 compared to 2015 in return.

As in the past, the number of private households will continue to grow faster than the population until 2030 and will largely remain at the level of 2030 until 2045. Together with the further increase in disposable per capita income, the number of dwellings will grow faster than the number of households. In 2045, there will be more dwellings than private households.

Gross domestic product is expected to grow at an average annual rate of 1.3 % by 2020, 1 % by 2025 and 0.8 % by 2045. Investment in equipment and foreign trade are growing at an above-average rate. Imports are growing slightly faster than exports in percentage terms. However, Germany still has a high trade surplus in 2045. Investment in construction and government consumption are developing below average.

In the energy sector, primary energy supply will decrease significantly by almost one third by 2045 compared to 2015. Total final energy consumption and the energy demand for heating of private households are declining less sharply (about -17 % between 2015 and 2045). Energy imports are even falling by 43 % in the analysis period because imported energy sources such as crude oil, natural gas and hard coal are increasingly being replaced by domestically produced renewable energies. With the measures currently implemented, the share of renewable energies in electricity generation will reach around 50 % in 2030.

According to the transport forecast for 2030 (Intraplan & BVU 2014), passenger transport performance will increase by about 6 % compared with 2015 and then stagnate as the population of working age declines. According to the transport forecast, freight transport will continue to grow significantly by 30 % until 2030 and by another 13 % until 2045, not least because foreign trade is also growing above average. The share of transport modes in freight transport will hardly change in the future.

Some past trends in the service sector will continue in the future with regard to the development of gross value added. The service sectors predominantly show above-average growth rates. Exceptions are financial and insurance activities, professional, scientific and technical activities and the public administration sector. Construction is also showing above-average growth. The development of gross value added in mining and energy supply is declining. Agriculture and manufacturing develop on average.

Dynamics: In the dynamic scenario, the annual net immigration is 300,000 persons per year and thus 100,000 higher than in the trend scenario. Accordingly, the population will grow to 84 million by 2030 and then decline only slightly to about 83 million in 2045. It is thus almost exactly 3 million higher than in the trend scenario. The majority of the higher population compared to the

trend scenario is between 15 and 65 years old in 2045. The number of private households will also rise by almost 3 million to 43.5 million by 2045. The number of dwellings is increasing even more.

Compared to the trend scenario, the dynamic scenario assumes a stronger increase in exports, so that GDP exactly matches the assumed higher growth rates. All other model variables result endogenously. For example, German imports are also rising strongly in accordance with higher exports and higher domestic demand. Investments in equipment are also responding at an above-average rate compared with the trend scenario. As a result, exports are higher than GDP in 2045, and investment in equipment will double by 2045 compared to 2015.

Due to a higher population and higher economic output, primary energy supply and final energy consumption in 2045 will also be higher than in the trend scenario. However, the change in energy consumption is below average and quite different in the individual consumption sectors. For final energy consumption for heating and in the sector “trade, commerce, and services”, the differences are small because additional, newly built apartments and offices have only a low consumption level. The differences are greater in industry and especially in the transport sector. Freight transport performance is almost 20 % higher than in the trend scenario, 75 % higher than in 2015. Passenger transport performance in 2045 is almost 10 % higher than in the trend scenario. Passenger transport performance in 2045 is 14 % higher than in 2015. The modal split will change only slightly compared to 2015.

At the sector level, the structural changes that are also visible in the trend scenario are intensifying. Large parts of the service sector and construction are showing growth rates above average. In mining and energy supply, on the other hand, value added even declines over time. Public administration is falling back.

Stability: In the stability scenario, the population development corresponds to the trend scenario. Economic development overall and in its demand structure is also very similar to the trend scenario.

The development in energy and transport, on the other hand, is clearly different from the trend scenario. In order to achieve the targets of the German government, primary and final energy consumption will decline much more sharply compared to 2015. The share of renewable energy in gross electricity generation will reach 65 % in 2030 and almost 84 % in 2045. There is a clear shift in the energy mix. Gross electricity generation in 2045 is almost 14 % higher than in the trend scenario, which means a strong expansion of renewable energy in this sector. At the same time, the use of fossil fuels such as coal, oil and natural gas is decreasing drastically.

By 2030, passenger transport performance will fall by almost 13 % compared to 2015 and will then stagnate at the level reached. Freight transport, on the other hand, will increase again by almost 39 % by 2045. Rail transport and inland waterway transport will be able to increase their shares. Compliance with climate protection targets requires that passenger and freight transport on the road is largely emission-free, either through e-mobility or through synthetic fuels produced largely free of CO₂. Significant increases of fuel prices compared to the trend scenario are not assumed.

The comparison of the quantifications of the three scenarios illustrates the differences presented. In the dynamic scenario, population development, economic growth and the variables influenced by this in the fields of energy and transport are significantly higher than in trend scenario. In the stability scenario, key energy and environmental policy targets are achieved, especially through technical solutions that still need to be developed.

Assessment of the three scenarios: Long-term scenarios are used as planning instruments. In addition, target scenarios have been developed, particularly in the field of energy transition and climate protection up to 2050, which on the one hand demonstrate the possibility of the aimed policy targets and on the other hand can identify gaps in action. The scenarios trend and stability are based on these two strands. Because of this orientation, their quality with regard to socio-economic developments can be classified as high. In contrast, the dynamic scenario includes a higher net immigration and a higher increase in economic output up to 2045. It is at the upper end of the currently discussed scenario family and is thus covered by other scenarios.

Within the scenarios, certain variables can change more quickly under the given political, legal and economic framework conditions and move further away from expected paths than others. Apart from net immigration, the population trend up to 2045 and, in particular, the development of the working age population between 15 and 70 can be well projected. Since the current resident population also dominates the overall development, the statements on long-term population development can be classified as reliable. There is also a high probability that existing infrastructures such as cities and their supply and disposal systems, residential buildings, a motorway or railway line existing today, electricity and gas networks and large industrial plants will still exist in 2045.

Against this background, the PANTA RHEI model can be used for creating scenarios up to the year 2045. It consistently projects the development of population, macroeconomic and structural variables in the three scenarios until 2045. For the energy sector, the developments by energy source and consumption sector are determined as a function of detailed economic drivers. For transport, different modes of transport with determining parameters are recorded, too. The entire model is solved simultaneously in annual steps and includes various key assumptions and developments from further studies that describes the energy sector and transport in even greater detail, particularly with regard to technical relations. It is used by different public clients for the quantification of long-term scenarios.

Scenario results are always valid under the condition that no changes occur that radically change socio-economic development. By the year 2045, uncertainties will increase significantly, especially with regard to goods with a lifetime of less than 10 to 20 years. (Almost) none of these goods (such as cars), that are used today or even planned will still be in operation in 2045. The reliability of the statements made is thus closely linked to the lifetime of infrastructures and goods.

The socio-economic scenarios from a regional perspective

The results of the national scenarios quantified in PANTA RHEI are regionalised using the PANTA RHEI Regio model. It consists of its own empirically founded behavioural and estimated equations and is based on a detailed regional data set in order to specifically describe developments at the level of spatial planning regions and districts (cf. Distelkamp et al. 2009). The model uses information from the national model PANTA RHEI and has the same model philosophy: detailed coverage of structural change, complete integration and empirical foundation. These characteristics point out that this is not a "simple breaking down" of national results. However, national and regional components of the scenarios can be distinguished. Basically, any change in the specifications for the national model has an impact on developments in the regions described in the regional model. The top-down principle applies to most variables: For the region, impulses are processed from the respective superordinate region (administrative district – spatial planning region – federal state – Germany) and the sum of all regional characteristics

must correspond to the sum in the superordinate region. At the same time, however, these impulses have a specific effect on the underlying unit. Further information on the regional model and its possibilities and limits can be found in Section 5.6 and Appendix A.3.

Regional population development: Population development at the district level is an important factor influencing all variables calculated in the projections. It is essentially predetermined exogenously and is based on projections by other institutions. However, some supplementary calculations have been carried out due to the different timeliness of data specific to the federal states from the population projection of the Federal Statistical Office and the more detailed spatial planning projection of the Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development.

In detail, the following procedure was used to quantify the scenarios: The starting point is the population development at national level presented in Section 4.4, which is distributed consistently across the regions. Since the spatial planning projection does not take into account important developments since 2012 and there is no evidence for a regionalised consistent derivation of the dynamic scenario, all three scenarios at the federal state level are initially defined on the basis of data from the updated 13th coordinated population projection (variant 2a). This variant assumes a positive balance of international migration of 200,000 per year in the long term and shows developments for the whole of Germany and groups of federal state. In order to be able to use data not only for groups of federal states but also for individual federal states, the data from the 13th coordinated population projection from the year 2015 are consulted. Furthermore, from the difference between variant 2 and variant 1 of this older projection, which differs only in the assumptions of a 100,000 higher balance of international migration, a key for the distribution of additional population in the dynamic scenario is derived.

Subsequently, the spatial planning projection is used to describe developments in the spatial planning regions as well as in the administrative districts and cities on the basis of the federal state results. In addition, a regional distribution key is used for the international migration in the scenario dynamics. This key is generated from an evaluation of the regional data of the migration statistics at district level and is used to distribute the additional migration balance in the dynamic scenario compared to the trend scenario up to the district level.

Regional development of GDP, value added and employment in the scenarios: The model results show that the differences in level between West and East Germany as well as between cities that are independent from a district administration and rural districts remain. Even though above-average growth rates of per capita GDP are projected for the urban districts of Eastern Germany (+1.5 % p. a.) in particular, the largest absolute growth rates are expected for the West German district independent cities in the period up to 2045. At the same time, the distribution patterns of the past remain largely unchanged.

In the dynamic scenario, the German economy is growing faster than under trend assumptions. This applies to both urban and rural regions, although rural districts are making slightly disproportionate gains. However, there is no west-east gap between the two scenarios. In relation to the trend scenario, the stability scenario proves to be growth-neutral. This applies both to the German average and to a large extent to a differentiated view according to district types.

Housing, car fleet and power generation in the scenarios: The development of the **housing stock** is essentially a result of the development of the number of private households, which in turn is shaped by demographic specifications. In the trend scenario, the housing stock in Germany will rise by 2.6 million between 2015 and 2030. By 2045 there will be a further increase of 1.3 million to 45.3 million dwellings.

Overall, the dynamic of the housing stock in West German urban districts is particularly high. In the district independent cities of Western Germany, the dynamic of the housing stock is expected to decline significantly in the period from 2030 to 2045, but remain positive. In the urban and rural districts of Eastern Germany, on the other hand, the housing stock will continue to decline.

In general, the trend scenario expects a slight slowdown in the growth of **living space per apartment**. Differences in the development of **living space in residential buildings** can be observed in particular between the trend and dynamic scenarios.

With regard to the **number of passenger cars**, the national context suggests an average increase of 0.5 % p. a. by 2030, above all as a result of a further increase in the number of households. In the long term (2030 to 2045), however, PANTA RHEI is forecasting a slight decline (-0.3 % p. a.) in the nationwide number of passenger cars.

In Western Germany, there will be a further increase in the number of passenger cars in all types of settlement structural districts in the period up to 2030. The lowest growth rates are to be found in the large cities that are independent of a district administration. In Eastern Germany, on the other hand, with the exception of the district independent cities, a decline in the number of cars is already expected for the period up to 2030. Decreasing number of cars is projected for all types of settlement structural districts in the period 2030 to 2045, with the most significant declines expected in the large cities of Western Germany as well as in the urban and rural districts of Eastern Germany.

In the dynamic scenario, there will be an increase in the number of passenger cars due to the higher growth and the higher population number compared to the trend. Nationwide in 2030 these are 0.51 million or 1 % higher than in the trend scenario and by 2045 this difference will increase to 1.44 million or 3.1 %.

In the stability scenario, on the other hand, the number of passenger cars will decline significantly compared with the trend scenario. Nationwide, this difference amounts to -3.1 million or -6.4 % in 2030. By 2045 this difference will increase to -4.2 million or 9 %. The change in transport behaviour is particularly noticeable in the urban districts, while the number of passenger cars in the urban and rural districts is below average compared to the trend scenario.

In the model PANTA RHEI-LÄNDER, **gross electricity generation** is extrapolated on the basis of the structure and changes in the energy mix in the federal states. As a result, gross electricity generation increases particularly strongly in those federal states in which there is a high proportion of renewable energies. The highest increase is seen in the trend scenario in Mecklenburg-Western Pomerania and Rhineland-Palatinate, the strongest decrease in Baden-Württemberg and North Rhine-Westphalia. This is related to the expansion of renewable electricity generation in the trend scenario (cf. Chapter 4.2). This regional shift is intensified in the stability scenario, in which North Rhine-Westphalia more than halves its share of electricity generation compared to 2014. In contrast, only minor differences in the regional distribution of gross electricity generation are projected between the trend and dynamic scenarios.

Land use: In the trend scenario, land use for settlement and transport rises slightly from the level of 2013 to 2015 (66 ha per day) to around 68 ha per day by 2020. The reasons are the high number of new buildings, the above-average economic development and the population increase in the period 2016 to 2020. Subsequently, the daily increase in land use for settlement and transport in the four-year moving average will decline to 44 ha per day by 2030 and reach a value of 39 ha per day in 2045. This is due in particular to the long-term decline in the number of inhabitants and private households in many regions.

This shows that the targets set in various political programmes for reducing land use are clearly missed in the trend scenario. The reduction to 30 ha per day in 2020, as demanded in earlier sustainability strategies and in the Climate Protection Plan 2050 (BMUB 2016a), will not be achieved. Also lower values below 30 ha per day in 2030 ("30 minus X", Bundesregierung 2016) or even a value of 20 ha per day (BMUB 2016b) cannot be achieved without additional measures for significantly more economical use of land.

Land use in the period 2016 to 2030 varies greatly from region to region. There are larger areas with high relative land use around the conurbations in the south and southwest. In this context, the surrounding areas of Hamburg, Cologne and Berlin also extend far into rural areas. Further away from conurbations and large cities, western Lower Saxony and south-eastern Bavaria still stand out with high increases. The core cities themselves often show rather low rates of change. In particular, the core cities in West Germany stand out in the regional distribution in the period 2030 to 2045 as areas with stronger reduced growth. Otherwise, the pattern of spatial land use is similar to that between 2015 and 2030. The largest contiguous areas with higher land use are still located in Bavaria and Baden-Württemberg as well as in the wider surrounding area of Hamburg.

A comparison of the scenarios shows that the land use in the dynamic scenario in 2045, at 46 ha per day, is 7.4 ha per day higher than in the trend scenario. This gap between the two scenarios already exists in 2030 and then increases only very slightly. Both the stronger population and economic dynamics contribute to these differences in land use.

The stability scenario shows major trends towards land use of 20 ha per day in 2030 and 5 ha per day in 2045. This means that the "30 minus X" target of the German sustainability strategy will be achieved in 2030. A stronger reduction path to 20 ha, as in the Integrated Environmental Protection Plan 2030, is just missed. In 2030, the change value will be slightly more than 4 ha per day above the ambitious target. The gap to a continued ambitious target path of 0 ha per day in 2050 is only slightly smaller in 2045 (9 instead of 5 ha per day).

The projections show that the additional land use in the dynamic scenario in the period 2016 to 2045 is on average similarly high in all settlement structure district types. The largest gaps between trend and dynamics are related to the relative changes in urban and, in particular, metropolitan areas. The more spatially differentiated representation clearly shows that the spatial patterns of land use do not differ fundamentally between the trend scenario and the dynamic scenario.

Assessment of regional results: While socio-demographic projections for the regions of Germany are published comparatively regularly, integrated regional scenarios, which consider demography and economy together and – where applicable – update environmental economic indicators, are rather rare. Such integrated scenarios, for example, were developed for the forecast of transport interconnectivity and have been developed in the ESPON project "ET2050" for all NUTS3 regions of the EU. Such or similar work, especially for Germany, dates back several years and each has a different thematic focus.

The projections with PANTA RHEI Regio therefore close a gap in the Germany-wide, scenario-based regional analysis. The integration of the national model PANTA RHEI makes it possible to show a large number of relevant key figures for regions. The separate preparation of regional population projections is an essential premise for a well-founded consideration of alternative socio-economic developments in the regions.

In this model, population development is an influencing factor for almost all characteristics and indicators. At the same time, the implications of changes in technology and the labour market are consistently extrapolated by looking at individual sectors up to the district level.

With regard to the quality of the regional distribution of the national indicators, it is true that it is linked to the quality of the regional population projection. While it was possible to take into account projections with a more recent database and current assumptions down to the level of the federal states, the parameterisation of the spatial planning forecast, which provides information for the administrative districts and district independent cities, took place about four years ago, when recent developments (balance of international migration and fertility) were not foreseeable.

Future work on the PANTA RHEI Regio model itself should concentrate on integrating different influencing variables in the areas of housing, transport and energy in a more region-specific way. The future of mobility in particular will be different in urban areas compared to rural areas. A more detailed analysis of such interrelationships will allow to better illustrate the spatial implications of social transformation processes or climate change in the context of scenarios.

1 Einleitung

Im Jahr 2015 wurde erstmals die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel sektorenübergreifend-integriert in einem Netzwerk von Bundesbehörden bewertet. Dafür wurden bestehende regionale und sektorale Betrachtungen der bereits beobachteten und möglicher zukünftiger Folgen des Klimawandels und Vulnerabilitätsstudien analysiert und eine Methodik für eine sektorenübergreifende, deutschlandweit einheitliche Vulnerabilitätsanalyse entwickelt (UBA 2015).

Mittels der Vulnerabilitätsanalyse wurden in einem Screeningverfahren deutschlandweit und handlungsfeldübergreifend die Regionen und Systeme identifiziert, die besonders durch den Klimawandel gefährdet, d. h. vulnerabel, sind. Dabei wurden Daten der Klimaforschung mit sektoralen und sozioökonomischen gemessenen und modellierten Daten verschnitten. Ziel solcher übergreifenden Vulnerabilitätsstudien ist es, mittels eines einheitlichen Vorgehens und einheitlicher Kriterien handlungsfeldspezifische und -übergreifende Aussagen zu treffen. Sie bilden eine Grundlage für eine zielgerichtete Anpassungspolitik, indem sie Hinweise zu weiteren Handlungserfordernissen geben, und leisten somit einen wesentlichen Beitrag zur Fortschreibung der Nationalen Anpassungsstrategie sowie als Orientierung für andere Akteure (UBA 2015).

Die Beobachtung bereits erkennbarer und die Abschätzung möglicher Klimawandelfolgen ist ein sehr aktives Forschungsfeld. Diese komplexe und interdisziplinäre Aufgabe benötigte einen iterativen Forschungsansatz. Daher sollen die Erkenntnisse, verwendeten Daten und das methodische Vorgehen regelmäßig überprüft und aktualisiert werden sowie neue Aspekte eingebracht werden, um die Auswirkungen des Klimawandels und die Vulnerabilität auf Basis neuester Erkenntnisse darstellen zu können (Bundesregierung 2015).

Seit Dezember 2017 werden in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des UBA, gemäß dem Auftrag der Bundesregierung (2015), die bisherigen Arbeiten im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie fortgeführt. Beabsichtigt ist, bis 2021 eine aktualisierte Analyse und Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels Deutschlands vorzunehmen (Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudie, KWVA 2021). Hierbei sollen wieder die Gegenwart, die Mitte des Jahrhunderts (2031–2060) und das Ende des Jahrhunderts (2071–2100) betrachtet werden. Im Folgenden werden die von der GWS entwickelten drei sozioökonomische Szenarien dargestellt, die der KWVA 2021 zugeliefert werden. Diese Szenarien bilden mögliche und wahrscheinliche Zukünfte ab, die mit den sozioökonomischen Entwicklungspfaden (SSPs) des Weltklimarates (IPCC) sowie den vorhandenen sozioökonomischen Projektionen für Deutschland kompatibel sind. Sie basieren auf dem Stand der Politik und gesellschaftlicher Entwicklungen vom Sommer 2018.

Die Szenarien enthalten modellierte Datensets, die als Grundlage für die Sensitivitätsparameter und die Parameter der räumlichen Exposition in der KWVA 2021 genutzt werden. Diese Sets ersetzen die in der Vulnerabilitätsanalyse 2015 verwendeten sozioökonomischen Szenarien und gehen in der Anzahl der abgebildeten Größen deutlich über diese hinaus. Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- ▶ **Räumliche Auflösung:** Die Datensets sind deutschlandweit flächendeckend, teilweise räumlich aufgelöst auf Landkreisebene.
- ▶ **Zeithorizont:** Die Datensets reichen bis zum Jahr 2045, der Mitte des Zeitraums 2031–2060, der in der KWVA vorrangig betrachtet wird.
- ▶ **Konsistenz:** Die Datensets sind konsistent mit bestehenden Szenarien und Datensets des Bundes.

- ▶ Internationale Passfähigkeit: Die Szenarien sind mit internationalen Pfaden zur sozioökonomischen Entwicklung, den Shared Socio-Economic Pathways (SSPs) des IPCC, passfähig.
- ▶ Es handelt sich um konsistente Projektionen, nicht um Prognosen: Für das Verständnis des Szenarienfächers ist zentral, dass keine Prognose einer wahrscheinlichen Entwicklung bis 2045 erfolgt ist, wie dies oft für langfristige Planungsprozesse charakteristisch ist. Vielmehr geht es darum, eine Bandbreite möglicher Zukünfte als konsistente Projektionen zu beschreiben, die durch unterschiedliche sozioökonomische Trends gekennzeichnet sind.

Die drei sozioökonomischen Szenarien Trend, Stabilität und Dynamik werden in den nachfolgend beschriebenen Schritten entwickelt. Zunächst erfolgt eine Literaturanalyse von Megatrends auf globaler und nationaler Ebene (Kapitel 2). Sie dient der Ableitung von Kenngrößen, mit denen zukünftige gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Entwicklungen in Deutschland charakterisiert werden können. Über die Beschreibung der zentralen Megatrends hinaus wird kurz darauf eingegangen, inwieweit diese Trends in den kommenden Jahrzehnten für Deutschland quantifizierbar sind.

Darauf folgt die Analyse der internationalen Shared Socio-economic Pathways (SSPs) (Kapitel 3). Hierbei werden die SSPs hinsichtlich ihrer Bedeutung der narrativen Szenarien für Deutschland betrachtet. Darauf aufbauend werden drei SSPs in die nähere Auswahl genommen, die von besonderer Bedeutung für Deutschland und den Klimawandelanpassungsprozess sind.

Im Anschluss werden die drei sozioökonomischen Szenarien auf nationaler Ebene entwickelt (Kapitel 4). Hierfür werden zunächst vorhandene Zukunftsszenarien im sozioökonomischen Bereich in der kurzen, mittleren und langen Frist betrachtet, welche anschließend mit den zuvor analysierten SSPs verglichen werden. Die sozioökonomischen Szenarien für die Vulnerabilitätsstudie werden darauffolgend ausgewählt, parametrisiert und mittels des nationalen Modells PANTA RHEI modelliert. Zusammenfassend werden die Szenarien hinsichtlich ihrer Unsicherheiten beurteilt.

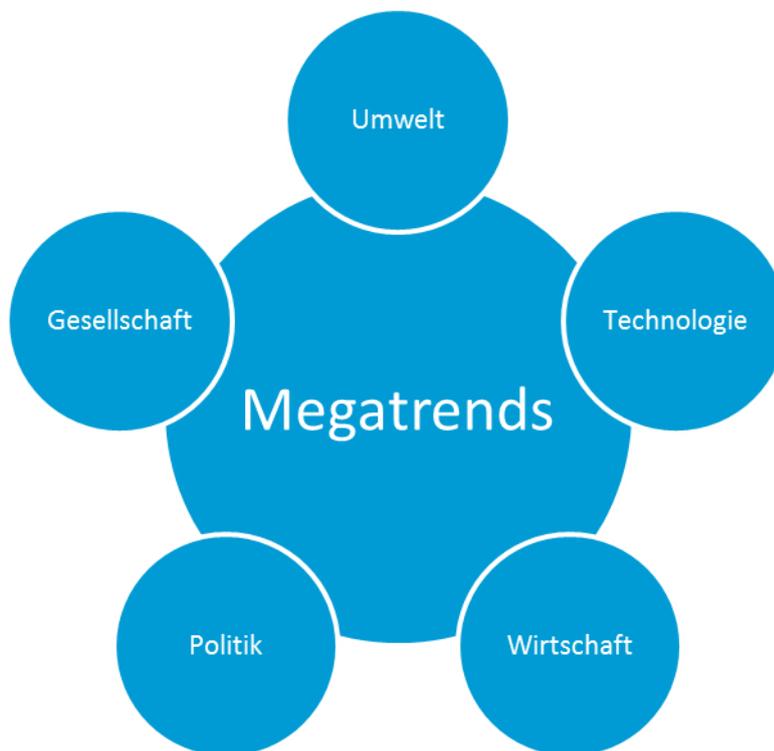
Kapitel 5 widmet sich den regionalen Ergebnissen für die drei Szenarien, die mittels PANTA RHEI Regio berechnet wurden. Nach einer methodischen Einführung und der Darstellung der demographischen Vorgaben in der regionalen Perspektive werden die Ergebnisse einzeln für die Themen Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Wohnen, Verkehr sowie Flächenentwicklung dargestellt. Dabei folgt eine gesonderte Auseinandersetzung mit der Entwicklung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr und eine Darstellung eines Entwicklungspfades zur Erreichung von Flächenzielen im Stabilitätsszenario.

2 Analyse der Megatrends

2.1 Definition und Überblick

Der Begriff „Megatrends“ geht zurück auf das gleichnamige, im Jahr 1982 veröffentlichte Werk des US-amerikanischen Zukunftsforschers John Naisbitt. Die OECD (2016) definiert sie als weitreichende Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft, Politik, Umwelt und Technologie, die sich zwar langsam bilden, jedoch einen nachhaltigen und dauerhaften Einfluss auf viele, wenn nicht sogar die meisten menschlichen Aktivitäten, Prozesse und Wahrnehmungen haben. Eine vergleichbare Beschreibung liegt von der Europäischen Umweltagentur (EEA 2015) vor, die ergänzend definiert, dass zwischen den Megatrends häufig Interdependenzen bestehen. Eine weitere Definition, die einem Vorhaben für das UBA (2014a) zugrunde liegt, sieht „Megatrends als langfristige Transformationsprozesse, die sich fundamental auf gesellschaftliche, wirtschaftliche, politische und technologische Bereiche auswirken und über Jahrzehnte wirksam sind“. Aus diesen Definitionen zeichnen sich die in Abbildung 1 dargestellten Bereiche ab, in die sich Megatrends einordnen lassen.

Abbildung 1: Themenfelder der Megatrends



Quelle: Eigene Darstellung.

Weitere Definitionen liegen auch von verschiedenen Unternehmensberatungen und Instituten vor. Eine eher allgemeine Abgrenzung wird von PwC (2016) gewählt, die Megatrends als makroökonomische und geostrategische Kräfte bezeichnet, die sich mit Daten verifizieren lassen und für die Gesellschaft einige der größten Herausforderungen und Chancen stellen. Das Zukunftsinstitut (2016) geht über eine solche Definition hinaus und betont die tiefgreifenden Auswirkungen von Megatrends, die über mehrere Jahrzehnte aus der Vergangenheit in die Zukunft reichen und jedes Individuum betreffen. Wie bei der OECD und der EEA werden sie als sich langsam entwickelnde, aber grundlegende Veränderungen bezeichnet. Als Bereiche, auf die sich Megatrends

auswirken, werden Gesellschaft, Wirtschaft, Politik, Wissenschaft, Technik und Kultur genannt. Die zwölf vom Zukunftsinstitut identifizierten Megatrends decken sich teilweise mit denen der oben genannten Institute (z. B. Urbanisierung), andere weichen stark davon ab; so wird hier z. B. das Thema Sicherheit als eigener Megatrend aufgeführt.

Tabelle 1: Überblick über die globalen Megatrends

Kategorie	EEA	OECD	UBA
Gesellschaft	Bevölkerungsentwicklung (Anstieg, Alterung und Migration); Urbanisierung; Veränderung von Krankheitslasten	Bevölkerungsentwicklung (Anstieg, Alterung und Migration); Gleichberechtigung, sinkende HH-Größe, Urbanisierung und Bildung; Gesundheit, Ungleichheit und Wohlstand	Urbanisierung; Arbeitswelt (steigender Bedarf an Hochqualifizierten, Flexibilisierung der Arbeit, Effizienzsteigerung durch Automatisierung und Digitalisierung, multioptionale Lebensläufe); Bildung (Höherqualifizierung, Ökonomisierung der Bildung, lebenslanges Lernen)
Technologie	Beschleunigung des technischen Fortschritts	Digitalisierung, Vernetzung, Internet der Dinge	Mobilität/Infrastruktur (E-Mobilität, Intermodalität, Zunahme Güter- und Flugverkehr); Digitalisierung und Vernetzung
Wirtschaft	Wirtschaftswachstum; Multipolarität; Intensivierung des Ressourcenwettbewerbs	Globalisierung; Wirtschaftswachstum (Verschiebung nach Asien, sinkender Anstieg der Arbeitsproduktivität)	sozioökonomische Beschleunigung (Zunahme des globalen Wirtschaftswachstums, Ausbreitung westlicher Lebensstile); (neue) Geschäftsmodelle (Ausbreitung profitorientierter, multinationaler Konzerne, Zunahme von „social commerce“); Finanzwirtschaft (Zunahme globaler Finanzströme, Anstieg von Preisvolatilitäten und Risiken von Finanzblasen); Marketing und Konsum (Zunahme von Online-Konsum, Digitalisierung und Personalisierung von Werbung)
Umwelt	Belastungen von Ökosystemen; Klimawandel; Umweltverschmutzung	Klimawandel; Biodiversität/Biokapazität; Ressourcen und Energie	Ernährung (Anstieg der globalen Fleischnachfrage, Uptrading zu mehr Frische/Qualität, zunehmende Vermeidung von Nahrungsmittelverschwendung, Transparenz und Nachhaltigkeit in Lieferketten); Ressourcengovernance
Politik	vielfältigere Regierungs- und Unternehmensführung	Entwicklung von Regierungen	neue Denkweisen und Weltbilder (Zunahme von Transformationsinitiativen, Veränderung der gesellschaftlichen Bedeutung von Arbeit, Wandel der Geschlechterverhältnisse)

Quellen: EEA 2015, OECD 2016, UBA 2014a.

In einer Veröffentlichung von Roland Berger (2011) werden sieben Bereiche der Megatrends abgesteckt, die denen der EEA, der OECD und des UBA ähneln: Hierbei werden Entwicklungen in Demographie, Globalisierung, Ressourcenknappheit, Klimawandel und gefährdete Ökosysteme,

Technologie und Innovation, Wissensgesellschaft, Nachhaltigkeit und globale Verantwortung beschrieben. Hingegen setzt die Gesellschaft für Innovative Marktforschung (GIM 2018) andere Akzente: Megatrends werden hier mit den Begriffen Algorithmisierung, Verwertung, Gestaltung, Fragmentierung, Re-Lokalisierung überschrieben.

In Tabelle 1 werden die globalen Megatrends (GMT) nach EEA, OECD und UBA dargestellt. In einigen Punkten stimmen sie überein, in anderen erweitern und ergänzen sie einander. Nicht immer ist eine eindeutige Zuordnung der Megatrends zu den einzelnen Kategorien möglich.

Die abgebildeten GMT dienen als Leitfaden für die folgende Betrachtung, in der die projizierten Entwicklungen dargestellt und verglichen werden. Wenngleich sich die Megatrends in der Regel auf einen globalen Wandel beziehen, werden die Trends im Folgenden vor allem mit Blick auf Deutschland betrachtet. Dabei geht es insbesondere um die Frage, ob die Megatrends für Deutschland stark ausgeprägt sind und welche Bedeutung unterschiedliche mögliche zukünftige Pfade der Megatrends für die Vulnerabilität Deutschlands haben werden. Auf quantifizierbare Trends wird ausführlicher eingegangen.

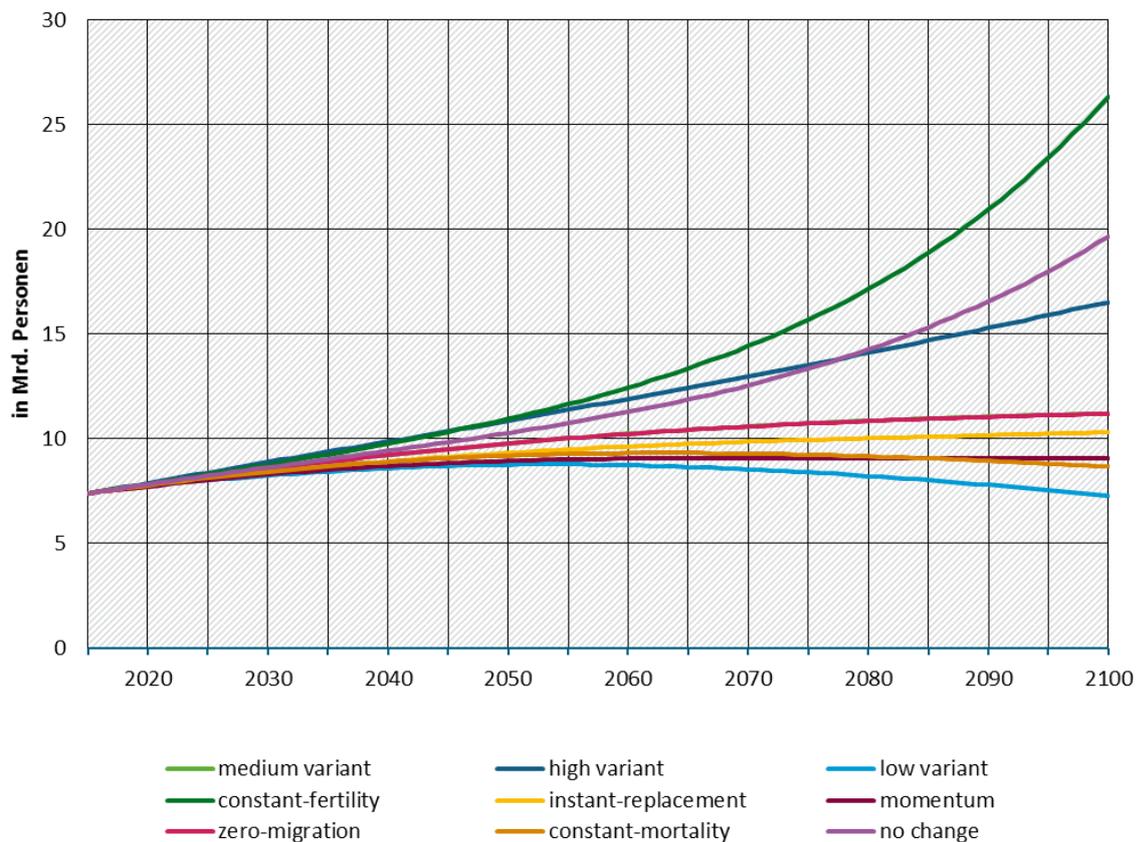
2.2 Die Megatrends im Einzelnen

2.2.1 Gesellschaftliche Megatrends

2.2.1.1 Bevölkerung

Die Projektionen im gesellschaftlichen Bereich konzentrieren sich auf die Bevölkerungsentwicklung, die grundlegend für viele Zukunftsfragen ist und längerfristig gut quantifiziert werden kann. Die EEA (2015) unterteilt diesen Trend in drei Subtrends. Die weltweite Bevölkerung wird weiterhin wachsen, insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern, allerdings mit einer abnehmenden Wachstumsrate. Zum zweiten wird sich die Altersstruktur ändern. Infolge sinkender Geburtenraten und zunehmender Lebenserwartung wird das Durchschnittsalter steigen. Verschiebungen in den Migrationsströmen stellen schließlich den dritten Subtrend der Bevölkerungsentwicklung dar: Die Anzahl an Einwanderern in sogenannten Entwicklungsländern wuchs im Jahr 2010 zum ersten Mal stärker als in Industriestaaten. Außerdem gewinnen Schädigungen der Umwelt und der Klimawandel als Motive für eine Auswanderung neben wirtschaftlichen und sozialen Gründen zunehmend an Bedeutung. Die EEA schätzt eine Verstärkung dieser Entwicklung als wahrscheinlich ein.

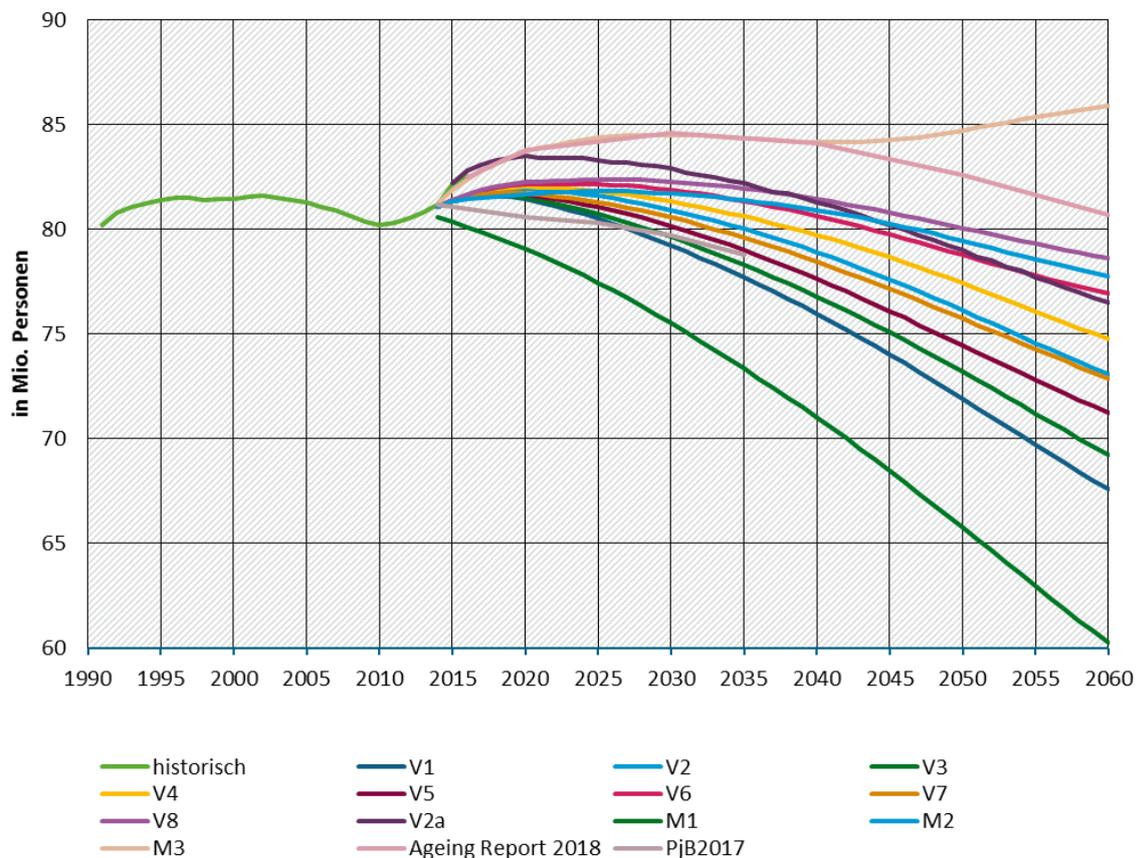
Grundlage für diese Projektionen ist eine frühere Version der Bevölkerungsprojektionen der Vereinten Nationen (UN 2013), in denen die Bevölkerungszahlen weltweit, je Region und je Land bis zum Jahr 2100 vorausberechnet werden. Hierfür werden neun Projektionsvarianten aufgezeigt, in denen die Parameter Fertilitätsrate, Lebenserwartung und Migrationsrate variiert und unterschiedlich kombiniert werden. Abbildung 2 zeigt den breiten Projektionsraum der möglichen Varianten auf: Bereits für das Jahr 2050 liegt die projizierte Zahl der Weltbevölkerung je nach Variante zwischen 8,75 Mrd. (Variante „low variant“) und 10,94 Mrd. (Variante „constant-fertility“). Die Variante „medium“ wird in den eigenen Zusammenfassungen der UN als Maßstab angelegt und so auch von der EEA als Standardvariante in den Projektionen verwendet. Es handelt sich hierbei nicht um eine aus allen Möglichkeiten gemittelte Variante, sondern um die Projektion mit einer mittleren Geburtenhäufigkeit. Die Daten der UN sind Basis von vielen Studien, die Projektionen in anderen Bereichen auf globaler Ebene liefern, so z. B. die jährlichen Energieprojektionen der IEA (2017) und die Umweltprojektionen der OECD (2012).

Abbildung 2: Entwicklung der Weltbevölkerung nach verschiedenen Varianten der UN-Projektion

Quelle: UN 2017. Anmerkung: Die Variante „zero-migration“ ist hier nicht eingezeichnet. Die zugrunde liegenden Annahmen der einzelnen Varianten werden in Tabelle 34 im Anhang zusammengefasst.

Auf europäischer Ebene werden von Eurostat Daten zur möglichen Bevölkerungsentwicklungen in den EU-Mitgliedsstaaten sowie in Norwegen zur Verfügung gestellt. Die Projektion erstreckt sich über den Zeitraum bis zum Jahr 2081 und setzt eigene Annahmen zu den Geburten- und Sterberaten, zur Lebenserwartung und zum Wanderungssaldo pro Land und Jahr. Eine Übersicht über die Vorausberechnungen bietet die letzte Veröffentlichung aus dem Jahr 2015 (Eurostat 2015), die gesamten Daten werden in der Online-Datenbank bereitgestellt.

Das Statistische Bundesamt (Destatis 2015) veröffentlicht eigene Berechnungen zur Bevölkerungsentwicklung in Deutschland anhand der gleichen Parameter wie bei den UN-Projektionen, allerdings reicht der Zeithorizont nur bis 2060. Auch hier liegen verschiedene Varianten vor, die sich aus der Modifikation der zugrundeliegenden Annahmen ergeben. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der projizierten Entwicklungen nach den acht Varianten auf Basis von Zahlen aus 2013 (Destatis 2015), die aktualisierte Version von Variante 2 auf Basis von Zahlen aus 2015 (Destatis 2017a) und die drei Modellrechnungen (Destatis 2015), die zu analytischen Zwecken durchgeführt wurden und eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit haben als die Varianten. Außerdem zeigt die Abbildung die aktuellen Projektionen zum einen nach dem „Ageing Report“ der Europäischen Kommission (EC 2017a) und zum anderen nach dem Projektionsbericht des UBA (2017a).

Abbildung 3: Projektionen der Bevölkerungsentwicklung für Deutschland

Quellen: Eigene Darstellung auf Grundlage von Destatis 2016a (Historie 1991–2014), Destatis 2015 (V (= Variante) 1–8 und M (=Modellrechnung) 1–3), Destatis 2017a (V2a), EC 2017a (Ageing Report 2018) und UBA 2017a (PjB2017) (Projektionen 2014–2060). Eigene Darstellung. Anmerkung: Die Annahmen für die verschiedenen Varianten werden in Tabelle 35 im Anhang zusammengefasst.

Die insgesamt neun Varianten der Bevölkerungsvorausberechnung zeigen, dass nach einem leichten Anstieg in den nächsten Jahren die Bevölkerungszahl stetig abnehmen wird. Im Jahr 2060 reicht die Bandbreite an möglichen Bevölkerungszahlen von 67,6 Mio. (Variante 1) bis 78,6 Mio. (Variante 8). Variante 1 geht im Vergleich zu Variante 8 von einer geringeren Geburtenrate (1,4 anstatt 1,6 Kinder pro Frau), einer niedrigeren Lebenserwartung (84,8 Jahre bei Jungen / 88,8 Jahre bei Mädchen anstatt 86,7 bzw. 90,4) und einem geringeren langfristigen Wanderungssaldo (100.000 anstatt 200.000 Personen) aus. Variante 2a ist eine Anpassung der Variante 2 an aktuellere Entwicklungen und Informationen. Zum einen setzt diese Projektion bei einem höheren Bevölkerungsstand an: Die Basis hierfür bildet die Einwohnerzahl in Höhe von 82,2 Millionen im Jahr 2015, zu diesem Zeitpunkt liegt die Projektion von Variante 2 bei nur 81,4 Millionen. Zum anderen geht sie von modifizierten Parametern aus: Die Fertilitätsrate liegt mit 1,5 Kindern pro Frau höher (Variante 2: 1,4), die Lebenserwartung ist mit 84,7 Jahren bei Jungen und 88,6 Jahren bei Mädchen leicht niedriger (Variante 2: 84,8 bzw. 88,8) und der Wanderungssaldo entwickelt sich langfristig mit 200.000 Personen pro Jahr zwar gleich, allerdings wird ein höherer Saldo bis 2018 erwartet.

Für die Varianten 1 und 2 stehen neben den Daten auf Ebene des Bundesgebietes auch regionalisierte Projektionen auf Ebene der Bundesländer zur Verfügung, für Variante 2a eine Differenzierung nach Flächenländern im Westen und Osten sowie nach den Stadtstaaten.

Die Modellrechnungen spannen im Vergleich zu den Varianten einen breiteren Projektionsraum auf. Modellrechnung 1 basiert auf einem ausgeglichenen Wanderungssaldo, d. h., dass genau so viele Menschen nach Deutschland einwandern wie aus Deutschland auswandern. Aufgrund dieser Annahme ergibt sich ein kontinuierlicher Rückgang der Bevölkerungszahl über den gesamten Projektionszeitraum auf 60,2 Mio. Einwohner im Jahr 2060. Modellrechnung 3 bildet eine dazu divergente Entwicklung ab: Die Zahlen steigen zunächst an, sinken zwischen 2030 und 2041 leicht, bevor sie danach kontinuierlich auf 85,9 Mio. Menschen ansteigen. Der Grund für dieses hohe Niveau der Bevölkerungsvorausberechnung ist vor allem die angenommene Geburtenrate von 2,1 Kindern pro Frau.

Die Daten von Destatis werden für nationale Vorausberechnungen genutzt, auch das UBA stützt seine Berechnungen in verschiedenen Projekten auf Variante 1 dieser Projektion (z. B. UBA 2017b). Auch für gerontologische Studien finden die Bevölkerungsdaten des Statistischen Bundesamtes Einsatz, z. B. in zwei Untersuchungen im Auftrag der Bertelsmann Stiftung: So wird in einer Studie Variante 2 als Berechnungsgrundlage für die möglichen Entwicklungen der Altersarmut genutzt (DIW, ZEW 2017), in einer anderen werden eigene Projektionen durch Variation der Fertilität, der Lebenserwartung und des Migrationssaldos auf Basis der Ist-Werte des Statistischen Bundesamtes berechnet (Werding 2013), um zukünftige Effekte auf das Rentensystem abzubilden.

Im Vergleich ergibt sich bei der UN-Bevölkerungsprojektion eine Voraussage, die für die nächsten Jahre zunächst deutlich über den hier dargestellten Varianten von Destatis liegt. Dies ist u. a. auf einen wesentlichen Unterschied in den Ausgangsdaten zurückzuführen, die den Projektionen zugrunde liegen: Während das Statistische Bundesamt von einem Bevölkerungsstand von 80,7 Mio. am 31.12.2013 ausgeht, rechnen die UN auf Grundlage von 81,7 Mio. Menschen am 01.07.2015. Durch die starke Zuwanderung seit der Erstellung der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausschätzung passen die Zahlen am aktuellen Rand nicht mehr. Nach den letzten Zahlen des Statistischen Bundesamtes hatte Deutschland am 31.03.2017 82,5 Mio. Einwohner.

Die Vorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes beziehen sich auf die gesamte Bundesrepublik. Eine detailliertere Prognose hinsichtlich der regionalen Verteilung der Bevölkerung bietet das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR 2015). Es handelt sich dabei um eine mit dem Zensus 2011 korrigierte Berechnung, die auf Ebene der 402 Kreise stattfindet und sich bis zum Jahr 2035 erstreckt. Die Parameter zur Bevölkerungsentwicklung (Fertilität, Lebenserwartung, Binnenwanderungsverhalten) werden ergänzt durch Merkmale der Haushalts- und Erwerbspersonenprognosen. Dadurch werden zum einen die Verteilung des Bevölkerungsbestands auf die privaten Haushalte und zum anderen die Zahlen zur erwerbsfähigen Bevölkerung abgebildet. Die Ergebnisse der Raumordnungsprognose werden umfassend auf der Internetseite des BBSR bereitgestellt. Die Prognose lässt auch Voraussagen zur zukünftigen Altersstruktur auf Kreisebene zu, da die Daten nach Altersgruppen und Geschlecht differenziert vorliegen. Hingegen stehen die prognostizierten Werte zu den Entwicklungen der Haushaltsgrößen und der Anzahl der Erwerbspersonen lediglich auf Ebene der Raumordnungsregionen (Beobachtungs- und Analyseraster des BBSR) zur Verfügung. Die Daten des BBSR bilden auch den Ausgangspunkt für den Bundesverkehrswegeplan 2030 (BMVI 2016) und gehen exogen in die Analyse ein.

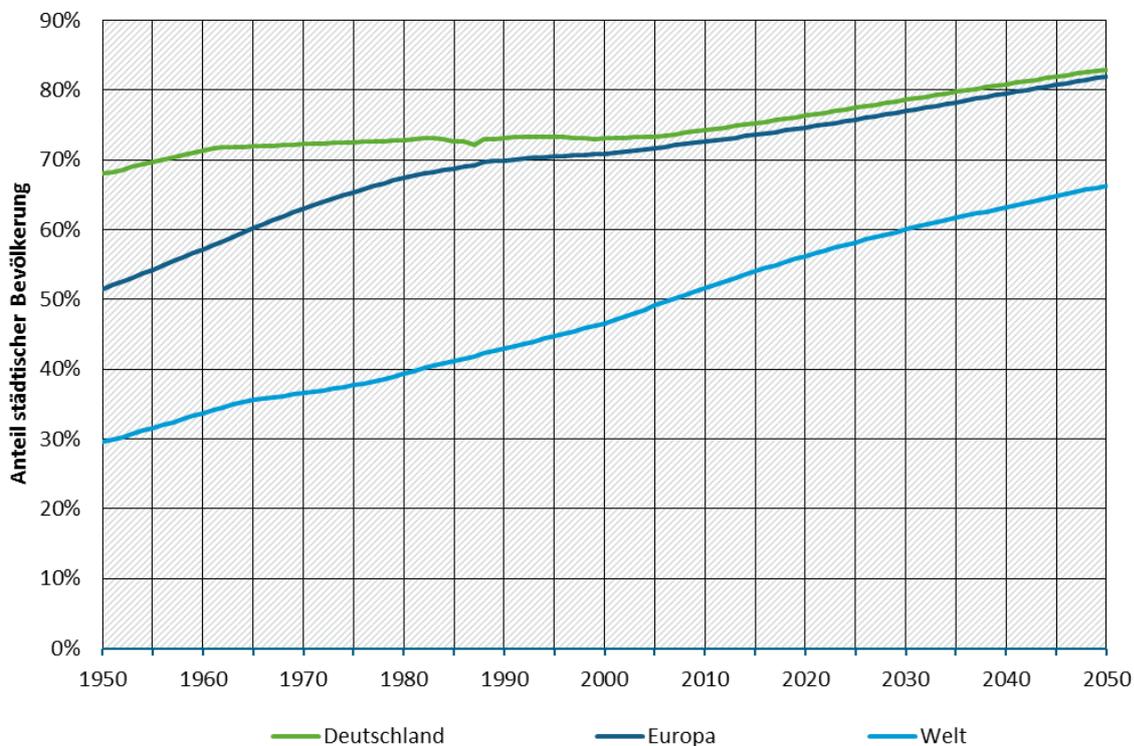
Nach der Haushaltsvorausschätzung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2017b) wird erwartet, dass die durchschnittliche Haushaltsgröße in Deutschland in Zukunft weiter zurückgehen wird. Nicht nur wegen der Alterung der Gesellschaft, sondern auch weil angenommen wird, dass sich der Trend weg von klassischen Familienstrukturen fortsetzen wird. Die Familienbildung verschiebt sich immer weiter nach hinten. Im Jahr 2035 werden nur noch durchschnittlich 1,9 Personen pro Haushalt leben (2015: 2,0).

Das Statistische Bundesamt (Destatis 2016b) hebt hervor, dass die Projektionen zur Bevölkerung und zu privaten Haushalten keine Vorhersagen der Zukunft liefern, sondern mithilfe statistischer Methoden die gegenwärtigen demographischen Strukturen unter Berücksichtigung absehbarer und tragfähiger Entwicklungen fortschreiben. Letztlich lassen sich aus ihnen Implikationen für politische Maßnahmen ableiten.

2.2.1.2 Urbanisierung

Neben den Entwicklungen der Bevölkerungszahlen ist auch die Urbanisierung, d. h. die Konzentration der Bevölkerung in Städten (UBA 2014a), ein Thema der gesellschaftlichen Megatrends. Die EEA (2015) bezieht sich auch hierbei auf Daten der UN, deren letzte Überarbeitung in 2014 stattfand (UN 2015). Abbildung 4 zeigt jeweils den Anteil an städtischer Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung in Deutschland, Europa und der Welt. In der Vergangenheit war die Urbanisierung in Deutschland im europäischen Vergleich deutlich stärker ausgeprägt, dieser Unterschied nimmt im Zeitablauf ab. Für die Zukunft wird ein weiterhin stetiger Anstieg erwartet. Auch wenn sich der deutsche und europäische Trend gleichlaufend entwickeln, bleibt der deutsche Anteil an in Städten lebenden Menschen immer leicht über dem europäischen Durchschnitt. Im Vergleich mit den weltweiten Mittelwerten stellen sich die Anteile in Deutschland und Europa als überdurchschnittlich hoch heraus: Für das Jahr 2050 wird für Deutschland (Europa) vorausgerechnet, dass 82,99 % (81,95 %) der Bevölkerung in Städten leben wird, während der globale Durchschnitt bei 66,37 % liegt. Bei der Interpretation der zukünftigen Zahlen für Deutschland ist Vorsicht geboten. Es scheint, dass europäische Trends auf Deutschland übertragen wurden, während der Trend in Deutschland bis 2010 auf einen weitgehend stabilen Anteil hindeutet. Auch die OECD (2012 und 2016) stützt ihre Projektionen auf die Angaben der UN.

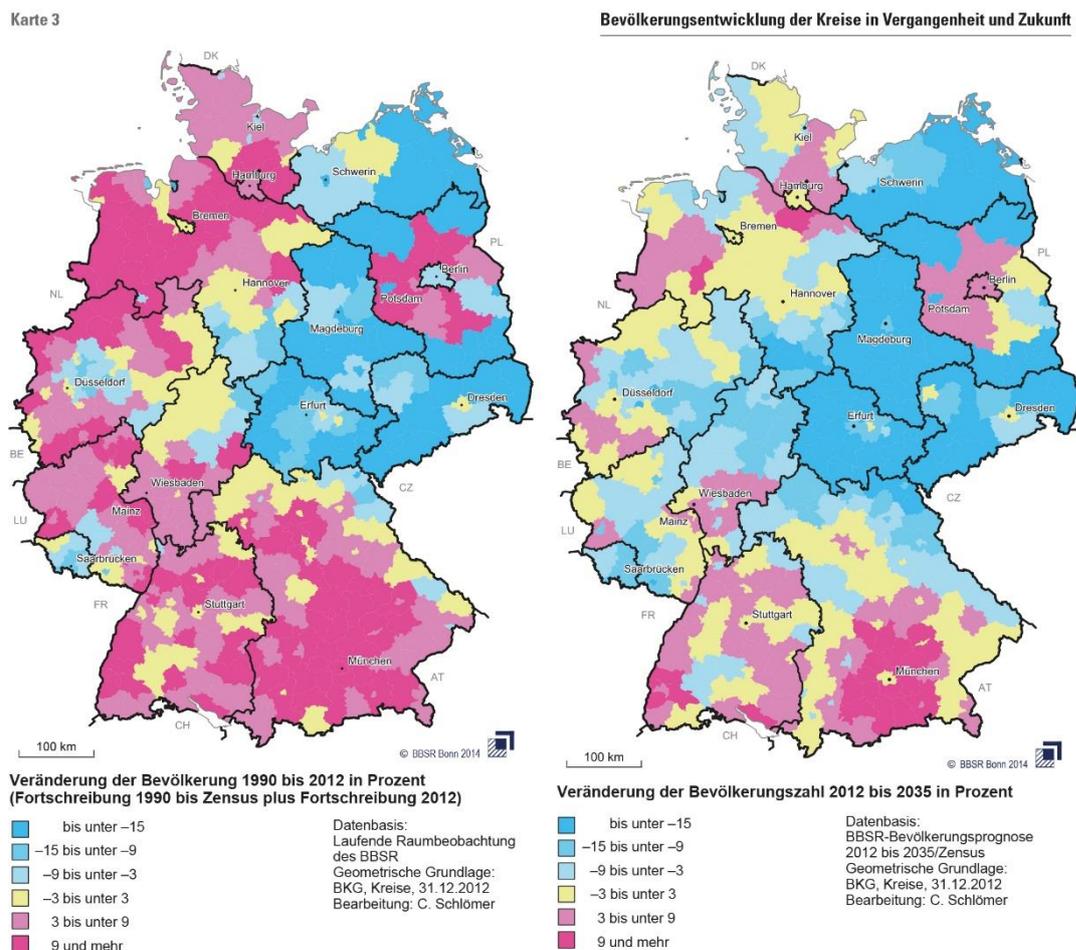
Abbildung 4: Historische (1950 bis 2014) und projizierte (2015 bis 2050) Anteile an städtischer Bevölkerung in Deutschland, Europa und der Welt



Quelle: UN 2015. Eigene Darstellung.

Abbildung 5 zeigt die Bevölkerungsentwicklung Deutschlands auf Kreisebene. Hierbei werden die Veränderungen in der Vergangenheit (von 1990 bis 2012) und in der Zukunftsprognose (von 2012 bis 2035) gegenübergestellt. Es ergeben sich starke Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen sowie zwischen den West- und Ostdeutschland: Allgemein wird das Bevölkerungswachstum zurückgehen, wie auch die Projektionen in Kapitel 2.2.1.1 darlegen. Insbesondere in den östlichen Bundesländern Deutschlands sinken sowohl in Vergangenheit als auch in Zukunft die Bevölkerungszahlen deutlich. Darüber hinaus sind einzelne Punkte zu sehen, an denen die Bevölkerung stärker wächst als in der umgebenden Region (z. B. in der Projektion im Rhein-Main-Gebiet im Vergleich zum restlichen Gebiet Hessens und Rheinland-Pfalz').

Abbildung 5: Regionale Bevölkerungsentwicklung Deutschlands



Quelle: BBSR 2015.

2.2.1.3 Geänderte Krankheitsmuster und Gefahr von Pandemien

Die EEA (2015) greift als weiteren gesellschaftlichen Megatrend die Veränderung der Krankheitslast und das Risiko von Seuchen auf. Es wird zwischen übertragbaren und nicht-übertragbaren Krankheiten differenziert. Die letzteren haben sich mittlerweile zur dominierenden Krankheitsart entwickelt, hierzu gehören vor allem Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Diabetes und Demenz. Nach Angaben der WHO (2014) wird ein Anstieg von 38 Mio. vorzeitigen Todesfällen im Jahr 2012 auf 52 Mio. im Jahr 2030 erwartet. Besonders bei den sogenannten Wohlstandskrankheiten in Industrieländern ist ein Anstieg zu erkennen, obwohl sie sich vermeiden

ließen, da sie ausschließlich auf die Lebensweise (z. B. Rauchen, fehlende Bewegung, ungesunde Ernährung) zurückzuführen sind. Die Krankheitslast infolge von übertragbaren Erkrankungen geht zwar kontinuierlich zurück, trotzdem stellen sie immer noch eine Bedrohung für die Menschheit dar. In den Industriestaaten sind derartige Ansteckungen zwar seltener, aufgrund von multiresistenten Krankheitserregern kommen sie in einigen Fällen allerdings wieder häufiger vor. In Bezug auf Pandemien wird lediglich die mögliche Entwicklung genannt, dass aufgrund eines Anstiegs von internationalen Reisen und Migrationsströmen die Verbreitung von Massenerkrankungen wahrscheinlicher werden könnte. Trotz des Anstiegs der Lebenserwartung und der grundsätzlichen Verbesserung der Gesundheitssysteme bestehen weiterhin Unterschiede zwischen Ländern, zwischen städtischen und ländlichen Gebieten und zwischen Gruppen mit verschiedenen Einkommenshöhen, die sich auch in der medizinischen Versorgung äußern.

