

Endbericht

Entwicklung und Durchführung einer Impactanalyse für den Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen

Auftraggeber:
Land NRW vertreten
durch das Ministerium für
Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur-
und Verbraucherschutz

Projektleitung
Prognos AG:
Marcus Koepp

Energynautics GmbH:
Dr. Thomas Ackermann

GWS mbH:
Dr. Ulrike Lehr

Berlin, 26.09.2014
27745

Die beteiligten Unternehmen im Überblick

Prognos AG (Hauptauftragnehmer)

Geschäftsführer
Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrats
Gunter Blickle

Hauptsitz
Henric Petri-Str. 9
CH-4010 Basel
Telefon +41 61 3273-310
www.prognos.com

Weitere Standorte (Auswahl)
Goethestr. 85
D-10623 Berlin
+49 30 52 00 59-210

Schwanenmarkt 21
D-40213 Düsseldorf
+49 211 91316-110

Handelsregisternummer
Berlin HRB 87447 B

Energynautics GmbH

Geschäftsführer
Dr. Thomas Ackermann

Hauptsitz
Robert-Bosch-Straße 7,
D-64293 Darmstadt
Telefon +49 6151 78581 00
www.energynautics.com

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Geschäftsführer
Dr. Christian Lutz

Hauptsitz
Heinrichstr. 30
D-49080 Osnabrück
Telefon +49 541 40933-0
www.gws-os.de

Die Autoren dieser Studie

Prognos AG

Natalia Anders

Tobias Hackmann

Jens Hobohm

Almut Kirchner

Tilmann Knittel

Marcus Koepp

Lisa Krämer

Oliver Lühr

Frank Peter

Fabian Sakowski

Jutta Struwe

Samuel Straßburg

Nils Thamling

Energynautics GmbH

Thomas Ackermann

Nis Martensen

Sanem Untsch

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Ulrike Lehr

Christian Lutz

Inhalt

Vorbemerkung	1
Übergreifende Erkenntnisse und Empfehlungen	2
Ergebnisüberblick	4
Untersuchungsteil I: Einleitung und Methodik	14
1 Einleitung	15
1.1 Der Klimaschutzplan des Landes Nordrhein-Westfalen	17
1.2 Die Szenarien des Klimaschutzplans NRW	18
1.3 Methodischer Überblick zur Impactanalyse	22
1.4 Ziel, Selbstverständnis und Aufgabenumfang der Impactanalyse	24
1.5 Voraussetzungen und zentrale Grundannahmen	27
2 Die Basisszenarien der Impactanalyse	29
2.1 Zielsetzung und Vorgehensweise bei der Modellierung	30
2.2 Annahmen für die Basisszenarien	33
2.3 Ergebnisse der Basisszenarien	36
2.4 Einordnung der Ergebnisse der Basisszenarien	43
Untersuchungsteil II: Die Impactbereiche	62
3 Versorgungssicherheit	63
3.1 Zielsetzung und Vorgehensweise	64
3.1.1 Erforderlicher Netzausbau in Nordrhein-Westfalen	65
3.1.2 Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität	69
3.2 Methodik zur Bestimmung des Netzausbaus in Nordrhein-Westfalen	70
3.2.1 Hoch- und Höchstspannungsebene	71
3.2.2 Mittelspannungsebene	73
3.2.3 Niederspannungsebene	74
3.3 Ergebnisse der Netzausbauberechnungen	75
3.3.1 Basisszenario	76
3.3.2 Szenarien des Klimaschutzplans: Niedriger Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario A/A1/BCCS)	78
3.3.3 Szenarien des Klimaschutzplans: Hoher Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario A2/B/B1)	80
3.3.4 Szenarien des Klimaschutzplans: 100 % Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario B2)	82
3.3.5 Szenarien des Klimaschutzplans: Niedriger Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C1)	84
3.3.6 Szenarien des Klimaschutzplans: Hoher Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C)	85
3.3.7 Szenarien des Klimaschutzplans: 100 % Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C2)	87
3.3.8 Zusammenfassung Netzausbaukosten	89

3.4	Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität	91
3.4.1	Netzzuverlässigkeit	92
3.4.2	(n-1)-Sicherheit	93
3.4.3	Systemstabilität	95
3.4.4	Kurzschlussleistung	98
3.4.5	Versorgungswiederaufbau	99
3.4.6	Spannungsqualität	100
3.4.7	Zusammenfassung Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität	101
3.5	Die Rolle der NRW-Netzstruktur in Deutschland und Europa	104
3.5.1	Struktur der Stromerzeugung in NRW und Deutschland	104
3.5.2	Kontext: Klimaschutzszenarien für Deutschland	107
3.5.3	Bezug zu Europa	112
3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse des Impactbereichs	
	Versorgungssicherheit	114
3.6.1	Wirkungen und erforderliche Maßnahmen	114
3.6.2	Vorschläge zur möglichen Minderung von Wirkungen	117
4	Importabhängigkeit	119
4.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	119
4.2	Heutige Versorgungslage	120
4.3	Weltweite Verfügbarkeit von Primärenergieträgern	122
4.3.1	Reichweiten der Primärenergieträger	123
4.3.2	Regionale Verteilung der Reserven und Anbieterstruktur am Weltmarkt	128
4.4	Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Importe von Energie nach NRW in den Szenarien	136
4.5	Monetäre Bewertung der Energieträgerimporte	142
4.6	Gesamtergebnis Importabhängigkeit	144
5	Gesamtwirtschaftliche Effekte	146
5.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	146
5.2	Inputvariablen der Modellierung	148
5.3	Impulse für die Nordrhein-Westfälische Wirtschaft	149
5.4	Gesamtwirtschaftliche Wirkungen	153
5.5	Wirkungen nach Sektoren	157
5.5.1	Produzierendes Gewerbe	158
5.5.2	Handel, Dienstleistungen und Bau	162
5.6	Gesamtwirtschaftliche Effekte bei alternativer Mittelverwendung?	165
5.7	Gesamtergebnis gesamtwirtschaftliche Effekte	166
6	Beschäftigungseffekte	168
6.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	168
6.2	Quantitative Beschäftigungseffekte	168
6.3	Qualitative Beschäftigungseffekte	175
6.4	Gesamtergebnis Beschäftigungseffekte	180

7	Sozialverträglichkeit und Auswirkungen auf private Haushalte	182
7.1	Präambel - Die Situation auf den Wohnungsmärkten	182
7.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	185
7.3	Vorgehen und Ergebnisse im Bereich Wohnen	189
7.3.1	Spezifische Investitionen der Gebäudesanierung	191
7.3.2	Energiekosten und Energieträgermix	193
7.3.3	Energieverbrauch des unsanierten Gebäudebestands	195
7.3.4	Strukturelle Merkmale der betrachteten Haushaltstypen	195
7.3.5	Effekte der energetischen Gebäudesanierung auf der Ebene des Gesamtbestands	203
7.3.6	Effekte der energetischen Gebäudesanierung auf der Ebene von unterschiedlichen Haushaltstypen	207
7.3.7	Effekte auf die Stromausgaben von Haushalten	210
7.3.8	Fazit	211
7.4	Vorgehen und Ergebnisse im Bereich Mobilität	212
7.4.1	Entwicklungen des Basisszenarios und der Szenarien des Klimaschutzplans	212
7.4.2	Sensitivität der Haushalte auf geänderte Mobilitätskosten	217
7.5	Gesamtergebnis Sozialverträglichkeit	226
7.6	Exkurs: Auswirkungen der Bereiche Wohngeld bezogene Leistungen, ÖPNV und energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften auf die kommunalen Haushalte	229
7.6.1	Wohngeld bezogene Leistungen der Kommunen	230
7.6.2	Ausgaben der Aufgabenträger für den ÖPNV	232
7.6.3	Energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften	234
7.6.4	Chancen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien	236
7.6.5	Einordnung und Zusammenfassung	238
8	Umweltwirkungen	241
8.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	241
8.2	Relevante Umweltwirkungen der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans NRW	244
8.2.1	Methodik	244
8.2.2	Ergebnis der Identifizierung der Umweltwirkungen	246
8.2.3	Übersicht potenzieller Umweltwirkungen des Klimaschutzplans NRW auf die Schutzgüter der Umwelt	246
8.2.4	Bewertung der relevanten Umweltwirkungen	252
8.3	Ergebnisse	253
8.3.1	Abnahme der Emissionen durch reduzierten Einsatz luftschadstoffemittierender Energieträger (szenarioabhängig)	253
8.3.2	Abnahme der Ammoniakemissionen und Gerüche aus Wirtschaftsdüngern (szenariounabhängig)	258
8.3.3	Abnahme der Nitratbelastung durch geänderte landwirtschaftliche Bewirtschaftung (szenariounabhängig)	261
8.3.4	Bewertung der Umweltwirkungen durch Verlagerung von Personenverkehr und effizientere Transporte sowie durch den Betrieb von Windenergieanlagen (szenariounabhängig)	262
8.3.5	Gesamtergebnis Umweltwirkungen	264

Untersuchungsteil III: Vertiefung einzelner Impactbereiche	266
9 Genderspezifische Impactwirkungen	267
9.1 Auswirkungen im Bereich Wohnen	268
9.1.1 Wohn- und Einkommenssituation der Haushaltstypen	269
9.1.2 Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplan im Bereich Wohnen	271
9.2 Auswirkungen im Bereich Mobilität	274
9.2.1 Geschlechtsspezifische Muster von PKW-Besitz und PKW-Nutzung	275
9.2.2 Geschlechtsspezifische Auswirkungen des Szenarios des Klimaschutzplans im Bereich Mobilität	278
9.3 Weitere Impactbereiche für die Genderanalyse	280
9.4 Gesamtergebnis Gender	282
10 Gesundheit	284
10.1 Effekte von ausgewählten Umweltbelastungen auf den Gesundheitszustand	284
10.1.1 Luftschadstoffe	284
10.1.2 Nitrat im Trinkwasser	289
10.1.3 Verkehrslärm	290
10.2 Gesamtergebnis gesundheitliche Wirkungen	291
11 Standortfaktoren und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen in NRW	293
11.1 Standortfaktor Energiekosten	294
11.1.1 Kosten für Erdgas	295
11.1.2 Kosten für Strom	297
11.2 Zusammenfassende Bewertung der Wettbewerbssituation	301
12 Anhang	304
12.1 Ausgewählte Ergebnistabellen – Endkundenstrompreise	304
12.2 Ausgewählte Ergebnistabellen – Endenergieverbrauch in den Basisszenarien	316
12.3 Ausgewählte Ergebnistabellen – Stromverbrauch nach Sektoren in den Basisszenarien	317
12.4 Beschreibungen der wichtigsten Modelle für die Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte	318
12.4.1 GWS Modell PANTA RHEI	318
12.4.2 Prognos Modell REGINA	322

Abbildungen

Abbildung 1:	Szenarienvergleich für das Jahr 2030	5
Abbildung 2:	Szenarienvergleich für das Jahr 2050	5
Abbildung 3:	Übersicht zu den untersuchten Impactbereichen	16
Abbildung 4:	Übersicht zur Struktur der Szenarien des Klimaschutzplans	18
Abbildung 5:	Übersicht zu den Annahmen der Szenarien und ihrer Varianten	19
Abbildung 6:	Vorgehensweise Impactanalyse	22
Abbildung 7:	Vorgehen zur Bewertung innerhalb der Impactbereiche	24
Abbildung 8:	Einordnung der Basisszenarien NRW	35
Abbildung 9:	Endenergiebedarf insgesamt in NRW	44
Abbildung 10:	Abweichungen des Endenergiebedarfs insgesamt in NRW gegenüber der Basis	45
Abbildung 11:	Endenergiebedarf der Industrie in NRW	46
Abbildung 12:	Endenergiebedarf des Sektors Private Haushalte in NRW	47
Abbildung 13:	Endenergiebedarf des Sektors GHD in NRW	47
Abbildung 14:	Endenergiebedarf des Verkehrssektors in NRW	48
Abbildung 15:	Stromerzeugung erneuerbarer Energien in NRW	49
Abbildung 16:	Konventionelle Stromerzeugung (netto) in NRW	49
Abbildung 17:	Strompreise im Großhandel (Baseload)	51
Abbildung 18:	Netzentgelte Niederspannung (PHH/GHD)	53
Abbildung 19:	Netzentgelte Mittelspannung (nicht-privilegierte Industrie)	53
Abbildung 20:	Netzentgelte Hochspannung (privilegierte Industrie)	54
Abbildung 21:	Refinanzierungslücke für konventionelles Back-up System	55
Abbildung 22:	Entwicklung der EEG-Umlage	56
Abbildung 23:	Strompreise Private Haushalte	57
Abbildung 24:	Strompreise Gewerbe/Handel/Dienstleistungen	57
Abbildung 25:	Strompreise Industrie, nicht privilegiert	58
Abbildung 26:	Strompreise Industrie, privilegiert	58
Abbildung 27:	Stromkosten Privater Haushalte	60
Abbildung 28:	Treibhausgasemissionen insgesamt in NRW	61
Abbildung 29:	Einsparungen der Szenarien des Klimaschutzplans in NRW gegenüber dem jeweiligen Basisszenario	61
Abbildung 30:	Übersicht der Methodik	71

Abbildung 31:	Stromerzeugung in NRW in Terawattstunden (TWh) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050	105
Abbildung 32:	Stromerzeugung in Deutschland in Terawattstunden (TWh) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050	105
Abbildung 33:	Installierte Kraftwerksleistung in NRW in Megawatt (MW) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050	106
Abbildung 34:	Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland in Megawatt (MW) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050	106
Abbildung 35:	Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung nicht fluktuierender Energieträger in Szenarien verschiedener Studien	108
Abbildung 36:	Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung von Windenergieanlagen in Szenarien verschiedener Studien	109
Abbildung 37:	Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung von PV-Anlagen in Szenarien verschiedener Studien	109
Abbildung 38:	Übersicht über die Entwicklung des Nettostromverbrauchs in Deutschland in Szenarien verschiedener Studien	111
Abbildung 39:	Ergebnisübersicht Netzausbau und Regelenergiebedarf (Kosten/Aufwand)	116
Abbildung 40:	Ergebnisübersicht Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität (Qualitätskenngrößen)	116
Abbildung 41:	Begriffsbestimmung Reserven und Ressourcen	123
Abbildung 42:	Statische Reichweiten der Reserven und Ressourcen nicht-erneuerbarer Energieträger (Welt)	124
Abbildung 43:	Abgrenzung zwischen konventionellen und nicht-konventionellen Vorkommen	125
Abbildung 44:	Steinkohleförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen im Jahr 2012	129
Abbildung 45:	Erdgasförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen (ohne Aquifergas und Gashydrat) im Jahr 2012	131
Abbildung 46:	Abhängigkeit von Erdgas- und Erdöllieferländern in der „strategischen Ellipse“	132
Abbildung 47:	Erdölförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen im Jahr 2012	134
Abbildung 48:	Angenäherter Primärenergieverbrauch Nordrhein-Westfalens 2010 bis 2050	137
Abbildung 49:	Fossile Primärenergieimporte nach Nordrhein-Westfalen 2010 bis 2050 (in PJ)	138
Abbildung 50:	Abweichungsanalyse fossile Primärenergieimporte	139
Abbildung 51:	Stromimportsaldo NRW 2010 bis 2050	140

Abbildung 52:	Importquote gesamter Primärenergieverbrauch Nordrhein-Westfalen 2010 bis 2050	141
Abbildung 53:	Monetäre Bewertung der Energieträgerbezüge NRWs in den Szenarien	143
Abbildung 54:	Abweichungsanalyse monetäre Bewertung der importierten Energieträger	143
Abbildung 55:	Treiber der Impacts Gesamtwirtschaft und Beschäftigung	150
Abbildung 56:	Kumulierte Mehrinvestitionen bis 2050 in NRW	151
Abbildung 57:	Bruttowertschöpfung real über alle Wirtschaftssektoren in NRW	154
Abbildung 58:	Abweichung der gesamten Bruttowertschöpfung in NRW zwischen Szenarien des Klimaschutzplans und jeweiligem Basisszenario	155
Abbildung 59:	Bruttowertschöpfung real im produzierenden Gewerbe in NRW	158
Abbildung 60:	Abweichung Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes von der jeweiligen Basis	159
Abbildung 61:	Abweichung Bruttowertschöpfung energieintensive Sektoren von der jeweiligen Basis	161
Abbildung 62:	Bruttowertschöpfung real im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	163
Abbildung 63:	Abweichung Bruttowertschöpfung in den Handels- und Dienstleistungssektoren von der jeweiligen Basis	164
Abbildung 64:	Beschäftigungseffekte über alle Sektoren	169
Abbildung 65:	Abweichung Erwerbstätige aller Sektoren in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis	170
Abbildung 66:	Abweichung Erwerbstätige im Produzierenden Gewerbe in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis	171
Abbildung 67:	Abweichung Erwerbstätige in den energieintensiven Branchen in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis	173
Abbildung 68:	Abweichung Erwerbstätige in den Handels- und Dienstleistungssektoren in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis	174
Abbildung 69:	Kumulierte energetisch sanierte Gebäudefläche in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und in der Basis in Mio. m ² Wohnfläche	189
Abbildung 70:	Mittleres Zielniveau der energetischen Gebäudesanierung in kWh/m ² WFI. und Jahr	190
Abbildung 71:	Anteil erneuerbarer Energien (Solar, Umweltwärme, Biomasse) zur Bereitstellung von Raumwärme in %	191
Abbildung 72:	Kostendegression der energetischen Gebäude-sanierung in den Szenarien des Klimaschutzplans im Vergleich zur Basisentwicklung	193

Abbildung 73:	Änderung des Mischpreises Endenergie für Raumwärme durch sanierungsbedingte Energieträgerumstellung in Cent/kWh	194
Abbildung 74:	Verteilung der Nettoäquivalenzeinkommen nach Haushaltstypen, Deutschland, 2012	197
Abbildung 75:	Anteil von Transferempfängern an den jeweiligen Haushaltstypen, 2012	199
Abbildung 76:	Verhältnis von Mietern zu Eigentümern nach Haushaltstypen, 2012	200
Abbildung 77:	Verhältnis von Wohnungseigentümern und -mietern nach äquivalenzgewichteten Nettohaushaltseinkommensquartilen, 2012	201
Abbildung 78:	Anteile der Haushalte mit Sanierungsbedarf nach Haushaltstyp, 2012	202
Abbildung 79:	Mittlerer Netto-Effekt der energetischen Gebäudesanierung für selbstgenutztes Wohneigentum im Vergleich zur Basis in Euro / Monat und Haushalt	204
Abbildung 80:	Mittlerer Netto-Effekt der energetischen Gebäudesanierung für Mietwohnungen im Vergleich zur Basis in Euro / Monat und Haushalt	205
Abbildung 81:	Mittlere Modernisierungsumlage für Mieter in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario bis 2050 in Euro/Monat und Haushalt	206
Abbildung 82:	Mittlere Heizkostenreduktion für Mieter in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario bis 2050 in Euro/Monat und Haushalt	206
Abbildung 83:	Mittlere Netto-Effekte (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Euro pro Monat und Haushalt	208
Abbildung 84:	Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent des Haushaltseinkommens	208
Abbildung 85:	Mittlere Netto-Effekte (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Euro pro Monat und Haushalt	209
Abbildung 86:	Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent des Haushaltseinkommens	210
Abbildung 87:	Stromkosten eines 2-Personen-Haushalts in NRW in Euro / Monat und Haushalt	211
Abbildung 88:	Entwicklung der Verkehrsleistung in NRW bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario	213

Abbildung 89:	Entwicklung des Mobilitätsstreckenbudgets im landseitigen Verkehr bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario	214
Abbildung 90:	Änderung der jährlichen Mobilitätsleistung von MIV, ÖPNV, Eisenbahn und Personenverkehr insgesamt bis 2050 im Vergleich zum Basisszenario	215
Abbildung 91:	Entwicklung des Pkw-Bestandes bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario	216
Abbildung 92:	Anteil der Wege nach Hauptverkehrsmittel (in %)	224
Abbildung 93:	Auswirkungen der Sanierungs-Szenarien auf die kommunalen Transfer-Ausgaben in Nordrhein-Westfalen, 2010 - 2050	231
Abbildung 94:	Jährliche konsumtive Kosten der Kommunen durch den ÖPNV in Mio. Euro ₂₀₁₀ bis 2050	234
Abbildung 95:	Jährliche Be- und Entlastung kommunaler Haushalte durch die energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften in NRW ggü. dem Basisszenario in Mio. Euro ₂₀₁₀	236
Abbildung 96:	Zusammenfassung der jährlichen Be- und Entlastungen kommunaler Haushalte durch ÖPNV, Transferleistungen und energetische Sanierung öffentlicher Liegenschaften in Mio. Euro ₂₀₁₀	239
Abbildung 97:	Bewertungsskala für Umweltwirkungen	252
Abbildung 98:	Abnahme der Gesamteinsatzmenge luftschadstoffemittierender Energieträger in %	256
Abbildung 99:	Entwicklung der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft in NRW bis 2030 [Gg/a]	258
Abbildung 100:	Feinstaubkonzentration im städtischen Hintergrund in NRW	259
Abbildung 101:	Nitratkonzentration im Grundwasser in NRW	261
Abbildung 102:	Einkommensstruktur der betrachteten Haushaltstypen nach Geschlecht, Deutschland 2012	270
Abbildung 103:	Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Geschlecht und Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent	272
Abbildung 104:	Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Geschlecht und Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent	273
Abbildung 105:	Emissionsfrachten Feinstaub (PM10) nach Quellkategorien in Tsd. t (2012)	285
Abbildung 106:	Die Entwicklung der Erdgaspreise im internationalen Vergleich	297
Abbildung 107:	Vergleich der Strompreise 2013 für stromintensive Großverbraucher	299
Abbildung 108:	Vergleich der Strompreise 2013 für mittelständische Unternehmen	300

Abbildung 109:	Struktur des energie- und umweltökonomischen Modells PANTA RHEI	321
Abbildung 110:	Verbindung von Nachfrage und Produktion auf der regionalen Ebene	322

Tabellen

Tabelle 1:	Annahmen der Szenarien des Klimaschutzplans	21
Tabelle 2:	EEV in NRW nach Energieträgern in den Basisszenarien 2010-2050	37
Tabelle 3:	EEV insgesamt in NRW nach Verbrauchssektoren in den Basisszenarien 2010-2050	37
Tabelle 4:	Stromverbrauch (EEV) in NRW nach Verbrauchssektoren in den Basisszenarien 2010-2050	38
Tabelle 5:	Stromerzeugungskapazität (netto) nach Energieträgern in NRW in den Basisszenarien 2010-2050	39
Tabelle 6:	Stromerzeugung (netto) in Deutschland in den Basisszenarien 2010-2050	40
Tabelle 7:	Stromerzeugung nach Energieträgern (netto) in NRW in den Basisszenarien 2010-2050	41
Tabelle 8:	Endkundenstrompreise in den Basisszenarien 2010-2050 (Verteilungsschlüssel wie 2012)	42
Tabelle 9:	Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen in NRW in den Basisszenarien 2010-2050	42
Tabelle 10:	Rückgang der physischen THG-Emissionen in NRW in den Basisszenarien und zusätzlicher Beitrag des ETS bei einem CO ₂ -Reduktionspfad von 1,74 % p.a.	43
Tabelle 11:	Vergleichbarkeit der Szenarien des Klimaschutzplans mit den Basisszenarien	43
Tabelle 12:	Überblick der berechneten Szenarien des Klimaschutzplans	65
Tabelle 13:	Übersicht der Eingangsparameter der berechneten Szenarien	66
Tabelle 14:	Überblick zu den berechneten vier Extremsituationen	73
Tabelle 15:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) im Basisszenario für NRW	77
Tabelle 16:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) im Basisszenario für NRW	78
Tabelle 17:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	79
Tabelle 18:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	80

Tabelle 19:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	81
Tabelle 20:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	82
Tabelle 21:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	82
Tabelle 22:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und konstanter Last für NRW	83
Tabelle 23:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	84
Tabelle 24:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	85
Tabelle 25:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	86
Tabelle 26:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	87
Tabelle 27:	Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	88
Tabelle 28:	Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und sinkender Last für NRW	89
Tabelle 29:	Über die Entwicklung im Basisszenario hinaus erforderliche Investitionen in Netzausbau in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans bis 2050	90
Tabelle 30:	Möglichkeiten zur Erschließung neuer Quellen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Stromnetz	102

Tabelle 31: Primärenergiebedarf und Importabhängigkeit in Deutschland und NRW (2010)	121
Tabelle 32: Weltweiter Verbrauch, Reserven und Ressourcen nicht erneuerbarer Energieträger	124
Tabelle 33: Importquoten der Energieträger in NRW in den Jahren 2010 und 2050	137
Tabelle 34: Gesamtergebnis Importabhängigkeit	145
Tabelle 35: Gesamtergebnis gesamtwirtschaftliche Effekte	167
Tabelle 36: Gesamtergebnis Beschäftigungseffekte	181
Tabelle 37: Übersicht über die Zuordnung der drei Gebäudeszenarien zu den Szenarien des Klimaschutzplans	186
Tabelle 38: Spezifische Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten der energetischen Gebäudesanierung für die vier Raumwärmeklassen (RWK1, RWK2, RWK3 und PH) der Szenarien des Klimaschutzplans in Euro / m ² WFI.	192
Tabelle 39: Endenergieverbrauch für Raumwärme für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie für Mehrfamilienhäuser	195
Tabelle 40: Haushaltstypen und verfügbare Haushaltsnettoeinkommen, NRW und Deutschland, 2012	196
Tabelle 41: Entwicklungen im Fuß- und Radverkehr bis 2050 im Szenario des Klimaschutzplans	215
Tabelle 42: Entwicklung der Kraftstoffpreise bis 2050 in allen Szenarien in Euro ₂₀₁₀ / l	217
Tabelle 43: Verteilung der Haushaltstypen nach ökonomischem Status in NRW (in %)	219
Tabelle 44: Verteilung der Haushaltstypen nach Nettohaushaltseinkommen in NRW Euro pro Monat (in %).	219
Tabelle 45: Monatliche Ausgaben für Mobilität in Abhängigkeit vom Nettohaushaltseinkommen nach Haushaltstypen (Euro pro Monat)	220
Tabelle 46: Pkw-Verfügbarkeit nach Haushaltstypen (in %)	221
Tabelle 47: Pkw-Verfügbarkeit nach Haushaltseinkommen (in %)	222
Tabelle 48: Durchschnittliche Pkw-Kilometer pro Jahr je Haushalt und je Person nach Haushaltstyp, in km, 2008	223
Tabelle 49: Von einer möglichen Verteuerung im ÖPNV betroffene Haushalte	225
Tabelle 50: Von einer möglichen Verteuerung im MIV betroffene Haushalte	225
Tabelle 51: Gesamtergebnis Sozialverträglichkeit	229
Tabelle 52: Abschätzung Flächen kommunaler Liegenschaften in m ² BGF basierend auf einer Umfrage unter 1.400 Kommunen im Jahr 2010	235
Tabelle 53: Ermittlung der nicht klimaschutzrelevanten Umweltwirkungen aus den Strategien des Klimaschutzplans NRW	245
Tabelle 54: Nicht klimaschutzbezogene Wirkungen auf Schutzgüter der Umwelt	248

Tabelle 55:	Entwicklung der Gesamtmenge luftschadstoffemittierender Energieträger 2010-2050 (PJ)	254
Tabelle 56:	Bewertung der zusätzlichen Veränderung der Gesamtmenge luftschadstoffemittierender Energieträger für 2030 und 2050	255
Tabelle 57:	Gesamtergebnis nicht klimaschutzbezogene Umweltwirkungen	265
Tabelle 58:	Anteile der betrachteten Haushaltstypen an allen Haushalten sowie Männer- und Frauenanteile, Nordrhein-Westfalen 2012, in Prozent	268
Tabelle 59:	Anteile der Mieterinnen und Mieter nach Haushaltstyp und Geschlecht, Deutschland 2012	269
Tabelle 60:	Anteile der in Wohnungen mit Bedarf an energetischer Sanierung lebenden Frauen und Männer nach Haushaltstyp, Deutschland 2012	270
Tabelle 61:	Wege nach (hauptsächlich) genutztem Verkehrsmittel und Geschlecht, Deutschland 2008	275
Tabelle 62:	Anzahl der Autos im Haushalt nach Geschlecht und Altersgruppen, Deutschland 2008, in Prozent	276
Tabelle 63:	Anteil der Ein-Personen- und Alleinerziehenden-Haushalte mit PKW-Besitz nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008	276
Tabelle 64:	Anteil der allein lebenden Personen mit Haupt-verkehrsmittel MIV nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008	277
Tabelle 65:	Durchschnittliche PKW-Kilometer nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008	277
Tabelle 66:	Durchschnittliche PKW-Kilometer allein lebender Personen nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008	278
Tabelle 67:	Wirkungen ausgewählter Umweltbelastungen auf den Gesundheitszustand	291
Tabelle 68:	Gesamtergebnis Gesundheit	292

Vorbemerkung

Dieser **Bericht** dokumentiert die Ergebnisse des Projekts „Entwicklung und Durchführung einer Impactanalyse für den Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen“. Er wurde von den Autoren der Prognos AG, Düsseldorf / Berlin / Basel zusammen mit ihren Unterauftragnehmern Energynautics GmbH, Darmstadt, und der GWS Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH, Osnaabrück angefertigt.

Die **energiwirtschaftlichen Annahmen** des Klimaschutzplans, die dieser Studie zugrundeliegen, sind vom Land Nordrhein-Westfalen, den am Prozess beteiligten Stakeholdern und dem Wuppertal Institut erarbeitet worden. Ausgangspunkt der Analyse ist das Jahr 2010. Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung der Wirkungen der Strategien des Klimaschutzplans auf die einzelnen Impactbereiche, nicht die Bewertung der Auswirkungen noch auszuwählender Maßnahmen.

Voraussetzungen und zentrale Grundannahmen dieser Analyse finden sich zusammengefasst in Kapitel 1.5. Beispielhaft sei hier die Fortsetzung des internationalen Prozesses der Klimaschutzpolitik mit der Folge vergleichbarer Belastungen z.B. durch CO₂-Preise oder andere Abgaben auf Energieträger für die Gesellschaften, insbesondere die Unternehmen, erwähnt.

Eine ausführlichere Darstellung der berücksichtigten Rahmendaten erfolgt zu Beginn der Kapitel zu den einzelnen Impactbereichen.