Eine analoge Entwicklung wird auch bei der OECD (2016) erwartet: Die Verbreitung nicht-ansteckender Krankheiten wird signifikant ansteigen, während ansteckenden Krankheiten immer stärker Einhalt geboten werden kann. Allerdings könnte der Klimawandel die Ausbreitung ansteckender Krankheiten erleichtern, die bisher in Deutschland nicht vorkommen. Darüber hinaus wird auf die Gefahren infolge von Antibiotikaresistenzen hingewiesen, die dazu führen können, dass vorhandene Behandlungsmethoden zunehmend weniger effektiv oder sogar ineffektiv werden.

Geänderte Krankheitsmuster und die Gefahr von Pandemien lassen sich in ihren Auswirkungen für die sozioökonomische Entwicklung kaum quantifizieren.

2.2.1.4 Geänderte Arbeitswelt und höhere Bildung

Für die Arbeitswelt wird Wandel durch Digitalisierung und Globalisierung als wichtiger Trend gesehen (OECD 2016). Die Welt wird zu einer globalen Wissensgesellschaft. Die Bedeutung der Dienstleistungen für den Arbeitsmarkt nimmt immer weiter zu. Gleichzeitig sind viele Arbeitsplätze durch Verlagerung in Länder mit niedrigeren Lohnkosten oder durch Übernahme der Tätigkeit durch Maschinen bedroht. Die seit der Finanzkrise zu beobachtende wachsende Spaltung der Gesellschaft könnte weiter zunehmen. Wenn verstärkt prekäre Arbeitsplätze mit geringen und teils unregelmäßigen Einkommen entstehen, sind diese Menschen besonders anfällig für die Folgen des Klimawandels.

Aktuelle Projektionen für den Arbeitsmarkt der EU liegen von der Europäischen Kommission vor (EC 2017a), die auch für die einzelnen Staaten abgebildet werden. Hier werden Abschätzungen sowohl zur Veränderung der Erwerbsbevölkerung als auch der Arbeitsproduktivität bis zum Jahr 2070 ermittelt. Die zugrunde liegende Bevölkerungsvorausberechnung basiert auf recht aktuellen Zahlen von 2016. Für Deutschland ergibt sich dadurch zunächst ein Anstieg der Bevölkerung von 82,5 Millionen Einwohnern im Jahr 2016 auf 84,6 Millionen im Jahr 2030 und schließlich ein kontinuierlicher Rückgang auf 79,2 Millionen im Jahr 2070. Bei der Entwicklung des BIP für Deutschland lässt sich ein positiver Trend über den gesamten Zeitraum ablesen: Die Wachstumsrate sinkt von derzeit 1,8 % jährlich auf 1,0 % im Jahr 2030 und schwankt danach zwischen 1,1 % und 1,3 %. Für die Beschäftigung wird langfristig ein Rückgang berechnet. Nach einem Anstieg der Beschäftigtenzahl in den nächsten Jahren fällt sie ab 2030 kontinuierlich mit einer Rate zwischen -0,2 % und -0,5 %. Auf Grundlage dieser demographischen und makroökonomischen Größen und weiterer Annahmen z. B. für den technologischen Fortschritt in Form der totalen Faktorproduktivität können Aussagen zu den möglichen Entwicklungspfaden der Erwerbsbevölkerung und verschiedenen Kenngrößen getroffen werden. So steigt beispielsweise das durchschnittliche Renteneintrittsalter im betrachteten Zeitraum insgesamt um über ein Jahr an (von 64,3 auf 65,5), während die Anzahl an Erwerbspersonen von 42,2 Millionen im Jahr 2016 auf

34,1 Millionen im Jahr 2070 zurückgeht. Diese aktuelle Projektion, die mit den zuständigen bundesdeutschen Ministerien BMF und BMAS abgestimmt ist, liegt bzgl. Bevölkerungsentwicklung am oberen Rand des Projektionsfächers, der in Abbildung 3 dargelegt wird. Sie verdeutlicht auch, dass sich Erwartungen der langfristigen sozioökonomischen Entwicklung innerhalb weniger Jahre sichtbar verschieben können.

Im Bereich der Bildung zeichnet sich eine Fortsetzung der Entwicklung hin zu vermehrt hohen Bildungsabschlüssen ab (OECD 2016, UBA 2014a): So ist in Deutschland die Zahl der Studienanfängerinnen und -anfänger von 291.447 im Jahr 1999 auf 509.760 im Jahr 2016 angestiegen (Destatis 2017c). Für die Zukunft wird eine Fortsetzung dieses Trends auch international projiziert, sodass sich die Zahl der weltweit eingeschriebenen Studierenden bis zum Jahr 2025 verdoppeln dürfte (OECD 2016).

Damit einher gehen verschiedene weitere soziale Trends wie eine starke Zunahme der globalen Mittelschicht mit entsprechenden Konsumgewohnheiten, ein Rückgang des Anteils der absolut Armen mit weniger als einem US-Dollar Einkommen pro Tag, eine zunehmende Konzentration von Vermögen, eine wachsende Zahl prekärer Beschäftigungsverhältnisse, wachsende Jugendarbeitslosigkeit und damit Perspektivlosigkeit und wachsende Altersarmut (OECD 2016).

2.2.1.5 Lebensweise und Ernährung

Insbesondere in der Veröffentlichung des UBA (2014a) wird auch auf Trends in der persönlichen Lebensweise eingegangen. Die Richtung dieses Trends ist nicht eindeutig, vielmehr differenzieren sich unterschiedliche Richtungen und Lebensstile weiter aus: Zum einen steigt der Bedarf an „convenience food“, um die Ernährung besser an die veränderten Bedingungen der Arbeitswelt anpassen zu können. Die Produktion von fertigen Lebensmitteln weitet sich aus und kann neue Möglichkeiten eröffnen, z. B. die Herstellung von In-vitro-Fleisch. Zum anderen messen die Konsumenten den gesundheitlichen Folgen der Ernährung immer mehr Bedeutung bei, sodass die Qualität und Frische der Produkte wichtiger wird. Dieser Trend spiegelt sich auch in den steigenden Nahrungsmittelpreisen wider.

Ferner findet ein nachhaltiger Lebensstil auch über die Ernährung hinaus immer mehr Verbreitung. So streben mehr Menschen eine sozial und ökologisch weniger belastende Wirtschaftsweise und eine Entschleunigung der Arbeitswelt an, aus der eine gesunde Work-Life-Balance resultiert. Dadurch wird auch die Bedeutung von klassischen Statussymbolen heruntergestuft. Allerdings trifft dies bisher nur auf kleinere Teile der Bevölkerung zu und Untersuchungen zeigen, dass umweltbewusste Personen oft einen überdurchschnittlich hohen Ressourcenverbrauch aufweisen. Wer mehr verdient, lebt nach einer Studie im Auftrag des UBA (2016a) meist umweltschädlicher, unabhängig davon ob sich jemand als umweltbewusst einschätzt oder nicht.

Der Lebensstil hat auch Auswirkungen auf die Umwelt (siehe dazu auch Kapitel 2.2.3), die in Bezug auf die Ernährung u. a. durch die Länge der Lieferkette, die Art der Verpackung und das Ausmaß der Verschwendung bestimmt werden. Regionale Kreisläufe gewinnen an Bedeutung, während zugleich auch die Internationalisierung der Lebensmittelproduktion voranschreitet (UBA 2014a).

2.2.2 Wirtschaftliche Megatrends

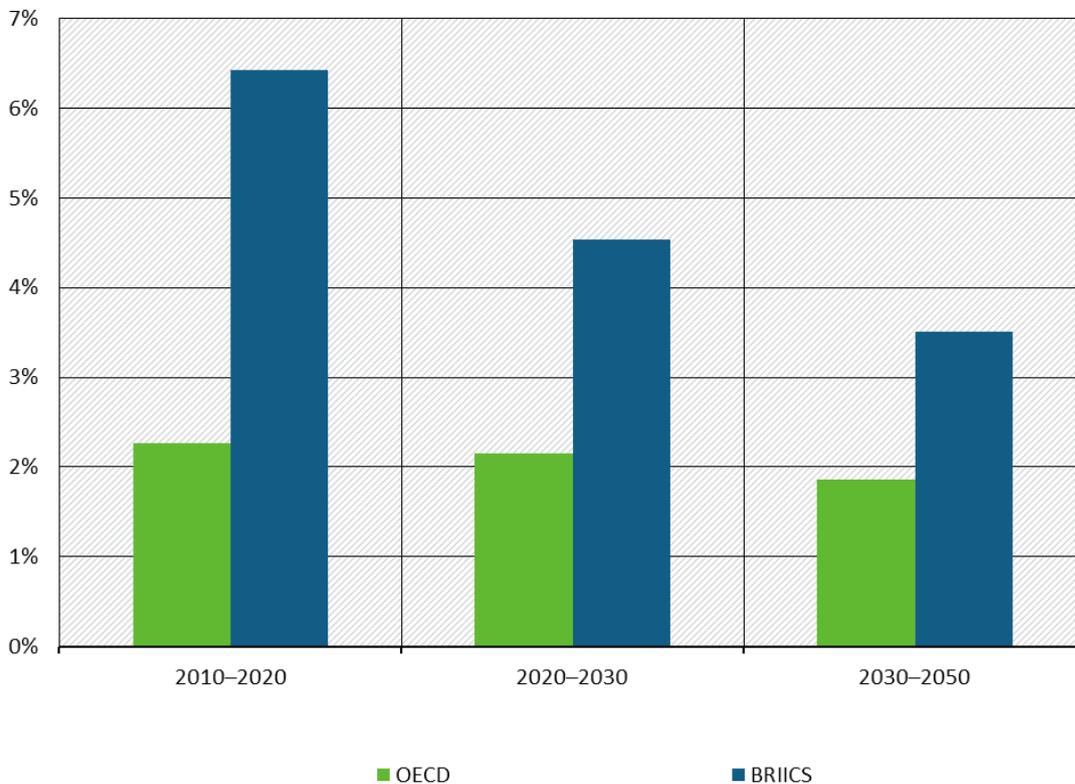
2.2.2.1 Wirtschaftliche Entwicklung

Bei den zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklungen steht das Wachstum der Wirtschaftsleistung im Fokus. In diesem Zusammenhang konstatiert die EEA (2015) einen langfristigen Trend, bei dem die globale Wirtschaft bei allerdings abnehmenden prozentualen Wachstumsraten weiter wächst. Daten hierzu liegen von der OECD (2012) vor. Die Projektionswerte von 2010 bis

2060 stellen einen starken Anstieg des weltweit erwirtschafteten BIP von rund 58 Billionen auf 221 Billionen US-Dollar (in Kaufkraftparitäten des Jahres 2010) in Aussicht.

Letztlich bestimmen insbesondere Annahmen über die Zunahme der Produktionsfaktoren (Arbeit als Funktion der arbeitsfähigen Bevölkerung und Kapital) und zur totalen Faktorproduktivität die zukünftige Entwicklung in sehr einfachen Wachstumsmodellen. Die totale Faktorproduktivität erfasst den technischen Fortschritt und die Verknüpfung der Produktionsfaktoren. In Ländern mit geringem Wachstum oder zukünftig sogar erwarteter Schrumpfung der Zahl der Erwerbstätigen wie in Deutschland fallen die langfristigen Wachstumserwartungen geringer aus als in Ländern mit höheren Geburtenraten wie den USA. Für Schwellen- und Entwicklungsländer wird angenommen, dass sie einen Teil des Rückstands im Pro-Kopf-Einkommen zu den führenden Industrieländern aufholen werden. Dass das Arbeitsangebot vor allem über Migrationsströme in gewisser Weise wiederum eine Funktion des Wirtschaftswachstums ist, wird in den Modellen nicht abgebildet.

Abbildung 6: Projektion der durchschnittlichen, jährlichen BIP-Wachstumsraten

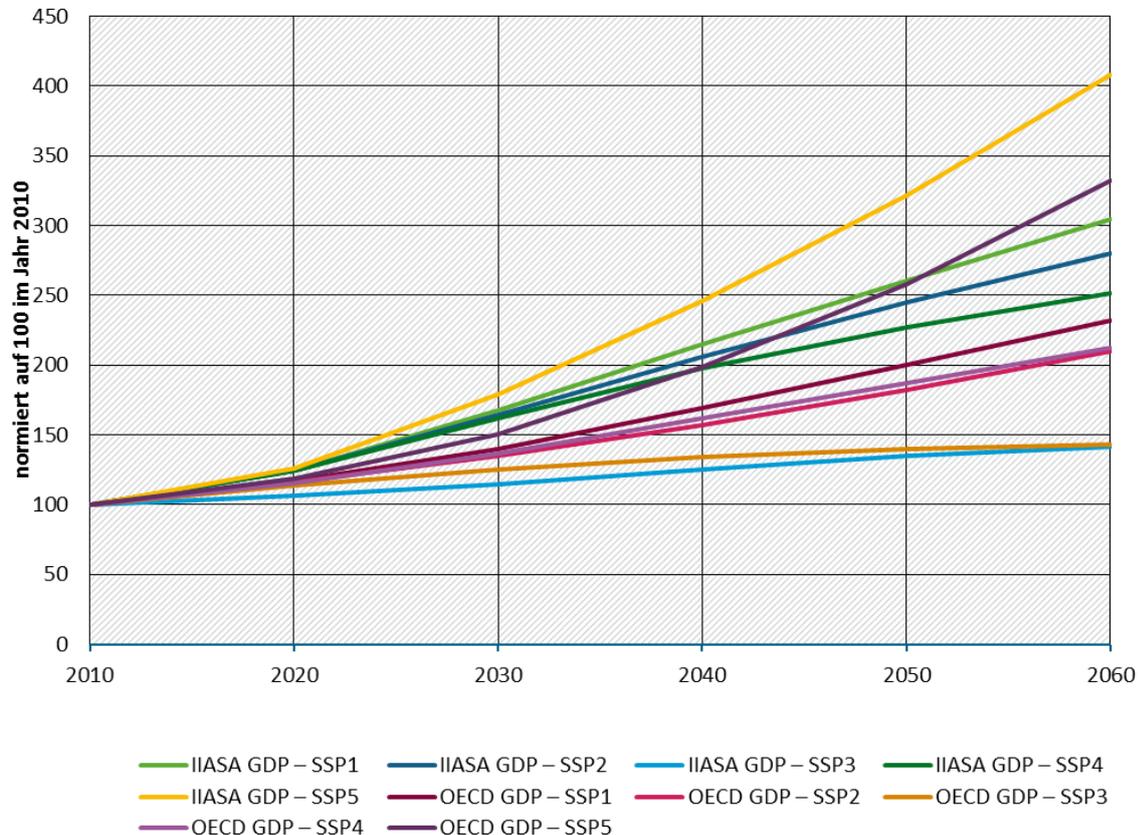


Quelle: OECD 2012. Eigene Darstellung.

Anhand eines Vergleichs der OECD-Mitgliedsstaaten als Industrieländer und der BRIICS-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China, Südafrika) als Schwellenländer in Abbildung 6 zeigt sich zum einen die kontinuierliche Abnahme der Wachstumsraten in beiden Ländergruppen, die zu einer Verlangsamung des BIP-Wachstums führt. Zum anderen liegt für die Schwellenländer eine erheblich höhere Wachstumsrate vor, eine Fortsetzung dieses Verhältnisses wird auch für die kommenden Jahrzehnte in Aussicht gestellt.

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Wirtschaftsleistung in den EU-15-Mitgliedstaaten nach den Quantifizierungen der Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), die jeweils vom Internationalen Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) und der OECD durchgeführt wurden. Zwischen den Berechnungen der beiden Institute liegen teilweise hohe Abweichungen (z. B. SSP 5) und teilweise geringe Differenzen (z. B. SSP 3) für die einzelnen SSPs vor.

Abbildung 7: BIP-Projektion in den EU-15-Staaten



Quelle: IIASA 2016.

Für Deutschland gibt Tabelle 2 einen Überblick über verschiedene Projektionen der Wirtschaftsleistung. Allgemein werden die Wachstumsraten in der ferneren Zukunft als geringer eingeschätzt als in naher Zukunft. Im aktuellen Projektionsbericht des UBA (2017a) wird ein Rückgang des BIP-Wachstums von durchschnittlich 1,3 % pro Jahr im Zeitraum 2015 bis 2020 auf 0,7 % pro Jahr für 2030 bis 2035 angenommen. In der Strukturdatenprognose für die Verkehrsprognose 2030 wird von einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 1,11 % ausgegangen, die durch Änderungen zu Annahmen zur Erwerbspersonenquote in Varianten auch nur 0,83 % oder 1,41 % betragen kann. Auch der „Ageing Report“ (EC 2017a) geht von einer Verringerung in diesem Zeitraum aus, der langfristige Wachstumstrend wird aber um oder sogar über 1 % pro Jahr gesehen. Außerdem reicht der Projektionszeitraum über den des Projektionsberichts hinaus, in dem sich der Rückgang nicht kontinuierlich fortsetzt: Von 2040 bis 2070 schwankt die projizierte BIP-Wachstumsrate zwischen 1,1 % und 1,3 % pro Jahr.

Tabelle 2: Durchschnittliche, jährliche BIP-Wachstumsraten für Deutschland

	bis 2020	2021–2030	2031–2040	2041–2050
BMVBS (2012): Strukturdatenprognose	1,11 % (0,83 % bis 1,41 %) (2010–2030)			
Prognos, EWI, GWS (2014): Energiereferenzprognose	1,1 % (2011–2030)		1,0 %	
UBA (2014b): Treibhausgasneutrales Deutschland 2050				0,7 % (2050)
UBA (2017a): Projektionsbericht 2017	1,3 % (2015–2020)	1 % (bis 2025), 0,8 % (ab 2026)	0,7 % (bis 2035)	
Fh-ISI et al. (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems	0,8 % (ab 2018)		0,7 %	
EC (2017a): Ageing Report 2018	1,8 % (2016), 1,4 % (2020)	1,0 % (2030)	1,2 % (2040)	1,1 % (2050)

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die Globalisierung als weiterer Megatrend spielt im wirtschaftlichen Kontext eine bedeutsame Rolle und wirkt sich insbesondere auf den internationalen Handel aus. Die OECD (2016) versteht unter dem Begriff der „Globalisierung“ den Fluss von Kapital, Gütern und Personen, wodurch der Transfer von Wissen, Technologien und neuen wirtschaftlichen Methoden vereinfacht wird. Eine Beschleunigung der Globalisierung wird durch den technologischen Wandel erzielt, insbesondere durch die Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik und im Transportwesen. Folgen der Globalisierung können sowohl positiv, wie die Förderung von Innovationen, als auch negativ sein, z. B. die globale Vernetzung und Begünstigung des illegalen Handels.

Diese Entwicklung führt zum nächsten, teils auch politischen GMT einer multipolaren Weltordnung (EEA 2015). Infolge des höheren Wachstumspotentials holen die sogenannten Entwicklungsländer auf, was zu einer Verlagerung des wirtschaftlichen Schwerpunktes führt: Die Industrienationen verlieren an Dominanz, während die Schwellenländer signifikant ihre Bedeutung im globalen Wettbewerb erhöhen. Demzufolge kann ein globales Wirtschaftsgeflecht erreicht werden, das weniger unausgeglichen ist. Andererseits könnten globale Produktionsketten weniger robust gegenüber dem Klimawandel, etwa in Form von Extremwetterereignissen sein, wie frühere Beispiele von globalen Produktionsausfällen durch Überschwemmungen von Speicherchipfabriken in Thailand zeigen. Darüber hinaus bezieht die EEA (2015) die Entwicklung in Richtung einer multipolaren Welt auch auf die intranationalen Wirtschaftsstrukturen, die schließlich dazu beitragen, dass sich Industrie- und Schwellenländer strukturell annähern und somit Ungleichheiten zwischen ihnen abgebaut werden.

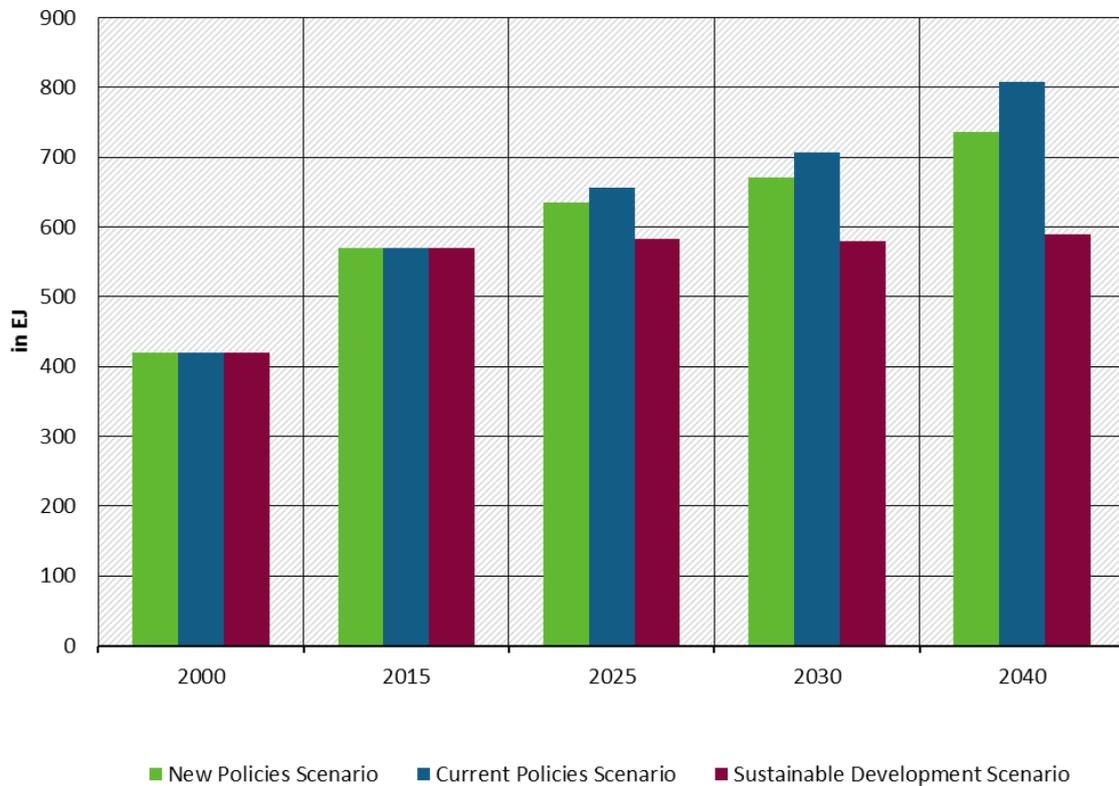
Begleitet wird die Verschiebung der globalen Wirtschaft in Richtung Asien von Veränderungen durch Globalisierung und Digitalisierung (UBA 2014a). Der Strukturwandel hin zu einer Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft dürfte sich in Zukunft verstärken. Zugleich entstehen neue Geschäftsmodelle, die zu Brüchen führen dürften, die heute nur ansatzweise sichtbar und kaum prognostizierbar sind. Unternehmen wie Amazon oder Google sind gerade dabei, ganze Wirtschaftszweige zu revolutionieren. Beispielsweise könnte in einer sharing economy mit autonomen und vernetzten Fahrzeugen die Zahl der produzierten Fahrzeuge stark zurückgehen. Industrie 4.0 und Internet der Dinge sind weitere Schlagworte einer drastisch veränderten Wirtschaftsweise. Weitere Entwicklungen im technologischen Bereich finden sich in Kapitel 2.2.4.

2.2.2.2 Energie- und Ressourcenverbrauch

Der verstärkte Wettbewerb um Ressourcen stellt einen weiteren GMT nach der EEA (2015) dar, der eine Schnittstelle zu den umweltbezogenen Entwicklungen bildet. Infolge eines wirtschaftlichen Aufschwungs in den Schwellenländern werden diese einen steigenden Anteil des Ressourcenverbrauchs beanspruchen. Angesichts der Konzentration von Vorkommen in wenigen Ländern kann es zu Unsicherheiten beim Ressourcenzugang kommen, insbesondere bei Rohstoffen aus politisch instabilen Gebieten. Daher und im Hinblick auf eine Erschöpfung knapper Ressourcen wird es notwendig sein, neue Quellen zu finden, Substitute für die konventionellen Rohstoffe zu entwickeln und das Recycling voranzutreiben. Das u. a. für Elektromobilität wichtige Kobalt stammt derzeit z. B. zu über der Hälfte aus der politisch instabilen demokratischen Republik Kongo. Die Förderung, die in Zukunft weiter steigen dürfte, findet vielfach unter Bedingungen statt, die keinerlei internationalen Standards entsprechen. Für einen weltweiten Ausbau der Elektromobilität müsste auch der Abbau von Lithium um ein Vielfaches steigen, wenn die Fahrzeuge mit der derzeitigen Lithium-Ionen Batterietechnik ausgestattet werden sollen.

Im Zusammenhang mit dem Ressourcenverbrauch steht die Entwicklung der zukünftigen Energieverbräuche. Da zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftsleistung bisher eine deutliche Korrelation besteht, ist ein Anstieg des Energiebedarfs in den Schwellenländern anzunehmen. Gleichzeitig wird trotz Steigerungen der Energieeffizienz die Wirtschaftstätigkeit heutiger Industriestaaten energieintensiv bleiben. Die IEA (2017) berechnet in drei Szenarien die Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2040. Wie in Kapitel 2.2.1.1 bereits erwähnt wurde, stützen sich die Projektionen zur Bevölkerungsentwicklung auf die Annahmen der UN. Die Datengrundlage zum Wirtschaftswachstum bilden hierbei die Angaben des Internationalen Währungsfonds und der Weltbank.

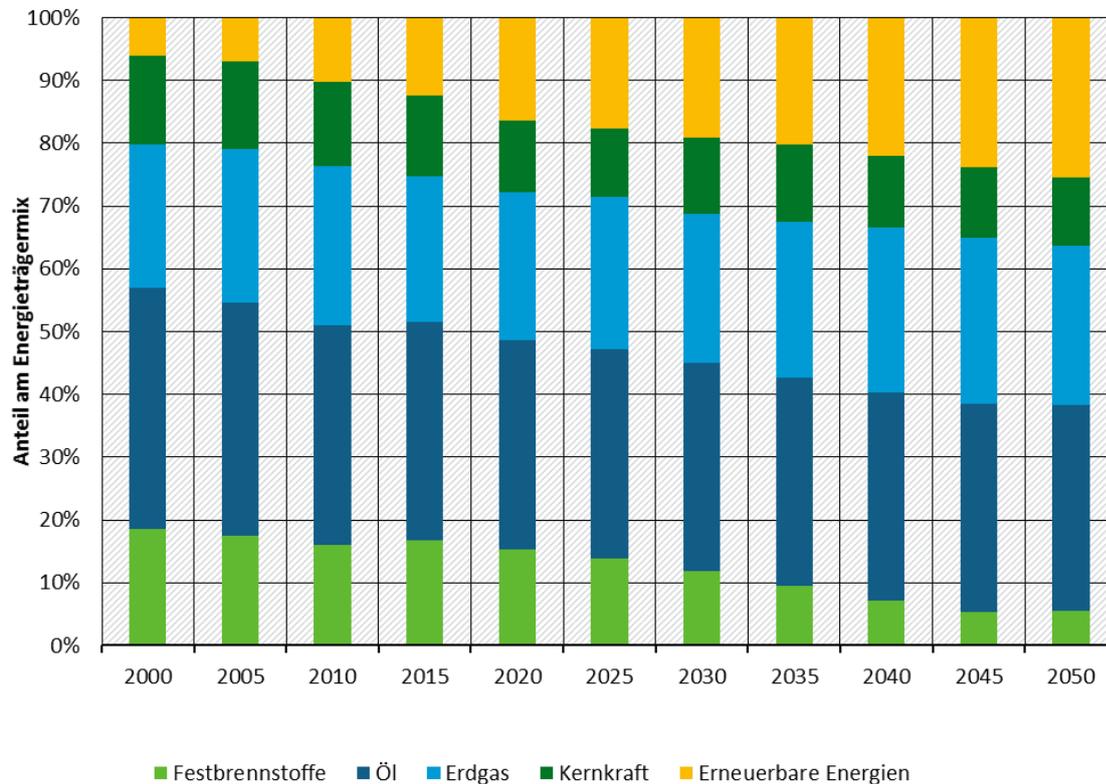
Für die Szenarien der IEA werden unterschiedliche politische Rahmenbedingungen unterstellt: Im „New Policies Scenario“ (1) werden neben den Effekten der bereits realisierten Energiepolitik auch die Auswirkungen weiterer Maßnahmen berücksichtigt, die Bestandteile von angekündigten Plänen und Zielvorgaben sind und somit als wahrscheinlich erachtet werden können. Das „Current Policies Scenario“ (2) wird hingegen ausschließlich auf der Grundlage umgesetzter Politikmaßnahmen berechnet. Beim „Sustainable Development Scenario“ (3) wird ein anderer Ansatz verfolgt: Anhand einer beabsichtigten Vorgabe für das Zieljahr, die im Einklang mit den internationalen Klimaschutzziele steht, wird für die vorangegangenen Jahre berechnet, wie sich der Energiesektor entwickeln muss, um die Pläne zu erfüllen. Somit bleibt der projizierte Energieverbrauch nach diesem Szenario bis zum Jahr 2040 auf einem ähnlichen Niveau wie heute (2015), wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Hingegen wird der Energieverbrauch den ersten beiden Szenarien zufolge weiter ansteigen, wobei durch die Einführung der geplanten Maßnahmen ein geringerer Anstieg erzielt werden könnte.

Abbildung 8: Historische (2000 und 2015) und projizierte Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs

Quelle: IEA 2017. Eigene Darstellung. Anmerkung: Zu beachten sind die unterschiedlichen Zeitabstände zwischen den Datenpunkten.

Auf europäischer Ebene bietet das Referenzszenario der EU (2016) einen Ausblick auf die mögliche Entwicklung der Energieverbräuche der 28 Mitgliedsstaaten bis 2050. Bei einer simultanen Betrachtung von BIP und Energieverbrauch stellen die Vorausberechnungen eine Entkopplung in Aussicht. Für die Erbringung der steigenden Wirtschaftsleistung wird weniger Energie benötigt, was durch eine höhere Effizienz beim Energieeinsatz ermöglicht wird. Allerdings stellt dieses Szenario kein Ziel-Szenario dar, bei dem alle Langfristziele der EU im Energie- und Klimabereich erreicht werden. Vielmehr werden Zielszenarien am Referenzszenario gespiegelt, um den politischen Handlungsbedarf aufzuzeigen.

Nicht allein die Menge an benötigter Primärenergie bestimmt die zukünftige Ressourcenbeanspruchung, sondern auch die Zusammensetzung aus den eingesetzten Energieträgern spielt eine Rolle. Abbildung 9 zeigt, dass die Menge an erneuerbaren Energien deutlich zunimmt und auch in Relation zu den anderen Energieträgern an Bedeutung gewinnt. Die Anteile an Kernkraft, Erdgas und Öl bleiben nahezu unverändert, während der Einsatz von Festbrennstoffen (Kohle) sinkt.

Abbildung 9: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch im Referenzszenario in den EU-28-Mitgliedsstaaten

Quelle: EU 2016. Eigene Darstellung.

Für Deutschland existieren verschiedene Trend- und Zielszenarien für die Entwicklung des Energieverbrauchs, Abbildung 21 in Kapitel 4.2 zeigt diese für den Primärenergieverbrauch (PEV). Trotz eines weiterwachsenden BIPs wird in allen Projektionen eine deutliche Senkung des PEV angezielt. Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung wird eine Halbierung des Primärenergieverbrauchs bis 2050 gegenüber 2008 angestrebt, was in den drei unteren Zielszenarien KS 80, KS 95 und Prognos-Zielszenario etwa erreicht wird.

Im Zusammenhang mit den Energieprojektionen steht die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen, da diese zu einem großen Teil durch die Energieerzeugung und -nutzung verursacht werden. „KS80“ und „KS95“ in Abbildung 22 in Kapitel 4.2 markieren die Klimaschutzziele der Bundesregierung, nach denen im Jahr 2050 die Treibhausgas-Emissionen um 80 % bis 95 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 gesenkt werden sollen. Obwohl auch hierbei ein breiter Projektionsraum aufgespannt wird, zeichnen alle dargestellten THG-Entwicklungen die gleiche Tendenz nach, nämlich eine deutliche Minderung der Emissionen.

In Energieprojektionen für Deutschland (Prognos, EWI, GWS 2014) zeigen sich vergleichbare Muster wie auf EU-Ebene: Der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieaufkommen wächst bis 2050 stetig an, die Projektion hierfür verläuft von 11 % im Jahr 2011 auf 35 % im Jahr 2050. Die Anteile von Gas und Öl verändern sich nicht wesentlich: Während der Anteil von Öl über den gesamten Projektionszeitraum kontinuierlich, aber eher wenig abnimmt (um 6 Prozentpunkte), schwankt der Anteil von Erdgas und liegt schließlich mit 24 % im Jahr 2050 leicht höher als 2011 (21 %). Der Beitrag von Festbrennstoffen zum Primärenergieaufkommen hal-

biert sich nahezu auf knapp 14 % bis 2050. Kernenergie ist in der Projektion für Deutschland angesichts des Atomausstiegs nur bis 2020 Bestandteil des Energiemixes. Abhängig von den politischen Ambitionen zum Klimaschutz fallen die Verschiebungen zu erneuerbaren Energien und Energieeffizienz unterschiedlich stark aus.

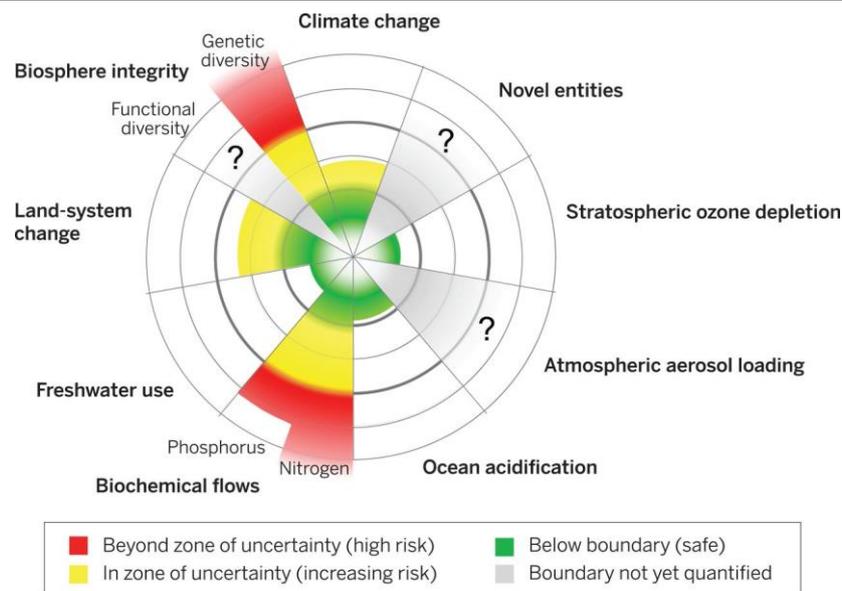
2.2.3 Umweltbezogene Megatrends

Die EEA (2015) hebt als umweltbezogene Megatrends die wachsende Belastung der Ökosysteme, die zunehmenden Konsequenzen des Klimawandels sowie die steigende Umweltverschmutzung hervor. Auch die OECD stellt diverse Entwicklungen rund um die Themen Klimawandel und Umweltverschmutzung zusammen (OECD 2016). In einer Umweltprojektion (OECD 2012) werden auf Grundlage von sozioökonomischen Ausgangsdaten Entwicklungen in den Bereichen Klimawandel, Biodiversität, Wasser und Gesundheit bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben. Diese Bereiche sind teilweise eng miteinander verknüpft. Aufgrund des Klimawandels durch THG-Emissionen wird die Anzahl an Hitzewellen und die Höhe der globalen Durchschnittstemperatur zunehmen. Die Ökosysteme erleiden einen Verlust an Biodiversität, besonders betroffen sind Wälder und Urwälder, die zum Zweck einer anderen Landnutzung abgeholzt werden. Auch die Meeresökosysteme sind durch Überfischung bedroht.

Im Bereich Wasser droht eine Zunahme von Knappheit, die zu einem beschränkten Zugang zu Wasser führen kann. Zudem ist auch die Qualität von Oberflächengewässern in einigen Teilen der Erde kritisch, die durch Einträge von Nährstoffen aus der Landwirtschaft und schlechten Abwasserreinigungsanlagen beeinträchtigt werden. Darüber hinaus nimmt das Risiko von wasserbezogenen Katastrophen wie Fluten oder Dürren auch durch den Klimawandel zu.

In Bezug auf die menschliche Gesundheit wird insbesondere die Luftverschmutzung durch Feinstaub, Stickstoffoxide und Schwefeldioxid als Gefahr gesehen. Besonders in Städten sind die Menschen betroffen und es werden vorzeitige Todesfälle infolge der niedrigen Luftqualität eintreten.

Eine Orientierungshilfe zur Einschätzung von Umweltschäden bieten die planetaren Grenzen („Planetary Boundaries“) (Steffen 2015), die in Abbildung 10 gezeigt werden. Hierbei werden neun Dimensionen betrachtet, für die jeweils das Ausmaß der Belastung bewertet wird. Aktuell werden die Belastungsgrenzen für vier Dimensionen als bereits überschritten erachtet, von denen zwei noch im unsicheren Bereich liegen (Klimawandel und Landnutzungsänderung). Für biogeochemische Kreisläufe und Biodiversitätsverlust sind die globalen Grenzen bereits überschritten, sodass von diesen Dimensionen ein besonders hohes Risiko ausgeht. Für den stratosphärischen Ozonabbau, die Übersäuerung der Ozeane und den Süßwasserverbrauch liegen die Werte unterhalb der Belastungsgrenze. Die Quantifizierung für zwei weitere Dimensionen (Belastung durch Chemikalien und atmosphärische Aerosole) liegt auf globaler Ebene nicht vor. Im Vergleich mit den Umwelt-Megatrends der EEA ergeben sich große Überschneidungen, sodass die „Planetary Boundaries“ auch zukünftig ein geeignetes Instrument zur Schadensmessung darstellen dürften. Berücksichtigt werden muss zusätzlich die regionale Differenzierung. So gilt z. B. die Bewertung des als unkritisch erachteten Wasserverbrauchs in einigen Teilen der Erde nicht, was durch die globale Perspektive nicht erkennbar ist. Die Probleme der Stickstoffüberschüsse vor allem in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen und der Biodiversitätsverlust (Stichwort: Insektensterben) sind auch für Deutschland zu konstatieren.

Abbildung 10: Planetare Grenzen (Planetary Boundaries) und ihre aktuelle Belastung

Quelle: Steffen et al. 2015.

Als weiteren Megatrend im Umweltbereich wirft das UBA (2014a) das Thema „Ernährung“ auf und bezieht sich dabei auf die Projektionen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO 2017). Die zugrunde liegenden Wirtschaftsdaten basieren auf Schätzungen des Internationalen Währungsfonds und der OECD. Hier wird die Entwicklung von Konsum, Produktion, Handel und Preisen landwirtschaftlicher Produkte bis zum Jahr 2026 vorausberechnet und für die Warengruppen Getreide, Ölpflanzen und -produkte, Zucker, Fleisch, Milcherzeugnisse, Biokraftstoffe sowie Baumwolle genauer betrachtet. Die globale Nachfrage und der weltweite Handel mit landwirtschaftlichen Produkten werden demnach weiterhin wachsen, allerdings mit einer geringeren Wachstumsrate als im vergangenen Jahrzehnt und mit großen regionalen Unterschieden. Um dem wachsenden Konsum nachkommen zu können, wird auch die Produktion zunehmen, indem zum einen der Bodenertrag wächst und zum anderen die Anbaufläche ausgeweitet wird. Die projizierte Preisentwicklung gibt eine weniger eindeutige Richtung vor: Für die meisten Erzeugnisse werden Preise erwartet, die auf einem ähnlichen Niveau wie heute bleiben, aufgrund der hohen Volatilität in den letzten Jahren ist diese Projektion allerdings mit Vorsicht zu betrachten.

Die Ausweitung der globalen Nahrungsmittelproduktion ist in Beziehung zu den planetaren Grenzen zu setzen. Bodenerosion, Verlust von Biodiversität oder Belastungsgrenzen überschreitende Stoffströme könnten die globalen Produktionsmöglichkeiten einschränken, wobei technischer Fortschritt und Verhaltensänderungen wie eine Begrenzung des Fleischkonsums weitere Stellgrößen sind, um eine wachsende Weltbevölkerung innerhalb der planetaren Grenzen zu ernähren.

2.2.4 Technologische Megatrends

Im technologischen Bereich wird allgemein von einer Beschleunigung der Entwicklungen gesprochen. Dies betrifft sowohl die Innovation, d. h. die Schaffung neuer Produkte und Prozesse als auch die Verbreitung von Neuerungen (Imitation). Die EEA (2015) unterstreicht hauptsächlich die zukünftige Bedeutung der sogenannten NBIC-Technologien (Nano-, Bio-, und Informationstechnologie sowie Neurowissenschaften), die sich bereits in der Medizin und der Landwirtschaft etabliert haben und in Zukunft in alle Lebensbereiche integrieren werden.

Digitale Transformation, Big Data, künstliche Intelligenz, Automatisierung und Vernetzung sind nur einige Begriffe aus der Informationstechnologie, die technologische Megatrends beschreiben. Die genaue Vorhersage und Quantifizierung dieser Entwicklungen und ihres Veränderungspotentials für alle Lebensbereiche ist aber unmöglich.

Diese Entwicklungen könnten zukünftig für eine Verringerung der Vulnerabilität genutzt werden, etwa wenn bei Hitzewellen die Flüssigkeitsaufnahme von Pflegebedürftigen erfasst wird oder Warnschwellen von Raumtemperaturen wie bei einem Rauchmelder als Teil von (Haus-)Notrufsystemen eingeführt werden. Umgekehrt ist auch vorstellbar, dass die Vulnerabilität steigt, wenn neue Systeme anfällig für Folgen des Klimawandels sein sollten.

Das UBA (2014a) konzentriert sich in diesem Themenfeld auf die Fortschritte in der Mobilität und der Digitalisierung. Insbesondere ein Anstieg der Elektromobilität wird erwartet, welche durch sinkende Preise von Elektrofahrzeugen, Erhöhung der Reichweite und Verbesserung der Infrastruktur der Ladestationen an Attraktivität gewinnen wird. Der angenommene Preisanstieg fossiler Treibstoffe wird die Nachfrage nach Elektro-Fahrzeugen als Substitute für herkömmliche Kraftfahrzeuge zusätzlich verstärken. Zudem werden im Verkehrsbereich Multi- und Intermodalität an Bedeutung gewinnen, wodurch es zu einer Gewichtsverschiebung der unterschiedlichen Verkehrsträger kommt: Während der ÖPNV immer wichtiger wird, wird das Auto als individuelles Eigentum einen niedrigeren Stellenwert einnehmen, vielmehr wird es zwecks Carsharing Einsatz finden. Für den Güter- und Flugverkehr wird eine Zunahme erwartet, die eine starke Umweltbelastung nach sich zieht, die jedoch dank Effizienzgewinnen geringer ausgestaltet sein wird, als sie es heute wäre. Die Wirkungsrichtung der Digitalisierung auf die Mobilität ist nicht eindeutig. Einerseits können digitale Techniken dazu beitragen, das Verkehrsaufkommen zu senken, z. B. indem Geschäftstermine virtuell stattfinden oder Home-Office-Arbeitsplätze eingerichtet werden. Hingegen kann die Digitalisierung andererseits auch einen steigernden Effekt auf das Verkehrsaufkommen ausüben, da sie beispielsweise eine Ausweitung des Online-Handels ermöglicht und fördert. In den kommenden Jahren könnten das autonome und vernetzte Fahren stark an Bedeutung gewinnen. Die Auswirkungen auf Fahrzeugherstellung und Mobilität, die drastisch sein könnten, sind aber bisher nur in Umrissen absehbar (EC 2017b).

Projektionen zur Verkehrsentwicklung werden im Bundesverkehrswegeplan (BMVI 2016) zur Verfügung gestellt, die sich räumlich auf die gesamte Bundesrepublik und zeitlich bis zum Jahr 2030 erstrecken. Demnach wird das Verkehrsaufkommen ansteigen, wobei die Zunahme im Güterverkehr (von 607,1 im Jahr 2010 auf 837,6 tkm 2030) stärker ausfällt als im Personenverkehr (von 1.117,3 auf 1.261,7 Pkm im gleichen Zeitraum)). Der motorisierte Individualverkehr nimmt dabei lediglich unterdurchschnittlich zu. Die Vorausschätzungen stehen allgemein im Einklang mit den Einschätzungen, die das UBA (2014a) aufführt.

2.2.5 Politische Megatrends

Die Projektionen im politischen Bereich bleiben eher vage. Die EEA (2015) hebt die Notwendigkeit zwischenstaatlicher Zusammenarbeit hervor, die z. B. angesichts der Herausforderungen des Klimawandels wächst. Die Formulierung langfristiger gemeinsamer Ziele oder der Aufbau von supranationalen Interessensgruppen stellen Wege dar, um der wachsenden Relevanz von Netzwerken zu begegnen.

Die OECD (2016) sieht auf der globalen Ebene die Entstehung einer multipolaren Welt und die Machtverschiebung nach Asien als zentrale Megatrends. Diversifizierte und neue Formen von Governance werden ebenfalls genannt. Dies kann das Auseinanderbrechen bisheriger Zusammenschlüsse (z. B. Brexit) und Zusammenarbeit, einen wachsenden Einfluss von Nichtregierungsorganisationen oder die verstärkte Zusammenarbeit gegen internationale Verbrechen

(Steuerhinterziehung, Drogen,...) bedeuten. Hervorzuheben ist dabei auch der wachsende Einfluss einzelner Firmen, die im Technologiebereich neue „natürliche“ Monopole schaffen. In solchen Fällen könnte eine Verstaatlichung wichtiger Konzerne/Technologien eine zukünftige politische Option darstellen.

Die politischen Megatrends liefern kein einheitliches Bild und sind in Szenarien nur begrenzt, etwa über Annahmen zum internationalen Handel, zu quantifizieren. Eher sind sie als Teil der Narrative zu sehen, die die unterschiedlichen Entwicklungen verschiedener Szenarien erklären.

2.3 Quantifizierbarkeit von Megatrends

Die Betrachtung der Megatrends in Kapitel 2.2 zeigt, dass sich langfristige Trends unterschiedlich gut quantifizieren lassen. Einige Megatrends sind für die kommenden Jahrzehnte gut vorhersagbar und mit Zahlen belegbar. Das gilt insbesondere für die Bevölkerungsentwicklung, die nur langsam auf geänderte Annahmen zur Fertilität und Wanderungsbewegungen reagiert. Auch für das Wirtschaftswachstum existieren langfristige Projektionen, wobei die Entwicklung der arbeitsfähigen Bevölkerung als wichtiger Produktionsfaktor u. a. durch die Bevölkerungsentwicklung weitgehend gegeben ist. Daneben spielen Annahmen über technologische Entwicklungen eine Rolle. Länder mit niedrigerem Einkommensniveau haben eher die Möglichkeit, wirtschaftlich aufzuholen und dabei von vorhandenen Technologien und Produktionsverfahren zu profitieren als Länder an der Spitze des technischen Fortschritts. Insofern sagen viele Studien einen weiteren wirtschaftlichen Aufstieg der bevölkerungsreichen Länder Asiens, aber auch des globalen Südens insgesamt voraus.

Bei anderen globalen Trends sind die Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung größer. Ob der internationale Handel in den kommenden Jahrzehnten eher von Freihandel oder Protektionismus geprägt sein wird, ist nicht seriös einschätzbar. Allein, dass sich durch Brexit und Trump-Wahl die diesbezügliche Einschätzung seit 2016 in Richtung Protektionismus verschoben hat, verdeutlicht die Unsicherheit. Auch bei internationalen Abkommen etwa zum Klimaschutz ist unklar, ob und in welchem Umfang sie umgesetzt werden. Umso größer ist die Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung bei Umweltproblemen wie dem Plastikmüll, für deren Beseitigung es kein internationales Abkommen gibt. Anders als bei naturwissenschaftlichen Zusammenhängen fließen in politische Entscheidungen und generell menschliches Handeln sich im Zeitverlauf ändernde Werturteile und Erfahrungen ein, sodass Aussagen über die Zukunft inhärent unsicher sind.

Schließlich gibt es bei technologischen Megatrends begründete Annahmen, dass sich der Wandel beschleunigen und viele Lebensbereiche erfassen wird. Digitalisierung und Innovationen werden das menschliche Leben und Arbeiten massiv verändern. Wie genau, ist unbekannt. Spezifische Projektionen über Jahrzehnte sind nicht möglich. Eine Quantifizierung über Jahrzehnte wäre „Anmaßung von Wissen“.

3 Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

Die SSPs, die im Folgenden beschrieben werden, wurden in gemeinsamer Anstrengung der internationalen wissenschaftlichen Community entwickelt und beschreiben plausible globale Entwicklungen, die in Zukunft zu unterschiedlichen Herausforderungen für die Abschwächung des Klimawandels und die Anpassung an den Klimawandel führen. Die SSPs basieren auf fünf Narrativen, die alternative sozioökonomische Entwicklungen beschreiben. Die langfristigen demographischen und wirtschaftlichen Projektionen der SSPs weisen eine große Bandbreite an globalen Zukünften aus.

3.1 Definition und Überblick

Die Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) wurden ab dem Jahr 2011 im Rahmen des 5. Sachstandsberichts des IPCC für klimapolitische Fragestellungen erstellt (Kriegler et al. 2012). Sie ersetzen die noch vor dem Jahr 2000 entwickelten SRES-Szenarien (vgl. Nakićenović et al. 2000). Wegen der großen Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung stellen die SSPs unterschiedliche globale sozioökonomische Entwicklungen für das 21. Jahrhundert dar. Sie sollen politikrelevante Szenarienräume erfassen. Die SSPs dienen als Basis und Bestandteile für Szenarien (IPCC 2014) und sind ein Teil des breiten Bereichs an möglichen sozioökonomischen Trajektorien in die Zukunft. Sie dienen einerseits als Basis zur Ableitung der Antriebspfade, der Representative Concentration Pathways (RCP), sowie andererseits zur Charakterisierung der Anpassungs- und der Klimaschutz- (Mitigations-) herausforderungen. Sie setzen sich jeweils aus einem Narrativ bzw. einer Storyline und in einem ersten Schritt getrennten Quantifizierungen in verschiedenen globalen Modellen für Bevölkerung (IIASA (KC, Lutz 2017)), Bruttoinlandsprodukt (BIP, getrennte Umsetzungen in jeweils eigenen Modellen von IIASA (Cuaresma 2017), OECD (Dellink et al. 2017) und PIK (Leimbach et al. 2017) und Urbanisierung (NCAR (Jiang, O’Neill 2017)) zusammen. Die Bevölkerungsentwicklung ist dabei ein zentraler Treiber für die BIP-Entwicklung. Darüber hinaus sind zusätzliche Größen wie der Energieverbrauch oder die Landnutzung auf dieser Basis in verschiedenen globalen Impact Assessment Modellen (IAMs) quantifiziert worden. Auf Grundlage der SSPs lassen sich quantifizierte sozioökonomische Szenarien entwickeln, die in Kombination mit RCP-basierten Klimaprojektionen einen Ausgangspunkt für die Analyse von Klimafolgen und -politik bieten (IPCC 2014).

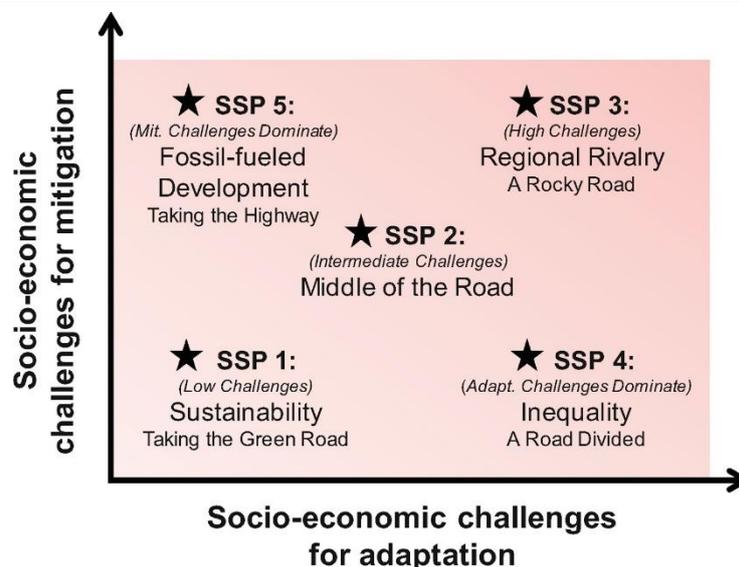
In den Narrativen werden Entwicklungen in den Bereichen Bevölkerung und menschliche Entwicklung, Wirtschaft und Lebensstil, Politik und Institutionen, Technologie, Umwelt und natürliche Ressourcen qualitativ beschrieben (O’Neill et al. 2017). Zusammen spannen die fünf Narrative der SSPs einen umfangreichen Möglichkeitenraum an sozioökonomischen Entwicklungen auf.

Für die fünf SSPs wurden zunächst Baseline- bzw. Referenzentwicklungen bestimmt, die sehr unterschiedliche Energieverbrauchs- und Emissionspfade aufweisen (Riahi et al. 2017). Besonders hoch fällt der zukünftige Energieverbrauch in SSP 5 aus, besonders niedrig in SSP 1. SSP 2, 3 und 4 liegen in dieser Reihenfolge von oben nach unten dazwischen. Auch die THG-Emissionen insgesamt sind in der Baseline von SSP 5 am höchsten. An zweiter Stelle liegt bei den Emissionen in der Baseline SSP 3, wobei die Methanemissionen ab etwa 2070 in SSP 3 am höchsten sind. Die Lachgasemissionen (N_2O) sind in SSP 3 und 4 am höchsten. Entsprechend sind die Klimaschutzherausforderungen (Mitigation) in den Baselineentwicklungen zu SSP 5 und SSP 3 am höchsten, in SSP 1 und SSP 4 sind sie am geringsten. Abhängig vom Klimawandel, der Sensitivität der Bevölkerung, dem politischen Willen zur Anpassung und den finanziellen Möglichkeiten zur Anpassung, vereinfacht dargestellt als Bruttoinlandsprodukt, sind die (zusätzlichen) Anpassungsherausforderungen in den SSPs ebenfalls unterschiedlich. Besonders hoch sind sie in den SSPs 3

und 4. Auf den ersten Blick verwirrend sind die sozioökonomischen Herausforderungen für Anpassung in SSP 5 trotz hohen THG-Emissionen verhältnismäßig gering, weil die finanziellen Anpassungsmöglichkeiten sehr hoch sind und die weltweit Infrastruktur sehr robust gegen jede Form des Klimawandels ist. Leicht nachvollziehbar ist die geringe Anpassungsherausforderung in SSP 1. SSP 2 liegt bei den sozioökonomischen Herausforderungen zu Klimaschutz und Anpassung in der Mitte.

Abbildung 11 zeigt eine entsprechende Matrix mit den Dimensionen „sozioökonomische Herausforderungen für Mitigation“ und „sozioökonomische Herausforderungen für Anpassung“, in die sich die Baselineentwicklungen der fünf SSPs einordnen lassen. SSP 2 hat hinsichtlich beider Dimensionen eine mittlere Ausprägung, die anderen vier SSPs ergeben sich als Kombination jeweils aus niedrigen und hohen Herausforderungen. In SSP 3 und 4 ist Anpassung aus sozioökonomischer Sicht besonders anspruchsvoll, weil in diesen Entwicklungspfaden aufgrund der schwierigen sozioökonomischen Verhältnisse die Anpassungskapazität gering sein wird.

Abbildung 11: Einteilung der SSPs nach ihren sozioökonomischen Herausforderungen für Mitigation und Anpassung



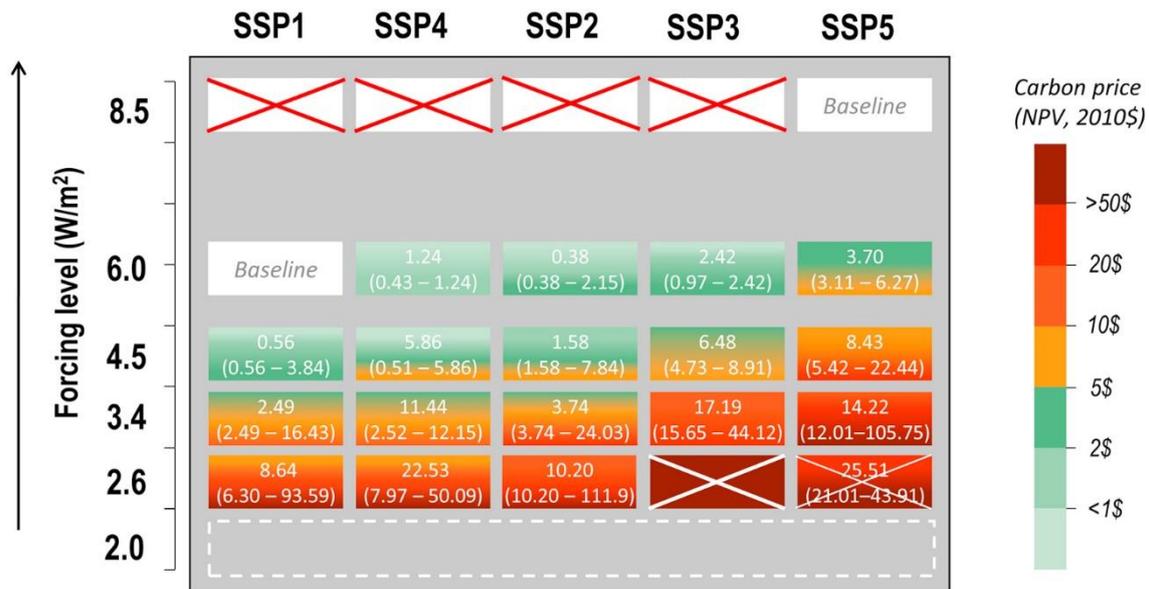
Quelle: O'Neill et al. 2017.

In einem weiteren Schritt wurden mit den IAMS auch Klimaschutzszenarien für die einzelnen SSPs auf Basis einheitlicher Klimapolitikannahmen entwickelt, die der generellen Philosophie der fünf SSPs jeweils entsprechen (Riahi et al. 2017). Damit sind dann in den Modellen unterschiedliche Klimaschutzanstrengungen modelliert worden, die bestimmten Strahlungsantrieben (RCPs) entsprechen. Die RCPs werden nach der Änderung des Strahlungsantriebs benannt (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5), RCP2.6 bedeutet bspw., dass der Strahlungsantrieb bis 2100 um $2,6 \text{ W/m}^2$ gegenüber der vorindustriellen Situation ansteigt.

Abbildung 12 zeigt für bestimmte Quantifizierungen solcher Klimaschutzszenarien, welche Kombinationen von RCPs und SSPs bei bestimmten CO_2 -Preisen realisiert werden können. Bei den globalen CO_2 -Preisen handelt es sich um mit 5 % diskontierte Durchschnittswerte für den Zeitraum von 2010 bis 2100, die nicht einfach mit aktuell realisierten CO_2 -Preisen etwa im Rahmen des EU-ETS verglichen werden können. Die Baselineentwicklung spielt für die Höhe der Klimaschutzanstrengungen in den Modellen eine entscheidende Rolle. Die Ergebnisse sind eher illustrativ in Bezug auf das unterschiedliche Anstrengungsniveau in den SSPs und sollten entspre-

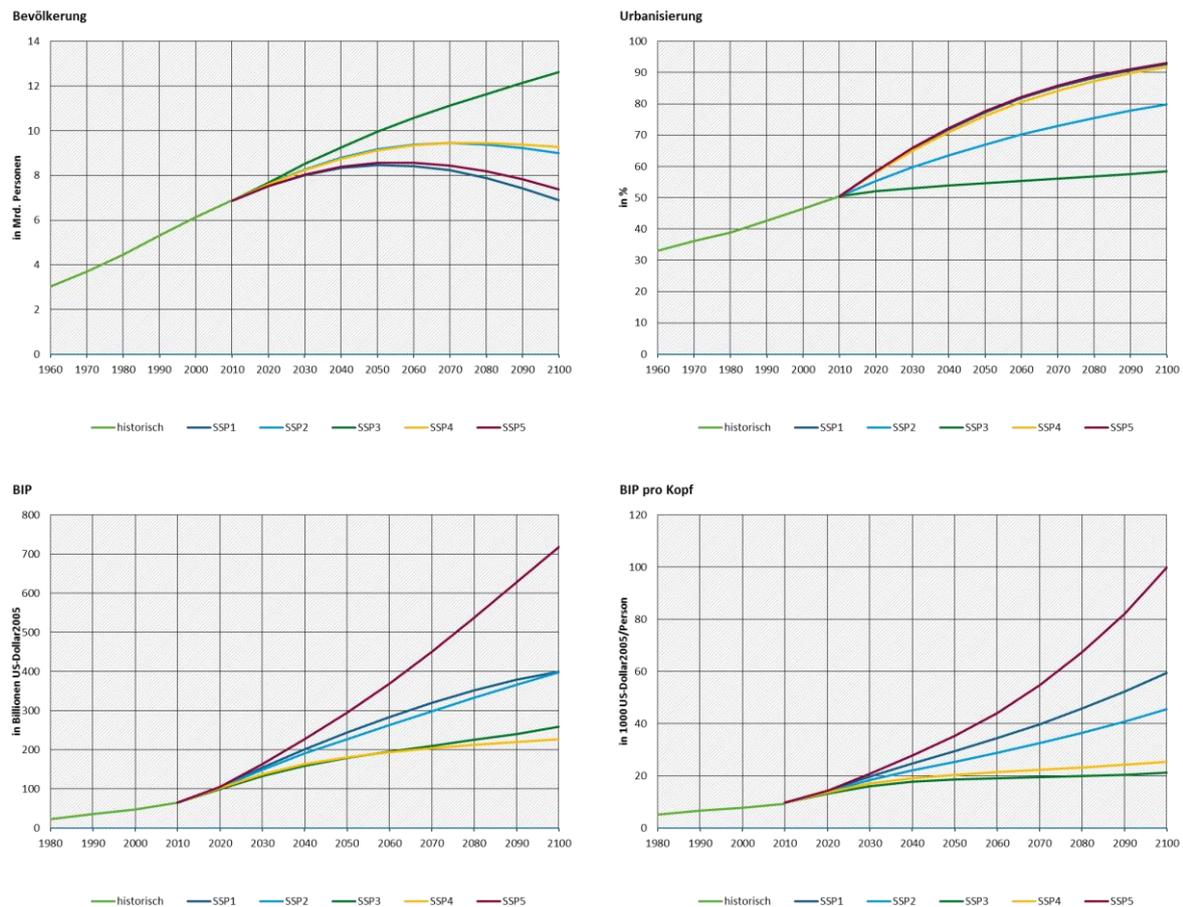
chend nicht überinterpretiert werden. Die SSPs auf der horizontalen Achse sind hierfür aufsteigend nach ihren Anforderungen an Klimaschutz sortiert. Es ergibt sich für die spezifischen Quantifizierungen auf Basis der gewählten Baselines, dass RCP8.5 ausschließlich mit SSP 5 erreicht werden kann und RCP2.6 mit SSP 3 oder 5 auch bei einem hohen CO₂-Preis nicht realisierbar ist. Die Autoren verweisen selbst darauf, dass die Nichterreichung im Modell nicht bedeutet, dass die Erreichung in der Realität unmöglich ist (Riahi et al. 2017). Ausführliche Ergebnisse vieler Quantifizierungen für alle 5 SSPs mit verschiedenen IAMs enthält die IIASA-Datenbank (IIASA 2016). Die Bandbreite des Strahlungsantriebs in den SSP3-Quantifizierungen liegt z. B. im Jahr 2100 zwischen 3,4 und 8,1, für das SSP 2 zwischen 2,6 und 7,1.

Abbildung 12: Beispielhafte Erreichbarkeit der RCPs in Quantifizierungen der SSPs mit IAMs



Quelle: Riahi et al. 2017.

Die SSP-basierten, sozioökonomischen Szenarien lassen sich mithilfe von Integrated Assessment Modellen (IAMs) umfassender quantifizieren. Hierfür müssen die Narrative um zentrale Annahmen z. B. für den Energieverbrauch erweitert werden (siehe hierzu das Zusatzmaterial zu Riahi et al. 2017). Die demographischen und ökonomischen Größen werden schließlich mit spezifischen quantitativen Modellen bestimmt, die zusätzlichen Größen wie der Energieverbrauch werden ebenfalls mit den IAMs berechnet (Riahi et al. 2017). Für die Projektion der Bevölkerungsentwicklung werden spezifische Bevölkerungsmodelle genutzt, die Wachstumsprojektion beruhen auf hoch aggregierten Wachstumsmodellen, die das Wirtschaftswachstum vor allem durch die Produktionsfaktoren Arbeit, in Form von Bevölkerungsentwicklung und Bildungsniveau, und Kapital sowie ihrer Verknüpfung durch den technischen Fortschritt erklären. Je nach Modell(en) können sich deutlich unterschiedliche Ausprägungen für ein SSP ergeben.

Abbildung 13: Quantifizierungen der SSPs im globalen Bezugsrahmen von IIASA (Bevölkerung, BIP, BIP pro Kopf) und von NCAR (Urbanisierung)

Quelle: Eigene Darstellung, Daten zur Verfügung gestellt von IIASA 2016.

Abbildung 13 stellt die verschiedenen Entwicklungen hinsichtlich Bevölkerung und Wirtschaftsleistung nach den SSPs dar. Dieser erste Überblick zeigt, dass bei der Bevölkerungsprojektion SSP 1 und 5 nah beieinanderliegen und zusammen mit SSP 3 den Projektionsraum aufspannen. Bei der BIP-Entwicklung bilden SSP 3 und 5 den unteren und oberen Rand.

Für die Einordnung der SSPs ist das Verständnis ihrer Nutzung wichtig. Sie zielen nicht direkt auf Entscheidungsträger, sondern dienen als Referenzentwicklungen zusammen mit den Klimaschutzszenarien und den RCPs der Analyse von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel. Zukünftig soll die Analyse von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel stärker auch mit der sozioökonomischen Entwicklung verknüpft werden. Zusammenfassend lässt sich sagen: Sie sind Ausgangspunkt für Bemühungen der wissenschaftlichen Community, ein reichhaltigeres Angebot an sozioökonomischen Daten für die entsprechenden Analysen des Klimawandels bereitzustellen.

3.2 Analyse der SSPs

Die SSPs konzentrieren sich auf die Darstellung unterschiedlicher globaler Entwicklungen und unterscheiden sich vor allem für Industrieländer und sich entwickelnde Länder. Quantifizierungen, die nur für wenige Größen für Deutschland vorliegen, sind vor dem globalen Hintergrund mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten.

3.2.1 SSP 1 – Nachhaltigkeit („Taking the Green Road“)

SSP 1 beschreibt eine Entwicklung hin zu mehr Nachhaltigkeit, die sukzessive erreicht und tiefgreifend die Welt verändern wird. Hiermit wird eine Abkehr von einer ressourcenintensiven Lebensweise der Gesellschaft markiert, die von Industriestaaten vorgelebt und von Schwellenländern zunehmend übernommen wird.

Tabelle 3: Charakterisierung des SSP 1

	Merkmale des Narrativs
Bevölkerung	Hohe Bildungs- und Gesundheitsausgaben beschleunigen den demographischen Wandel.
Wirtschaft	Die Bedeutung des Wirtschaftswachstums weicht allmählich dem Wohlergehen der Bevölkerung, das in den Mittelpunkt gerückt wird. Dennoch kann das BIP, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, stark wachsen.
Politik	Zunehmend effektive und beständige Zusammenarbeit von lokalen, nationalen und internationalen Einrichtungen, privaten Unternehmen und der Bevölkerung sorgt für ein besseres Management von globalen öffentlichen Gütern und für eine Verringerung von Ungleichheiten sowohl zwischen als auch innerhalb von Staaten.
Technologie	Technologien werden insbesondere unter dem Aspekt der Umweltfreundlichkeit entwickelt, wodurch auch das Interesse an erneuerbaren Energien wächst.
Umwelt	Die Umweltbedingungen verbessern sich dank hoher Investitionen in neue Technologien und veränderter Steueranreize, die eine höhere Effizienz und einen geringeren Verbrauch von Energie und Ressourcen zur Folge haben.
Ressourcen und Energie	Die Ressourcen- und Energieintensität sinkt infolge eines nachhaltigeren Konsumverhaltens, das in den Industriestaaten vorgelebt wird, und einer Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Energieeinsatz. Nur die erneuerbaren Energien (außer Biomasse) sind gesellschaftlich akzeptierte Energieträger.

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach O'Neill et al. 2017, Bauer et al. 2017.

Dieser Richtungswechsel in der Politik resultiert aus sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Folgen von Umweltschäden und Ungleichheit, die zunehmend nachgewiesen werden können und immer stärker ins Bewusstsein der Bevölkerung rücken (O'Neill et al. 2017). Eine ambitionierte Klimaschutzpolitik passt gut in dieses Szenario, muss aber trotzdem global umfassend umgesetzt werden. Auch die Anpassungskapazität ist durch Verbesserungen des Wohlstands der Bevölkerung, was ausreichende Ausgaben für Anpassungsmaßnahmen erlaubt, sowie durch die Etablierung stabiler Institutionen hoch.

3.2.2 SSP 2 – Mittlere Herausforderungen („Middle of the Road“)

SSP 2 sieht eine ähnliche Entwicklung in den Bereichen Ökonomie, Gesellschaft und Technologie vor wie in der Vergangenheit. Das bedeutet nicht, dass jüngste Trends einfach in die Zukunft extrapoliert werden, sondern dass der Pfad mit den beobachteten Strukturen des letzten Jahrzehnts konsistent ist und dabei weder die untere noch die obere Grenze der möglichen Ergebnisse erreicht (O'Neill et al. 2017). SSP 2 beschreibt also eine Business-as-usual-Entwicklung, in der auch Klimaschutz in beschränktem Umfang betrieben wird. Die Anstrengungen reichen aber bei Weitem nicht aus, um etwa die Pariser Klimaschutzziele zu erreichen.

Tabelle 4: Charakterisierung des SSP 2

	Merkmale des Narrativs
Bevölkerung	Das globale Bevölkerungswachstum ist moderat und lässt in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts nach. Die Bildungsinvestitionen sind zu gering, um die Fertilitätsraten in Entwicklungsländern zu senken, sodass eine Verlangsamung des dortigen Bevölkerungswachstums nicht erzielt werden kann.
Wirtschaft	Die wirtschaftlichen Strukturen gestalten sich wie in der Vergangenheit.
Politik	Die meisten Ökonomien sind politisch stabil, jedoch entwickeln sie sich unterschiedlich und die Einkommen wachsen asymmetrisch.
Technologie	In der Technologie werden weiterhin Fortschritte gemacht, jedoch ohne bahnbrechende Entwicklungen.
Umwelt	Obwohl die Energie- und Ressourcenintensität vor allem in Industriestaaten abnimmt, setzt sich die Umweltbelastung fort.
Ressourcen und Energie	Fossile Ressourcen werden weiterhin genutzt (ggf. unter Einsatz neuer Gewinnungsmethoden).

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach O'Neill et al. 2017.

Die SSP 2 kennzeichnenden Entwicklungen stellen jeweils mittlere sozioökonomische Herausforderungen an Klimaschutz und Anpassung, die sich jedoch zwischen und innerhalb von Staaten stark unterscheiden.

3.2.3 SSP 3 – Regionale Rivalität („A Rocky Road“)

SSP 3 ist von einem dominierenden Protektionismus gekennzeichnet, der von Sorgen um Wettbewerbsfähigkeit und Sicherheit und von räumlichen Konflikten angetrieben wird. Dieses Narrativ steht also im Kontrast zu dem Globalisierungstrend der letzten Jahrzehnte, was unter der Annahme möglich ist, dass bestimmte Ereignisse die gegenwärtigen Entwicklungen umkehren können (O'Neill et al. 2017). Der Ausstieg der USA aus dem pazifischen Handelsabkommen (TPP), der Brexit und die aktuelle Forderung der Trump-Regierung nach besseren Handelsbedingungen und Drohung mit Protektionismus, wenn die Forderungen nicht erfüllt werden, gehen in Richtung regionaler Rivalität.

Tabelle 5: Charakterisierung des SSP 3

	Merkmale des Narrativs
Bevölkerung	Bevölkerungswachstum ist in Industrieländern niedrig und in Entwicklungsländern hoch.
Wirtschaft	Die Wirtschaftsleistung und auch der Welthandel wachsen langsam.
Politik	Infolge eines wiederauflebenden Nationalismus orientiert sich die Politik zunehmend an nationalen und regionalen Belangen. Die Anzahl an autoritären Regierungsformen nimmt zu, Ungleichheiten bleiben bestehen oder wachsen.
Technologie	Technologische Entwicklungen verlaufen infolge von geringeren Investitionen verlangsamt.
Umwelt	Die begrenzte Anzahl an und die geringe Wirksamkeit von globalen Organisationen und eine geringe Priorität des Umweltschutzes führen zu hohen Umweltbelastungen.
Ressourcen und Energie	Aufgrund der politischen Lage sind die Handelsbarrieren hoch, insbesondere für den Energie- und Landwirtschaftssektor. Die Konsumweise verursacht einen hohen Rohstoffbedarf. Der wirtschaftliche Erfolg und der Energieeinsatz sind stark aneinander gekoppelt.

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach O'Neill et al. 2017, Bauer et al. 2017.

Sowohl für Mitigation als auch für Anpassung ergeben sich in diesem Szenario hohe sozioökonomische Herausforderungen. Erstere werden zum einen durch die zunehmende Ressourcenintensität und die mithin hohe Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bedingt. Außerdem kommen der langsame technische Fortschritt, die soziale Ungleichheit (insbesondere zwischen Ländern) und die geringe internationale Zusammenarbeit belastend hinzu, welche sich in Kombination mit einem langsamen Einkommenswachstum auch erhöhend auf die Anpassungsherausforderungen auswirken.

3.2.4 SSP 4 – Ungleichheit („A Road Divided“)

Ungleiche Verhältnisse sowohl in als auch zwischen Ländern charakterisieren SSP 4. Die Bevölkerung ist geteilt in einerseits eine weltweit miteinander verbundene Gesellschaftsschicht, die zur wissens- und kapitalintensiven globalen Wirtschaft beiträgt. Auf der anderen Seite stehen fragmentierte Bevölkerungsgruppen, die in arbeitsintensiven und wenig technologieorientierten Wirtschaftsbereichen arbeiten und mit einem niedrigen Bildungsstand und Einkommen auskommen müssen. Zu einer solchen Entwicklung können verschiedene Faktoren beitragen: Zum einen wirkt sich der technologische Fortschritt ungleich auf die Beschäftigung aus, der insbesondere Arbeitsplätze gefährdet, für die lediglich eine geringe Qualifikation erforderlich ist. Auch stark unterschiedliche Investitionen in Bildung verstärken ungleiche Chancen auf dem Arbeitsmarkt. Außerdem wird für dieses Narrativ angenommen, dass weniger vermögende Personengruppen einen geringen politischen Einfluss haben und ihre Chancen auf Kreditgewährung beschränkt sind (O'Neill et al. 2017).

Tabelle 6: Charakterisierung des SSP 4

	Merkmale des Narrativs
Bevölkerung	Der soziale Zusammenhalt lockert sich und Konflikte und Unruhen verbreiten sich zunehmend. Die Bevölkerungszahl wächst in Industriestaaten wenig, in Industrie- und Schwellenländern relativ stark. Entwicklungsausgaben z. B. für Gesundheit und Bildung sind ungleich verteilt, allgemein in Industriestaaten mittel und in Entwicklungsländern gering.
Wirtschaft	Während das Wirtschaftswachstum in Industriestaaten und Schwellenländern moderat ist, bleiben Entwicklungsländer zurück.
Politik	Macht konzentriert sich auf eine kleine Oberschicht aus Politik und Wirtschaft.
Technologie	Nur in den hochtechnisierten Ökonomien und Sektoren ist der technologische Fortschritt groß.
Umwelt	Umweltpolitik konzentriert sich in den Industrie- und Schwellenländern auf einzelne Gebiete, vulnerable Regionen sowie globale Probleme werden kaum beachtet.
Ressourcen und Energie	Um Preisschwankungen für fossile Brennstoffe auszugleichen, investieren Energieunternehmen sowohl in CO ₂ -intensive –Is auch -arme Energieträger.

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach O'Neill et al. 2017.

Aufgrund einiger Bemühungen zur Entwicklung von CO₂-armen Technologien und der schnellen Reaktionsfähigkeit von internationalen politischen und wirtschaftlichen Organen gestalten sich die sozioökonomischen Klimaschutzmöglichkeiten hoch. Die Anforderungen an Anpassung sind hingegen für den Großteil der Bevölkerung in Entwicklungsländern hoch, die Anpassungskapazitäten aber gering, da ihr Zugang zu Institutionen, mit deren Hilfe sie Wirtschafts- und Umweltkrisen bewältigen könnten, stark begrenzt ist.

3.2.5 SSP 5 – Fossil befeuerte Entwicklung („Taking the Highway“)

SSP 5 zeichnet sich durch eine wirtschaftsliberale Grundüberzeugung aus, die auf die Effektivität von Wettbewerbsmärkten und Innovationen vertraut und eine hohe Partizipation der Gesellschaft unterstützt. Zentrale Voraussetzung hierfür ist die Beschleunigung der Globalisierung sowie des technischen Fortschritts (O'Neill et al. 2017).

Tabelle 7: Charakterisierung des SSP 5

	Merkmale des Narrativs
Bevölkerung	Hohe Investitionen in Gesundheit und Bildung lassen die Fertilitätsrate in Entwicklungsländern sinken, während sie in Industriestaaten aufgrund der positiven wirtschaftlichen Aussichten auf oder sogar über die Reproduktionsrate ansteigt. Die globalen Bevölkerungszahlen erreichen im 21. Jahrhundert ihr Maximum.
Wirtschaft	Die globale Wirtschaft wächst schnell, was sich vor allem auf die Entwicklung in Industrie- und Schwellenländern zurückzuführen ist. Die Marktstrukturen halten den Wettbewerb aufrecht und beseitigen Beteiligungsbarrieren von benachteiligten Bevölkerungsgruppen.
Politik	Die Politik genießt ein großes Vertrauen in Bezug auf die Fähigkeit, mit sozialen und ökologischen Problemen umzugehen. Durch das Öffnen der Arbeitsmärkte steigt die internationale Mobilität und Einkommensungleichheiten werden abgebaut.
Technologie	Schnelle technologische Entwicklung und Austausch werden unter dem Einsatz von fossilen Brennstoffen erreicht.
Umwelt	Zwar können lokale Umweltprobleme effektiv durch technologische Lösungen behoben werden. Auf globaler Ebene gibt es jedoch nur geringe Anstrengungen, da die Vermeidung von Umweltbelastungen als Trade-off zum wirtschaftlichen Fortschritt wahrgenommen wird.
Ressourcen und Energie	Ein ressourcen- und energieintensiver Lebensstil verbreitet sich weltweit, dem mit einer Ausbeutung fossiler Ressourcen begegnet wird. Der Nutzung fossiler Brennstoffe wird eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz entgegengebracht, erneuerbare Energien sind hingegen wenig anerkannt.

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach O'Neill et al. 2017, Bauer et al. 2017.

Infolge des hohen Einsatzes fossiler Brennstoffe und der fehlenden Umweltbedenken auf globaler Ebene sind die sozioökonomischen Herausforderungen für Klimaschutz hoch, weil Klimaschutz Priorität hat und die THG-Emissionen auch im Vergleich zu den anderen SSP-Baselines sehr hoch ausfallen werden. Hingegen ist angesichts der hohen Entwicklungsziele, des robusten Wirtschaftswachstums und der hochtechnisierten Infrastruktur eine hohe Anpassungskapazität an den fortschreitenden Klimawandel vorhanden. Dabei wird unterstellt, dass mit ausreichenden finanziellen Mitteln bei vorhandener Technik, gut ausgebauter Infrastruktur weltweit sowie stabilen Institutionen schnell ein hohes Maß an Anpassung an den Klimawandel erreicht werden kann, weil dies politisch gewollt und angesichts des schnellen Klimawandels auch unbedingt notwendig ist.

3.2.6 Vergleich der SSPs

Beim Vergleich der SSPs untereinander ergeben sich trotz der unterschiedlichen Grundphilosophien einige Überschneidungen. Insbesondere zwischen SSP 1 und 5 gibt es aufgrund der progressiven Einstellung viele Berührungspunkte: Eine große Kongruenz findet sich somit in der menschlichen Entwicklung, welche Bildung, Gesundheitsausgaben, Zugang zu Krankenhäusern, Wasser und Sanitäranlagen, Geschlechtergleichstellung, Gerechtigkeit, sozialer Zusammenhalt sowie Teilhabe am gesellschaftlichen Leben umfasst (O'Neill et al. 2017). Diese Bereiche sind sowohl in SSP 1 als auch in SSP 5 in ihrer Entwicklung weit fortgeschritten; unter anderem dadurch werden auch soziale und ökonomische Ungleichheiten abgebaut. In SSP 5 sinken diese durch das starke wirtschaftliche Aufholen der Schwellen- und Entwicklungsländer insbesondere zwischen Regionen.

Als Grundlage wird in beiden Szenarien von einer globalisierten Welt ausgegangen, in der die Märkte vernetzt sind und freier Handel stattfindet. Jedoch wird in SSP 1 regionale Produktion im Sinne der Nachhaltigkeit gestärkt. Der technologische Fortschritt ist ebenfalls in beiden Szenarien schnell, wenngleich dessen Orientierung unterschiedlich ist: Während er sich in SSP 5 auf die Nutzung fossiler Energieträger konzentriert, wendet er sich in SSP 1 davon ab.

Zwischen SSP 3 und 5 lassen sich Übereinstimmungen finden, die sich besonders auf die fehlende Berücksichtigung von Umweltproblemen zurückführen lassen. Somit ergeben sich in beiden Szenarien eine ressourcenintensive Lebensweise und ein hoher Energiebedarf.

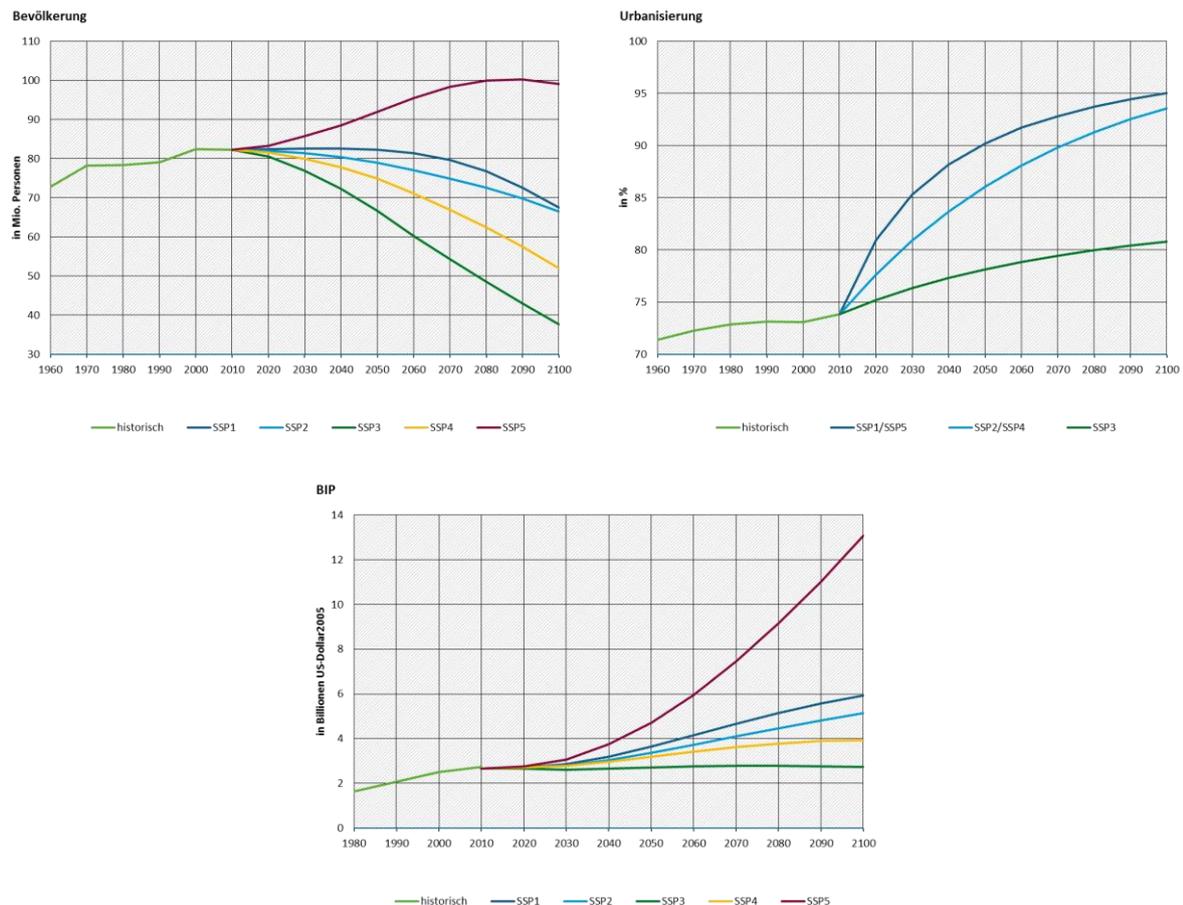
Im Vergleich der SSPs nimmt SSP 4 eine besondere Stellung ein, da sich hier die Welt nicht einheitlich entwickelt, sondern große Unterschiede zwischen Regionen und Bevölkerungsgruppen existieren. Entsprechungen zu den anderen Szenarien lassen sich nur in Betrachtung einzelner Bereiche identifizieren. So findet sich der hochentwickelte Technologiestandard der SSPs 1 und 5 in SSP 4 bspw. in einem Industriestaat wie Deutschland wieder.

SSP 2 lässt sich schwer mit den anderen Szenarien vergleichen, da es die mittlere Variante abbildet und sich somit keine markanten Ausprägungen ergeben.

3.2.7 Bedeutung der SSPs für Deutschland

Die Narrative der SSPs wurden in erster Linie für den internationalen Kontext entworfen. Die Anwendung auf einzelne Weltregionen oder Ländergruppen ist teilweise unproblematisch, teilweise lässt sie sich gerade auf Länderebene nur mit Differenzierungen und regionalen Anpassungen durchführen. Ein Vergleich der Quantifizierungen für Deutschland, die von IIASA (2016) zur Verfügung gestellt und in Abbildung 14 abgebildet werden, mit den internationalen Daten, die in Abbildung 13 dargestellt werden, bestätigt sowohl Parallelen als auch Unterschiede zwischen den räumlichen Ebenen.

Eine analoge Entwicklung nach den einzelnen SSPs ergibt sich für die Wirtschaftsleistung: Im deutschen wie im internationalen Kontext verspricht SSP 5 das höchste BIP-Wachstum, während SSP 3 die mögliche Wirtschaftsentwicklung am unteren Rand nachzeichnet. Für die Bevölkerungsentwicklung ergeben sich unterschiedliche Tendenzen: So liegt die Bevölkerungsprojektion auf deutscher Ebene wegen der hohen Zuwanderung in SSP 5 am höchsten, auf weltweiter Ebene hingegen in SSP 3. Die sehr hohen zukünftigen Urbanisierungsquoten in allen SSPs außer 3 erscheinen aus derzeitiger nationaler Perspektive nur schwer nachvollziehbar, gerade auch im Vergleich zur historischen Entwicklung, die in Deutschland deutlich langsamer verlaufen ist als in vielen anderen Teilen der Welt und auch Europas.

Abbildung 14: Quantifizierungen für Deutschland nach IIASA (Bevölkerung, BIP) und NCAR (Urbanisierung)

Quelle: Eigene Darstellung, Daten zur Verfügung gestellt von IIASA 2016.

Für einige der in den Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.5 beschriebenen Charakteristika Bevölkerungsentwicklung, BIP und Urbanisierung lassen sich die SSPs nach einer ersten Einschätzung der Autoren auf Deutschland übertragen. Im Folgenden werden erste Aussagen darüber getroffen, wie sich die SSPs grob auf die deutsche Ebene übertragen ließen.

SSP 1

Wie in fast allen Projektionen für Deutschland sinken die Bevölkerungszahlen langfristig zwar, jedoch entwickeln sie sich auf einem relativ hohen Niveau. Die hohe Lebenserwartung aufgrund der guten medizinischen Versorgung trägt dazu bei. Auch wenn das Wirtschaftswachstum nicht alleinige Zielgröße der Politik ist, wächst das BIP aufgrund der global vernetzten Märkte und geringen Barrieren trotzdem deutlich. Als Teil des globalen politischen Netzwerks orientiert sich die deutsche Politik an einer nachhaltigen Entwicklung, für die sie sich stärker mit lokalen und globalen Umweltproblemen befasst und striktere Regulierungsmaßnahmen für Schadstoffe einleitet.

SSP 2

Die Parameter zur Fertilitäts- und Sterberate sowie zur Migration folgen dem historischen Muster, die Bevölkerungszahlen entwickeln sich also auf einem mittleren Pfad. Auch beim BIP setzt sich der vergangene Trend fort, sodass sich ein mittleres Wirtschaftswachstum einstellt.

SSP 3

Die Bevölkerungszahlen sinken deutlich, wofür vor allem die räumliche „Abschottung“ in Form sehr geringer Zuwanderung verantwortlich ist. Der globale Handel wird stark begrenzt, sodass das BIP angesichts der hohen Exportabhängigkeit der deutschen Wirtschaft kaum wachsen kann. Im Sinn von SSP 3 sieht sich Deutschland als rohstoffarmes Land einerseits dazu gezwungen, den Einsatz von fossilen Energieträgern zu senken und die technologische Entwicklung an den eigenen Energiequellen zu orientieren. Andererseits fällt der technische Fortschritt eher gering aus, so dass vor allem heimische Braunkohle als Energieträger sowie Importe fossiler Energieträger den Verbrauch decken dürften. Hier zeigen sich auch gewisse Grenzen der Übertragbarkeit der SSPs auf einzelne Länder. Zur vollständigen Energiegewinnung in Deutschland müsste der technische Fortschritt bei erneuerbaren Energien hoch sein.

Die SSPs sind räumlich nur wenig differenziert. Deutschland könnte politisch bzw. wirtschaftlich Teil einer nur wenig integrierten EU sein, vielleicht in Form einer Zollunion, die in jedem Fall, ob an der gemeinsamen Außengrenze oder den jeweiligen nationalen Grenzen, Zuwanderung von außen strikt unterbindet. Die Bevölkerungszahlen deuten darauf hin, dass auch innerhalb der EU keine Wanderungsbewegungen stattfinden dürften.

SSP 4

Infolge der unsicheren Zukunftsperspektiven ist die Fertilitätsrate gering, sodass die Bevölkerungszahlen in SSP 4 relativ stark sinken. Für das BIP ergibt sich lediglich ein moderates Wachstum. Deutschland ist in die globalisierte Weltordnung integriert. Die Politik kümmert sich um die lokale Umwelt, vernachlässigt jedoch globale Themen und vulnerable Gebiete und Bevölkerungsgruppen. Als hochtechnisiertes Land kann ein schneller technologischer Fortschritt verzeichnet werden, an dem ärmere Bevölkerungsschichten nur wenig teilhaben können.

SSP 5

Eine hohe Fertilitätsrate und aufgrund der hohen Gesundheitsausgaben weiter zunehmende Lebenserwartung sowie der hohe Migrationsstrom nach Deutschland führen zu einer wachsenden Bevölkerungszahl. Aufgrund der stark globalisierten Wirtschaft und des zunehmenden internationalen Handels kann das BIP sehr stark wachsen. Der technologische Fortschritt wird an die Nutzung fossiler Energieträger geknüpft. An diesem Punkt wird sichtbar, dass die Übertragung auf die nationale Ebene nicht immer ganz stringent möglich ist, weil Deutschland nur über Kohlereserven in großem Umfang verfügt und nur die Braunkohle bei fehlendem CO₂-Preis wirtschaftlich genutzt werden kann. Hohe Importe fossiler Energieträger, CCS und vielleicht auch der Einsatz etwa von Fracking zur Öl- und Gasgewinnung wären Teil der nationalen Energieversorgung.

3.3 Auswahl von drei SSPs im Vorhaben**3.3.1 Vergleich der Rahmendaten für Deutschland**

Um eine erste Einschätzung über die Eignung der SSPs für die deutschlandweiten Szenarien geben zu können, werden im Folgenden die Quantifizierungen für Bevölkerung, Urbanisierung und BIP mit den Ergebnissen aus Kapitel 2 verglichen.

3.3.1.1 Bevölkerung

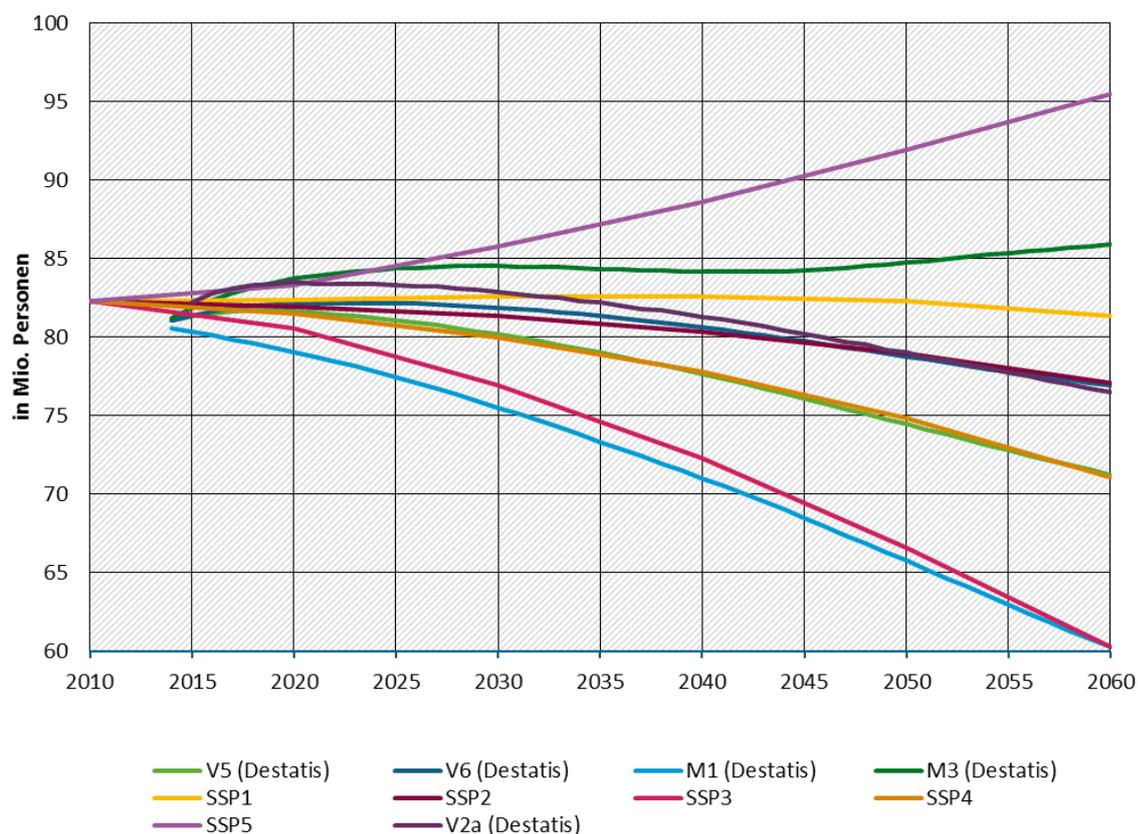
Zur Bevölkerungsentwicklung liegen Quantifizierungen für Deutschland von IIASA vor, die vollständig auf der IIASA-Internetseite zur Verfügung gestellt werden (IIASA 2016). Der Vergleich

beschränkt sich auf den Zeitraum bis 2060, weil die anderen Projektionen maximal bis zu diesem Jahr reichen.

Für die SSP-Quantifizierungen bildet 2010 das Basisjahr. Damit setzen sie viel früher an als die anderen Projektionen, die in Kapitel 2 vorgestellt werden. Dennoch zeigt sich bei einer Näherung der SSP-Daten für die Zwischenjahre, dass diese im Bereich der tatsächlichen Bevölkerungszahl am aktuellen Rand liegen: Die Streuung von 81,08 Millionen am unteren Rand (SSP 3) und 83,01 Millionen am oberen Rand (SSP 5) im Jahr 2017 (Werte berechnet durch lineare Interpolation zwischen 2010 und 2020) bewegt sich um die aktuelle Bevölkerungszahl von 82,58 Millionen Personen am 31.03.2017, die durch das Statistische Bundesamt zur Verfügung gestellt wird.

Bei den in Kapitel 2 dargestellten Projektionen für Deutschland bilden die Modellrechnungen 1 und 3 des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2015) die äußeren Grenzen des Projektionsraumes. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, übertrifft SSP 5 sogar Modellrechnung 3, bei der von einer Reproduktionsrate von 2,1 Kindern pro Frau ausgegangen wird, bei Weitem und erreicht eine Einwohnerzahl von über 95 Millionen im Jahr 2060. An der unteren Grenze folgt SSP 3 einem ähnlichen Verlauf wie Modellrechnung 1, was auch inhaltlich zueinanderpasst, da der Wanderungssaldo von null aus Modellrechnung 1 mit dem Narrativ im Einklang steht.

Abbildung 15: Vergleichende Darstellung der Bevölkerungsprojektionen



Quelle: Eigene Darstellung nach Destatis 2015, Destatis 2017a (V = Variante, M = Modellrechnung) und IASA 2016.

Darüber hinaus fällt auf, dass sich SSP 2 vergleichbar zu Variante 6 des Statistischen Bundesamtes und SSP 4 zu Variante 5 entwickeln. Unter Berücksichtigung der Parameter, die den Destatis-Varianten zugrunde liegen, dürften diese Parallelen jedoch eher zufällig bestehen, da die Annah-

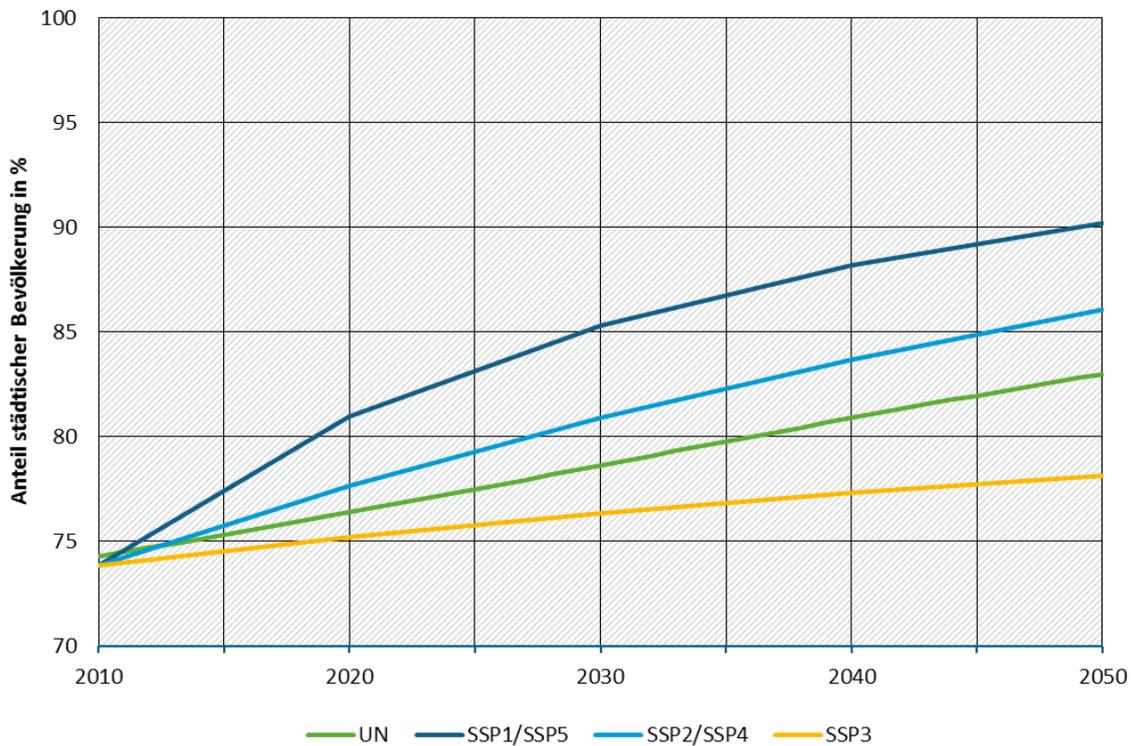
men nicht mit den Narrativen harmonieren. So ist Variante 6 nicht als Business-as-usual-Projektion wie SSP 2 konzipiert und Variante 5 geht von einer relativ hohen Geburtenrate von 1,6 Kindern pro Frau aus, während SSP 4 eine geringe Fertilitätsrate beschreibt.

Modellergebnisse des Joint Research Centers (JRC 2016) der Europäischen Kommission für die zukünftige Bevölkerungsentwicklung, die auf europäischer Ebene gerechnet wurden, liegen auch für einzelne Länder vor. Die Daten für Deutschland zeigen eine vergleichbare Entwicklung zu SSP 4 und Variante 5: Für das Jahr 2050 werden 74,64 Mio. Personen vorausgeschätzt, für dieses Jahr wird in SSP 4 ein Wert von 74,84 Mio. und in Variante 5 von 74,44 Mio. Personen berechnet.

Insgesamt liegt der Projektionsfächer, der von den fünf SSP-Quantifizierungen aufgespannt wird, zwar im Rahmen der in Kapitel 2 untersuchten Projektionen, exakte Entsprechungen zwischen ihnen lassen sich jedoch nicht identifizieren.

3.3.1.2 Urbanisierung

Die SSP-Quantifizierungen für den Urbanisierungsgrad werden vom National Center for Atmospheric Research (NCAR) durchgeführt. Für SSP 1 und 5 wird jeweils eine schnelle Urbanisierung in allen Ländern angenommen. Eine mittlere Urbanisierung ist in SSP 2 sowie in Industriestaaten in SSP 4 unterstellt. In SSP 3 wird aufgrund der geringen Mobilität zwischen Regionen ein langsames Wachstum des Anteils der urbanen Bevölkerung angenommen (Jiang, O'Neill 2017). Abbildung 16 zeigt die Quantifizierungen in Gegenüberstellung zur in Kapitel 2 vorgestellten Projektion der UN (2015), welche zwischen SSP 2 bzw. 4 und SSP 3 liegt. Im Vergleich dazu ergibt die europäische Projektion des JRC (2016), die auch separat für Deutschland vorliegt, ein anderes Bild: Ausgehend von einem Wert von 78,69 % im Jahr 2010, der viel höher liegt als in den Berechnungen der SSP und der UN, wächst der Urbanisierungsgrad langsamer, sodass er mit einem Wert von 85,11 % im Jahr 2050 leicht unter der Projektion für SSP 2 bzw. 4 liegt.

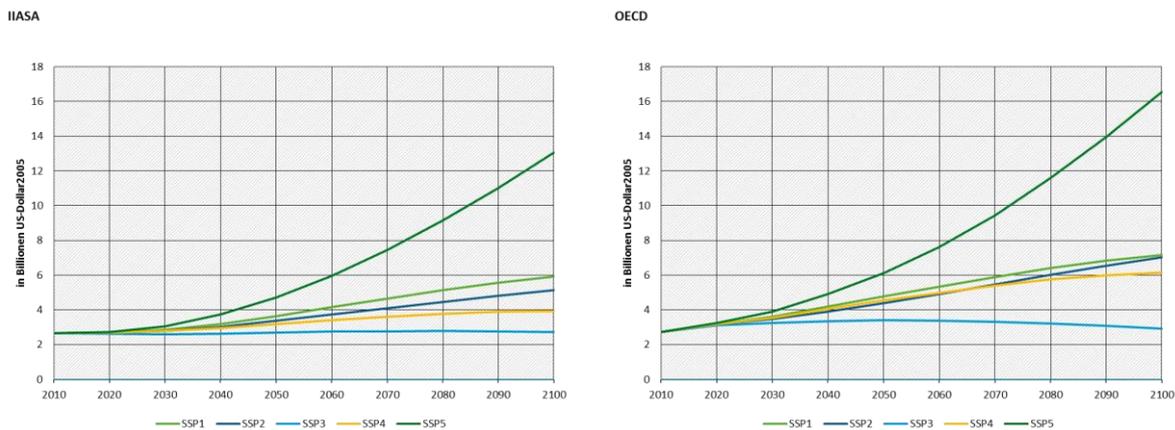
Abbildung 16: Urbanisierungsgrad nach UN und den SSPs

Quelle: Eigene Darstellung nach UN 2015 und IIASA 2016.

3.3.1.3 BIP

Für die Wirtschaftsleistung liegen Quantifizierungen sowohl von IIASA als auch der OECD (beide zur Verfügung gestellt von IIASA 2016) vor. Abbildung 17 stellt die BIP-Entwicklung jeweils bis zum Jahr 2100 dar. Auch wenn die Tendenzen der einzelnen SSPs zwischen den Quantifizierungen der verschiedenen Institutionen gleich sind, gibt es teils große Unterschiede zwischen ihnen. Bereits im Ausgangsjahr 2010 weichen die Zahlen zwischen IIASA (2659 Milliarden US-Dollar₂₀₀₅) und OECD (2727 Milliarden US-Dollar₂₀₀₅) voneinander ab. Außerdem wird nach OECD in den ersten Jahrzehnten ein höheres Wachstum unterstellt, sodass die BIP-Werte jeweils in allen SSPs zum Ende des Projektionszeitraums höher liegen als nach IIASA.

Abbildung 17: Vergleich der BIP-Quantifizierungen nach IIASA und OECD



Quelle: Eigene Darstellung nach IIASA 2016.

In Tabelle 8 werden die durchschnittlichen jährlichen BIP-Wachstumsraten bis 2050 nach IIASA und OECD gegenübergestellt. Sie bewegen sich zwischen -0,066 % (SSP 3 nach IIASA) und 1,748 % (SSP 5 nach OECD) im Zeitraum von 2010 bis 2020 und zwischen 0,114 % (SSP 3 nach OECD) und 2,366 % (SSP 5 nach IIASA) im Zeitraum von 2040 bis 2050. Die IIASA-Werte dürften wegen der Erwartung einer lang anhaltenden internationalen Wirtschaftskrise in diesem Jahrzehnt zunächst sehr niedrig ausfallen.

Tabelle 8: Quantifizierungen der BIP-Wachstumsrate von IIASA und OECD

		2010–2020	2020–2030	2030–2040	2040–2050
SSP 1	IIASA	0,15 %	0,53 %	1,14 %	1,36 %
	OECD	1,60 %	1,22 %	1,49 %	1,33 %
SSP 2	IIASA	0,12 %	0,35 %	0,86 %	1,05 %
	OECD	1,53 %	0,94 %	1,14 %	1,18 %
SSP 3	IIASA	-0,10 %	-0,16 %	0,15 %	0,25 %
	OECD	1,36 %	0,43 %	0,31 %	0,11 %
SSP 4	IIASA	0,16 %	0,27 %	0,60 %	0,76 %
	OECD	1,50 %	1,14 %	1,35 %	1,16 %
SSP 5	IIASA	0,30 %	1,10 %	2,02 %	2,37 %
	OECD	1,75 %	1,83 %	2,32 %	2,28 %

Quelle: Eigene Darstellung nach IIASA 2016.

Damit liegt eine große Spannweite vor, die die Projektionen der nationalen Institute, die in Kapitel 2 vorgestellt wurden, sowohl an der unteren als auch der oberen Grenze deutlich überschreitet. Darüber hinaus fällt auf, dass jeweils die Wachstumsrate in allen SSPs nach IIASA zunimmt, während sie bei den nationalen Projektionen über den Zeitablauf sinkt. Eine Zuordnung der IIASA-Quantifizierungen zu den anderen BIP-Szenarien ist außerdem problematisch, da die Werte in den ersten Jahren der Projektion zu gering sind.

Ein Vergleich der SSP-Quantifizierungen nach OECD mit den Projektionen in Kapitel 2 ergibt, dass sich auch hier wenige Entsprechungen finden lassen: Während SSP 1 und 5 insbesondere für die Jahre ab 2030 zu hohe und SSP 3 zu niedrige Wachstumsraten in Aussicht stellen, kommen SSP 2 und 4 der Projektion des Ageing Reports (EC 2017a) nahe.

3.3.2 SSPs als mögliche Ausgangspunkte nationaler Szenarien

Im Rahmen dieses Vorhabens werden drei Szenarien entwickelt, die von besonderer Bedeutung für Deutschland und den Klimawandelanpassungsprozess sind. Hierfür sollen die SSPs als ein Ausgangspunkt dienen. Kapitel 3.2.7 und 3.3.1 haben gezeigt, dass eine einfache Übertragung der Narrative auf Deutschland an Grenzen stößt und die Daten am aktuellen Rand an gegenwärtige Verhältnisse angepasst werden müssen. Auch deshalb sollten die SSPs nicht eins zu eins für nationale Szenarien übernommen werden. Sie sind dabei als Ausgangspunkte für die Entwicklung nationaler Szenarien unterschiedlich gut geeignet.

Für ein Business-as-usual- oder Trendszenario eignet sich SSP 2 als Basis, bei dem die gegenwärtigen Entwicklungen fortgeschrieben werden. So wird in diesem Szenario vor allem Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum ähnlich wie in aktuellen Langfristprojektionen verlaufen: Variante 2a der aktualisierten 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Destatis 2017a) führt zu einer Bevölkerung von 80,2 Mio. Personen im Jahr 2045, für das BIP im aktuellen Projektionsbericht (UBA 2017a) wird ab 2026 eine langfristige jährliche Wachstumsrate von 0,8 % angenommen. Somit wird hier also angenommen, dass sich das Wachstum des BIP gegenüber den letzten Jahrzehnten abschwäche. Darüber hinaus würden Umweltziele zwar verfolgt, jedoch nur mit einer zeitlichen Verzögerung erreicht, da sich u. a. Energie- und Verkehrswende weiterhin auch an kurzfristigen wirtschaftlichen Interessen orientierten.

SSP 1 bietet sich als Ausgangspunkt für ein Nachhaltigkeitsszenario an. Im Gegensatz zum Trendszenario werden in diesem Szenario Nachhaltigkeitsthemen in den Fokus gerückt: Ziele insbesondere im Energie- und Klimabereich würden stärker verfolgt, sodass die Energie- und Verkehrswende erfolgreich realisiert werden könnte. Für die Entwicklung neuer Technologien wird angenommen, dass sie zur Nachhaltigkeit beitragen, weil sie umwelt- und sozialverträglich eingesetzt würden.

Als Gegenstück zum Nachhaltigkeitsszenario ergibt sich das dritte Szenario aus einer dynamischen sozioökonomischen Entwicklung. Kein SSP bildet zu diesem DynamikszENARIO ein eindeutiges Äquivalent ab: SSP 3 bildet eine stagnierende sozioökonomische Entwicklung ab und ist damit ungeeignet. SSP 4 eignet sich als Ausgangspunkt insbesondere für einen Vergleich von Entwicklungen in verschiedenen Ländern auf internationaler Ebene, da hierbei die räumlichen Unterschiede im Vordergrund stehen.

SSP 5 kommt einem solchen dynamischen Szenario hinsichtlich der Entwicklung von Technologie und Wirtschaftsleistung am nächsten, muss aber angepasst werden, weil es die Nutzung fossiler Energieträger betont. Dass es (scheinbar) mit nur geringen sozioökonomischen Herausforderungen an die Anpassung an den Klimawandel verbunden ist, hängt mit dem Optimismus in großtechnische Lösungen wie CCS oder Geo-Engineering zusammen und der hohen finanziellen und technischen Anpassungskapazität. Allerdings setzt dies voraus, dass es anders als heute zu einer massiven Umverteilung des Wohlstands kommen wird. Sowohl für die Bevölkerungs- als auch BIP-Entwicklung wird ein schnelles Wachstum angenommen: Der internationale Handel wüchse stark, die Nachfrage nach Arbeitskräften bliebe hoch. Ein Teil des hohen BIP würde als Defensivausgaben eingesetzt, um die negativen Auswirkungen von Umweltschäden abzuschwächen. Neue Technologien z. B. im Mobilitätsbereich setzten sich schnell durch, hierbei würde der

Klima- und Umweltschutz vernachlässigt. Ballungsräume stießen aufgrund des starken Bevölkerungswachstums an Grenzen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die SSPs einen großen Fächer möglicher zukünftiger Entwicklungen aufspannen. Auszuwählende nationale Szenarien sollten sich darin bewegen. Zugleich sind die SSPs vor allem als unterschiedliche globale Entwicklungen angelegt. Eine direkte Übertragbarkeit der wenigen quantifizierten Größen auf die nationalen Szenarien, die im nächsten Kapitel thematisiert werden, bietet sich nicht an.

4 Entwicklung der nationalen Szenarien

4.1 Analyse vorhandener Zukunftsszenarien

„Prognosen sind schwierig, insbesondere wenn sie die Zukunft betreffen.“ Dieses schöne Zitat, dessen Urheber nicht eindeutig bestimmt ist, beschreibt die Schwierigkeit, bestimmte zukünftige Entwicklungen vorherzusagen. Während für die Naturwissenschaften Gesetzmäßigkeiten wie die Fallgesetze oder die Keplerschen Gesetze des Umlaufs der Planeten um die Sonne entdeckt und durch Test und Beobachtung verifiziert werden können, ist dies bei menschlichem Verhalten nicht möglich. Insofern sind Prognosen schwierig, wenn sie auf Annahmen zum menschlichen Verhalten in der Zukunft beruhen. Positiv formuliert, ist die Zukunft gestaltbar und damit offen, soweit sie von menschlichem Handeln abhängt.

Grundsätzlich sind bei Aussagen über zukünftige sozioökonomische Entwicklungen Prognosen und Szenarien zu unterscheiden (Prognos, EWI & GWS 2014, S. 40). Prognosen haben entweder den Charakter einer Prophezeiung, die für wissenschaftliches Arbeiten keine Bedeutung haben, oder sie sind als bedingte kurzfristige Prognosen an das Eintreten bestimmter Bedingungen oder Annahmen geknüpft. Konjunkturprognosen von Wirtschaftsforschungsinstituten, die u. a. eine Grundlage für den Jahreswirtschaftsbericht der Bundesregierung sind, treffen bestimmte Annahmen zur weltwirtschaftlichen Entwicklung, den Ölpreisen oder Zinssätzen. Treten einige der Einnahmen in der Realität nicht ein, verlieren auch die bedingten Prognosen ihre Gültigkeit. Prognosen zur sozioökonomischen Entwicklung in den nächsten Monaten, maximal ein bis zwei Jahren, sind mit Wettervorhersagen in der Meteorologie vergleichbar. Bei längerfristigen Zukunftsentwicklungen, die sich aus ökonomischen Modellen ergeben, wird von Projektionen gesprochen.

Szenarien zeigen unterschiedliche, in sich konsistente Zukunftsentwicklungen auf. Sie können nach verschiedenen Grundideen entworfen werden. Ereignisszenarien legen dar, welche Effekte die Veränderung von Rahmenbedingungen hat, z. B. der Anstieg von Rohstoffpreisen. Mithilfe von Instrumentenszenarien können die Auswirkungen von Maßnahmen wie z. B. einer Plastiksteuer auf EU-Ebene untersucht werden. Ein Zielszenario ist hingegen so konzipiert, dass die festgelegten Ziele erreicht werden. Es zeigt damit auf, was sich verändern muss und auf welchem Weg das Ziel eingehalten werden kann (Prognos, EWI & GWS 2014).

Je nach Zweck sind die bedingten Prognosen, Projektionen und die dahinter liegenden Szenarien unterschiedlich angelegt. Für Planungsprozesse sollte eine möglichst wahrscheinliche Zukunftsentwicklung abgebildet werden. Da aber verschiedene Annahmen unsicher sind, kann es auch sinnvoll sein, eine Bandbreite möglicher Zukunftsentwicklungen durch ein Bündel an Szenarien zu erfassen. Um die Zahl der Szenarien und darauf gestützten Projektionen auch aus Gründen der Verständlichkeit und Handhabbarkeit begrenzt zu halten, wird dabei häufig nur eine zentrale Größe wie das BIP als Indikator für die wirtschaftliche Aktivität nach oben und unten angepasst.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal von sozioökonomischen Szenarien sind die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume, die eng mit den Zeithorizonten von Planungsprozessen verknüpft sind (vgl. Abbildung 18). Kurzfristige Konjunkturprognosen verbinden den laufenden Eingang von Ist-Zahlen bestimmter Kenngrößen mit ihrer Fortschreibung in Monaten oder Quartalen. Sie sind auch Grundlage von Jahresprognosen, um u. a. die Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Haushalte zu planen oder Investitionsentscheidungen zu treffen. Bei längerfristigen Szenarien und darauf aufbauenden Projektionen geht es häufig um die wahrscheinliche Entwicklung von Plangrößen in einem konsistenten Modellrahmen und entsprechende langfristige Investi-

entscheidungen. Der Zeithorizont richtet sich dann in der Regel nach entsprechenden Investitionszyklen. Größen wie die Bevölkerungszahl und damit zusammenhängende Bereiche wie Bildung, Pflege und Rente und langfristige Infrastrukturbedarfe wie etwa für die Wasserver- und -entsorgung und die Verkehrsinfrastruktur müssen auch über Jahrzehnte geplant werden.

Abbildung 18: Fristigkeit von sozioökonomischen Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung.

Kurzfristige Prognosen werden zumeist regelmäßig und zeitnah erstellt und geben eine Einschätzung zur konjunkturellen Entwicklung, insbesondere zur Wirtschaftsleistung und zur Beschäftigung. Auf deutscher Ebene werden sie von verschiedenen Wirtschaftsforschungsunternehmen und Banken erstellt. So veröffentlicht z. B. das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) vierteljährlich Konjunkturprognosen („Grundlinien“) mit einem Prognosehorizont zwischen sieben (in den Sommergrundlinien) und zehn Quartalen (in den Herbstgrundlinien) (DIW 2018). Neben der Analyse der deutschen und der globalen Wirtschaftslage werden hier verschiedene Maßnahmen diskutiert und damit ein Orientierungspunkt für die Wirtschaftspolitik geboten (DIW 2018). Auch das ifo Institut veröffentlicht viermal im Jahr eine Konjunkturprognose, in der die gesamtwirtschaftliche Entwicklung Deutschlands vor dem Hintergrund der EU und weiterer für die deutsche Wirtschaft relevanter Länder prognostiziert wird (ifo Institut 2018). Des Weiteren veröffentlicht die Deutsche Bundesbank im Rahmen ihrer Monatsberichte halbjährlich Prognosen (Deutsche Bundesbank 2017) als Grundlage für geldpolitische Entscheidungen (Deutsche Bundesbank 2018). Darüber hinaus erscheint zweimal jährlich eine gemeinsame Konjunkturprognose verschiedener Wirtschaftsforschungsinstitute, die sogenannte Gemeinschaftsdiagnose (zuletzt DIW et al. 2018), in der neben der kurzfristigen Prognose auch eine mittelfristige Projektion für die nächsten fünf Jahre vorgestellt wird. Die Gemeinschaftsdiagnose dient u. a. als Orientierungsrahmen für den Jahreswirtschaftsbericht der Bundesregierung (BMWi 2018).

Auch auf internationaler Ebene werden kurzfristige Prognosen erstellt: Die Europäische Kommission schätzt die Entwicklung verschiedener ökonomischer Größen sowohl für die EU bzw. die Eurozone insgesamt als auch für die einzelnen Mitgliedsstaaten, Beitrittskandidaten und weitere Industrieländer (EC 2018). Diese Prognose erscheint dreimal im Jahr (Frühjahr, Herbst, Winter). Eine weltweite Prognose über kurzfristige Konjunkturentwicklungen bietet der Internationale Währungsfonds (IMF 2018), die im April und Oktober veröffentlicht wird und im Januar und Juli aktualisiert wird.

Der Finanzplan des Bundes, der durch das Bundesministerium der Finanzen (BMF 2017) erstellt wird, erstreckt sich für die mittelfristige Finanzplanung über einen Zeitraum von fünf Jahren. Seine Hauptaufgabe ist es, vor dem Hintergrund der Gesamtwirtschaft die zu erwartenden Einnahmen und Ausgaben zu schätzen, um hiermit eine Basis für den Bundeshaushalt zu bilden (BMF 2018). Weitere Projektionen mit einem zeitlichen Horizont von bis zu fünf Jahren werden auch als Planungsinstrument für infrastrukturelle Fragestellungen erstellt: Bspw. veröffentlicht

das Bundesamt für Güterverkehr (BAG 2018) jährlich eine Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber beauftragen jährlich verschiedene Studien zum Ausbau der erneuerbaren Energien (IE 2017, r2b 2017).