Übergreifende Erkenntnisse und Empfehlungen

- Die Impactanalyse zielt darauf ab, Effekte zu ermitteln, die **zusätzlich** zu der ohnehin erwarteten Entwicklung (Basisszenarien) **durch die Szenarien des Klimaschutzplans** des Landes NRW auftreten.
- Die Impactanalyse kommt zu dem **Ergebnis**, dass durch die Strategien des Klimaschutzplans nicht nur die Klimagasemissionen und die Umweltbelastung deutlich reduziert werden, sondern auch überwiegend leicht positive Effekte für die Wirtschaft Nordrhein-Westfalens entstehen.
- Gerade die umfangreichen **Investitionen**, die schon bis 2030 zur Erreichung geringerer Emissionen im Gebäudebereich und einer auf hohen Anteilen erneuerbarer Energien beruhenden Stromerzeugung getätigt werden müssen, lösen Wachstumsimpulse aus. In den Szenarien mit 100 %-EE (B2 und C2) erfordert der breite Einstieg in die Wasserstofftechnologie den Aufbau einer neuen Infrastruktur mit hohen Investitionen (Erzeugungsanlagen, Gas- und Stromnetze). Die hiermit verbundenen Kosten entstehen vor allem in den Dekaden nach 2030. Derzeit ist nicht geklärt, wie diese Investitionen finanziert werden.
- Da der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromversorgung auch ohne die Wasserstofftechnologie mit steigendem Aufwand für den Ausbau der Netze und die Lieferung der für den Netzbetrieb notwendigen Systemdienstleistungen einhergeht, sollten Hemmnisse bei der Erschließung kostensenkender Maßnahmen systematisch identifiziert werden. Es ist zu prüfen, inwieweit durch eine geeignete **Weiterentwicklung des energiewirtschaftlichen Ordnungsrahmens** der Kostenanstieg begrenzt werden kann.
- Auch wenn sich für keinen Haushaltstyp und kein Szenario des Klimaschutzplans Hinweise auf eine **soziale** Unverträglichkeit ergeben, sollten **flankierende Maßnahmen** umgesetzt werden, deren Finanzierung Land, Kommunen und Bund belasten werden. So sollten im Bereich der Transferleistungen zu den Wohnkosten energetisch sanierte Gebäude als angemessen akzeptiert und die energetische Modernisierung für Wohngeldempfangenden warmmietenneutral gestellt werden. Im Bereich Mobilität ist die zielgruppenorientierte Verbesserung des ÖPNV-Angebots von zentraler Bedeutung.
- Die Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans auf Wachstum und Beschäftigung sind über den ganzen Zeitraum hinweg betrachtet im Vergleich zur Entwicklung im Basisszenario entweder leicht positiv oder sehr gering. Für die Wirtschaftszweige, die durch den Klimaschutzplan belebt werden, muss die **Qualifikation der Beschäftigten** an die neuen Herausforderungen kontinuierlich angepasst werden.
- Aus heutiger Sicht lassen sich die Nettoeffekte für Wirtschaftswachstum und Beschäftigung für den **Zeitraum bis 2030** relativ belastbar abschätzen. Für den Zeitraum zwischen 2030 und 2050 bestehen jedoch größere Unsicherheiten, vor allem in der Bewertung der Kosten einer Wasserstofftechnologie, deren Einsatz eine wesentliche Grundlage dieser Szenarien ist. Tendenziell wurden diese Kosten unterbewertet, da die Kosten der Wasserstoffinfrastruktur nicht vollständig erfasst sind.
- Vor diesem Hintergrund ist zu empfehlen, die technische Entwicklung der **Wasserstofftechnologie** als Speichermedium und ihren Einsatz z.B. in der Industrie sowie die damit verbundenen Kosten fortlaufend zu **beobachten**, um diese Technologie in einigen Jahren belastbarer einschätzen zu können und ihren möglichen Beitrag zur

vollständigen Integration erneuerbarer Energien auch im Vergleich zu anderen Speichertechnologien oder netzseitigen Veränderungen neu zu bewerten.

- Empfohlen wird, sich für **internationale Klimaabkommen** mit fairen und vergleichbaren Wettbewerbsbedingungen und Kostenbelastungen einzusetzen. Vor dem Hintergrund der internationalen Entwicklung ist die Annahme annähernd gleicher Kostenbelastungen (z.B. steigende Kosten der Energieversorgung, u.a. durch Netzausbaukosten und CO₂-Preise bis hin zu 50 bis 60 €/t) zu überwachen, um signifikante Wettbewerbsnachteile für den nordrhein-westfälischen Standort zu vermeiden.
- Bei der Implementierung von Klimaschutzmaßnahmen ist die grundsätzliche Entwicklung der **Wettbewerbsposition der nordrhein-westfälischen Industrie** im Rahmen des Monitorings kontinuierlich zu überprüfen, um Verlagerungseffekte (z.B. Carbon Leakage) rechtzeitig zu erkennen und zu verhindern. Dies gilt insbesondere für den Transformationsprozess der kommenden 10 bis 20 Jahre bevor langfristig kostendämpfende Effekte eintreten.

Ergebnisüberblick

Die meisten Wirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans sind langfristig positiv oder neutral im Vergleich mit einer Basisentwicklung mit weniger ambitioniertem Klimaschutz. Dabei sollten die Herausforderungen der Umgestaltung insbesondere in der Energieerzeugung, der Finanzierung und Wettbewerbsfähigkeit aktiv angegangen werden.

- Die Integration sehr hoher Anteile erneuerbarer Energien in das Stromnetz von NRW ist aus technischer Sicht möglich, ohne die **Versorgungssicherheit** zu gefährden. Die **Netzausbaukosten** steigen je nach Szenario zum Teil deutlich. Neue technische Lösungen können zur Begrenzung des Kostenanstiegs beitragen.
- In allen Szenarien des Klimaschutzplans wird NRW deutlich später zum Stromimportland als im Basisszenario. Die Klimaschutzpolitik führt zu einer deutlichen Reduktion der **Importe fossiler Energieträger**. Dennoch bleibt NRW auf lange Sicht auf Energielieferungen aus anderen Regionen angewiesen. In Szenarien mit sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien werden auf lange Sicht höhere Importe regenerativ erzeugten Stroms aus anderen Regionen, überwiegend aber aus Deutschland angenommen.
- Die Szenarien des Klimaschutzplans wirken sich überwiegend **leicht positiv auf die Wirtschaft** in NRW aus. Dies liegt am Zusammenspiel zwischen Investitionsimpulsen und zeitlich später anfallenden Preiseffekten z.B. bei den Energiepreisen. Die Klimaschutzstrategien des Landes NRW befördern den durch die Energiewende ausgelösten Transformationsprozess.
- Je nach Szenario liegt die **Beschäftigung** im Jahr 2030 um bis zu 17.500 (Sz. C2) **über der Basisentwicklung**. Im ungünstigsten Fall (Sz. A1) ist im Jahr 2030 praktisch keine Abweichung zur Basisentwicklung feststellbar. Die stärksten positiven Effekte werden für die Bauwirtschaft erwartet. Diese positiven Effekte sind jedoch klein im Vergleich mit der allgemeinen volkswirtschaftlichen Entwicklung.
- Die Transformation der wirtschaftlichen Entwicklung hin zu einer „Low Carbon Gesellschaft“ erfordern geänderte **Beschäftigungsqualifikationen**. Die künftigen Fachkräfte sind während der Ausbildung auf die neuen Berufsherausforderungen vorzubereiten.
- Für **keinen Haushaltstyp und kein Szenario des Klimaschutzplans** ergeben sich Hinweise auf eine **soziale Unverträglichkeit**. Aus den Szenarien des Klimaschutzplans ergeben sich weder im Bereich Wohnen noch im Bereich Mobilität nennenswerte Be- oder Entlastungen für die Haushalte in NRW. Wichtig ist jedoch die Umsetzung der in den Arbeitsgruppen diskutierten flankierenden Maßnahmen und die Berücksichtigung der allgemeinen Lage auf den regional und lokal sehr unterschiedlichen Wohnungsmärkten.
- Die Szenarien des Klimaschutzplans führen im Vergleich zu den Basisszenarien zu unterschiedlichen Auswirkungen auf **Männer und Frauen**. Eine eindeutige und durchgängige Mehr- oder Minderbelastung von Männern oder von Frauen ist insgesamt **nicht feststellbar**.
- In den Szenarien des Klimaschutzplans ergeben sich – je nach Szenario – positive oder neutrale Effekte auf den **Gesundheitszustand** der Bevölkerung. Die positiven Wirkungen verstärken sich zwischen 2030 und 2050.
- Die **Umwelt** profitiert, da die Luftschadstoffemissionen in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber der Basisentwicklung deutlich reduziert werden. Auch die Boden- und Gewässerbelastung sowie die Schallemissionen werden positiv beeinflusst.

Abbildung 1: Szenarienvergleich für das Jahr 2030

2030 Impactbereich	Versorgungssicherheit		Importabhängigkeit	Umwelt	Gesundheit	Sozialverträglichkeit	Gesamtwirtschaft	Beschäftigung
	Systemstabilität	Netzkosten						
Szenario A								
Szenario A1								
Szenario A2								
Szenario B								
Szenario B1								
Szenario B2								
Szenario BCCS								
Szenario C								
Szenario C1								
Szenario C2								

Abbildung 2: Szenarienvergleich für das Jahr 2050

2050 Impactbereich	Versorgungssicherheit		Importabhängigkeit	Umwelt	Gesundheit	Sozialverträglichkeit	Gesamtwirtschaft	Beschäftigung
	Systemstabilität	Netzkosten						
Szenario A								
Szenario A1								
Szenario A2								
Szenario B								
Szenario B1								
Szenario B2								
Szenario BCCS								
Szenario C								
Szenario C1								
Szenario C2								

Legende:

- = positive Wirkung gegenüber Basisentwicklung,
- = neutral, vernachlässigbare Wirkung gegenüber Basisentwicklung,
- = negative Wirkung gegenüber Basisentwicklung

Impactbereich Versorgungssicherheit

Die Integration sehr hoher Anteile erneuerbarer Energien (80 % bis 100 %) in das Stromnetz von NRW ist aus technischer Sicht möglich, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden. Die Netzausbaukosten steigen je nach Szenario zum Teil deutlich. Neue technische Lösungen können zur Begrenzung des Kostenanstiegs beitragen.

- Aus Sicht von **Netzverlässlichkeit und Systemstabilität** ergeben sich aus den in den Klimaschutzszenarien angenommenen Entwicklungen keine unlösbaren technischen Herausforderungen. Allerdings müssen neue technische Lösungen in den Netzbetrieb integriert werden.
- Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmendem Ausbau der fluktuierenden Einspeisung aus erneuerbaren Energien der **Aufwand** in Bezug auf Investitionen und Betrieb zur **Beibehaltung der Versorgungssicherheit** auf dem heutigen Niveau steigt.
- Die Integration von sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien in das Stromnetz von NRW wird von den meisten Fachleuten als **machbar** eingestuft. Sie ist **aus technischer Sicht weitgehend mit dem Ausbau bestehender** und im Rahmen des Netzentwicklungsplans 2013 geplanter **Trassen möglich**.
- Eine **Herausforderung** stellen aber die wirtschaftlichen sowie genehmigungsrechtlichen Aspekte dar, da Genehmigungen viel Zeit in Anspruch nehmen können. Die Schaffung gesellschaftlicher Akzeptanz für den Ausbau des Leitungsnetzes ist eine weitere Herausforderung.
- **Grundlage** der Analysen zum Netzausbaubedarf in den Szenarien des Klimaschutzplans sind für das Übertragungsnetz die Planungen der Netzbetreiber im **Netzentwicklungsplan (NEP) 2013**. Die besonderen Herausforderungen des 100 %-EE-Ausbaufades an den Netzausbau über die Planungen des NEP 2013 hinaus entstehen in der angenommenen Szenarienentwicklung erst nach 2030.

Impactbereich Importabhängigkeit

In allen Szenarien des Klimaschutzplans wird NRW deutlich später zum Stromimportland als im Basisszenario. Die Strategien des Klimaschutzplans führen zu einer deutlichen Reduktion der Importe fossiler Energieträger. Dennoch bleibt NRW auf Energielieferungen aus anderen Regionen angewiesen. In Szenarien mit sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien werden auf lange Sicht höhere Importe regenerativ erzeugten Stroms aus anderen Regionen, überwiegend aber aus Deutschland angenommen.

- Die **heutige Importquote** in NRW liegt bei ca. 68 % des Primärenergieverbrauchs.
- Der **Primärenergieverbrauch** wird in allen Szenarien deutlich zurück gehen. In der Basisentwicklung 0,6 (1,2) erwarten wir einen Rückgang um 29 (20) %, in den Szenarien des Klimaschutzplans wird ein Rückgang um bis zu 50 % (C) erwartet.
- Die **Verfügbarkeit** der aus dem Ausland zu importierenden fossilen Energieträger ist bis zum Jahr 2050 gegeben. Leichte Versorgungsrisiken, Preisschwankungen und tendenziell steigende Preise sind aber zu erwarten.
- Die **Importquote** wird in fast allen Szenarien etwa auf dem Ausgangsniveau verharren, da Importe fossiler Energieträger (aus dem Ausland) teilweise durch Stromimporte (überwiegend aus anderen Regionen Deutschlands) ersetzt werden.
- Die (absoluten) **Importe fossiler Energieträger** gehen in allen Szenarien deutlich zurück. Die Steigerung der Energieeffizienz mit den entsprechenden Folgen für den Energieverbrauch und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien führen in NRW zu dieser Entwicklung. Szenarien mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien lassen die fossilen Importe schneller sinken.
- NRW ist heute im Saldo über Bezüge und Lieferungen **Stromexportland**. In den Basisszenarien wird NRW im Saldo bereits vor 2020 Stromimportland, in den Szenarien des Klimaschutzplans erst nach dem Jahr 2030.
- In den Szenarien mit 100 % erneuerbaren Energien im Jahr 2050 nimmt der Bedarf nach **Stromlieferungen aus anderen Regionen** (z. B. aus Offshore-Windenergie) insbesondere ab 2040 stark zu. Ursache hierfür ist der angenommene Einstieg in die Wasserstoffproduktion in NRW.
- Die **Kosten** der Importe von fossilen Energieträgern und Strom steigen in Summe aufgrund der höheren Preise vor allem bis 2030 an. Nach 2030 spreizen sich die Szenarien vor allem durch die Kosten der Stromimporte deutlich auf. Der Anstieg ist in den Szenarien des Klimaschutzplans niedriger als in der Basis.

Impactbereich gesamtwirtschaftliche Effekte

Die Szenarien des Klimaschutzplans wirken sich langfristig überwiegend leicht positiv auf die Wirtschaft in NRW aus. Dies liegt am Zusammenspiel zwischen Investitionsimpulsen und zeitlich später anfallenden Preiseffekten. Die Klimaschutzstrategien des Landes NRW befördern den durch die Energiewende ausgelösten Transformationsprozess.

- Bei der Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Effekte ist zu berücksichtigen, dass deutliche Veränderungen bei Investitionen im Zeitablauf insgesamt auftreten, sich die **Unterschiede zwischen den Szenarien** der einzelnen Familien und der zugehörigen Basis in einzelnen Jahren aber in Grenzen halten.
- Die **Mehrinvestitionen** in NRW gegenüber der Basis liegen je nach Szenario bis zum Jahr 2050 kumuliert bei 125 bis 238 Mrd. Euro, also durchschnittlich bei rd. 3 bis 6 Mrd. Euro pro Jahr. Die Klimaschutzpolitik erfordert zusätzliche Investitionen vor allem im Gebäudebereich (Wärmedämmung usw.), bei den Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (vor allem Wind, PV) sowie in Effizienztechnik in der Wirtschaft und im Verkehr (Fahrzeuge). Die Netzausbaukosten sind verglichen mit den Investitionen der genannten anderen Bereiche überschaubar.
- Die **Energiepreise** reagieren moderat. Stärkere Preiseffekte treten zwischen einzelnen Szenarien erst zum Ende des Betrachtungszeitraums auf, sind aber insgesamt weder drastisch noch abrupt. Da bis zum Jahr 2050 zum einen auch das allgemeine Preisniveau deutlich gestiegen sein wird und zum anderen die Energieintensität (Energieeinsatz bezogen auf die Wertschöpfung) in den meisten Bereichen deutlich niedriger liegt als heute, sind auch die durch die Kostensteigerungen ausgelösten negativen Effekte begrenzt. Für die energieintensive Industrie gilt dies unter der Annahme, dass die Entlastungen für die Unternehmen im heutigen Rahmen erhalten bleiben.
- Berücksichtigt man die laufende wirtschaftliche Entwicklung, so erzeugen die Szenarien eine zusätzliche Veränderung der Bruttowertschöpfung von maximal 1,2 % im Jahr 2030. D.h. die Szenarien des Klimaschutzplans beeinflussen die Wirtschaft des Landes nicht negativ, vielmehr ist **in Summe ein positiver Effekt** zu erwarten.
- Die erheblichen Investitionseffekte wie auch die Kostensteigerungen führen zu einer durchschnittlich **geringeren Energieintensität der Produktion**. In der Verbindung mit verstärkten allgemeinen Innovationsentwicklungen lassen die Modellierungen erwarten, dass sich die nordrhein-westfälische Wirtschaft schneller und in der Richtung leicht positiver entwickelt als ohne Klimaschutzplan.
- Die **Standortbedingungen** der Industrie in NRW sind geprägt durch eine Reihe von Faktoren wie Infrastruktur, Mitarbeiterqualifikation oder Verflechtung der Unternehmen. Insbesondere für die energieintensive Industrie in Deutschland und in Europa hat sich die Wettbewerbsposition gegenüber den USA in den letzten Jahren aufgrund der dort stark gesunkenen Kosten für Strom und Erdgas verschlechtert. Im Vergleich zu anderen europäischen Staaten und den Industrieländern Asiens besteht bezüglich der Energiekosten aktuell hingegen kaum ein Wettbewerbsnachteil für die deutsche Industrie. Die Industrie sieht sich in den vergangenen Jahren aber einer steigenden Abgabenbelastung auf Energieträgerpreise ausgesetzt, die nur teilweise durch Sonderregelungen kompensiert wird. Die Implementierung von Klimaschutzmaßnahmen sollte nach Möglichkeit **wettbewerbsneutral** gestaltet werden, um Verlagerungseffekte der Wirtschaft zu verhindern.

Impactbereich Beschäftigungseffekte

Je nach Szenario liegt die Beschäftigung im Jahr 2030 um bis zu 17.500 (Sz. C2) über der Basisentwicklung. Im ungünstigsten Fall (Sz. A1) ist im Jahr 2030 praktisch keine Abweichung zur Basisentwicklung feststellbar. Die stärksten positiven Effekte kann die Bauwirtschaft verzeichnen. Diese positiven Effekte sind klein im Vergleich mit der allgemeinen volkswirtschaftlichen Entwicklung.

- Die Beschäftigung in NRW wird durch eine Reihe von Treibern beeinflusst, unter anderem durch den **demografischen Wandel**. In allen Szenarien wird mit einem Rückgang der Beschäftigung gerechnet, diese Entwicklung ist aber unabhängig vom der Klimaschutzplan des Landes NRW.
- Die **Wirkung der Klimaschutzstrategien** gegenüber der Basisentwicklung ist in den meisten Szenarien (leicht) positiv. Leicht positive Beschäftigungseffekte der Szenarien des Klimaschutzplans werden beispielsweise in den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen erzielt.
- Einzig die **Bauwirtschaft** kann höhere positive Beschäftigungswirkungen von knapp 4 % (2030) über der Basisentwicklung generieren. So könnte die Erwerbstätigkeit in der Baubranche im Jahr 2030 um rund 5.000 bis zu rund 15.500 Beschäftigte höher liegen als in der Basisentwicklung. Ursache hierfür ist das erhebliche Investitionsvolumen infolge des energieeffizienten Bauens und somit eine Folge der Klimaschutzstrategien.
- Das **produzierende Gewerbe** und darin die energieintensiven Industrien zeigen in den unterschiedlichen Szenarien moderate Verluste von durchschnittlich 0,16 % in 2030 (rund 2.000 Beschäftigte im produzierenden Gewerbe) gegenüber der Basisentwicklung.
- Die Transformation hin zu einer „Low Carbon Gesellschaft“ erfordern geänderte **Beschäftigungsqualifikationen** in der Wirtschaft. Die künftigen Fachkräfte sind während der Ausbildung auf die neuen Berufsherausforderungen vorzubereiten.

Impactbereich Sozialverträglichkeit

Für keinen Haushaltstyp und kein Szenario des Klimaschutzplans ergeben sich Hinweise auf eine soziale Unverträglichkeit. Aus den Szenarien des Klimaschutzplans ergeben sich weder im Bereich Wohnen noch im Bereich Mobilität nennenswerte Be- oder Entlastungen für die Haushalte in NRW. Wichtig ist jedoch die Umsetzung der in den AGs diskutierten flankierenden Maßnahmen und die Berücksichtigung der allgemeinen Lage auf den regional und lokal sehr unterschiedlichen Wohnungsmärkten.

- Im **Bereich Wohnen** sind mit den Szenarien des Klimaschutzplans vergleichsweise niedrige Be- und Entlastungen verbunden, sodass sich für keinen Haushaltstyp und kein Szenario Hinweise auf eine soziale Unverträglichkeit ergeben.
- Die maximale Mehrbelastung liegt bei nur 0,17 % des verfügbaren Haushaltseinkommens. Dabei sind die unterschiedlichen Haushaltstypen leicht unterschiedlich betroffen. Besonderes Augenmerk ist bei der Umsetzung der Sanierungsstrategien auf einkommensschwache Haushalte und Alleinlebende (unabhängig vom Alter) sowie Alleinerziehende zu legen.
- Im **Mietwohnungsbereich** ergeben sich in den Szenarien mit höheren Sanierungsraten geringe bis kaum spürbaren Be- und Entlastungen von -3 bis +4 Euro je Haushalt und Monat. Im Szenario mit der geringsten Sanierungsrate liegt die Belastung langfristig mit 6 bis 8 Euro pro Monat und Haushalt etwas höher.
- Im **selbst genutzten Wohneigentum** zeigen sich langfristig spürbare **Entlastungen** von bis zu 20 Euro pro Monat und Haushalt **in allen Szenarien**. Die Heizkosteneinsparung (Entlastung) steigt im Vergleich zum Basisszenario in allen Szenarien des Klimaschutzplans stärker an als die energiebedingten Mehrkosten (Belastung).
- Die **Ausgaben** für den **privaten Stromverbrauch** sinken in allen Szenarien um 6 bis 12 Euro pro Monat und Zwei-Personenhaushalt - trotz der im Vergleich zur Basis leicht erhöhten Strompreise. Der Grund liegt in einer deutlich stärkeren Entwicklung im Bereich der Energieeffizienz.
- Für die Beziehenden von **wohnungsbezogenen Transferleistungen** sind keine Effekte zu erwarten, da Bruttokaltmiete und Heizkosten von der öffentlichen Hand getragen werden. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass energetisch sanierter Wohnraum als angemessen akzeptiert wird. Für Wohngeldempfangende sollte eine energetische Modernisierung im Bedarfsfall warmmietenneutral gestellt werden.
- Die Effekte auf die **kommunalen Haushalte** sind im Vergleich zu den gesamten von ihnen getragenen wohnungsbezogenen Transferleistungen sehr niedrig. Ggf. ist ein Ausgleich zwischen Kommunen, Land und Bund notwendig.
- Im Bereich **Mobilität** ist das Szenario des Klimaschutzplans durch die Abnahme der Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), den verminderten Zuwachs der Pkw-Verfügbarkeit und dem Umstieg auf andere Verkehrsmittel wie z. B. Öffentlichen Verkehr (ÖV) und Rad gekennzeichnet.
- Die im Szenario des Klimaschutzplans skizzierte **Optimierung des ÖPNV- Angebots** lässt insbesondere Haushalte in dicht besiedelten Gebieten und Städten und Haushalte ohne Pkw profitieren. Der optimierte ÖPNV erleichtert den Umstieg vom eigenen Pkw auf den ÖPNV und bietet den Haushalten damit zudem die Möglichkeit, zusätzliche finanzielle Mittel frei zu setzen, die für andere Zwecke eingesetzt werden können.

Impactbereich Umwelt

Die **Umwelt** profitiert, da die Luftschadstoffemissionen in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber der Basisentwicklung deutlich reduziert werden. Auch die Boden- und Gewässerbelastung sowie die Schallemissionen werden positiv beeinflusst.

- Die Gesamtwirkung der Szenarien des Klimaschutzplans auf die Umwelt wird dominiert von der **deutlichen zusätzlichen Abnahme der Emissionen von Luftschadstoffen** bis 2030 und bis 2050. Ein Großteil der zusätzlichen, nicht klimaschutzrelevanten Auswirkungen der Strategien des Klimaschutzplans NRW auf die Umwelt wird bereits bis 2030 wirksam, bis 2050 werden deutliche, zusätzliche Umweltwirkungen zu verzeichnen sein.
- **Luftschadstoffemissionen** werden durch den stark rückläufigen Einsatz von luftschadstoffemittierenden Energieträgern bis 2050 in allen Sektoren (Umwandlung, Industrie, Verkehr, Gebäude) zusätzlich deutlich reduziert, im Szenario BCCS ist der Effekt jedoch geringer. Die Folgewirkung ist v.a. eine deutliche Verbesserung der Luftqualität für die Menschen in NRW (siehe auch Auswirkungen auf die Gesundheit). Die deutliche Abnahme von Schadstoffeinträgen aus der Luft wirkt sich zudem gleichermaßen positiv auf die Lebenswelt von Tieren und Pflanzen und den Zustand von Böden und Gewässern aus. Der Umweltzustand in NRW wird sich deutlich verbessern. Alle damit heute verbundenen Folgekosten und Ausgaben werden reduziert.
- **Ammoniakemissionen und Gerüche** durch organische Wirtschaftsdünger werden durch verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement bis 2030 zusätzlich deutlich abnehmen. Das hat eine leichte zusätzliche Abnahme der Feinstaubbelastung zur Folge.
- Ein optimiertes Wirtschaftsdüngermanagement kann die **Nitratbelastung** von Grund- und Fließgewässern grundsätzlich verringern. Das zusätzliche Ausmaß kann jedoch nicht bestimmt werden.
- Die **Lärmbelastung** durch den Verkehr wird lokal/regional durch Abnahme des motorisierten Individualverkehrs bzw. der Pkw-Anzahl und effizientere Gütertransporte zusätzlich zurückgehen, ab 2040 wird die Wirkung deutlicher. Das wirkt sich positiv auf die Gesundheit des Menschen aus. Ausnahme sind lokale Wirkungen, z. B. durch den Neubau von Verkehrsinfrastruktur.

Impactbereich Gender

Die Szenarien des Klimaschutzplans führen im Vergleich zu den Basisszenarien zu unterschiedlichen Auswirkungen auf Männer und Frauen. Eine eindeutige und durchgängige Mehr- oder Minderbelastung von Männern oder von Frauen ist insgesamt nicht feststellbar.

- Im **Bereich Wohnen** entstehen durch die Sanierungs-Maßnahmen der Szenarien des Klimaschutzplans ausschließlich marginale geschlechtsspezifische finanzielle Be- und Entlastungen. Allerdings sind alleinlebende Seniorinnen, die besonders häufig in energetisch sanierungsbedürftigem Wohnraum leben, in besonderem Maß von einer intensivierten Sanierungstätigkeit betroffen. Zur Vermeidung negativer Folgen auf die Lebensqualität und die Möglichkeiten für ein selbständiges und selbstbestimmtes Leben sollten daher temporäre oder dauerhafte Lösungen für Ersatzwohnraum angeboten werden.

- Im **Bereich Mobilität** zeichnet sich im Vergleich der Geschlechter innerhalb der Szenarien des Klimaschutzplans, aber ähnlich ausgeprägt auch in der Basisentwicklung für Männer ein größerer Veränderungsdruck ab. Ursache hierfür ist, dass Männer häufiger als Frauen im Besitz eines (oder mehrerer) Autos sind, häufiger den motorisierten Individualverkehr (MIV) als Hauptverkehrsmittel nutzen und eine deutlich höhere durchschnittliche PKW-Fahrstrecke pro Jahr aufweisen. Im Vergleich von Haushaltsformen und Altersgruppen ist zu erwarten, dass eine Verteuerung der Anschaffungskosten von PKW aufgrund der höheren Besitzquote Senioren stärker als Seniorinnen belasten wird. Eine Verteuerung der Treibstoffkosten, wie sie gleichermaßen im Basis- wie im Klimaschutzplan-Szenario auftritt, wird sich dagegen in besonderer Weise auf Männer zwischen 25 und 60 Jahren – die eine besonders hohe PKW-Fahrleistung aufweisen – auswirken. Zur Vermeidung einer drohenden Einschränkung der beruflichen Mobilität und Arbeitsmarktflexibilität sind passgenaue Alternativangebote beim öffentlichen Verkehr (ÖV) oder privaten Mitfahrgelegenheiten erforderlich.
 Auf der anderen Seite kann eine Verteuerung des MIV für alleinerziehende Frauen in besonderer Weise zu einer finanziellen Mehrbelastung oder einer Erschwernis der Organisation des Familienalltags führen. Neben der familiengerechten Anpassung des ÖV sind hierbei weiterführende Ansätze aus dem Bereich der Stadtentwicklung und Infrastrukturplanung sinnvoll, um negative Auswirkungen zu vermeiden.

- Im **Bereich Beschäftigung** sind leichte positive Zuwächse in stark männerdominierten Branchen und damit einseitig positive Effekte auf Arbeitsplatzzuwächse und -sicherheit für Männer zu erwarten. Allerdings sind die quantitativen Beschäftigungseffekte insgesamt nur gering ausgeprägt.
 Hinsichtlich der durch den Klimaschutzplan angestoßenen Veränderungen der Qualifikationsprofile sollte sichergestellt werden, dass insbesondere in den Berufsfeldern mit einem signifikanten Frauenanteil ein geschlechtergerechter Zugang zu Aus- und Weiterbildungen gewährleistet wird.

Impactbereich Gesundheit

Die Szenarien des Klimaschutzplans haben – je nach Szenario - einen positiven oder neutralen Effekt auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung. Die positiven Wirkungen verstärken sich zwischen 2030 und 2050.

- Luft- und andere Schadstoffe sowie Geräuschemissionen und Trinkwasserbelastungen können einen **Einfluss auf den Gesundheitszustand** von Menschen haben. Zusätzlich zu den relevanten Umwelteffekten wurde daher die Wirkung der Szenarien des Klimaschutzplans auf den Gesundheitszustand untersucht. Aufgrund der Datelage war aber nur eine semi-quantitative Auswertung einiger Wirkungszusammenhänge möglich.
- Auf Grund des deutlichen Rückgangs luftschadstoffemittierender Energieträger (siehe Impactbereich Umwelt) ist bis zum Jahr 2030 in den Szenarien A, A1 und C1 mit einem leichten und in den verbleibenden Szenarien mit einem deutlicheren Rückgang an Luftschadstoffen zu rechnen.
- Auf Basis der ermittelten Effektstärken – im Sinne der Elastizität von Schadstoffreduktionen – auf den Gesundheitszustand wird sich in den Szenarien A2, B, B1, B2, BCCS, C und C2 bis zum **Jahr 2030** eine **Verbesserung des Gesundheitszustands** in der Bevölkerung einstellen, während in den Szenarien A, A1 und C1 von einem geringen positiven Effekt auf den Gesundheitszustand auszugehen ist.
- Bis zum **Jahr 2050** werden luftschadstoffemittierende Energieträger weiter deutlich zurückgehen. Im Ergebnis werden in allen hier untersuchten Szenarien **erhebliche Verbesserungen im Gesundheitszustand** durch den Rückgang der Luftschadstoffe (Feinstaub und Ozon) erreicht. Im Szenario BCCS ist nur mit leichten Verbesserungen zu rechnen.
- Der Rückgang beim **Nitrat im Grundwasser** ist hingegen in allen Szenarien zu vernachlässigen. So weist der Nitratgehalt in Grundwasser in Nordrhein-Westfalen zwar vergleichsweise hohe Werte auf, ein Anstieg ließ sich in den letzten Jahren aber nicht feststellen. Zugleich wird der Grenzwert von 50 mg pro Liter beim Trinkwasser durch die entsprechende Aufbereitung bereits heute sicher eingehalten.
- Es ist davon auszugehen, dass z. B. durch eine verringerte Anzahl an PKW und ein geändertes Mobilitätsverhalten spätestens ab dem Jahr 2040 der **Rückgang der Lärmbelastung** im Bereich Verkehr zu einer leichten Verbesserung des Gesundheitszustands führen wird.
- Der verbesserte Gesundheitszustand wird darüber hinaus zu Einsparungen bei den **Gesundheitskosten** und somit den Gesundheitsausgaben führen.

Untersuchungsteil I: Einleitung und Methodik

1 Einleitung

(1) Am 23. Januar 2013 wurde durch den nordrhein-westfälischen Landtag das **Klimaschutzgesetz NRW** verabschiedet. Der Weg zur Erreichung der Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen soll im **Klimaschutzplan NRW** aufgezeigt werden, der zurzeit von der Landesregierung unter umfassender Beteiligung von gesellschaftlichen Gruppen sowie der kommunalen Spitzenverbände erstellt wird. Abschließend soll der Klimaschutzplan vom Landtag beschlossen werden.

Der Fokus der für den Klimaschutzplan vom Wuppertal Institut nach den Vorgaben der beteiligten Gruppen berechneten Szenarien lag auf dem positiven Haupteffekt der Reduzierung der Treibhausgasemissionen in NRW. Eingang in diese Szenarien fanden die im Partizipationsprozess entwickelten langfristigen **Klimaschutzstrategien**, die bis 2050 **bedeutende Reduktionspfade** und die dafür notwendigen Entwicklungen aufzeigen.