Szenarien, die sich über einen Zeitraum von mehr als fünf Jahren erstrecken, eignen sich für langfristige Planungsprozesse. Grundlage für viele langfristige Projektionen bilden Bevölkerungsentwicklungen, die bereits in Kapitel 2 umfassend vorgestellt wurden. Hier reicht der Projektionshorizont über mehrere Jahrzehnte: bei der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes für Deutschland bis 2060 (Destatis 2017a), bei den Projektionen von Eurostat für die EU bis 2080 (Eurostat 2015) und bei denen der Vereinten Nationen sogar bis zum Jahr 2100 (UN 2017).

Für sozioökonomische Fragestellungen ist neben der Schätzung der reinen Bevölkerungszahlen ebenso die Altersstruktur relevant. Auf Grundlage dieser Informationen lassen sich Projektionen zu verschiedenen gesellschaftlichen Entwicklungen erstellen. Einen umfassenden Überblick hierzu bietet der „Ageing Report 2015“ der Europäischen Kommission (EC 2015), eine Aktualisierung ist derzeit in Bearbeitung. Hier werden die Ausgaben für Renten, Gesundheitsversorgung, Langzeitpflege, Bildung und Arbeitslosenunterstützung der EU und der einzelnen Mitgliedsstaaten plus Norwegen bis 2060 vorausgeschätzt. Für Deutschland werden die einzelnen Komponenten des Sozialsystems projiziert. Für die Entwicklung des Rentensystems ist die Bundesregierung sogar dazu verpflichtet, einen Bericht zu verfassen (§ 154 Abs. 1 SGB VI), und kommt diesem Auftrag mit dem Rentenversicherungsbericht durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS 2017) nach. Darin müssen die zu erwartenden Einnahmen, Ausgaben und die Nachhaltigkeitsrücklage für die nächsten 15 Jahre enthalten sein sowie Maßnahmen zur Sicherung der Rente vorgeschlagen werden. Daneben hat z. B. auch die Bertelsmann Stiftung eine Studie zur Rentenfinanzierung bis 2060 in Auftrag gegeben (Werdning 2013).

Für die Entwicklung des Pflegesystems sind die Bevölkerungszahlen und die Altersverteilung ebenfalls grundlegend. In entsprechenden Studien werden die Auswirkungen von verschiedenen Maßnahmen durch die Gegenüberstellung von Szenarien gemessen: So diskutieren Afentakis & Maier (2010) neben der Weiterentwicklung des Status quo ein Szenario mit einer sinkenden Behandlungsquote, die angesichts einer späteren Pflegebedürftigkeit infolge einer höheren Lebenserwartung in Betracht gezogen wird. Im Auftrag der Bertelsmann Stiftung werden die Effekte einer zukünftigen Zunahme von formeller bzw. häuslicher Pflege beleuchtet (Rothgang, Müller & Unger 2012). In Studien des DIW (2012) und der Prognos (2012) werden Maßnahmen untersucht, die einem möglichen Pflegenotstand entgegenwirken können. Auch in Bezug auf den gesamten Arbeitsmarkt werden langfristige Projektionen entwickelt, um das Verhältnis von Fachkräfteangebot und -bedarf planen zu können und Aussagen über das zukünftige Erwerbspersonenpotenzial zu treffen (vgl. IAB 2017, Zika et al. 2017).

Ein Überblick zu Langfristprojektionen im Infrastrukturbereich findet sich in Deutsches Institut für Urbanistik et al. (in Bearbeitung). Neben den mittelfristigen Prognosen zur Infrastruktur werden auch Langfristprojektionen erstellt, wenn es sich um strategische Planungsprozesse handelt. Für IKT und Breitbandausbau liegen demnach keine entsprechenden Projektionen vor. Im Verkehrsbereich entwirft das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur etwa alle 5 Jahre den Bundesverkehrswegeplan als Steuerungsinstrument (BMVI 2016) zur Planung des Aus- und Neubaus von Bundesfernstraßen, -schienerwegen und -wasserstraßen. Basis ist die Verkehrsverflechtungsprognose (Intraplan & BVU 2014), die im Auftrag des BMVI erstellt wird und die deutschlandweiten Verflechtungen im Personen- und Güterverkehr analysiert und bis 2030 fortschreibt. Dabei wird zunächst in der Strukturdatenprognose für die kreisfreien Städte und Landkreise in Deutschland die jeweilige demografische und wirtschaftliche Entwicklung für den Zeitraum 2010 bis 2030 prognostiziert (ifo Institut & Helmut-Schmidt-Universität

Hamburg 2012). Durch Veränderung der Annahmen zum internationalen Handel werden zusätzlich zwei Szenarien gerechnet, die von deutlich optimistischeren bzw. pessimistischeren Annahmen ausgehen. In weiteren Arbeitsschritten wird der insgesamt ermittelte Verkehr für das Jahr 2030 auf die Verkehrsträger Straße, Schiene und Schiff umgelegt. Für den Seeverkehr wird eine separate Analyse durchgeführt.

Für die Entwicklung der Stromnetze ist die Bundesnetzagentur (BNetzA 2017) verantwortlich, für das Gasnetz ist sie beratend tätig (FNBGas 2018). Für die Wasserversorgung liegt derzeit keine bundesweite Prognose vor, nur für einzelne Gebiete werden Studien in Auftrag gegeben (siehe bspw. ISOE & ifo Institut 2014 für Hamburg und Umland). Der Ausbaubedarf im Höchstspannungsübertragungsnetz wird in einem mehrstufigen Prozesses ermittelt, der sich jährlich wiederholt. Der Netzentwicklungsplan hat die Aufgabe zu ermitteln, welcher Netzausbau in den kommenden zehn Jahren erforderlich sein wird (BNetzA 2017). Die Stromentwicklungspläne werden auf Basis von Vorgaben der BNetzA von den Übertragungsnetzbetreibern erstellt. Die Entwicklung der Szenarien erfolgte auf Basis der Transformationsgeschwindigkeit der Energiewende und des Innovationsgrades mit Blick auf neue Stromanwendungen. Der Stromverbrauch als zentrale Annahme variiert in allen Szenarien. Das konventionelle Szenario A beschreibt eine Energiewende in mäßiger Geschwindigkeit mit teilweiser Einführung neuer Technologien bei einem eher geringen Innovationsgrad. Einen schnelleren Ausbau der erneuerbaren Energien sowie eine beschleunigte Energiewende unter intensiver Nutzung neuer Technologien unterstellt das Innovationszenario C. Der Mittelweg zwischen beiden Szenarien ist das Transformationszenario B, das bis 2035 fortgeschrieben wird. Die Szenarien berücksichtigen bereits die zukünftigen energiepolitischen Rahmenbedingungen und die energie- und klimapolitischen Ziele. Vorgehensweise und aktueller Planungsstand bis 2030 werden von der BNetzA (2017) ausführlich beschrieben.

Klimaschutz- und Energieprojektionen werden zumeist langfristig angelegt, da die politischen Ziele hierfür weit in die Zukunft gesetzt werden und Entscheidungen wie Kraftwerksbau, Netzausbau oder zur Sanierung von Gebäuden langfristig wirken. Die Klimaschutzenszenarien im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015) geht von einem Referenzszenario aus, in dem die Energiewende ausläuft, also keine zusätzlichen Politikmaßnahmen ergriffen werden. Eine Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI) (BCG, & Prognos 2018) zu Klimapfaden unterstellt dagegen ein Business-as-usual-Szenario als Referenz. In beiden Untersuchungen wird das jeweilige Referenzszenario mit zwei Zielszenarien verglichen, in denen das 80 %- bzw. das 95 %-Klimaziel erreicht wird. In der BDI-Studie wird hierbei weiterhin differenziert, indem die Zielszenarien zum einen vor dem Hintergrund eines globalverfolgten Klimaschutzes betrachtet und zum anderen in eine Welt ohne gemeinsame internationale Zielverfolgung eingebettet werden. Die „Energierferenzprognose“ im Auftrag des BMWi stellt dem Referenzszenario, das aktuelle Trends fortschreibt, bis zum Jahr 2030 reicht und dessen Entwicklung bis 2050 fortgeschrieben wird, ein Zielszenario bis 2050 gegenüber (Prognos, EWI & GWS 2014). Auch in dem laufenden Vorhaben zu Langfristszenarien (Fraunhofer ISI et al. 2017) wird neben einem Referenzszenario ein Basisszenario entwickelt, das als zentrales Zielszenario den Ausgangspunkt für verschiedene Variationen bietet, z. B. eine schnellere Geschwindigkeit beim Ausbau der erneuerbaren Energien. In den Politiksznarien zum Klimaschutz (zuletzt Repenning et al. 2018) wird der aktuelle Politikstand in einem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ als Referenzentwicklung festgehalten. Daran werden Szenarien mit weiteren Maßnahmen gespiegelt, um den zusätzlichen Handlungsbedarf aufzuzeigen. In den Klimaschutz- und Energieprojektionen werden also überwiegend Zielszenarien betrachtet, die bestimmte Nachhaltigkeitsziele einhalten. Sie werden jeweils mit einem Referenzszenario verglichen, das Trendentwicklungen (business-as-usual) fortschreibt, bei denen eine mehr oder weniger ambitionierte Energie- und Klimapolitik unterstellt wird.

Für die Auswahl von drei deutschlandweiten sozioökonomischen Szenarien bieten die vorhandenen Langfristszenarien eine gute Grundlage. Im folgenden Abschnitt werden zentrale Annahmen der Szenarien mit den Vorgaben und Ergebnissen der SSPs verglichen, soweit dies möglich ist.

4.2 Charakterisierung der Szenarien

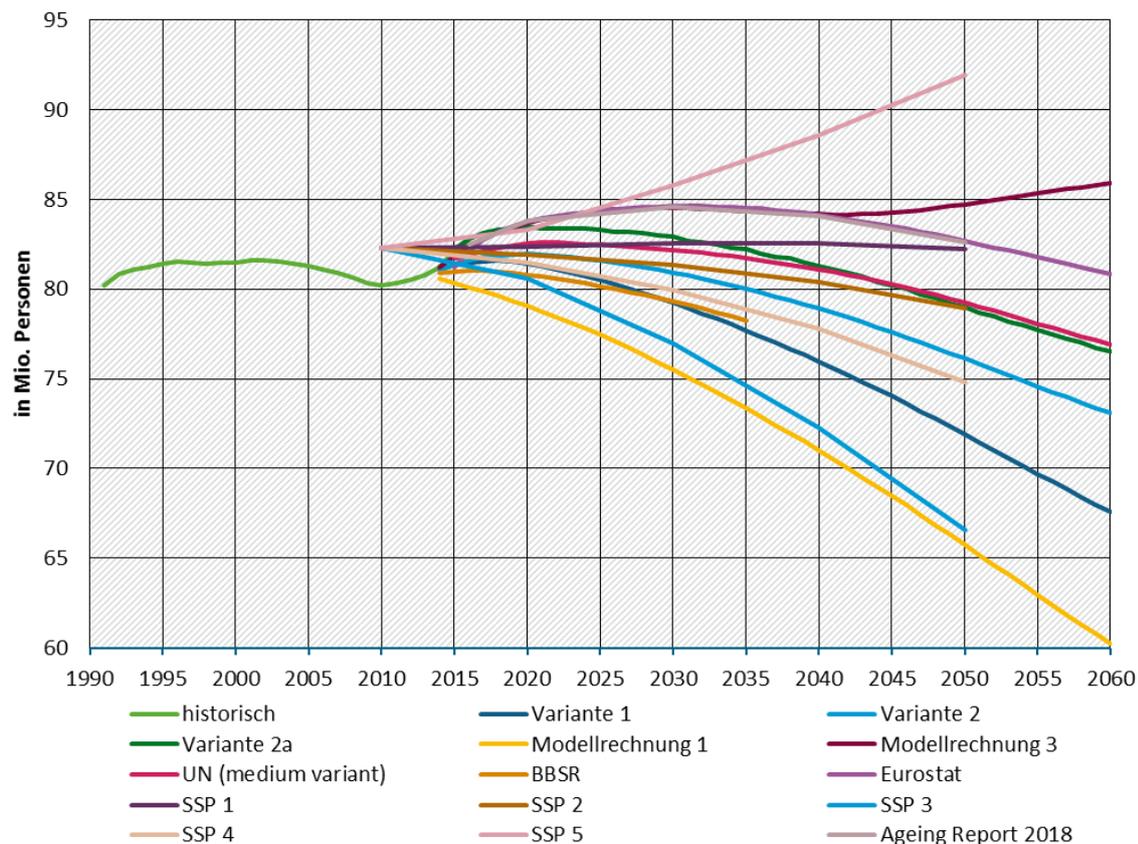
Im Folgenden werden vorhandene nationale Langfristszenarien, die sich als Ausgangspunkt für die Ableitung der drei deutschlandweiten Szenarien anbieten, anhand wichtiger Größen eingeordnet. Dies sind zum einen Bevölkerungsentwicklung und gesamtwirtschaftliche Entwicklung (BIP) wie bei den SSPs. Daneben werden auch weitere für die sozioökonomischen Szenarien wichtige Größen wie der Primärenergieverbrauch, die THG-Emissionen, der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung (alternativ: der installierten Leistung), die Personen- und Güterverkehrsleistung sowie der Anteil alternativer Antriebe im Personenverkehr betrachtet. Entsprechende Vorgaben bzw. Ergebnisgrößen finden sich in den meisten Langfristszenarien zum Thema Energie und Klimaschutz. Damit orientiert sich die Auswahl teilweise und soweit verfügbar auch an einer vom Umweltbundesamt beauftragten Studie zur Konsistenz von Rahmendaten bei Modellierungen im Umweltkontext (Weimer-Jehle, Wassermann & Kosow 2011), die zehn wichtige Faktoren identifiziert: Bevölkerungsentwicklung, Wohnfläche pro Kopf, BIP, Ölpreis, PEV, Totaler Materialverbrauch, Personen- und Güterverkehrsleistung, Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft und Klimaänderung.

Bevölkerungsentwicklung

Bei Betrachtung der Bevölkerungsentwicklungen für Deutschland in Abbildung 19 fällt auf, dass die Bevölkerungszahlen in den meisten Projektionen, die Varianten der 13. koordinierten Bevölkerungsprojektion des Statistischen Bundesamtes sind, zunächst leicht ansteigen und anschließend auf zwischen 67 Mio. und 80 Mio. Personen im Jahr 2060 zurückgehen. Vor allem Annahmen zur jährlichen Nettozuwanderung erklären den Unterschied zwischen den Szenarien. Daneben spielen auch die Fertilitätsrate und die Lebenserwartung eine Rolle. In aktuellen Projektionen liegt das Niveau der Bevölkerung durch die hohe Zuwanderung in den letzten Jahren tendenziell wieder höher. Die Erwartungen über die zukünftige Nettozuwanderung sind gestiegen. Schließlich hat die Fertilitätsrate in den letzten Jahren zugenommen, sodass aus derzeitiger Sicht die Bevölkerungszahl in den kommenden Jahren zunächst weiter steigen dürfte, was je nach Nettozuwanderung dazu führen könnte, dass die Bevölkerungszahl im Jahr 2045 nur leicht niedriger als heute oder etwa auf heutigem Niveau liegen wird.

In einem ähnlichen Bereich liegen die Zahlen für die SSP 1 und 2, wobei die Zahlen für SSP 1 etwas höher sind. Am unteren Rand der Projektionen liegt SSP 3, das eine weitgehende Abschottung ohne Nettozuwanderung annimmt.

SSP 5 bildet den oberen Rand der Projektionen, hierbei nimmt die Bevölkerungszahl zu. Hierzu ist einzig die Modellrechnung 3 halbwegs vergleichbar, bei der durch die Annahme einer hohen Geburtenrate von 2,1 Kindern pro Frau ebenfalls ein Anstieg festzustellen ist. Dazu muss eine sehr hohe Nettozuwanderung treten, um einen dem SSP 5 entsprechend starken Bevölkerungsanstieg in Deutschland zu erreichen.

Abbildung 19: Projektionen der Bevölkerungszahlen

Quellen: Destatis 2016a (Historie 1991–2014), Destatis 2015 (Variante 1 und 2, Modellrechnung 1 und 3), Destatis 2017a (Variante 2a), UN 2017, BBSR 2015, Eurostat 2015, IIASA 2016 (SSP 1 bis 5) und EC 2017a (Ageing Report 2018).

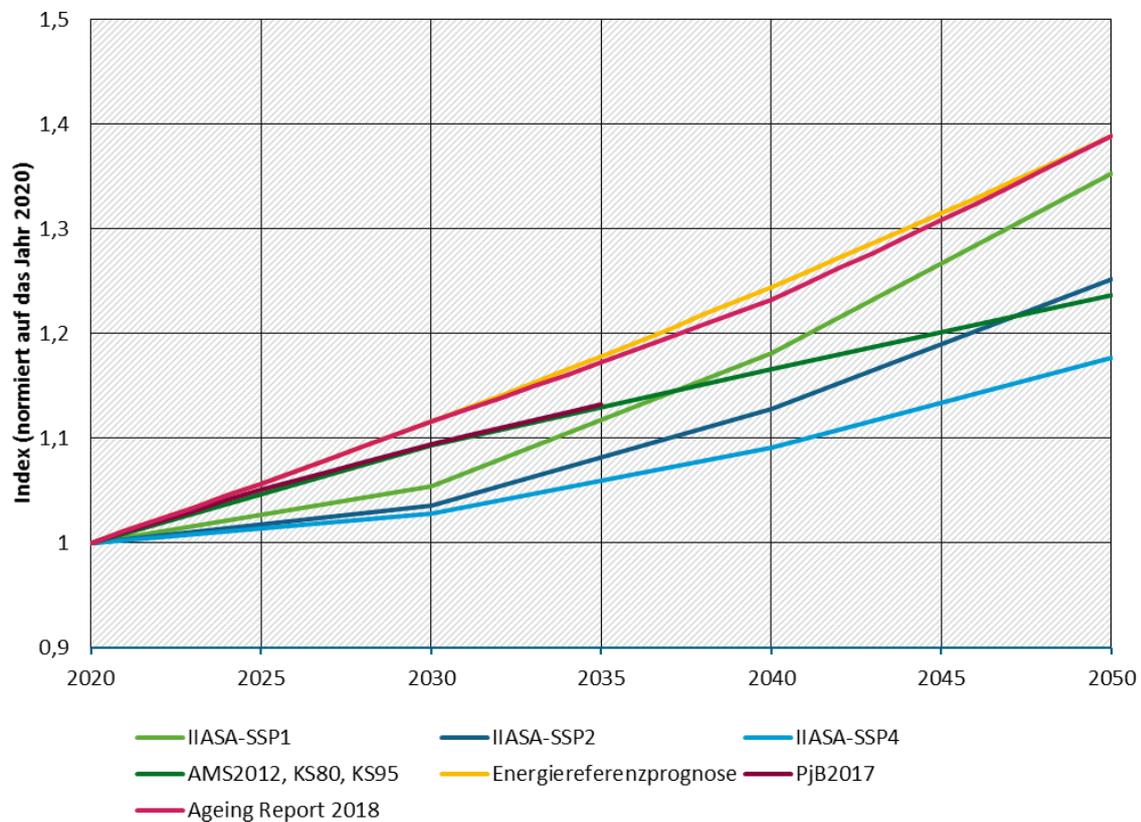
Die meisten Langfristszenarien bauen auf verschiedene Varianten der Bevölkerungsprojektionen des Statistischen Bundesamts (Destatis 2015 und 2017) auf. Allerdings hat die starke Zuwanderung in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Zahlen der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung am aktuellen Rand mit einer Ausnahme nicht mehr passen. Nur die Variante 2a, die auf dem Bevölkerungsstand Ende 2015 basiert, erfasst die Entwicklung der letzten Jahr annähernd. Dadurch sind die Szenarienentwickler zunehmend gezwungen, eigenständige Bevölkerungsvorausberechnungen zu nutzen. Es zeigt sich, dass die als jeweils wahrscheinlich erachtete Variante der Bevölkerungsentwicklung im Zeitverlauf angestiegen ist. Die einzigen regionalisierten Bevölkerungsprojektionen werden vom BBSR veröffentlicht, zuletzt die oben dargestellte Raumordnungsprognose bis zum Jahr 2035 (BBSR 2015). Die Strukturdatenprognose für den Verkehrswegeplan aus dem Jahr 2012 greift auf eine ältere Bevölkerungsprojektion ebenfalls des BBSR zurück, die nur bis zum Jahr 2030 reicht.

Bruttoinlandsprodukt (BIP)

Wie die Bevölkerungszahl gehört das BIP zu den Rahmendaten, die zumeist als einheitlich bei der Entwicklung verschiedener Szenarien angesetzt werden, d. h., dass pro Studie nur eine Projektion der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung verwendet wird. Abbildung 20 zeigt den BIP-Verlauf in verschiedenen Studien im Vergleich zu einigen der SSPs. Ein Teil der Projektionen liegt zwischen SSP 1 und SSP 4. Die Wachstumsraten der Projektionen am oberen Rand entsprechen ab 2020 denen von SSP1 oder liegen sogar etwas darunter. SSP 5 ist hier nicht aufgeführt, da dieses ein sehr hohes BIP vorausschätzt, an das die dargestellten Projektionen nicht annä-

hernd heranreichen. Im Hinblick auf das Jahr 2050 führt die Studie von Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2015) zu einem ähnlichen Ergebnis wie im SSP 2, die BIP-Entwicklungen in der „Energierferenzprognose“ (Prognos, EWI & GWS 2014) und dem „Ageing Report“ (EC 2017a) liegen eher bei SSP 1.

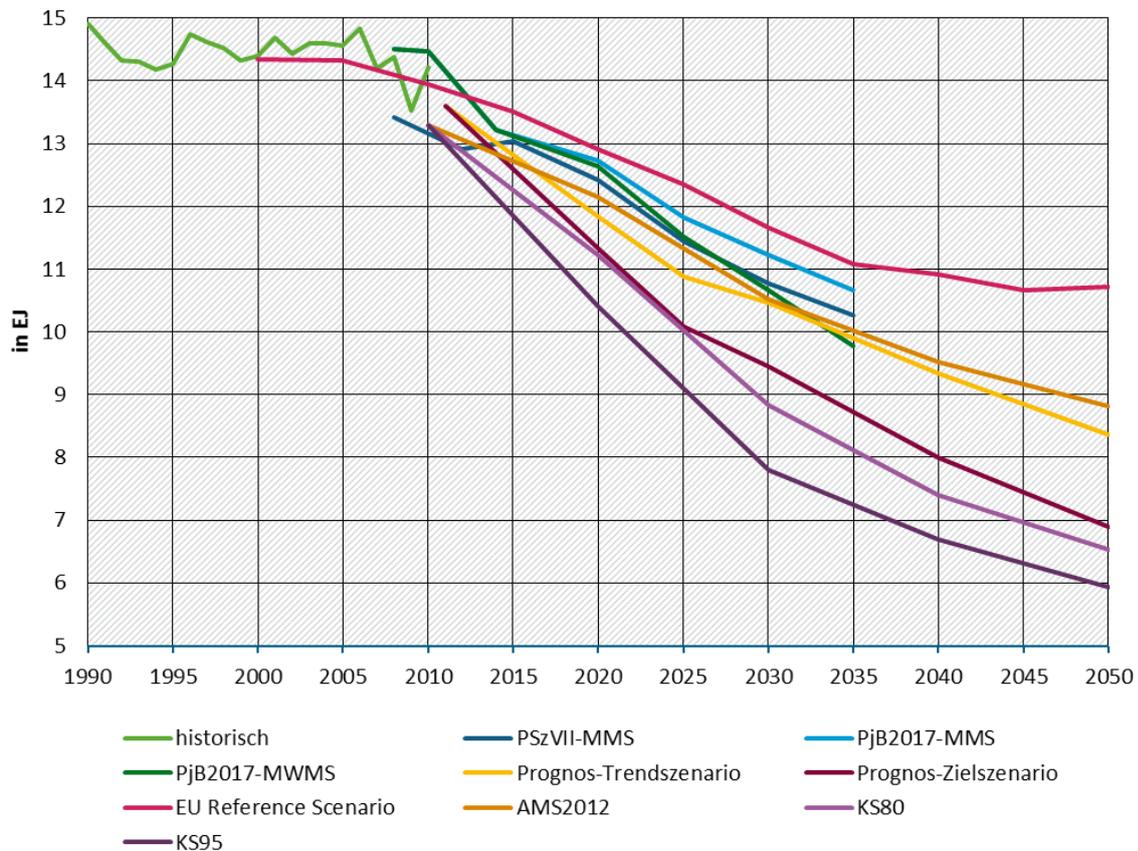
Abbildung 20: Projektionen des BIP



Quellen: IIASA 2016, Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015 (AMS2012, KS80, KS95), Prognos, EWI & GWS 2014 (Energierferenzprognose), UBA 2017a (PjB2017) und EC 2017a (Ageing Report 2018).

Primärenergieverbrauch (PEV)

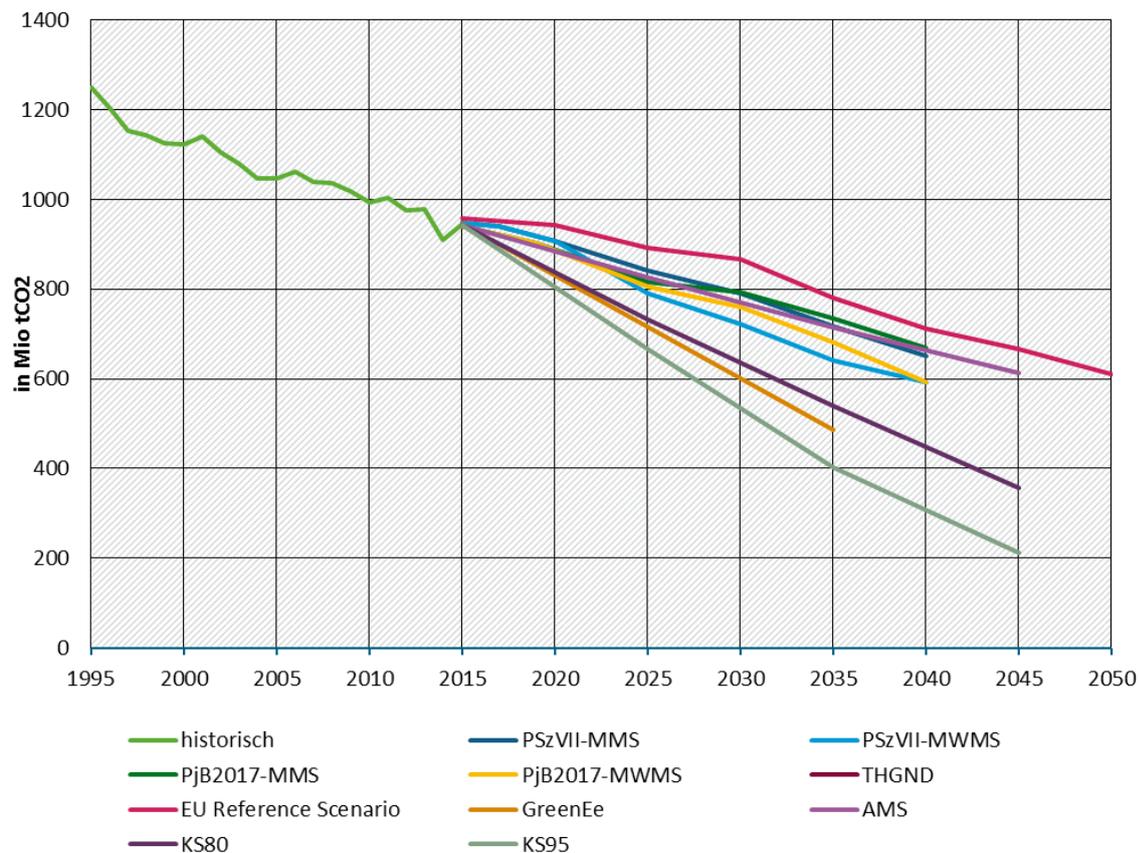
Die Projektionen, die die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs abbilden (siehe Abbildung 21), lassen sich in zwei Gruppen aufteilen: Die Szenarien, die zu einem Primärenergieverbrauch von unter 7.000 PJ im Jahr 2050 führen, stellen Zielszenarien dar, damit passen sie zu dem nachhaltigen Charakter von SSP 1. Die anderen Szenarien sind so angelegt, dass sie die aktuellen Entwicklungen fortschreiben, wodurch die energie- und klimapolitischen Ziele nicht erreicht werden. Sie lassen sich damit dem Business-as-usual-Charakter von SSP 2 zuordnen.

Abbildung 21: Projektionen des Primärenergieverbrauchs in Deutschland

Quellen: AGEb 2017 (Historie 1990–2010), Repenning 2018 (PSzVII), UBA 2017a (PjB2017), Prognos, EWI & GWS 2014 (Prognos), EU 2016 und Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015 (AMS2012, KS80 und KS95).

Treibhausgas-Emissionen (THG)

Abbildung 22 bietet einen Überblick über die THG-Projektionen verschiedener Studien. Ähnlich wie beim PEV lassen sie sich deutlich in zwei Gruppen unterteilen: Diejenigen, die im Jahr 2050 im unteren Bereich, d. h. bei 215 Mio. t CO₂ oder weniger, enden, stellen die Szenarien dar, in denen entweder das 80 %- oder das 95 %-Reduktionsziel erreicht wird. Folglich passen sie zu dem Narrativ von SSP 1, in dem eine nachhaltige Entwicklung angestrebt wird. In den anderen Szenarien werden die Ziele verfehlt, hier wurden die THG-Emissionen teils unter Annahme der zum Zeitpunkt der Erstellung der Studien geltenden Maßnahmen fortgeschrieben. Teilweise wurde auch eine leichte Verschärfung von Klimaschutz unterstellt. Damit lassen sie sich als Trend-Szenarien dem Narrativ von SSP 2 zuordnen.

Abbildung 22: Projektionen der THG-Emissionen in Deutschland

Quellen: UBA 2017c (Historie 1990–2010), Repenning 2018 (PSzVII), UBA 2017a (PjB2017), UBA 2014b (THGND), EU 2016, UBA 2017b (GreenEe) und Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015 (AMS2012, KS80 und KS95).

Anteil erneuerbarer Energien an installierter Leistung und Stromerzeugung

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der installierten Leistung wird von der BNetzA (2017) je nach Szenario auf 63,3 bis 69,3 % im Jahr 2030 projiziert. In diesem Rahmen bewegen sich auch Referenz- bzw. Trend-Szenario (62 %) und Zielszenario (66 %) in der „Energierferenzprognose“ (Prognos, EWI & GWS 2014): Darüber hinaus werden hier für 2050 Anteile von 67 % bzw. 73 % berechnet. In den „Klimaschutzszenarien“ (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015) liegt der Anteil leicht niedriger: Im Aktuelle-Maßnahmen-Szenario wird für 2050 ein Anteil von 60 %, im 95 %-Klimaschutzszenario ein Anteil von rund 70 % berechnet.¹

Wird anstelle der installierten Leistung die Stromerzeugung betrachtet, ergibt sich ein etwas anderes Bild: Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung beträgt für 2050 64 % im Trendszenario und 79 % im Zielszenario der Energierferenzprognose (Prognos, EWI & GWS 2014). In den Klimaschutzszenarien liegt der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung höher und reicht die Spannweite für das Jahr 2050 von 67 % im Aktuelle-Maßnahmen-Szenario bis 96 % im ambitionierten 95 %-Klimaschutzszenario (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015). Annahmen zur Flexibilität im Stromsystem und zu Nettostromimporten erklären die Unterschiede zwischen beiden Studien zumindest in Teilen.

Verkehr

¹ Die Leistung der fossilen Backup-Kraftwerke in Höhe von 70 GW wird hier voll berücksichtigt. Nach Fußnoten im Text handelt es sich um eine Modellvorgabe, die in den Szenarien nur teilweise benötigt wird.

Im Verkehrsbereich sind die Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr sowie ihre Aufteilung auf die Verkehrsträger Straße, Schiene, Wasser und Luft zentrale Größen. Sie werden in Personenkilometern (Pkm) und Tonnenkilometern (tkm) gemessen.

Für den Personenverkehr geht die Verkehrsprognose 2030 (BMVI 2016 nach Intraplan & BVU 2014) von einem Anstieg der Verkehrsleistung des motorisierten Verkehrs zwischen 2010 und 2030 von fast 13 % aus. Die Straße bleibt mit gut 79 % nahezu unverändert der dominierende Verkehrsträger, wenn wie üblich nur die nationalen Verkehre, d. h. nicht der internationale Flugverkehr und nicht der internationale Seeverkehr, mitberücksichtigt werden. Die Zahl der Elektrofahrzeuge (rein batteriegetriebene Fahrzeuge und Plug-in-Hybride) bei Pkw erreicht annahmegemäß den Zielwert der Bundesregierung von 6 Mio. im Jahr 2030. Im Güterverkehr fällt das Wachstum mit 38 % zwischen 2010 und 2030 deutlich höher aus. Der Anteil der Lkw an der (territorialen) Güterverkehrsleistung bleibt bei gut 72,5 % im Zeitraum nahezu unverändert. Binnenschiffe und Bahn transportieren vor allem Schüttgüter, deren Umsatz unterdurchschnittlich steigt. In den Variantenrechnungen mit höherem bzw. niedrigerem BIP-Wachstum entwickeln sich auch der Personen- und Güterverkehr stärker oder schwächer, wobei die prozentuale Veränderung etwas kleiner ausfällt als beim BIP (beim Personenverkehr etwas größer als beim Güterverkehr).

Auch langfristige Szenarien im Klimaschutzbereich betrachten die Verkehrsentwicklung mit dem Fokus THG-Emissionen mit. Sie weisen dafür auch Verkehrsleistungen und Fahrzeugbestände sowie Verbräuche aus. In den Klimaschutzszenarien (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015) steigt im „Aktuelle-Maßnahmen“-Szenario (AMS) die Personenverkehrsleistung nach 2010 kaum noch an. Sie liegt im Jahr 2030 um gerade einmal 1,5 % höher als im Jahr 2010 und stagniert in den Folgejahren bis 2050 weitestgehend. Im KS80-Szenario, in dem die THG-Emissionen im Jahr 2050 um 80 % unter dem Wert des Jahres 1990 liegen, beträgt die Personenverkehrsleistung im Jahr 2030 sogar 2,5 % weniger als 2010 und stagniert danach ebenfalls weitgehend. Der Bestand an Elektrofahrzeugen im AMS beträgt 4,4 Mio. im Jahr 2030 und 15,2 Mio. im Jahr 2050. Im KS80 verläuft der Anstieg mit 6,4 Mio. im Jahr 2030 und 30,3 Mio. im Jahr 2050 deutlich steiler. Der Güterverkehr wächst im AMS bis zum Jahr 2030 um gut 25 % und um weitere 8 % bis zum Jahr 2050. Im KS80 fällt der Anstieg bis zum Jahr 2030 mit 36 % sehr viel stärker aus. Diese auf den ersten Blick überraschende Entwicklung wird durch einen steigenden Anteil des Bahnverkehrs ausgelöst, mit dem weitere Wege notwendig sind.

In den Klimaschutzpfaden (BCG & Prognos 2018) verläuft die Entwicklung der Verkehrsleistungen in allen Szenarien nahezu gleich. Die Personenverkehrsleistung steigt zwischen 2015 und 2030 noch um rund 4 % an und fällt bis 2050 wieder etwas unter das Niveau des Jahres 2015 zurück. Der Anstieg beim Güterverkehr folgt bis zum Jahr 2030 der Verkehrsprognose 2030. Bis 2050 wächst der Güterverkehr um weitere 13 %. Damit verbunden nimmt der Anteil der Schiene in den Klimaschutzszenarien zu. Auch der Anteil der Elektrofahrzeuge wächst in den Klimaschutzszenarien deutlich stärker als in der Referenz.

Die Referenz in „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (UBA 2016c) baut auf der Verkehrsprognose 2030 auf. Bis 2050 geht die Verkehrsleistung leicht zurück. Für den Güterverkehr weist die Studie ein deutliches Wachstum bis 2030 auf. Klimaschutzmaßnahmen reduzieren im Klimaschutzszenario die Verkehrsleistungen, wobei die Differenz im Jahr 2050 mit 15 % im Personenverkehr deutlich größer ist als im Güterverkehr mit gut 6 %. Auch im Projektionsbericht 2017 (UBA 2017a) geht die Verkehrsleistung durch weitere Maßnahmen im MWMS gegenüber dem MMS zurück, allerdings bleibt der genaue Rückgang unklar.

Tabelle 9: Personenverkehrsleistung in Mrd. Pkm

Studie	Szenario	2010	2015	2030	2040	2050
BMVI 2016	Verkehrsprognose	1117		1261		
	Niedrige Variante	1117		1204		
	Hohe Variante	1117		1323		
BCG & Prognos 2018	Referenzszenario		1138	1185		1123
	80 %-Pfad		1138	1181		1115
Klimaschutz des Verkehrs bis 2050	Referenz	1117		1261		1236
	Klimaschutz	1117		1045		1051
Proj.-Bericht 2017	MMS	1075		1187		
	MWMS	1075		?		
Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015	Aktuelle-Maßnahmen-Szenario	1073		1090	1096	1099
	Klimaschutzszenario 80	1073		1045	1048	1056

Quellen: BMVI 2016, BCG & Prognos 2018, UBA 2016c, 2017b und Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015.

Tabelle 10: Güterverkehrsleistung in Mrd. tkm

Studie	Szenario	2010	2015	2030	2040	2050
BMVI 2016	Verkehrsprognose	607		837		
	Niedrige Variante	607		807		
	Hohe Variante	607		867		
BCG & Prognos 2018	Referenzszenario		639	837		945
	80 %-Pfad		639	837		945
Klimaschutz des Verkehrs bis 2050	Referenz	607		837		974
	Klimaschutz	607		810 ²		914
Proj.-Bericht 2017	MMS	618		856		
	MWMS	618		?		
Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015	Aktuelle-Maßnahmen-Szenario	604		758	800	821
	Klimaschutzszenario 80	604		822	856	865

Quellen: BMVI 2016, BCG & Prognos 2018, UBA 2016c, 2017b und Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015.

² Aus Grafik abgeschätzt.

Tabelle 11: Bestand an E-Fahrzeugen in Mio.

Studie	Szenario	2030	2040	2050
BMVI 2016	Verkehrsprognose	6		
BCG & Prognos 2018	Referenzszenario	4	8	14
	80 %-Pfad	6	16	26
Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015	Aktuelle-Maßnahmen-Szenario	4,4		15,2
	Klimaschutzszenario 80	6,4		30,3

Quellen: BMVI 2016, BCG & Prognos 2018 und Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015.

Beim Vergleich der Verkehrsentwicklung in den Klimaschutzstudien fällt auf, dass sich die Verkehrsleistungen im Jahr 2050 ziemlich unterschiedlich entwickeln. Hintergrund ist, dass in den Klimaschutzszenarien (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015) und in „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (UBA 2016c) Maßnahmen wie höhere Mautsätze und Energiesteuern unterstellt werden, die die Verkehrsleistung begrenzen, während in den Klimaschutzpfaden (BCG & Prognos 2018) implizit allein auf technische Maßnahmen zur Erreichung der notwendigen Emissionsminderungen gesetzt wird. In UBA (2016c) wird allerdings darauf verwiesen, dass die erwarteten Rückgänge der Verkehrsleistungen schon sehr ambitioniert sind.

In einem Szenario, das wie SSP1 auf die Einhaltung von Nachhaltigkeitszielen insgesamt setzt wie u. a. auch eine Beschränkung der Flächeninanspruchnahme, sollte auch die Zunahme der Verkehrsleistung begrenzt werden, um andere Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Dagegen ist im Trend von einer mit der Wirtschaftsleistung weiter steigenden Verkehrsleistung auszugehen.

Als Ergebnis von Kapitel 4.2 lässt sich festhalten, dass verschiedene aktuelle nationale Szenariestudien im Bereich Energie- und Klimaschutz sich vereinfachend in zwei Gruppen einordnen lassen. Einem Szenario, das entweder den aktuellen Politikstand festhält oder die spezifische Politikentwicklung trendmäßig moderat fortschreibt, wird ein Zielerreichungsszenario gegenübergestellt. Die zentralen sozioökonomischen Annahmen zu Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung sind in der Regel identisch. Diese orientieren sich an den aktuellen Langfristerwartungen, die sich teilweise durch die aktuelle Kurzfristentwicklung mit ergeben. In Zeiten einer globalen Wirtschaftskrise fallen die langfristigen Wachstumserwartungen geringer aus als in Zeiten der Hochkonjunktur. Bezüglich der Entwicklung in den Bereichen Energie und Klimaschutz passt die Trendfamilie gut zu SSP 2, „middle of the road“, das aktuelle Entwicklungen in die Zukunft fortschreibt. Die Gruppe der Zielszenarien stimmt gut mit SSP 1 überein, das eine nachhaltige Entwicklung abbildet. Für beide Szenarien sollten die Annahmen zu Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung gleich sein, um gut anschlussfähig an die nationalen Szenarien zu sein. Für das Stabilitätsszenario kann ein begrenzter Rückgang der Verkehrsleistungen im Vergleich zum Trendszenario durch politische Maßnahmen unterstellt werden. Eine dritte konsistente Szenarienfamilie lässt sich aus den vorhandenen Szenariestudien nicht ableiten.

4.3 Auswahl von drei unterschiedlichen Szenarien bzgl. des sozioökonomischen Wandels

In Anlehnung an die untersuchten Szenarien, die sich überwiegend den Narrativen der SSP zuordnen lassen, werden im Folgenden drei nationale Szenarien beschrieben, für die im weiteren Projektverlauf die Datensets in Projektionen bis zum Jahr 2045 entwickelt werden und die Ausgangspunkt für die regionalisierten Szenarien sind.

Eine nachhaltige Entwicklung beschreibt das Szenario Stabilität, das international an SSP 1 anchlussfähig ist. Hierbei entwickeln sich die Bevölkerungszahlen nach aktuellem Trend mit einer langfristigen Nettozuwanderung von 200.000 Personen pro Jahr. Damit ist die Bevölkerungsprojektion vergleichbar mit Variante 2a der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2017a). Das BIP wächst zunächst mit 1,3 % bis 2020 und 1 % bis 2025 jährlich, langfristig mit einer Rate von 0,8 % pro Jahr in Anlehnung an den Projektionsbericht (UBA 2017a). Die Wachstumsrate liegt niedriger als historisch, weil die erwerbsfähige Bevölkerung langfristig zurückgeht. Gemäß der Strukturdatenprognose 2030 wächst der Außenhandel auch zukünftig sehr viel schneller als das BIP (ifo Institut & Uni Hamburg 2012). Für den Zeitraum 2010 bis 2030 nehmen die Exporte um durchschnittlich 3,63 % pro Jahr zu, die im gesamten Zeitraum absolut niedrigeren Importe sogar um 3,99 %. Nach dem Jahr 2030 schwächt sich die Zunahme etwas ab.

Die Ziele der Energiewende zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz werden erreicht. Im Jahr 2030 wird die THG-Minderung gemäß Klimaschutzplan der Bundesregierung von 55 % gegenüber dem Basisjahr erreicht (BMUB 2016). Der Primärenergieverbrauch soll nach dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi & BMU 2010) bis zum Jahr 2030 um 30 % im Vergleich zu 2008 zurückgehen (50 % bis 2050). Für den Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung strebt die Bundesregierung einen Anteil von 65 % im Jahr 2030 an. Die THG-Emissionen gehen demnach zukünftig stärker zurück als in der Vergangenheit und liegen im Jahr 2050 zwischen 80 und 95 % unter dem Niveau des Jahres 1990. Für den Verkehrsbereich bedeutet dies, dass bis zum Jahr 2045 ein weitgehender Umstieg auf alternative Antriebe (Ende des Verbrennungsmotors bei Pkw-Neuzulassungen in den 2030er-Jahren, weitgehende Elektrifizierung des Güterverkehrs und/oder Bereitstellung CO₂-freier synthetischer Kraftstoffe in großem Umfang) und insgesamt eine Verkehrswende gelingt, die THG-Emissionen weitestgehend vermeidet. Das Szenario orientiert sich am Klimaschutzszenario aus „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (UBA 2016c). Neue Technologien werden umwelt- und sozialverträglich entwickelt und genutzt. Dazu gehören auch eine Begrenzung der Fahrleistungen, eine Verschiebung des Modal Split hin zu öffentlichem Verkehr und verstärkter Gütertransport mit der Bahn. Es ist zu erwarten, dass in dem Szenario auch andere umweltbezogene Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. Für das Vorhaben wichtig ist in diesem Zusammenhang das Ziel einer Begrenzung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke auf weniger als 30 ha/Tag bis zum Jahr 2030. Raumbezogene Charakteristika des Szenarios sind aber im Zusammenhang mit den regionalisierten Szenarien genauer zu bestimmen.

Das zweite Szenario Trend gestaltet sich als Business-as-usual-Szenario ähnlich zu SSP 2. Bevölkerungszahlen und Wirtschaftsleistung entwickeln sich wie im Stabilitätsszenario. Die Energie- und Klimaziele werden verfolgt, aber aufgrund geringerer Ambitionen zumeist erst mit zeitlicher Verzögerung erreicht. Neben Klimaschutz werden wirtschaftliche Interessen von Branchen und Regionen stärker gewichtet als im ersten Szenario. Die Entwicklung von Primärenergieverbrauch, erneuerbaren Energien und THG-Emissionen folgt bis 2035 dem Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts (UBA 2017a). Anschließend werden die Trends extrapoliert.

Tabelle 12: Quantifizierung der Szenarien im Energiebereich

	Stabilität	Trend	Dynamik
Spezifizierung/Quelle	Zielsetzungen der Bundesregierung	Projektionsbericht 2017 (MMS) für 2030; Extrapolation für 2045	Wie Trend und modellendogene Aktivitätsentwicklung
THG-Emissionen (ggü. 1990)	2030: -55 % 2045: -80 % ³	2030: -45 % 2045: -55 %	
Primärenergieverbrauch (ggü. 2008)	2030: -30 % 2045: -45 %	2030: -23 % 2045: -36 %	
Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung	2030: 65 % 2045: 85 % ⁴	2030: 50 % 2045: 65 %	Absoluter Zubau an EE wie in Trend:

Quellen: BMWi & aMU 2010, UBA 2017a.

Auch die Verkehrswende kommt langsamer voran, als es für ambitionierten Klimaschutz notwendig wäre. Die Verkehrsleistungen entwickeln sich bis zum Jahr 2030 gemäß der Verkehrsprognose 2030 (Intraplan & BVU 2014), die dem Verkehrswegeplan zugrunde liegt (BMVI 2016). Anschließend ändern sich die Verkehrsleistungen im Güter- und Personenverkehr gemäß der Referenz in „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (UBA 2016c). Die Verteilung auf die Verkehrsträger folgt nach 2030 den Trends der Verkehrsprognose. Es werden technische Lösungen präferiert. Zumindest in den 2030er-Jahren haben z. B. konventionelle Antriebe noch hohe Anteile an den Neuzulassungen, was die Zusammensetzung der Pkw-Flotte in 2045 mitbestimmt.

Tabelle 13: Quantifizierung der Szenarien im Verkehr

	Stabilität	Trend	Dynamik
Spezifizierung/Quelle	Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050 (Klimaschutz)	Verkehrsprognose 2030, Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050 (Referenz)	Höhere modellendogene Entwicklung als in Trend, die mit den Sensitivitäten der Verkehrsprognose 2030 abgestimmt ist
Personenverkehrsleistung in Mrd. Pkm	2030: 1045 2045: 1049	2030: 1261 2045: 1242	
Güterverkehrsleistung in Mrd. tkm	2030: 810 2045: 895	2030: 837 2045: 940	
THG-Emissionen ⁵ (ggü. 1990)	2030: -40 % 2045: -85 %	2030: -10 % 2045: -45 %	

Quellen: BMVI 2016, UBA 2016c.

³ Ziel der BR: 80-95 % THG-Minderung im Jahr 2050.

⁴ Ziel der BR laut Energiekonzept mindestens 80 %-Anteil im Jahr 2050. Sektorkopplung, die höhere Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bedeutet, wurde bei Zielfestlegung im Jahr 2010 noch nicht diskutiert.

⁵ Ohne internationalen Luft- und Seeverkehr, aus Grafiken abgeschätzt.

Für ein drittes Szenario liefern weder die nationalen Langfristszenarien zu Energiewende und Klimaschutz noch die SSPs eine passende Grundlage. Allerdings nehmen andere Langfristszenarien am aktuellen Rand eine noch stärkere Zunahme bei Nettozuwanderung und der Wirtschaftsleistung an. Daraus ist ein weiteres Szenario mit höherer sozioökonomischer Dynamik entwickelt worden. Im Dynamik-Szenario orientieren sich die Rahmendaten am oberen Rand der derzeit aktuellen untersuchten Projektionen. Die jährliche Nettozuwanderung beträgt 300.000 Personen, sodass für das Jahr 2045 eine Bevölkerungszahl von gut 83 Mio. Personen resultiert, rund 3 Mio. mehr als im Trendszenario. Auch die BIP-Wachstumsrate liegt höher als im Stabilitäts- und Trendszenario: Langfristig wächst die Wirtschaftsleistung mit jährlich 1,2 % in Anlehnung an die Aktualisierung des „Ageing Report“ (EC 2017a), ein Teil davon wird als Defensivausgaben zur Beseitigung der entstehenden Umweltschäden genutzt. Die Wirtschaftsleistung fällt damit im Jahr 2045 in diesem Szenario um 12 % höher aus als in den beiden anderen Szenarien. Treiber sind höhere Exporte als im Trendszenario, was im Modell über Multiplikatoreffekte auch andere Komponenten des BIP wie Konsum und Investitionen sowie die Importe erhöht.

Es ist davon auszugehen, dass im Dynamikszenario die Verfehlung von Nachhaltigkeitszielen im Vergleich zum Trendszenario zunehmen wird, auch wenn innovative Techniken dieser Entwicklung teilweise entgegenwirken könnten. Am Beispiel Verkehr könnte dies bedeuten, dass sich innovative Technologien wie autonomes und vernetztes Fahren schnell durchsetzen. Da dabei die Energiewende und der Klimaschutz wenig beachtet werden und die Verkehrsleistungen deutlich zunehmen, werden die Ziele in diesen Bereichen verfehlt. Im Szenario ist dies wie folgt quantifiziert: Der Ausbau der erneuerbaren Energien bleibt gegenüber dem Trendszenario in absoluten Zahlen unverändert. Da der Stromverbrauch zunimmt, liegt ihr Anteil im Vergleich zum Trend etwas niedriger. Der Energieverbrauch liegt mit dem höheren BIP und den entsprechend höheren Aktivitäten der Industrie, im Verkehr und dem höheren Konsum der privaten Haushalte höher als im Trend. Dabei werden die in PANTA RHEI auf Basis von Vergangenheitsentwicklung hinterlegten Zusammenhänge (Strukturwandel, Einkommens- und Preiselastizitäten der Energienachfrage) fortgeschrieben, wonach ein Anstieg von Aktivitätsgrößen in der Regel zu einer unterproportionalen Zunahme des Energieeinsatzes führt. Die Gründe dafür liegen u. a. im Trend zur Dienstleistungsgesellschaft, dem technischen Fortschritt und dem Charakter zumindest von Wärmeenergie als Basis gut.⁶ Für die Energiepolitik (Steuersätze, Grenzwerte, Förderprogramme,...) werden die Annahmen des Trendszenarios unterstellt.

Für die Wirkung einer anderen Entwicklung der Wirtschaftsleistung auf die Verkehrsleistung liefert die Verkehrsverflechtungsprognose (Intraplan & BVU 2014) Hinweise: In der höheren und niedrigeren Szenariovariante ist das höhere/niedrigere BIP (+5,5 %/-5,9 %) im Jahr 2030 mit einer unterproportionalen Veränderung beim Personen- (+4,7 %/-4,4 %) und Güterverkehr (+3,7 %/-3,6 %) verbunden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das höhere BIP von einem höheren Außenhandel getrieben wird, der vor allem mit höherem Güterverkehr verbunden ist, und auch die Bevölkerungszahl insbesondere im erwerbsfähigen Alter im Dynamik-Szenario höher liegt als im Trend. Annahmen zur Begrenzung der Verkehrsleistung im Stabilitätsszenario können aus UBA (2016c) abgeleitet werden.

Tabelle 14 gibt einen Überblick über wesentliche Annahmen und Charakteristika der drei ausgewählten Szenarien auf nationaler Ebene. Entwicklungen mit Raumbezug wie die zukünftige Urbanisierung werden im Zusammenhang mit der Regionalmodellierung betrachtet.

⁶ Höheres Einkommen führt z. B. bei gleicher Wohnung nicht dazu, dass die Nachfrage nach Wärme und damit die Heizkosten proportional steigen. Eine Ausnahme hiervon ist der Flugverkehr, der mit steigendem Einkommen überproportional wächst.

Tabelle 14: Zusammenfassung der drei Szenarien

	Stabilität	Trend	Dynamik
Bevölkerungsentwicklung (jährliche Nettozuwanderung ab 2020)	Konstanz (200 T)	Konstanz (200 T)	Zunahme (300 T)
BIP	1,3 % bis 2020 1 % bis 2025 0,8 % ab 2026	1,3 % bis 2020 1 % bis 2025 0,8 % ab 2026	1,7 % bis 2020 1,3 % bis 2025 1,2 % ab 2026
Energiewende/ Klimaschutz	Zielerreichung	Zielerreichung verspätet	Deutliche Zielverfehlung
Verkehr	Verkehr in 2045 weitgehend THG-neutral, Begrenzung der Verkehrsleistung	Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele deutlich verspätet	hohe Transportleistung, Umwelt- und Klimaschutzziele nachrangig
Landnutzung (vgl. Regionalmodellierung)	SuV-Ziel erreicht (30 ha minus x/Tag 2030)	Flächenziel verfehlt	Eher zunehmender Anstieg der Flächeninanspruchnahme

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

4.4 Quantifizierung der drei Szenarien auf nationaler Ebene

Im Folgenden werden die drei Szenarien auf nationaler Ebene mit dem Modell PANTA RHEI quantifiziert, das im Anhang A.2 kurz beschrieben wird. Die Szenarien unterscheiden sich durch die in Abschnitt 4.3 aufgeführten Vorgaben. Sie sind damit jeweils in sich konsistent. Unterschiede zwischen den Szenarien sind Ergebnis der exogen gesetzten Vorgaben. Sie stellen Modellergebnisse im Wenn-Dann-Sinne dar. Die Ergebnisse des Stabilitätsszenarios sind **nicht** als detaillierte Umsetzung einer Energiewende oder eines Klimaschutzszenarios im Modellkontext zu verstehen, von der die gesamtwirtschaftlichen Effekte stark abhängig sind. Der Szenarienvergleich lässt insbesondere keine Rückschlüsse auf die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit eines Szenarios im Vergleich zu einem anderen zu. Abschließend werden die Szenarien kurz eingeordnet.

4.4.1 Trend

Die demographische Entwicklung ergibt sich aus Annahmen zur Entwicklung der Fertilitätsrate und Sterbewahrscheinlichkeiten gemäß Variante 2a der 13 koordinierten Bevölkerungsvorausschätzung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2017a) sowie aus der Annahme einer jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Personen pro Jahr ab 2020, die überwiegend in den Arbeitsmarkt erfolgt. Damit sind die Neuzugewanderten im Jahr 2045 zumeist noch unter 65 Jahren alt. Im Ergebnis steigt die Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2030 gegenüber 2015 leicht an und sinkt anschließend. Die Einwohnerzahl liegt im Jahr 2045 um rund 2 Millionen niedriger als im Jahr 2015. Die Zahl der über 65-Jährigen wächst zwischen 2015 und 2045 um 6 Millionen, wobei drei Viertel der Zunahme auf die Babyboomer bereits bis zum Jahr 2030 zurückgeht. Die Bevölkerungszahl im erwerbsfähigen Alter von 15 bis 65 Jahren nimmt im Gegenzug bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2015 um über 4 Millionen ab. Im Jahr 2045 beträgt die Zahl noch knapp 47 Millionen. Das Verhältnis der beiden Bevölkerungsgruppen zueinander, der Altersko-

effizient, ändert sich von 32 % im Jahre 2015 auf knapp 50 % im Jahr 2045. Die Zahl der Einwohner bis 15 Jahre steigt von fast 10,9 Mio. im Jahr 2015 bis 2030 um fast eine halbe Million an und sinkt danach deutlich auf unter 10 Millionen im Jahr 2045.

Die Zahl der privaten Haushalte nimmt bis 2030 wie in der Vergangenheit auch in Zukunft stärker zu als die Bevölkerungszahl und bleibt bis 2045 weitgehend auf dem Niveau des Jahres 2030. Zusammen mit dem weiter steigenden verfügbaren Einkommen pro Kopf wächst die Zahl der Wohnungen schneller als die Zahl der Haushalte. Im Jahr 2045 gibt es mehr Wohnungen als private Haushalte.

Das Bruttoinlandsprodukt wächst annahmegemäß um durchschnittlich jährlich 1,3 % bis 2020, um 1 % bis 2025 und 0,8 % bis 2045. Überdurchschnittlich wachsen die Ausrüstungsinvestitionen und der Außenhandel. Dabei nehmen die Importe prozentual etwas stärker zu als die Exporte. Deutschland weist aber auch 2045 noch einen hohen Außenhandelsüberschuss aus. Unterdurchschnittlich entwickeln sich die Bauinvestitionen und der Staatskonsum.

Tabelle 15: Sozioökonomische Entwicklung im Trendszenario

Bevölkerung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Einwohner	in 1.000	82.184	82.868	80.219	-2,4 %
davon über 65 Jahren	in 1.000	17.303	21.813	23.316	+34,8 %
davon bis unter 15 Jahre	in 1.000	10.881	11.335	9.930	-8,7 %
davon von 15 bis 65 Jahre	in 1.000	54.000	49.720	46.973	-13,0 %
Wohnen		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Zahl der privaten Haushalte	in 1.000	40.689	42.335	42.164	+3,6 %
Zahl der Wohnungen	in 1.000	39.466	41.913	43.145	+9,3 %
Verfügbares Einkommen pro Kopf	in Mrd. € ₂₀₁₀	20.247	23.626	27.170	+34,2 %
Wirtschaftsleistung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Bruttoinlandsprodukt	in Mrd. € ₂₀₁₀	2.800	3.262	3678	+31,4 %
Privater Konsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.532	1.792	1961	+28,0 %
Staatskonsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	529	601	661	+25,0 %
Ausrüstungen	in Mrd. € ₂₀₁₀	295	398	512	+73,6 %
Bauten	in Mrd. € ₂₀₁₀	260	284	307	+18,1 %
Exporte	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.357	2.142	3.268	+140,8 %
Importe	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.137	1.938	3.050	+168,2 %
Bruttoinlandsprodukt	CAGR (in %)		1,02	0,80	
Privater Konsum	CAGR (in %)		1,05	0,60	
Staatskonsum	CAGR (in %)		0,85	0,64	
Ausrüstungen	CAGR (in %)		2,02	1,69	
Bauten	CAGR (in %)		0,59	0,52	
Exporte	CAGR (in %)		3,09	2,86	
Importe	CAGR (in %)		3,62	3,07	

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

Im Energiebereich sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2045 gegenüber dem Jahr 2015 deutlich um fast ein Drittel. Der Endenergieverbrauch insgesamt und der Heizenergiebedarf der privaten Haushalte sind weniger stark rückläufig (etwa -17 % zwischen 2015 und 2045). Die Energieimporte gehen sogar um 43 % im Betrachtungszeitraum zurück, weil überwiegend importierte Energieträger wie Erdöl, Erdgas und Steinkohle zunehmend durch heimisch produzierte erneuerbare Energien ersetzt werden. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung erreicht mit den derzeit umgesetzten Maßnahmen einen Anteil von rund 50 % im Jahr 2030.

Die Personenverkehrsleistung steigt gemäß Verkehrsprognose 2030 (Intraplan & BVU 2014) um etwa 6 % gegenüber dem Jahr 2015 an und sinkt danach leicht bei sinkender Bevölkerungszahl im erwerbsfähigen Alter. Der Güterverkehr wächst gemäß Verkehrsprognose weiter deutlich um 30 % bis 2030 und noch einmal um 13 % bis zum Jahr 2045, nicht zuletzt, weil auch der Außenhandel überdurchschnittlich zunimmt. Die Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr ändern sich in Zukunft kaum.

Tabelle 16: Energie und Verkehr im Trendszenario

Energie		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Primärenergieverbrauch	in PJ	13.258	10.985	9.178	-30,8 %
Endenergieverbrauch	in PJ	8.898	8.443	7.358	-17,3 %
davon Raumwärme pr. HH	in PJ	1.587	1.465	1.315	-17,1 %
Anteil EE an der Bruttostromerzeugung	in %	27,24	50,11	65,20	+139,4 %
Energieimporte	in PJ	11.799	8.369	6.763	-42,7 %
Verkehr		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Personenverkehrsleistung	in Mrd. Pkm	1.194	1.267	1.242	+4,0 %
Güterverkehrsleistung	in Mrd. tkm	644	838	946	+46,9 %
davon Straße	in Mrd. tkm	463	598	675	+45,8 %
davon Schiene	in Mrd. tkm	117	158	179	+53,0 %
davon Binnenschiff	in Mrd. tkm	62	80	88	+41,9 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Bei der Entwicklung der Bruttowertschöpfung setzen sich im Dienstleistungssektor einige Trends der Vergangenheit in Zukunft weiter fort. Die Dienstleistungsbereiche weisen überwiegend überdurchschnittliche Wachstumsraten auf. Ausnahmen sind Banken und Versicherungen, freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleistungen und der Bereich der öffentlichen Verwaltung. Überdurchschnittlich entwickelt sich daneben auch das Baugewerbe. Rückläufig ist die Entwicklung der Bruttowertschöpfung bei Bergbau und Energieversorgung. Die Entwicklungen in Landwirtschaft und im verarbeitenden Gewerbe verlaufen durchschnittlich.

Diese Strukturveränderungen unterscheiden sich in der Grundaussage einer weiteren Tertiärisierung nicht grundsätzlich von der Strukturdatenprognose 2030 (ifo Institut & Uni Hamburg 2012, S. 91). Allerdings sind die Entwicklungen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen nur begrenzt vergleichbar. Zum einen werden die Ergebnisse in unterschiedlichen Klassifikationen ausgewiesen, zum zweiten geht das Trendszenario von einer höheren Bevölkerungsentwicklung aus, was konsumnahe Dienstleistungen und das Baugewerbe begünstigt, und drittens unterscheiden sich die vergleichbaren Zeiträume (2010–2030 in der Strukturdatenprognose 2030; 2015–2030 hier) deutlich.

Tabelle 17: Sektorale Bruttowertschöpfung im Trendszenario

Bruttowertschöpfung in Preisen von 2010		2015–2030	2030–2045
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	CAGR (in %)	1,21	0,93
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	CAGR (in %)	-4,86	-3,54
Verarbeitendes Gewerbe	CAGR (in %)	1,05	0,82
Energieversorgung	CAGR (in %)	-0,35	-0,52
Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung u. Ä.	CAGR (in %)	0,91	0,77
Baugewerbe	CAGR (in %)	1,79	1,07
Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz	CAGR (in %)	0,57	0,51
Verkehr und Lagerei	CAGR (in %)	1,41	1,37
Gastgewerbe	CAGR (in %)	1,42	0,95
Information und Kommunikation	CAGR (in %)	0,95	1,05
Finanz- und Versicherungsdienstleister	CAGR (in %)	0,78	0,62
Grundstücks- und Wohnungswesen	CAGR (in %)	1,06	0,51
Freiberufliche, wissenschaftl. und technische Dienstleister	CAGR (in %)	0,59	0,42
Sonstige wirtschaftliche Unternehmensdienstleister	CAGR (in %)	1,29	1,14
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	CAGR (in %)	0,50	0,19
Erziehung und Unterricht	CAGR (in %)	1,61	1,13
Gesundheits- und Sozialwesen	CAGR (in %)	1,48	0,97
Kunst, Unterhaltung und Erholung	CAGR (in %)	1,56	1,28
Sonstige Dienstleister a. n. g.	CAGR (in %)	1,88	1,40
Private Haushalte mit Hauspersonal	CAGR (in %)	2,06	1,09

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

4.4.2 Dynamik

Im DynamikszENARIO liegt die jährliche Nettozuwanderung bei 300.000 Personen pro Jahr und damit um 100.000 höher als im Trendszenario. Entsprechend wächst die Bevölkerung bis 2030 auf 84 Mio. und geht danach nur leicht auf gut 83 Mio. im Jahr 2045 zurück. Sie liegt damit ziemlich genau um 3 Mio. höher als im Trendszenario. Der Großteil der höheren Bevölkerung im Vergleich zum Trend ist im Jahr 2045 zwischen 15 und 65 Jahren alt. Der Alterskoeffizient steigt somit „nur“ auf 47,5 % im Jahr 2045. Die Zahl der privaten Haushalte steigt bis zum Jahr 2045 ebenfalls um knapp 3 Mio. auf 43,5 Mio. Die Zahl der Wohnungen nimmt noch etwas stärker zu.

Im Vergleich zum Trendszenario ist im DynamikszENARIO ein stärkerer Anstieg der Exporte unterstellt, sodass das BIP die angenommenen höheren Wachstumsraten genau erreicht. Alle übrigen Größen passen sich modellendogen an. Beispielsweise steigen auch die deutschen Importe mit höheren Exporten und höherer inländischer Nachfrage stark an. Auch die Investitionen in Ausrüstungen reagieren überdurchschnittlich im Vergleich zum Trendszenario. Im Ergebnis

sind die Exporte im Jahr 2045 größer als das BIP, die Ausrüstungsinvestitionen verdoppeln sich bis 2045 gegenüber dem Jahr 2015.

Tabelle 18: Sozioökonomische Entwicklung im DynamikszENARIO

Bevölkerung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Einwohner	in 1.000	82.184	84.024	83.150	+1,2 %
davon über 65 Jahren	in 1.000	17.303	21.827	23.405	+35,3 %
davon bis unter 15 Jahre	in 1.000	10.881	11.599	10.474	-3,7 %
davon von 15 bis 65 Jahre	in 1.000	54.000	50.598	49.271	-8,8 %
Wohnen		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Zahl der privaten Haushalte	in 1.000	40.689	42.797	43.508	+6,9 %
Zahl der Wohnungen	in 1.000	39.466	42.217	43.915	+11,3 %
Verfügbares Einkommen pro Kopf	in € ₂₀₁₀	20.247	24.669	29.389	+45,2 %
Wirtschaftsleistung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Bruttoinlandsprodukt	in Mrd. € ₂₀₁₀	2.800	3.454	4.111	+46,8 %
Privater Konsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.532	1.906	2.240	+46,2 %
Staatskonsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	529	607	681	+28,7 %
Ausrüstungen	in Mrd. € ₂₀₁₀	295	431	616	+108,8 %
Bauten	in Mrd. € ₂₀₁₀	260	300	337	+29,6 %
Exporte	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.357	2.411	4.267	+214,4 %
Importe	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.137	2.188	4.069	+257,9 %
Bruttoinlandsprodukt	CAGR (in %)		1,41	1,17	
Privater Konsum	CAGR (in %)		1,47	1,08	
Staatskonsum	CAGR (in %)		0,92	0,77	
Ausrüstungen	CAGR (in %)		2,56	2,41	
Bauten	CAGR (in %)		0,96	0,78	
Exporte	CAGR (in %)		3,91	3,88	
Importe	CAGR (in %)		4,46	4,22	

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

Mit höherer Bevölkerungszahl und höherer Wirtschaftsleistung liegen auch der Primär- und Endenergieverbrauch im Jahr 2045 höher als im Trendszenario. Allerdings ist die Veränderung des Energieverbrauchs unterdurchschnittlich und in den einzelnen Verbrauchssektoren ziemlich unterschiedlich. Für den Endenergieverbrauch für Raumwärme und im Bereich GHD sind die Unterschiede gering, weil zusätzliche, neu gebaute Wohnungen und Büros nur geringe Verbräuche

aufweisen. Größer sind die Unterschiede in der Industrie und vor allem im Verkehr. Die Güterverkehrsleistung liegt um fast 20 % höher als im Trendszenario, um 75 % über dem Wert des Jahres 2015. Die Personenverkehrsleistung liegt im Jahr 2045 um knapp 10 % höher als im Trendszenario. Die Personenverkehrsleistung ist 2045 um knapp 14 % höher als im Jahr 2015. Am Modal Split ändert sich gegenüber dem Jahr 2015 nur wenig.

Tabelle 19: Energie und Verkehr im Dynamikszenario

Energie		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Primärenergieverbrauch	in PJ	13.258	11.336	9.834	-25,8 %
Endenergieverbrauch	in PJ	8.898	8.678	7.828	-12,0 %
davon Raumwärme pr. HH	in PJ	1.587	1.469	1.324	-16,6 %
Anteil EE an der Bruttostromerzeugung	in %	27,24	48,86	61,58	+126,1 %
Energieimporte	in PJ	11.799	8.851	7.718	-34,6 %
Verkehr		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Personenverkehrsleistung	in Mrd. Pkm	1.194	1.322	1.360	+13,9 %
Güterverkehrsleistung	in Mrd. tkm	644	905	1.128	+75,2 %
davon Straße	in Mrd. tkm	463	648	812	+75,4 %
davon Schiene	in Mrd. tkm	117	168	209	+78,6 %
davon Binnenschiff	in Mrd. tkm	62	86	102	+64,5 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Auf sektoraler Ebene verstärken sich die strukturellen Veränderungen, die bereits im Trendszenario sichtbar sind. Weite Teile des Dienstleistungssektors und das Baugewerbe weisen überdurchschnittliche Wachstumsraten aus. Im Bergbau und in der Energieversorgung sinkt die Wertschöpfung im Zeitverlauf dagegen sogar ab. Die öffentliche Verwaltung fällt zurück. Auf den ersten Blick mag die Entwicklung im verarbeitenden Gewerbe überraschen, das trotz großer Steigerungen von Exporten und Ausrüstungsinvestitionen nicht überdurchschnittlich profitieren kann. Allerdings bestehen die dahinter liegenden Zusammenhänge bereits heute. Bei knappem Arbeitsangebot müssen zusätzliche Effizienzpotentiale gehoben werden. Das Produktivitätspotential ist im verarbeitenden Gewerbe sehr viel höher als im Dienstleistungsbereich und im Bau, wo vor allem die zusätzliche Wertschöpfung entsteht.

Tabelle 20: Sektorale Bruttowertschöpfung im DynamikszENARIO

Bruttowertschöpfung in Preisen von 2010		2015–2030	2030-2045
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	CAGR (in %)	1,83	1,17
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	CAGR (in %)	-3,35	-2,67
Verarbeitendes Gewerbe	CAGR (in %)	1,43	1,07
Energieversorgung	CAGR (in %)	-0,28	-0,44
Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung u. Ä.	CAGR (in %)	1,22	1,22
Baugewerbe	CAGR (in %)	2,28	1,40
Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz	CAGR (in %)	1,01	1,00
Verkehr und Lagerei	CAGR (in %)	1,79	1,85
Gastgewerbe	CAGR (in %)	1,94	1,50
Information und Kommunikation	CAGR (in %)	1,35	1,57
Finanz- und Versicherungsdienstleister	CAGR (in %)	1,26	1,10
Grundstücks- und Wohnungswesen	CAGR (in %)	1,24	0,65
Freiberufliche, wissenschaftl. und technische Dienstleister	CAGR (in %)	0,97	0,78
Sonstige wirtschaftliche Unternehmensdienstleister	CAGR (in %)	1,73	1,57
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	CAGR (in %)	0,81	0,51
Erziehung und Unterricht	CAGR (in %)	2,18	1,94
Gesundheits- und Sozialwesen	CAGR (in %)	1,67	1,15
Kunst, Unterhaltung und Erholung	CAGR (in %)	1,84	1,67
Sonstige Dienstleister a. n. g.	CAGR (in %)	2,35	1,86
Private Haushalte mit Hauspersonal	CAGR (in %)	3,06	1,62

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

4.4.3 Stabilität

Im Stabilitätsszenario entspricht die Bevölkerungsentwicklung dem Trendszenario. Auch die wirtschaftliche Entwicklung verläuft insgesamt und in ihrer Nachfragestruktur sehr ähnlich wie im Trendszenario.⁷

⁷ Dies wäre etwas anders, wenn die ökonomischen Effekte der Energiewende untersucht worden wären (vgl. z. B. Lutz et al. 2018). In entsprechenden Studien sind höhere Ausrüstungs- und Bauinvestitionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele notwendig. Überwiegend sind die BIP-Effekte der Energiewende positiv und auch die Beschäftigung liegt etwas höher als in Vergleichsszenarien ohne Energiewende.

Tabelle 21: Sozioökonomische Entwicklung im Stabilitätsszenario

Bevölkerung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Einwohner	in 1.000	82.184	82.868	80.219	-2,4 %
davon über 65 Jahren	in 1.000	17.303	21.813	23.316	+34,8 %
davon bis unter 15 Jahre	in 1.000	10.881	11.335	9.930	-8,7 %
davon von 15 bis 65 Jahre	in 1.000	54.000	49.720	46.973	-13,0 %
Wohnen		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Zahl der privaten Haushalte	in 1.000	40.689	42.335	42.164	+3,6 %
Zahl der Wohnungen	in 1.000	39.466	41.913	43.145	+9,3 %
Verfügbares Einkommen pro Kopf	in € ₂₀₁₀	20.247	23.605	26.828	+32,5 %
Wirtschaftsleistung		2015	2030	2045	Veränderung 2045 ggü. 2015
Bruttoinlandsprodukt	in Mrd. € ₂₀₁₀	2.800	3.275	3.683	+31,5 %
Privater Konsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.532	1.786	1.943	+26,8 %
Staatskonsum	in Mrd. € ₂₀₁₀	529	598	656	+24,0 %
Ausrüstungen	in Mrd. € ₂₀₁₀	295	425	539	+82,7 %
Bauten	in Mrd. € ₂₀₁₀	260	285	326	+25,4 %
Exporte	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.357	2.133	3.177	+134,1 %
Importe	in Mrd. € ₂₀₁₀	1.137	1.935	2.978	+161,9 %
Bruttoinlandsprodukt	CAGR (in %)		1,05	0,79	
Privater Konsum	CAGR (in %)		1,03	0,56	
Staatskonsum	CAGR (in %)		0,82	0,62	
Ausrüstungen	CAGR (in %)		2,46	1,60	
Bauten	CAGR (in %)		0,61	0,90	
Exporte	CAGR (in %)		3,06	2,69	
Importe	CAGR (in %)		3,61	2,92	

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

Deutlich anders sieht die Entwicklung dagegen in den Bereichen Energie und Verkehr im Vergleich zum Trendszenario aus. Zur Erreichung der Ziele der Bundesregierung gehen Primär- und Endenergieverbrauch gegenüber dem Jahr 2015 deutlich stärker zurück. Ziel des Energiekonzepts ist die Halbierung des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2050 gegenüber 2008. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung erreicht 65 % im Jahr 2030 und knapp 84 % im Jahr 2045. Es gibt eine deutliche Verschiebung zwischen den Energieträgern. Die Bruttostromerzeugung ist im Jahr 2045 knapp 14 % höher als im Trendszenario, was einen starken Ausbau an erneuerbaren Energien in diesem Bereich bedeutet. Gleichzeitig sinkt der Einsatz

der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas drastisch.⁸ Sollte Deutschland seine Klimaschutzambitionen im Rahmen zusätzlicher international notwendiger Maßnahmen zur Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens (2°C oder sogar 1,5°C) erhöhen, müssten verschiedene Sektorziele wie 100 % EE-Anteil an der Stromerzeugung und vollständige Dekarbonisierung des Verkehrs vermutlich schon bis oder kurz nach dem Jahr 2045 erreicht werden.

Tabelle 22: Energie und Verkehr im Stabilitätsszenario

Energie		2015	2030	2045	2050	Veränderung 2045 ggü. 2015
Primärenergieverbrauch	in PJ	13.258	9.779	8.073		-39,1 %
Ziele der Bundesregierung (in PJ und in % ggü. 2008)			10.066 / -30 %		7.190 / -50 %	
Endenergieverbrauch	in PJ	8.898	7.570	6.462		-27,4 %
davon Raumwärme pr. HH	in PJ	1.587	1.346	1.070		-32,6 %
Anteil EE an der Bruttostromerzeugung	in %	29,58	65,27	83,73		+183,1 %
Ziele der Bundesregierung			65 %		>= 80 %	
Energieimporte	in PJ	11.799	6.630	4.759		-59,7 %
Verkehr		2015	2030	2045	2050	Veränderung 2045 ggü. 2015
Personenverkehrsleistung	in Mrd. Pkm	1.194	1.045	1.047		-12,3 %
Güterverkehrsleistung	in Mrd. tkm	644	815	894		+38,8 %
davon Straße	in Mrd. tkm	463	520	559		+20,7 %
davon Schiene	in Mrd. tkm	117	205	233		+99,1 %
davon Binnenschiff	in Mrd. tkm	62	87	99		+59,7 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Das Szenario orientiert sich am Klimaschutzszenario aus „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (UBA 2016c). Die Personenverkehrsleistung geht bis zum Jahr 2030 um gut 12 % gegenüber dem Jahr 2015 zurück und stagniert danach auf dem erreichten Niveau. Der Güterverkehr steigt dagegen bis zum Jahr 2045 noch einmal um fast 39 % an. Schienenverkehr und Binnenschifffahrt können dabei ihre Anteile ausbauen. Die Einhaltung der Klimaschutzziele setzt voraus, dass der Personen- und Güterverkehr auf der Straße in weiten Teilen emissionsfrei erfolgt, entweder durch Elektromobilität oder durch weitestgehend CO₂-frei erzeugte synthetische Kraftstoffe. Allerdings behält der Verkehr bis 2045 ein höheres Emissionsbudget als Stromerzeugung und Gebäudereich, das weitgehend im Straßenverkehr genutzt wird, weil der überwiegend internationale Flugverkehr nicht durch nationale Klimaschutzmaßnahmen beschränkt ist und auf der Schiene in erster Linie Strom genutzt wird. Die Änderungen im Straßenverkehr werden durch Ordnungsrecht (u. a. hohe Effizienzsteigerung der Fahrzeuge), strombasierte

⁸ Nach dem Ergebnis der „Kohlekommission“ vom Januar 2019 ist das Ende der Kohleverstromung in Deutschland spätestens im Jahr 2038 vorgesehen. Der Einsatzmix in der Stromerzeugung orientiert sich im Szenario Stabilität an Szenarien, die die THG-Minderungsziele sowohl im Rahmen des EU-ETS als auch in Deutschland einhalten, aber dabei bis zum Jahr 2045 noch Kohlekraftwerke als Back-up-Kapazitäten zulassen. Diese Rolle müssten zur Einhaltung des Kohleausstiegs Gaskraftwerke übernehmen und ggfs. Speicher.

Kraftstoffe und intelligente Steuerung von Mobilität erzielt. Deutliche Preissteigerungen der Kraftstoffe und der Fahrzeuge im Vergleich zum Trendszenario sind nicht angenommen. Wie im Energiebereich ist auch für den Verkehr festzuhalten, dass ambitionierte internationale Klimaschutzziele (1,5°C- bis 2°C-Ziel) und ein entsprechender deutscher Beitrag gegenüber dem Szenario zu deutlich höheren THG-Minderungen führen müssten, die hier nicht betrachtet werden.

Tabelle 23: Sektorale Bruttowertschöpfung im Stabilitätsszenario

Bruttowertschöpfung in Preisen von 2010		2015–2030	2030–2045
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	CAGR (in %)	1,29	1,02
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	CAGR (in %)	-5,58	-4,94
Verarbeitendes Gewerbe	CAGR (in %)	1,11	0,69
Energieversorgung	CAGR (in %)	1,05	-0,59
Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung u. Ä.	CAGR (in %)	0,99	0,84
Baugewerbe	CAGR (in %)	1,85	1,29
Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz	CAGR (in %)	0,50	0,56
Verkehr und Lagerei	CAGR (in %)	1,78	1,14
Gastgewerbe	CAGR (in %)	1,45	0,97
Information und Kommunikation	CAGR (in %)	0,92	1,09
Finanz- und Versicherungsdienstleister	CAGR (in %)	0,76	0,66
Grundstücks- und Wohnungswesen	CAGR (in %)	0,98	0,64
Freiberufliche, wissenschaftl. und technische Dienstleister	CAGR (in %)	0,53	0,50
Sonstige wirtschaftliche Unternehmensdienstleister	CAGR (in %)	1,28	1,20
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung	CAGR (in %)	0,43	0,30
Erziehung und Unterricht	CAGR (in %)	1,62	1,09
Gesundheits- und Sozialwesen	CAGR (in %)	1,41	1,05
Kunst, Unterhaltung und Erholung	CAGR (in %)	1,55	1,33
Sonstige Dienstleister a. n. g.	CAGR (in %)	1,88	1,42
Private Haushalte mit Hauspersonal	CAGR (in %)	2,02	1,10

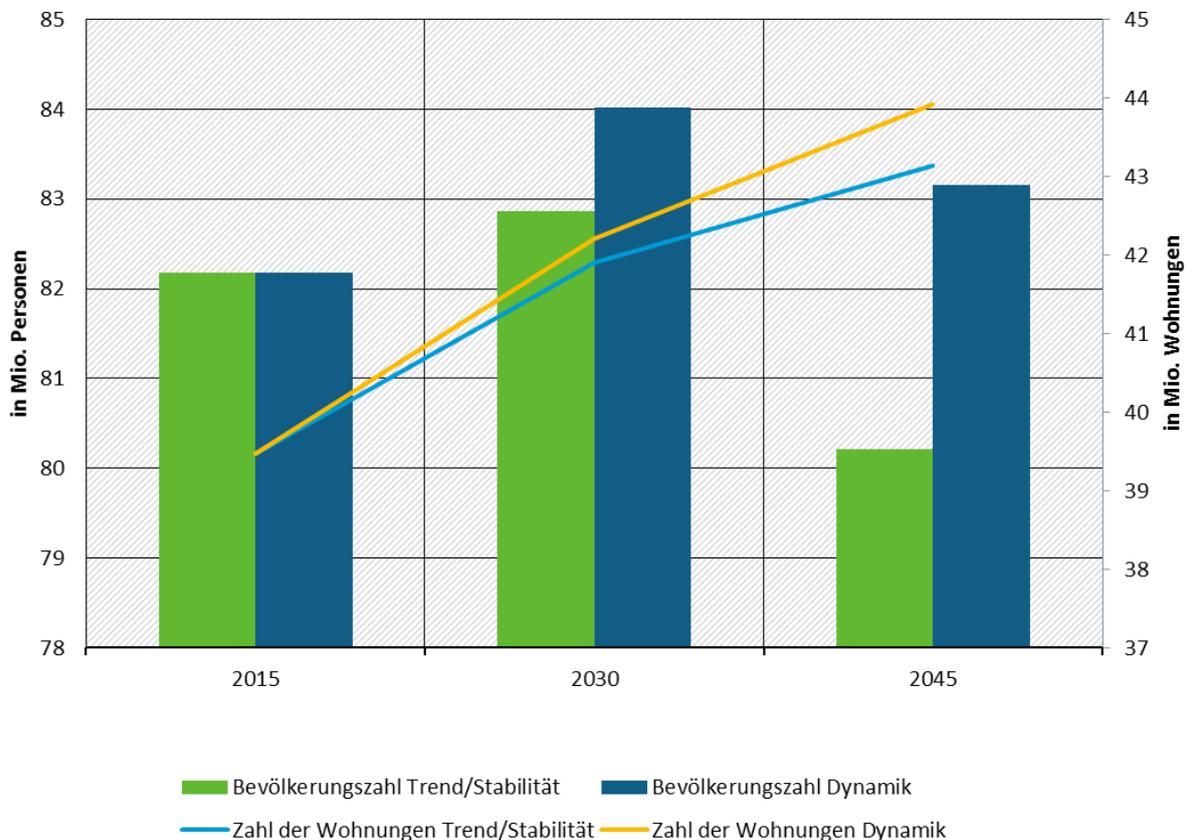
Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

4.4.4 Die drei Szenarien im Vergleich

Die folgenden Abbildungen stellen die Entwicklung zentraler Größen in den drei Szenarien einander gegenüber. Abbildung 23 zeigt die Entwicklung von Bevölkerung und Zahl der Wohnungen, die sich im Trend- und Stabilitätsszenario gleich entwickeln. Im Trend- und Stabilitätsszenario steigt die Bevölkerungszahl bis 2030 noch leicht an und sinkt danach bis 2045 um 2 Mio. unter das Niveau des Jahres 2015. Im DynamikszENARIO wächst die Bevölkerung bis 2030 auf 84 Mio. und geht danach nur leicht zurück. Im Vergleich zum Trend- bzw. Stabilitätsszenario ergibt sich für 2045 eine um 3,7 % höhere Bevölkerungszahl.

Die Zahl der Wohnungen steigt in allen Szenarien an, dabei liegt sie im DynamikszENARIO stets höher. Im Zeitraum von 2030 bis 2045 wird der Unterschied zwischen den Szenarien größer. Im Jahr 2045 beträgt die Zahl der Wohnungen im DynamikszENARIO 43,9 Mio. und liegt damit um 1,8 % höher als in den anderen Szenarien.

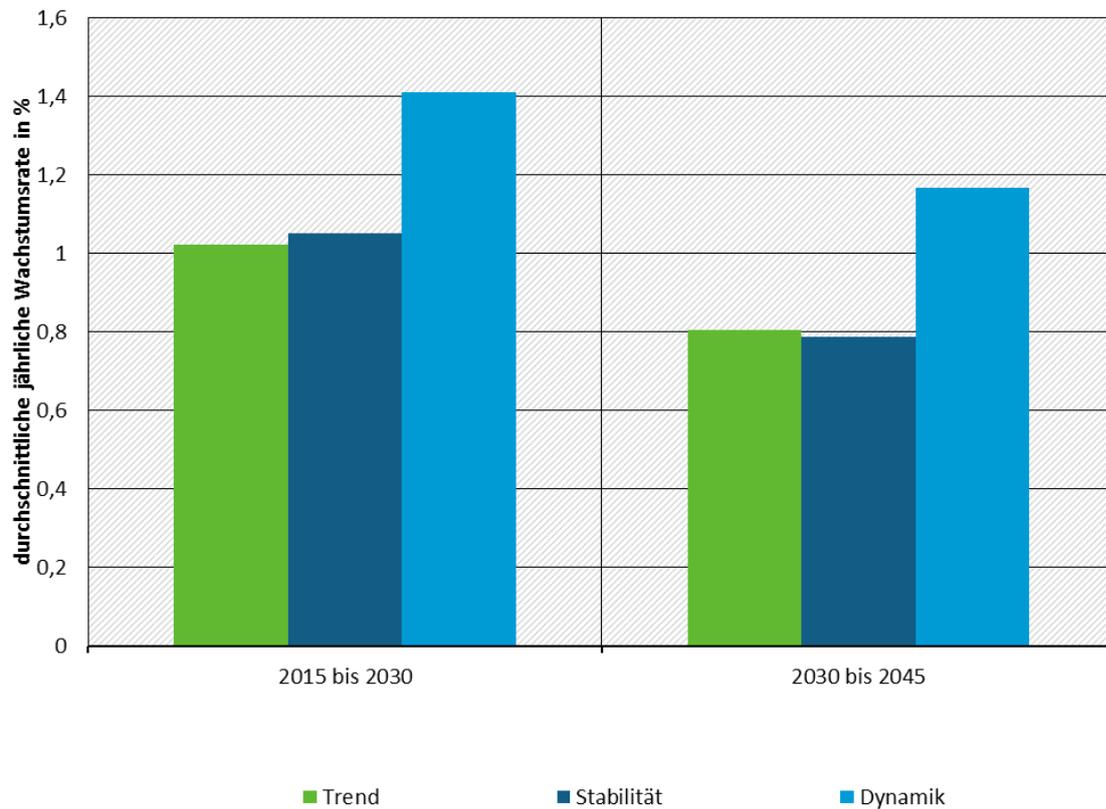
Abbildung 23: Vergleich der Bevölkerungszahl und der Zahl der Wohnungen



Quelle: Eigene Darstellung.

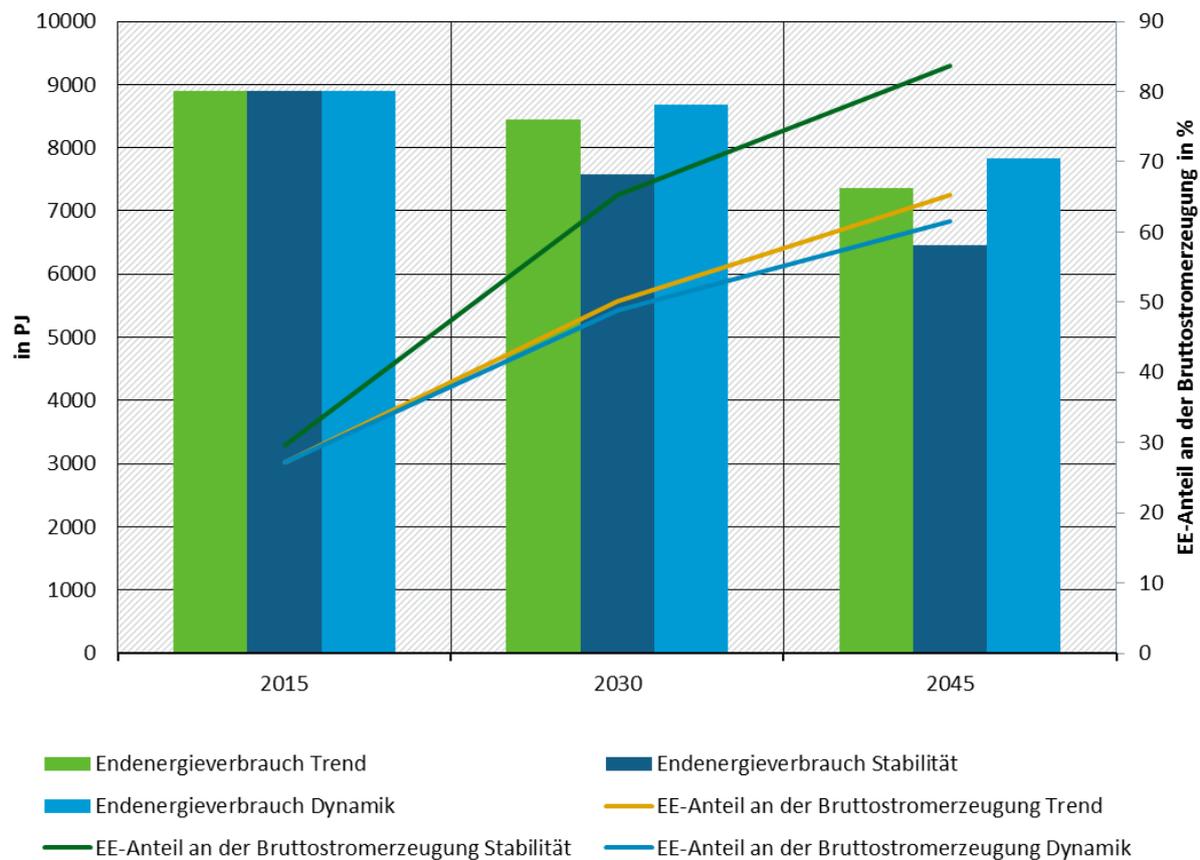
Die Entwicklung des BIP wird in Abbildung 24 verglichen. Zwischen dem Trend- und dem Stabilitätsszenario zeigen sich fast keine Unterschiede: Hier ergibt sich für den Zeitraum von 2015 bis 2030 jeweils eine jährliche Wachstumsrate von gut 1 %, im Zeitraum von 2030 bis 2045 wächst das BIP um etwa 0,8 % pro Jahr. Das DynamikszENARIO hebt sich deutlich ab und weist durchschnittliche BIP-Wachstumsraten pro Jahr in Höhe von 1,4 % von 2015 bis 2030 und in Höhe von knapp 1,2 % von 2030 bis 2045 auf. Dies führt zu einer Wirtschaftsleistung im Jahr 2045, die um knapp 12 % höher liegt als in den anderen Szenarien.

Der Energiebereich wird in Abbildung 25 dargestellt. Der Endenergieverbrauch sinkt infolge des Rückgangs des Primärenergieverbrauchs und der Steigerung der Energieeffizienz in allen drei Szenarien. Der stärkste Rückgang ergibt sich im Stabilitätsszenario, der im Jahr 2045 in einem Endenergieverbrauch in Höhe von 6462 PJ resultiert (-12 % gegenüber dem Trendszenario). Im Vergleich dazu liegt der Endenergieverbrauch im Dynamik-Szenario um 21 % höher.

Abbildung 24: Vergleich der BIP-Entwicklung

Quelle: Eigene Darstellung.

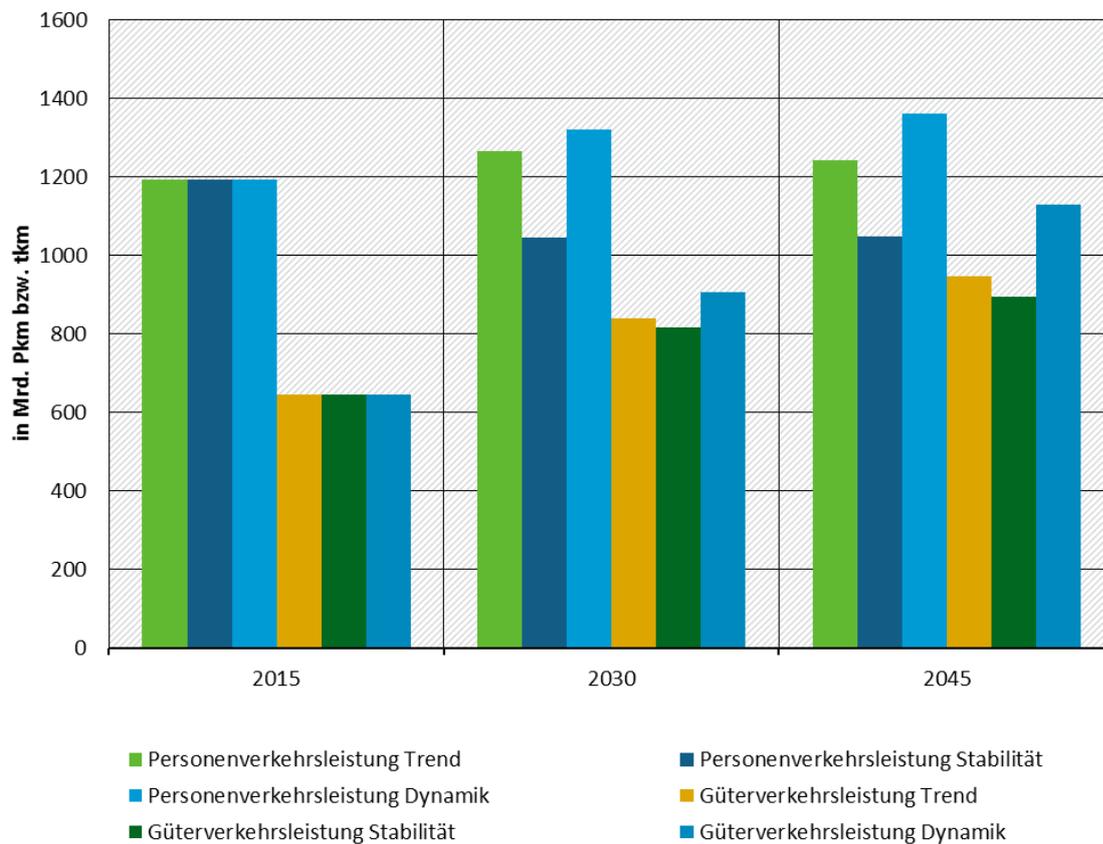
Der Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung entwickelt sich im Trend- und Dynamikscenario ähnlich und beträgt 65,2 % bzw. 61,6 % im Jahr 2045. Im Stabilitätsszenario können die erneuerbaren Energien im Strombereich stärker ausgebaut werden, sodass ihr Anteil hier bei 83,7 % im Jahr 2045 liegt. Das bisherige Ziel der Bundesregierung, bis 2050 einen EE-Anteil an der Bruttostromerzeugung von mindestens 80 % zu erzielen, wird somit im Stabilitätsszenario bereits mehrere Jahre vorher erreicht. Für das Jahr 2030 wird das Ziel eines EE-Anteils von 65 % im Strombereich getroffen.

Abbildung 25: Vergleich des Endenergieverbrauchs und des EE-Anteils

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Entwicklungen im Verkehrsbereich werden in Abbildung 26 gegenübergestellt. Die Personenverkehrsleistung wird ausschließlich im Stabilitätsszenario sinken, im Trend- und insbesondere im DynamikszENARIO steigt sie an. Während im Trend- und Stabilitätsszenario die Personenverkehrsleistung zwischen 2030 und 2045 stagniert, nimmt sie im DynamikszENARIO aufgrund der höheren Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung weiterhin zu. So ergibt sich im Jahr 2045 eine Personenverkehrsleistung von 1360 Mrd. Pkm, die knapp 30 % über dem Wert im Stabilitätsszenario liegt.

Die Güterverkehrsleistung wächst in allen drei Szenarien. Im DynamikszENARIO ist der Anstieg besonders stark, sodass im Jahr 2045 eine Güterverkehrsleistung von 1128 Mrd. tkm erbracht wird. Im Vergleich zum Stabilitätsszenario liegt diese um 26,2 % höher. Zudem weicht die Verteilung zwischen den Verkehrsträgern im Stabilitätsszenario deutlich ab: Während die Güterverkehrsleistung im Straßenverkehr vergleichsweise schwach steigt, können die Schifffahrt und insbesondere der Schienenverkehr ihre Anteile ausbauen.

Abbildung 26: Vergleich der Personen- und der Güterverkehrsleistung

Quelle: Eigene Darstellung.

4.5 Einordnung der drei Szenarien

Die Unsicherheit von sozioökonomischen Zukunftsszenarien steht ganz am Anfang dieses Kapitels. In Abschnitt 4.1 wurde gezeigt, dass Langfristszenarien in verschiedenen Bereichen als Planungsinstrumente eingesetzt werden. Sie beschreiben die aus heutiger Sicht wahrscheinlichste Zukunftsentwicklung, wobei wichtige Annahmen gesetzt sind. Insbesondere im Bereich der Energiewende und des Klimaschutzes bis 2050 sind daneben Zielszenarien entwickelt worden, die einerseits die Möglichkeit der angestrebten politischen Ziele demonstrieren und andererseits Handlungslücken identifizieren können. Auf diesen beiden Strängen bauen die Szenarien Trend und Stabilität auf. Sie sind entsprechend so gut und sicher wie die dahinter stehenden Projektionen. Wegen der Orientierung der Szenarien Trend und Stabilität an offiziell genutzten Langfristszenarien ist ihre Güte im Hinblick auf sozioökonomische Entwicklungen insgesamt als hoch einzustufen. Dagegen beschreibt das Dynamikszenario eine stärkere Nettozuwanderung und eine höhere Zunahme der Wirtschaftsleistung bis zum Jahr 2045. Es bewegt sich am oberen Rand des derzeit diskutierten Szenarienfächers und ist somit noch durch andere Szenarien gedeckt.

Innerhalb der Szenarien können sich bestimmte Größen unter den gegebenen politischen, rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen schneller ändern und sich weiter von erwarteten Pfaden entfernen als andere. Die Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2045 und insbesondere die Entwicklung der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter zwischen 15 und 70 Jahren lassen sich abgesehen von der Nettozuwanderung gut projizieren. Wer im Jahr 2018 geboren ist, wird dann 27 Jahre alt. Fertilitäts- und Mortalitätsraten ändern sich in der Regel nur langsam

über die Zeit. Allerdings hat der Flüchtlingszuzug insbesondere 2015 gezeigt, dass Außenwanderungen sich kurzfristig stark ändern können. Innerhalb der EU ist der freie Personenverkehr eine der zentralen Grundlagen. Verlässliche Aussagen über die langfristige Nettozuwanderung sind im geltenden Rechtsrahmen kaum möglich. Zugleich begrenzt die Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen und Wohnungen den Zuzug aus ökonomischem Interesse. Da insgesamt außerdem die derzeitige Wohnbevölkerung die Gesamtentwicklung dominiert, sind die Aussagen zur langfristigen Bevölkerungsentwicklung als verlässlich einzuordnen.

Die Entwicklung der übrigen sozioökonomischen Größen wird nach allen Erklärungsansätzen langfristig durch die Bevölkerungsentwicklung mit bestimmt. Dies gilt für das Wirtschaftswachstum, das vom technischen Fortschritt, der Kapitalakkumulation sowie der Bevölkerung und ihrem Wissen angetrieben wird. Kapitalstöcke und Bestände werden in langfristigen Zyklen am Ende ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer erneuert, wenn nicht Krisen wie die Wirtschafts- und Finanzkrise Kapitalstöcke schnell entwerten. Einzelne Branchen können ebenfalls von solchen Krisen getroffen werden, etwa wenn Innovationen in einem Prozess der schöpferischen Zerstörung im Sinne von Schumpeter Bestehendes radikal entwerten. Alternativ kann die Politik Strukturänderungen wie beim Kohlekompromiss aktiv gestalten. Solche starken Veränderungen sollten sich aber auch in Zukunft nur begrenzt auf gesamtwirtschaftlicher Ebene auswirken. Eine Studie zu den Auswirkungen der Digitalisierung bis 2035 zeigt, „dass die Digitalisierung in den Regionen – wie im Bund – auf das Gesamtniveau der Beschäftigung kaum Auswirkungen hat. Dennoch führt sie zu größeren Verschiebungen von Arbeitsplätzen zwischen Branchen, Berufen und Anforderungsniveaus“ (Zika et al. 2018).

Die Wahrscheinlichkeit, dass bestehende Infrastrukturen wie Städte und ihre Ver- und Entsorgung, Wohngebäude, eine heute bestehende Autobahn oder Bahnstrecke, Strom- und Gasnetze und große Industrieanlagen auch im Jahr 2045 noch vorhanden sein werden, ist hoch. Die Zahl der jährlich neu gebauten Wohnungen liegt derzeit z. B. deutlich unter 1 % des Wohnungsbestandes. Bis ins Jahr 2045 fortgeschrieben bedeutet dies, dass die Zahl aller bis dahin gebauten Wohnungen weniger als ein Viertel des aktuellen Wohnungsbestandes ausmachen wird. Mindestens 75 % der Bevölkerung haben somit in Summe voraussichtlich bis zum Jahr 2045 keine Möglichkeit, den bestehenden Wohnungsbestand zu verlassen. Die langfristige Vorhersagbarkeit bis 2045 gilt ebenso für derzeit in Planung befindliche Infrastrukturen wie Verkehrswege oder Stromnetze, auch wenn eine Trasse am Ende vielleicht etwas anders gebaut wird als geplant. Neue Infrastrukturen z. B. für Elektromobilität werden über viele Jahre aufgebaut. Die Pfadabhängigkeiten bzw. Trägheiten in den Systemen sind hoch, was bedeutet, dass eine Technologie, die sich einmal durchgesetzt hat, meist nicht schnell verdrängt werden wird. Weniger langlebig sind Fahrzeuge und Maschinen. Aber auch Flugzeuge werden etwa 25 Jahre genutzt und die Nutzungsdauer neu zugelassener Autos beträgt knapp 13 Jahre (in Deutschland). Heizungsanlagen werden vielfach erst nach 25 oder 30 Jahren ersetzt. Ähnliches gilt für viele Industrieanlagen. Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass das Jahr 2030 bereits heute hinsichtlich vieler Gesichtspunkte in großen Teilen determiniert ist. Betriebsgenehmigungen können nicht einfach aufgehoben werden, wie Dieselskandal und Kohleausstieg zeigen. Der politische und rechtliche Druck sind hoch, für vorzeitig entwertete Anlagen und Fahrzeuge Ausgleichszahlungen zu gewähren. Die Güte der für die Zukunft getroffenen Aussagen ist auch deshalb in ihrer Größenordnung hoch.

Das Modell PANTA RHEI ist vor diesem Hintergrund für die Erstellung der Szenarien bis zum Jahr 2045 gut geeignet. Es schreibt die Entwicklung von Bevölkerungszahl, gesamtwirtschaftlichen und wirtschaftsstrukturellen Größen in den drei Szenarien jeweils konsistent bis zum Jahr 2045 fort. Für den Energiebereich werden die Entwicklungen nach Energieträgern und Verbrauchssektoren in Abhängigkeit von ökonomischen Treibern detailliert bestimmt. Auch für den

Verkehr sind verschiedene Verkehrsträger mit bestimmenden Größen erfasst. Das gesamte Modell wird simultan in Jahresschritten gelöst und nimmt verschiedene zentrale Annahmen und Entwicklungen aus weiteren Studien auf, die den Energiebereich und Verkehr noch detaillierter abbilden, insbesondere hinsichtlich technischer Zusammenhänge. Es wird von verschiedenen öffentlichen Auftraggebern für die Quantifizierung von Langfristszenarien genutzt.

Die Aussagen zu den Szenarien gelten immer unter der Voraussetzung, dass keine Veränderungen auftreten, die die sozioökonomische Entwicklung radikal verändern. Prognos, EWI & GWS (2016) beschreiben solche Black Swans am Beispiel der Energiewende. Dabei handelt es sich um negative Ereignisse, die überraschend und unerwartet eintreten, enorme Auswirkungen haben und die erst nachträglich rationalisiert werden. Ihre Wahrscheinlichkeit ist sehr gering. Ein Auseinanderbrechen der EU und das Ende des freien Warenverkehrs in Europa könnten z. B. enorme Auswirkungen auf alle betrachteten Größen haben. Rückblickend wäre dies vermutlich ein Black Swan im Jahr 2008 gewesen. Im Jahr 2019 wäre es immer noch ein überraschendes und unerwartetes Ereignis, aber angesichts von Schlagworten wie Eurorettung, Migration und Brexit kein schwarzer Schwan mehr. Umgekehrt könnten auch positive Ereignisse, sog. Pink Swans, auftreten, wie das Smartphone, das weite Lebensbereiche revolutioniert (hat). Vor 30 Jahren war die Technologie jenseits der Vorstellungskraft.

Bis zum Jahr 2045 nehmen entsprechend die Unsicherheiten deutlich zu, insbesondere was Güter angeht, deren Lebensdauer unter 10 bis 15 Jahren liegt. Denn von diesen Gütern (wie Autos) wird (fast) keines, das heute genutzt oder auch nur geplant wird, im Jahr 2045 noch in Betrieb sein. So gibt es über die Zahl der in Zukunft zugelassenen Autos auch drastisch abweichende Projektionen. Sollten sich autonome Fahrzeuge und entsprechende Geschäftsmodelle durchsetzen, die ständig Personen (und Güter) just on demand von A nach B bringen, könnten sich die Zahl der zugelassenen Fahrzeuge dramatisch reduzieren und zugleich die Fahrleistungen enorm zunehmen. Wie in einem solchen Fall die Automobilindustrie oder der öffentliche Personenverkehr in Deutschland aussehen würden, ist offen. Die Verlässlichkeit der getroffenen Aussagen ist somit eng mit der Lebensdauer von Infrastrukturen und Gütern verbunden.

5 Die sozioökonomischen Szenarien aus regionaler Perspektive

5.1 Überblick über das methodische Vorgehen

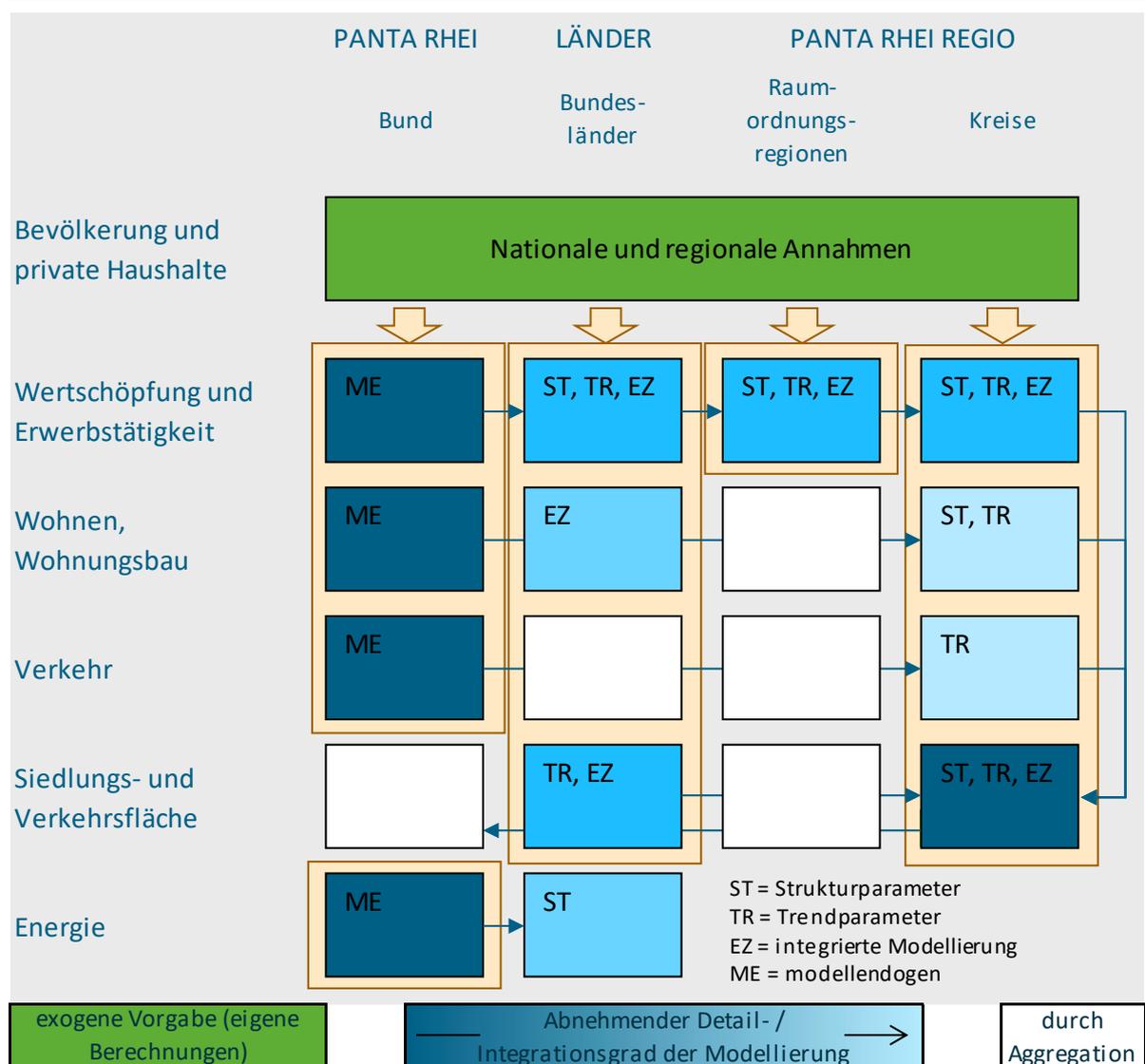
Die Regionalisierung der Ergebnisse der in PANTA RHEI quantifizierten nationalen Szenarien erfolgt mit dem Modell PANTA RHEI Regio. Es besteht aus eigenen empirisch fundierten Verhaltens- und Schätzgleichungen und baut auf einem detaillierten Regionaldatensatz auf, um Entwicklungen auf der Ebene der Raumordnungsregionen und Kreise spezifisch zu beschreiben (vgl. Distelkamp et al. 2009). Damit werden sowohl strukturelle Entwicklungen auf nationaler Ebene (z. B. die Automobilexporte steigen deutlich) als auch regionalspezifische Zusammenhänge (die Bevölkerung im Kreis x wächst überdurchschnittlich, das Verarbeitende Gewerbe im Kreis y hat eine unterdurchschnittliche Bedeutung) in ihrer Wirkung für alle Kreise im nationalen Zusammenhang konsistent erfasst. Das Modell nimmt Informationen aus dem nationalen Modell PANTA RHEI auf und hat die gleiche Modellphilosophie: detaillierte Erfassung des sektoralen Strukturwandels, vollständige Integration und empirische Fundierung. Diese Eigenschaften machen deutlich, dass es sich dabei nicht um ein „einfaches Herunterbrechen“ von nationalen Ergebnissen handelt.

Abbildung 27 zeigt schematisch, wie die Logik und der Detailgrad der Modellierung in den einzelnen Themenfeldern sind, in denen im Regionalmodell jeweils Informationen zur Bevölkerungsentwicklung eingehen. Das Modell LÄNDER verfügt auf der Ebene der Bundesländer über einen detaillierten ökonomischen Datensatz. Es verknüpft Entwicklungen auf nationaler Ebene mit länderspezifischen Strukturen und Zusammenhängen und bildet Aspekte des Wohnungsbaus und der Energieversorgung ab (vgl. Ulrich & Wolter 2013, Ulrich et al. 2018). Fast alle Kennzahlen im darunter liegenden Regionalmodell basieren auf einer detaillierten Erfassung von regionalen ökonomischen Strukturen, die eine fundierte Verknüpfung mit dem nationalen Modell ermöglichen (z. B. Unterscheidung von Branchen, getrennte Betrachtung von Wohnungen, Wohnflächen und Wohngebäuden pro betrachteter Region). Ferner werden wie im nationalen Modell auch im Länder und Regio Modell Trends aus der Vergangenheit aufgegriffen und für die Fortschreibung auf Basis von Zeitreihen- oder Panelschätzungen genutzt. Einflüsse der regionalen Bevölkerungsentwicklung gehen in die meisten Schätzgleichungen auf allen Ebenen ein. Darüber hinaus sind für die Themenfelder „Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit“ sowie „Fläche“ auch Entwicklungszusammenhänge zwischen den Kennzahlen erfasst. So wirkt sich beispielsweise die Regionalentwicklung insgesamt (BIP) auf die Entwicklung einzelner Branchen in der eigenen und/oder benachbarten Region aus. Als weiteres Beispiel sei auf die Erklärung der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe in den Raumordnungsregionen und Kreisen verwiesen. Hier wurde jeweils u. a. überprüft, ob sich eine unter- oder überproportionale Abhängigkeit von der gesamtdeutschen Exportdynamik nachweisen lässt. Der Wohnflächen- und Wohngebäudebestand wirkt auf die Entwicklung der Gebäude- und Freifläche, die wiederum Einfluss auf die Verkehrsfläche hat. In den Bereichen „Wohnen“ und insbesondere „Verkehr“ werden regionale Trends von strukturellen Kenngrößen (z. B. Pro-Kopf-Größen) fortgeschrieben und ergeben zusammen mit der regionalspezifischen Bevölkerungsentwicklung die Bestandsgröße in der Zukunft. Die resultierenden Kennzahlen dienen dann als Eingangsgröße für die Flächenmodellierung. Weitere Informationen zum Regionalmodell, seinen Möglichkeiten und Grenzen finden sich im Anhang A.3.

PANTA RHEI Regio quantifiziert jedes der drei Szenarien vollständig und integriert. Die regionalen Abweichungen ergeben sich in PANTA RHEI Regio aus der Quantifizierung der drei Szenarien auf regionaler Ebene und nicht durch eine Regionalisierung von Abweichungen zwischen

den Projektionen auf nationaler Ebene, wobei die Konsistenz zu den nationalen Entwicklungen gewahrt wird. Es lassen sich nationale und regionale Bestandteile der Szenarien unterscheiden. Grundsätzlich wirkt sich jede Veränderung der Vorgaben für das nationale Modell auf die Entwicklungen in den im Regionalmodell abgebildeten Regionen aus. Für die meisten Größen gilt das Top-down-Prinzip: Für die Region werden Impulse aus der jeweils übergeordneten Region verarbeitet (Landkreis – Raumordnungsregion – Bundesland – Deutschland) und die Summe aller regionalen Ausprägungen muss der zugehörigen Summe in der übergeordneten Region entsprechen. Zugleich wirken diese Impulse jedoch spezifisch auf die jeweils darunter liegende Einheit.

Abbildung 27: Schematische Übersicht zu den Themenfeldern, räumlichen Ebenen und Detailtiefen der Modellierung



Quelle: Eigene Darstellung.

Die nationalen und regionalen Vorgaben zur Bevölkerungsdynamik beeinflussen sowohl die strukturspezifischen Reaktionen des nationalen Modells für Gesamtdeutschland (z. B. höhere wirtschaftliche Dynamik in gewissen Branchen) als auch die eigenen strukturspezifischen Reaktionen des regionalen Modells. Die regional divergierenden Bevölkerungsentwicklungen führen durch entsprechende Schätzansätze in PANTA RHEI Regio zur regionalen Verschiebung von

Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Wohnungsbau und Flächenentwicklung innerhalb Deutschlands.

Das Schema in Tabelle 24 zeigt vereinfacht, wie unterschiedliche regionale Ergebnisse in den Quantifizierungen der drei Szenarien zustande kommen. Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Zahl der Wohnungen und Pkw ergeben sich aus der nationalen Entwicklung, der Bevölkerungsentwicklung in der Region und regionalspezifischen Zusammenhängen im Modell PANTA RHEI Region. So unterscheiden sich Trend und Stabilität nicht in der regionalspezifischen Verarbeitung der demographischen Basisprojektion, das Szenario Dynamik enthält eine regionale Verteilung der zusätzlichen Nettozuwanderung. Zur Ermittlung von regionalspezifischen Aussagen zu Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit, Wohnen und Pkw-Bestand werden die nationalen Szenarien mittels regionaler Schätzgleichungen und unter Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklungen regionalspezifisch umgesetzt. Die Flächenentwicklung nutzt und verknüpft alle diese Treiber sowie regionalspezifische Flächendaten modellendogen in den drei Szenarien, wobei im Stabilitätsszenario zusätzlich die Nachhaltigkeitsbedingungen der Flächenentwicklung berücksichtigt werden.

Tabelle 24: Schema zur modellbasierten Umsetzung der Szenarien aus regionaler Perspektive

	Trend	Dynamik	Stabilität
Bevölkerung	Modellexogen entsprechend der demographischen Basisprojektion	Wie Trend + Annahmen zur regionalen Verteilung der zusätzlichen Nettozuwanderung	Wie Trend
Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit, Wohnen und Pkw-Bestand	Abhängig von nationalen Ergebnissen, regionalen Schätzgleichungen und regionalen demographischen Vorgaben		
Flächenentwicklung	Modellendogen aus Kennzahlen aus den Bereichen Erwerbstätigkeit, Wohnen und Verkehr sowie regionalen demographischen Vorgaben		Zusätzlich: Reduktion der Flächenintensitäten zur Annäherung an den Nachhaltigkeitspfad

Quelle: Eigene Darstellung.

Nachfolgend wird in Abschnitt 5.2 beschrieben, welche Annahmen in die Fortschreibung der Bevölkerungsentwicklung eingehen und welche Entwicklungen resultieren. In den Abschnitten 5.3 (BIP, Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit) bis 5.5 (Siedlungs- und Verkehrsfläche) werden die weiteren Ergebnisse dargestellt. Die jeweilige Modellierung lässt sich den entsprechenden Abschnitten im Anhang entnehmen.

5.2 Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerungsentwicklung auf Kreisebene ist im Modell ein wichtiger Einflussfaktor auf alle in den Simulationen errechneten Größen. Sie ist im Wesentlichen von außen vorgegeben und beruht auf Berechnung anderer Institutionen. Allerdings sind aufgrund der unterschiedlichen Aktualität von bundesländerspezifischen Daten der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts und der detaillierteren Raumordnungsprognose des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung einige ergänzende Rechnungen durchgeführt worden. Die eingehenden Quellen und die auf diesen Daten basierenden eigenen Berechnungen werden nachstehend beschrieben. Ferner werden die eigenen Annahmen zur Abbildung regionaler Ausprägungen des Szenarios Dynamik dargestellt.

5.2.1 Methodisches Vorgehen zur Ermittlung der regionalspezifischen Bevölkerungsprojektion

Das Modell PANTA RHEI Regio verarbeitet überwiegend exogene Vorgaben zukünftiger demographischer Entwicklungen. Durch die Auswahl und Aufbereitung bestimmter regionalspezifischer Bevölkerungsprojektionen Dritter werden die Bevölkerungsvorgaben für die drei sozioökonomischen Szenarien auf regionaler Ebene generiert. Eine wichtige Inputgröße in das Modell ist die so bestimmte Bevölkerung in den Landkreisen und kreisfreien Städten nach Altersgruppen im Zeitablauf, denn unmittelbar mit diesen Vorgaben sind Entwicklungen beispielsweise der Anzahl der Erwerbspersonen oder der Anzahl der privaten Haushalte verknüpft. Neben den im Folgenden detailliert dargestellten beiden zentralen Quellen findet man weitere Abschätzungen in der Literatur, wie etwa die letzte Prognose der Bertelsmann-Stiftung, die bis zum Jahr 2030 reicht und das Basisjahr 2012 hat (Große Starman et al. 2015).