(2) Die hier vorgelegte **Impactanalyse** ermöglicht für die politischen Entscheidungsträger, aber auch für die Akteure im Beteiligungsprozess eine umfassende, **qualifizierte Beurteilung** der Auswirkungen der Szenarien, die über die Treibhausgasreduzierung hinausgehen. Die Impactanalyse ist demnach eine zusätzliche Entscheidungshilfe insbesondere für die politischen Entscheidungsträger im Landtag zur Bewertung der Szenariovarianten und der zugrunde liegenden **Strategien** sowie zum Beschluss über den Klimaschutzplan.

Im Rahmen der Impactanalyse erfolgt eine umfassende **Analyse möglicher Auswirkungen** der im Klimaschutzplan erarbeiteten **Strategien** (nicht: der einzelnen Maßnahmen) anhand wichtiger Impactbereiche und Kenngrößen (Indikatoren) sowohl für das **Energiesystem** als auch für wichtige, **ökologische, ökonomische und soziale Aspekte**.

(3) **Auch ohne** das **Klimaschutzgesetz** und den Klimaschutzplan werden sich die Stromerzeugung und der Energieträgereinsatz in Deutschland und NRW verändern, Stromnetze werden ausgebaut und die Energieeffizienz wird durch den technischen Fortschritt zunehmen. Dies wird nicht nur **Veränderungen** in den Emissionen mit sich bringen, sondern auch Investitionen erfordern, die anfallenden Kosten müssen getragen werden.

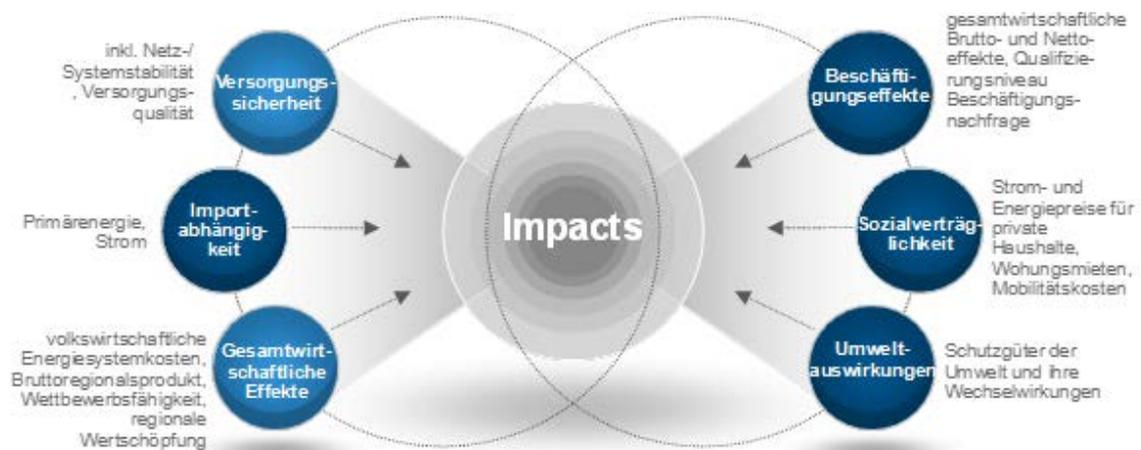
Die **Impactanalyse** zielt ausschließlich darauf ab, die **zusätzlich zu der „Ohnehin-Entwicklung“ auftretenden Effekte** der Umsetzung der Klimaschutzstrategien zu ermitteln und zu bewerten.

Sie beruht auf einem **Vergleich mit** einer vom Klimaschutzgesetz und Klimaschutzplan **unbeeinflussten Entwicklung**.

(4) Die Impactanalyse zu den Auswirkungen des Klimaschutzplans NRW wurde von der Prognos AG in Zusammenarbeit mit der Energynautics GmbH und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH (GWS) erstellt. Den **Auftrag** hierzu erteilte das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen im November 2013.

(5) Im Zuge der Impactanalyse werden die Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber einer Basisentwicklung und untereinander für insgesamt **sechs Impactbereiche** ermittelt (siehe Abbildung 3):

Abbildung 3: Übersicht zu den untersuchten Impactbereichen



Quelle: Prognos AG 2014

Zusätzlich wird untersucht, ob **genderspezifische** Auswirkungen in hierfür relevanten Impactbereichen (Wirtschaft, Beschäftigung, Sozialverträglichkeit und Umwelt/Gesundheit) auftreten.

(6) Der nunmehr vorgelegte **Endbericht** dokumentiert umfassend alle wichtigen Annahmen und Ergebnisse der Impactanalyse. Er enthält gegenüber dem Ergebnisstand, der den Arbeitsgruppen des Klimaschutzplanprozesses Ende Juni 2014 vorgestellt wurde, keine inhaltlichen Modifikationen. In einzelnen Fällen wurden kleinere Korrekturen vorgenommen, die aber ohne Auswirkung auf das Gesamtergebnis blieben. Allerdings wurden Anregungen aus den Arbeitsgruppensitzungen aufgenommen sowie die schriftlichen Stellungnahmen intensiv ausgewertet und soweit sinnvoll und machbar berücksichtigt.

1.1 Der Klimaschutzplan des Landes Nordrhein-Westfalen

(1) Das Land Nordrhein-Westfalen erließ als erstes Bundesland im Januar 2013 ein **Klimaschutzgesetz**. Zentrales Instrument des Gesetzes ist der **Klimaschutzplan**, der die notwendigen Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der verbindlichen Klimaschutzziele, die Treibhausgase bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 % und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % zu senken, konkretisieren und umsetzen soll.

Seit Ende des Jahres 2012 wird der Klimaschutzplan für den **Bereich Klimaschutz** in einem breit angelegten Dialog- und Beteiligungsverfahren erarbeitet. Insgesamt befassen sich sechs thematisch gegliederte Arbeitsgruppen mit der Diskussion und Festlegung von Vorschlägen für Ziele, **Strategien und Maßnahmen**, mit denen die Klimaschutzziele Nordrhein-Westfalens realisiert werden können. Darüber hinaus wurden ein Koordinierungskreis und eine Arbeitsgruppe für Fragen der Anpassung an die Klimafolgen eingerichtet.

(2) Gemäß § 6 Absatz 4 Satz 4 des Klimaschutzgesetzes sollen **nachhaltige** Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele im Klimaschutzplan enthalten sein, d. h. bei ihrer Festlegung sollen ökologische, ökonomische und soziale Belange Berücksichtigung finden. In der Erarbeitung des Klimaschutzplans wurde deutlich, dass es für die nachhaltige Bewertung der Strategien und Auswahl der Szenarien notwendig sein wird, auch **mögliche Auswirkungen auf die Energiesysteme sowie die ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen** auf die Gesellschaft zu analysieren und darzustellen.

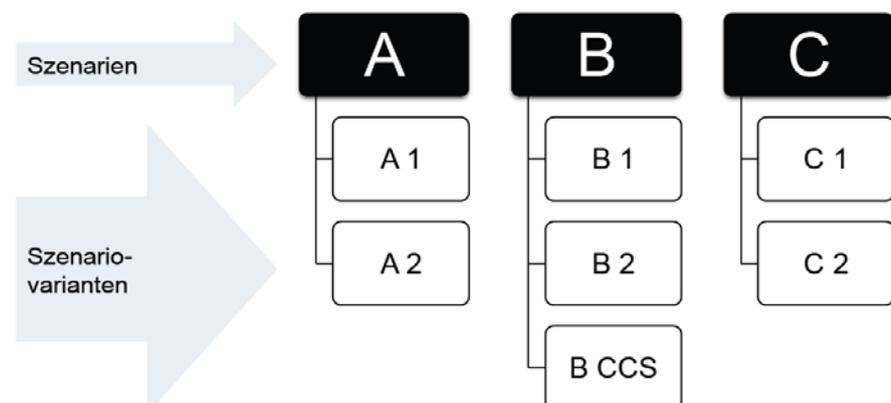
Daraufhin wurde beschlossen, vor der endgültigen Verabschiedung der Strategien und Maßnahmen eine **Impactanalyse** durchführen zu lassen, die mögliche **wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen** (Impacts) **der Strategien** des Klimaschutzplans NRW aufzeigen soll. Für wichtige Bereiche sollen Wirkungen identifiziert werden, die bis 2050 zusätzlich zu ohnehin zu erwartenden Veränderungen originär durch die Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans ausgelöst werden könnten.

1.2 Die Szenarien des Klimaschutzplans NRW

(1) Zentrale Aufgaben des Dialog- und Beteiligungsprozesses waren neben der **Entwicklung von Strategien** und Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzplans auch die **Quantifizierung** der klimaschutzbezogenen Wirkungen der von den Akteuren in den Arbeitsgruppen vorgeschlagenen Strategien.

(2) Die Annahmen zu den **Strategien** sowie Parameter und Rahmendaten für die Modellierung wurden von den **Arbeitsgruppen** erarbeitet und abgestimmt. Auch die übergeordnete Struktur der Szenarien des Klimaschutzplans (vgl. Abbildung 4) sowie ihre Kombination, basiert auf den Vorgaben der Arbeitsgruppen. Entwickelt wurden die drei Grundscenarien A, B und C sowie jeweils zwei oder drei Varianten zu diesen Grundscenarien. Zu Funktion und Grenzen der Szenarien, den zugehörigen Grundannahmen und ihrer Beschreibung im Einzelnen wird an dieser Stelle auf die ausführliche Dokumentation des Wuppertal Instituts verwiesen¹.

Abbildung 4: Übersicht zur Struktur der Szenarien des Klimaschutzplans



Quelle: Wuppertal Institut 2013

Eine detailliertere Übersicht zur Kombination der Annahmen und Strategien in den Szenarien und Szenariovarianten zeigt Abbildung 5. Abweichungen in den jeweiligen Grundannahmen zeigen sich in den Annahmen der Arbeitsgruppen zur Entwicklung der Stromerzeugung, zur Industrie und zum Gebäudebereich. In dieser Übersicht nicht aufgeführte Rahmenannahmen und Parameter werden in allen Szenarien des Klimaschutzplans einheitlich definiert.

¹ Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses – Wuppertal Institut 19.12.13

Abbildung 5: Übersicht zu den Annahmen der Szenarien und ihrer Varianten

Szenarien	A	A 1	A 2	B	B 1	B 2	B _{CCS}	C	C 1	C 2						
	Szenario		Varianten		Szenario		Varianten		Szenario		Varianten					
Stromerzeugung (AG1)																
Ausbau EE N= niedrig; H= hoch; 100% = 100% an der Stromerzeugung 2050	N		H		H		100%		N		H		N		100%	
Stromnachfrage* K= ungefähr konstant, S= sinkend	K				K				S							
Industrie (AG2)																
Wachstum	1,2%				1,2%				0,6%							
Technologie	BAT				LC				LC							
Gebäude (AG3)																
Sanierungsrate	1,4%		0,7%		1,4%		2,0%		1,4%		2,0%		2,0%			

*Hierbei handelt es sich um eine abhängige Größe, für die keine konkreten Vorgaben für die Szenarienerstellung gemacht werden konnten, sondern die sich aus der Kombination der anderen Vorgaben als Modellergebnis (endogen) ergibt

Quelle: Wuppertal Institut 2013

(3) Die **Quantifizierung** dieser Szenarien und Szenariovarianten wurde vom Wuppertal Institut anhand eines Energiesystemmodells vorgenommen. Auf der Grundlage von Abbildung 5 wurden insgesamt **zehn Szenarien für die zukünftige Entwicklung des Energiesystems in NRW** berechnet.

Das **Ergebnis** der Berechnungen sind die **Treibhausgasminde-rungen in NRW** für die Jahre 2020 bis 2050².

(4) Die Annahmen und Ergebnisse dieser zehn Szenarien des Klimaschutzplans bilden die quantitative Grundlage für die Impactanalyse. Diese ermittelt und beschreibt die Auswirkungen der in den Szenarien abgebildeten Strategien für das Land Nordrhein-Westfalen auf die Bereiche Versorgungssicherheit, Importabhängigkeit, Wirtschaft und Beschäftigung. Sie betrachtet darüber hinaus die Sozialverträglichkeit und Umweltauswirkungen der Strategien, auch unter Gender- und Gesundheitsaspekten.

Dabei werden einerseits die Abweichungen zwischen den einzelnen Szenarien ermittelt. Von besonderem Interesse sind darüber hinaus die Auswirkungen gegenüber einer „Nicht-Umsetzung“ der Klimaschutzstrategien in NRW, also der Vergleich mit einer Basisentwicklung ohne Klimaschutzplan.

² siehe: Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses – Wuppertal Institut 19.12.13

(5) Im Beteiligungsprozess wurde für die Entwicklung der Treibhausgasminderungen bis 2050 ohne die Umsetzung des Klimaschutzplans kein eigenständiges Szenario modelliert. Deshalb wurde von der Prognos AG für die beiden industriellen Wachstumspfade der Wirtschaftsentwicklung (0,6 %, 1,2 %) zusätzlich jeweils ein Basisszenario erstellt (vgl. Kap. 2). Anhand der beiden Basisszenarien können die Effekte der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans für die einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber einer unbeeinflussten Entwicklung für die Impactbereiche bestimmt werden.

Tabelle 1: Rahmendaten der Szenarien des Klimaschutzplans

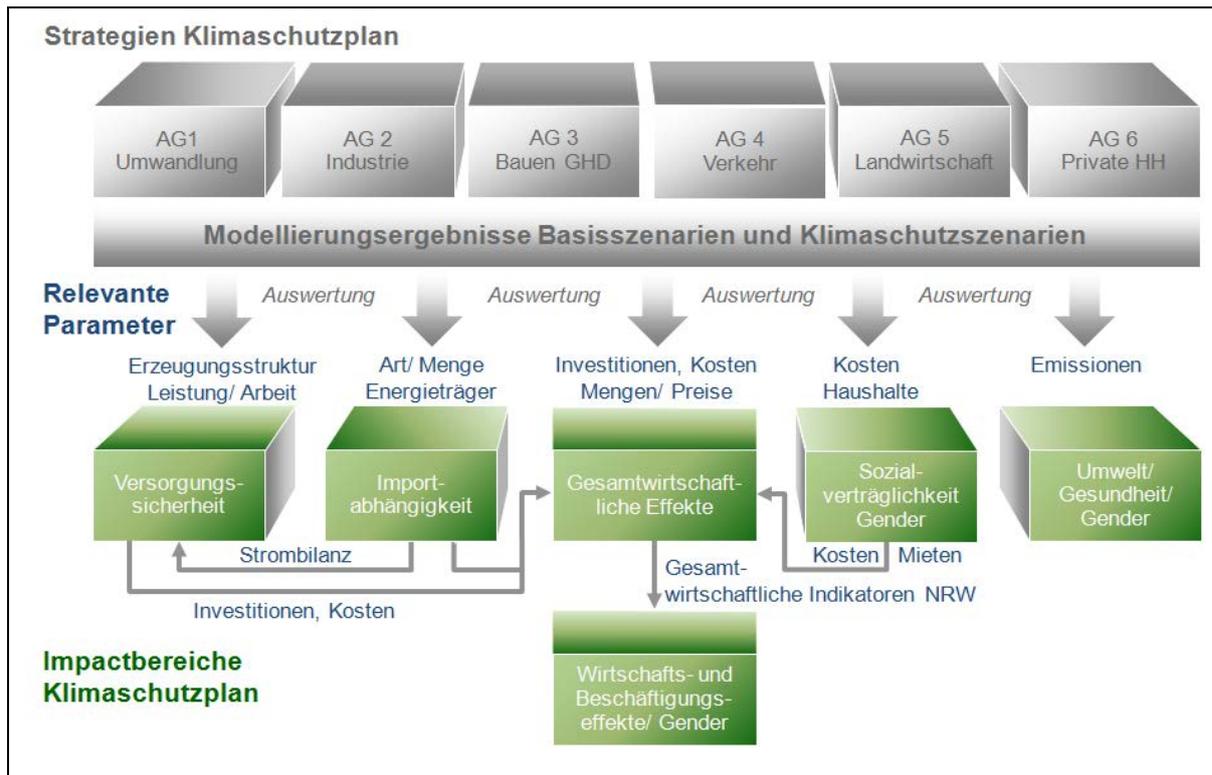
	Parameter	Einheit	2009	2010	2020	2030	2040	2050	Quellen
Sozioökonomische Kenngrößen	Wohnbevölkerung NRW	1.000		17.819	17.476	17.183	16.745	16.090	Deutschland-Report 2035 (Böhmer et al. 2010)
	Bruttowertschöpfung Verarbeitendes Gewerbe (niedrige Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	70	83	92	96	101	107	Energieszenarien (Niveau), bzw. WWF (2009), Referenzszenario (Wirtschaftsstruktur)
	Bruttowertschöpfung Verarbeitendes Gewerbe (mittlere Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	70	83	102	117	126	135	VCI (2013) für einzelne Branchen in NRW, nach 2030 vermindertes Wachstum
	Bruttowertschöpfung Verarbeitendes Gewerbe (hohe Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	70	83	102	117	135	155	VCI (2013) für einzelne Branchen in NRW, nach 2030 Fortschreibung der Wachstumsraten von 2011 bis 2030.
	Bruttowertschöpfung Dienstleistungssektor	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	317	324	337	367	389	418	Deutschland-Report 2035 (Böhmer et al. 2010), Niveau angepasst auf IST-Daten im Jahr 2008.
	Bruttowertschöpfung gesamt (niedrige Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	427	442	476	520	554	598	Deutschland-Report 2035 (Böhmer et al. 2010), Niveau angepasst auf IST-Daten im Jahr 2008.
	Bruttowertschöpfung gesamt (mittlere Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	427	442	487	542	579	626	eigene Annahme auf Basis der BWS des Verarbeitenden Gewerbes
	Bruttowertschöpfung gesamt (hohe Variante)	BWS real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	427	442	487	542	588	646	eigene Annahme auf Basis der BWS des Verarbeitenden Gewerbes
	Wirtschaftsleistung (niedrige Variante)	BIP real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	469	484	524	570	607	655	leicht schwächer als die Bundesentwicklung in Prognos/EWI/GWS (2010): Energieszenarien 2010
	Wirtschaftsleistung (mittlere Variante)	BIP real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	469	484	534	592	632	683	eigene Annahme auf Basis der veränderten BWS des Verarbeitenden Gewerbes
Wirtschaftsleistung (hohe Variante)	BIP real (Mrd. EUR ₂₀₁₀)	469	484	534	592	641	703	eigene Annahme auf Basis der veränderten BWS des Verarbeitenden Gewerbes	
Energieträger- und CO ₂ -Zertifikatspreise	Energieträgerpreise konventionelle Feuerung								
	Ölpreis (Weltmarkt)	USD ₂₀₁₀ /Barrel		80	118	135	140	150	WEO 2010 (IEA/OECD 2010), abweichend von ESz BuReg!
	Erdgas frei Kraftwerk	EUR ₂₀₁₀ /MWh		22	26	30	33	37	WEO 2010 (IEA/OECD 2010), abweichend von ESz BuReg!
	Steinkohlepreis Kraftwerk frei	EUR ₂₀₁₀ /MWh		11	11	13	18	18	WEO 2010 (IEA/OECD 2010), abweichend von ESz BuReg!
	Braunkohlepreis Kraftwerk frei	EUR ₂₀₁₀ /MWh		5,0	5,1	5,2	5,4	5,5	Wuppertal Institut
	Kernbrennstoff UO ₂ Kraftwerk frei	EUR ₂₀₁₀ /MWh	1,8	1,9	2,4	2,6	2,8	3,0	California Energy Commission (2010)
	Energieträgerpreise Erneuerbare Energien								
	Biomasse fest	EUR ₂₀₁₀ /GJ	5,7	5,9	6,5	6,8	7,3	7,9	Nitsch et al. (2010): BMU Leitstudie 2010
	Biogas	EUR ₂₀₁₀ /GJ	6,1	6,1	7,2	7,4	7,5	7,6	Nitsch et al. (2010): BMU Leitstudie 2010
	Pflanzenöl	EUR ₂₀₁₀ /GJ	17,0	17,0	18,1	19,3	20,3	21,3	Nitsch et al. (2010): BMU Leitstudie 2010
	Zertifikatspreise								
	CO ₂ -Zertifikatspreise	EUR ₂₀₁₀ /t	13,8	13,0	10,0	25,0	40,0	60,0	Wuppertal Institut 2013 nach Grubb 2012

Quelle: Zeiss, C.; Fishedick, M.; Espert, V. (2014): Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses. Düsseldorf/Wuppertal: Wuppertal Institut im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

1.3 Methodischer Überblick zur Impactanalyse

(1) Wesentliche Eingangsparameter für die Berechnungen in den einzelnen Impactbereichen sind die Ergebnisse der für NRW berechneten Szenarien des Klimaschutzplans und der Basisszenarien (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Vorgehensweise Impactanalyse



Quelle: Prognos AG

(2) Aus der Analyse und dem Vergleich der technischen und organisatorischen Ausgestaltung der einzelnen Szenarien werden wesentliche Eckdaten zur Entwicklung in den einzelnen Impactbereichen abgeleitet.

So werden die mit den Szenarien verbundenen Investitionen und laufenden Kosten ebenso transparent wie die Veränderungen in der Kostenstruktur der Industrie und der privaten Haushalte oder die zusätzliche Beeinträchtigung bzw. Entlastung von Umwelt und Gesundheit. Auch Verschiebungen in der finanziellen und organisatorischen Belastung gesellschaftlicher Gruppen können vergleichend bewertet werden und bilden die Grundlage für eine genderspezifische Betrachtung.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Effekte in den einzelnen Impactbereichen ist den jeweils ersten Unterkapiteln 3.1, 4.1 usw. zu entnehmen.

(3) Bei der Impactanalyse wurde in enger Abstimmung mit dem Wuppertal Institut gearbeitet. Die thematische Zuordnung der Arbeiten auf die Prognos AG und ihre Unterakkordanten zeigt die folgende Übersicht:

Prognos AG	Erstellung Basisszenario Auswertung Szenarien Klimaschutzplan Importabhängigkeit Sozialverträglichkeit Umwelt Gender- und Gesundheitsaspekte
energynautics GmbH GWS mbH/ Prognos AG	Versorgungssicherheit Gesamtwirtschaftliche/ Wirtschafts- und Beschäftigungseffekte

(4) **Ermittlung und Aufbereitung der Ergebnisse**

Die Wirkungen der Strategien in den Szenarien des Klimaschutzplans werden anhand jeweils spezifischer Parameter ermittelt oder abgeleitet. Das Ergebnis wird in Form von ausgewählten, für den jeweiligen Impactbereich **spezifischen Indikatoren** abgebildet. Beispielsweise stellt die Bruttowertschöpfung einen spezifischen Indikator für die wirtschaftliche Entwicklung dar. Innerhalb der Impactbereiche werden die zugehörigen Indikatoren und das jeweilige Vorgehen im Einzelnen beschrieben (s. Kap. 3 folgende).

Die Indikatoren erfüllen **zwei Funktionen**: Zum einen bilden sie die Grundlage für die Bewertung der Wirkungen für die Impactbereiche, zum anderen können sie im Monitoringprozess, der mit Verabschiedung des Klimaschutzplans beginnt, als Maßstab für die Verfolgung seiner Wirksamkeit eingesetzt werden.

Die **Bewertungen** in den einzelnen Impactbereichen erfolgen **gegenüber den Basisszenarien**. Dieser Vergleich dient dazu, die Nettoeffekte der Strategien gegenüber einer Entwicklung ohne Klimaschutzplan herauszuarbeiten. Zusätzlich werden auch die einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans anhand ihrer Nettoeffekte einander gegenübergestellt.

(5) Die **Aufbereitung der Gesamtergebnisse** aus allen Impactbereichen ist zweistufig angelegt:

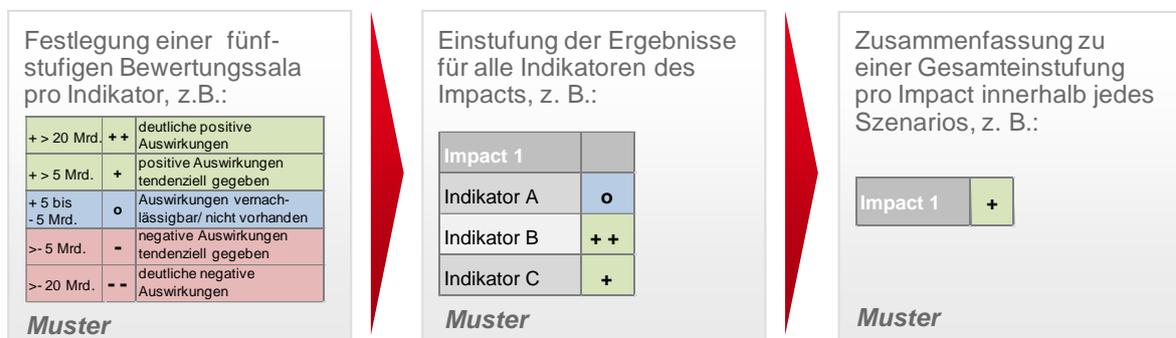
Stufe 1: Zusammenfassende Bewertung jedes Impactbereichs und Gesamtbewertung jedes Szenarios aus dem Klimaschutzplan

Stufe 2: Vergleich bzw. Gegenüberstellung der Bewertungen der Szenarien des Klimaschutzplans

Zusammenfassende Bewertung jedes Impactbereichs

Zuerst wird für jeden Indikator eines Impactbereichs eine fünfstufige **Bewertungsskala** festgelegt. Die Ergebnisse der Berechnungen werden anhand dieser Skala gegenüber dem jeweiligen Basiszenario eingeordnet (vgl. Kapitel 2). Daraufhin werden die Ergebnisse für alle Indikatoren des Impacts schrittweise zu einer Gesamteinstufung für jedes Szenario zusammengefasst. Das Vorgehen wird exemplarisch in der nachfolgenden Übersicht dargestellt (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Vorgehen zur Bewertung innerhalb der Impactbereiche



Quelle: Prognos AG 2013

Vergleich bzw. Gegenüberstellung der Bewertungen

Für die Gesamtübersicht der Ergebnisse werden die Einstufungen aller Impactbereiche in den zehn Szenarien tabellarisch in einer **Ergebnismatrix** zusammengeführt und einander gegenübergestellt. Ergänzend werden die Stärken und Schwächen des Szenarios in der Gesamtsicht über alle Impactbereiche beschrieben.

Aufgrund der transparenten Aufbereitung stellt die Ergebnismatrix eine belastbare **Grundlage für die Entscheidungsfindung** der AGs und/oder des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) sowie des Landtags in NRW zum weiteren Vorgehen dar.

1.4 Ziel, Selbstverständnis und Aufgabenumfang der Impactanalyse

- (1) Es ist das **Ziel** der Impactanalyse, bestimmte Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans auf nicht-klimaschutzbezogene Bereiche anhand ausgewählter Indikatoren in klar definierten Impactbereichen zu untersuchen. Dabei geht es einerseits um mögliche Auswirkungen auf das **Energiesystem**, andererseits

um ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen der Klimaschutzpolitik auf die Wirtschaft und Gesellschaft.

(2) Es wurde bereits oben darauf hingewiesen, dass **auch ohne das Klimaschutzgesetz** und den Klimaschutzplan **Veränderungen** in Wirtschaft und Gesellschaft eintreten, die z. B. die Stromerzeugung und den Energieträgereinsatz in Deutschland und NRW betreffen. Technologien entwickeln sich, Gebäude werden saniert, Investitionen getätigt. Diese Veränderungen sind nicht Auswirkung des Klimaschutzplans des Landes NRW, sondern fallen „ohnehin“ an.

Die **Impactanalyse** zielt ausschließlich darauf ab, die zusätzlich zu der „Ohnehin-Entwicklung“ auftretenden Effekte der Umsetzung weiterer Klimaschutzstrategien zu ermitteln und zu bewerten. Sie beruht auf einem **Vergleich** der Szenarien des Klimaschutzplans mit einer vom Klimaschutzgesetz und Klimaschutzplan **unbeeinflussten Entwicklung** (Basisentwicklung). Die Basisentwicklung ist aber nicht als Entwicklung ohne Klimaschutzaktivitäten zu sehen. Bereits heute sind Rechtsvorschriften in Kraft, die die Reduktion der Treibhausgase in Europa und Deutschland zum Ziel haben. Auch in der Basisentwicklung wird somit Klimaschutz betrieben, wenn auch auf niedrigerem Intensitätsniveau.

(3) Dabei haben die Basisszenarien den **Anspruch** der Belastbarkeit und Seriosität, aber **nicht** einer **maximalen Eintrittswahrscheinlichkeit**. Die Basisszenarien wurden im **bereits laufenden Klimaschutzplanprozess** entwickelt, in dem Arbeitsgruppen Vorschläge erarbeiteten, die zum Design von Szenarien des Klimaschutzplans durch das Wuppertal Institut führten. In diesem Prozess entstanden methodische Inkonsistenzen wie z. B. die Annahme eines hohen Industriewachstums von 1,2 % ohne eine Berücksichtigung der Auswirkungen dieses Wachstums auf die Dienstleistungsbereiche, das Verkehrsaufkommen und die notwendige Zuwanderung von Arbeitskräften. Mögliche Verzerrungen in den identischen Rahmenannahmen der Basisszenarien und der Szenarien des Klimaschutzplans werden methodisch durch die Bildung von Differenzen zwischen den Ergebnissen der Szenarien eliminiert. Die in den Berechnungen identifizierten Veränderungen beruhen auf der Umsetzung der Klimaschutzstrategien.

Entscheidend für das Design der Basisszenarien war, einen konsistenten Vergleich mit den Szenarien des Klimaschutzplans zu erlauben. Die Vergleichbarkeit hatte somit Vorrang vor der (möglichst hohen) Eintrittswahrscheinlichkeit.

(4) Trotz der grundsätzlich bei Langfristanalysen bestehenden Unsicherheiten **identifiziert** die Impactanalyse die **wesentlichen Auswirkungen** und auch die **dringenden Handlungsfelder** für

die Umsetzung des Klimaschutzplans. Sie fügt die Klimaschutzstrategien zu einem konsistenten Gesamtbild zusammen, quantifiziert die notwendigen Investitionen und gibt erste Hinweise auf mögliche unerwünschte Effekte. Sie beantwortet jedoch nicht die Fragen, wie die notwendigen Investitionen ausgelöst werden und wie die mit dem Klimaschutzplan verbundene Umgestaltung der Gesellschaft bewerkstelligt werden kann.

- (5) Es ist ferner **nicht das Ziel** der Impactanalyse,
- den **Szenarien** des Klimaschutzplanprozesses weitere hinzuzufügen, damit die inhaltliche Komplexität nicht noch weiter erhöht wird
 - Vergleiche mit beliebigen **anderen vorstellbaren Entwicklungen**, z. B. „worst-case“ oder „best-case“ Szenarien anzustellen. Die Impactanalyse führt daher auch keine „Opportunitätsrechnungen“ durch.
 - **Strukturbrüche** aufzudecken. Dies können modellgestützte Szenarien nicht leisten, da sie in der Regel im Kern auf Trendfortschreibungen basieren, die naturgemäß zukünftige Trendbrüche bzw. -sprünge nicht abbilden. Beispiele für Auslöser von Strukturbrüchen sind geopolitische Verschiebungen von Machtverhältnissen oder Bündnissen, klimatische Großereignisse oder sonstige Katastrophen (wie die Nuklearkatastrophe von Fukushima infolge des Tsunamis in Japan), Kriege oder verheerende Stürme. Im positiven Sinne können es bahnbrechende Erfindungen sein, die eine technologische Entwicklung auslösen. Die Wissenschaft verfügt über Szenariotechniken, die die Folgen von mutmaßlichen Strukturbrüchen gezielt erforschen (sogenannte explorative Szenarien), sie sind aber nicht geeignet, um eine Impactanalyse im Sinne dieser Untersuchung zu erstellen.

(6) Die Impactanalyse untersucht **Strategien** bzw. deren Operationalisierung in den **Szenarien** des Klimaschutzprozesses, sie analysiert aber auftragsgemäß **keine Maßnahmen**.³

(7) Die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Anpassung an mittel- bis langfristige klimatische Veränderungen („**Klimafolgenanpassung**“) ist ebenfalls nicht Gegenstand der Impactanalyse.

³ Die begleitend zur Impactanalyse erstellte Fachgutachterlichen Stellungnahme zu den Umweltauswirkungen der rahmensetzenden Maßnahmenvorschläge geht somit über den Detaillierungsgrad der Impactanalyse hinaus.

1.5 Voraussetzungen und zentrale Grundannahmen

(1) Wichtige Grundannahmen sind im Kapitel 2 zu den Basis-szenarien sowie in den Kapiteln zu den einzelnen Impactbereichen dargestellt. Annahmen, die für die gesamte Untersuchung von Bedeutung sind, werden nachfolgend dargestellt.

(2) Die **wichtigste Grundannahme** dieser Analyse ist, dass der Kampf gegen den Klimawandel **auf internationaler Ebene fortgesetzt** wird. Dabei kommt es nicht schwerpunktmäßig auf ein bestimmtes Vorgehen (z. B. Einführung eines umfassenden Emissionshandelssystems) an, sondern darauf, dass die Weltgemeinschaft das Ziel der Reduktion von Treibhausgasemissionen weiterverfolgt, auch wenn in einzelnen Regionen oder Ländern möglicherweise unterschiedliche Wege zu diesem Ziel verfolgt werden. Bereits auf den Klimakonferenzen der Vereinten Nationen in Durban im Jahr 2011 sowie in Warschau (2013) wurde vereinbart, dass bis zum Jahr 2015 ein Folgeabkommen über den internationalen Klimaschutz verabschiedet wird, das ab 2020 gelten soll. Die Klimakonferenz in Paris im Jahr 2015 wird von vielen Beobachtern als wichtige Wegmarke für die weitere Entwicklung angesehen.

Auch wenn sich abzeichnet, dass eine Einigung nicht einfach sein wird, gehen die Bemühungen zur Vorbereitung dieser Konferenz weiter voran. So wurde Mitte Juli 2014 beim 5. Petersberger Klimadialog ein positives Fazit gezogen, da viele Länder derzeit anspruchsvollere Klimaziele verabschieden.⁴

Für die Impactanalyse bedeutet dies, dass wir davon ausgehen, dass internationale Klimaschutzbemühungen fortgesetzt werden und in den wichtigsten Vergleichsländern über kurz oder lang **vergleichbare Kosten** für die Nutzung kohlenstoffhaltiger Energieträger bzw. für die Emission von Treibhausgasen entstehen.

Diese Grundannahme stellt die Konsistenz zur Klimaschutzgesetzgebung im Land Nordrhein-Westfalen her. Zu der damit verbundenen Frage der internationalen Wettbewerbsfähigkeit stellt Kapitel 11 vertiefende Überlegungen an.

(3) Darüber hinaus geht die vorliegende Untersuchung davon aus, dass das **System der Vergütung von erneuerbaren Energien** in Deutschland prinzipiell weiterbesteht und auch der Schlüssel, mit dem die Lasten auf die Letztverbraucher verteilt werden, im Grundsatz erhalten bleibt. Dies bedeutet vor allem, dass wir

⁴ Vgl. http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/hendricks-aufbruchstimmung-in-der-klimapolitik/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=212 eingesehen am 16.7.2014

davon ausgehen, dass die energieintensive Industrie Privilegien behält, die denjenigen des zum Redaktionsschluss gültigen EEG und der Besonderen Ausgleichsverordnung entsprechen. Die Neuregelungen der EEG Novelle vom August 2014 konnten hingegen nicht mehr berücksichtigt werden, da sie zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht absehbar waren.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass der Erfolg des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland unter anderem auf der **Einfachheit und Belastbarkeit** des **Vergütungsmodells** beruhte. Die sogenannte „**Bankability**“ der Vergütungszahlungen aus dem EEG führte dazu, dass Kapitalgeber das Risiko einer Investition in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien gut abschätzen konnten. Dies führte zu geringen Risikozinssätzen und somit guten Finanzierungsmöglichkeiten in der EE-Branche. Durch den geplanten Umstieg auf Ausschreibungsmodelle, der sich Mitte des Jahres 2014 abzeichnet, werden sich die Risiken auf der Erlösseite erhöhen und damit voraussichtlich die Finanzierungsbedingungen verschlechtern. In der Impactanalyse konnte diese Veränderung nicht berücksichtigt werden, da sie zum Zeitpunkt der Berechnungen nicht ausreichend absehbar war.

2 Die Basisszenarien der Impactanalyse

(1) Kernaufgabe der Impactanalyse ist, diejenigen Auswirkungen zu ermitteln, die originär auf die Umsetzung der Strategien aus dem Klimaschutzplan zurückzuführen sind. Hierfür ist es notwendig, für die Szenarien des Klimaschutzplans **geeignete Vergleichsmaßstäbe** zu entwickeln. Diese Basisszenarien müssen auf identischen ökonomischen und demografischen Rahmenannahmen wie die Szenarien des Klimaschutzplans beruhen und jeweils Entwicklungen abbilden, die ohne eine Umsetzung der von den Arbeitsgruppen des Klimaschutzplans festgelegten Klimaschutzstrategien zu erwarten wären.

Da die Szenarien des Klimaschutzplans zwei verschiedene Wachstumspfade in der Industrie zu Grunde legen, wurden durch die Prognos AG zwei Basisszenarien mit hierzu passenden Wachstumsannahmen entwickelt. Nähere Angaben zu den Annahmen der Basisszenarien befinden sich in Kapitel 2.2.

(2) In die Berechnung der Impacts des Klimaschutzplans gehen ausschließlich die **Differenzen** (Abweichungen) ein, die sich aus einem Vergleich der Ergebnisse der Szenarien des Klimaschutzplans sowohl untereinander als auch mit der jeweiligen Basisentwicklung ergeben. Nur diese Differenzen bzw. Abweichungen von der Basisentwicklung sind originär der Umsetzung der Klimaschutzstrategien zuzuordnen.

Ein Beispiel:

Werden heute Häuser saniert, ist die Einhaltung des Ordnungsrechts (Energieeinsparverordnung – EnEV) Standard (Basisentwicklung mit Energieeinsparung und Kosten). Wird aufgrund der Umsetzung der Klimaschutzstrategie bei der Sanierung stattdessen ein höherer Wärmedämmstandard angesetzt (z. B. KfW 70, KfW 55, KfW 40), ergeben sich gegenüber dem Ausgangswert vor der Sanierung sowohl ein niedriger Energiebedarf als auch höhere Kosten. Relevant für die Impactanalyse sind nur die zusätzliche Energieeinsparung bzw. die Mehrkosten zwischen der Sanierung nach EnEV und der höherwertigen Sanierung.

2.1 Zielsetzung und Vorgehensweise bei der Modellierung

(1) Die Basisszenarien verfolgen das **Ziel**, einen Vergleichsmaßstab für die Ermittlung der Wirkungen (Impacts) der Klimaschutzstrategien aufzustellen. Die notwendigen Modellierungsarbeiten hierzu betreffen die in den verschiedenen Arbeitsgruppen erarbeiteten Strategien des Klimaschutzplans in folgenden **Bereichen**:

- Energieerzeugung und Energieumwandlung:
Veränderung des konventionellen und erneuerbaren Anlagenparks zur Strom- und Wärmeerzeugung
- Endenergieverbrauch:
Senkung bzw. Dekarbonisierung des Endenergieverbrauchs durch Steigerung der Effizienz (z. B. durch energetische Sanierung, technische Verbesserungen, veränderte Produktionsweisen) oder Wechsel des Energieträgers.

Auch ohne den Klimaschutzplan in NRW **stehen** für diese Bereiche **in den nächsten Jahrzehnten gravierende Veränderungen an**, eine Beibehaltung des Status-quo ist auch ohne Klimaschutzplan nicht zu erwarten. Somit wird auch in den beiden Basisszenarien eine Weiterentwicklung der gesetzlichen und politischen Grundlagen in Deutschland und Europa unterstellt.

Ein Szenario, das aktuelles Wissen und Einschätzungen aus dem Jahr 2014 zur zukünftigen Entwicklung des Energiesystems zu Grunde legt, würde dem Anspruch an ein Basisszenario für die Impactanalyse der Szenarien des Klimaschutzplans, deren Grunddaten und Rahmenannahmen aus den Jahren 2011/2012 stammen, allerdings nicht gerecht. Die Basisszenarien beruhen deshalb auf Grundannahmen, die zum Zeitpunkt der Erstellung der Szenarien des Klimaschutzplans aktuell waren. Nur so lassen sich unerwünschte Effekte in der Auswertung vermeiden. Anzumerken ist hier, dass die in den **Basisszenarien** unterstellte Entwicklung **aus klimapolitischer Sicht nicht wünschenswert** ist, da die deutschen Reduktionsziele langfristig verfehlt werden.

(2) Basisszenarien für die Stromerzeugung sowie für die beiden in den Szenarien des Klimaschutzplans hinterlegten wirtschaftlichen Wachstumspfade von jährlich 0,6 % (Szenario C) bzw. 1,2 % (Szenarien A und B) wurden im Klimaschutzplanprozess nicht erstellt, sie wurden für die vorliegende Impactanalyse von der Prognos AG nachmodelliert. Dies erfolgte in enger Abstimmung mit dem Wuppertal Institut, das die Szenarien des Klimaschutzplans auf der Grundlage der Ergebnisse der Arbeitsgruppen für den Klimaschutzplan berechnete.

Um die Anschlussfähigkeit an die in der Impactanalyse eingesetzten ökonomischen Modelle zu gewährleisten, wurden die Basis-

szenarien in einer energiebilanzkonformen Energieträgerzuordnung erstellt und anschließend für den Ergebnisvergleich mit den Szenarien des Klimaschutzplans auf deren Darstellungsform umgerechnet. Dieses Vorgehen erleichtert die Einordnung der Basisszenarien in die kommunizierten Ergebnisse der Szenarien des Klimaschutzplans. Für die ökonomische Impact-Analyse der Szenarien des Klimaschutzplans wurden deren Ergebnisse im Gegenzug auf eine energiebilanzkonforme Zuordnung umgerechnet.

(3) Bei den in den Basisszenarien dargestellten Entwicklungen ist zu beachten, dass bei ihrer Erarbeitung die Vergleichbarkeit mit den Szenarien des Klimaschutzplans im Vordergrund stand. Ausgangspunkte der Berechnungen waren deshalb die für die Modellierung der Szenarien des Klimaschutzplans verwendeten Eingangsparameter. Alle Szenarien verwenden deshalb die für den Klimaschutzplan angesetzten demografischen Entwicklungen, Wirtschaftsprognosen, Techniken und zugehörigen Kostenansätze. Die Entwicklung der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung in den Basisszenarien entspricht den Mitte 2011 gültigen offiziellen Erwartungen, die im Referenzszenario der „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ ihren Niederschlag fanden.

Die **Basisszenarien** sind deshalb geeignete Werkzeuge zur Ermittlung der vom Klimaschutzplan ausgehenden Abweichungen im Rahmen der Impactanalyse, sie stellen jedoch **keine Referenzentwicklungen⁵ aus heutiger Sicht der Prognos** dar.

(4) Die Szenarien des Klimaschutzplans NRW verwenden an wesentlichen Stellen **Rahmenannahmen** aus älteren Veröffentlichungen der Prognos AG. Zu nennen sind hier einerseits der Prognos „Deutschland Report 2035“ aus dem Jahr 2010 zur wirtschaftlichen Entwicklung in den Bundesländern bis 2035 und andererseits die „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ aus dem Jahr 2011. Für die Formulierung der Basisszenarien der Impactanalyse hatte dies den Vorteil, dass umfassende interne Datenbestände der Prognos AG genutzt werden konnten und Unterschiede zwischen den Szenarien des Klimaschutzplans und den Prognos-Szenarien modelltechnisch gut erfasst und abgebildet werden konnten.

⁵ Referenzentwicklungen in diesem Sinne sind die jeweils aktuellen Szenarien mit der aus Sicht des Gutachters höchsten Eintrittswahrscheinlichkeit.

In den Verbrauchssektoren **Private Haushalte, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen und Verkehr** konnte für die Basisszenarien weitgehend auf die im Referenzszenario der Energieszenarien für die Bundesregierung ausführlich dokumentierten Entwicklungspfade und Effizienzindikatoren als Referenz für Deutschland zurückgegriffen werden. Dieses Referenzszenario stellt kein Festhalten am Status quo dar, sondern berücksichtigt bereits eine Fortschreibung der zum damaligen Zeitpunkt absehbaren Politik:

„Das Referenzszenario stellt eine Entwicklung dar, die sich einstellen könnte, wenn die bislang angelegten Politiken in die Zukunft fortgeschrieben werden. Dabei ist angenommen, dass die Politik nicht auf dem heutigen Stand verharrt, sondern auch zukünftig Anpassungen vorgenommen werden, die die in der Vergangenheit beobachteten Trends fortschreiben.“⁶

Da die Energieszenarien als Basisjahr 2008 ausweisen, wurden für die Basisszenarien der Impactanalyse am aktuellen Rand Anpassungen notwendig.

(5) Diese Vorgehensweise war bei der Formulierung der beiden Basisszenarien für den Sektor **Industrie** mit einem mittleren Wirtschaftswachstum von jährlich 0,6 % bzw. 1,2 % nicht möglich, da hier die wirtschaftlichen Grundannahmen in den Szenarien des Klimaschutzplans zur Entwicklung einzelner Branchen zum Teil deutlich von den Entwicklungspfaden aus den „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ abweichen. Insbesondere die Annahme im Klimaschutzprozess einer dauerhaft überdurchschnittlich positiven Entwicklung der Grundstoffherzeugung (Stahl, Aluminium, Chemische Grundstoffe) in Deutschland für den Wachstumspfad von 1,2 % p. a. wurde in den Energieszenarien der Prognos AG so nicht zu Grunde gelegt.

Deshalb wurde der Sektor Industrie für die Basisszenarien vollständig neu modelliert. Hierzu konnte weitgehend auf die vom Wuppertal Institut bereitgestellten Daten zur Effizienzentwicklung und Energieträgerverteilung in den einzelnen Industriebranchen zurückgegriffen werden. Dieses Datengerüst basiert auf den in der AG 2 des Klimaschutzplan-Prozesses von den Akteuren festgelegten Rahmenannahmen und wurde vom Wuppertal Institut für die Szenarienberechnungen aufbereitet. Die Basisszenarien für den Sektor Industrie verwenden diese branchenspezifische Entwicklung. Die Modellierung des Energiebedarfs folgt wiederum der Logik eines Szenarios ohne Klimaschutzstrategien.

⁶ „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“, Prognos AG/EWI/GWS, 2010, download unter <http://www.bmwi.de>

Die Auswirkungen eines stärkeren industriellen Wachstums auf die wirtschaftliche Entwicklung des Sektors Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen sowie auf die Verkehrsleistung und die regionaldemografische Entwicklung wurden – wie in den Szenarien des Klimaschutzplans – nicht betrachtet.

(6) Mit dem Regionalmodell der Prognos AG „REGINA“ zur demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung auf Kreisebene wurden die in den Szenarien für Deutschland ausgewiesenen Ergebnisse für den Betrachtungsraum NRW regionalisiert. Für die Regionalisierung des Endenergiebedarfs wurde ebenfalls ein bewährtes Regionalmodell der Prognos AG eingesetzt.

2.2 Annahmen für die Basisszenarien

(1) Wie bereits dargestellt entsprechen die Grundannahmen zu ökonomischen Parametern, wie beispielsweise zu den Kosten der eingesetzten Technik und der Primärenergieträger ebenso wie die demografischen Leitgrößen (Bevölkerung, Haushalte etc.) den Rahmendaten, die auch den Szenarien des Klimaschutzplans zu Grunde liegen. Einzige Ausnahme bildet der Preis für CO₂-Emissionen (Zertifikatpreis im EU-ETS), der in den Szenarien des Klimaschutzplans bis 2050 auf 60 Euro₂₀₁₀/ t steigt, in den Basisszenarien im gleichen Jahr jedoch nur 50 Euro₂₀₁₀/ t erreicht. Der CO₂-Preisfad des Basisszenarios entstammt dem Referenzszenario aus den „Energieszenarien für eine Energiekonzept der Bundesregierung“. Auslöser für den etwas geringeren Preisanstieg im Basisszenario ist die weniger ambitionierte europäische Klimapolitik, die zwar durch internationale Abkommen fortgeführt wird, aber das heute von vielen angestrebte europäische Ziel einer 80 %-igen Treibhausgasreduktion verfehlt. Die Ursache hierfür ist, dass die Referenzentwicklung nicht auf eine verbindliche Reduktion der Treibhausgasemissionen abzielt, sondern vielmehr analysiert, welche Entwicklung eintreten könnte, wenn keine expliziten Ziele verfolgt werden.

Ein gegenüber den meisten Szenarien des Klimaschutzplans höherer Endenergiebedarf entsteht in den beiden Basisszenarien für ein jährliches Wirtschaftswachstum der Industrie von 0,6 % bzw. 1,2 % durch den unterschiedlich starken Einsatz der verschiedenen Effizienztechniken. Im Gegensatz zu den Szenarien des Klimaschutzplans, die auf die beste am Markt verfügbare Technik (BAT) oder besonders klimaschonende Technik (LC) setzen, wird in den Basisszenarien, deren Effizienzentwicklung dem Referenzszenario der Energieszenarien entnommen wurde, vor allem auf breit verfügbare Technik zu geringen Kosten (gebräuchliche Technik = GT) zurückgegriffen. Effizienztechnik ist einer stetigen Weiterentwicklung unterworfen und meist sind unterschiedlich effiziente Techniken gleichzeitig am Markt. Im Bereich der Industrie unter-

scheidet sich der BAT-Ansatz nur unwesentlich von der gebräuchlichen Technik(GT). Beide setzen beim Durchlaufen von Erneuerungszyklen für Geräte und Anlagen grundsätzlich effiziente Technik bzw. effiziente Verfahren ein, allerdings orientiert sich der GT-Ansatz stärker am wirtschaftlichen Optimum als am technisch Möglichen. Gleiches gilt für die anderen Einsatzbereiche, in denen die Szenarien des Klimaschutzplans beispielsweise eine schnellere Durchdringung des Bestands mit besonders effizienten elektrischen Geräten unterstellen als die Basisszenarien. So werden heute beispielsweise im Basisszenario (GT-Ansatz) durchaus Haushaltsgeräte der Effizienzklasse A+ als Neugeräte eingesetzt, in den Szenarien des Klimaschutzplans hingegen grundsätzlich höhere Effizienzklassen.

Auch die energetische Gebäudesanierung folgt dem genannten Szenario und bleibt in den Basisszenarien mit einer Sanierungsrate von 0,7 % pro Jahr und einer mittleren Energieeinsparung pro Sanierung hinter den technischen Möglichkeiten zurück. Weitere Details zu den Basisszenarien sind den jeweiligen Gegenüberstellungen und Auswertungen in den einzelnen Impactbereichen zu entnehmen. Eine ausführliche Dokumentation der Annahmen zur Effizienz- und Mengenentwicklung sowie zu dem daraus resultierenden Energieverbrauch nach Energieträgern in den Bereichen Private Haushalte, GHD und Verkehr ist der Veröffentlichung zu den Energieszenarien zu entnehmen.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den Szenarien des Klimaschutzplans und den Basisszenarien und auch zwischen den einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans besteht in der Nutzung von Wasserstoff (H₂) als Energieträger. In den Basisszenarien findet kein Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft statt, in allen Szenarien des Klimaschutzplans wird H₂ zumindest mit 30 PJ (2050) im Verkehrssektor eingesetzt. Hinzu kommen in den Szenarien der Szenariofamilien B und C unterschiedlich hohe Einsatzmengen in der Industrie. Dieser Wasserstoff wird in den Szenarien des Klimaschutzplans elektrolytisch aus Strom erzeugt, der aus erneuerbaren Quellen stammt.

(2) Die folgende Abbildung ordnet die Grundannahmen der beiden Basisszenarien in den Kontext der Szenarien des Klimaschutzplans für NRW ein. Die Kennzeichnung der Szenarien und Szenariovarianten in den Liniengrafiken dieses Berichts folgt dem dargestellten Farb- und Linienschema.

Abbildung 8: Einordnung der Basisszenarien NRW

Szenarien	Szenarien des Klimaschutzplans										Basisszenarien	
	A	A1	A2	B	B1	B2	BCCS	C	C1	C2	0,6	1,2
	Szenario	Varianten		Szenario	Varianten			Szenario	Varianten		Szenario	
Darstellung												
Stromerzeugung												
Ausbau EE SN = sehr niedrig; N = niedrig; H = hoch; 100% = 100% an der Stromerzeugung 2050	N	H	H	100%	N	H	N	100%	SN	SN		
Stromnachfrage* ohne H ₂ -Anwendungen	Konstant		Konstant			Sinkend			Konstant	Leicht steigend		
Industrie												
Wachstum	1,2%		1,2%			0,6%			0,6%	1,2%		
Technologie	BAT		LC			LC			GT			
Einsatz H ₂ , in PJ 2050	-		140	280	140	200	280	-				
Gebäude												
Sanierungsrate	1,4%	0,7%	1,4%	2,0%	1,4%	2,0%	2,0%			0,7%		
THG-Einsparung NRW**												
1990-2020 (Ziel -25%)	-21%	-20%	-25%	-26%	-26%	-27%	-22%	-29%	-24%	-29%	-21%	-16%
1990-2050 (Ziel -80%)	-57%	-57%	-60%	-65%	-64%	-79%	-67%	-69%	-68%	-82%	-51%	-40%

* Hierbei handelt es sich um eine abhängige Größe, für die keine konkreten Vorgaben für die Szenarienerstellung gemacht werden konnte, sondern die sich aus der Kombination der anderen Vorgaben als Modellergebnis (endogen) ergibt.

** Physische THG-Minderung in NRW ohne Emissionshandel

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Insgesamt beschreiben die Basisszenarien damit eine Entwicklung, die stärker auf den autonomen technischen Fortschritt mit geringen Veränderungen des Systems setzt.

Einordnung der 100 %-EE-Szenarien B2 und C2

Für den 100 %-EE-Ausbaupfad wurde durch das Wuppertal Institut die installierte EE-Leistung so bestimmt, dass der vorab ermittelte Strom-Endenergiebedarf sowie die Einspeicherung von Stromüberschüssen in Speichern bis 2050 vollständig aus Erneuerbaren (aus NRW und anderen Regionen) gedeckt werden können. Ziel der 100 %-EE-Szenarien war es, die technische Machbarkeit eines Pfades aufzuzeigen, in dem zum einen die Stromerzeugung vollständig auf der Basis erneuerbarer Energien abgedeckt ist und wo zum anderen Strom aus erneuerbaren Energien einen Teil des Einsatzes fossiler Brennstoffe via Power-to-Gas (d. h. Wasserstoffeinsatz im Verkehr und in der Industrie) respektive Power-to-Heat (z. B. durch den Einsatz von elektrischen Wärmepumpen) substituiert.

Eine ökonomische Optimierung der Flexibilisierungs- und Ausgleichsoptionen, also von Power-to-Gas und Power-to-Heat, der Möglichkeiten der Anwendung von Lastmanagementmaßnahmen sowie insgesamt des Speicherausbaus und -einsatzes wurde aus Zeitgründen im Rahmen der Berechnungen des Wuppertal Instituts nicht vorgenommen. Dies schließt die Optimierung des Wechs-

selspiels zwischen der Erzeugungsseite und den Endenergiesektoren mit ein, für die die Annahmen aus den anderen Szenarien des Klimaschutzplans (d. h. bezüglich Stromnachfrage und Wasserstoffeinsatz) weitgehend übernommen wurden.

Die Eingangsdaten der Impactanalyse im 100 %-EE-Ausbaupfad stellen deshalb weder eine Empfehlung für eine tatsächliche Ausgestaltung eines derartigen Ausbaupfades noch eine notwendigerweise erwartete Entwicklung dar. Sie bilden insofern einen ersten nützlichen Orientierungsrahmen für die vergleichende Szenariodiskussion. Es bleibt weitergehenden Analysen in Folgephasen der Klimaschutzplanentwicklung vorbehalten, Optimierungspotentiale aufzuzeigen.

Einordnung des BCCS-Szenarios

Das BCCS-Szenario beschreibt eine zukünftige Stromerzeugung, die ihren Schwerpunkt auf die Braunkohleverstromung legt. Das dabei entstehende CO₂ wird abgeschieden und gelagert (Carbon Capture and Storage – CCS). Dieses Szenario wurde auf Wunsch eines Teils der Akteure mit betrachtet, wengleich die Landesregierung sich insofern positioniert hat, dass die CCS-Technologie für NRW in den kommenden Jahren nicht von praktischer Relevanz zur Reduktion der CO₂-Emissionen aus der Energiewirtschaft ist.⁷

2.3 Ergebnisse der Basisszenarien

(1) Die beiden Basisszenarien zu den industriellen Wachstumspfaden von 0,6 % p. a. (Basisszenario 0,6) und 1,2 % p. a. (Basisszenario 1,2) wurden auf der Grundlage der dargestellten Annahmen für Deutschland modelliert und die Ergebnisse für NRW mit den Regionalmodellen ausgewertet. Unterschiede zeigen sich beim Endenergieverbrauch (EEV) nach Sektoren deshalb ausschließlich für den Sektor Industrie. Die Entwicklung in den Verbrauchssektoren Private Haushalte, GHD und Verkehr folgt in der Regionalisierung für NRW den bundesdeutschen Effizienz- und Mengenentwicklungen aus dem Referenzszenario der „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“.

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Basisszenarien 0,6 und 1,2 für NRW in der von den Szenarien des Klimaschutzplans verwendeten Abgrenzung der Energieträger. Die Darstellung ist nicht energiebilanzkonform, Abweichungen zur Energiebilanz des Landes NRW ergeben sich aus der für die Szenarien des Kli-

⁷ Vgl. Rot-Grüner Koalitionsvertrag 2012-2017, S. 44

maschutzplans verwendeten Methodik. Dargestellt wird der Endenergieverbrauch nach Energieträgern insgesamt (Tabelle 2), der Endenergieverbrauch insgesamt nach Sektoren (Tabelle 3) sowie als Ausschnitt des gesamten EEV der Stromverbrauch der Sektoren (Tabelle 4).

Tabelle 2: EEV in NRW nach Energieträgern in den Basisszenarien 2010-2050

Endenergieverbrauch (EEV) nach Energieträgern						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	PJ	278	283	289	291	223
Braunkohle	PJ	21	19	18	15	10
Mineralöl	PJ	628	582	449	368	294
Gase (ohne H2)	PJ	713	649	584	536	474
Biomasse	PJ	51	78	90	103	112
Solar und Umgebungswärme	PJ	17	41	55	66	77
Abfall und sonstige	PJ	12	12	14	14	15
Wasserstoff	PJ	0	0	0	0	0
Nah-/Fernwärme, IKW-Wärme	PJ	198	200	180	180	179
Strom	PJ	434	437	434	418	425
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.300	2.112	1.990	1.808
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	PJ	278	303	323	348	370
Braunkohle	PJ	21	19	17	16	13
Mineralöl	PJ	628	582	449	365	289
Gase (ohne H2)	PJ	713	692	648	585	502
Biomasse	PJ	51	77	90	103	112
Solar und Umgebungswärme	PJ	17	41	56	68	80
Abfall und sonstige	PJ	12	12	14	14	13
Wasserstoff	PJ	0	0	0	0	0
Nah-/Fernwärme, IKW-Wärme	PJ	198	229	223	231	237
Strom	PJ	434	462	461	458	463
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.418	2.280	2.186	2.080

Quelle: Prognos AG

Tabelle 3: EEV insgesamt in NRW nach Verbrauchssektoren in den Basisszenarien 2010-2050

Endenergieverbrauch (EEV) nach Sektoren						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	561	486	426	387	339
GHD	PJ	289	269	263	252	219
Industrie	PJ	1.055	1.053	999	980	920
Verkehr	PJ	448	492	424	371	330
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.300	2.112	1.990	1.808
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	561	486	426	387	339
GHD	PJ	289	269	263	252	219
Industrie	PJ	1.055	1.170	1.168	1.176	1.192
Verkehr	PJ	448	492	424	371	330
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.418	2.280	2.186	2.080

Quelle: Prognos AG

Tabelle 4: Stromverbrauch (EEV) in NRW nach Verbrauchssektoren in den Basisszenarien 2010-2050

Stromverbrauch (EEV) nach Sektoren						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	108	96	87	76	70
GHD	PJ	89	92	91	86	83
Industrie	PJ	231	244	247	244	256
Verkehr	PJ	6	4	9	11	16
STROM (EEV) GESAMT	PJ	434	437	434	418	425
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	108	96	87	76	70
GHD	PJ	89	92	91	86	83
Industrie	PJ	231	270	274	284	295
Verkehr	PJ	6	4	9	11	16
STROM (EEV) GESAMT	PJ	434	462	461	458	463

Quelle: Prognos AG

(2) Die Entwicklung des konventionellen Kraftwerksparks in den beiden Basisszenarien wurde für Deutschland insgesamt mit dem europäischen Kraftwerksmodell der Prognos AG modelliert. Ausgangspunkt war die Festlegung des niedrigen Ausbaupfads für die erneuerbare Stromerzeugung in Deutschland, die sich zwischen den beiden Basisszenarien nicht unterscheidet. Die Ergebnisse für die Entwicklung der installierten Leistung der erneuerbaren Stromerzeugung in NRW wurden aus den Deutschland-Szenarien regionalisiert und sind ebenfalls in beiden Basisszenarien für NRW identisch.

Auch in der Entwicklung der konventionellen Stromerzeugungskapazität ergibt die Auswertung des Kraftwerksmodells für NRW zu den dargestellten Stichjahren keine Unterschiede zwischen den Basisszenarien 0,6 und 1,2. Für Deutschland sind hingegen leichte Abweichungen, die aus der höheren Stromnachfrage der Industrie im Basisszenario 1,2 resultieren, erkennbar. Die Kapazitätsentwicklung nach Energieträgern resultiert aus einer Fortschreibung des heutigen Kraftwerksbestands in Deutschland, der im Kraftwerksmodell der Prognos AG nach Baujahren hinterlegt ist. Darüber hinaus enthält die zugehörige Kraftwerksdatenbank eine Vielzahl technischer und betriebswirtschaftlicher Parameter für den deutschen und europäischen Kraftwerksbestand.

Tabelle 5: Stromerzeugungskapazität (netto) nach Energieträgern in NRW in den Basisszenarien 2010-2050

Installierte Stromerzeugungskapazität in NRW						
Daten für 2010 entsprechend IWR Energiedaten 2011						
Konventionelle Stromerzeugungskapazität						
Basisszenarien 0,6 / 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	GW	12	15	9	8	4
Braunkohle	GW	10	10	8	7	7
Gas	GW	7	20	16	13	12
Öl	GW	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2
Pumpspeicher	GW	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Konventionell GESAMT	GW	29	46	33	28	23
Erneuerbare Stromerzeugungskapazität						
Basisszenarien 0,6 / 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Wind Onshore	GW	2,9	3,6	3,9	4,4	4,9
Wind Offshore	GW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PV	GW	2,0	3,6	5,8	5,9	6,1
Biomasse	GW	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6
Wasser	GW	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Rest	GW	0,6	0,4	0,2	0,2	0,3
Erneuerbar GESAMT	GW	6	8	11	11	12
Stromerzeugungskapazität insgesamt						
Basisszenarien 0,6 / 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
	GW	35	54	44	40	35

Quelle: Prognos AG, IWR

(3) Die Stromerzeugung in den Basisszenarien wurde ebenfalls aus den für Deutschland berechneten Szenarien für NRW regionalisiert. Tabelle 6 zeigt die für Deutschland zu Grunde gelegte Stromerzeugung. Bundesweit erreicht die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien – auch durch den starken Beitrag der Offshore-Windkraft – Anteile von 60 % (Basisszenario 1,2) bis 64 % (Basisszenario 0,6) an der Gesamtstromerzeugung.