Die **Raumordnungsprognose** wird in Abständen von drei bis vier Jahren vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) veröffentlicht. Sie ist Grundlage für viele bundesweite Analysen der Raumordnungs- und Verkehrsplanungsbehörden der zuständigen Ministerien. Die Ergebnisse des Modells des BBSR liegen für unterschiedliche räumliche Ebenen (Bundesländer, Raumordnungsregionen, Kreise) und Raumtypen vor und unterteilen die Bevölkerung nach Altersgruppen und Geschlecht. Die zuletzt veröffentlichte Raumordnungsprognose trägt den Namen „Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus“, setzt auf dem Basisjahr 2012 auf und enthält eine Bevölkerungsprojektion bis zum Jahr 2035 (Schlömer et al. 2015). Darauf aufbauend wurde im Jahr 2015 auch eine aktuelle Projektion der Anzahl der privaten Haushalte sowie der Erwerbspersonen veröffentlicht. Auf Grundlage der Raumordnungsprognose 2035 im Jahr 2015 ist ein Szenario zur möglichen Wirkung des starken Zuzugs von Flüchtlingen entwickelt worden (vgl. Schlömer et al. 2017). Dieses Szenario geht von 2,4 Mio. mehr Zuwanderern als in der Basisprognose bis 2025 aus und entwickelt eine Annahme zur räumlichen Verteilung und damit Wohnstandorten. Das BBSR schreibt hierzu: „Unter diesen stellen Schutzsuchende den größten Anteil, welche überwiegend jung und zu zwei Dritteln männlich sind. Alle Überlegungen berücksichtigen dabei die wahrscheinliche Zahl an Personen mit dauerhafter Aufnahme genehmigung und schließen auch Familiennachzug mit ein, welcher mit einer Verzögerung von einem Jahr in die Berechnung mit einfließt.“ (vgl. Schlömer et al. 2017). Annahmen hierzu sind schwer zu treffen, da es zum einen Auflagen für den Wohnstandort für die Zeit während und nach der Anerkennung gibt, deren Ausgestaltung und Umsetzung schwer zu prognostizieren sind. Bei der später vorliegenden freien Wohnstandortwahl wird im Wesentlichen angenommen, dass sich die Zuwanderung auf städtische Zentren und Ballungsräume konzentriert, da persönliche Netzwerke eine große Rolle bei der Orientierung spielen (Schlömer et al. 2017, S. 25).

Die **koordinierten Bevölkerungsvorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes** (KBV) sind Ergebnisse von Modellrechnungen des Statistischen Bundesamtes und beruhen darauf, dass die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder Annahmen abstimmen. Es werden Ergebnisse und Datensätze zur zukünftigen Entwicklungen auf Ebene der Bundesländer veröffentlicht. Damit sind die Vorausberechnungen eine wichtige Quelle für die Untersuchung der demographischen Entwicklung in den Regionen Deutschlands. Vorgelegt werden Varianten der Vorausberechnungen, in denen zentrale Annahmen variiert werden. Wichtige Grundlage für PANTA RHEI Regio sind die Varianten der 13. KBV aus dem Jahr 2015 und dem Jahr 2017. Die Variante 1 („Kontinuität bei schwächerer Zuwanderung“) und die Variante 2 („Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung“) liegt hier für alle Bundesländer bis zum Jahr 2060 vor. Die Vorausberechnungen aus dem Jahre 2015 haben die Ausgangsbasis 2013 (Destatis 2015). Die im Frühjahr

2017 veröffentlichte „aktualisierte Rechnung auf Basis 2015“ (Destatis 2017a) setzt auf der Variante 2 aus dem Jahr 2015 auf und enthält Anpassungen für die Außenwanderungs- und Geburtenannahmen. Diese Variante 2a liegt für die Bundesländergruppen „Flächenländer West“, „Flächenländer Ost“ und „Stadtstaaten“ vor. Die Datensätze sind sehr detailliert und enthalten den Bevölkerungsbestand nach Altersjahren sowie Angaben zu Lebendgeborenen, Gestorbenen und Wanderungssaldo in den jeweiligen Regionen.

Grundlage für die regionale Bevölkerungsentwicklung in den drei Szenarien sind die Vorgaben auf Bundesebene (vgl. Abschnitt 4.3). Für die Verteilung auf die Kreise sind für die trendmäßige Entwicklung (Trend sowie Stabilität) und die dynamische Entwicklung (Dynamik) inhaltliche und rechnerisch konsistente Datensätze zur demographischen Entwicklung in den Regionen von der Kreis- bis zur Länder-/Bundesebene generiert worden.

Im Einzelnen wurde zur Quantifizierung der Szenarien wie folgt vorgegangen: Ausgangspunkt sind die in Abschnitt 4.4 dargestellten Bevölkerungsentwicklungen auf nationaler Ebene, die auf die Regionen konsistent verteilt werden. Da die Raumordnungsprognose wichtige Entwicklungen seit 2012 nicht berücksichtigt und es keine Anhaltspunkte für eine regionalisierte konsistente Ableitung des Szenarios Dynamik gibt, werden zunächst alle drei Szenarien zur Bundesländerebene auf Basis von Daten aus der 13. KBV (Variante 2a) definiert. Diese Basisprognose setzt alle Annahmen und die Modellrechnungen der aktualisierten 13. KBV inkl. der Basisannahme zum Außenwanderungssaldo um (langfristig 200.000 pro Jahr). Um Daten nicht nur für Bundesländergruppen, sondern auch für einzelne Bundesländer verwenden zu können, werden die Daten aus der 13. KBV aus dem Jahr 2015 hinzugezogen. Ferner wird aus der Differenz aus der Variante 2 und Variante 1 dieser älteren Vorausberechnung, die sich nur durch die Annahme von einem um 100 000 höheren Außenwanderungssaldo unterscheidet, ein Bundesländer-Schlüssel zur Verteilung von zusätzlicher Bevölkerung im Szenario Dynamik abgeleitet.

Anschließend wird die Raumordnungsprognose genutzt, um Entwicklungen in den Raumordnungsregionen sowie in den Landkreisen und kreisfreien Städten ausgehend von den Bundesländerergebnissen abzubilden. Zusätzlich wird ein regionaler Verteilschlüssel für die Außenwanderung im Szenario Dynamik verwendet, um den zusätzlichen Wanderungssaldo gegenüber dem Trendszenario bzw. die resultierende Bevölkerung zu verteilen. Der Schlüssel wird aus einer Auswertung der regionalen Daten der Wanderungsstatistik auf Kreisebene generiert. Der Problematik, dass die räumliche Verteilung von registrierter Zu- und Abwanderung durch die Aufnahmezentren und die Anerkennungspraktiken kurzfristig stark verzerrt sein kann, wird dadurch Rechnung getragen, dass die Daten differenziert weiterverarbeitet werden. Durch einen Abgleich der Außenwanderungssalden der Kreise mit den Ausländerwanderungssalden wird die Aussagekraft der statistischen Daten geprüft⁹. Anschließend können die Kreise typisiert werden: einerseits in Typen, in denen der Außenwanderungssaldo der Ausländer aussagekräftig ist, und andererseits in jene Typen, in denen der Ausländerwanderungssaldo bessere Grundlagen liefert. Die Saldierung von Zu- und Wegzügen gewährleistet, dass „Durchgangsstationen“ von Zielen der endgültigen Wohnstandortwahl getrennt werden. Am Ende werden Summen für jedes Bundesland ermittelt und der Anteil kommt als Verteilungsschlüssel ab 2020 im Szenario Dynamik zur Anwendung.

Tabelle 25 zeigt einen Überblick über die Datengrundlagen und Annahmen. Die Ergebnisse zur Entwicklung der Bevölkerung in den drei Szenarien ist das Resultat eigener Berechnungen.

⁹ Außenwanderungssaldo der Ausländer= Zuzüge aus dem Ausland – Fortzüge ins Ausland;
Ausländerwanderungssaldo = Zuzüge aus dem In- und Ausland – Fortzüge aus dem In- und Ausland

Tabelle 25: Übersicht über die Datengrundlagen und Annahmen in den regionalen Szenarien für Bevölkerung

	Stabilität	Trend	Dynamik
Demographische Fortschreibung und Binnenmigration	Raumordnungsprognose (Basis 2012) kombiniert mit der 13. KBV Variante 2a (Basis 2015) Extrapolation der Kreisentwicklung 2035 bis 2045		
Verteilung von Außenwanderung im Vergleich zur 13. koordinierten (V2, Basis 2013)	Bundesländer: 13 KBV Variante 2a, Kreise: ROP 2035		Zusätzlicher Außenwanderungssaldo: Verteilungsschlüssel getrennt für Bundesländer und für Kreise
Leitlinien			
Dynamik bis 2030	Ausgeprägtes Stadt-Land-Gefälle		Sehr ausgeprägtes Stadt-Land-Gefälle
Dynamik ab 2030	Großstädte und ländliche Räume stärker abnehmend als städtische Kreise		Ausgeprägtes Stadt-Land-Gefälle
Urbanisierung		+	++

Quelle: Eigene Darstellung.

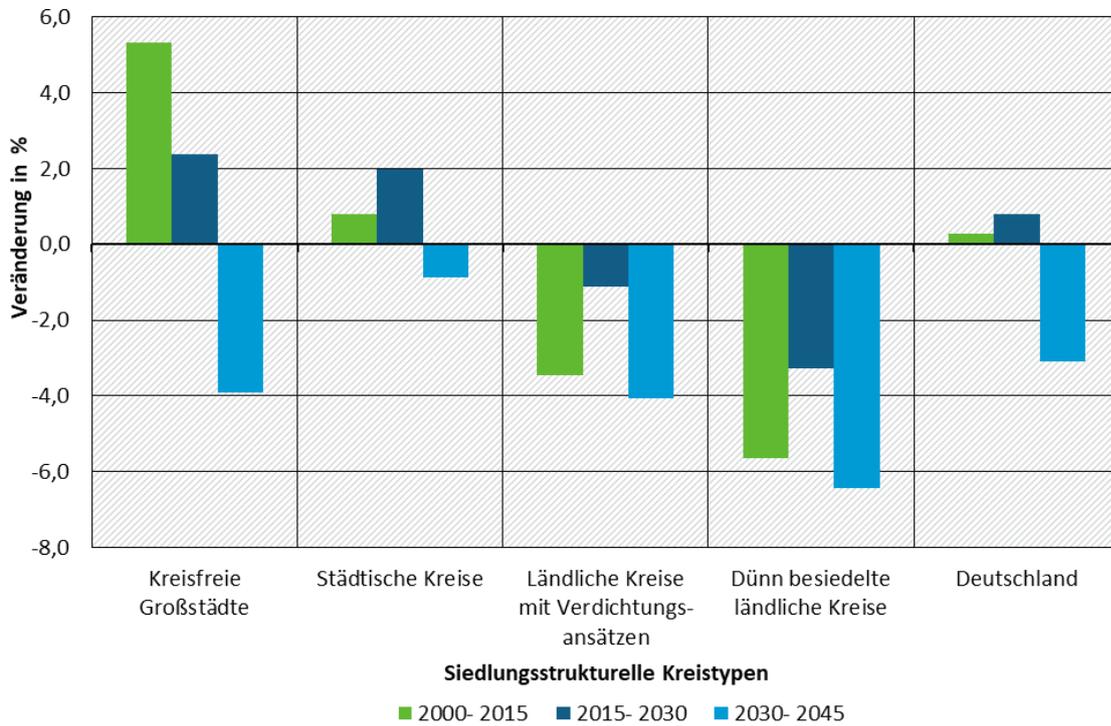
5.2.2 Bevölkerungsentwicklung bis 2045

5.2.2.1 Die Szenarien Trend und Stabilität

Die Bevölkerungszahl insgesamt geht in den Szenarien Trend und Stabilität zwischen 2015 und 2045 um 2,3 % zurück (jährlich im Durchschnitt -0,08 %). Da das Trend- und das Stabilitätsszenario bei der demographischen Entwicklung gleich sind, wird im Folgenden nur vom Trendszenario gesprochen. Im Zeitraum 2015 bis 2030 wächst die Bevölkerung insgesamt um ca. 0,8 %, anschließend geht sie bis zum Jahr 2045 um 3,1 % zurück. Im ersten Projektionszeitraum bis 2030 zeigt sich ein deutliches Stadt-Land-Gefälle mit +2,4 % in den kreisfreien Großstädten und -3,3 % in den dünn besiedelten ländlichen Kreisen. Während beide städtischen Kreistypen wachsen (vgl. Abbildung 28), schrumpfen die ländlichen Kreistypen. Auch nach 2030 geht die Bevölkerung in den ländlichen Kreistypen am stärksten zurück. Dabei ist die Bevölkerungsentwicklung zwischen 2030 und 2045 in den städtischen Kreisen am stabilsten (-0,9 %), während die durchschnittliche Entwicklung in den kreisfreien Großstädten ähnlich stark negativ ist wie in den ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen. In den dünn besiedelten ländlichen Kreisen geht die Bevölkerung um -6,4 % zurück. Abbildung 28 zeigt die Veränderungen über jeweils 15 Jahre hinweg relativ zum jeweils ersten Jahr dieses Zeitabschnitts.

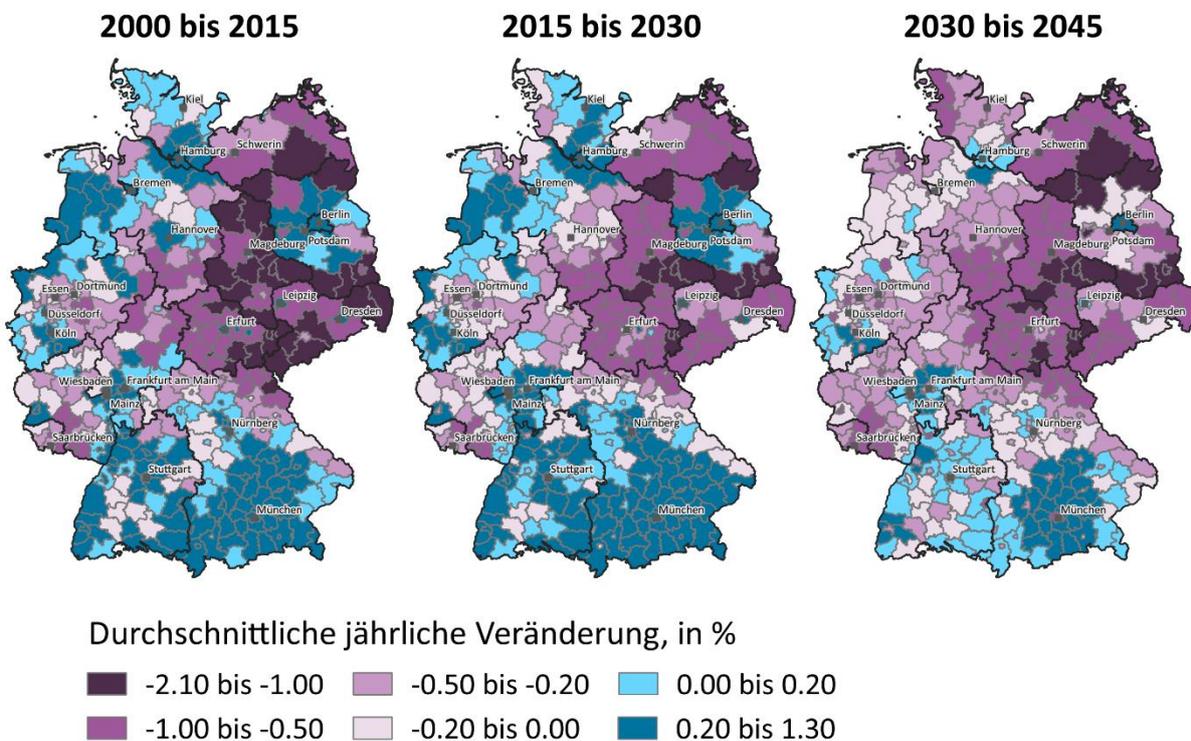
Die räumlichen Muster der Bevölkerungsdynamik sind demnach in den Szenarien Trend und Stabilität bis zum Jahr 2030 stabil im Vergleich zur Entwicklung in der Vergangenheit. In der darauffolgenden Phase schrumpft die Bevölkerung in allen Kreistypen, aber auch in fast allen Kreisen. Zwischen den Jahren 2015 und 2030 gibt es 226 schrumpfende Kreise, im Zeitraum 2030 bis 2045 sind es 316 von 401 Kreisen. Großräumig wird die Bevölkerung dann nur noch in den Ballungsräumen und umgebenden Gebieten im Süden und Südwesten Deutschlands wachsen (vgl. Abbildung 29). Die (kleineren) Kernstädte insbesondere in Westdeutschland zählen langfristig in der Mehrzahl zu den schrumpfenden Kreisen.

Abbildung 28: Bevölkerungsentwicklung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen Deutschlands von 2000 bis 2045 – die Szenarien Trend und Stabilität



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 29: Bevölkerungsentwicklung bis 2045 in den Szenarien Trend und Stabilität

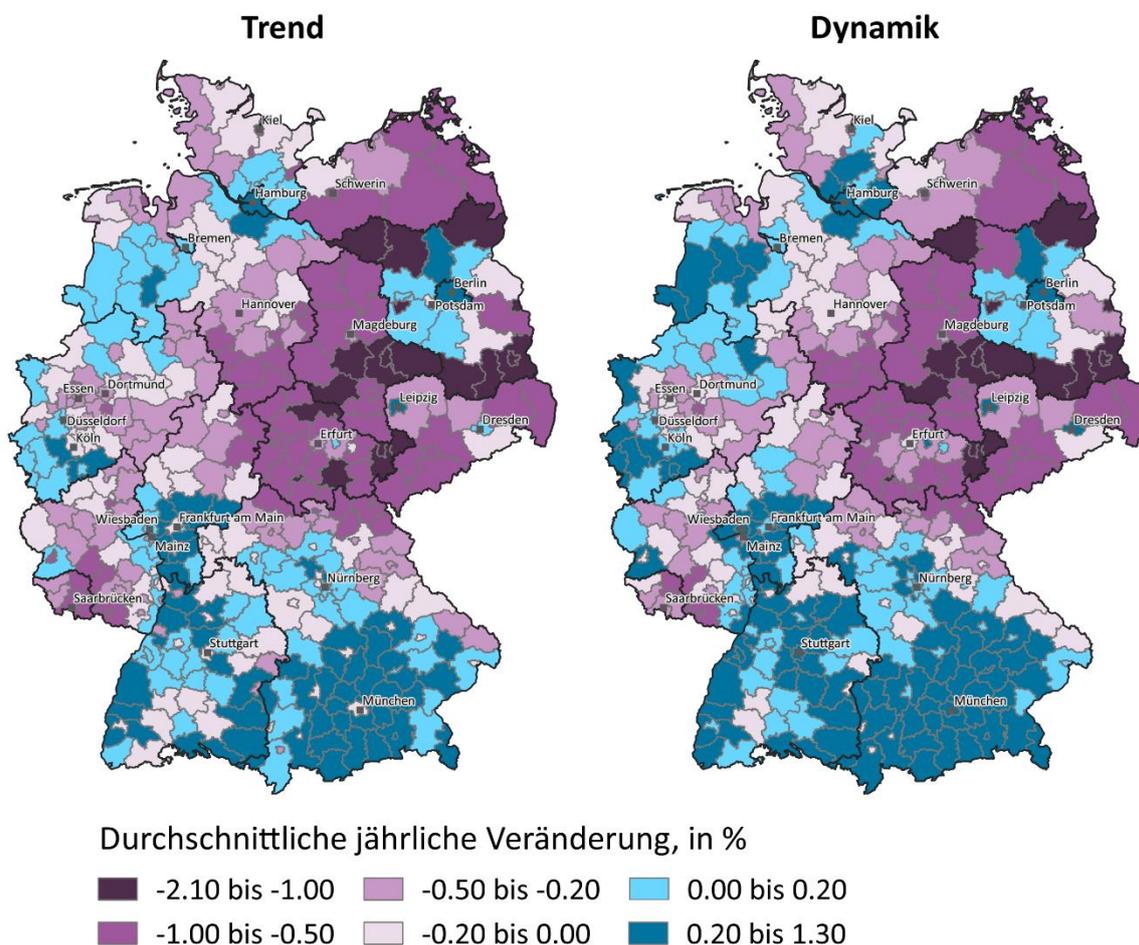


Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

5.2.2.2 Das Szenario Dynamik

Anders als im Trendszenario (-2,3 % zwischen 2012 und 2045) steigt die Bevölkerung im Szenario Dynamik um 1,2 % (jährlich im Durchschnitt +0,04 %). Im Trendszenario zählen über den gesamten Projektionszeitraum 136 Kreise zu den wachsenden Regionen, im Dynamikszenario sind es hingegen 182. Die regionalen Muster der Bevölkerungsdynamik unterscheiden sich hingegen nicht grundlegend (vgl. Abbildung 30). Die Kreise, die im Szenarienvergleich von schrumpfenden zu wachsenden Kreisen werden, liegen bei allen Szenarien häufig in der Nähe bestehender Wachstumsregionen. Zusätzlich fällt auf, dass die vielen kreisfreien Kernstädte in Westdeutschland zu dieser Gruppe gehören. Ein im Vergleich zu den anderen Szenarien besonders hohes Bevölkerungswachstum im Szenario Dynamik ist in den Grenzregionen im Süden und Westen Deutschlands erkennbar.

Abbildung 30: Bevölkerungsentwicklung in den Szenarien Trend und Dynamik – jährliche Veränderung zwischen 2015 und 2045

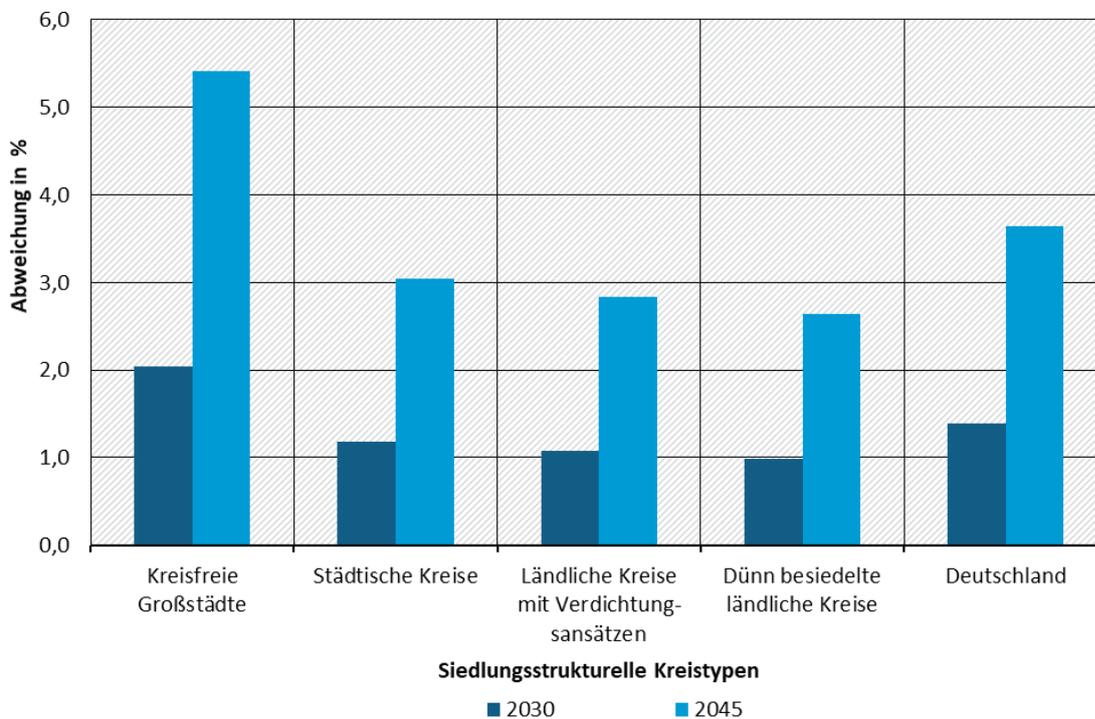


Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

Die demographischen Vorgaben für Deutschland ergeben für das Dynamikszenario im Jahr 2045 einen um 3,6 % höheren Bevölkerungsstand als im Trendszenario (vgl. Abbildung 31 und Kapitel 4.4). Im Jahr 2030 beträgt die Differenz +1,4 %. In allen 401 Kreisen ist der Bevölkerungsstand im Dynamikszenario höher als in Trend. Es ergeben sich jedoch Unterschiede in der Höhe der Differenzen. Auf Ebene der siedlungsstrukturellen Kreistypen zeigt sich ein leichtes Stadt-

Land-Gefälle. In den kreisfreien Großstädten beträgt die Differenz langfristig über +5 %, während die Differenz in den übrigen Kreistypen zwischen +2,6 und +3 % liegen.

Abbildung 31: Differenz des Bevölkerungsstandes im Szenario Dynamik zum Bevölkerungsstand im Szenario Trend



Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Trendszenario steigt die durchschnittliche Bevölkerungsdichte ausgehend vom Jahr 2015 bis zum Jahr 2030 noch leicht auf 230 Einwohner pro ha und geht anschließend bis zum Jahr 2045 auf einen Wert von 223 zurück. Im Szenario Dynamik hingegen steigt die Bevölkerungsdichte von 2015 bis 2030 stärker und geht anschließend bis 2045 auf einen Durchschnittswert von 231 Einwohnern pro ha zurück. Damit liegt die Bevölkerungsdichte im Jahr 2045 um 8,1 Einwohner pro ha höher als im Szenario Trend. Die Entwicklungen in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen sind im Zeitverlauf sehr ähnlich, so dass die jeweilige Bevölkerungsdichte im Jahr 2045 in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen im Trendszenario unter dem Vergleichswert aus dem Jahr 2015 liegt. Im Dynamikszenario hingegen steigt die Bevölkerungsdichte bis zum Jahr 2045 in den städtischen Kreistypen, während in den ländlichen Kreisen – wie im Trendszenario – insgesamt ein Rückgang zu konstatieren ist.

Die Definition des Urbanisierungsgrads wird von der UN Population Division vorgenommen. Für Deutschland beträgt er nach eigenen Berechnungen 74,3 % im Jahr 2015. Im Trendszenario steigt der Urbanisierungsgrad bis zum Jahr 2045 auf 75,7 %.¹⁰ Im Szenario Dynamik ist der Urbanisierungsgrad im Jahr 2045 mit 75,9 % etwas höher und steigt um 1,6 %-Punkte gegenüber 2015.

¹⁰ Die regionale Zuordnung aus dem Jahr 2014 wird bei dieser Analyse beibehalten. Das bedeutet, dass die Bevölkerung einer Region, die im Jahr 2014 als urban (mindestens 150 Einwohner pro ha) eingestuft wurde, bis zum Jahr 2045 als urban gilt. Das entspricht dem Vorgehen der UN-Urbanisierungsprojektionen (vgl. Jiang, O'Neill 2017).

Tabelle 26: Bevölkerungsdichte in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045

in Einwohnern pro qkm	2015	Trend		Dynamik	
		2030	2045	2030	2045
Kreisfreie Städte	1971,2	2018,4	1939,4	2059,7	2044,3
Städtische Kreise	313,3	319,5	316,7	323,3	326,3
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	136,7	135,2	129,7	136,6	133,4
Dünn besiedelte ländl. Kreise	85,5	82,7	77,4	83,5	79,4
Insgesamt	228,6	230,4	223,3	233,6	231,4

Quelle: Eigene Berechnungen.

Beim Vergleich dieser Ergebnisse mit den Kennzahlen aus den UN World Urbanization Prospects (WUP) für Deutschland wird eine Diskrepanz sichtbar: Trotz fast gleicher Ausgangswerte im Jahr 2015 steigen die UN-Werte sehr viel stärker und erreichen im Jahr 2045 einen Wert von 82 %. Bereits im Jahr 2015 liegt der Wert schon 1 %-Punkt über dem mittels PANTA RHEI Regio berechneten Wert und erreicht einen Wert im Jahr 2045 von 82 %. Auch die Projektionen des Urbanisierungsgrads des NCAR für die Shared Socio-Economic Pathways kommt zu deutlich höheren Werten in der Zukunft (vgl. Kapitel 3.3.1.2). Jeder der SSPs unterstellt einen bestimmten Grad an Zuzug zu den Städten, Landflucht und Entwicklung von Ballungszentren. In den ergänzenden Hinweisen zu den SSPs steht hierzu: „Each SSP assumes either a fast, central, or slow urbanization pathway for each country of the world.“ (Jiang/O’Neill 2015) Für SSP 3 („regionale Rivalität“) wird für das Jahr 2045 ein Wert von 77,7 % projiziert, der zwar unter dem Wert der UN liegt, aber immer noch deutlich über dem in PANTA RHEI Regio ermittelten Wert. Vermutlich bilden diese Rechnungen jedoch den spezifischen Entwicklungspfad Deutschlands nicht genau genug ab. Sowohl UN WUP als auch NCAR (für SSPs) gehen davon aus, dass die Dynamik des Urbanisierungsprozesses eine Funktion des Urbanisierungsgrads ist. Dieses Verhältnis wird in übergeordneten Schätzfunktionen parametrisiert (global bei UN WUP, Referenzländer bei NCAR) und anschließend für die Projektion auf den Urbanisierungsgrad des Landes angewendet. Die Normierung auf einen übergeordneten Urbanisierungsprozess führt für Deutschland zu Ergebnissen, die sich stark von einer Bottom-up-Rechnung mit 401 Einzelprojektionen unterscheiden. Um einen Urbanisierungsgrad von 82 % im Jahr 2045 zu erreichen, müsste die urbane Bevölkerung zusätzlich um 5 Mio. höher, die ländliche Bevölkerung um 5 Mio. geringer sein. In Relation entspräche das im Jahr 2045 einem um über 8 % höheren bzw. fast 26 % geringeren Wert. Eine solche über die in der Raumordnungsprognose bereits abgebildeten Prozesse der natürlichen Bevölkerungsbewegung und Binnenmigration hinausgehende Entwicklung erscheint nicht realistisch.

5.3 Entwicklung von BIP, Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit in den Szenarien

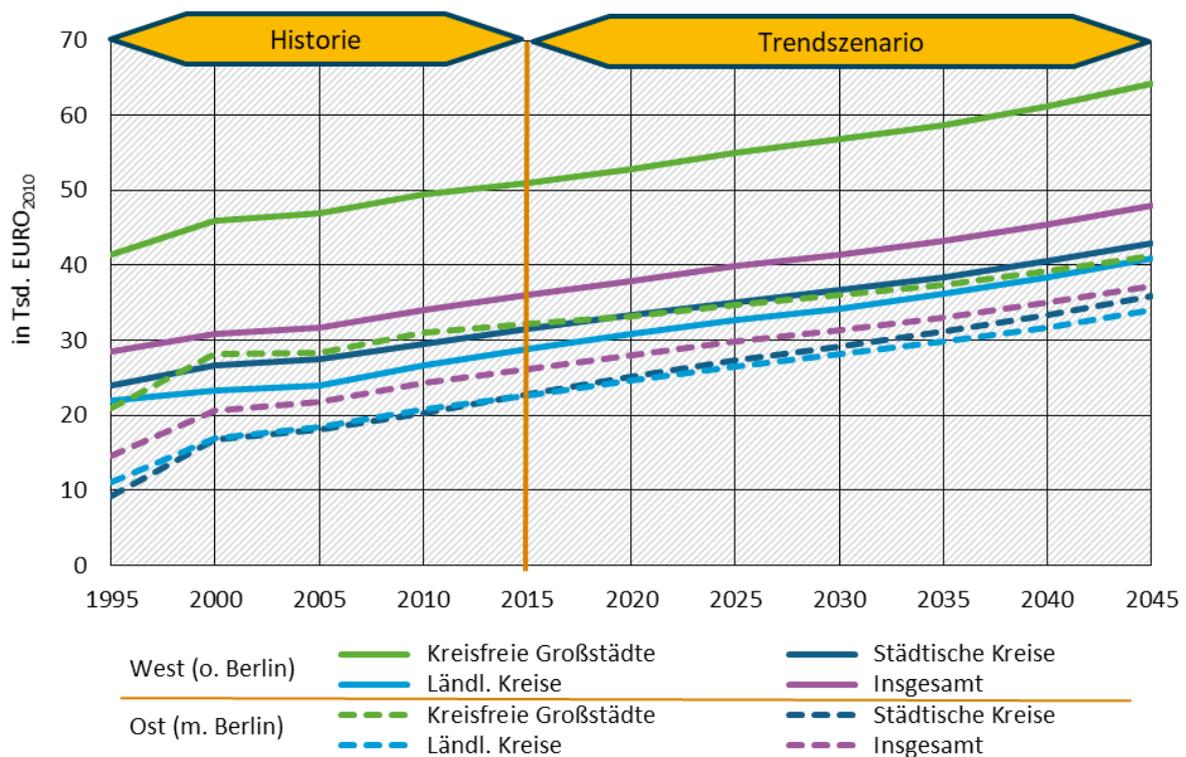
Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der regionalen Quantifizierungen der drei Szenarien mit PANTA RHEI Regio dargestellt. Grundstruktur und Philosophie der sozioökonomischen Modellzusammenhänge und deren empirischer Fundierung sind im Anhang des vorliegenden Berichts dokumentiert. Zunächst werden die wichtigsten Ergebnisse für das Trendszenario dargestellt. Anschließend wird auf Unterschiede zu Dynamik- und Stabilitätsszenario eingegangen.

Informationen zur Modellierung und zu Treibern der regionalen Entwicklung finden sich im Anhang A.3.1.

5.3.1 Trendszenario

Die folgende Abbildung zeigt, wie sich das Pro-Kopf-BIP in den verschiedenen siedlungsstrukturellen Kreistypen in West- und Ostdeutschland im Trend entwickelt. Die Niveau-Unterschiede sowohl zwischen West- und Ostdeutschland (durchgezogene versus gestrichelte Linien) als auch zwischen kreisfreien Großstädten (grün) und den ländlichen Kreisen (hellblau) bleiben bestehen. Auch wenn insbesondere für die städtischen Kreise Ostdeutschlands überdurchschnittliche Wachstumsraten des Pro-Kopf-BIP projiziert werden (+1,5 % p. a.), so kann dies doch nicht verhindern, dass die größten absoluten Zuwächse im Zeitraum bis 2045 für die westdeutschen kreisfreien Großstädte erwartet werden.

Abbildung 32: Trendszenario – Entwicklung des Pro-Kopf-BIP in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands

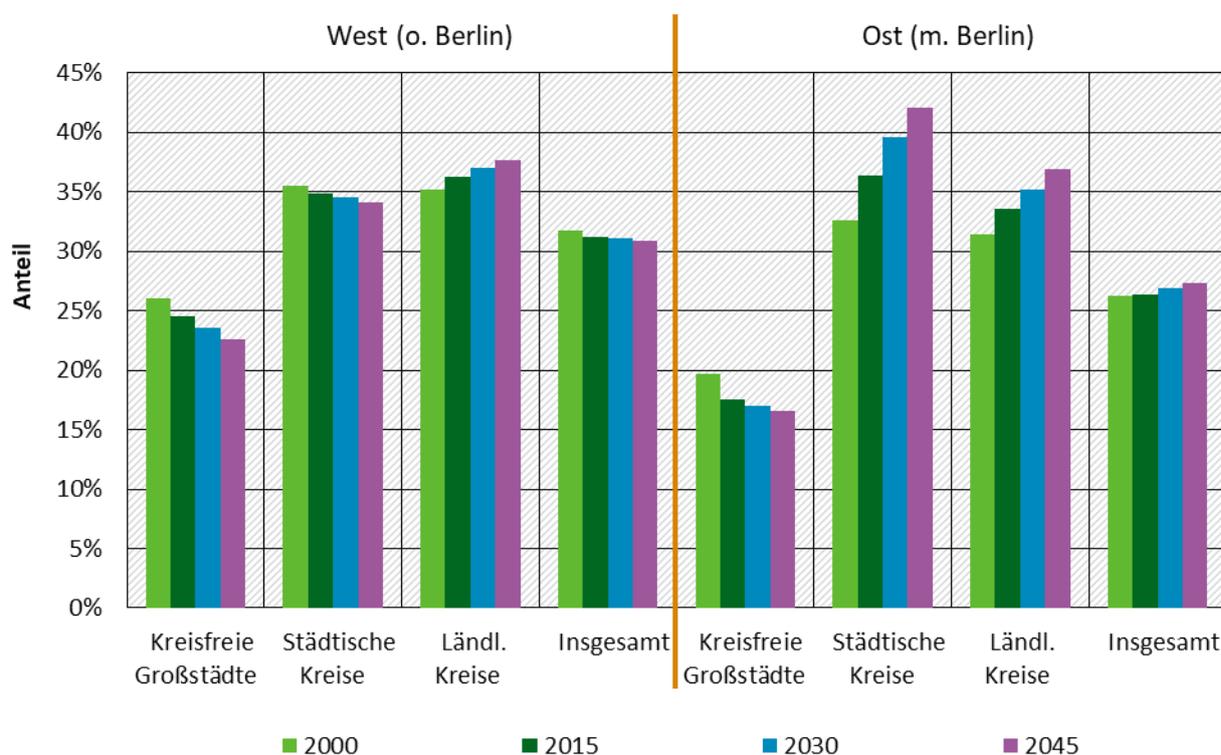


Quelle: Eigene Berechnungen.

Bereits in Kapitel 4.4.1 wurde gezeigt, dass im Trendszenario bundesweit eine – wenn auch geringe – weitergehende Tertiarisierung der Wirtschaft stattfindet. Wie nachstehende Abbildung für die drei Kreistypen und differenziert nach West und Ost zeigt, galt dies bereits in den Jahren 2000 bis 2015 keinesfalls flächendeckend. Im Projektionshorizont führen Dynamik und Richtung des sektoralen Strukturwandels auf nationaler Ebene in Kombination mit den identifizierten regionalen Stärken und Schwächen der einzelnen Regionen und Kreise dazu, dass sich tendenziell regionale Spezialisierungen weiter verstärken. So ist bereits heute in den west- und ostdeutschen kreisfreien Großstädten das produzierende Gewerbe deutlich unterrepräsentiert. Dies wird sich nach dem Modell PANTA RHEI Regio unter Trendbedingungen bis zum Jahr 2045 weiter verstärken.

Für die ländlichen Kreise in West- und Ostdeutschland sowie für die ostdeutschen städtischen Kreise wird hingegen – wie bereits in der Vergangenheit beobachtet – eine zunehmende Bedeutung des produzierenden Gewerbes projiziert. Strukturell gesehen führt im Modellzusammenhang eine hohe Bedeutung des Produzierenden Gewerbes angesichts der höheren Dynamik der Wertschöpfung in den Dienstleistungsbereichen (vgl. Tabelle 17) zu unterdurchschnittlichen Entwicklungen für das regionale Wirtschaftswachstum. Zu diesem Einfluss kommen im Modellzusammenhang jedoch der Einfluss der regionalspezifischen Trends sowie der regionalen Bevölkerungsentwicklung hinzu.

Abbildung 33: Entwicklung des Anteils des Produzierenden Gewerbes an der Wertschöpfung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario



Quelle: VGR der Länder, eigene Berechnungen.

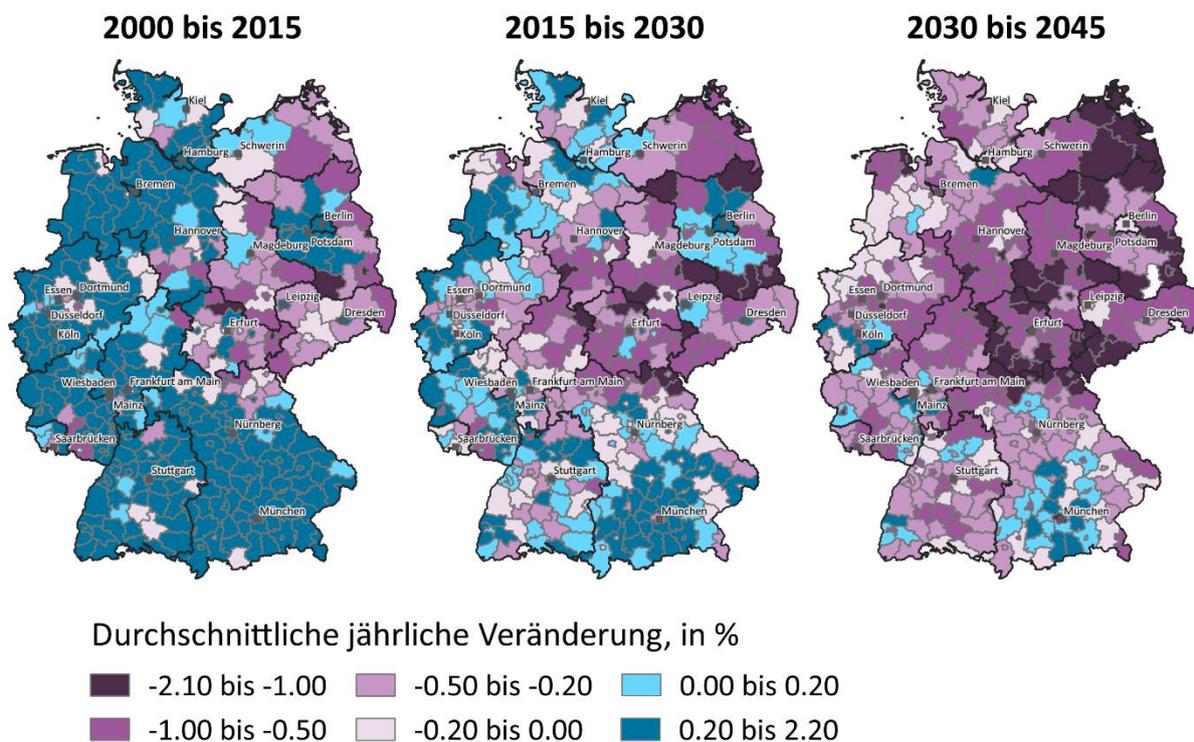
Wie wirkt sich dies auf die Erwerbstätigendynamik insgesamt in den Landkreisen und kreisfreien Städten Deutschlands aus? Wie nachstehende Tabelle und Abbildung verdeutlichen, werden für die Zukunft bei einer bundesweit rückläufigen Dynamik keine grundsätzlich anderen regionalen Verteilungsmuster als in der Vergangenheit projiziert. So hat in den Jahren 2000 bis 2015 eine Mehrzahl der ostdeutschen Kreise eine unterdurchschnittliche Erwerbstätigendynamik aufgewiesen. Mit durchschnittlich $-0,22\%$ p. a. im Zeitraum 2015 bis 2030 und durchschnittlich $-0,61\%$ p. a. im Zeitraum 2030 bis 2045 fallen die im Trendszenario projizierten Wachstumsraten der Erwerbstätigen in Ostdeutschland ebenfalls niedriger als im Bundesdurchschnitt ($-0,1\%$ p. a. im Zeitraum 2015 bis 2030 bzw. $-0,46\%$ p. a. im Zeitraum 2030 bis 2045) aus. Ursächlich hierfür sind sowohl die regionale Bevölkerungsentwicklung als auch wirtschaftssektorale Spezifika der ostdeutschen Kreise.

Tabelle 27: Erwerbstätige in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045 – das Trendszenario

	2000	2015	Trend		CAGR (in %)		
			2030	2045	2000–2015	2015–2030	2030–2045
Kreisfreie Städte	14,0	15,4	15,1	13,8	0,64 %	-0,14 %	-0,59 %
Städtische Kreise	14,2	15,4	15,4	1,7	0,56 %	-0,01 %	-0,30 %
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	6,3	6,7	6,5	6,1	0,35 %	-0,14 %	-0,44 %
Dünn besiedelte ländliche Kreise	5,4	5,6	5,4	5,0	0,20 %	-0,24 %	-0,58 %
Insgesamt	39,9	43,1	42,4	39,6	0,51 %	-0,10 %	-0,46 %
Westdeutschland (o. Berlin)	32,3	35,3	34,9	32,7	0,60 %	-0,08 %	-0,43 %
Ostdeutschland (m. Berlin)	7,6	7,7	7,5	6,8	0,09 %	-0,22 %	-0,61 %

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

Abbildung 34: Entwicklung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt – das Trendszenario



Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

Auf der anderen Seite wird für einige Regionen Westdeutschlands, wie beispielsweise das weitere Münchner Umland, eine im Vergleich zum Bundesdurchschnitt deutlich positivere Erwerbstätigendynamik projiziert. Auch hierbei handelt es sich um Befunde, die bereits in der Vergangenheit beobachtbar waren.

5.3.2 Die Szenarien Dynamik und Stabilität

Wie in Kapitel 4.4.2 dargestellt, wächst im DynamikszENARIO die deutsche Wirtschaft schneller als unter Trendannahmen. Dies gilt, wie die Modellergebnisse in Tabelle 28 verdeutlichen, sowohl für städtische als auch für ländliche Regionen, wobei jedoch ländliche Kreise leicht überproportional hinzugewinnen. Ein West-Ost-Unterschied im Hinblick auf die zu erwartende Wachstumsdifferenz zwischen den beiden Szenarien ist jedoch nicht zu erkennen.

Im bundesdeutschen Durchschnitt ähnelt das Stabilitätsszenario dem Trendszenario sehr stark (vgl. Kap. 4.4). Nach Tabelle 28 wird im Vergleich zum Trendszenario insbesondere für dünn besiedelte ländliche Kreise ein leicht positiver Impuls auf das BIP projiziert, wohingegen für kreisfreie Großstädte tendenziell eine leicht negative Abweichung vom Trendszenario gesehen wird. Vergleicht man die Tabelle 17 und Tabelle 23 zu den nationalen sektoralen Ergebnissen der beiden Szenarien, so zeigt sich im Stabilitätsszenario eine etwas andere Wirtschaftsstruktur. Dieser Effekt auf den Strukturwandel wirkt sich über die unterschiedlichen sektoralen Gegebenheiten in den Kreisen/Regionen auch auf die regionale Wirtschaftsdynamik in PANTA RHEI Regio aus.

Tabelle 28: Entwicklung des Pro-Kopf-BIP in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045

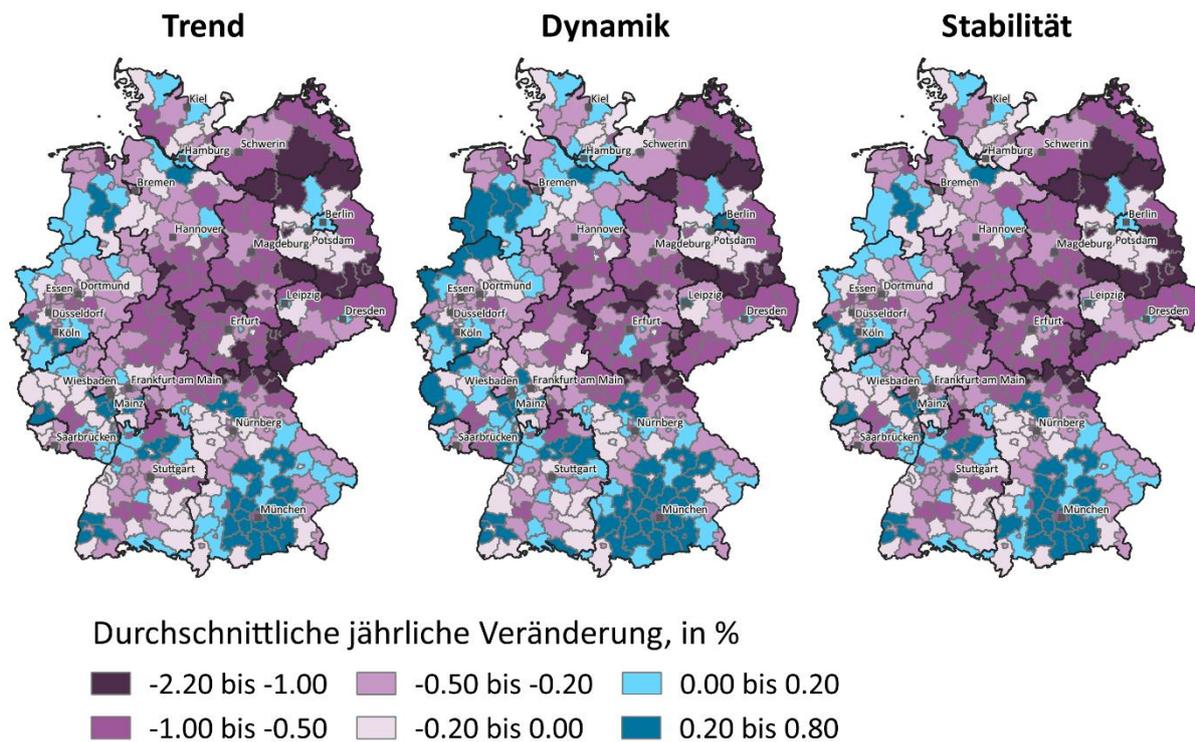
in Tsd. EURO ₂₀₁₀	Trend				Dynamik		Stabilität	
	2015	2030	2045	2015–2045 CAGR	2045	2015–2045 CAGR	2045	2015–2045 CAGR
Kreisfreie Großstädte	46,4	51,4	58,1	0,75 %	62,3	0,99 %	57,9	0,74 %
Städtische Kreise	31,4	36,6	42,8	1,04 %	46,1	1,29 %	43,0	1,06 %
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	27,3	32,7	39,2	1,21 %	42,4	1,47 %	39,3	1,22 %
Dünn besiedelte ländliche Kreise	26,3	31,9	38,7	1,29 %	41,8	1,55 %	38,9	1,31 %
Insgesamt	34,3	39,6	46,1	0,99 %	49,7	1,25 %	46,2	1,00 %
Westdeutschland (o. Berlin)	36,2	41,5	48,0	0,95 %	51,8	1,20 %	48,1	0,95 %
Ostdeutschland (m. Berlin)	26,3	31,5	37,4	1,18 %	40,4	1,43 %	37,4	1,18 %

Quelle: Eigene Berechnungen. CAGR = durchschnittliche jährliche Wachstumsrate.

Für das Trendszenario zeigt bereits Abbildung 34, dass sich die räumlichen Muster der Erwerbstätigendynamik in den Perioden 2000 bis 2015, 2015 bis 2030 und 2030 bis 2045 nicht grundlegend verändern. Nachstehende Abbildung zeigt nun einen ähnlichen Befund auch für die Szenarien Dynamik und Stabilität. Dargestellt finden sich jeweils die Veränderungen der Anzahl der gesamten Erwerbstätigen über den gesamten Projektionszeitraum (2015 bis 2045).

Es lässt sich also konstatieren, dass die veränderten Rahmenbedingungen im Dynamik- oder Stabilitätsszenario zu keinem anderen regionalen Verteilungsmuster der Erwerbstätigendynamik als im Trendszenario führen. Vergleicht man in Abbildung 35 die Karten für das Trend- und das DynamikszENARIO, so verschiebt sich die Farbskala im DynamikszENARIO insgesamt geringfügig Richtung blau (= Zunahme der Anzahl der Erwerbstätigen), da sich auch im Bundesdurchschnitt Wachstum und Beschäftigung positiver als im Trendszenario entwickeln. Der Vergleich der Karten für das Trend- und Stabilitätsszenario zeigt hingegen so gut wie keine Abweichungen.

Abbildung 35: Entwicklung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt im Zeitraum 2015 bis 2045 – die Szenarien im Vergleich



Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

5.4 Wohnen, Pkw-Bestände und Stromproduktion

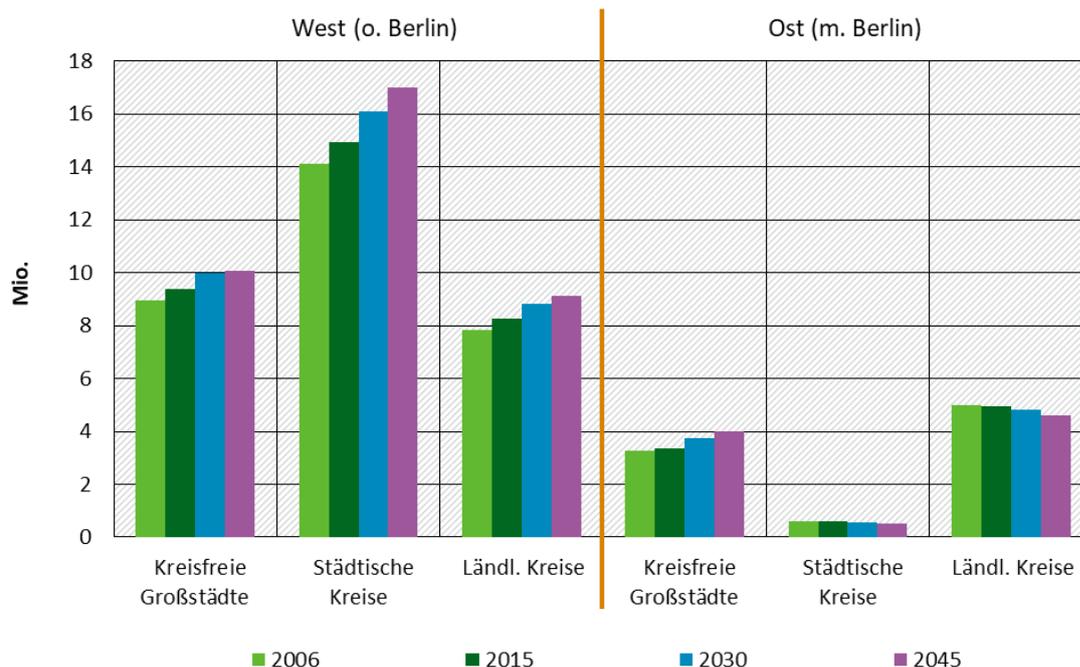
Das methodische Vorgehen für die drei Themenfelder ist in Abbildung 27 dargestellt. Die Zusammenhänge für das Wohnen sind regional differenziert abgebildet, für Pkw ist das Vorgehen auf der Ebene der Kreise im Vergleich dazu einfacher. Unterschiede in der Stromproduktion werden nur auf Länderebene fortgeschrieben. Informationen zu den Erklärungszusammenhängen und der Umsetzung im Modell finden sich im Anhang A.3.2.

5.4.1 Entwicklungen im Trendszenario

Die Entwicklung des **Wohnungsbestandes** ist im Wesentlichen ein Ergebnis der Entwicklung der Zahl der privaten Haushalte, die wiederum durch die demographischen Vorgaben geprägt ist. Im Trendszenario steigt im Zeitraum 2015 bis 2030 der Wohnungsbestand in Deutschland um 2,6 Mio. Bis zum Jahr 2045 kommt es zu einer weiteren Zunahme um 1,3 Mio. auf dann 45,3 Mio. Wohnungen.

Insgesamt zeigen die Modellergebnisse, dass die Dynamik in westdeutschen städtischen Kreisen besonders hoch ist, während in ländlichen Kreisen Ostdeutschlands – entsprechend der Bevölkerungsentwicklung – ein sich fortsetzender Rückgang des Wohnungsbestands erwartet wird. Zudem verdeutlicht Abbildung 36, dass in den kreisfreien Großstädten Westdeutschlands für den Zeitraum von 2030 bis 2045 mit einer deutlich zurückgehenden Dynamik des Wohnungsbestands gerechnet wird. In den städtischen und ländlichen Kreisen Ostdeutschlands geht der Wohnungsbestand weiter zurück.

Abbildung 36: Entwicklung des Wohnungsbestands in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario



Quelle: Eigene Berechnungen.

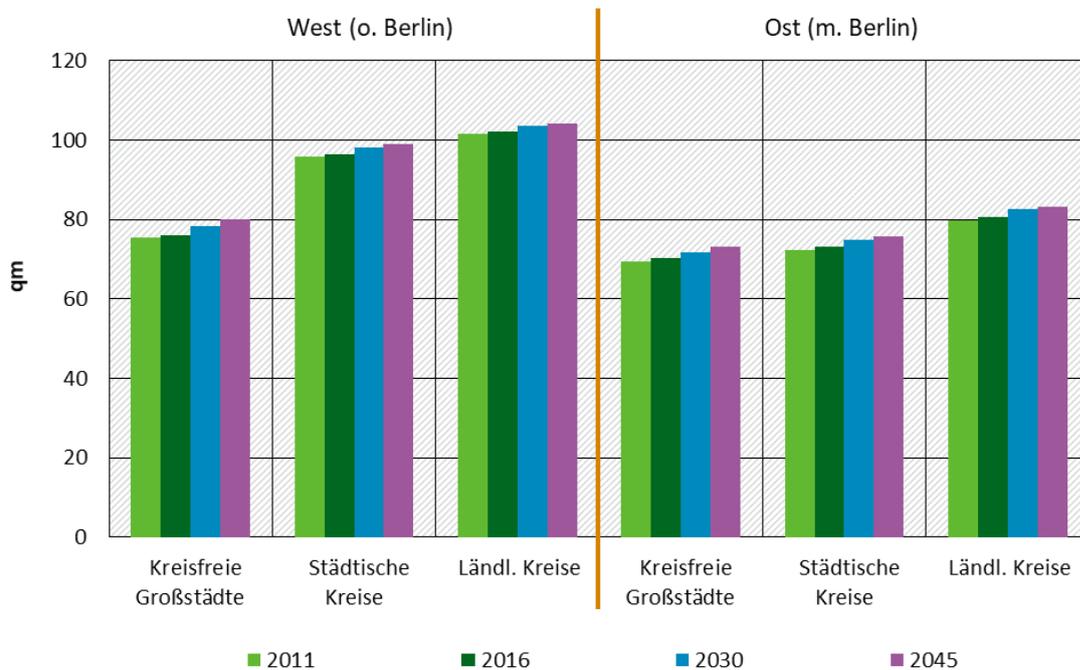
Betrachtet man die Dynamik der durchschnittlichen Wohnfläche je Wohnung (im Bestand), so zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen siedlungsstrukturellen Kreistypen in West- und Ostdeutschland.¹¹ Allgemein wird jedoch im Trendszenario ein geringfügig abnehmendes Wachstum der Wohnfläche je Wohnung erwartet. Zu beachten bei der Interpretation dieser Projektionsergebnisse ist jedoch, dass im Rahmen des zugrunde liegenden Forschungsprojektes eine umfassende Modellierung der regionalen Wohnungsmärkte unter Berücksichtigung von etwaigen Preiseinflüssen auf die Wohnnachfrage weder intendiert noch möglich war.

Führt man die Beobachtungen „Wohnungsbestand“ und „Wohnfläche je Wohnung“ zusammen, so zeigt sich für Gesamtdeutschland, dass die Wohnflächen in Wohngebäuden von 3,7 Mrd. qm in 2016 auf 4,15 Mrd. qm in 2045 zunehmen. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 0,5 % (2016 bis 2030) bzw. 0,3 % (2030 bis 2045). Für kreisfreie Städte und städtische Kreise werden hierbei höhere Zuwächse als in ländlichen Kreisen projiziert.

¹¹ Aufgrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit kann hier nur die Wohnfläche in Wohngebäuden ins Verhältnis zu den Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden gesetzt werden. Der statistisch richtige Wert (jeweils nur bezogen auf die Wohngebäude) liegt im Durchschnitt im Jahr 2015 bei 91,6 m² statt 88,6 m².

In der Durchschnittsbetrachtung der Tabelle 29 reicht das Wachstum der Wohnfläche je Wohnung stets aus, um etwaige Rückgänge im Wohnungsbestand zu kompensieren, so dass auch langfristig für alle Kreistypen Zuwächse der Wohnfläche in Wohngebäuden erwartet werden.

Abbildung 37: Entwicklung der Wohnfläche je Wohnung in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario



Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 29: Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden in den siedlungsstrukturellen Kreistypen – das Trendszenario

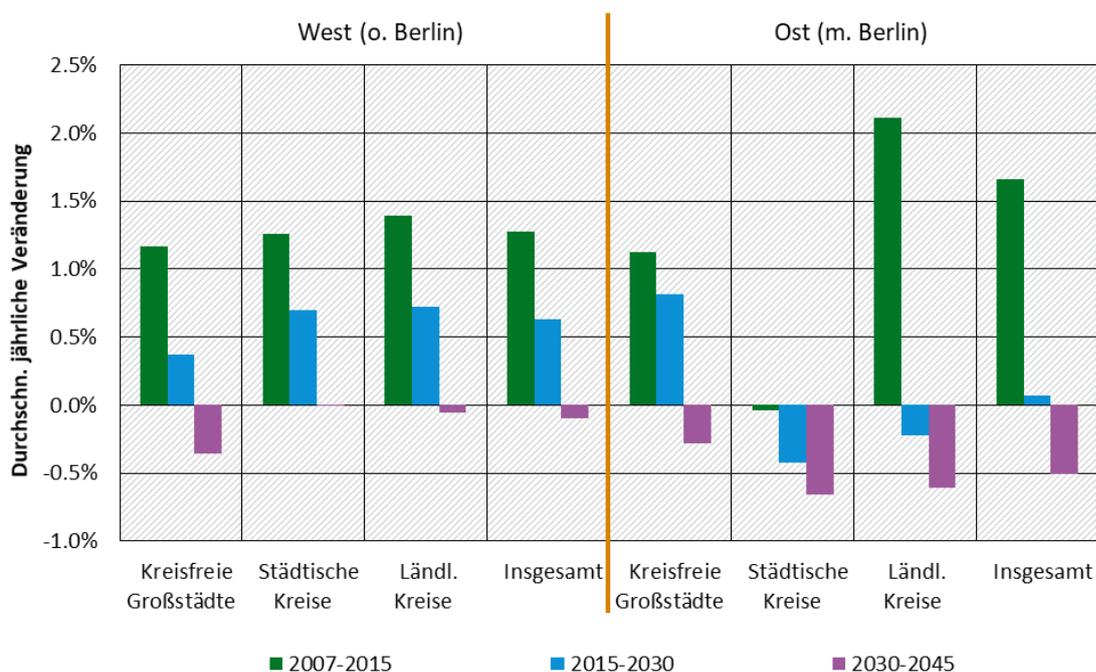
	in Mrd. qm				Veränderung in % p. a.		
	2011	2016	2030	2045	2011–2016	2016–2030	2030–2045
Kreisfreie Städte	0,92	0,95	1,05	1,10	0,6 %	0,7 %	0,3 %
Städtische Kreise	1,44	1,49	1,62	1,72	0,7 %	0,6 %	0,4 %
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	0,65	0,67	0,71	0,73	0,7 %	0,4 %	0,2 %
Dünn besiedelte ländliche Kreise	0,56	0,58	0,60	0,60	0,7 %	0,2 %	0,0 %
Insgesamt	3,58	3,70	3,98	4,15	0,7 %	0,5 %	0,3 %
Westdeutschland (o. Berlin)	2,91	3,02	3,27	3,44	0,7 %	0,6 %	0,3 %
Ostdeutschland (m. Berlin)	0,66	0,68	0,71	0,72	0,5 %	0,3 %	0,1 %

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Entwicklung der Anzahl an Wohnungen pro Wohngebäude wurde bis 2045 für Deutschland vorgegeben. Von 1998 bis 2009 ist dieses Verhältnis von 2,25 auf 2,19 zurückgegangen. Mit der Gebäude- und Wohnungszählung wurde dieser Wert für das Jahr 2010 auf knapp 2,15 revidiert und hat sich seitdem nur geringfügig verändert. Im Jahr 2016 ist die Anzahl der Wohnungen pro Wohngebäude gegenüber dem Vorjahr erstmals nach fast 20 Jahren leicht gestiegen und erreicht einen Wert von 2,14. Dieser Wert wird im Trendszenario bis 2045 beibehalten. Unter den Regionen kann diese Kennzahl durch die Schätzungen jedoch variieren. So nimmt sie in den städtischen Kreistypen leicht zu, während sie in den ländlichen Kreistypen um jährlich bis zu 0,12 % zurückgeht. Im Ergebnis unterscheidet sich im Durchschnitt die Entwicklung der Wohngebäude nicht von jener der Wohnungen und in der regionalen Differenzierung gibt es nur geringfügige Unterschiede.

Im Hinblick auf die **Pkw-Bestände** lassen die im nationalen Modell PANTA RHEI abgebildeten Zusammenhänge bis 2030 eine durchschnittliche Zunahme um 0,5 % p. a. im Trendszenario erwarten. Verantwortlich hierfür ist in erster Linie der weitere Anstieg der Anzahl der Haushalte. In der langen Frist (2030 bis 2045) wird in PANTA RHEI hingegen unter Trendszenario-Bedingungen ein leichter Rückgang (-0,3 % p. a.) des bundesweiten Pkw-Bestandes projiziert.

Abbildung 38: Entwicklung des Pkw-Bestandes in den siedlungsstrukturellen Kreistypen West- und Ostdeutschlands – das Trendszenario



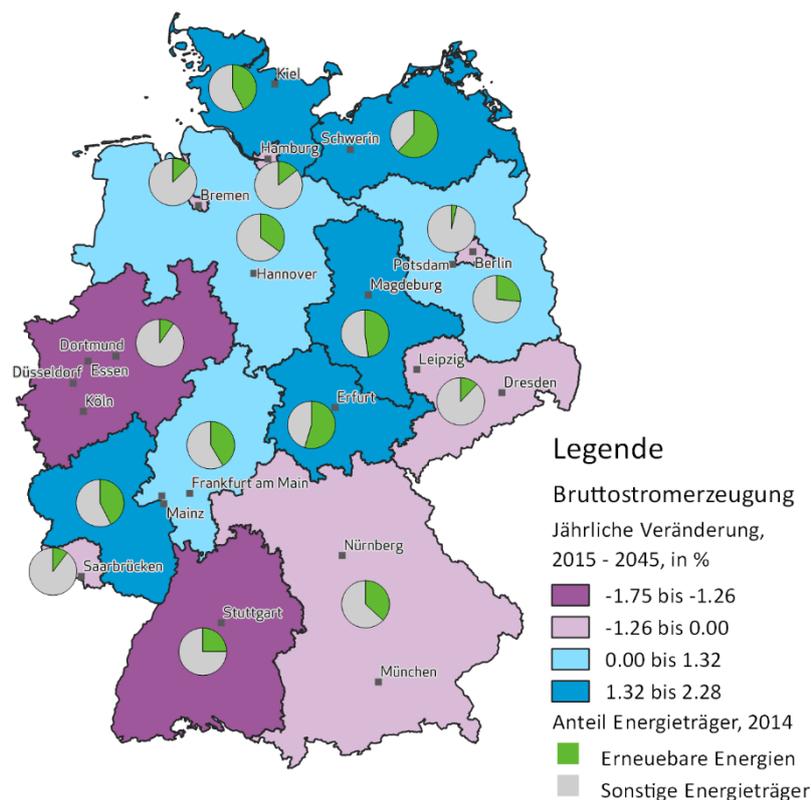
Quelle: Eigene Berechnungen.

Bei der regressionsanalytischen Überprüfung von Einflussfaktoren auf die Pkw-Bestände in den Landkreisen und kreisfreien Städten Deutschlands konnte kein Einfluss des Einkommens, sondern lediglich kreisspezifische Trends der Pkw-Dichte (Pkw-Bestand je 1000 Einwohner) nachgewiesen werden. Wie nachstehende Abbildung zeigt, führt dies im Trendszenario dazu, dass es in Westdeutschland zunächst im Zeitraum bis 2030 in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen zu einer weiteren Zunahme der Pkw-Bestände kommt. Am niedrigsten fallen hierbei die Zuwächse in den kreisfreien Großstädten aus. In Ostdeutschland hingegen wird – mit Ausnahme der kreisfreien Großstädte – bereits für den Zeitraum bis 2030 mit einem Rückgang der Pkw-

Bestände gerechnet. Zurückgehende Pkw-Bestände werden im Zeitraum 2030 bis 2045 für alle siedlungsstrukturellen Kreistypen projiziert, wobei die deutlichsten Rückgänge in den kreisfreien Großstädten Westdeutschlands sowie in den städtischen und ländlichen Kreisen Ostdeutschlands erwartet werden.

Im Modell PANTA RHEI-LÄNDER wird die **Bruttostromerzeugung** ausgehend von der Struktur und Veränderung des Energieträgermixes in den Bundesländern fortgeschrieben. Der Energieträgermix der Stromerzeugung ist in den Bundesländern im Jahr 2014 sehr unterschiedlich. Der Anteil der erneuerbaren Energien schwankt zwischen 4 % (Berlin) und 62 % (Mecklenburg-Vorpommern). Aber auch die Verteilung auf die übrigen Energieträger ist teilweise sehr unterschiedlich. In Sachsen, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen spielt die Verstromung von Braunkohle¹² eine große Rolle, während in den Stadtstaaten die Steinkohle, in Bayern und Hessen Erdgas einen großen Anteil an den fossilen Energieträgern haben. Ebenso unterscheiden sich die Anteile innerhalb der erneuerbaren Energien. Diese Strukturinformationen nach insgesamt 11 Energieträgern werden genutzt, um ausgehend von den nationalen Szenarien die Stromerzeugung in den Bundesländern fortzuschreiben (vgl. Ulrich et al. 2018). Diese regionalen Projektionen gehen im LÄNDER-Modell auch in die Bestimmung der Bruttowertschöpfung im Bereich der Energieversorgung ein.

Abbildung 39: Entwicklung der Bruttostromerzeugung und EE-Anteil in den Bundesländern – Trendszenario



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen, eigene Berechnungen.

Im Ergebnis nimmt die Bruttostromerzeugung in jenen Bundesländern mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien im Trendszenario deutlich zu. Die höchste Steigerung wird in Meck-

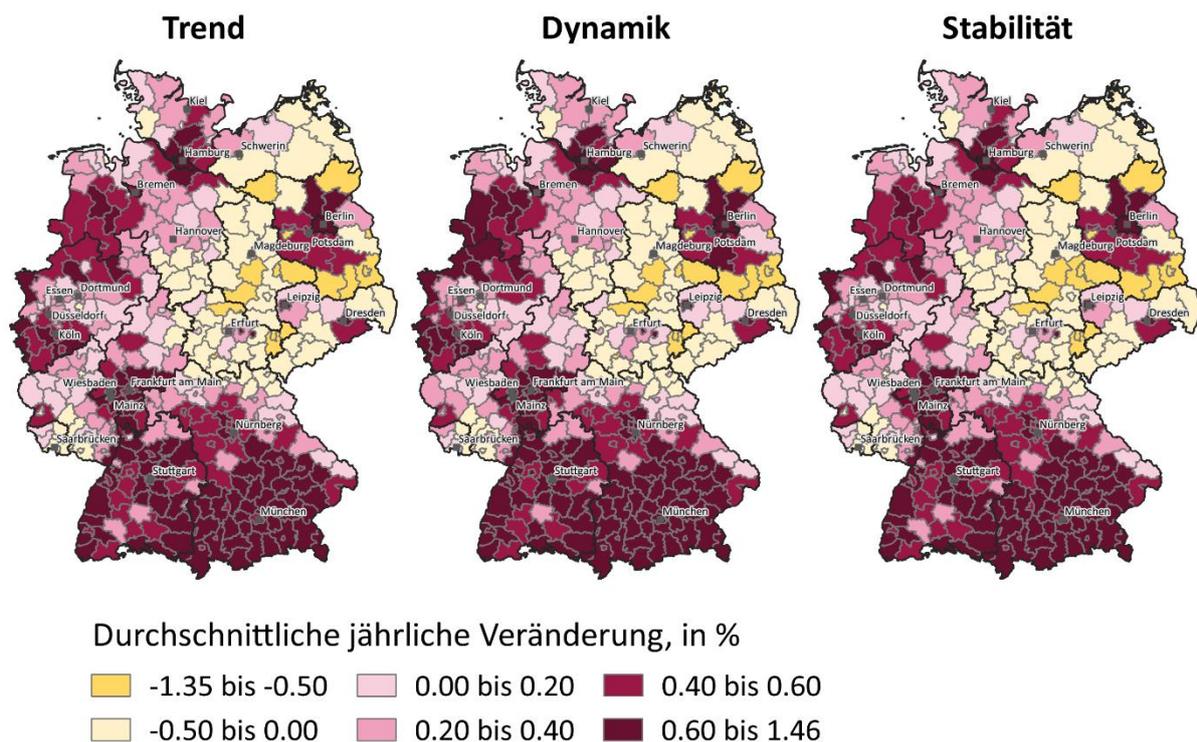
¹² Die jüngsten Ergebnisse des Kohlekompromisses sind hier nicht enthalten.

lenburg-Vorpommern und Rheinland-Pfalz, die stärksten Abnahmen werden in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen gesehen. Dies hängt mit dem starken Ausbau der EE-Stromerzeugung im Trendszenario zusammen (vgl. Kapitel 4.2). Darüber hinaus ist von Bedeutung, welche erneuerbaren oder fossilen Energieträger im Detail bisher den Vorrang in den Bundesländern haben. Ein hoher Anteil von Kohle oder Kernenergie wirkt sich strukturell besonders negativ auf die regionale Stromproduktion aus. Ein bisher hoher Anteil im Bereich Windenergie offshore wirkt sich stärker positiv aus als ein hoher Anteil im Bereich Biomasse, weil die Windenergie auf dem Meer überdurchschnittlich wachsen wird. Die zugrunde liegende Annahme, dass die regionale Verteilung der Stromerzeugung für jeden der 11 Energieträger bis 2045 gleich bleibt, suggeriert, dass Investitionen in neue, vor allem erneuerbare Erzeugungskapazitäten ähnlich verteilt werden wie in der Vergangenheit. Dies erscheint angesichts von natürlichen Gunsträumen für die Kapazitäten bei erneuerbaren Energien nicht unwahrscheinlich.

5.4.2 Entwicklungen in den Szenarien Dynamik und Stabilität

Die Darstellungen der Modellergebnisse für die Themenfelder „Wohnen und Pkw-Bestände“ beschränken sich auf zwei Beobachtungen: die Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden und die Entwicklung der Pkw-Bestände, jeweils aus regionaler Perspektive.

Abbildung 40: Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden im Zeitraum 2015 bis 2045 – die Szenarien im Vergleich



Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

Die Anzahl der Wohnungen ist im Szenario Dynamik höher als im Trendszenario, wobei die räumlichen Muster der Abweichungen im wesentlichen denen der Bevölkerung entsprechen. Die Entwicklung des Wohnungs- und Wohngebäudebestands entspricht im Stabilitätsszenario jener

im Trendszenario.¹³ Abbildung 40 zeigt, dass Unterschiede bei der Entwicklung der Wohnfläche in Wohngebäuden insbesondere zwischen den Szenarien Trend und Dynamik zu beobachten sind, während die Szenarien Trend und Stabilität sehr ähnliche Entwicklungen erwarten lassen, weil Bevölkerungsentwicklung und BIP-Wachstum (fast) identisch sind.

Im Dynamikszenario kommt es wegen des höheren Wachstums und der höheren Bevölkerungszahl im Vergleich zum Trend zu einem Anstieg der Pkw-Bestände. Bundesweit sind diese im Jahr 2030 um 0,51 Mio. bzw. 1 % höher als im Trendszenario und bis 2045 erhöht sich diese Differenz auf 1,44 Mio. bzw. 3,1 %. Wie die Spalten 2 und 3 der Tabelle 30 zeigen, gelten diese Befunde in ähnlicher Form für alle Kreistypen und für West- wie Ostdeutschland. Eine Ausnahme bilden lediglich die kreisfreien Städte, in denen sich das Dynamikszenario überdurchschnittlich auf die Pkw-Bestände auswirkt.

Im Stabilitätsszenario hingegen gehen die Pkw-Bestände gegenüber dem Trendszenario zurück. Bundesweit beträgt diese Differenz im Jahr 2030 3,13 Mio. bzw. -6,4 %. Bis 2045 erhöht sich diese Differenz auf 4,23 Mio. bzw. 9 %. Besonders deutlich wirkt sich das veränderte Verkehrsverhalten in den kreisfreien Großstädten aus, während der Pkw-Bestand in den städtischen Kreisen und ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen unterdurchschnittlich von der Entwicklung im Trendszenario abweicht. Hintergrund sind die schwächer positiven Trends der Pkw-Dichte in den Großstädten, die bei gleicher Bevölkerung und geringerem nationalen Pkw-Bestand zu einer stärker negativen Abweichung führen. Im Dynamikszenario macht sich dagegen vor allem bemerkbar, dass die positive Abweichung der Einwohnerzahl in den Großstädten am höchsten und in den ländlichen Kreisen am geringsten ist.

Tabelle 30: Differenz der Pkw-Bestände zum Trendszenario insgesamt und nach Kreistypen – das Dynamik- und das Stabilitätsszenario

in Mio. (in %)	Dynamik		Stabilität	
	2030	2045	2030	2045
Kreisfreie Großstädte	0,22 (1,9 %)	0,58 (5,5 %)	-0,84 (-7,4 %)	-1,1 (-10,4 %)
Städtische Kreise	0,17 (0,8 %)	0,5 (2,4 %)	-1,26 (-6 %)	-1,76 (-8,5 %)
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	0,07 (0,7 %)	0,2 (2,2 %)	-0,55 (-6,1 %)	-0,74 (-8,6 %)
Dünn besiedelte ländliche Kreise	0,05 (0,7 %)	0,16 (2,2 %)	-0,48 (-6,5 %)	-0,63 (-9,1 %)
Insgesamt	0,51 (1 %)	1,44 (3,1 %)	-3,13 (-6,4 %)	-4,23 (-9 %)
Westdeutschland (o. Berlin)	0,43 (1,1 %)	1,2 (3 %)	-2,5 (-6,1 %)	-3,44 (-8,6 %)
Ostdeutschland (m. Berlin)	0,08 (1 %)	0,23 (3,3 %)	-0,63 (-7,9 %)	-0,79 (-11,2 %)

Quelle: Eigene Berechnungen.

¹³ Eine geringere Wohnungsgröße und erhöhte Anzahl Wohnungen pro Wohngebäude im Szenario Stabilität könnten eine inhaltlich vertretbare Annahme sein. Da die Definition des Szenarios zu unspezifisch ist, wurde im Rahmen des Vorhabens davon abgesehen, diese Annahme zu implementieren. In einer gerechneten, aber nicht dokumentierten Variante des Stabilitätsszenarios ergibt sich bei einer erhöhten Anzahl Wohnungen pro Gebäude ein um 1,4 % geringerer Gebäudebestand bis 2030 und eine Flächeninanspruchnahme (SuV-Fläche), die um durchschnittlich 1,9 ha pro Tag geringer ist. Im Neubau müssten deutschlandweit bis 2030 ein Anstieg auf ca. 3 Wohnungen pro Wohngebäude angenommen werden, um diese vergleichsweise geringe Reduktion zu erreichen (Trend: 2,2).

Tabelle 31 zeigt, wie sich die regionale Verteilung der Bruttostromerzeugung in den einzelnen Szenarien verschiebt. Alle westdeutschen Flächenländer außer Rheinland-Pfalz, Hessen und Saarland verlieren Anteile an der Stromerzeugung. Auch alle Stadtstaaten reduzieren ihren Anteil bis zum Jahr 2045. Besonders stark ist der Rückgang für Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen. Besonders hohe Anteilsgewinne zeigen sich in den Flächenländern an der Nord- und Ostsee sowie in Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt. Diese regionale Verschiebung verstärkt sich noch im Stabilitätsszenario, in dem Nordrhein-Westfalen gegenüber 2014 seinen Anteil an der Stromerzeugung mehr als halbiert. Es gibt nur geringfügige Unterschiede zwischen dem Szenario Trend und dem Szenario Dynamik.

Tabelle 31: Kennzahlen der regionalen Verteilung der Bruttostromerzeugung in den drei Szenarien

	Anteil an der Bruttostromerzeugung, in %				EE-Anteil, in %			
	2014	Trend, 2045	Dynamik, 2045	Stabilität, 2045	2014	Trend, 2045	Dynamik, 2045	Stabilität, 2045
Baden-Württemberg	9,7	5,9	5,9	5,4	24,9	62,8	58,8	83,7
Bayern	14,1	10,3	10,2	11,7	36,9	79,5	76,0	86,2
Berlin	1,2	1,0	1,1	0,6	3,7	5,0	4,2	10,7
Brandenburg	8,7	10,5	10,3	10,7	26,6	70,9	68,1	90,8
Bremen	1,1	0,8	0,8	0,5	12,6	41,7	38,0	77,8
Hamburg	0,7	0,5	0,5	0,3	14,0	32,5	28,8	57,7
Hessen	2,1	3,2	3,3	3,5	41,5	61,6	57,0	73,8
Mecklenburg-Vorpommern	2,0	4,4	4,3	5,4	61,7	87,8	86,1	93,7
Niedersachsen	11,6	15,5	15,1	18,2	35,2	80,6	78,1	89,7
Nordrhein-Westfalen	28,0	19,1	19,8	12,4	9,7	34,7	31,5	67,8
Rheinland-Pfalz	2,9	5,9	6,1	6,6	42,5	61,5	56,5	70,6
Saarland	1,6	1,2	1,2	0,8	10,2	38,8	35,4	75,8
Sachsen	6,8	5,0	5,1	3,6	11,9	40,0	36,8	71,9
Sachsen-Anhalt	3,6	7,0	6,8	8,1	47,7	79,5	76,8	88,8
Schleswig-Holstein	4,6	7,4	7,1	9,3	42,3	92,7	91,7	96,4
Thüringen	1,3	2,4	2,4	2,9	54,5	74,1	70,5	82,3
Deutschland	100,0	100,0	100,0	100,0	25,7	65,2	61,6	83,7

Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen, eigene Berechnungen.

In Deutschland – wie in allen Bundesländern – steigt der Anteil der EE an der Bruttostromerzeugung in allen Szenarien deutlich, im Szenario Trend auf 65 %, in Dynamik auf knapp 62 % und in Stabilität auf knapp 84 %. Im Trendszenario ergibt sich für alle Bundesländer – außer Berlin – eine Steigerung um mindestens 18 %-Punkte. Über 45 %-Punkte ergeben sich für die Offshore-Standorte Schleswig-Holstein und Niedersachsen, direkt gefolgt von Brandenburg (+44 %-Punkte). Im Szenario Stabilität erreichen drei Bundesländer einen EE-Anteil von über 90 %, nur zwei Bundesländer (Stadtstaaten) bleiben unter 60 %.

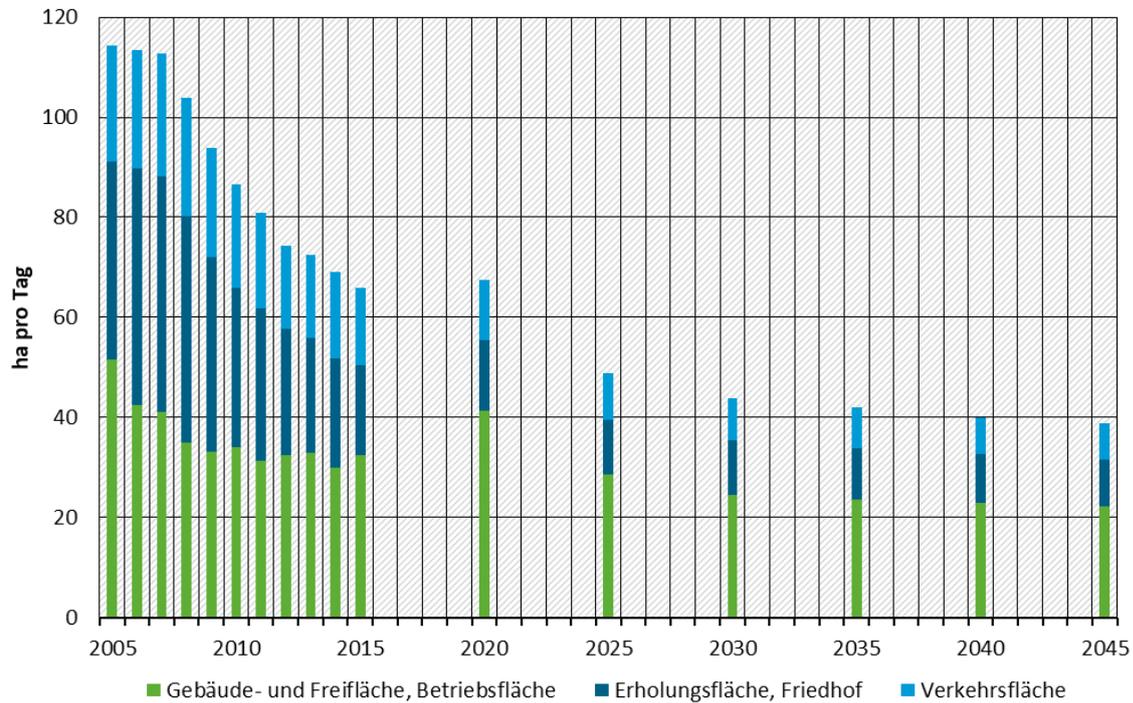
5.5 Siedlungs- und Verkehrsflächen

Im Folgenden werden die zentralen Modellergebnisse der Fortschreibung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den Regionen für die drei Szenarien beschrieben. Für die Analyse und Projektion wurde die Systematik der ALB-Nutzungsarten verwendet. Die Werte für die seit dem Stichtag 31.12.2016 berichteten Nutzungs- und Objektarten in der ALKIS-Systematik wurden jedoch – wenn möglich – als aktuellster Datenstand berücksichtigt. Die einzelnen Modellansätze sind im Anhang A.3.3 beschrieben. Daten für Deutschland werden nur hier dokumentiert, weil sie sich aus den regionalen Ergebnissen in PANTA RHEI Regio ergeben und nicht Teil des nationalen Modells sind (vgl. Abschnitt 5.1).

5.5.1 Fläche im Szenario Trend

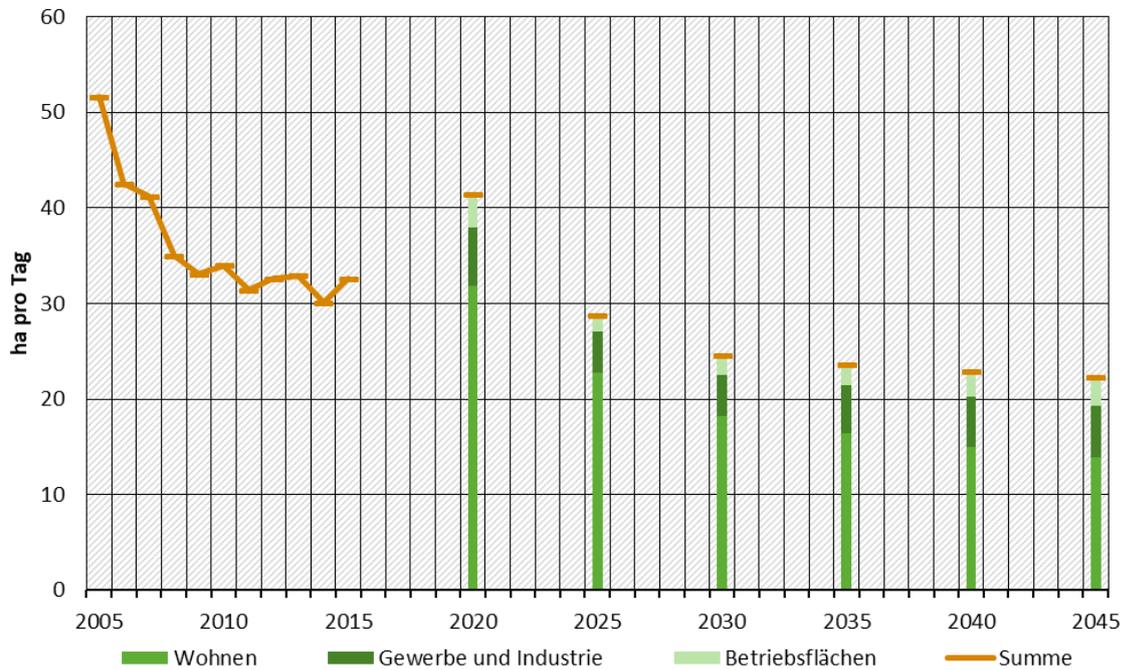
Im Szenario Trend steigt die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr ausgehend vom Niveau der Jahre 2013 bis 2015 (66 ha pro Tag) bis 2020 auf etwa 68 ha pro Tag leicht an. Gründe sind die hohe Zahl an Neubauten, die überdurchschnittliche Konjunktorentwicklung und die Bevölkerungszunahme im Zeitraum 2016 bis 2020. Anschließend geht die tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche im gleitenden Vier-Jahres-Durchschnitt bis 2030 auf 44 ha pro Tag zurück und erreicht im Jahr 2045 einen Wert von 39 ha pro Tag. Die Ursachen liegen in der langfristig in vielen Regionen zurückgehenden Anzahl an Einwohnern und privaten Haushalten. Die Verteilung der Dynamik auf die drei Hauptnutzungsarten ist ähnlich wie in der Vergangenheit. Bis 2020 tragen die Gebäude- und Freiflächen einen etwas höheren Anteil zur Dynamik bei. Langfristig sinkt der Anteil der Verkehrsflächen an der Zunahme.

Es wird deutlich, dass die in unterschiedlichen politischen Programmen gesetzten Ziele zur Reduktion der Flächeninanspruchnahme im Trendszenario deutlich verfehlt werden. Die Reduktion auf 30 ha pro Tag im Jahr 2020, wie sie in früheren Nachhaltigkeitsstrategien und im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016a) gefordert wird, wird nicht erreicht. Auch Zielwerte für 2030 von unterhalb 30 ha pro Tag („30 minus X“, Bundesregierung 2016) oder gar ein Wert von 20 ha pro Tag (BMUB 2016b) werden ohne zusätzliche Maßnahmen für einen deutlich sparsameren Umgang mit Flächen nicht erreicht. Die im Trendszenario beschriebene Entwicklung der Flächeninanspruchnahme macht deutlich, dass auch nach 2030 eine Annäherung an diese Ziele oder gar an Ziele, die den geforderten Reduktionspfad fortschreiben (0 ha pro Tag im Jahr 2050, BMUB 2016a), mittel- und langfristig eine deutliche Trendumkehr erfordert.

Abbildung 41: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche für die drei Hauptnutzungsarten, gleitender 4-Jahresdurchschnitt, historisch und im Szenario Trend

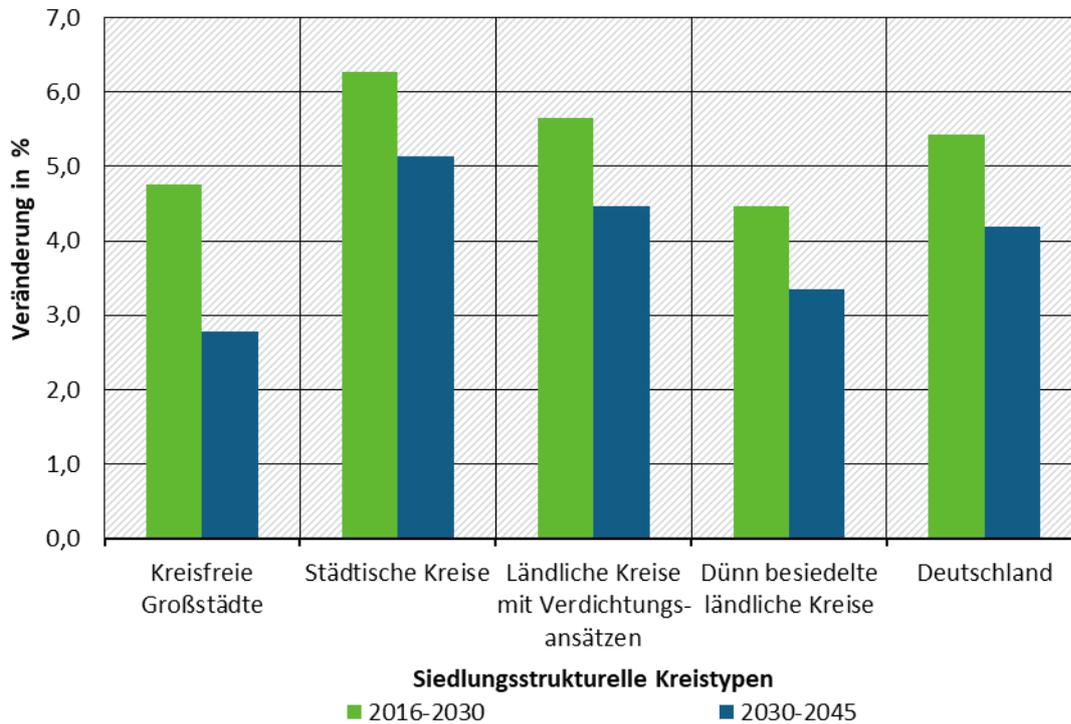
Quelle: Destatis 2016c, eigene Berechnungen.

Die historischen Daten in den Unterkategorien der Gebäude- und Freiflächen bis einschließlich 2015 sind geprägt von Umstellungen in der statistischen Erfassung der Länder. In diesen Jahren stand ein teils sehr hohes Wachstum der Gebäude- und Freifläche „Wohnen“ einem Rückgang der übrigen Gebäude- und Freiflächen (ohne „Gewerbe und Industrie“) gegenüber. Eine Dominanz der Nutzung „Wohnen“ für die Dynamik der Gebäude- und Freiflächen wird jedoch auch für den Projektionshorizont erwartet. Im Jahr 2020 wird in diesem Bereich im gleitenden 4-Jahresdurchschnitt eine Flächeninanspruchnahme von knapp über 40 ha pro Tag erreicht. Bis 2030 geht die Veränderung der Gebäude- und Freiflächen sowie Betriebsflächen auf 25 ha pro Tag zurück und verbleibt bis 2045 auf einem ähnlichen Niveau (2045: 22 ha pro Tag). Langfristig steigt der Anteil der Flächeninanspruchnahme für Gewerbe und Industrie leicht an.

Abbildung 42: Entwicklung der Gebäude- und Freiflächen einschließlich der Betriebsflächen, gleichender 4-Jahresdurchschnitt, historisch und im Szenario Trend

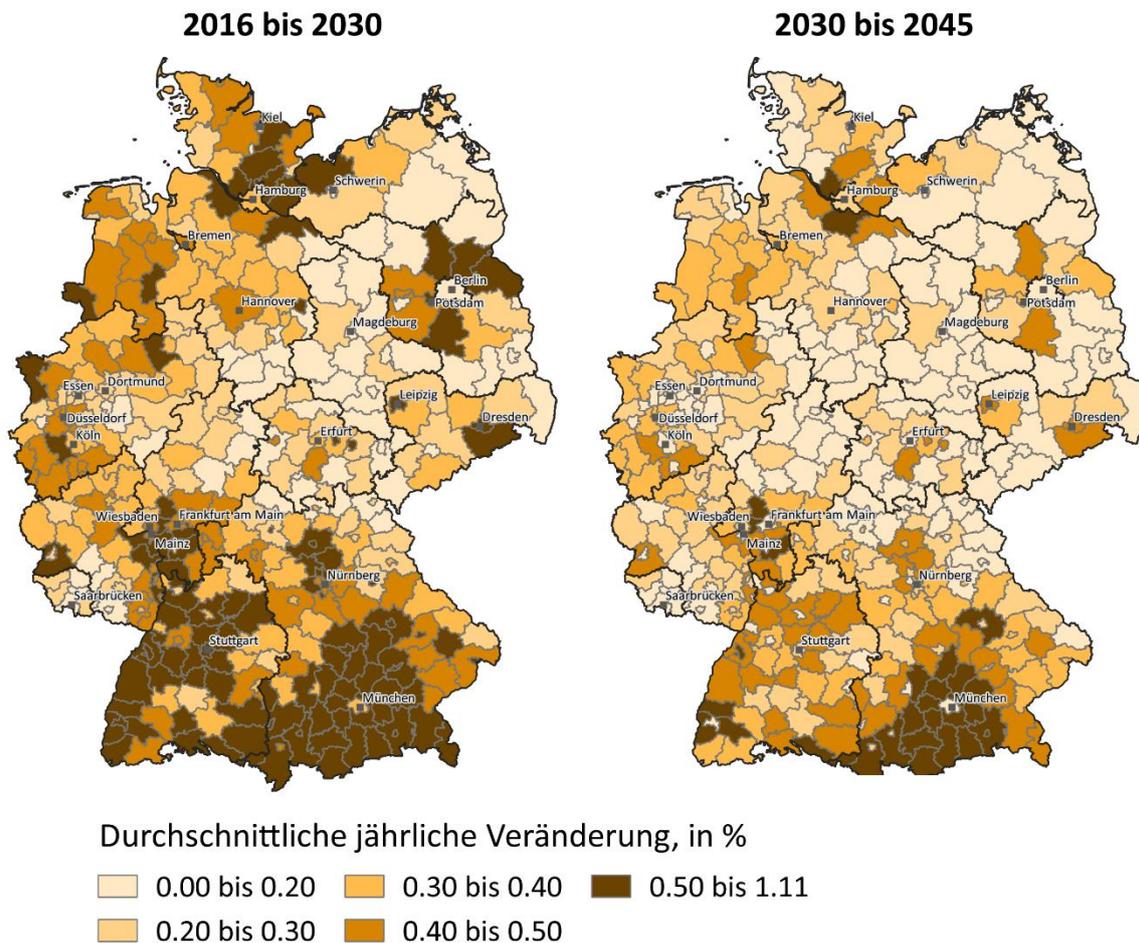
Quelle: Destatis 2016c, eigene Berechnungen.

Die gesamte Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland wächst zwischen den Jahren 2016 und 2030 um ca. 5,4 % und anschließend von 2030 bis 2045 um 4,2 %. Am höchsten ist die zusätzliche Flächeninanspruchnahme zwischen 2016 und 2030 in städtischen Kreisen gefolgt von stärker verdichteten ländlichen Kreisen. Am geringsten ist das Wachstum in den dünn besiedelten ländlichen Kreisen, wobei der Wert für die kreisfreien Großstädte nur geringfügig höher ist. Zwischen 2030 und 2045 beträgt die Flächenneuanspruchnahme in kreisfreien Großstädten noch etwa 2,8 %, während in den städtischen Kreisen und den ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen Werte deutlich über 4 % gesehen werden und in ländlichen Kreisen noch über 3%. Es zeigt sich demnach, dass das Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den kreisfreien Großstädten langfristig am stärksten zurückgeht um etwa 2 Prozentpunkte, während in den drei anderen Kreistypen ein geringerer Rückgang des Wachstums um jeweils etwa 1,2 %-Punkten zwischen den beiden Zeiträumen erwartet wird. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in absoluten Zahlen steigt weiter.

Abbildung 43: Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche insgesamt (2016–2030 und 2030–2045) im Szenario Trend, siedlungsstrukturelle Kreistypen

Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Flächeninanspruchnahme verteilt sich im Zeitraum 2016 bis 2030 sehr unterschiedlich auf die Regionen. Um die Ballungszentren im Süden und Südwesten gibt es größere Räume mit hoher relativer Flächeninanspruchnahme. Aber auch das Umland von Hamburg, Köln und Berlin reicht in diesem Kontext weit in die ländlichen Räume hinein. Weiter entfernt von Ballungszentren und Großstädten fallen Westniedersachsen und der Südosten Bayerns mit hohen Zunahmen auf. Die Kernstädte selbst zeigen häufig eher geringe Veränderungswerte. Insbesondere die Kernstädte in Westdeutschland fallen in der räumlichen Verteilung im Zeitraum 2030 bis 2045 als Gebiete mit stärker verringertem Wachstum auf. Ansonsten ist das Muster der räumlichen Flächeninanspruchnahme ähnlich wie zwischen 2015 und 2030. Die größten zusammenhängenden Gebiete mit höherer Flächeninanspruchnahme befinden sich weiterhin in Bayern und Baden-Württemberg sowie im weiteren Hamburger Umland.

Abbildung 44: Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Szenario Trend für die Landkreise und kreisfreien Städte

Quelle: Eigene Berechnungen, © GeoBasis-DE / BKG 2017.

5.5.2 Abweichungen zwischen den Szenarien

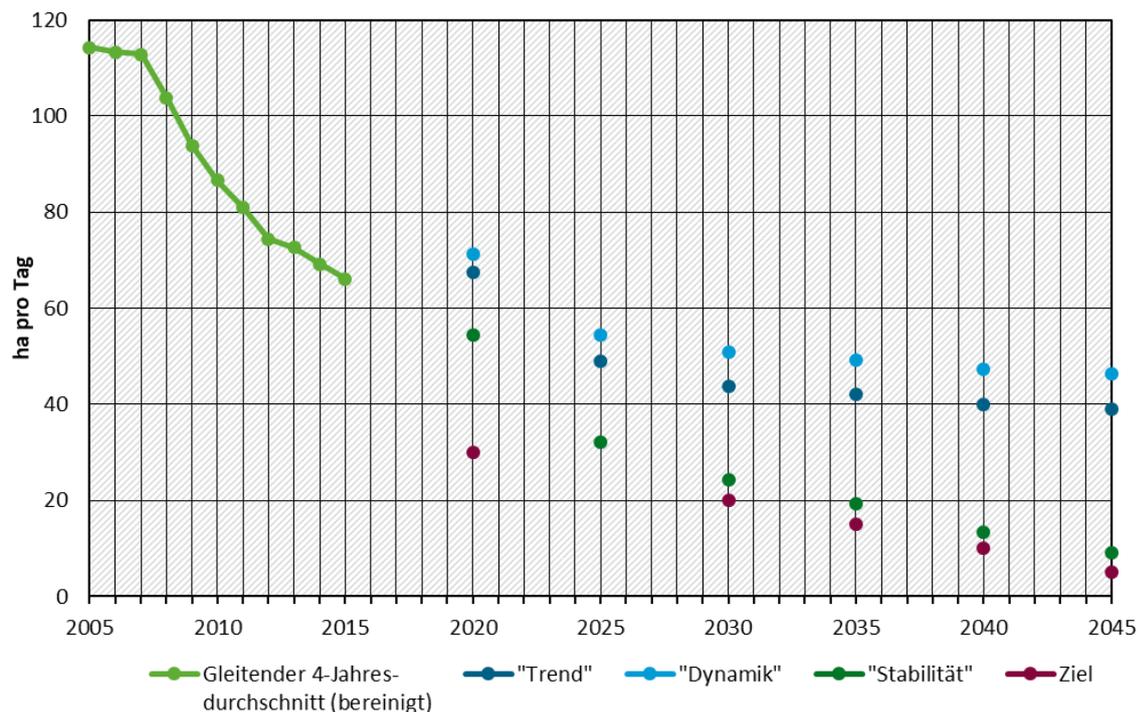
Im Vergleich der Modellergebnisse für die Szenarien zeigt sich, dass die Flächeninanspruchnahme im Szenario Dynamik im Jahr 2045 mit 46 ha pro Tag um 7,4 ha pro Tag höher ist als im Szenario Trend. Dieser Abstand zwischen den beiden Szenarien besteht bereits im Jahr 2030 und nimmt dann nur noch sehr leicht zu. Sowohl die stärkere Bevölkerungs- als auch Wirtschaftsdynamik tragen zu diesen Unterschieden in der Flächeninanspruchnahme bei. Entsprechend verschiebt sich die Verteilung der Flächeninanspruchnahme auf die Flächennutzungsarten nur geringfügig.

Das Szenario Stabilität bildet wesentliche Trends hin zu einer Flächeninanspruchnahme von 20 ha pro Tag im Jahr 2030 sowie 5 ha pro Tag im Jahr 2045 ab. Beobachtungen aus Baden-Württemberg, die eine deutlich geringere Zunahme der Flächeninanspruchnahme für die Vergangenheit zeigen, wurden dazu auf den Bund übertragen.¹⁴ Damit wird im Jahr 2030 das Ziel „30 minus X“ der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie erreicht. Ein stärkerer Reduktionspfad auf 20 ha

¹⁴ Bei der regressionsanalytischen Fundierung der Flächeninanspruchnahme wurde im Vorhaben verschiedentlich überprüft, ob für das Szenario Stabilität eine alternative Panelabgrenzung möglich ist. So zeigte sich mehrfach, dass eine Beschränkung des Panels ausschließlich auf die Baden-Württembergischen Kreise einen stärkeren negativen Trend in der Erklärung aufweist und die entsprechende Regression nicht weniger signifikant ist, als diejenige mit einem breiter gefassten Panel. Die Berücksichtigung dieser veränderten Trendeinflüsse auf die Flächeninanspruchnahme im Szenario Stabilität lässt sich dann dahingehend interpretieren, dass es in

wie im Integrierten Umweltschutzplan 2030 wird knapp verfehlt. Der Veränderungswert liegt um etwas über 4 ha pro Tag über dem ambitionierten Ziel. Der Abstand zu einem weitergeführten ambitionierten Zielpfad auf 0 ha pro Tag im Jahr 2050 ist im Jahr 2045 nur etwas geringer (9 statt 5 ha pro Tag). Die Verteilung über die Flächennutzungsarten ist auch in diesem Szenario nicht grundlegend anders als im Trendszenario. Die Verkehrsflächen haben einen etwas höheren Anteil an der Reduktion der Flächenneuanspruchnahme (-8 Prozentpunkte), für die Erholungsflächen steigen die Wachstumsanteile (+6 Prozentpunkte), ebenso wie für die Gebäude- und Freiflächen Wohnen (+3 Prozentpunkte).

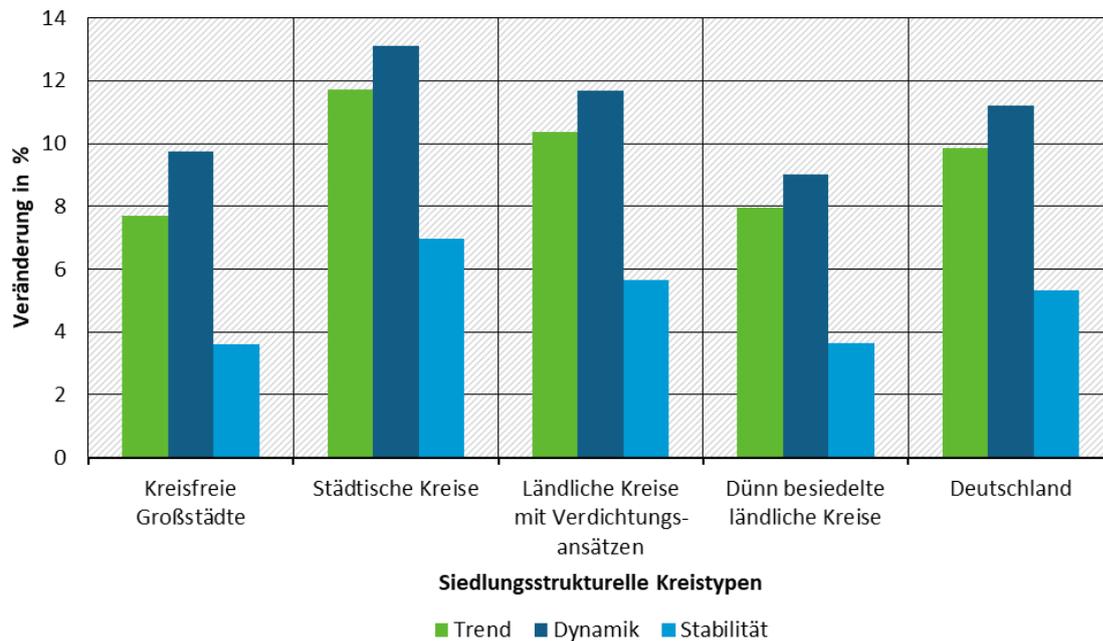
Abbildung 45: Entwicklung der Flächeninanspruchnahme in den drei sozioökonomischen Szenarien, gleitender 4-Jahresdurchschnitt, Zielpfad



Quelle: Destatis 2016c, eigene Berechnungen.

In den Projektionen zeigt sich, dass in allen siedlungsstrukturellen Kreistypen die zusätzliche Flächeninanspruchnahme im Szenario Dynamik im Zeitraum 2016 bis 2045 im Durchschnitt ähnlich hoch ist. Die größten Abstände zwischen Trend und Dynamik liegen bezogen auf die relativen Veränderungen in den städtischen und insbesondere großstädtischen Räumen. Die kreisfreien Großstädte schließen im Dynamikszenario mit ihrer Veränderung zu den ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen auf. In den dünn besiedelten ländlichen Kreisen liegt die Veränderung in diesem Szenario bei 9 % und damit 4 %-Punkte unter dem Wert in den städtischen Kreisen. Für die Reduktion der Flächeninanspruchnahme im Szenario Stabilität tragen alle Kreistypen proportional in ähnlichem Umfang bei. In dünn besiedelten ländlichen Kreisen liegt die relative Veränderung zwischen 2016 und 2045 in diesem Szenario bei 3,6 %, dagegen in den städtischen Kreisen immer noch etwa bei knapp 7 %.

diesem Szenario gelingt, die guten Beispiele einer flächensparenderen Politik aus Baden-Württemberg auf die anderen Länder zu übertragen.

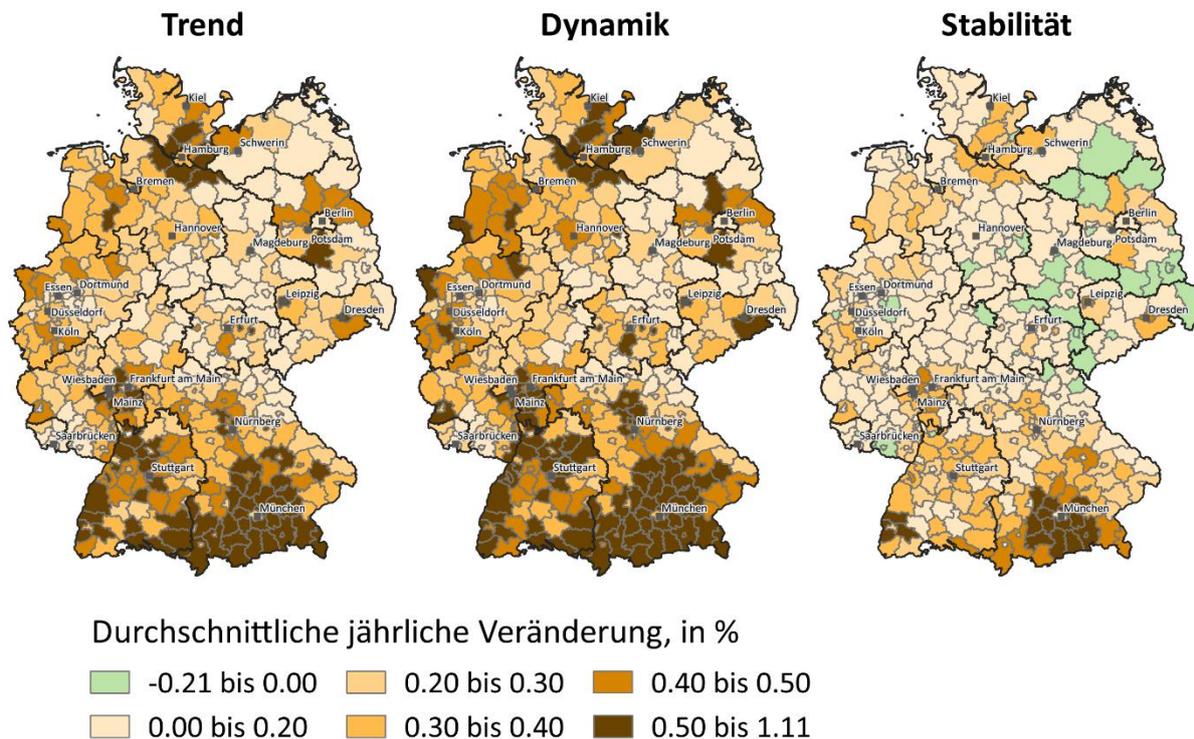
Abbildung 46: Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächen zwischen 2016 und 2045 – Vergleich zwischen den Szenarien

Quelle: Eigene Berechnungen.

In der räumlich stärker aufgelösten Darstellung wird deutlich, dass sich die räumlichen Muster der Flächeninanspruchnahme zwischen dem Trendszenario und dem Dynamikszenario nicht grundlegend unterscheiden (vgl. Abbildung 47). Deutlich wird ein weiteres Mal das „Aufschließen“ vieler kreisfreier Städte im Szenario Dynamik. Aber auch Landkreise im Westen Niedersachsens, am Niederrhein und in Bayern haben eine deutlich höhere Flächendynamik als im Trendszenario. Im Vergleich mit den anderen Szenarien zeigt sich – bei Zugrundelegung der gleichen Werteklassierung – für das Szenario Stabilität zunächst flächendeckend die deutlich geringere Flächeninanspruchnahme. Die räumlichen Muster des Trendszenarios finden sich jedoch auch hier in ähnlicher Form wieder. Über den gesamten Zeitraum zeigen 45 Kreise eine negative Flächenentwicklung im Szenario Stabilität. Es gibt jedoch auch wenige Räume im äußersten Süden Deutschlands, in denen die Flächendynamik nur wenig reduziert ist. Zu beachten ist, dass die meisten Kreise auch im Stabilitätsszenario bis 2030 noch durch mittleres bis hohes Flächenwachstum geprägt sind, während danach viele Kreise – 120 im Zeitraum 2030 bis 2045 – negative Entwicklungen zeigen. Das heißt, dass auch im äußersten Süden die Zunahme der Flächeninanspruchnahme im Stabilitätsszenario ab 2030 deutlich reduziert ist.

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen an der gesamten Bodenfläche betrug im Jahr 2016 im Durchschnitt 14 % (vgl. Tabelle 32). Dieser Anteil steigt im Trendszenario bis 2045 auf 15,4 % an. In den kreisfreien Großstädten entfallen im Durchschnitt bereits im Jahr 2016 mehr als die Hälfte der Bodenflächen auf Flächen für Siedlung und Verkehr. Hier steigt der Wert von 52 auf 56 %. In den häufig flächenmäßig sehr großen, dünn besiedelten ländlichen Kreisen überschreitet der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen in allen Szenarien die 10 %-Grenze und steigt im Trendszenario von 9,8 auf 10,6 %. In den städtischen Kreisen steigt der Wert auf annähernd 20 %, in den ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen auf 13 %. Im Dynamikszenario ist der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen im Durchschnitt um 0,2 %-Punkte höher als im Trendszenario, im Szenario Stabilität dagegen um 0,6 %-Punkte geringer.

Abbildung 47: Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den drei Szenarien im Zeitraum 2016 bis 2045



Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 32: Entwicklung des Anteils der SuV-Flächen an der Bodenfläche in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045

in % bzw. Prozentpunkten	2015	Trend		Dynamik		Stabilität	
		2030	2045	2045	Abw. zu Trend	2045	Abw. zu Trend
Kreisfreie Großstädte	52,1	54,6	56,1	57,2	+1,1	54,0	-2,1
Städtische Kreise	17,4	18,5	19,5	19,7	+0,2	18,6	-0,8
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	11,9	12,6	13,1	13,3	+0,2	12,6	-0,6
Dünn besiedelte ländliche Kreise	9,8	10,2	10,6	10,7	+0,1	10,2	-0,4
Insgesamt	14,0	14,8	15,4	15,6	+0,2	14,7	-0,6

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Durchschnitt werden für Siedlung und Verkehr im Zeitraum 2030 bis 2045 1,8 m² Fläche je Einwohner und Jahr neu in Anspruch genommen (vgl. Tabelle 33).¹⁵ Im Zeitraum vor 2030 sind es 2,4 m². Im Vergleich zwischen den siedlungsstrukturellen Kreistypen treten deutliche Unterschiede zutage. Nach 2030 beträgt die Flächeninanspruchnahme in den kreisfreien Großstädten

¹⁵ Für die Berechnung des Verhältnisses wird die Einwohnerzahl im jeweiligen Anfangsjahr zugrunde gelegt.

0,5 m² je Einwohner und Jahr, während dieser Wert in den dünn besiedelten ländlichen Kreisen rund 2,8 m² beträgt. In den städtischen Kreisen ist die Flächenneuanspruchnahme pro Einwohner und Jahr viermal so hoch wie in den kreisfreien Großstädten, in ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen sogar mehr als fünfmal so hoch. Im Szenario Dynamik ist die Flächeninanspruchnahme im Durchschnitt um 0,3 m² pro Einwohner und Jahr höher als im Trendszenario. Im Szenario Stabilität wird im Zeitraum 2030 bis 2045 ein Wert von durchschnittlich 0,6 m² je Einwohner und Jahr erreicht. In den einzelnen Kreistypen fällt die zusätzliche Flächeninanspruchnahme im Dynamikszenario bzw. die verminderte Flächeninanspruchnahme im Stabilitätsszenario etwa proportional zur Entwicklung im Trendszenario aus.

Tabelle 33: Durchschnittliches SuV-Flächen-Wachstum in den siedlungsstrukturellen Kreistypen bis 2045

in qm je Einw. und Jahr	Trend		Dynamik		Stabilität	
	2016–2030	2030–2045	2030–2045	Abw. zu Trend	2030–2045	Abw. zu Trend
Kreisfreie Großstädte	0,90	0,51	0,71	0,20	0,04	-0,47
Städtische Kreise	2,49	1,98	2,25	0,27	0,90	-1,08
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	3,51	2,76	3,17	0,41	1,04	-1,72
Dünn besiedelte ländliche Kreise	3,66	2,77	3,21	0,45	0,63	-2,13
Insgesamt	2,38	1,79	2,08	0,29	0,63	-1,16

Quelle: Eigene Berechnungen.

5.6 Einordnung der regionalen Ergebnisse

Während sozio-demographische Projektionen für die Regionen Deutschlands vergleichsweise regelmäßig veröffentlicht werden, sind integrierte räumliche Szenarien, die Demographie und Ökonomie gemeinsam betrachten und ggf. umweltökonomische Kennzahlen fortschreiben, eher selten. Solche integrierte Szenarien wurden beispielsweise für die Verkehrsverflechtungsprognose erarbeitet und sind im ESPON-Projekt ET2050 für alle NUTS3-Regionen der EU entwickelt worden (vgl. Kunzmann et al. 2015). Der dort verfasste Abriss zu vergleichbaren deutschen Untersuchungen macht jedoch deutlich, dass die Untersuchungen häufig unterschiedliche Schwerpunkte haben und daher ein Modellsystem zur integrierten Analyse von Nachhaltigkeitsaspekten im regionalen Kontext aktuell nicht vorliegt.

Die Projektionen mit PANTA RHEI Regio leisten einen substantiellen Beitrag zur deutschlandweiten, szenarienbasierten Regionalanalyse. Durch die Integration des nationalen Modells PANTA RHEI ist es möglich, eine Vielzahl von relevanten Kennzahlen für Regionen abzubilden. Die gesonderte Aufbereitung von regionalen Bevölkerungsprojektionen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine fundierte Betrachtung von alternativen sozioökonomischen Entwicklungen in den Regionen. Die Bevölkerungsentwicklung ist im vorliegenden Modell Einflussgröße für fast alle Merkmale und Kennzahlen. Zugleich werden durch die Einzelbetrachtung von Branchen bis auf Kreisebene Implikationen des Wandels von Technologie und Arbeitsmarkt konsistent fortgeschrieben. Die aus regionalen Wirtschaftsstrukturen und -dynamiken resultierenden Größen zur regionalökonomischen Entwicklung werden als Bestimmungsfaktoren aufgenommen und gehen

in die Entwicklung von Wohnungsbau und Flächennutzung ein. Die Modellierung geht also deutlich über eine proportionale oder proportional-strukturelle Regionalisierung hinaus. Es handelt sich um eine regional- oder regionstypspezifische Erklärung unter Berücksichtigung von Trends und Entwicklungszusammenhängen (vgl. Kapitel 5.1).

Bezogen auf die Güte zur räumlichen Verteilung der nationalen Kennzahlen gilt, dass sie mit der Güte der regionalen Bevölkerungsprojektionen verknüpft ist. Während hier bis auf Bundesländerebene Vorausberechnungen mit jüngerer Datenbasis und aktuellen Annahmen berücksichtigt werden konnten, fand die Parametrisierung der Raumordnungsprognose, die Informationen für die Landkreise und die kreisfreien Städte liefert, vor etwa vier Jahren statt, als deutlich einschneidende Entwicklungen (Außenwanderungssaldo und Fertilität) nicht absehbar waren. Die Einbettung dieser älteren regionalen Vorausberechnungen in aktuellere übergeordnete Modellrechnungen geht auf Kosten der Konsistenz, war jedoch angesichts des zeitlichen Rahmens des Projektes nicht zu umgehen.¹⁶ Ansonsten gilt, dass es sich bei jeder Bevölkerungsprojektion um Schätzwerte handelt. Und „sie basieren auf ausgewählten und begründeten Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der natürlichen und räumlichen Bevölkerungsbewegungen, spiegeln also eine spezifische Situation wider“ (Gans 2018, S. 18). Die bisher in Untersuchungen oft implizierte Rangfolge, dass erst die Bevölkerungsentwicklung und ihre räumliche Aufteilung bestimmt wird und dann sich ergebende sozioökonomische und weitere Größen abgeleitet werden, sollte zukünftig zumindest stärker hinterfragt werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Zusammenhänge wechselseitig sind oder sogar die wirtschaftliche Dynamik die Bevölkerungswanderung antreibt. Deshalb sollte die modellgestützte Analyse den Prozess stärker simultan abbilden.

Zu erwähnen sind zudem Einschränkungen bei der flächendeckenden Auswertung von Daten der Flächennutzungsstatistik. Seit der Wiedervereinigung bis zuletzt kam es immer wieder zu Umstellungen in den Erfassungsverfahren, deren Umsetzung auf Bundesländerebene stattfindet (vgl. Bernsdorf 2015). Während Dosch, Beckmann (2011) die Auswirkungen von Umstellungen in Ostdeutschland Anfang der 2000er-Jahre auf den Globalwert als maßgeblich einstufen, kommt Bernsdorf (2015) zum Ergebnis, dass die jüngste Umstellung von der ALB- auf die ALKIS-Systematik zu keiner starken Verzerrung für den Indikator „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ geführt hat oder führen wird. Der Tatsache, dass hier vor allem regional keine homogene Datenbasis vorliegt, wurde – wenn möglich – durch die spezifische Auswahl und Anpassung der Analysedatensätze Rechnung getragen.