Tabelle 6: Stromerzeugung (netto) in Deutschland in den Basisszenarien 2010-2050

Stromerzeugung in Deutschland						
Basisszenarien						
Konventionelle Stromerzeugung						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	TWh	486	322	246	250	188
Basisszenario 1,2	TWh	486	352	282	280	217
Erneuerbare Stromerzeugung						
Basisszenarien 0,6 / 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Wind Onshore	TWh	38	88	102	115	128
Wind Offshore	TWh	0	25	50	65	75
PV	TWh	12	36	47	48	49
Biomasse	TWh	28	28	30	32	34
Wasser	TWh	21	27	27	27	27
Rest	TWh	7	12	13	14	16
Erneuerbar GESAMT	TWh	105	216	268	301	329
Stromerzeugung insgesamt						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	TWh	591	538	514	551	517
Basisszenario 1,2	TWh	591	568	550	580	546
Anteil EE an Stromerzeugung insgesamt						
Basisszenario 0,6		18%	40%	52%	55%	64%
Basisszenario 1,2		18%	38%	49%	52%	60%

Quelle: Prognos AG

Die folgende Tabelle zeigt für NRW die Stromerzeugung nach Energieträgern in den beiden Basisszenarien 0,6 und 1,2. Hier zeigt sich, dass die konventionellen Kraftwerke in NRW im Basisszenario 1,2 besser ausgelastet werden, was sich in einer höheren konventionellen Stromerzeugung niederschlägt. Von der zusätzlichen Auslastung gehen jedoch keine ausreichenden Impulse für einen zusätzlichen Neubau von Kraftwerkskapazitäten in NRW aus.

Bei der erneuerbaren Stromerzeugung treten zwischen beiden Basisszenarien keine Unterschiede auf. Ihr Anteil liegt in beiden Basisszenarien deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt. Hauptgründe hierfür sind einerseits das Fehlen von Offshore-Windkraft in NRW und andererseits die Annahme der Basisszenarien, dass der NRW-Anteil am Gesamtausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland gegenüber dem Ausgangsjahr 2010 weitgehend konstant bleibt. In den Basisszenarien sind die **Ausbauziele für erneuerbare Energien aus dem aktuellen rot-grünen Koalitionsvertrag in NRW** nicht berücksichtigt. Diese Ausbauziele stellen bereits erste Festlegungen für die Szenarien des Klimaschutzplans dar und sind deshalb **nicht Bestandteil der Basisszenarien**.

Tabelle 7: Stromerzeugung nach Energieträgern (netto) in NRW in den Basisszenarien 2010-2050

Stromerzeugung in NRW						
Daten für 2010 entsprechend IWR Energiedaten 2011						
Konventionelle Stromerzeugung						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	TWh	51	38	30	11	10
Braunkohle	TWh	68	65	48	39	35
Gas	TWh	25	16	31	40	34
Öl und Sonstige	TWh	9	2	1	1	0
Pumpspeicher	TWh	1	1	1	1	1
Konventionell GESAMT	TWh	154	121	110	91	80
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	TWh	51	41	35	21	20
Braunkohle	TWh	68	75	63	49	45
Gas	TWh	25	16	25	42	36
Öl und Sonstige	TWh	9	2	1	1	0
Pumpspeicher	TWh	1	1	1	1	1
Konventionell GESAMT	TWh	154	134	124	113	102
Erneuerbare Stromerzeugung						
Basisszenarien 0,6 / 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Wind Onshore	TWh	4	8	9	11	12
Wind Offshore	TWh	0	0	0	0	0
PV	TWh	1	3	5	5	5
Biomasse	TWh	2	3	3	3	4
Wasser	TWh	1	1	1	1	1
Rest	TWh	3	3	1	2	2
Erneuerbar GESAMT	TWh	10	18	20	22	24
Stromerzeugung insgesamt						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	TWh	164	139	130	113	104
Basisszenario 1,2	TWh	164	152	144	135	126
Anteil EE an Stromerzeugung insgesamt						
Basisszenario 0,6		6%	13%	15%	19%	23%
Basisszenario 1,2		6%	12%	14%	16%	19%

Quelle: Prognos AG, MKULNV

(4) Tabelle 8 ist die Entwicklung der **Endkundenstrompreise** zu entnehmen, die sich für die Stromerzeugung bei Beibehaltung der Verteilungsschlüssel für Umlagen, Abgaben, Steuern und Entgelte aus dem Jahr 2012 für die Basisszenarien ergeben. Sie berücksichtigen über das Umlagesystem bereits die Kosten für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die zusätzlichen Netzkosten, die langfristig bei der Umsetzung der Basisszenarien entstehen (vgl. hierzu die Ergebnisse des Untersuchungsteils Netzkosten im Impactbereich Versorgungssicherheit). Die langfristige Strompreissteigerung für alle Verbrauchsgruppen resultiert vor allem aus den langfristig ebenfalls steigenden Preisen für Primärenergieträger und CO₂-Zertifikate. Die Preise sind als Realpreise mit der Preisbasis des Jahres 2010 ausgewiesen, also um inflationsbedingte Steigerungen bereinigt.

Tabelle 8: Endkundenstrompreise in den Basisszenarien 2010-2050 (Verteilungsschlüssel wie 2012)

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh						
Verteilungsschlüssel für Umlagen, Abgaben, Steuern und Entgelte wie 2012						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
PHH	Cent/kWh	22,5	25,5	26,0	25,3	26,7
GHD	Cent/kWh	18,0	20,5	20,9	20,3	21,5
IND (nicht-privilegiert)	Cent/kWh	12,8	14,1	14,3	13,9	15,1
IND (privilegiert)	Cent/kWh	6,3	6,6	8,5	10,3	11,5
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
PHH	Cent/kWh	22,5	25,6	26,4	26,0	27,4
GHD	Cent/kWh	18,0	20,5	21,2	20,9	22,1
IND (nicht-privilegiert)	Cent/kWh	12,8	14,1	14,7	14,4	15,7
IND (privilegiert)	Cent/kWh	6,3	6,6	8,5	10,3	11,5

Quelle: Prognos AG

(5) Für NRW ergeben sich für die Basisszenarien 0,6 und 1,2 aus dem Einsatz der Energieträger im Endverbrauch und im Umwandlungssektor der in der folgenden Tabelle 9 dargestellte Primärenergiebedarf und die zugehörigen physischen Treibhausgasemissionen in NRW.

Tabelle 9: Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen in NRW in den Basisszenarien 2010-2050

Primärenergiebedarf in NRW						
Daten für 2010 entsprechend Klimaschutzszenarien, Fortschreibung						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	PJ	4.421	4.244	3.711	3.408	3.098
Basisszenario 1,2	PJ	4.421	4.425	3.954	3.668	3.422
THG-Emissionen (CO₂-Äquivalente) in NRW						
Daten für 2010 entsprechend Klimaschutzszenarien, Fortschreibung						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	Mio. t	310	271	225	193	169
Basisszenario 1,2	Mio. t	310	290	250	222	205

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Das Wuppertal Institut hat parallel zur Erstellung der Impactanalyse Berechnungen für den Beitrag des Emissionshandels zur Emissionsvermeidung in den beiden Basisszenarien erstellt. An dieser Stelle werden die Berechnungsergebnisse des Wuppertal Instituts für Nordrhein-Westfalen dargestellt. Die Berechnungen des Wuppertal Instituts unterstellen einen CO₂-Reduktionspfad für den EU-ETS von 1,74 % p. a. bis zum Jahr 2050, was den mittleren Reduktionen aus der Handelsperiode 2008-2012 entspricht. Aus den Berechnungen des Wuppertal Instituts geht hervor, dass die THG-Emissionsminderung in den Basisszenarien unter Berücksichtigung der Emissionsreduzierung durch den EU-ETS höher ausfällt als die von der Prognos AG dargestellte Reduzierung der physischen THG-Emissionen in NRW.

Für das Jahr 2050 ergibt sich eine Reduktion der physischen THG-Emissionen gegenüber 1990 in Höhe von 51 % (Basisszenario 0,6) bzw. 40 % (Basisszenario 1,2). Unter Berücksichtigung der THG-Vermeidung durch den Emissionshandel ETS ergeben sich nach den Berechnungen des Wuppertal Instituts für beide Basisszenarien Gesamtreduktionen für NRW in Höhe von 66 %.

Tabelle 10: Rückgang der physischen THG-Emissionen in NRW in den Basisszenarien und zusätzlicher Beitrag des ETS bei einem CO₂-Reduktionspfad von 1,74 % p.a.

Rückgang der physischen THG-Emissionen in NRW ggü. 1990						
Prognos AG; Ausgangswert 1990 = 344 Mio. t						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	%	-10%	-21%	-35%	-44%	-51%
Basisszenario 1,2	%	-10%	-16%	-27%	-36%	-40%

THG-Emissionsreduzierung in NRW mit Berücksichtigung des ETS						
Wuppertal Institut; Ausgangswert 1990 = 344 Mio. t, CO ₂ -Absenkungspfad 1,74% p.a.						
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Basisszenario 0,6	%	k. A.	-29%	-42%	-55%	-66%
Basisszenario 1,2	%	k. A.	-28%	-42%	-54%	-66%

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

2.4 Einordnung der Ergebnisse der Basisszenarien

(1) Zur grundsätzlichen Einordnung der Ergebnisse der Basisszenarien wurden übergreifende regionale Ergebnisse den veröffentlichten Ergebnissen der Szenarien des Klimaschutzplans NRW gegenübergestellt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse dieses Vergleichs. Für die Berechnungen der jeweiligen Impacts in den einzelnen Bereichen wurden die Bundes- und Regionaldaten verwendet, die auch diesen Abbildungen zu Grunde liegen.

Hier ist zu beachten, dass das Basisszenario 0,6 grundsätzlich als Vergleichsmaßstab für das Szenario C (Varianten C1, C2) mit dem geringeren Wirtschaftswachstum der Industrie anzusetzen ist und das Basisszenario 1,2 für die Szenarien A (Varianten A1, A2) und B (Varianten B1, B2, BCCS) mit dem höheren Wachstum (vgl. die nachfolgende Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleichbarkeit der Szenarien des Klimaschutzplans mit den Basisszenarien

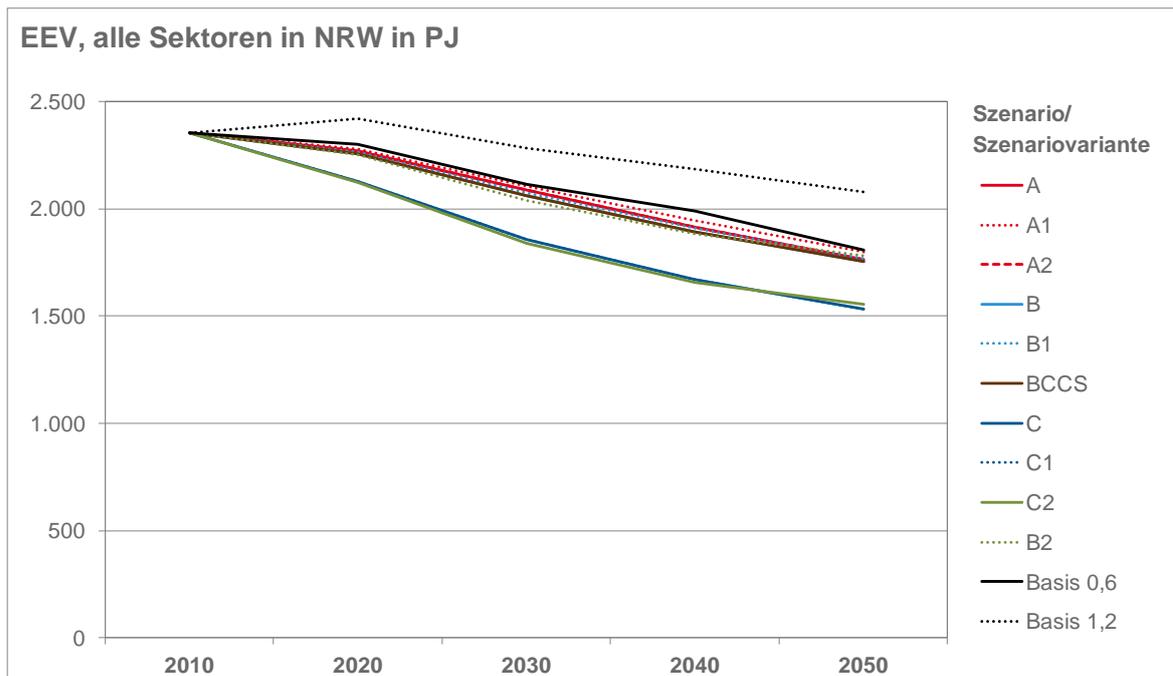
Szenarien	Szenarien des Klimaschutzplans									
	A	A1	A2	B	B1	B2	BCCS	C	C1	C2
	Szenario	Varianten		Szenario	Varianten			Szenario	Varianten	
Darstellung										
Industriewachstum	1,2%			1,2%				0,6%		
Zugehöriges Basisszenario	Basis 1,2							Basis 0,6		

Quelle: Prognos AG

(2) Entwicklung des Endenergiebedarfs in NRW

Langfristig erreichen alle Szenarien einen Rückgang des über alle Verbrauchssektoren zusammengefassten Endenergieverbrauchs (EEV). Auslöser hierfür ist der Einsatz von Effizienztechnologien in den Szenarien.

Abbildung 9: Endenergiebedarf insgesamt in NRW

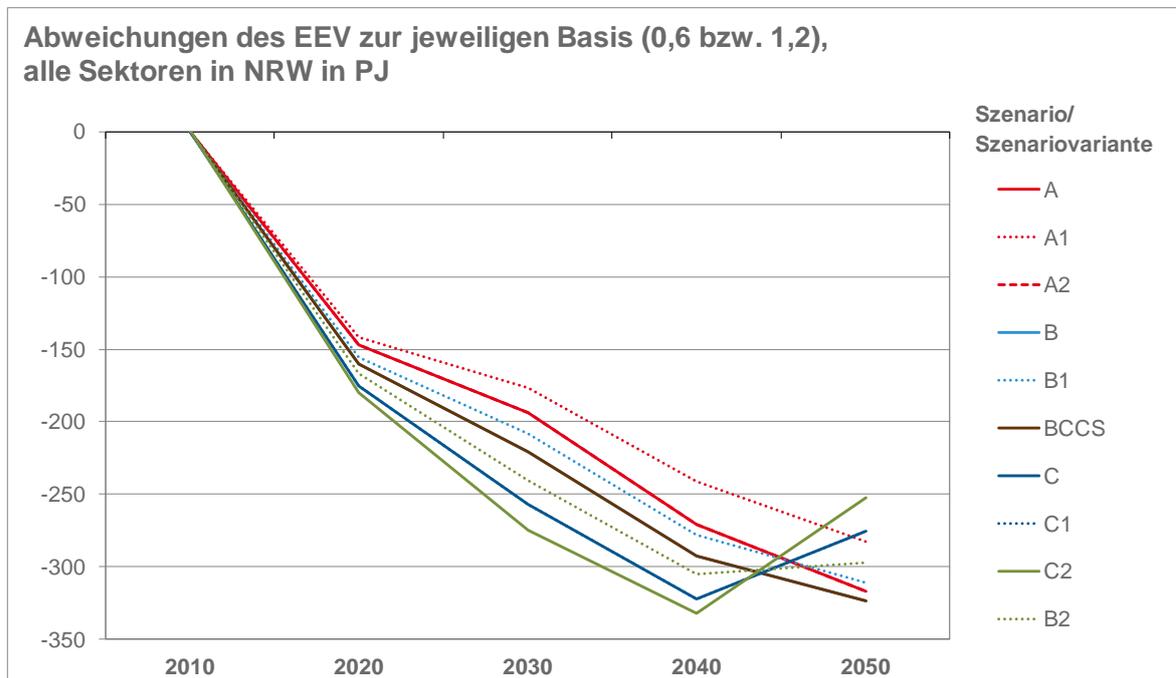


EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Die Basisszenarien zum industriellen Wirtschaftswachstum von 0,6 % und 1,2 % in NRW (Basis 0,6 und Basis 1,2) zeigen jedoch einen deutlich schwächeren Rückgang des Endenergieverbrauchs (EEV) als die zugehörigen Szenarien des Klimaschutzplans. Dies ist folgerichtig, da die Szenarien des Klimaschutzplans eine stärkere Effizienzentwicklung unterstellen.

Wie Abbildung 10 verdeutlicht, zeigen die Szenarien B2, C, C1 und C2 nach 2040 eine Abschwächung der zusätzlichen Einsparungen gegenüber den Basis- und den meisten anderen Szenarien des Klimaschutzplans (Linien von C und C1 in der Grafik wegen identischer Entwicklung überlagert). Der Grund hierfür ist der starke Wasserstoffeinsatz in diesen Szenarien. Wasserstoff wird in den Szenarien des Klimaschutzplans aus regenerativ erzeugtem Strom elektrolysiert und dient als emissionsfreier und vielseitig einsetzbarer Energiespeicher. Bei der Elektrolyse und beim Einsatz des erzeugten Wasserstoffs treten jedoch Umwandlungsverluste auf, die die zusätzlichen Einsparungen bei der Endenergie vor allem in der Industrie langfristig begrenzen.

Abbildung 10: Abweichungen des Endenergiebedarfs insgesamt in NRW gegenüber der Basis



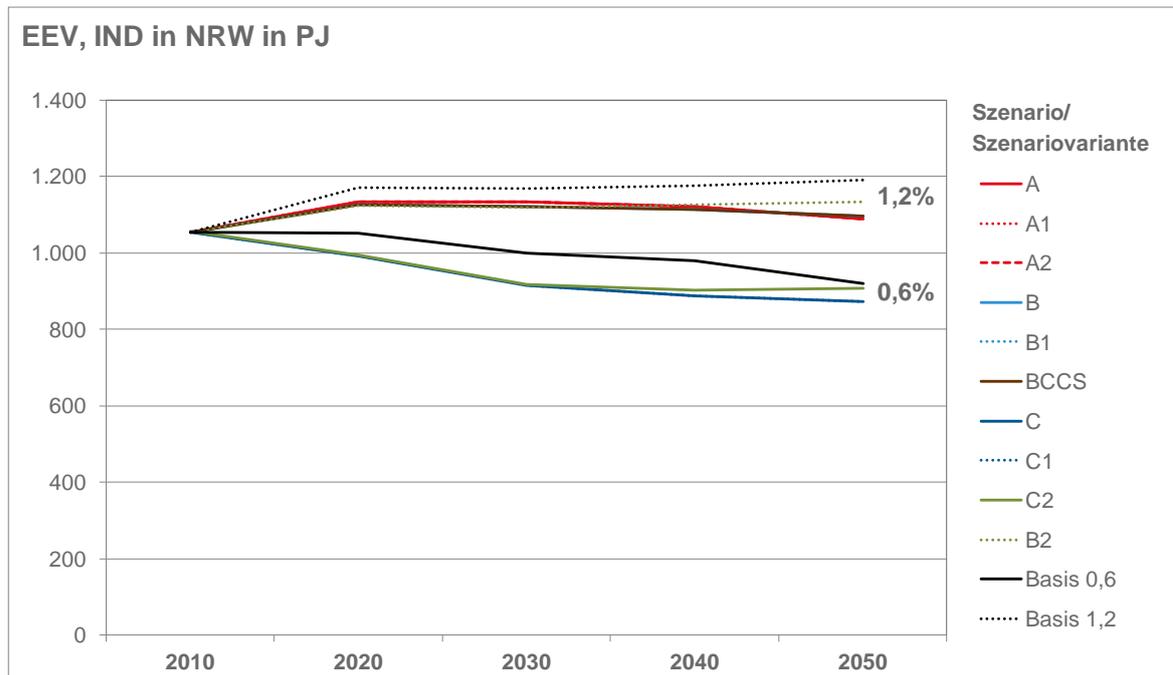
EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(3) Entwicklung des sektoralen Endenergieverbrauchs

Bei der Betrachtung des Endenergieverbrauchs in den Verbrauchssektoren Industrie, Private Haushalte, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD) und Verkehr zeigen sich die unterschiedlich starken positiven Auswirkungen der gegenüber den Basisszenarien höheren Effizienzentwicklung.

In der Industrie ist darüber hinaus der Einfluss der Wirtschaftsentwicklung auf die Höhe des Endenergieverbrauchs deutlich erkennbar. Unter dem hohen industriellen Wirtschaftswachstum von 1,2 % p. a. in den Szenarienfamilien A und B sowie im Basisszenario 1,2 liegt der Endenergiebedarf trotz der hohen Effizienzentwicklung in den Szenarien des Klimaschutzplans dauerhaft über dem Ausgangsniveau des Jahres 2010. Unterschritten wird dieses Niveau allerdings von allen Szenarien, die ein geringeres Wirtschaftswachstum (0,6 % p. a.) zu Grunde legen. Zwischen 2040 und 2050 zeigt sich der bereits angesprochene Effekt einer starken Wasserstoffnutzung in den Szenarien.

Abbildung 11: Endenergiebedarf der Industrie in NRW

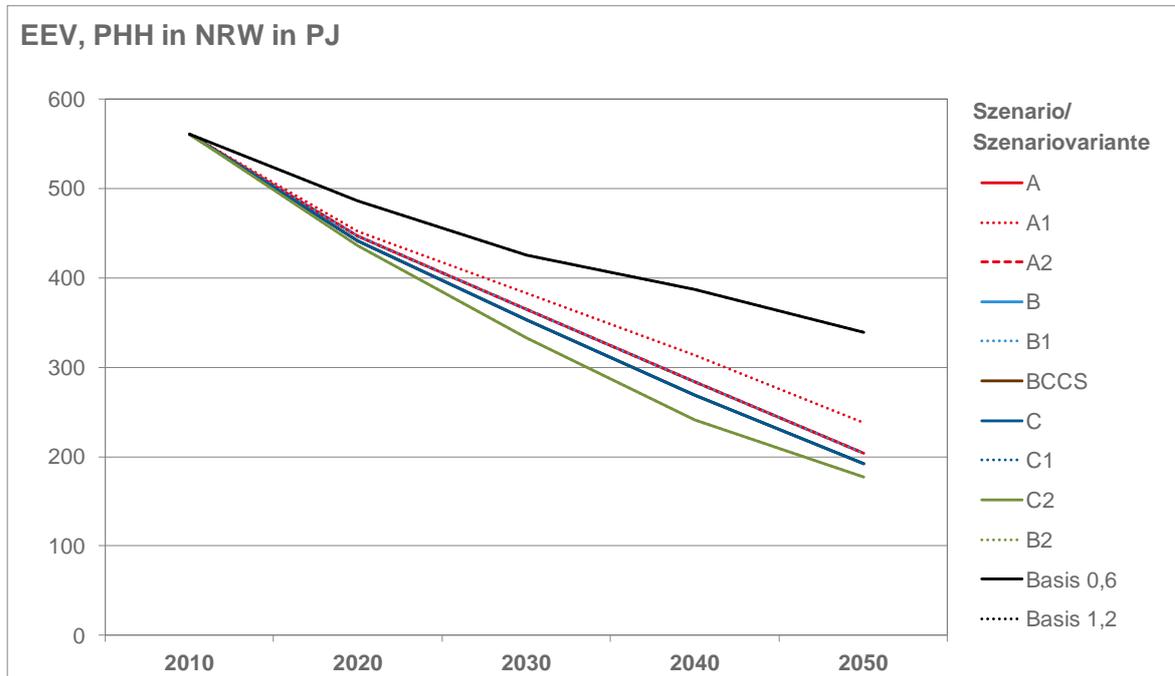


EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Bei den Privaten Haushalten (vgl. Abbildung 12) zeigen sich für die Szenarien des Klimaschutzplans einerseits durch die höhere Effizienzsteigerung deutliche zusätzliche Einsparungen gegenüber den Basisszenarien, deren Entwicklung in beiden Varianten identisch ist. Wie bei den Szenarien des Klimaschutzplans werden keine Rückwirkungen des Industriewachstums auf die Privaten Haushalte unterstellt. Deutlich erkennbar ist bei den Szenarien des Klimaschutzplans andererseits die Differenzierung über die unterschiedlichen Sanierungsraten für Wohngebäude (0,7 % 1,4 %, 2,0 % p.a.).

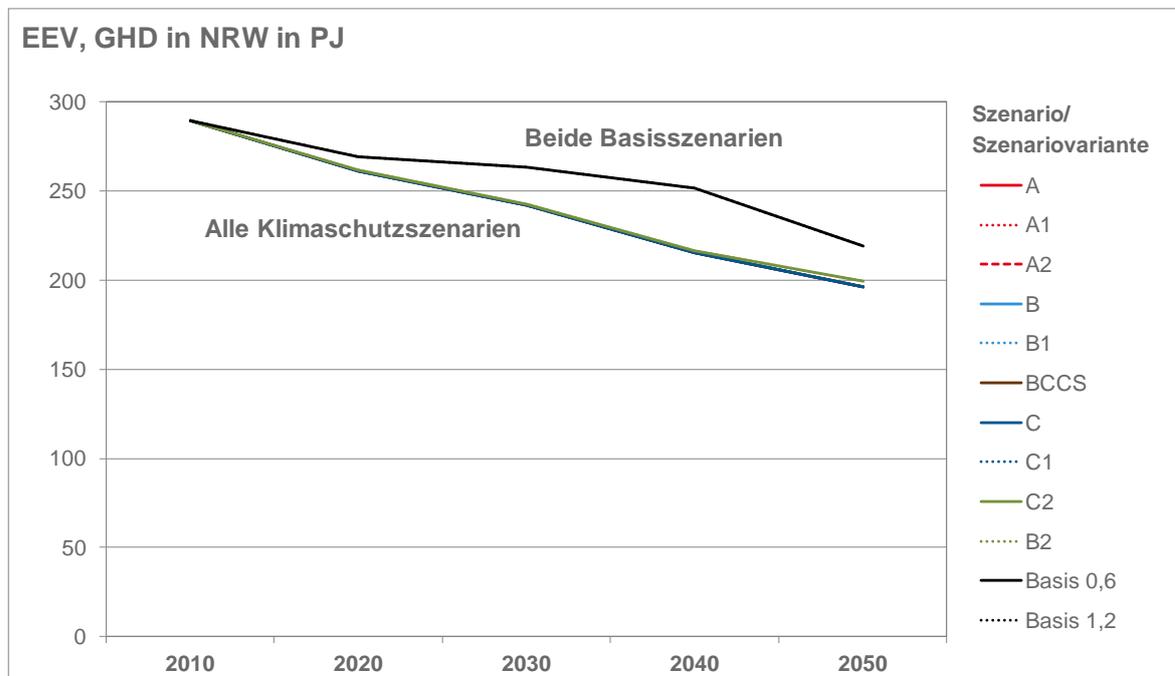
Für den Sektor Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD) wurde von den Akteuren für die Szenarien des Klimaschutzplans nur ein Szenario entwickelt, das mit seiner einheitlichen wirtschaftlichen Entwicklung die unterschiedlichen industriellen Wachstumspfade nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund weisen alle Szenarien des Klimaschutzplans für diesen Sektor ein nahezu identisches Ergebnis aus. Aufgrund der von den Akteuren nicht vorgenommenen Differenzierung wird dieses Ergebnis einem ebenfalls einheitlichen Basisszenario gegenübergestellt. Auch im Sektor GHD zeigen die Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber der Basisentwicklung deutliche zusätzliche Einsparungen (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 12: Endenergiebedarf des Sektors Private Haushalte in NRW



EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

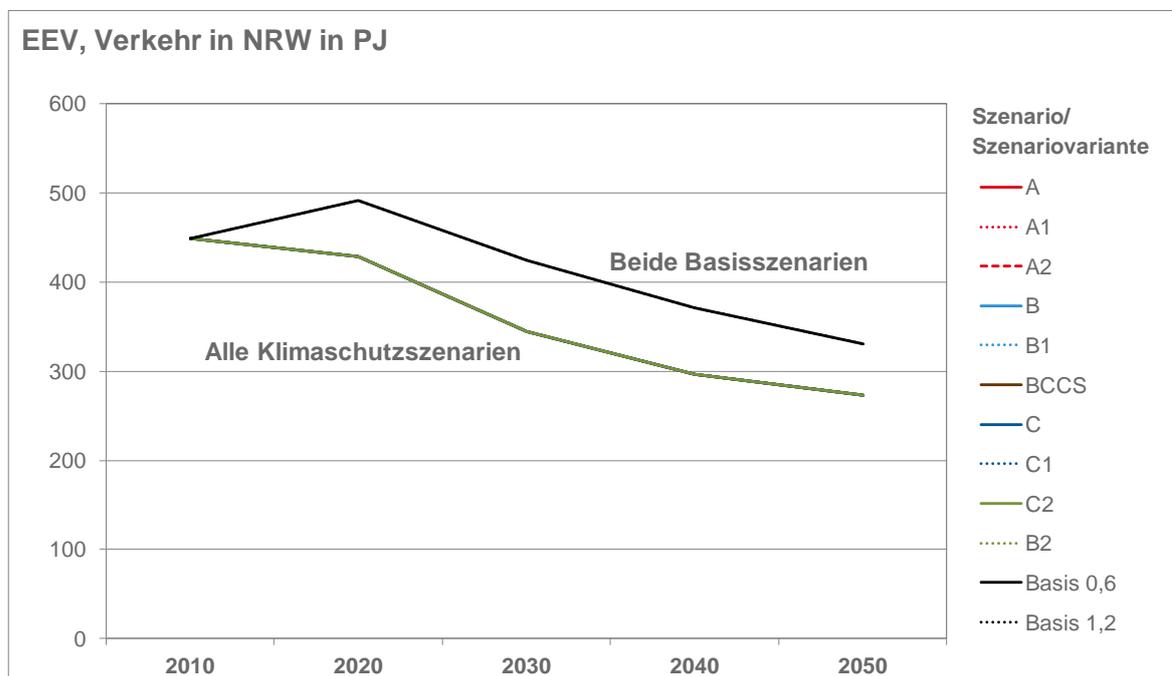
Abbildung 13: Endenergiebedarf des Sektors GHD in NRW



EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Auch für den Verkehrssektor wurde von den Akteuren ein einheitliches Szenario entwickelt. Deshalb beschränkt sich der Vergleich wie im Sektor GHD auch hier auf eine einheitliche Entwicklung in allen Szenarien des Klimaschutzplans mit einem einheitlichen Basisszenario. Die zusätzlichen Einsparungen, die mit neuen Antriebskonzepten, einer Umstellung des Modalsplits weg vom motorisierten Individualverkehr hin zum öffentlichen Nahverkehr und einer Verlagerung von Gütern auf die Schiene und Binnenschiffe gegenüber der Basisentwicklung erreicht werden können, zeigt die nachfolgende Darstellung.

Abbildung 14: Endenergiebedarf des Verkehrssektors in NRW



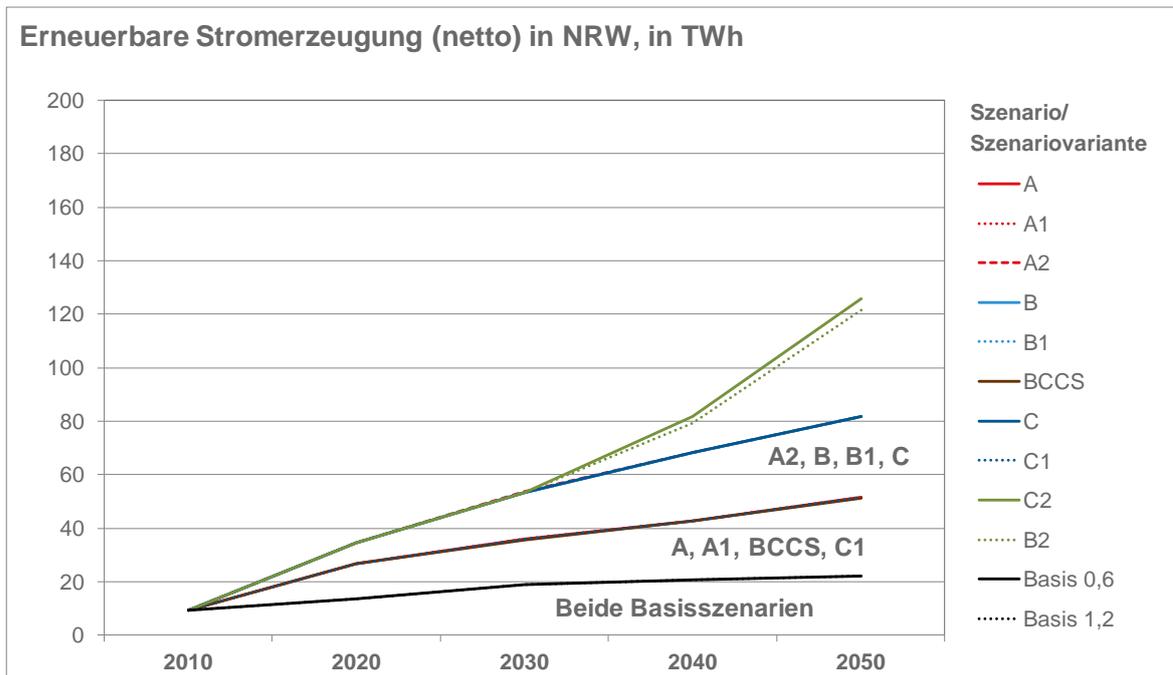
EEV in Abgrenzung der Szenarien des Klimaschutzplans (nicht konform mit Energiebilanz)
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(4) Entwicklung der Stromerzeugung in NRW

Für NRW liegt der Ausbaupfad für erneuerbare Energien in den Basisszenarien (vgl. Abbildung 15) deutlich unter den Ergebnissen der Szenarien des Klimaschutzplans.

In den Szenarien des Klimaschutzplans zeigt sich die zudem die vorgenommene Differenzierung der drei gegenüber der Basisentwicklung deutlich stärkeren Ausbaupfade „Niedrig“, „Hoch“ und „100 % EE“. Die leichten Unterschiede zwischen den Szenariovarianten B2 und C2 resultieren aus dem geringfügig voneinander abweichenden Strombedarf dieser beiden Szenarien des Klimaschutzplans.

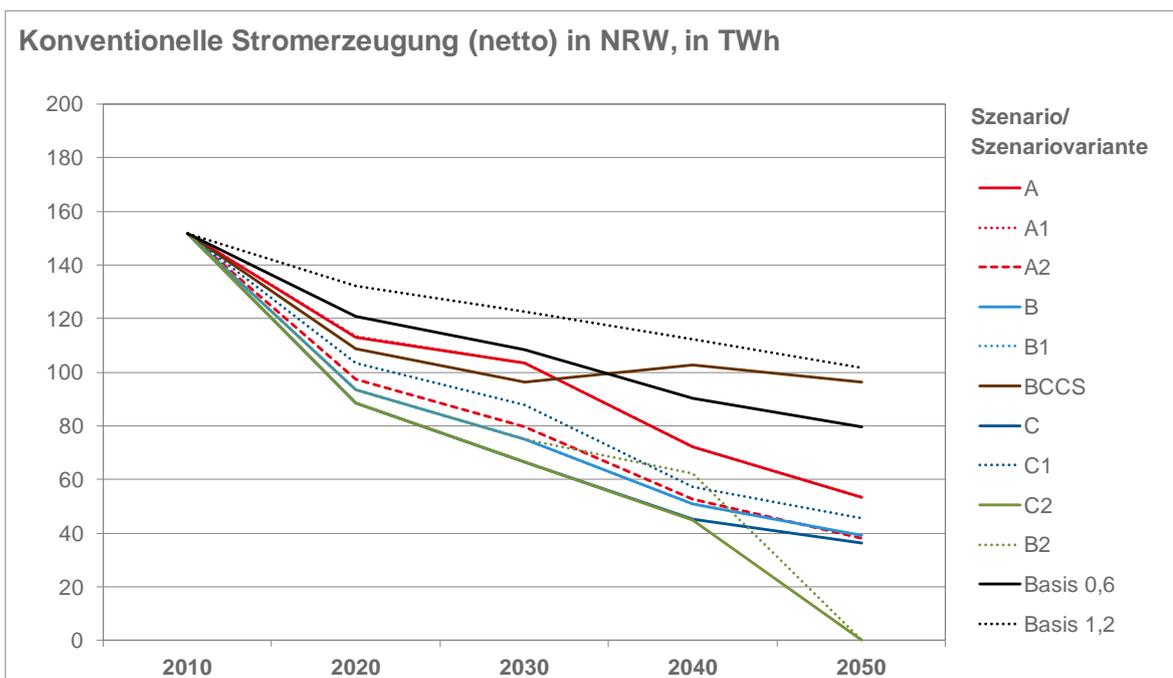
Abbildung 15: Stromerzeugung erneuerbarer Energien in NRW



Quelle: Prognos AG, IWR, Wuppertal Institut

(5) Aus dem geringen Ausbaupfad der Erneuerbaren in Deutschland und NRW in den Basisszenarien ergibt sich zur Deckung des Strombedarfs für Deutschland eine höhere konventionelle Stromerzeugung.

Abbildung 16: Konventionelle Stromerzeugung (netto) in NRW



Quelle: Prognos AG, IWR, Wuppertal Institut

Der hiervon auf NRW entfallende Anteil wurde mit dem Strommarktmodell der Prognos AG in Form einer regionalen Auswertung der standortscharf hinterlegten Kraftwerksblöcke ermittelt (vgl. Abbildung 16). Die konventionelle Stromerzeugung ist in den Basis-szenarien deshalb höher als in den Szenarien des Klimaschutzplans. Eine Ausnahme bildet die Szenariovariante BCCS, in der Braunkohle auch langfristig stark zur Stromerzeugung in NRW beiträgt.

(6) Entwicklung der Strompreise in Deutschland

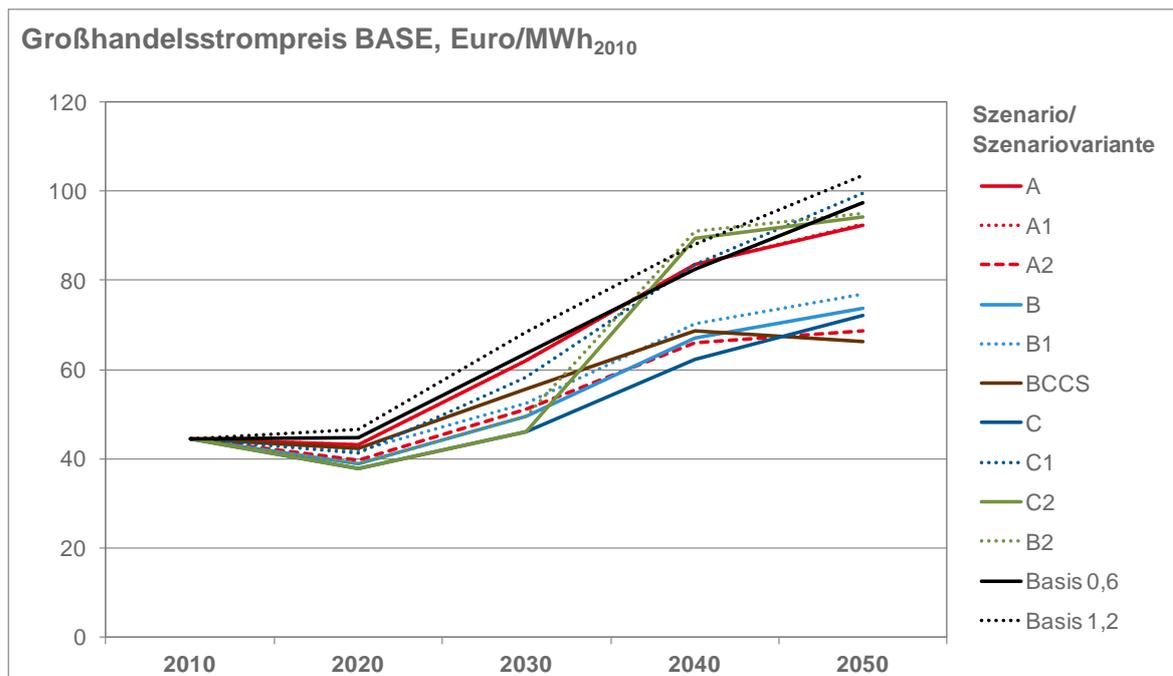
Die Strompreisentwicklung insgesamt und die Entwicklung für einzelne Verbrauchsgruppen wurde vom Wuppertal Institut für die einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans nicht berechnet. Gleichwohl sind Strompreise wichtige Eingangsgrößen für die Berechnung der wirtschaftlichen Impacts und der Sozialverträglichkeit des Klimaschutzplans. Aus den Angaben des Wuppertal Instituts zu den Stromsystemkosten für Deutschland wurden deshalb die zugehörigen Strompreise im Großhandel und in einem weiteren Schritt dann für die Verbrauchsgruppen Private Haushalte, Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen und Industrie abgeleitet. Alle Preise sind als Realpreise mit der Preisbasis des Jahres 2010 ausgewiesen, also um inflationsbedingte Preissteigerungen bereinigt.

Die Grundlage für die Berechnung der Verbraucherpreise bilden die in Abbildung 17 dargestellte Entwicklung der **Strompreise im Großhandel**, die den kurzfristigen Grenzkosten der Stromerzeugung entsprechen. Für die Szenarien des Klimaschutzplans sind die kurzfristigen Grenzkosten durch das WI angegeben worden. Die Großhandelspreise in den Basisszenarien sind mit dem Prognos-Strommarktmodell unter der Berücksichtigung modell-spezifischer Abweichungen berechnet worden.

Es zeigt sich in allen Szenarien ein langfristiger Preisanstieg, ausgelöst vor allem durch die Preissteigerungen für Primärenergieträger und CO₂-Zertifikate. Im Zeitraum bis zum Jahr 2030 zeigt sich darüber hinaus der **Merit-Order-Effekt** der erneuerbaren Energien, der die Großhandelsstrompreise in den Szenarien mit hohem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und in den 100 %-Szenarien stärker senkt als in den Szenarien mit niedrigem oder sehr niedrigem EE-Ausbau. Dieser Effekt setzt sich für den hohen EE-Ausbau auch nach 2030 fort, in den 100 %-Szenarien bilden die Grenzkosten der Verstromung von Bioenergien und synthetischen Gasen (z. B. Wasserstoff, Methan) in Gaskraftwerken immer häufiger den Grenzpreis, so dass sich in diesen Szenarien der

Preis für Baseload⁸ wieder den Preisen der Szenarien mit niedrigem EE-Ausbau und hohem konventionellen Anteil an der Stromerzeugung annähert. Auch in den 100 %-Szenarien bleibt also der Mechanismus der Kraftwerkseinsatzplanung auf der Basis der kurzfristigen Grenzkosten der Stromerzeugung erhalten.

Abbildung 17: Strompreise im Großhandel (Baseload)



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Neben den Großhandelspreisen gingen in die Berechnungen der Verbraucherpreise die unterschiedlichen Ausbaurkosten für die erneuerbaren Energien und die jeweils erforderlichen Netzanpassungen (siehe hierzu die Berechnungen im Impactbereich Versorgungssicherheit/Netzausbau) sowie eine einheitliche Fortschreibung der weiteren Kostenbestandteile (Stromsteuer, Konzessionsabgabe etc.) ein.

Bei dieser Strompreisermittlung für die Verbrauchsgruppen wurde der Verteilungsmechanismus des Jahres 2012 zu Grunde gelegt, aktuell anstehende Änderungen konnten nicht berücksichtigt werden. Bei der Industrie wurden deshalb die Preise für privilegierte und nicht-privilegierte Unternehmen getrennt betrachtet, da der Verteilungsmechanismus 2012 (und auch aktuelle Planungen) für einen Teil der energieintensiven Unternehmen Ausnahmen und Befreiungen vorsieht.

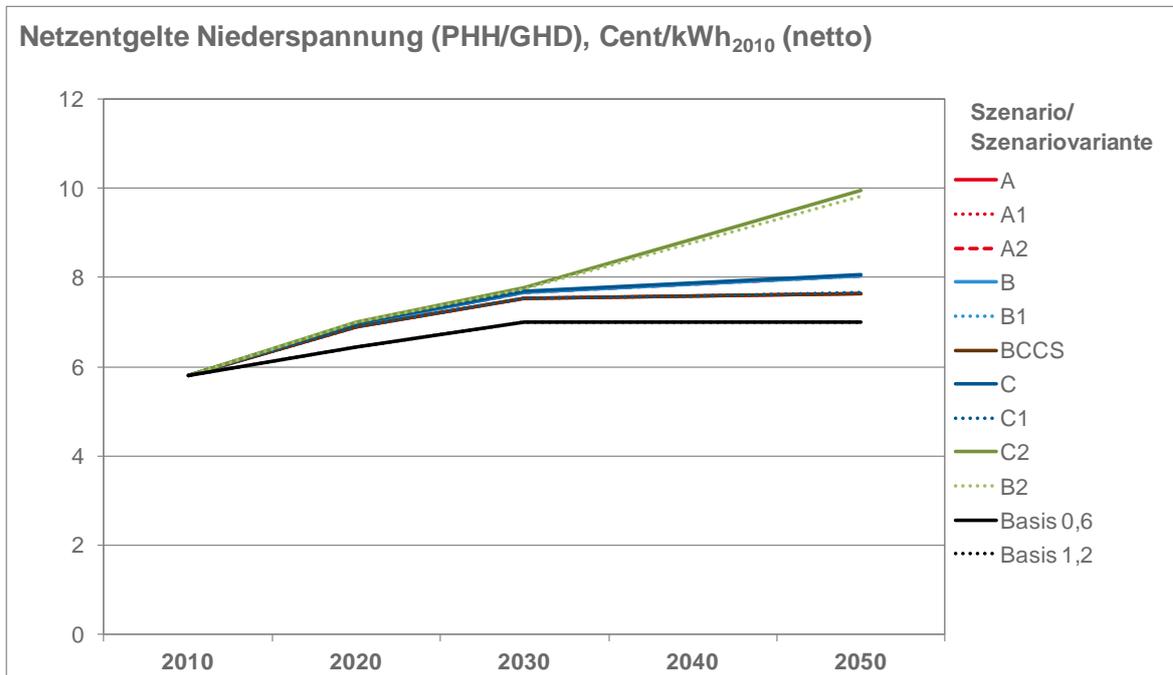
⁸ Der Baseload-Preis für Strom ist der nicht mengengewichtete Durchschnittspreis über alle Einzelstunden einer Periode (z. B. eines Jahres) an der Strombörse.

(7) Neben den Beschaffungskosten besitzen die **Netzentgelte** einen hohen Anteil an den Verbraucherpreisen. Diese variieren je nach Netzebene, auf der der Strom entnommen wird. Je niedriger die Spannungsebene ist, an die ein Verbraucher angeschlossen wird, desto höher sind dessen Netzentgelte, da der angeschlossene Verbraucher anteilig an den Kosten aller von ihm genutzten Netzebenen beteiligt wird. In der Umlage dieser Kosten wird heute und auch für die zukünftigen Netzentgelte unterstellt, dass für eine Versorgung der unteren Netzebene (Niederspannung) sämtliche darüber liegenden Netzebenen (Mittelspannung, Hoch- und Höchstspannung sowie die jeweilige Umspannung zwischen den Netzebenen) genutzt werden. Ein an eine höhere Netzebene (z. B. Mittelspannung) angeschlossener Verbraucher zahlt jedoch nicht für die darunter liegenden Netzebenen.

Die Szenarien unterscheiden sich vor allem durch den unterschiedlich hohen Netzausbaubedarf. Je mehr dezentrale Erzeugungstechniken zum Einsatz kommen, desto stärker steigen die Kosten für den zukünftigen Ausbau der Netze. Gleichzeitig spielt auch die Menge an Strom, die durch die Netze transportiert wird, eine wichtige Rolle. Bei Szenarien mit einem ähnlich hohen Netzausbaubedarf, aber mit unterschiedlichem Strombedarf, wird mehr Strom durch die Netze geleitet, weshalb die spezifischen Netzentgelte pro Kilowattstunde sinken.

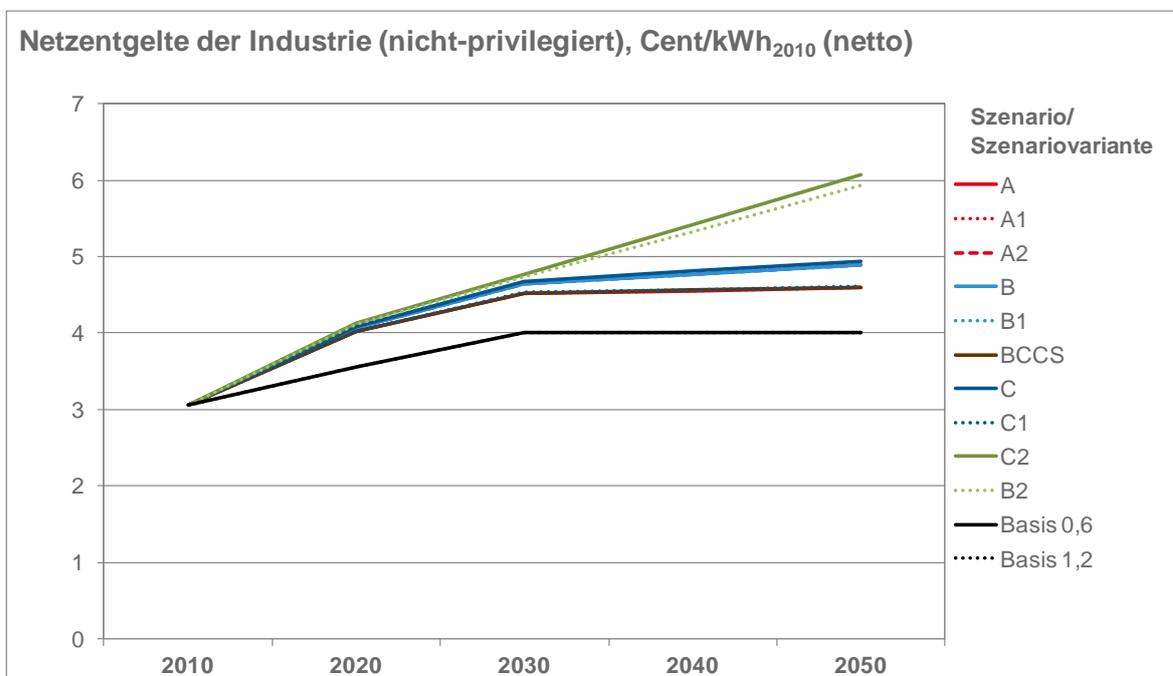
Die folgenden Abbildungen stellen den Vergleich für die Netzentgelte auf unterschiedlichen Spannungsebenen dar. Abnehmer auf der Niederspannungsebene, wie beispielsweise private Haushalte und kleinere Betriebe aus Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD) zahlen aufgrund der dargestellten Kostenwälzung die höchsten Netzentgelte. Auf der Mittelspannungsebene angeschlossene größere Verbraucher (z. B. aus der mittelständischen, nicht privilegierten Industrie) müssen nicht für die Kosten der Niederspannungsebene aufkommen, Verbraucher auf der Hoch- und Höchstspannungsebene (z. B. privilegierte industrielle Großbetriebe) wiederum nicht für die Kosten der Mittelspannungsebene. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Kostenbelastung und somit auch die Entgelte auf den verschiedenen Spannungsebenen deutlich. Bei einem besonders hohen Anteil von erneuerbaren Energien, wie in den 100 %-Szenarien, fallen aufgrund des erhöhten Netzausbaus höhere Netzkosten an als bei Szenarien mit einem geringeren Anteil an erneuerbaren Energien.

Abbildung 18: Netzentgelte Niederspannung (PHH/GHD)



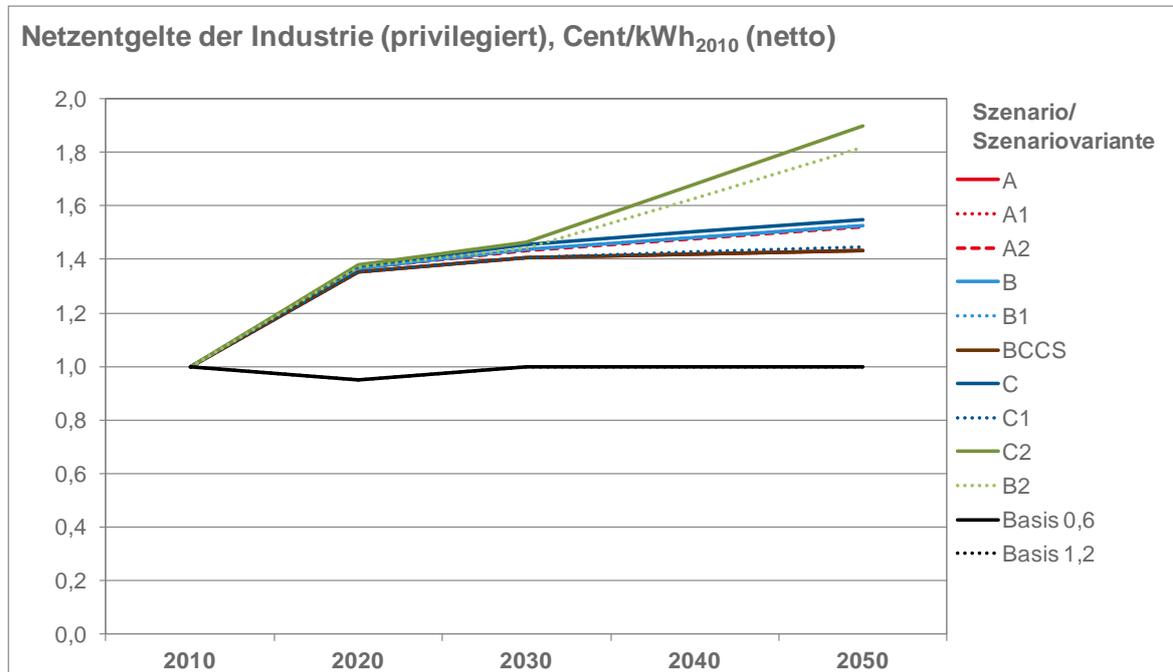
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Abbildung 19: Netzentgelte Mittelspannung (nicht-privilegierte Industrie)



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Abbildung 20: Netzentgelte Hochspannung (privilegierte Industrie)



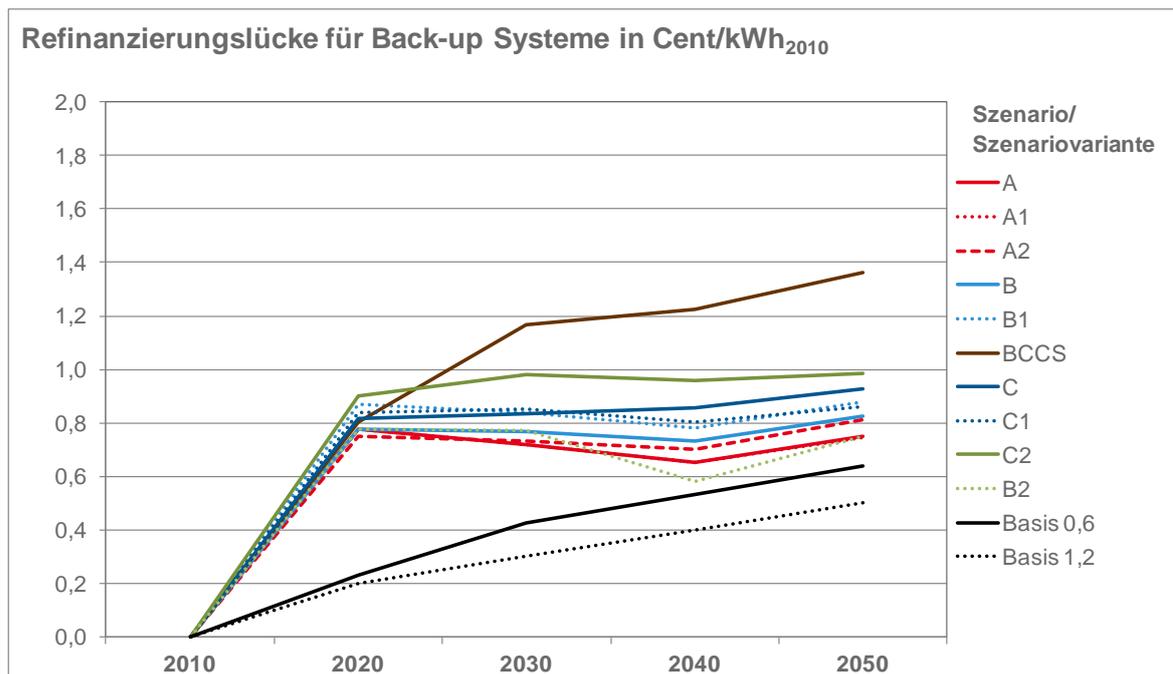
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(8) Hinzu kommen in allen Szenarien **zukünftig** noch **Zahlungen** an die Betreiber konventioneller Kraftwerke **zur Vorhaltung ausreichender Back-up-Kapazitäten**, mit denen Erzeugungsschwankungen der erneuerbaren Energien ausgeglichen werden. Die Höhe dieser Zahlungen wurde für die einzelnen Szenarien aus dem Vergleich der Erlöse aus dem Großhandel und den Systemkosten für den konventionellen Park abgeleitet. Sie sind so bemessen, dass fehlende Deckungsbeiträge der Kraftwerksbetreiber, die durch den rückläufigen Einsatz ihrer Anlagen und den Merit-Order-Effekt entstehen, ausgeglichen werden.

Die in den Szenarien des Klimaschutzplans und der Basisentwicklung vorhandenen konventionellen Kraftwerkskapazitäten zur Absicherung der erneuerbaren Energien lassen sich nicht allein durch die in Abbildung 17 dargestellten Preise im Großhandel refinanzieren. Die Höhe der Zahlungen für Anlagen, bei denen die fehlende Fix- und Kapitalkosten nicht vollständig durch die Erlöse am Großhandel gedeckt werden können, steigt in den Szenarien mit einem wachsenden Anteil an erneuerbaren Energien, da die Einsatzzeiten der konventionellen Anlagen dann stärker zurückgehen und die Strompreise im Großhandel durch dem Merit-Order-Effekt stärker begrenzt werden. Dennoch muss die fluktuierende Einspeisung zu jeder Zeit vor allem von regelbaren Kraftwerken abgesichert werden, die allerdings auch mit klimaneutralen Brennstoffen (z. B. Biogas, Wasserstoff) betrieben werden können.

Sollte das Back-up System darüber hinaus anstatt auf herkömmliche konventionelle Techniken auf die CCS-Technologie setzen, erhöht sich die Refinanzierungslücke, weil die aufwendige und damit teure CCS-Infrastruktur nicht über die niedrigen Preise im Großhandel refinanziert werden kann. Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich der notwendigen Kapazitätzahlungen in den einzelnen Szenarien.

Abbildung 21: Refinanzierungslücke für konventionelles Back-up System



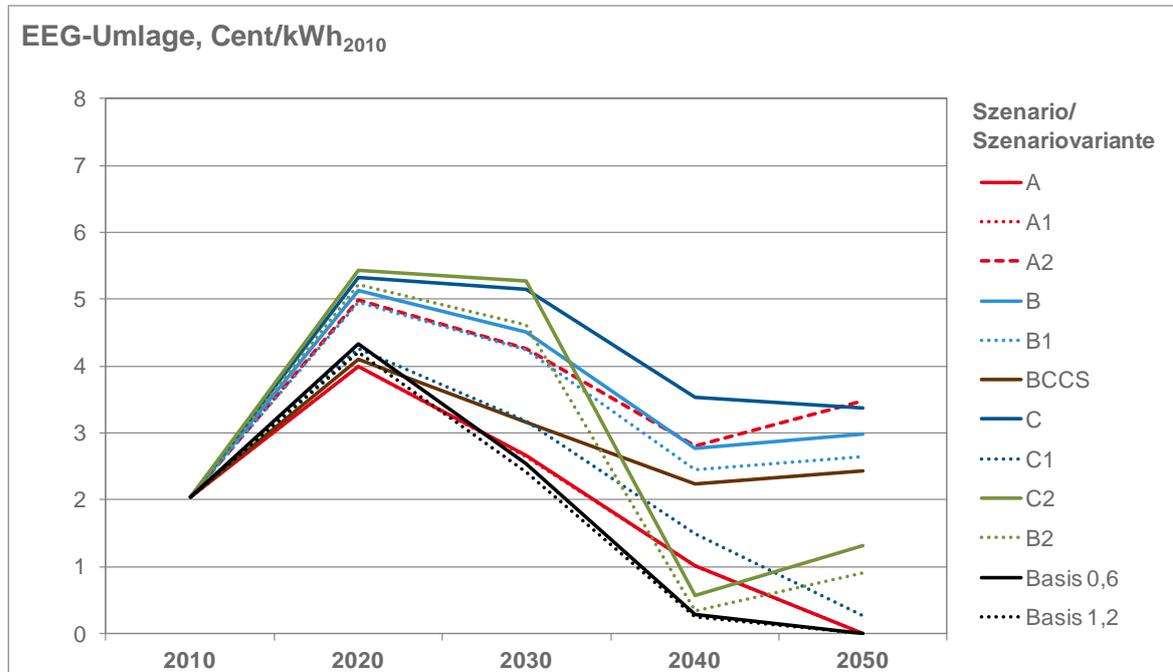
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(9) Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Strompreise für Verbraucher ist die **EEG-Umlage**, mit der der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung finanziert wird. Die EEG-Umlage deckt die Differenzkosten zwischen den Kosten der erneuerbaren Technologien für die Stromerzeugung und den im Großhandel erzielbaren Erlösen. Die Differenzkosten werden im Wesentlichen auf die nicht-privilegierten Letztverbraucher umgelegt. Die Differenzkosten werden durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Einerseits reduzieren sich die Kosten für erneuerbare Energien durch einen weiteren technologischen Fortschritt (sog. Lernkurve). Andererseits wachsen die Einnahmen durch die Vermarktung des EE-Stroms bei einem steigenden Preis im Großhandel (siehe Abbildung 17).

Dem gegenüber stehen im Vergleich zum mittleren Großhandelsstrompreis sinkende mittlere Erlöse insbesondere für die Photovoltaik durch die hohe Gleichzeitigkeit der Erzeugung um die Mittagszeit (sinkende Profilkfaktoren). Die folgende Abbildung gibt den Verlauf der EEG-Umlage in den Szenarien wieder.

Der Rückgang der EEG-Umlage nach 2020 wird wesentlich durch das Ausscheiden der teuren PV-Jahrgänge 2008 bis 2011 und durch den Anstieg der Großhandelsstrompreise und dadurch steigende Vermarktungserlöse ausgelöst.