Die Schätzungen im Rahmen des Regionalmodells PANTA RHEI Regio sind je nach Themenfeld unterschiedlich umfassend. Beispielsweise musste die Anzahl der Schätzgleichungen im Bereich „Wohnen“ im Vergleich zur Vorgängerversion (vgl. Distelkamp et al. 2009) reduziert werden. Regionale Preisunterschiede wurden nicht als Einflussgröße operationalisiert und konnten nur indirekt über die Veränderung der Baustruktur (Wohnungen pro Wohngebäude, Siedlungsfläche pro Gebäude) in die strukturelle Betrachtung aufgenommen werden. Im Bereich Verkehr oder auch Energie ist weitere Entwicklungsarbeit notwendig, um deutlich mehr Kennzahlen aus Kreisebene abzubilden. Die Möglichkeiten für detaillierte regionalspezifische Modellierungen sind hier durch die Datenverfügbarkeit bisher eingeschränkt. Gleichwohl verbessert sich die Datenbasis kontinuierlich und das nationale Modell bietet prinzipiell gute Anknüpfungspunkte. Zukünftige Arbeiten am Modell PANTA RHEI Regio selbst sollten sich daher darauf konzentrieren, unterschiedliche Einflussgrößen in den Themenfeldern Wohnen, Verkehr und Energie noch stärker regionalspezifisch zu erfassen. Gerade die Zukunft der Mobilität wird in städtischen Räumen

¹⁶ Die neue Raumordnungsprognose wird erst im Lauf des Jahres 2019 veröffentlicht.

anders aussehen als in ländlichen Räumen. Die genauere Analyse solcher Zusammenhänge ermöglicht, die räumlichen Implikationen von gesellschaftlichen Transformationsprozessen oder auch des Klimawandels im Kontext von Szenarien noch besser abzubilden.

6 Quellenverzeichnis

- Afentakis, A. & Maier, T. (2010): Projektionen des Personalbedarfs und -angebots in Pflegeberufen bis 2025. *Wirtschaft und Statistik* 11/2010, Statistisches Bundesamt, S. 990–1002.
- AGEB (2017): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2016, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.
- Ahlert, G., Distelkamp, M., Lutz, C., Meyer, B., Mönning, A. & Wolter, M. I. (2009): Das IAB/INFORGE-Modell. In: Schnur, P. & Zika, G. [Hrsg.]: *Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökometrisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs*. IAB-Bibliothek 318, Nürnberg, S. 15–175.
- BAG (2018): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr. Mittelfristprognose Winter 2017/2018. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, durchgeführt von SSP Consult, Beratende Ingenieure GmbH.
- Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mouratiadou, I., de Boer, H. S., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J. E., Gernaat, D., Havlik, P., Johnson, N., Klein, D., Kyle, P., Marangoni, G., Masui, T., Pietzcker, R. C., Strubegger, M., Wise, M., Riahi, K. & van Vuuren, D. P. (2017): Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector – Quantifying the Narratives, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 316–330.
- BBSR (2015): Die Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus. Bevölkerung, private Haushalte und Erwerbspersonen. BBSR-Analysen KOMPAKT 05/2015, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- BCG & Prognos (2018): Klimapfade für Deutschland. Im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie.
- Bernsdorf, Bodo (2015): Evaluation der Datenbasis für die Flächennutzungsstatistik. In: Gotthard Meinel, Ulrich Schumacher, Martin Behnisch, Tobias Krüger (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring VII. Boden – Flächenmanagement – Analysen und Szenarien*. Berlin: Rhombos-Verlag, 2015, (IÖR-Schriften; 67), S. 29–38.
- BMAS (2017): Rentenversicherungsbericht 2017. Berlin.
- BMF (2017): Finanzplan des Bundes 2017 bis 2021. Drucksache 18/13001 des Deutschen Bundestags.
- BMF (2018): Glossar: Finanzplan. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Service/FAQ_Glossar/Glossar/Functions/glossar.html?lv2=15744&lv3=75906#glossar75906 [aufgerufen am 23.05.2018].
- BMUB (2015): Klimaschutzszenario 2050, Studie durchgeführt vom Öko-Institut und Fraunhofer ISI im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BMUB (2016a): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.
- BMUB (2016b): Den ökologischen Wandel gestalten – Integriertes Umweltprogramm 2030. Berlin.
- BMVBS (2012): Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger. Erstellung einer regionalisierten Strukturdatenprognose, Forschungsvorhaben durchgeführt vom ifo Institut für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin.
- BMVI (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.
- BMWi & BMU (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [aufgerufen am 29.08.2018].
- BMWi (2018): Jahreswirtschaftsbericht 2018. Wirtschaftlich gestärkt in die Zukunft. Berlin.

BNetzA (2017): Bedarfsermittlung 2017–2030. Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2030. Bonn

Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf [aufgerufen am 25.01.2019].

Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016. Berlin.

Cuaresma, J. (2017): Income projections for climate change research: A framework based on human capital dynamics, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 226–236.

Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E. & Magné, B. (2017): Long-term economic growth projections in the Shared Socio-economic Pathways, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 200–214.

Destatis (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2016a): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Rückgerechnete und fortgeschriebene Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2016b): (Un-)Sicherheiten der Bevölkerungsvorausberechnungen. Rückblick auf die koordinierten Bevölkerungsvorausberechnungen für Deutschland zwischen 1998 und 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2016c): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2015, Fachserie 3, Reihe 5.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2017a): Bevölkerungsentwicklung bis 2060. Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, aktualisierte Rechnung auf Basis 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2017b): Entwicklung der Privathaushalte bis 2035. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2017, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2017c): Bildung und Kultur. Studierende an Hochschulen, Fachserie 11, Reihe 4.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Destatis (2018): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Sektorkonten. Jahresergebnisse ab 1991, Stand: Februar 2018, Wiesbaden. URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen/Nationaleinkommen/SektorkontenPDF_5812105.pdf?__blob=publicationFile [aufgerufen am 29.08.2018].

Deutsche Bundesbank (2017): Perspektiven der deutschen Wirtschaft – Gesamtwirtschaftliche Vorausschätzungen für die Jahre 2018 und 2019 mit einem Ausblick auf das Jahr 2020. Monatsbericht. Frankfurt am Main.

Deutsche Bundesbank (2018): Prognosen. URL: https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Standardartikel/Aufgaben/Geldpolitik/volkswirtschaft_prognose.html [aufgerufen am 24.05.2018].

Deutsches Institut für Urbanistik, IÖW, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung & Institute for Environment and Human Security der United Nations University (in Bearbeitung): KLARIS – Notwendigkeiten und Möglichkeiten zur klimaresilienten und zukunftsfähigen Ausgestaltung von nationalen und grenzübergreifenden Infrastrukturen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Distelkamp, M., Großmann, A., Hohmann, F., Lutz, C., Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2009): PANTA RHEI REGIO - Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. GWS Discussion Paper 2009/7, Osnabrück.

DIW (2012): Pflegemarkt: Drohendem Arbeitskräftemangel kann entgegengewirkt werden. DIW Wochenbericht Nr. 51/52.2012, S. 3–17.

- DIW (2018): Konjunkturprognosen. Aktuelle Konjunkturprognosen des DIW Berlin. URL: https://www.diw.de/de/diw_01.c.100414.de/forschung_beratung/daten/konjunkturprognosen/konjunkturprognosen.html [aufgerufen am 23.05.2018].
- DIW, ifo Institut, IFW, IWH, RWI (2018): Gemeinschaftsdiagnose #1-2018. München. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- DIW, ZEW (2017): Entwicklung der Altersarmut bis 2036. Trends, Risikogruppen und Politiksznarien. Studie im Auftrag der Bertelsmann Stiftung, Gütersloh.
- Dosch, F., Beckmann, G. (2011): Auf dem Weg, aber noch nicht am Ziel – Trends der Siedlungsflächenentwicklung. BBSR-Berichte KOMPAKT 10/2011, Bonn.
- EC (2015): The 2015 Ageing Report. Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060). Brüssel.
- EC (2017a): The 2018 Ageing Report. Underlying Assumptions and Projection Methodologies. Institutional Paper 065. Europäische Kommission, Brüssel.
- EC (2017b): GEAR 2030 Strategy 2015–2017. Comparative analysis of the competitive position of the EU automotive industry and the impact of the introduction of autonomous vehicles: final report for DG GROW – Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Luxembourg. Written by Asselin-Miller, N., Horton, G., Amaral, S., Figg, H., Sheldon, D., Lutz, C., Flaute, M. & P. Wells.
- EC (2017c): Case study – technical analysis on capacity constraints and macroeconomic performance. Technical Study on the Macroeconomics of Climate and Energy Policies. Brüssel.
- EC (2018): European Economic Forecast. Spring 2018. Institutional Paper 077. Brüssel.
- EEA (2015): The European Environment – state and outlook 2015. Assessment of Global Megatrends, European Environment Agency, Kopenhagen.
- EU (2016): EU Reference Scenario 2016: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050, European Union.
- Eurostat (2015): People in the EU: who are we and how do we live?, Eurostat statistical books, Luxembourg.
- FAO (2017): OECD-FAO Agricultural Outlook 2017–2026, OECD Publishing, Paris.
- FNB Gas (2018): Netzentwicklungsplan Gas 2018–2028. Entwurf. Berlin.
- Fraunhofer ISI, Consentec, IFEU, Technische Universität Wien, M-Five & TEP Energy (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 1: Hintergrund, Szenarioarchitektur und übergeordnete Rahmenparameter. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- Gans, P. (2018): Die Bevölkerungsprognose – Gedanken zu Methodik, Anwendung und Aussagekraft. Informationen zur Raumentwicklung 1/2018, 10-19.
- GIM (2018): Megatrends – Die großen gesellschaftlichen Ströme. Gesellschaft für Innovative Marktforschung, Heidelberg. URL: <http://www.values-visions-2030.com/megatrends.html> [aufgerufen am 01.03.2018].
- Große Starmann, C., Klug, P., Amsbeck, H. & Loos, R. (2015): Demographischer Wandel 2030 – Aktualisierte Bevölkerungsvorausberechnung. Analysen und Konzepte aus dem Programm „LebensWerte Kommune“, Ausgabe 1/2015, Gütersloh.
- GWS, Prognos & EWI (2014): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Köln, Basel.

- Henger, R., Schröter-Schlaack, C., Ulrich, P. & Distelkamp, M. (2010): Flächeninanspruchnahme 2020 und das 30-ha-Ziel: Regionale Verteilungsschlüssel und Anpassungserfordernisse. *Raumforschung und Raumordnung*, 68(4), S. 297–309.
- IAB (2017): Projektion des Erwerbsspersonenpotenzials bis 2060. Arbeitskräfteangebot sinkt auch bei hoher Zuwanderung. IAB-Kurzbericht 6/2017. Nürnberg
- IE (2017): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromabgabe an Letztverbraucher 2018 bis 2022, Leipzig. Im Auftrag von TransnetBW GmbH.
- IEA (2014): *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. Paris.
- IEA (2017): *World Energy Outlook 2017*, International Energy Agency, Paris.
- ifo Institut & Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (2012): Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung 2010 bis 2030. Erstellung einer regionalisierten Strukturdatenprognose. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger“. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hamburg, Dresden.
- ifo Institut (2018): ifo Konjunkturprognose. URL: <https://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/facts/Forecasts/Ifo-Economic-Forecast.html> [aufgerufen am 24.05.2018]
- IIASA (2016): SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways) – Version 1.1, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg. URL: <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about> [aufgerufen am 05.03.2018]
- IMF (2018): *World Economic Outlook*. April 2018. Cyclical Upswing, Structural Change. Washington.
- Intraplan & BVU (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- ISOE & ifo Institut (2014): Wasserbedarfsprognose 2045 für das Versorgungsgebiet von HAMBURG WASSER. Aktualisierung der Wasserbedarfsprognose 2030 für das Versorgungsgebiet der Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW) in der Metropolregion Hamburg. Frankfurt am Main / München.
- Jiang, L., O’Neill, B. (2017): Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 193–199.
- JRC (2016): JRC opendata, Joint Research Center. URL: https://cidportal.jrc.ec.europa.eu/ftp/jrc-opendata/LUISA/SecondaryOutput_Indicators/Europe/REF-2016/UDP/ [aufgerufen am 27.04.2018].
- Kunzmann, K.R., Spiekermann, K. & Wegener, M. (2015): *Deutschland in Europa – Ergebnisse des Programms ESPON 2013*. Heft 6: Räumliche Szenarien und Visionen für Europa 2050. BBSR Informationen des ESPON Contact Points Deutschland, Bonn.
- KC, S., Lutz, W. (2017): The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 181–192.
- Kriegler, E., O’Neill, B. C., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R. J., Moss, R. H. & Wilbanks, T. (2012): The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways, *Global Environmental Change*, Vol. 22 (2012), pp. 807–822.
- Lehr, U., Mönnig, A., Wolter, M. I., Lutz, C., Schade, W. & Krail, M. (2011): Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen umweltpolitischer Instrumente – ein Vergleich. GWS Discussion Paper 11/4, Osnabrück.

Lehr, U., Ulrich, P., Lutz, C., Blazeczak, J., Edler, D. (2019): Beschäftigungschancen auf dem Weg zu einer Green Economy – szenarienbasierte Analyse von (Netto-) Beschäftigungswirkungen, im Erscheinen.

Lehr, U., Ulrich, P., Lutz, C., Thobe, I., Edler, D., O’Sullivan, M., Simon, S., Naegler, T., Pfennig, U., Peter, F., Sakowski, F. & Bickel, P. (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Berlin, Stuttgart.

Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N. & Schwanitz, J. (2017): Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 215–225.

Lutz, C. & Breitschopf, B. (2016): Systematisierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und Verteilungswirkungen der Energiewende. GWS Research Report 2016/1, Osnabrück.

Lutz, C. (2011): Energy scenarios for Germany: Simulations with the model PANTA RHEI. In: Mullins, D., Viljoen, J., Leeuwner, H., editors. *Interindustry Based Analysis of Macroeconomic Forecasting. Proceedings from the 19th INFORUM World Conference*, Pretoria. S. 203–224.

Lutz, C., Flaute, M., Lehr, U., Kemmler, A., Kirchner, A. auf der Maur, A., Ziegenhagen, I., Wunsch, M., Koziel, S., Piégsa, A. & Straßburg, S. (2018): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende, Studie im Auftrag des BMWi, Osnabrück, Basel.

Maier, T., Mönning, A., Zika, G. (2015): Labour demand in Germany by industrial sector, occupational field and qualification until 2025 – Model calculations using the IAB/INFORGE model. *Economic Systems Research*, 27, 19–42.

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakićenović, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P. & Wilbanks, T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, Vol. 463 (2010), pp. 747–756.

Naisbitt, J. (1982): *Megatrends. Ten New Directions Transforming Our Lives*, Grand Central Publishing, New York.

Nakićenović, N., Alcamo, J., Grubler, A., Riahi, K., Roehrl, R. A., Rogner, H.-H. & Victor, N. (2000): *Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

O’Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M. & Solecki, W. (2017): The roads ahead: Narratives for shared socio-economic pathways describing world futures in the 21st century, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 169–180.

OECD (2012): *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*, OECD Publishing, Paris.

OECD (2016): *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD Publishing, Paris.

OECD (2017): *GDP long-term forecast (indicator)*. doi: 10.1787/d927bc18-en (aufgerufen am 12.12.2017).

Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2015): *Klimaschutzszenario 2050*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Öko-Institut, DLR, IFEU, INFRAS (2016): *Endbericht Renewbility III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors*. Berlin, Darmstadt, Freiburg, Heidelberg, Zürich. Vorhaben im Auftrag des BMUB. URL: http://www.renewbility.de/wp-content/uploads/Renewbility_III_Endbericht.pdf [aufgerufen am 29.08.2018].

Öko-Institut, Fraunhofer ISI, Prognos, M-Five, IREES & FiBL (2019): Folgenabschätzung zu den ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgewirkungen der Sektorziele für 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung. Berlin. URL: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Folgenabschaetzung-Klimaschutzplan-2050-Endbericht.pdf> [aufgerufen am 08.02.2019].

Pollitt, H., Alexandri, E., Anagnostopoulos, F., De Rose, A., Farhangi, C., Hoste, T., Markkanen, S., Theillard, P., Vergez, C., Boogt, M. (2017): The macro-level and sectoral impacts of Energy Efficiency policies. Final report. European Union, July 2017.

Prognos (2012): Pflegelandschaft 2030. Basel. Im Auftrag der Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.

Prognos, EWI & GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Studie im Auftrag des BMWi, Basel, Köln, Osnabrück.

Prognos, EWI & GWS (2011): Energieszenarien 2011. Studie im Auftrag des BMWi, Basel, Köln, Osnabrück.

Prognos, EWI & GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Basel/Köln/Osnabrück. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.

Prognos, EWI & GWS (2016): Black Swans (Risiken) in der Energiewende. Risikomanagement für die Energiewende. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Basel, Köln, Osnabrück.

PwC (2016): Five Megatrends and Their Implications for Global Defense & Security. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/government-public-services/assets/five-megatrends-implications.pdf>

r2b (2017): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2018 bis 2022. Köln. Im Auftrag der 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH & TransnetBW GmbH.

Repenning, J., Emele, L., Blanck, R., Cook, V., Harthan, R., Hermann, H., Förster, H., Greiner, B., Jörß, W., Loreck, C., Ludig, S., Kasten, P., Matthes, F., Scheffler, M., Schumacher, K., Wiegmann, K., Zell-Ziegler, C., Braungardt, S., Eichhammer, W., Fleiter, T., Schlomann, B., Steinbach, J. & Ziesing, H. J. (2018): Politikszenerarien für den Klimaschutz VII. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2035. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L. A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A. & Tavoni, M. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, Vol. 42 (2017), pp. 153–168.

Roland Berger (2011): Trend Compendium 2030. Roland Berger Strategy Consultants, München. URL: <https://www.rolandberger.com/gallery/trend-compendium/tc2030/content/assets/trendcompendium2030.pdf> [aufgerufen am 01.03.2018].

Rothgang, H., Müller, R. & Unger, R. (2012): Themenreport „Pfleger 2030“. Was ist zu erwarten – was ist zu tun? Im Auftrag der Bertelsmann Stiftung.

Schlömer, C., Bucher, H., Hoymann, J. (2015): Die Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus. BBSR-Analysen KOMPAKT 05/2015, Bonn.

Schlömer, C., Köppen, B. & Horn, M. (2017): Der Zuzug von Flüchtlingen zwischen Szenario und Alltag – regionale und lokale Perspektiven. *Geographische Rundschau* 3/2017, 24-29.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B.

& Sörlin, S. (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, Band 347 (6223), S. 736.

UBA (2014a): Die Zukunft im Blick: Trendbericht für eine vorausschauende Ressourcenpolitik, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA (2014b): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, *Climate Change 07/2014*, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA (2016a): Repräsentative Erhebung von Pro-Kopf-Verbräuchen natürlicher Ressourcen in Deutschland (nach Bevölkerungsgruppen), *Texte 39/2016*. Studie durchgeführt vom ECOLOG (Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung) im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.

UBA (2016b): Politikszenerarien für den Klimaschutz VII, Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2035, Studie durchgeführt vom Öko-Institut und Fraunhofer ISI im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.

UBA (2016c): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, UBA-Text 56/2016, Dessau-Roßlau.

UBA (2017a): Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA (2017b): Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA (2017c): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Ulrich, P. & Wolter, M. I. (2013): LÄNDER-Modell 2013 – Grundlagen, Ansätze und erste Analysen zum aktuellen Modell. *GWS Discussion Paper 13/6*, Osnabrück.

Ulrich, P., Lehr, U. & Lutz, C. (2018): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende in den Bundesländern – Methodische Ansätze und Ergebnisse. *GWS Research Report 2018/5*, Osnabrück.

UN (2013): *World Population Prospects: The 2012 Revision. Highlights and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.228, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.

UN (2015): *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. Working Paper No. ST/ESA/SER.A/366, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.

UN (2017): *World Population Prospects: The 2017 Revision. Key findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP/248, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York.

Weimer-Jehle, W., Wassermann, S. & Kosow, H. (2011): Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im Umweltbundesamt. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Werding, M. (2013): Alterssicherung, Arbeitsmarktdynamik und neue Reformen: Wie das Rentensystem stabilisiert werden kann. Ruhr-Universität, Bochum. Im Auftrag der Bertelsmann Stiftung.

West, G. R. (1995): Comparison of input-output, input-output + econometric and computable general equilibrium impact models at the regional level. *Economic Systems Research*, 7, 209–227.

WHO (2014): *Global status report on noncommunicable diseases 2014*. World Health Organization, Genf.

Wolter, M. I. & Ulrich, P. (2014): LÄNDER-Modell-Erweiterung Fläche 2014. *soeb-Working-Paper 2015-1*.

Zika, G., Helmrich, R., Maier, T., Weber, E. & Wolter, M. I. (2018): Arbeitsmarkteffekte der Digitalisierung bis 2035: Regionale Branchenstruktur spielt eine wichtige Rolle. *IAB-Kurzbericht, 09/2018*, Nürnberg.

Zika, G., Maier, T., Helmrich, R., Hummel, M., Kalinowski, M., Mönnig, A. & Wolter, M. I. (2017): Qualifikations- und Berufsfeldprojektion bis 2035. Regionale Unterschiede prägen die beruflichen Arbeitsmärkte. BIBB Report 3|2017. Bonn.

Zukunftsinstitut (2016): Megatrends Übersicht. URL: <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/> [aufgerufen am 01.03.2018].

A Anhang

A.1 Klassifikation der Varianten in Bevölkerungsprojektionen

Tabelle 34: Varianten der UN-Bevölkerungsprojektionen

Variante	Geburtenrate	Lebenserwartung	Migrationsrate
medium variant	mittel	normal	normal
high variant	hoch	normal	normal
low variant	niedrig	normal	normal
constant fertility	konstant	normal	normal
instant replacement	Bestandserhaltungsniveau	normal	normal
momentum	Bestandserhaltungsniveau	konstant	null
zero migration	mittel	normal	null
constant mortality	mittel	konstant	normal
no change	konstant	konstant	normal

Quelle: UN 2017.

Tabelle 35: Varianten der Destatis-Bevölkerungsprojektionen

Variante	Geburtenrate [Kinder je Frau]	Lebenserwartung bei Geburt 2060 für Jungen/Mädchen [Jahre]	Langfristiger Wanderungssaldo [Personen]
1	1,4	84,8 / 88,8	100.000
2	1,4	84,8 / 88,8	200.000
2a	1,5	84,7 / 88,6	200.000
3	1,4	86,7 / 90,4	100.000
4	1,4	86,7 / 90,4	200.000
5	1,6	84,8 / 88,8	100.000
6	1,6	84,8 / 88,8	200.000
7	1,6	86,7 / 90,4	100.000
8	1,6	86,7 / 90,4	200.000
Modellrechnung 1	1,4	84,8 / 88,8	0
Modellrechnung 2	1,4	84,8 / 88,8	300.000
Modellrechnung 3	2,1	84,8 / 88,8	100.000

Quelle: Destatis 2015.

A.2 Nationales umweltökonomisches und energiewirtschaftliches Modell PANTA RHEI

Für die Quantifizierung gesamtwirtschaftlicher Effekte und die Erstellung langfristiger sozioökonomischer Projektionen kann bereits auf vielfältige Modellansätze zur makroökonomischen Bewertung von Klimaschutz bzw. Energiepolitik und Wirtschaftspolitik allgemein zurückgegriffen werden. Überblicke zu den Modellansätzen finden sich u. a. in West (1995), Forum für Energiemodelle (1999), IEA (2014, S. 56ff.), Lutz & Breitschopf (2016) und zuletzt EC (2017).

Basis der gesamtwirtschaftlichen Modelle sind die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) der amtlichen Statistik (Destatis 2018), die im Kontensystem die Aktivitäten der Transaktoren finanzielle und nicht-finanzielle Unternehmen, private Haushalte und Staat sowie übrige Welt und ihre Verknüpfung auf der nationalen Ebene zeitnah jährlich erfassen. Zusätzlich werden die Verflechtungen verschiedener Wirtschaftssektoren in sogenannten Input-Output-Tabellen mit größerer zeitlicher Verzögerung beschrieben. Das Kontensystem der VGR (zumindest wesentliche Teile) und Input-Output-Daten sind deshalb notwendiger Bestandteil aller gesamtwirtschaftlichen Modelle, die Wirkungen von Maßnahmen und Instrumenten erfassen, die über den direkt betroffenen Sektor bzw. Wirkungskanal hinausgehen und nicht nur die Gesamtwirtschaft als ein Aggregat betrachten.

Letztlich lassen sich drei Grundtypen der gesamtwirtschaftlichen Modelle mit Sektordifferenzierung unterscheiden, die in Deutschland und auf EU-Ebene für die gesamtwirtschaftliche Bewertung der Energiewende eingesetzt werden: Allgemeine Gleichgewichtsmodelle (CGE), makroökonomische Modelle (teils auch als makroökonomische Input-Output-Modelle bezeichnet) sowie System-Dynamics-Modelle. Die Datenanforderungen an die Modelle sind ähnlich. Neben den Daten der VGR und Input-Output-Tabellen nutzen sie zusätzlich Energiedaten. Daneben treten einfache Input-Output-Modelle, die zur Bestimmung indirekter Effekte eingesetzt werden, aber keine Rückkopplungen abbilden können.

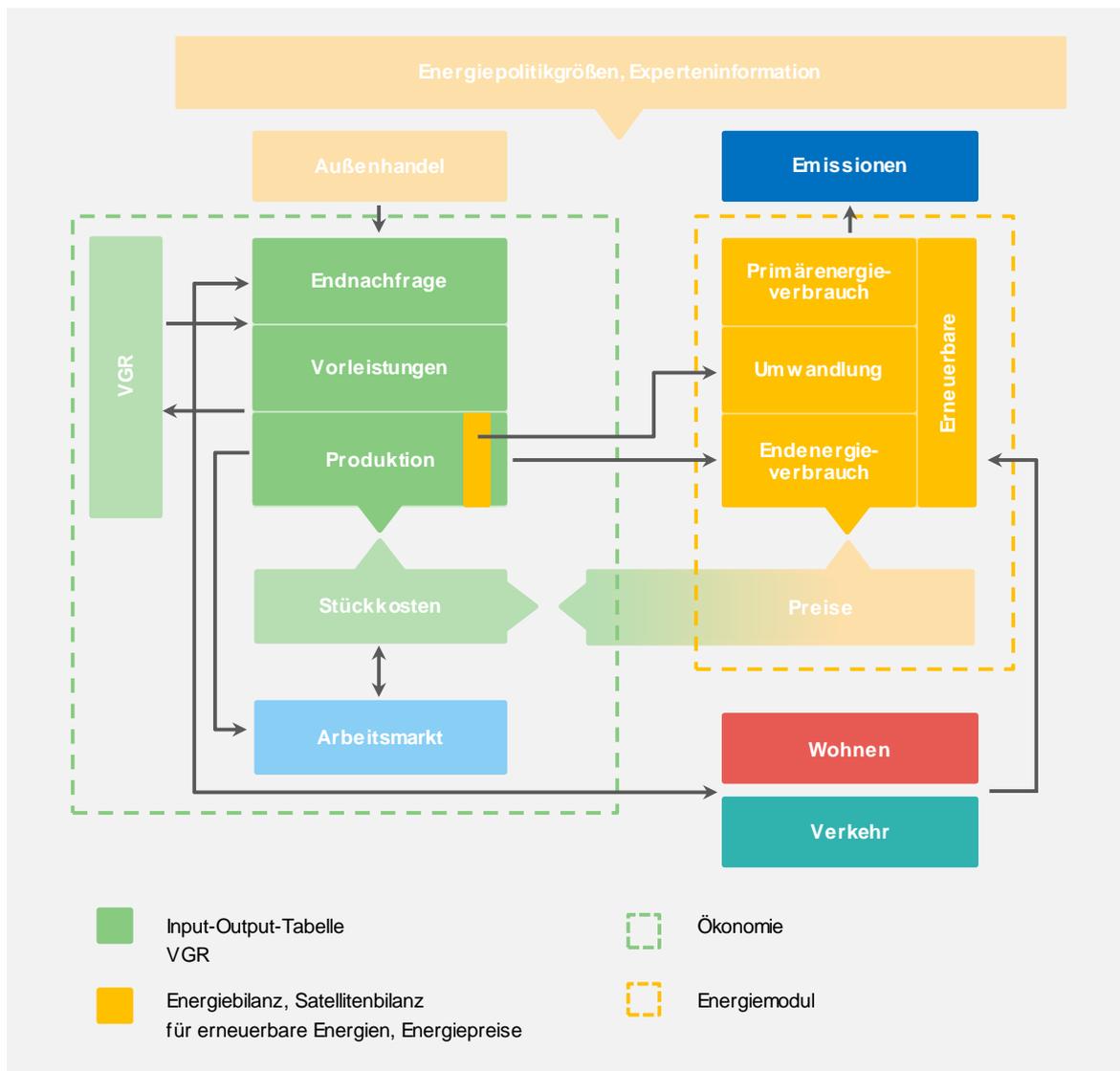
Gemäß einer aktuellen EU-Studie lassen sich die beiden ersten Modelltypen wie folgt unterscheiden (EC 2017): Computable-General-Equilibrium-(CGE-)Modelle basieren auf neoklassischer Theorie, wonach Haushalte und Unternehmen ihren Nutzen bzw. Gewinn maximieren. Die Märkte sind in der Regel geräumt, d. h. Angebot und Nachfrage gleichen sich aus und die Ressourcen sind voll ausgelastet. Unfreiwillige Arbeitslosigkeit ist im Standardfall nicht möglich. Höhere Nachfrage nach einem Gut (z. B. für die Energiewende) führt zu höheren Preisen und einer (optimalen) Neuallokation der Ressourcen. Makroökonomische Modelle kommen aus einer Post-Keynesianischen Theorierichtung, die die Nachfrageseite stärker betont, wobei anders als bei einfachen Input-Output-Ansätzen beide Marktseiten eine wichtige Rolle spielen. Verhaltensparameter werden durch ökonomische Schätzung von Zeitreihendaten bestimmt, sodass die Empirie von großer Bedeutung ist. Märkte sind in der Regel nicht geräumt. Es tritt unfreiwillige Arbeitslosigkeit auf. Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage werden eher durch Mengen- als durch Preiseffekte ausgeglichen. In der Studie wird aber auch betont, dass die zur Politikberatung eingesetzten Modelle sich von starren Theorien lösen, um die Wirklichkeit angemessener abzubilden. Sie nähern sich in Teilen an. Die Studie von Pollitt et al. (2017) gibt einen Einblick in unterschiedliche Reaktionsweisen der beiden Modelltypen. Frühere Vergleiche finden sich u. a. in Cambridge Econometrics et al. (2013). Im makroökonomischen Modell E3ME fallen in diesen Analysen die Effekte der Energiewende bzw. von Klimaschutz eher positiv bzw. eher größer aus als in den eingesetzten CGE-Modellen.

Systemdynamische Modelle sind weniger theoriegeleitet, sondern betonen vor allem Rückkopplungseffekte. Das ASTRA-Modell als wichtigster Vertreter „ist ein Multi-Paradigmen-Simulationsmodell, in welchem System Dynamics strukturgebend fungiert“ (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015, S. 400). Im genannten Vorhaben wird das nationale ASTRA-Modell eingesetzt, das in Öko-Institut et al. (2019) kurz beschrieben wird. Ein früherer Modellvergleich von PANTA RHEI und der europäischen Version von ASTRA findet sich in Lehr et al. (2011). Demnach fallen z. B. die positiven gesamtwirtschaftlichen Wirkungen allgemein höherer Investitionen zwar richtungsgleich, in ASTRA-EU aber stärker aus als in PANTA RHEI. Die Autoren und Autorinnen kommen aber zu dem Schluss, dass „letztlich die Ergebnisse beider Modelle in den Experimenten aber richtungsgleich und die Unterschiede in der Größenordnung der Effekte zumindest zu guten Teilen durch unterschiedliche Modellzusammenhänge zu erklären [sind]“ (Lehr et al. 2011, S. 70).

PANTA RHEI ist in der oben aufgeführten Modellsystematik ein makroökonomisches Modell. Es wird jährlich aktualisiert und durch Anwendungen u. a. für den Arbeitsmarkt, die Energiewende und den Klimaschutz regelmäßig evaluiert. Die ökonomisch geschätzten Gleichungen werden dabei regelmäßig im Modellzusammenhang auf ihren Erklärungsgehalt hin getestet. Einen Einblick in die Struktur des Modells PANTA RHEI gibt das in der folgenden Abbildung dargestellte Flussdiagramm. Neben der umfassenden ökonomischen Modellierung werden die Bereiche Energieverbräuche und Luftschadstoffe sowie Verkehr und Wohnungen detailliert erfasst. Alle Modellteile sind konsistent miteinander verknüpft. Der Verkehrsbereich liefert z. B. den Treibstoffverbrauch in Litern, der mit den Literpreisen multipliziert unmittelbar in die monetäre Vorleistungsnachfrage der Industrie und die Konsumnachfrage der privaten Haushalte eingeht. Änderungen der Steuersätze auf Treibstoffe führen dann einerseits zu geänderten Steuereinnahmen und vielfältigen ökonomischen Anpassungsprozessen. Andererseits lösen die Preisänderungen für Treibstoffe ihrerseits Verhaltensanpassungen aus, die im Modellrahmen erfasst werden. Das Modell wird voll interdependent gelöst, d. h., dass die Wirkungen einer Maßnahme auf alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst werden und keine Effekte „verloren gehen“. Das Modell enthält eine Fülle gesamtwirtschaftlicher Größen auf Basis der amtlichen Statistik und erlaubt sektorale Aussagen nach 63 Wirtschaftsbereichen. Die Energiebilanzen der AG Energiebilanzen sind voll in das Modell integriert. Die Verhaltensparameter der im Vorhaben eingesetzten Version sind auf Basis von Zeitreihendaten der Jahre 1991 bis 2014/16 ökonomisch geschätzt.

Das ökonomische Kernmodell INFORGE, das den linken Teil der Abbildung umfasst, wird u. a. vom Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung und dem Bundesinstitut für Berufsbildung regelmäßig für langfristige Beschäftigungsprojektionen und -simulationen genutzt (Zika et al. 2017). Für das BMAS dient es aktuell als Basis für ein Fachkräftemonitoring. Die Modellzusammenhänge sind in Maier, Mönning & Zika (2015) sowie Ahlert et al. (2009) ausführlich beschrieben. Das energie- und umweltökonomische Modell PANTA RHEI, das neben den ökonomischen Zusammenhängen in INFORGE Energieeinsatz und weitere Umweltgrößen umfasst, ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, neben vielen Arbeiten für das BMWi (Lehr et al. 2015) und UBA/BMUB (Lehr et al. 2019) u. a. in den Energieszenarien 2010 und 2011 (Prognos, EWI, GWS 2010 und 2011), der Energiereferenzprognose 2014 (Prognos, EWI & GWS 2014) sowie zur Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Energiewende für den ersten und zweiten Fortschrittsbericht zum Monitoring der Energiewende (GWS, Prognos & EWI 2014, Lutz et al. 2018). Eine detaillierte Modellbeschreibung findet sich in Lutz (2011) und Lehr et al. (2011).

Abbildung 48: Das Modell PANTA RHEI im Überblick



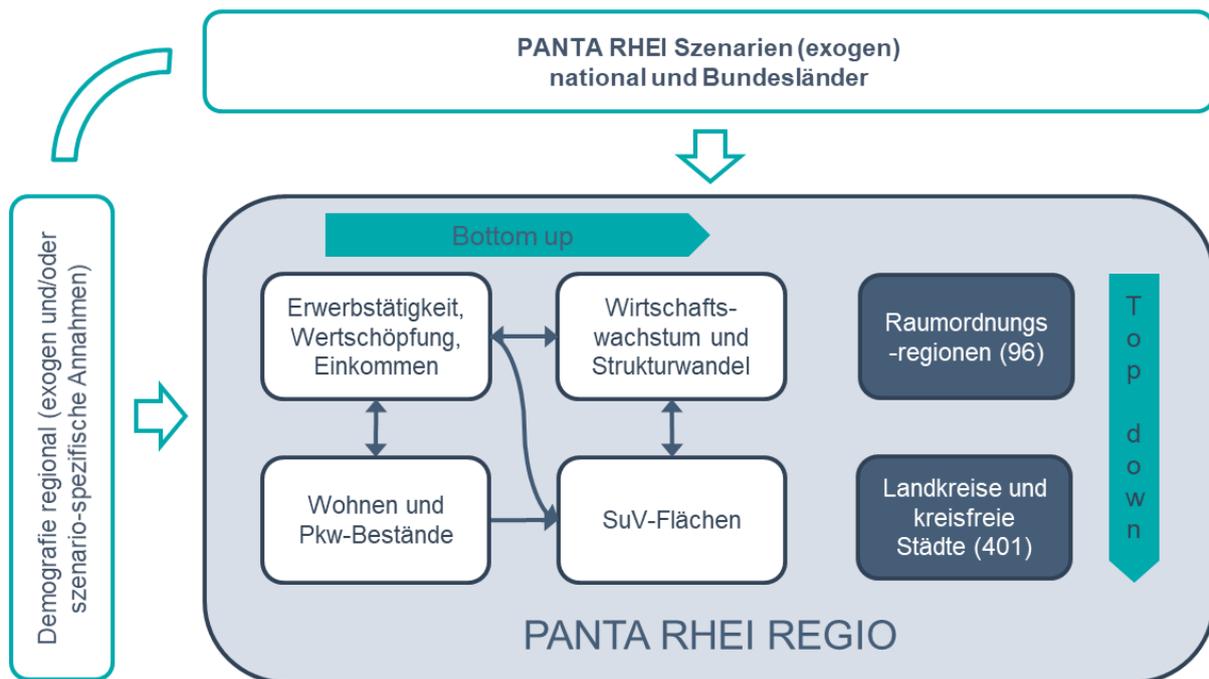
Quelle: Eigene Darstellung.

A.3 Bundesweites, regionalwirtschaftliches und flächendynamisches Modell PANTA RHEI REGIO

Wesentliches Charakteristikum von PANTA RHEI Regio ist die konsistente Verknüpfung mit Szenarien auf nationaler Ebene, die in PANTA RHEI errechnet werden. Ein wichtiger Baustein ist dabei das Modell LÄNDER, was wiederum jährlich aktualisiert wird. Das LÄNDER-Modell wird zur Analyse und Prognose des Strukturwandels auf der Ebene der 16 Bundesländer verwendet. Es ist direkt mit dem gesamtdeutschen Modell PANTA RHEI verbunden und verwertet die dort ermittelten Branchenergebnisse für Wertschöpfung und Beschäftigung auf Ebene der Länder. Das Modell ermöglicht die Analyse unterschiedlicher Simulationsszenarien auf Bundesland-Ebene (vgl. Ulrich & Wolter 2013). In der Modellierung werden die regionalen Arbeitsmärkte (Anzahl der Erwerbstätigen und Arbeitnehmer/innen), die Bruttowertschöpfung sowie Indikatoren der Lohn- und Gehaltsentwicklung auf Ebene der Wirtschaftsbereiche abgebildet. Durch Berücksichtigung der regionalen Unterschiede in der Bevölkerungsprognose werden Effekte auf

die Wirtschaftskreisläufe in den Bundesländern untersucht. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Abbildung regionaler Zusammenhänge im gesamtwirtschaftlichen Kontext. Seit einigen Jahren gibt es aufbauend auf dem LÄNDER-Modell ein Modul, welches die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Bundesländerebene darstellt (Wolter & Ulrich 2014). Diese Grundlagen werden genutzt, um die wirtschaftliche und flächennutzungsmäßige Entwicklung auf Kreisebene abzubilden. Jede Region wird demographisch und ökonomisch-strukturell in den Kontext Deutschland und des jeweiligen Bundeslandes gestellt und regionale Besonderheiten werden – soweit empirisch nachweisbar – berücksichtigt. Die Grundstruktur des Modells PANTA RHEI REGIO findet sich in nachstehender Abbildung dargestellt.

Abbildung 49: Das Modell PANTA RHEI REGIO im Überblick



Quelle: Eigene Darstellung.

Das Modell beinhaltet sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Elemente. So wird beispielsweise die Erwerbstätigkeit in den Kreisen zunächst getrennt für die einzelnen Wirtschaftsbereiche erklärt/fortgeschrieben. Die Erwerbstätigen insgesamt in den Kreisen ergeben sich dann bottom-up durch Aggregation über alle Wirtschaftsbereiche. Gleichzeitig wird in regionaler Perspektive ein Top-down-Ansatz zugrunde gelegt. So ist beispielsweise die Entwicklung der Erwerbstätigkeit in den einzelnen Wirtschaftsbereichen auf Bundesländerebene bereits aus PANTA RHEI bekannt. In PANTA RHEI Regio erfolgt daher zunächst die Erklärung/Fortschreibung der Erwerbstätigkeit in den Raumordnungsregionen und deren Abstimmung mit den Länderergebnissen. Anschließend erfolgt die Erklärung/Fortschreibung für die Landkreise und kreisfreien Städte und deren Abstimmung mit den Ergebnissen für die Raumordnungsregionen.

Zentrale Systemzusammenhänge und Erklärungsansätze in den Themenfeldern „Erwerbstätigkeit und Wertschöpfung“, „Wohnen und Pkw-Bestände“ und „Flächendynamik“ finden sich nachstehend für die aktuelle Modellversion von PANTA RHEI Regio (Stand November 2018) dokumentiert.

A.3.1 Themenfeld „Erwerbstätigkeit und Wertschöpfung“

Die Erklärung und Fortschreibung von Erwerbstätigkeit und Bruttowertschöpfung erfolgt in räumlicher Hinsicht in einem zweistufigen Top-down-Ansatz. Zunächst wird die (aus dem LÄNDER-Modul von PANTA RHEI bekannte) wirtschaftliche Entwicklung in den 16 Bundesländern in die Ebene der 96 Raumordnungsregionen differenziert. In einem zweiten Schritt werden diese Entwicklungen weiter bis auf Ebene der 401 Landkreise und kreisfreien Städte untergliedert.

Die **Anzahl der Erwerbstätigen** im Wirtschaftszweig i in der Region r bzw. Kreis k ($etg_{r,i}$, $etg_{k,i}$) in Relation zur Anzahl der Erwerbstätigen im entsprechenden Wirtschaftszweig in der übergeordneten Gebietseinheit (Bundesland $etg_{l,i}$ bzw. Raumordnungsregion $etg_{r,i}$) wird, sofern in der Vergangenheit entsprechende Zusammenhänge beobachtbar waren, erklärt durch

- ▶ die Entwicklung des Arbeitsangebots in der Region bzw. Kreis in Relation zur übergeordneten Gebietseinheit ($einw_r / einw_l$ bzw. $einw_k / einw_r$),
- ▶ die Bruttowertschöpfung der anderen Wirtschaftszweige in der Region bzw. Kreis in Relation zur übergeordneten Gebietseinheit ($bwsa_r / bwsa_l$ bzw. $bwsa_k / bwsa_r$),
- ▶ das Bruttoinlandsprodukt im Umland der Region bzw. Kreis in Relation zum Bruttoinlandsprodukt in der übergeordneten Gebietseinheit (bip_r / bip_l bzw. bip_k / bip_r)
- ▶ und einen regions- und wirtschaftszweigspezifischen Trend.

Bei den Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe in den Regionen bzw. Kreisen wird zudem geprüft, ob sich die Exportorientierung der deutschen Wirtschaft ($EXPD$) als weitere signifikante Erklärende erweist.

$$\frac{etg_{r,i}^t}{etg_{l,i}^t} = f\left(\frac{einw_r^t}{einw_l^t}, \frac{bwsa_r^t}{bwsa_l^t}, \frac{bip_r^t}{bip_l^t}, EXPD^t, Trend\right) \quad [1a]$$

$$\frac{etg_{k,i}^t}{etg_{r,i}^t} = f\left(\frac{einw_k^t}{einw_r^t}, \frac{bwsa_k^t}{bwsa_r^t}, \frac{bip_k^t}{bip_r^t}, EXPD^t, Trend\right) \quad [1b]$$

Tabelle 36: Grundlagen und Ergebnisse der regionalen Längsschnittregressionen

	WZ 1	WZ 2	WZ 3	WZ 4	WZ 5	WZ 6	WZ 7
Anzahl der über Längsschnittregressionen erklärten Systemzusammenhänge							
Raumordnungsregionen (max. 94)	48	23	68	40	62	41	60
Landkreise und kreisfreie Städte (max. 396)	116	54	223	139	178	88	171
Analysiertes Datenset							
Datenquelle	VGR der Länder						
Stützzeitraum der Längsschnittregressionen	2010 bis 2015 (obs = 16)						

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Für den Fall, dass in der Historie kein signifikanter Erklärungszusammenhang identifiziert werden konnte, erfolgt die Fortschreibung der Erwerbstätigenanteile an der übergeordneten Gebietseinheit über einen dynamischen Shift-share-Ansatz.

Selbiger Ansatz, also die Fortschreibung von historisch beobachteten Dynamik-Unterschieden (dwr) in die Zukunft, wird auch bei der Projektion der **Bruttowertschöpfung je Erwerbstätigen** im Wirtschaftszweig i in den Regionen bzw. Kreisen ($ape_{r,i}$ bzw. $ape_{k,i}$) zugrunde gelegt.

$$\frac{ape_{r,i}^t}{ape_{r,i}^{t-1}} = \frac{ape_{r,i}^{t-1}}{ape_{r,i}^{t-2}} * (1 + dwr) \quad \text{bzw.} \quad \frac{ape_{k,i}^t}{ape_{k,i}^{t-1}} = \frac{ape_{k,i}^{t-1}}{ape_{k,i}^{t-2}} * (1 + dwr) \quad [2]$$

Die **Bruttowertschöpfung in jeweiligen Preisen** im Wirtschaftszweig i in den Regionen bzw. Kreisen ($bwsn_{r,i}$ bzw. $bwsn_{k,i}$) ergibt sich dann definitorisch.

$$bwsn_{r,i}^t = ape_{r,i}^t * etg_{r,i}^t \quad \text{bzw.} \quad bwsn_{k,i}^t = ape_{k,i}^t * etg_{k,i}^t \quad [3]$$

Die **preisbereinigte Bruttowertschöpfung** in den Regionen bzw. Kreisen ($bwsr_r$ bzw. $bwsr_k$) wird auf Grundlage von Projektionsergebnissen zur Dynamik der Wertschöpfungspreise ($bwspd_i$) in den einzelnen Wirtschaftszweigen auf nationaler Ebene im Modell PANTA RHEI fortgeschrieben.

$$bwsr_r^t = \sum_i \frac{bwsn_{r,i}^t}{bwspd_i^t} \quad \text{bzw.} \quad bwsr_k^t = \sum_i \frac{bwsn_{k,i}^t}{bwspd_i^t} \quad [4]$$

A.3.2 Themenfeld „Wohnen und Pkw-Bestände“

Die Bestandsentwicklung von Wohnungen, Wohnfläche und Wohngebäuden dienen primär als Hilfsgröße für die Ableitung der Flächeninanspruchnahme durch Wohnzwecke (GF-Fläche Wohnen). Es gilt, den Einfluss der wesentlichen Treiber – Entwicklung von Einwohnern und Haushalten sowie Einkommensentwicklung – regional abzubilden. Die Erklärung und primäre Berechnung erfolgen für $k \{1, \dots, 401\}$ Kreise.

Die **Anzahl der Wohnungen** in den Kreisen ($wohna_k$) ergibt sich im Wesentlichen aus der Anzahl der privaten Haushalte ($hhal_k$) und ihrer Entwicklung. Dies ergibt sich aus einer Panel-Schätzung aller Kreise im Zeitraum 2011 bis 2015.

$$wohna_k^t = f(hhal_k^t, Trend) \quad [5]$$

Die **Wohnfläche pro Wohnung** ($wfpwn_k$) ist eine Funktion des verfügbaren Einkommens pro Einwohner ($vekp_k$) und der Einwohner ($einw_k$) pro Wohnung ($wohna_k$). Das verfügbare Einkommen pro Einwohner geht hierbei als dreijähriger Durchschnitt ein. Für diese Schätzung wurden die Daten zwischen 2000 und 2015 herangezogen.

$$wfpwn_k^t = f(vekp_k^t, \frac{einw_k^t}{wohna_k^t}, Trend) \quad [6]$$

Der **Wohnflächenbestand** ($woflb_k$) ergibt sich aus dem Produkt aus der Anzahl der Wohnungen und der durchschnittlichen Wohnfläche pro Wohnung.

Die **Anzahl der Wohngebäude** ($wohga_k$) ergibt sich als Schätzung aus der Anzahl der Wohnungen ($wohna_k$) in den Regionen. Grundlage hierfür sind die Daten für die Jahre 2000 bis 2015.

$$wohga_k^t = f(wohna_k^t) \quad [7]$$

Die Bestandsgrößen für Wohnungen und Wohnfläche werden für jedes Jahr auf die Summe aus dem nationalen Modell PANTA RHEI angepasst. Zusätzlich wird das Verhältnis zwischen Wohnungen und Wohngebäuden im Sinne eines deutschlandweiten Trends vorgegeben.

Tabelle 37: Konfiguration der Panel-Schätzgleichungen im Bereich Wohnen

	Wohnungen ($wohna_k$)	Wohnfläche pro Wohnung ($wfpwn_k$)	Wohngebäude ($wohga_k$)
Datenquelle	Regiostat	Regiostat	Regiostat
Panel temporal	2010 bis 2015	2002 bis 2015	1996 bis 2015
Panel räumlich	Alle Kreise	Alle Kreise	Alle westdeutschen Kreise
Untergliederung	Keine	Keine	Siedlungsstrukturelle Kreistypen (4)
Beobachtungen	2406	5574	1121 / 2561 / 1521 / 1281
Bestimmtheitsmaß (R^2)	0,995	0,71	0,92 / 0,90 / 0,89 / 0,84

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Die Anzahl der Personenkraftwagen pro Einwohner ($pkwpk$) ergibt sich als regionale Schätzung aus der Entwicklung in der Vergangenheit. Hierbei wird für jede Region – soweit möglich – eine einzelne Trendschätzung ermittelt (Schätzzeitraum 2008 bis 2015). Anschließend wird die Anzahl der Pkw durch Multiplikation mit der Bevölkerung ermittelt.

$$pkwpk_k^t = f(Trend) \quad [8]$$

A.3.3 Themenfeld „Siedlungs- und Verkehrsflächen“

Die Modellierung der Siedlungs- und Verkehrsfläche erfolgt bottom up über die einzelnen Flächennutzungsarten nach ALB-Systematik. Die Daten für den Stichtag 31.12.2016 in ALKIS-Systematik werden zwar für die Datenlieferung berücksichtigt, gehen jedoch nicht in die Erklärungsansätze ein.

Die **Gebäude- und Freifläche „Wohnen“** ($flgfw_k$) ist eine Funktion des Wohnflächen- und Wohngebäudebestands in den Regionen. Die Schätzung erfolgt auf Grundlage aller westdeutschen Kreise im Zeitraum 1996 bis 2015. Dabei wurden drei Gruppen von Kreisen einzeln geschätzt, die sich im Hinblick auf die Siedlungsdichte unterscheiden.

$$flgfw_k^t = f(woflb_k^t, wohga_k^t, Trend) \quad [9]$$

Für die Fortschreibung der **Gebäude- und Freifläche „Gewerbe und Industrie“** ($flgfg_k$) wird zunächst die Flächenintensität der Erwerbstätigen in den Bereichen Industrie, Bau, Handel und Transport ($flitgg_k$ bzw. $flitgg_i$) bestimmt. Dies geschieht zunächst auf Ebene der Bundesländer (vgl. Wolter & Ulrich 2014). Im Länder-Modul von PANTA RHEI wird diesbezüglich die Gebäude-

und Freifläche „Gewerbe und Industrie“ in den 16 Bundesländern ($flfg_i$) jeweils durch die gesamtwirtschaftliche Produktion in Deutschland (ysr) und die Erwerbstätigen in Industrie, Bau, Handel und Transport im jeweiligen Bundesland ($etgi$) erklärt.

$$flfg_i^t = f(ysr, etgi^t) \quad [10]$$

Die Flächenintensität der Erwerbstätigen in den Bundesländern ergibt sich daraufhin definitiv.

$$flitgg_i^t = \frac{flfg_i^t}{etgi^t} \quad [11]$$

Diese Flächenintensität des jeweiligen Bundeslandes sowie die Einwohnerdichte erklären dann die Flächenintensität der Erwerbstätigen in den Kreisen.

$$flitgg_k^t = f(einwd_k^t, flitgg_i^t) \quad [12]$$

Anschließend ergibt sich der Bestand an GF-Fläche „Gewerbe und Industrie“ aus der Flächenintensität und der Entwicklung der Erwerbstätigen.

Da sich für die Entwicklung der übrigen GF-Flächen sowohl aus der empirischen Analyse zu Einflüssen als auch mit Blick auf deutschlandweite Trends keine plausiblen Ergebnisse ergeben haben, wird der Bestand der **übrigen Gebäude- und Freiflächen** in allen Regionen konstant gehalten. Ob die Entwicklung in der Vergangenheit ein Ergebnis von neuen Nutzungsansprüchen oder ein Ergebnis von Entwicklungen anderer Gebäude- und Freiflächen ist, lässt sich nicht feststellen.

Die **Betriebsflächen (ohne Abbauland)** werden auf Länderebene entsprechend der Schätzungen in Wolter & Ulrich (2014) fortgeschrieben. Wesentliche Treiber sind hier Produktion und Erwerbstätigkeit in der Wasserversorgung. Anschließend wird die Veränderung auf die Betriebsfläche in den einzelnen Kreisen übertragen.

Die Modellierung der Erholungsflächen erfolgt getrennt für Grünanlagen und die übrigen Erholungsflächen. Die Schätzung der **Erholungsflächen „Grünanlagen“** ($flergr_k$) erfolgt über regionalspezifische Veränderungen je Einwohner. Diese wurden für den Zeitraum 2008 bis 2015 analysiert und um unrealistische Veränderungen bereinigt. Anschließend erfolgt die Fortschreibung mit der Bevölkerung im Kreis.

Die **übrigen Erholungsflächen** ($flerog$ bzw. $flerog_k$) werden über Entwicklungen in den Wirtschaftsbereichen Kunst, Kultur und Erholung modelliert. Bundesweite Trends werden über eine Zeitreihenschätzung erfasst und fortgeschrieben.

$$flerog^t = f(ysrk^t), \quad [13]$$

wobei $flerog$ die Erholungsflächen ohne Grünanlagen in Deutschland darstellt und $ysrk$ den preisbereinigten Produktionswert für den Bereich „Kunst, Kultur und Erholung“ im zweijährigen Durchschnitt. Für Deutschland und die Kreise werden anschließend Größen für die Flächenintensität der Erwerbstätigen ($flitefog$ bzw. $flitefog_k$) für diesen Bereich verwendet. Dabei werden die Produktionswerte anhand der Erwerbstätigkeit in den entsprechenden Wirtschaftsbereichen regionalisiert. Anschließend ist diese Flächenintensität in den Kreisen eine Funktion der entsprechenden Entwicklung in Deutschland und der regionalen Einwohnerdichte.

$$flitefog_k^t = f(einwd_k^t, flitefog^t) \quad [14]$$

Anschließend wird die Flächenintensität mit dem Schätzer für die Erwerbstätigkeit im Bereich Kunst, Kultur und Erholung multipliziert.

Die Veränderung der **Friedhofsfläche** in Deutschland wird vorgegeben und mit der Bevölkerungszahl auf die Regionen verteilt. Die Veränderungsraten orientieren sich dabei an der Anzahl der Sterbefälle, die auf Grundlage der eingestellten Bevölkerungsprojektion zu erwarten sind.

Die **Verkehrsfläche** in der Kategorie „**Straße, Weg, Platz**“ ergibt sich aus der Entwicklung der Gebäude- und Freiflächen (Wohnen sowie Gewerbe und Industrie) und der Entwicklung des Pkw-Bestands.

$$dflvst_k^t = (dflgfw_k^t + dflgfg_k^t) * 0,016 + dpkw_k^t * 0,00143 \quad [15]$$

Die Größenordnung für das Verhältnis der Veränderung der Verkehrsflächen (dflsvst) zur Entwicklung im Bereich Gebäude- und Freiflächen (dflgfg und dflgfw) ergibt sich aus den Erfahrungen in vorherigen Modellversionen und Studien (vgl. Distelkamp et al. 2009). Ferner wird für die Fortschreibung der Straßenverkehrsflächen nicht nur ein gewisser Anteil für die Erschließung neuer Siedlungsflächen zugrunde gelegt, sondern auch für einen größeren Pkw-Bestand. Angesichts der hohen Bedeutung des ruhenden Verkehrs für die Flächeninanspruchnahme wird für jeden zusätzlichen – aber auch jeden wegfallenden – Pkw pauschal die Fläche eines Stellplatzes (14,3 m²) angewendet.

Die übrigen Verkehrsflächen sind eine Funktion der Straßenverkehrsflächen (flvst) und der Erwerbstätigen im Handels- und Verkehrsbereich (etgh).

$$flvu_k^t = f(fl vst_k^t, etgh_k^t, Trend) \quad [16]$$

Für diese Schätzung werden die regionalen Entwicklungen in den Kreisen zwischen 2000 und 2015 herangezogen.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ergibt sich als Summe aus allen einzeln fortgeschriebenen Flächennutzungsarten.

Tabelle 38: Konfiguration der Panel-Schätzgleichungen im Bereich Flächendynamik

	GF-Fläche Wohnen	Flächenintensität Gewerbe, Industrie	Erholungsflächen ohne Grünanlagen	Verkehrsfläche, übrige
Datenquelle(n)	Regiostat	Regiostat, VGRdL	Regiostat, VGRdL	Regiostat, VGRdL
Panel temporal	1996, 2000, 2004 bis 2015	2004 bis 2014	2004 bis 2014	2000, 2004 bis 2015
Panel räumlich	Alle Kreise in Bayern und Baden-Württemberg	Alle Kreise	Alle Kreise	Alle westdeutschen Kreise
Untergliederung	nach Siedlungsdichte (3 Klassen)	keine	keine	keine
Beobachtungen	504 / 546 / 910	4353	4353	4213
Bestimmtheitsmaß (R ²)	0,99 / 0,96 / 0,90	0,69	0,66	0,47

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Um unrealistische Entwicklungen, die sich in einzelnen Regionen bei der Anwendung der Schätzgleichungen ergeben können, abzufangen, werden folgende Prüfroutinen und Anpassungen vorgenommen (vgl. Tabelle 39). Am stärksten muss bei den Entwicklungen der Gebäude-

und Freiflächen Wohnen sowie Gewerbe und Industrie eingegriffen werden. Langfristig werden in über 100 Kreisen rückläufige Flächenbestände projiziert. In den übrigen Flächennutzungsarten greifen die „restriktiven“ Anpassungen selten. Der Abgleich der Gesamtentwicklung mit der Landwirtschaftsfläche spielt in den Jahren bis 2020 noch eine Rolle (bis zu 12 Kreise), greift aber anschließend nur noch sehr selten.

Tabelle 39: Anpassungsroutinen für die Projektion der Flächennutzungsarten

Größe	Kriterium	Anpassung
GF-Fläche Wohnen	Bestand(t) – Bestand (t-1) <0	5 % der negativen Veränderung in einem Jahr werden berücksichtigt
GF-Fläche Gewerbe und Industrie	Bestand(t) – Bestand (t-1) <0	10 % der negativen Veränderung in einem Jahr werden berücksichtigt
GF-Fläche insgesamt	Mehr als 1,5 % Zunahme weniger als -0,3 % Rückgang (jährlich)	Anpassung auf Grenze und Verrechnung auf die untergeordneten Nutzungsarten
Erholungsfläche insgesamt	Mehr als 7 % Zunahme weniger als -0,4 % Rückgang (jährlich)	Anpassung auf Grenze und Verrechnung auf die untergeordneten Nutzungsarten
Verkehrsfläche insgesamt	Mehr als 1,2 % Zunahme weniger als -0,2 % Rückgang (jährlich)	Anpassung auf Grenze und Verrechnung auf die untergeordneten Nutzungsarten
Siedlungs- und Verkehrsfläche	Jährliche Zunahme entspricht weniger als 2 % der Fläche für Landwirtschaft im Jahr 2016	Anpassung auf Grenze und Verrechnung auf die untergeordneten Nutzungsarten

Quelle: Eigene Zusammenstellung.