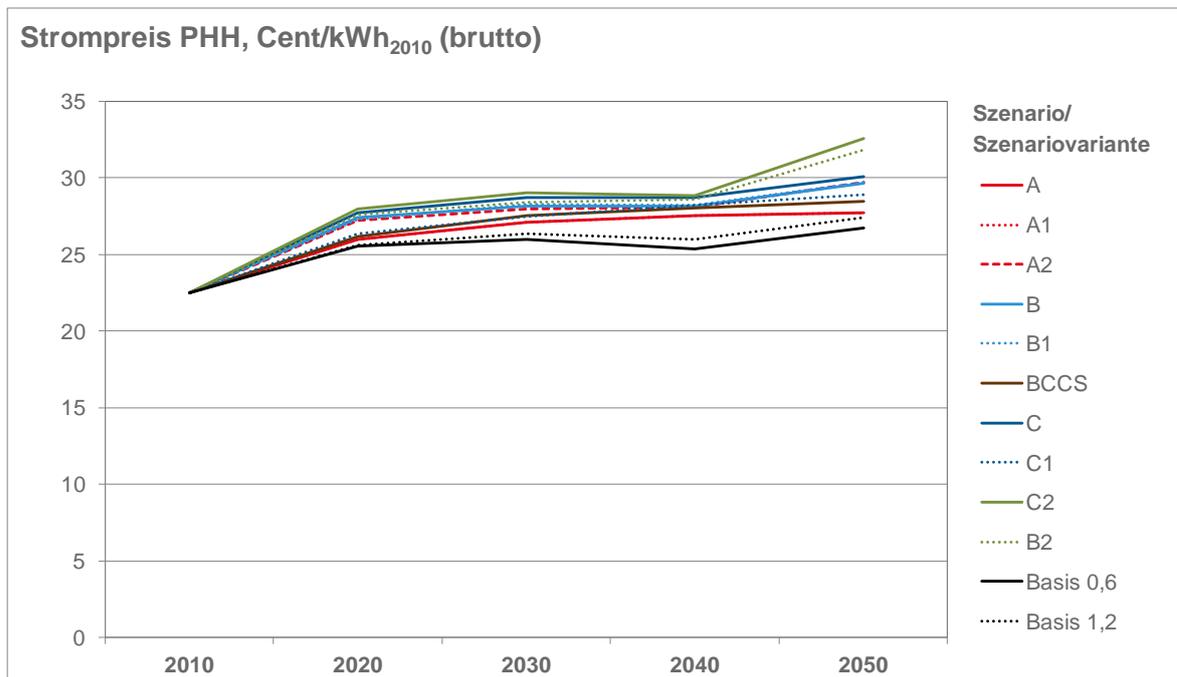
Abbildung 22: Entwicklung der EEG-Umlage



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

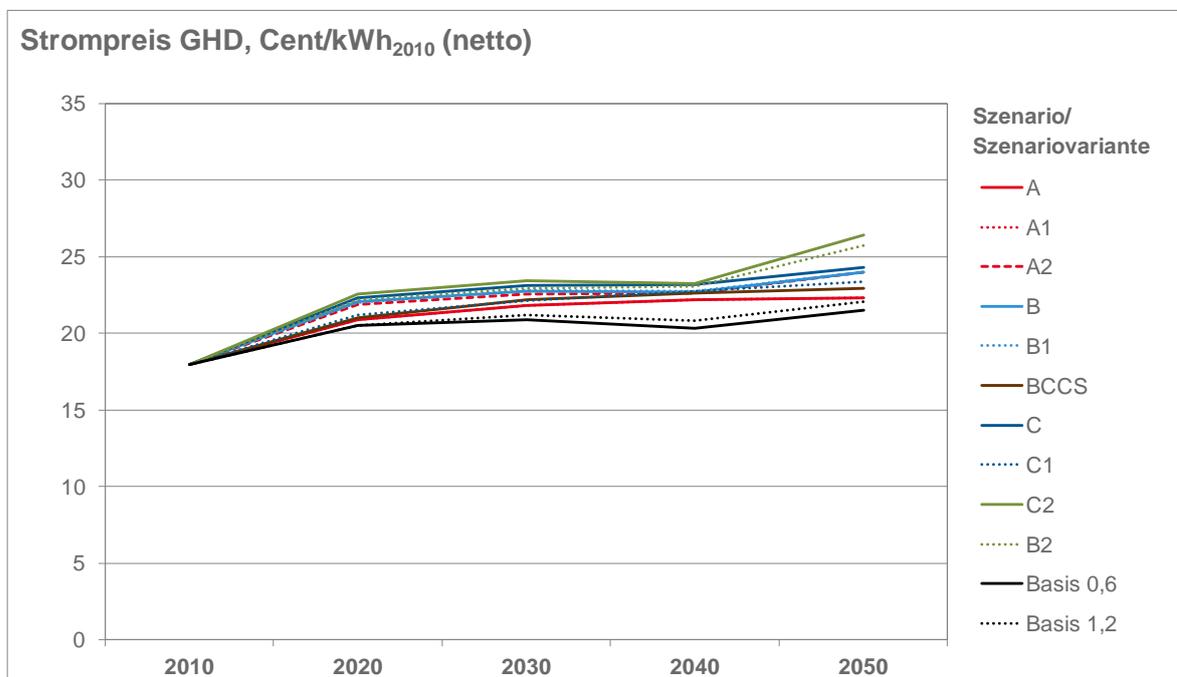
(10) Die folgenden Abbildungen zeigen den Vergleich für die **Strompreise Privater Haushalte**, für **Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD)** sowie für die **Industrie**. In diesen Endverbraucherpreisen sind sämtliche heute oder zukünftig wirksamen Preisbestandteile (Großhandelsstrompreis, EEG-Umlage, Netzentgelte, Kosten für das Backup-System, Stromsteuer, Konzessionsabgabe etc.) enthalten. Die Preise für Private Haushalte enthalten die Mehrwertsteuer in Höhe von konstant 19 %, alle anderen Strompreise werden netto, also ohne Mehrwertsteuer dargestellt.

Abbildung 23: Strompreise Private Haushalte



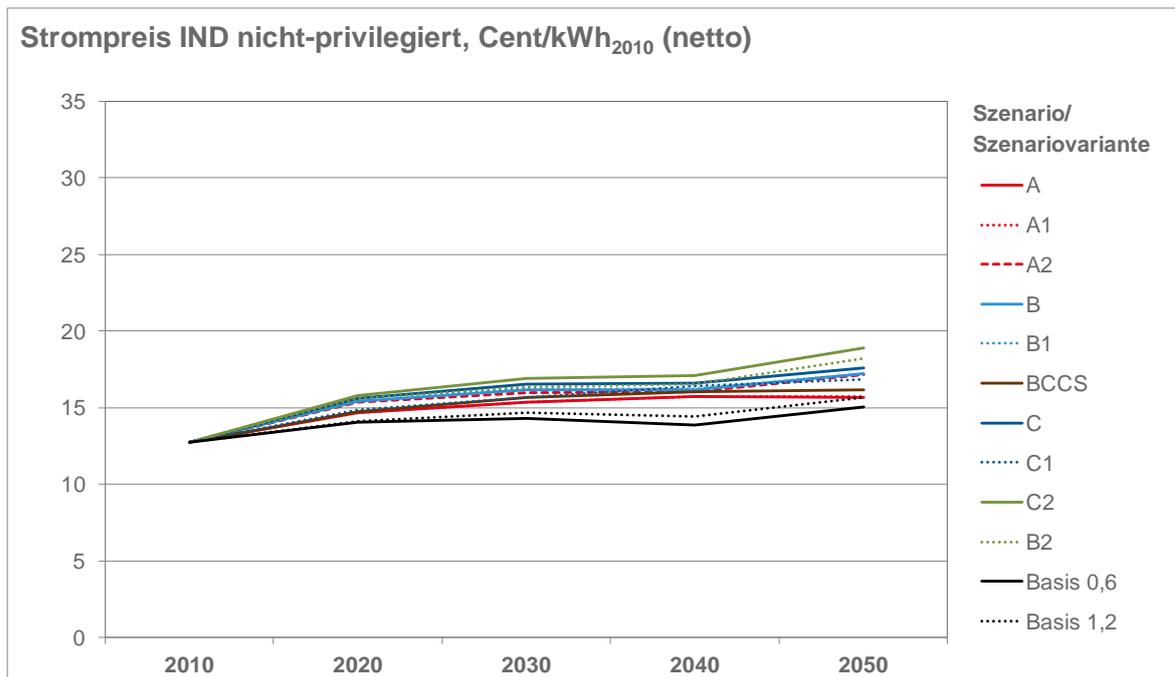
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Abbildung 24: Strompreise Gewerbe/Handel/Dienstleistungen



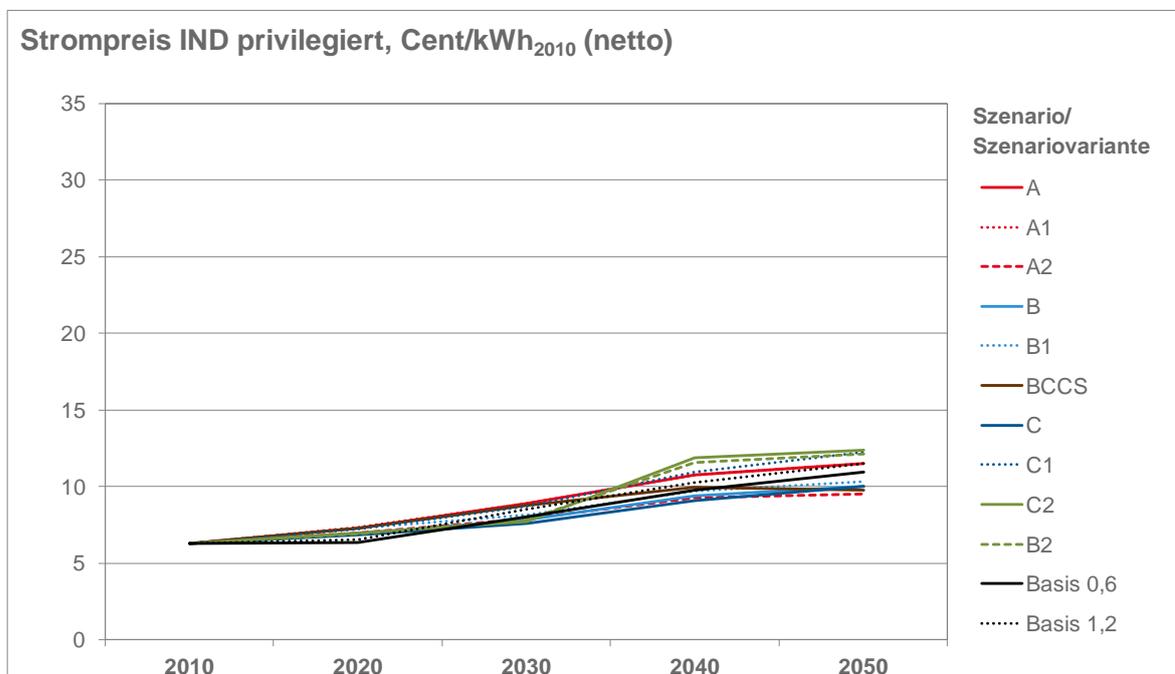
Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Abbildung 25: Strompreise Industrie, nicht privilegiert



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Abbildung 26: Strompreise Industrie, privilegiert



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(11) Die **Preisentwicklung** zeigt in allen Szenarien mittel- bis langfristig eine **steigende Tendenz**, die in den Basisszenarien am geringsten ausfällt. Auslöser für die Preissteigerungen sind die **Kostensteigerungen der Stromversorgung**, die sich bei den

konventionellen Kraftwerken aus den Preissteigerungen für Brennstoffe und CO₂-Zertifikate ergeben und für die erneuerbaren Energien aus den steigenden Gesamtkosten des Ausbaus.

Unterschiede in der absoluten Höhe der Strompreise zeigen sich generell zwischen den Verbrauchsgruppen Private Haushalte, GHD und der nicht-privilegierten Industrie durch die unterschiedlichen Abnahmemengen und die Berücksichtigung der Mehrwertsteuer bei den Privaten Haushalten. Für diese drei Verbrauchsgruppen ist auch der Entwicklungspfad in den Szenarien bei der Kostensteigerung identisch: Die größten Preissteigerungen zeigen sich bei den 100 %-EE-Szenarien B2 und C2 – insbesondere nach 2030, wenn der 100 %-EE-Pfad eingeschlagen wird – gefolgt von den Szenarien mit hohem EE-Ausbau (A2, B, B1 und C). Insgesamt ist der Unterschied zwischen den Szenarien jedoch noch moderat.

Unter Beibehaltung der Verteilungsmechanismen für die Kosten der erneuerbaren Energien und Netze des Jahres 2012 zeigt sich für die privilegierten Unternehmen der energieintensiven Industrie ein abweichendes Bild: Einerseits liegen die Strompreise in allen Szenarien bis 2030 dicht beieinander und andererseits weisen im Jahr 2050 neben dem Szenario BCCS auch die Szenarien mit einem hohen Ausbau der erneuerbaren Energien (A2, B, B1 und C) niedrigere Preise aus als die Basisszenarien. Eine wichtige Prämisse für den in allen Szenarien unterstellten Preisanstieg ist das Zustandekommen internationaler Klimaschutzabkommen, die den CO₂-Preis als Lenkungsinstrument nutzen. Vor diesem Hintergrund entstehen durch die dargestellte Strompreissteigerung in der privilegierten Industrie keine Wettbewerbsnachteile gegenüber ausländischen Industriestandorten, die diesen Abkommen beitreten.

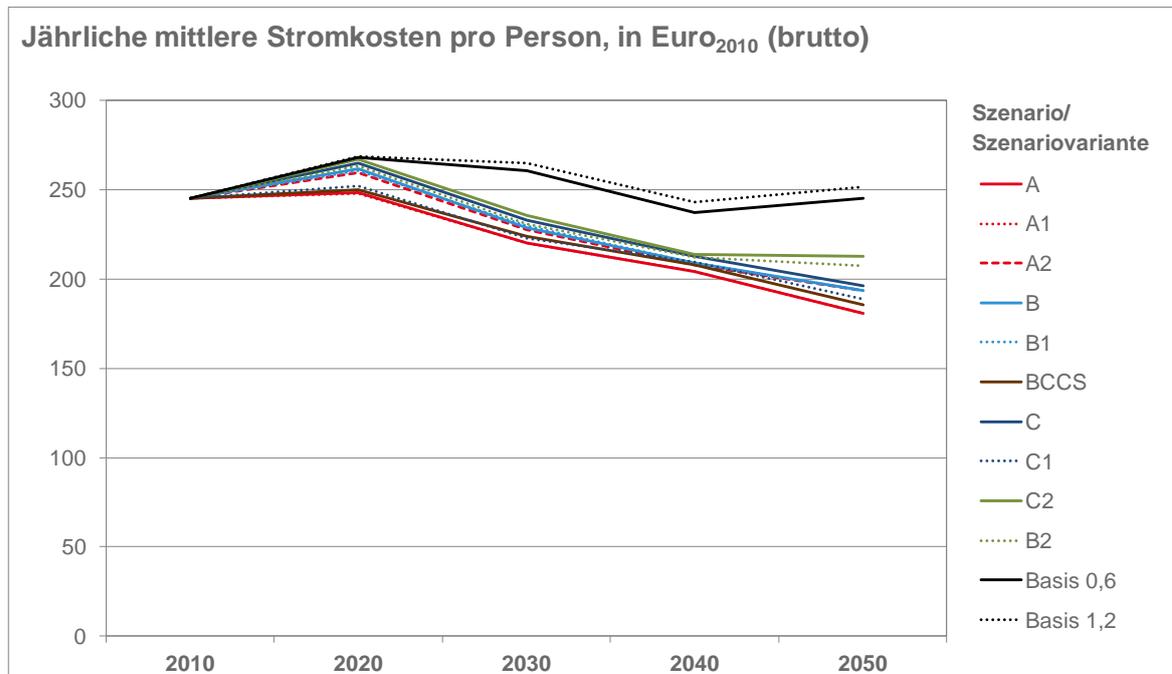
(12) **Stromkostenbelastung der Privaten Haushalte**

Steigende Strompreise sind ein häufig geäußertes Argument gegen einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland. In den letzten Jahren zeigte sich durchaus eine Kopplung dieser Entwicklungen. Allerdings greift diese Betrachtung für die langfristig angelegten Klimaschutz- und Basisszenarien zu kurz, da sie die Auswirkungen des Verbrauchsrückgangs durch Energieeffizienzmaßnahmen außer Acht lässt.

Im Vorgriff auf die Untersuchungen im Impactbereich Sozialverträglichkeit wird deshalb an dieser Stelle die Entwicklung der mittleren Stromkostenbelastung der Privaten Haushalte als spezifischer Wert pro Person und Jahr dargestellt (vgl. Abbildung 27). Auf dieser Betrachtungsebene zeigt sich für alle Szenarien des Klimaschutzplans eine positivere Entwicklung als in den Basisszenarien. Während in den Basisszenarien die Stromkostenbelastung

annähernd konstant bleibt, zeigen sich in den Szenarien des Klimaschutzplans für den Zeitraum nach 2020 durchweg Entlastungen, die bis 2050 auf jährliche Pro-Kopf-Beträge von zwischen 30 Euro₂₀₁₀ und 70 Euro₂₀₁₀ steigen.

Abbildung 27: Stromkosten Privater Haushalte



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(13) Entwicklung der Treibhausgasemissionen in NRW

Die physischen Treibhausgasemissionen gehen in den Basis-szenarien für NRW auf Grund der dargestellten Annahmen weniger stark zurück als in den Szenarien des Klimaschutzplans. Der Vergleich mit den im Klimaschutzgesetz festgelegten Reduktionszielen (vgl. Abbildung 28) zeigt, dass im Rahmen der zu erwarteten Ungenauigkeit für Betrachtungen bis zum Jahr 2050 die Szenarien B2 und C2 das Reduktionsziel von -80 % THG-Emission bis zum Jahr 2050 erreichen. Die Reduktionsziele des Klimaschutzgesetzes beziehen sich nicht allein auf die physische Treibhausgasreduktion in NRW, nach § 6 (3) sind auch die Wirkungsbeiträge und die Wechselwirkungen von Maßnahmen des Bundes sowie der Europäischen Union auf NRW zu berücksichtigen. Das Klimaschutzgesetz ist somit eingebettet in das System des europäischen Emissionshandels. Die hier genannten physischen THG-Emissionen sind deshalb nicht alleiniges Ausschlusskriterium für die einzelnen Szenarien.

Der Vergleich der Szenarien des Klimaschutzplans mit den zugehörigen Basisszenarien zeigt die jeweilige Größenordnung der zu-

sätzlichen Einsparungen durch die Umsetzung der Klimaschutzstrategien (vgl. Abbildung 29).

Abbildung 28: Treibhausgasemissionen insgesamt in NRW

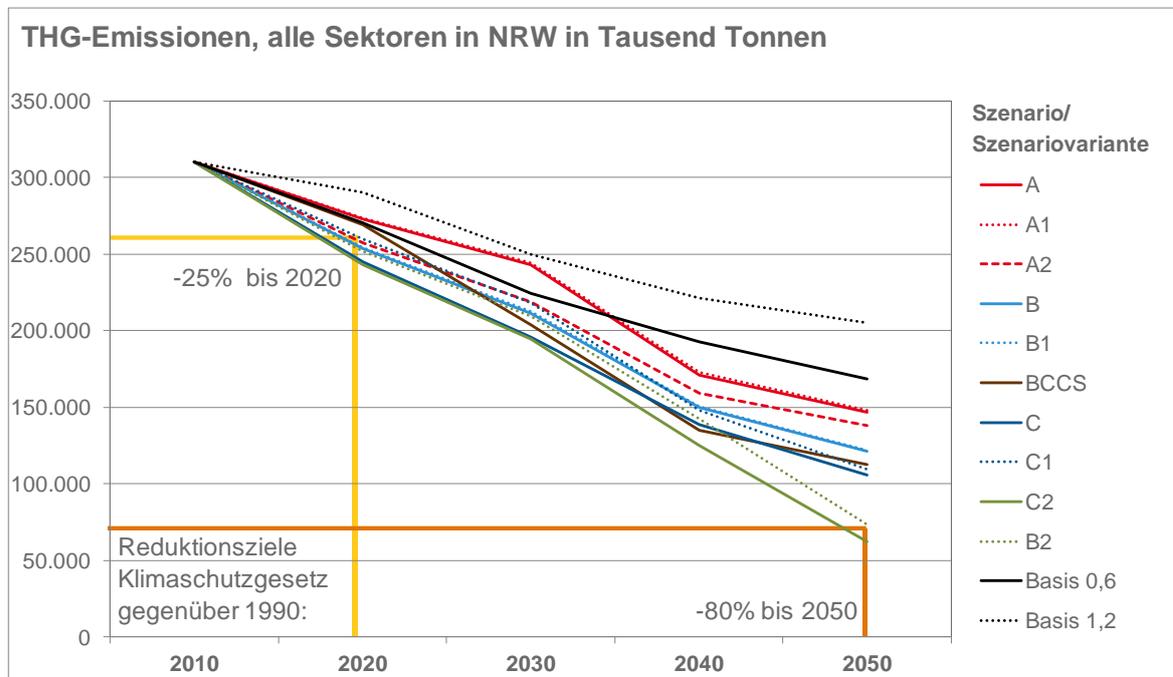
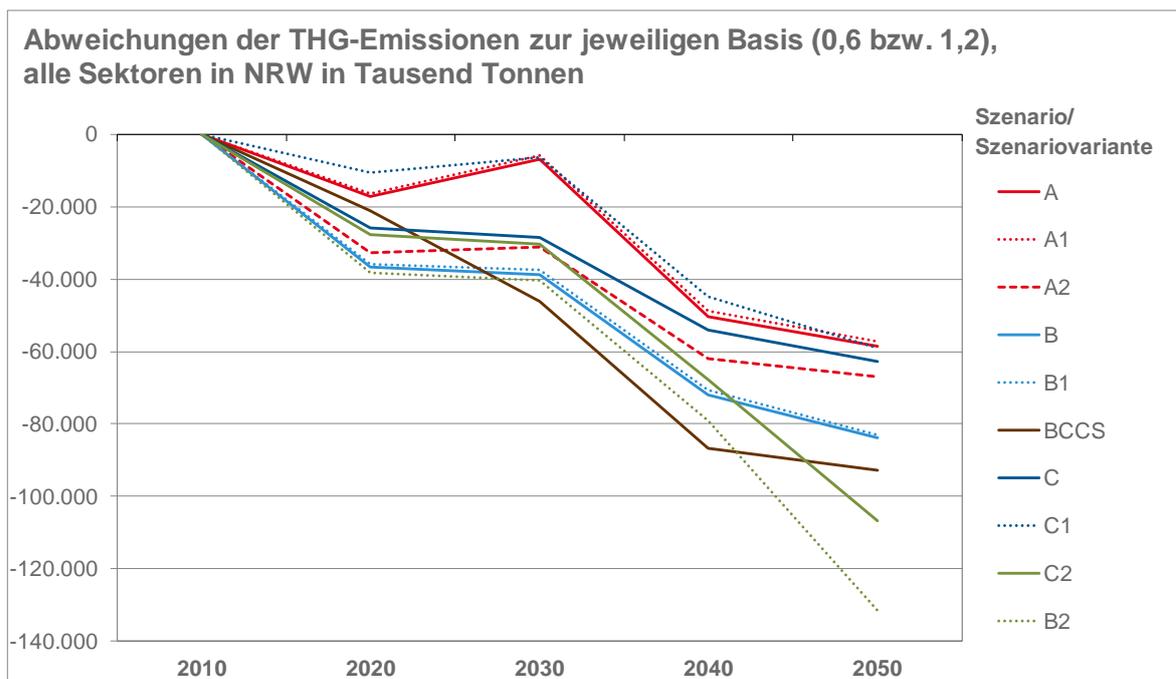


Abbildung 29: Einsparungen der Szenarien des Klimaschutzplans in NRW gegenüber dem jeweiligen Basisszenario



Untersuchungsteil II: Die Impactbereiche

3 Versorgungssicherheit

(1) Versorgungssicherheit stellt eines der in § 1 Abs. 1 EnWG angeführten energiepolitischen **Grundziele** dar. Sie „ist gegeben, wenn die Kunden dauerhaft und nachhaltig ihren Bedarf an (elektrischer) Energie decken können.“⁹ In diesem Sinne umfasst das Thema Versorgungssicherheit in der elektrischen Energieversorgung die gesamte Versorgungskette von der Bereitstellung der Primärenergie bis hin zur Abnahme durch den Stromverbraucher. Bei der Abgrenzung der Impactbereiche wurden einige Glieder dieser Kette anderen Arbeitsabschnitten zugeteilt:

- Die Größenordnung und geographische Verteilung der steuerbaren und auch der nicht steuerbaren Kraftwerkskapazität wurden durch das Wuppertal Institut mit Hilfe eines Kraftwerkseinsatzmodells so bestimmt, dass zu jeder Zeit die Leistungsbilanz sichergestellt ist. Die Bereitstellung ausreichender Kraftwerkskapazitäten muss deshalb an dieser Stelle nicht noch einmal untersucht werden. Die Kosten zur Errichtung der Kraftwerks- und Speicherkapazitäten werden in den gesamtwirtschaftlichen Effekten berücksichtigt.
- Im Impactbereich Importabhängigkeit wird der Import von Primärenergie ebenso berücksichtigt wie der Import von Strom (elektrischer Energie). Nicht berücksichtigt wird dort jedoch die Sicherstellung ausreichender Netzkapazitäten für den Import und auch für Leistungstransitflüsse.

Für den Impactbereich Versorgungssicherheit bleibt daher die Untersuchung der **Leistungsfähigkeit des elektrischen Versorgungsnetzes** als zentrale Voraussetzung zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit.

(2) Die Leistungsfähigkeit des elektrischen Versorgungsnetzes hat zwei wichtige Dimensionen:

- Die Betriebsmittel des Netzes (Leitungen, Transformatoren, etc.) müssen ausreichend dimensioniert sein, um die benötigten Leistungsflüsse aufnehmen zu können.
- Beim Betrieb der Netze müssen die zur Netzsteuerung und Einhaltung der sicheren Betriebsgrenzen notwendigen Werkzeuge zur Verfügung stehen.

⁹ BMWi „Analyse und Bewertung der Versorgungssicherheit in der Elektrizitätsversorgung“, September 2010.

Schwerpunkte der Betrachtungen im Impactbereich Versorgungssicherheit sind deshalb die **Bestimmung des** zur Aufnahme der vorgesehenen Kraftwerksleistung **notwendigen Netzausbaus** und die Diskussion der Netz- und Systemstabilität unter Berücksichtigung der Versorgungsqualität.

(3) **Grundannahme** ist, dass die Versorgungssicherheit an sich unverändert bleiben soll. In diesem Zusammenhang gilt es zu untersuchen, welche Auswirkungen die Umsetzung der Szenarien des Klimaschutzplans auf die Versorgungssicherheit hat und welcher zusätzliche Aufwand gegebenenfalls zu betreiben ist, um das gegenwärtige Niveau der Versorgungssicherheit aufrechterhalten zu können. Die in diesem Abschnitt ermittelten Kosten fließen in die Berechnungen zu den gesamtwirtschaftlichen Effekten im entsprechenden Impactbereich ein.

3.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

(1) Im Rahmen der Analyse des Impactbereichs „Versorgungssicherheit“ ist es das Ziel, zum einen den **Umfang des erforderlichen Netzausbaus in Nordrhein-Westfalen** zu bestimmen, der aus der Umsetzung der Szenarien des Klimaschutzplans resultieren würde, und zum anderen die Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans auf die **Netzzuverlässigkeit sowie Systemstabilität** zu untersuchen.

(2) Um bei der Berechnung des Netzausbaus die Netzstrukturen von Nordrhein-Westfalen bestmöglich abbilden zu können, wurden im Rahmen von zwei Expertenworkshops mit Unterstützung des BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) in Nordrhein-Westfalen **Informationen und Einschätzungen der nordrhein-westfälischen Netzbetreiber** eingeholt. Auch Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans auf die Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität sowie die Definition dieser beiden Begrifflichkeiten wurden diskutiert. Der Input der Netzbetreiber wurde entsprechend bei den Untersuchungen des Impacts „Versorgungssicherheit“ berücksichtigt.

(3) Der zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit notwendige Netzausbau in Nordrhein-Westfalen wird anhand von Netzmodellen und schematisierten festgelegten Ausbaustrategien berechnet. Die über den Netzausbau hinausgehenden Auswirkungen zu weiteren Aspekten der Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität werden qualitativ mit Bezug auf die Szenarien des Klimaschutzplans diskutiert.

(4) Die Entwicklung des Stromversorgungssystems in Nordrhein-Westfalen ist in den Zusammenhang des deutschen und europäischen Verbundsystems der Übertragungsnetzbetreiber eingebunden. Die Wechselwirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans für Nordrhein-Westfalen in diesem Kontext werden diskutiert. Ferner werden auf Basis der erlangten Ergebnisse aller untersuchten Aspekte notwendige Maßnahmen und weitere Handlungsvorschläge für Nordrhein-Westfalen abgeleitet.

3.1.1 Erforderlicher Netzausbau in Nordrhein-Westfalen

(1) Bei der Bestimmung des erforderlichen Netzausbaubedarfs wird für das Übertragungsnetz nicht nur das derzeit in Betrieb befindliche Netz berücksichtigt, sondern es werden darüber hinaus die von den Netzbetreibern geplanten und im Netzentwicklungsplan 2013 beschriebenen Verstärkungsmaßnahmen vorausgesetzt. Darauf aufbauend werden in den Berechnungen für die Basisszenarien und die Szenarien des Klimaschutzplans ggf. zusätzlich notwendige Ausbaumaßnahmen bestimmt. Im Blickpunkt steht die Abschätzung des Umfangs der Ausbaumaßnahmen. Zur Notwendigkeit einzelner Maßnahmen in Einzelfallbetrachtungen soll und kann keine Aussage getroffen werden.

(2) Wegen der geringen Abweichungen zwischen den beiden Basisszenarien 0,6 und 1,2 ist es ausreichend, nur ein Basisszenario zu berechnen. Die Ermittlung des Netzausbaus für Nordrhein-Westfalen erfolgt neben dem Basisszenario für folgende Szenarien des Klimaschutzplans:

Tabelle 12: Überblick der berechneten Szenarien des Klimaschutzplans

Last (Nettostromnachfrage inkl. Netzverluste)	Niedriger Ausbau erneuerbarer Energien	Hoher Ausbau erneuerbarer Energien	100 % erneuerbare Energien
Konstant	Szenario A = A1 = BCCS	Szenario A2 = B = B1	Szenario B2
Sinkend (11,3 % Absenkung bis 2050 im Vergleich zu 2010)	Szenario C1	Szenario C	Szenario C2

Quelle: Energynautics, Wuppertal Institut

Aufgrund der Redundanz einiger Szenarien in Bezug auf den Ausbaupfad von erneuerbaren Energien und die Last in Nordrhein-Westfalen wurden diese zusammengefasst (siehe Tabelle 12).

(3) **Angaben** zu den Szenarien des Klimaschutzplans (Erzeugungskapazität, Last) wurden direkt vom Wuppertal Institut bereitgestellt, die Angaben zum Basisszenario von Prognos (siehe Tabelle 13). Für die Szenarien mit konstanter Last wurde der Wert

des Jahres 2010 herangezogen. Für die Szenarien mit sinkender Last wurde eine Absenkung des Wertes von 2010 um 11,3 % bis 2050 angesetzt.

Tabelle 13: Übersicht der Eingangsparameter der berechneten Szenarien

		Basisszenario	A=A1=BCCS & C1	A2=B=B1 & C	B2 & C2
Last [TWh/a]	2020	128,6	127,7 / 124 (für C-Szenarien)		
	2030	125,4	127,7 / 120 (für C-Szenarien)		
	2050	130	127,7 / 113 (für C-Szenarien)		
PV [MW]	2020	3.612	5.666	5.902	5.902
	2030	5.782	8.263	10.623	10.623
	2050	6.115	13.574	21.247	40.133
Windenergie [MW]	2020	3.590	6.473	10.436	10.436
	2030	3.944	9.620	17.722	17.722
	2050	4.861	13.397	25.305	39.695
Biomasse [MW]	2020	506	1.064	1.064	1.064
	2030	568	1.095	1.095	1.095
	2050	620	1.145	1.145	1.532
Konventionelle & Sonstige [MW]	2020	32.367	31.182	31.182	31.182
	2030	26.106	31.394	30.358	30.358
	2050	19.258	33.295	31.541	22.989

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(4) Der **ermittelte Netzausbau** für die einzelnen Szenarien umfasst den Leitungs- und Transformatorausbau für alle Spannungsebenen in Nordrhein-Westfalen und wird für die Jahre 2020, 2030 und 2050 bestimmt. Im Übertragungsnetz (HöS- und HöS/HS-Ebene) handelt es sich dabei um den Netzausbau, der über die Planungen der Netzbetreiber im Netzentwicklungsplan (NEP) 2013¹⁰ hinausgeht, in den anderen Spannungsebenen um den gesamten Ausbau gegenüber dem Ist-Zustand. Der aus den Berechnungen resultierende Netzausbau der Höchst- und Hochspannungsebene für Nordrhein-Westfalen beschränkt sich ausschließlich auf bereits bestehende Stromtrassen. Neue Netzverbindungen werden nicht bestimmt. Basierend auf den Ergebnissen lassen sich im Anschluss die Netzausbaukosten für Nordrhein-Westfalen für jedes Szenario des Klimaschutzplans sowie für das Basisszenario berechnen.

Dabei werden **Maßnahmen** ergriffen, um den Umfang des erforderlichen Netzausbaus in Nordrhein-Westfalen so gering wie möglich zu halten. Hierzu kommen verschiedene Technologien, wie Hochtemperaturleiterseile oder regelbare Ortsnetztransformatoren (siehe Abschnitt 3.2), zum Einsatz. Eine detailliertere Beschrei-

¹⁰ Der NEP 2014 lag zum Zeitpunkt der Berechnungen für die Impactanalyse noch nicht vor.

bung der Methodik zur Bestimmung des Netzausbaus ist in Abschnitt 3.2 dargelegt. Speicher, Lastmanagement, Abregelung sowie Planungen neuer HGÜ-Verbindungen über den NEP 2013 hinaus, die den Ausbaubedarf möglicherweise weiter senken könnten, sind nicht Bestandteil der Untersuchungen. Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich demnach um eine **Grenzbetrachtung**, d. h. eine aus heutiger Sicht rechtlich zulässige und kostenoptimale Lösung, die allerdings – wie oben dargestellt – auch einige kostensenkende Faktoren nicht berücksichtigt, da eine Quantifizierung im Rahmen dieser Analyse nicht möglich war.

(5) Durch den Einsatz von **Speichern** können prinzipiell die Abweichungen zwischen Stromerzeugung und -verbrauch zumindest teilweise ausgeglichen werden. Insbesondere in Zusammenhang mit der Aufnahme des volatilen Stroms aus erneuerbaren Energien stehen Speichertechnologien gegenwärtig stark im Fokus von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen. Allerdings führt der Einsatz von Speichern nicht zwangsweise zu einer Reduktion des erforderlichen Netzausbaus und somit der Kosten. Vielmehr ist von dem Gegenteil auszugehen: Werden Speicher nicht gezielt und zuverlässig dafür verwendet, Leistungsspitzen der Last und der Einspeisung zu verringern (netzgeführter Betrieb), sondern vor allem basierend auf Marktpreisen betrieben (marktgeführter Betrieb), was die heute verwendete Betriebsweise ist, so würde dies stattdessen zu einer Erhöhung des Netzausbaus führen. Ursache hierfür ist der erhöhte Transportbedarf des Stroms in Abhängigkeit des Marktpreises. Im Gegensatz dazu wäre ein Speichereinsatz mit dem Ziel der Netzausbaumermeidung (also als netzgeführter Betrieb) als erhebliche Abweichung von heutigen Rahmenbedingungen zu sehen.

In den Szenarien des Klimaschutzplans wird hauptsächlich die **Wasserstofftechnologie** als langfristig verfügbarer Speicher vorgesehen.¹¹ Bei der Errichtung der Speicher kann grundsätzlich auf die Belange des Netzes Rücksicht genommen werden, so dass mit ihrer Hilfe Überschüsse aus EE-Strom aufgenommen werden können, jedoch kein zusätzlicher Netzausbau entsteht: Die Speicher werden dort errichtet, wo bereits ausreichende Netzkapazitäten vorhanden sind. Dieses Vorgehen wird in den Netzausbauberechnungen vorausgesetzt. So werden die Speicher in den Szenarien des Klimaschutzplans in einer Form berücksichtigt, die in ihrer Wirkung auf den Netzausbau neutral ist, und müssen in den Berechnungen nicht weiter betrachtet werden. Kostenseitig werden die Speicher allerdings bei den gesamtwirtschaftlichen Effekten

¹¹ Aus Sicht des elektrischen Netzbetriebs sind auch andere Speichertechnologien denkbar. Der Fokus auf die Wasserstofftechnologie in den Szenarien des Klimaschutzplanes wurde deshalb gewählt, weil damit auch eine teilweise Substitution fossiler Brennstoffe in der Industrie und im Verkehr möglich ist. Diese Entscheidung wurde im Rahmen des Szenariendesigns in der Beteiligungsphase I von den Akteuren getroffen und ist nicht Gegenstand der Untersuchungen im Impactbereich Versorgungssicherheit.

berücksichtigt. Aufgrund der bereits hohen Investitionskosten für die Wasserstoffspeicherung wird in den Netzausbauberechnungen auf die Berücksichtigung zusätzlicher Speicher verzichtet.

(6) **Lastmanagement** beschreibt die Beeinflussung der Verbraucherleistung, um so eine Verringerung der Lastspitzen im Versorgungsnetz zu erzielen. So können mittels Lastmanagement Lastschwankungen, die insbesondere auf erneuerbaren Energien beruhen, ausgeglichen werden. Für die Netzausbauberechnungen im Rahmen der Studie ist allerdings festzustellen, dass Lastmanagement im aktuellen Ordnungsrahmen im Vergleich zur Erzeugungsentwicklung nur eine vernachlässigbar kleine Wirkung auf den Netzausbau hat. Das liegt nicht zuletzt auch daran, dass der aktuelle Ordnungsrahmen derzeit noch keinen netzbasierten Betrieb zulässt. Geschuldet dessen wird Lastmanagement in den Untersuchungen zur Versorgungssicherheit nicht näher berücksichtigt. Grundsätzlich ist durch ein aktives Lastmanagement jedoch ein positiver Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Kostenreduktion möglich, der in zukünftigen Studien weiter zu untersuchen wäre.

(7) Ein intelligentes Netzeinspeisemanagement umfasst u. a. die Leistungsbegrenzung von Anlagen erneuerbarer Energien (auch als **Abregelung** bezeichnet). Ein systematischer Einsatz von Abregelung würde ermöglichen, dass zur Integration von erneuerbaren Energien in die Stromnetze die Netze nicht für die gesamte installierte Leistung der erneuerbaren Energien (EE) ausgelegt sein müssten. Vielmehr wäre in Situationen von Netzengpässen das Herunterregeln der Leistung eine Möglichkeit. Folglich könnte eine Senkung des Netzausbaubedarfs und der entsprechenden Kosten erzielt werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die aktuelle Gesetzeslage noch keine dauerhafte Abregelung vorsieht (§ 12 und § 14 EEG 2012). Die Abregelung ist nur als Ausnahme, die auf Netzengpässen beruht, zeitweise zulässig. Ansonsten ist ausschließlich die Erweiterung der Netzkapazitäten durch Netzausbau eine dauerhaft gestattete Maßnahme. Daher wird Abregelung als Maßnahme, durch die die Kosten weiter gesenkt werden könnten, in den Netzberechnungen dieser Studie noch nicht umfassend berücksichtigt.

Die Novellierung des EEG (EEG 2014) lässt ebenfalls noch keine dauerhafte Abregelung zu. Allerdings ist durchaus geplant, in einer Novellierung des EnWG die Leistungsbegrenzung von EE-Anlagen zu genehmigen, um dadurch den Umfang des benötigten Netzausbaus zu reduzieren.

(8) **HGÜ**-Verbindungen, die im NEP 2013 vorgesehen sind, sind bereits vorausgesetzter Bestandteil des Netzmodells in den Unter-

suchungen. Die Pläne des NEP 2013 für den Ausbau dieser HGÜ sind nach Einschätzung von Experten bereits sehr ehrgeizig, so dass auf weitere Planung neuer HGÜ-Verbindungen über die Vorgaben des NEP hinaus verzichtet wurde.

3.1.2 Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität

(1) Die Versorgungssicherheit des Stromversorgungsnetzes bezeichnet dessen Fähigkeit, Verbrauchern und Erzeugern die Lieferung und Abnahme von Energie stets bedarfsgerecht zur Verfügung stellen zu können. Neben der Bereitstellung eines angemessenen Netzes ist auch auf die Anforderungen des Netzbetriebs einzugehen. In diesem Zusammenhang beschreiben Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität zwei wichtige Kategorien der Versorgungssicherheit.

Obwohl einzelne Aspekte der Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität grundsätzlich auch quantifiziert werden können, überstiege eine solche Betrachtung den Umfang der vorliegenden Studie bei weitem. Stattdessen erfolgen eine Erläuterung der relevanten Einzelaspekte und eine qualitative Bewertung der Sachverhalte im Kontext der in den verschiedenen Klimaschutzpfaden angenommenen Entwicklungen.

(2) **Netzzuverlässigkeit** beschreibt die „Kontinuität der Stromversorgung unter der Einhaltung der geforderten Produktqualität“. ¹² Im engeren Sinne beschreibt die Netzzuverlässigkeit die Fähigkeit des Stromnetzes, die Versorgungsaufgabe (d. h. den Transport von Erzeugerleistung zu den Verbrauchern) bedarfsgerecht erfüllen zu können. Dies setzt eine hinreichende Dimensionierung der Betriebsmittel sowie geeignete Strategien zur Vermeidung und Behandlung von Störungen voraus. Die Netzzuverlässigkeit wird im Rahmen der Studie soweit betrachtet, dass in den Netzberechnungen eine Netzverstärkung berechnet wird, die eine Überlastung und den daraus resultierenden Ausfall von Betriebsmitteln vermeidet. Eine Erfassung, Berechnung und Bewertung der Zuverlässigkeit als statistische Größe in Bezug auf Versorgungsunterbrechungen ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Qualitativ werden allerdings Fragen der (n-1)-Sicherheit sowie des Netzwiederaufbaus diskutiert.

(3) Unter **Systemstabilität** ist (sehr vereinfacht) die „Aufrechterhaltung des Gleichgewichts zwischen Stromangebot und Strom-

¹² Bundesnetzagentur „Konzipierung und Ausgestaltung des Qualitäts-Elements im Bereich Netzzuverlässigkeit Strom sowie dessen Integration in die Erlösbergrenze“, Oktober 2010.

nachfrage“¹³ zu verstehen. Insbesondere sollen im Falle von Störungen alle wichtigen Betriebsparameter wie Spannungen und die Frequenz in sicheren Grenzen verbleiben und die Wiederherstellung des Systemgleichgewichts gewährleistet werden. Die Systemstabilität umfasst im engen Sinne die Kategorien der Frequenzstabilität, Rotorwinkelstabilität und Spannungsstabilität.

Die Einhaltung der Stabilitätskriterien erfolgt in der Praxis durch die Vorhaltung und **Bereitstellung von Systemdienstleistungen**.

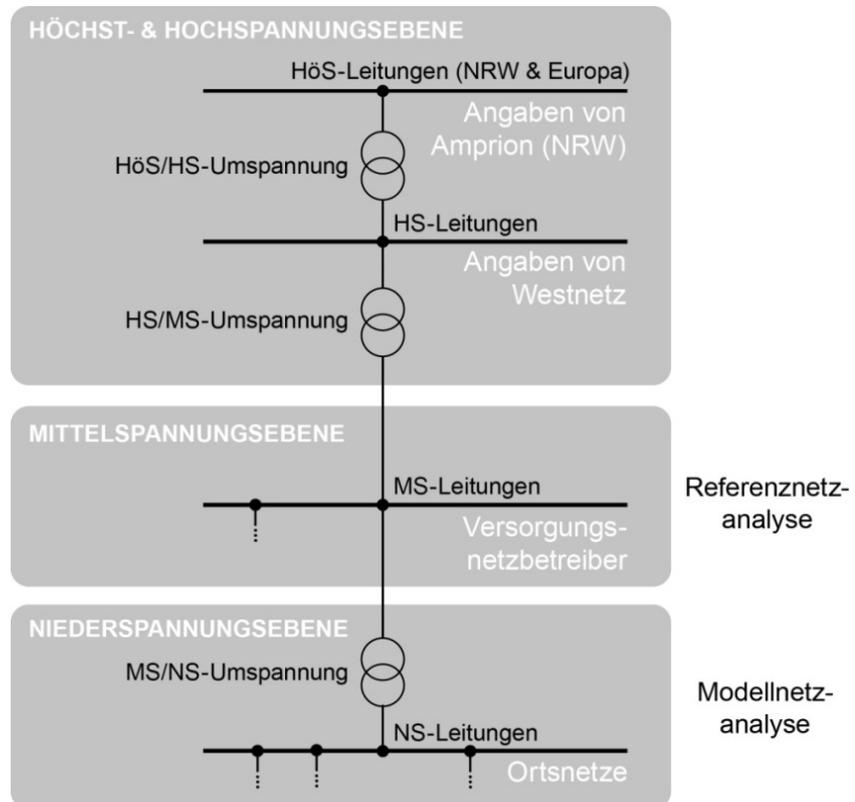
(4) Zu den Systemdienstleistungen sind auch die Bereitstellung von Kurzschlussleistung und mögliche Beiträge zum Versorgungswiederaufbau zu zählen, die deshalb im Zusammenhang mit der Systemstabilität ebenfalls diskutiert werden. Als letzter Aspekt der Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität wird die **Spannungsqualität** betrachtet, die mit der Einführung neuer Typen von Erzeugern und Verbrauchern als zunehmend wichtiger Teil der Versorgungsqualität anzusehen ist.

3.2 Methodik zur Bestimmung des Netzausbaus in Nordrhein-Westfalen

(1) Zur Ermittlung des über die erforderlichen Netzausbaus in NRW werden alle Spannungsebenen betrachtet.

¹³ Tennet <http://www.tennet.eu/de/ueber-tennet/strom/systemstabilitaet.html>.

Abbildung 30: Übersicht der Methodik



Quelle: Energynautics

Die Niederspannungsebene wird mittels einer Modellnetz-, die Mittelspannungsebene mittels einer Referenznetzanalyse untersucht. Für die Hochspannungsebene werden Netzdaten von dem Verteilnetzbetreiber Westnetz für die Gebiete „Sauerland“ und „Bornheim“ verwendet. Die Höchstspannungsebene in Nordrhein-Westfalen wird schließlich mit Hilfe eines Netzmodells des Übertragungsnetzbetreibers Amprion untersucht. Zudem kommt das von Energynautics entwickelte europäische Übertragungsnetzmodell zum Einsatz, um Wechselwirkungen mit dem umgebenden deutschen Netz und dem Ausland zu berücksichtigen.

Die konkrete Vorgehensweise wird nachfolgend dargelegt.

3.2.1 Hoch- und Höchstspannungsebene

(1) Um den erforderlichen Netzausbau in der nordrhein-westfälischen Hoch- und Höchstspannungsebene zu bestimmen, werden zwei Netzmodelle herangezogen: ein Netzmodell bezieht sich ausschließlich auf Nordrhein-Westfalen, ein zweites berücksichtigt das europäische Übertragungsnetz. Der ermittelte Netzausbau geht dabei über die Planungen der Netzbetreiber im NEP 2013

hinaus; die entsprechenden Maßnahmen sind in den Modellen bereits vorausgesetzt.

(2) Das **Netzmodell für Nordrhein-Westfalen** umfasst die nordrhein-westfälische Hoch- und Höchstspannungsebene. Die Hochspannungsebene wird anhand von Netzdaten des Verteilnetzbetreibers Westnetz für zwei repräsentative Netzgruppen (Bornheim und Sauerland) modelliert. Dieses Netzmodell wird an das Netzmodell der nordrhein-westfälischen Höchstspannungsebene, welches vom Übertragungsnetzbetreiber Amprion zur Verfügung gestellt wurde, angeschlossen.

Das von Amprion bereitgestellte Modell beinhaltet bereits die im NEP 2013 festgelegten Netzmaßnahmen, die sich auf Nordrhein-Westfalen beziehen. Vor der Durchführung der Berechnungen werden Erzeugung und Last auf die Umspannanlagen im Netzmodell verteilt. Die Verteilung von Windenergieanlagen wird von Prognos zur Verfügung gestellt, die Verteilung der restlichen Erzeuger (Photovoltaik, Wasserkraft, Biomasse, Konventionelle) basiert auf einer Skalierung der heutigen Einspeisekapazitäten pro Umspannanlage sowie auf Prognosen des NEP 2013. Die Lastdaten sowie deren Verteilung schließlich werden von Westnetz (für die Hochspannungsebene) und Amprion (für die Höchstspannungsebene) bereitgestellt.

(3) Um außerdem Wechselwirkungen mit dem Ausland zu berücksichtigen, wird das Netzmodell von Nordrhein-Westfalen zusätzlich vereinfacht in das **europäische Übertragungsnetzmodell** von Energynautics eingebettet. So können Einflüsse von Transferströmen auf Nordrhein-Westfalen aufgedeckt werden. Das europäische Netzmodell umfasst Deutschland sowie die unmittelbar angrenzenden Nachbarländer.

Für die Jahre 2020 und 2030 sind die geplanten Netzmaßnahmen des Ten Year Network Development Plans (TYNDP) sowie des NEP 2013 bereits eingebaut. Die installierten Leistungen und Verbräuche für das europäische Ausland sind den EU Energy Trends 2009 entnommen. Speziell für Deutschland kommen die Daten aus den Szenarien des Klimaschutzplans zum Einsatz. Die Verteilung der Erzeugung und der Last auf Umspannanlagen erfolgt nach einem von Energynautics bereits entwickelten Verteilungsschlüssel.

(4) Die Berechnungen der zwei Netzmodelle erfolgen für vier definierte **Extremsituationen**. Der anhand dieser Extremsituationen berechnete zusätzliche **Netzausbau** in Nordrhein-Westfalen **beschränkt sich auf bereits bestehende Leitungstrassen**; neue Netzverbindungen werden nicht bestimmt.

Tabelle 14: Überblick zu den berechneten vier Extremsituationen

Last	Erzeugung
Maximal	Maximal
Maximal	Minimal
Minimal	Maximal
Minimal	Minimal

(5) Um den erforderlichen Netzausbau so gering wie möglich zu halten, werden in das Netzmodell für Nordrhein-Westfalen zusätzlich **intelligente Technologien** eingesetzt. So kommt auf allen Freileitungen in der Hoch- und Höchstspannungsebene bei Bedarf Dynamic Line Rating (Freileitungs-Temperatur-Monitoring) zum Einsatz. Dynamic Line Rating erlaubt es, die eigentlich vorhandene Übertragungskapazität von Leitungen besser auszunutzen. Aufgrund des Kühlungseffektes der Leitungen durch Wind können bis zu 25 % mehr Leistung übertragen werden. Ebenso werden Hochtemperaturleiterseile integriert. Sind Hoch- bzw. Höchstspannungsleitungen überlastet, so werden diese mit Hochtemperaturleiterseilen ausgetauscht. Durch den Einsatz von Hochtemperaturleiterseilen wird eine um 50 % höhere Leitungskapazität gegenüber konventionellen Leiterseilen bereitgestellt. Allerdings liegen auch die Kosten dieser Leiterseile um etwa 30 % über den Kosten von konventionellen Leiterseilen. Sind nach dem Austausch mit Hochtemperaturleiterseilen die entsprechenden Trassen immer noch überlastet, so werden diese ebenfalls wieder mit Hochtemperaturleiterseilen erweitert.

3.2.2 Mittelspannungsebene

(1) Der erforderliche Netzausbau in der Mittelspannungsebene in Nordrhein-Westfalen wird anhand einer **Referenznetzanalyse** bestimmt, die auf der Untersuchung eines sogenannten Referenznetzes basiert. Unter einem Referenznetz versteht man ein real existierendes Netz der Mittelspannungsebene, welches repräsentativ für ein bestehendes Netzgebiet ist.¹⁴

(2) Im Rahmen der Impactanalyse für den Bereich „Versorgungssicherheit“ wird ein für die nordrhein-westfälische Netzstruktur typisches Mittelspannungsnetz als Referenznetz ausgewählt. Die Auswahl findet anhand der Einwohnerdichte sowie der installierten PV-Leistung des entsprechenden Netzgebiets statt, dessen Mittelspannungsnetz als Referenznetz dient.

¹⁴ Eigene Definition Energynautics GmbH.

(3) Zur Ermittlung des erforderlichen Netzausbaus werden Berechnungen mit Hilfe des Referenznetzes vorgenommen. Der ermittelte Netzausbau resultiert dabei maßgeblich aus dem Zubau von PV-Anlagen gemäß der Szenarien des Klimaschutzplans, die in das Mittelspannungsnetz zu integrieren sind. Durch Topologieänderungen im Referenznetz wird zunächst versucht, den ermittelten Netzausbau zu senken. Anschließend werden die finalen Ergebnisse mittels einer Linearskalierung auf gesamt Nordrhein-Westfalen hochskaliert. Die Skalierung richtet sich nach dem Zubau von PV-Anlagen im jeweiligen Szenario des Klimaschutzplans.

(4) Neben dem erforderlichen Netzausbau müssen **Windparkanschlüsse** ebenso berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu PV-Anlagen wird angenommen, dass neu errichtete Windparks entsprechend ihrer installierten Leistung entweder an die Mittelspannungs- oder an die Hochspannungsebene angeschlossen werden. Mit Hilfe von Geokoordinaten der neuen Windparks sowie von Umspannanlagen (HS/MS sowie MS/NS) kann die Leitungslänge für die Windparkanschlüsse abgeschätzt werden. Windparks mit einer Leistung von weniger als 3 MW können im Allgemeinen an jede Mittelspannungsleitung in der Nähe problemlos angeschlossen werden. Für diesen Fall kann von einer Ermittlung von expliziten Leitungslängen für Windparkanschlüsse abgesehen werden.

(5) Um den Netzausbau so gering wie möglich zu halten, findet im Referenznetz die **Weitbereichs-Spannungsregelung** Berücksichtigung. Weitbereichs-Spannungsregelung stellt eine Technologie dar, bei der die Stufenstellung des HS/MS-Transformators in Abhängigkeit der Spannung an ausgewählten Stellen im Mittelspannungsstromnetz geregelt wird. So kann ein Beitrag zur Einhaltung von Spannungsgrenzen geleistet werden. Dies kann zu einer Verringerung des Netzausbaus führen.

3.2.3 Niederspannungsebene

(1) Zur Bestimmung des Netzausbaus in der Niederspannungsebene wird ein sogenannter **Modellnetzansatz** verwendet. Ein Niederspannungs-Modellnetz stellt ein modelliertes, nicht real existierendes Netz der Niederspannungsebene dar, welches repräsentativ für ein bestimmtes Netzgebiet verwendet wird.¹⁵

(2) Mit Hilfe der Modellnetzanalyse gilt es, die Versorgungsaufgabe der Niederspannungsnetze in Nordrhein-Westfalen zu un-

¹⁵ Eigene Definition Energynautics GmbH.

tersuchen. Dabei wird gemäß den Szenarien des Klimaschutzplans insbesondere ein starker Ausbau der PV-Leistung in Nordrhein-Westfalen angenommen, der in die Niederspannungsebene zu integrieren ist. Die Gestaltung der Modellnetze orientiert sich an diesem PV-Ausbaupotenzial sowie der üblicherweise heute bestehenden Infrastruktur entsprechend der Versorgungsaufgabe.

Die eingesetzten Modellnetze sind charakteristisch für Netzstrukturen der vier Kategorien: „Land“, „Dorf“, „Vorstadt“ und „Stadt“. Im Rahmen der Modellnetzanalyse für den Impactbereich Versorgungssicherheit werden drei bereits existierende Modellnetze der Energynautics GmbH der Kategorien „Land“, „Dorf“ und „Vorstadt“ an die Gegebenheiten der nordrhein-westfälischen Netzstruktur angepasst.

Alle drei Modellnetze werden einzeln untersucht und der erforderliche Netzausbau ermittelt. Anschließend werden die einzelnen Ergebnisse auf ganz Nordrhein-Westfalen hochskaliert. Auf eine Untersuchung von „Stadtnetzen“ wird verzichtet, da diese im Regelfall ausreichend dimensioniert sind, um den Ausbau von PV-Leistung problemlos aufzunehmen. Hier ist daher kein Netzausbau zu erwarten.

(3) Für einen ermittelten, erforderlichen Leitungsausbau werden 150mm²-Kabel verwendet. Der Transformatorausbau wird je nach Netzstruktur durch einen zusätzlichen Ortsnetztransformator oder durch einen **regelbaren Ortsnetztransformator** der Größe 630 kVA vorgenommen. Regelbare Ortsnetztransformatoren entkoppeln die Spannung im Niederspannungsnetz von derjenigen im Mittelspannungsnetz durch ein im Betrieb veränderbares Übersetzungsverhältnis. Im Bereich der Niederspannung sind sie daher oft ein geeignetes Mittel zur Vermeidung von Leitungsausbau bei Spannungsproblemen.

3.3 Ergebnisse der Netzausbauberechnungen

(1) Im Folgenden werden nun der ermittelte Netzausbau sowie die entsprechenden Netzausbaukosten je Spannungsebene in Nordrhein-Westfalen dargelegt.¹⁶ Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die Zieljahre 2020, 2030 sowie 2050 und stellen für jedes dieser Jahre einen kumulierten Wert ab dem Jahr 2013 dar.

¹⁶ Der durch den EE-Ausbau in NRW in den Nachbarländern entstehende Investitionsaufwand ist nicht enthalten, umgekehrt dagegen der durch den EE-Ausbau der Nachbarländer in NRW entstehende Aufwand.

(2) Es wird angenommen, dass für den ermittelten Leitungsausbau im Bereich der Hoch- und Höchstspannungsebene stets **Hochtemperaturleiterseile** zum Einsatz kommen. Demnach sind in den Kosten im Bereich der Hoch- und Höchstspannungsebene die Kosten für Hochtemperaturleiterseile berücksichtigt, die um etwa 30 % über denen von konventionellen Leiterseilen liegen. Durch den Einsatz von Hochtemperaturleiterseilen kann jedoch der Netzausbau an sich gesenkt werden, wodurch sich die höheren Investitionskosten relativieren lassen.

Die Ergebnisse für jedes Szenario des Klimaschutzplans sowie für das Basisszenario werden nun im Einzelnen dargestellt.

(3) Bei der Darstellung der Ergebnisse wird in den Tabellen zunächst der ermittelte Umfang der Netzausbaumaßnahmen dargestellt. Wie bereits in der Beschreibung der Methodik erwähnt, handelt es sich damit im Bereich des Übertragungsnetzes (HöS-Leitungen und HöS/HS-Umspannung) um über die Planungen der Netzbetreiber hinausgehende Maßnahmen. In allen anderen Netzebenen ist der ermittelte Maßnahmenumfang ausgehend vom Ist-Zustand angegeben.

Im begleitenden Text wird dann für die Szenarien des Klimaschutzplanes der Bezug zum Basisszenario hergestellt, indem die ermittelten Werte mit dem Maßnahmenumfang des Basisszenarios verglichen werden.

3.3.1 Basisszenario

(1) Tabelle 15 skizziert den Umfang des ermittelten Netzausbaus in Nordrhein-Westfalen, jeweils aufgeteilt nach Leitungs- und Transformator- (Umspannungs-) Ausbau.¹⁷ Ebenso werden die Weitbereichsregeleinheiten, die in der Mittelspannungsebene zur Netzausbaureduktion eingesetzt werden, sowie der Anteil von regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) am Transformatorzubaubau in der Niederspannungsebene in der Tabelle zusammengefasst.

¹⁷ Der Leitungsausbau bzw. Verstärkungsbedarf wird in Kilometern (km) Stromkreislänge angegeben. Üblicherweise liegen in Leitungstrassen mehrere Stromkreise, so dass die betroffene Trassenlänge entsprechend kürzer ist. Der Transformatorausbau wird in MVA (Mega-Volt-Ampere) angegeben, der Einheit für die auslegungsrelevante Leistungsgroße von Transformatoren (die sogenannte Scheinleistung).

Tabelle 15: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) im Basisszenario für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	0 km	0 km	260 km
HöS/HS Umspannung	650 MVA	650 MVA	650 MVA
HS-Leitungen	0 km	0 km	0 km
HS/MS Umspannung	2.176 MVA	2.530 MVA	3.447 MVA
MS-Leitungen	197 km	197 km	197 km
MS/NS Umspannung	1 MVA	30 MVA	43 MVA
NS-Leitungen	0 km	0 km	0 km
Weitbereichsregeleinheiten	5	23	35
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	100%	90%	88%

Quelle: Energynautics

Der Leitungsausbau für das Basisszenario beträgt für die Jahre 2020 und 2030 197 Stromkreiskilometer, die aus der Mittelspannungsebene resultieren. Durch den Zuwachs an erneuerbaren Energien insbesondere im Jahr 2050 steigt der Leitungsausbau dort auf insgesamt 457 Stromkreiskilometer an. Dies ist auf den gestiegenen Leitungsausbaubedarf in der Höchstspannungsebene zurückzuführen, der wiederum aus den Transitströmen in die Nachbarregionen resultiert. Ein Neubau zusätzlicher Stromkreise auf der HöS- und HS-Ebene ist hierfür nicht erforderlich, die bestehenden Trassen können (durch Dynamic Line Rating und/oder Hochtemperaturleiterseile) ausreichend verstärkt werden.

Der Transformatorausbau nimmt von insgesamt 2.827 MVA im Jahr 2020 auf insgesamt 4.140 MVA im Jahr 2050 zu. Der Anstieg ist mit der steigenden Leistung der erneuerbaren Energien und deren Integration in das Stromnetz zu begründen. Der Anteil der regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) am gesamten Transformator-Zubau in Nordrhein-Westfalen nimmt bis zum Jahr 2050 hingegen stetig ab. Dies liegt daran, dass der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren vornehmlich bei Spannungsproblemen im Stromnetz geeignet ist. Diese treten vor allem bis zum Jahr 2020 auf; ab 2030 treten dann aufgrund der zunehmenden installierten Leistung aus erneuerbaren Energien zunehmend Netzüberlastungen auf. Zur Behebung von Netzüberlastungen kommen dann wieder primär konventionelle Transformatoren zum Einsatz.

(2) Die Netzausbaukosten, die sich aus dem ermittelten Netzausbaumaßnahmen für die „Ohnehin-Entwicklung“ im Basisszenario ergeben, sind in Tabelle 16 dargelegt. In Summe fallen im Jahr

2050 rund 580 Mio. € Netzausbaukosten an. Das sind 224 Mio. € Mehrkosten im Vergleich zum Jahr 2020 (+38 %). Den größten Kostenanteil macht dabei die HS/MS-Umspannung aus.

Tabelle 16: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) im Basisszenario für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	63 Mio. €
HöS/HS Umspannung	14 Mio. €	14 Mio. €	14 Mio. €
HS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	0 Mio. €
HS/MS Umspannung	218 Mio. €	253 Mio. €	345 Mio. €
MS-Leitungen	30 Mio. €	38 Mio. €	57 Mio. €
MS/NS Umspannung	0 Mio. €	2 Mio. €	3 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	0 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	95 Mio. €
Weitbereichsregelung	0 Mio. €	1 Mio. €	2 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	0 Mio. €	1 Mio. €	1 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	356 Mio. €	404 Mio. €	580 Mio. €

Quelle: Energynautics

3.3.2 Szenarien des Klimaschutzplans: Niedriger Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario A/A1/BCCS)

(1) Die Notwendigkeit für Netzausbau entsteht vor allem durch den Zubau installierter Leistung aus Windenergie und Photovoltaik, die in die Netzstrukturen integriert werden muss und deren Zuwachs in allen Szenarien gegenüber anderen Einflüssen dominiert (siehe Tabelle 13). Der Netzausbau, der bei einem niedrigen Ausbau erneuerbarer Energien sowie einer konstanten Stromnachfrage entsteht, ist in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	0 km	0 km	369 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	350 MVA	3.550 MVA
HS-Leitungen	36 km	549 km	1.031 km
HS/MS Umspannung	2.489 MVA	5.836 MVA	10.528 MVA
MS-Leitungen	359 km	593 km	593 km
MS/NS Umspannung	19 MVA	233 MVA	1.945 MVA
NS-Leitungen	0 km	4 km	116 km
Weitbereichsregeleinheiten	26	54	101
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	95%	75%	59%

Quelle: Energynautics

Der Leitungsausbau insgesamt steigt nun von 2020 bis 2050 kontinuierlich an. Im Jahr 2030 beträgt er 1.146 Stromkreiskilometer und somit mehr als das fünffache in Bezug auf das Basisszenario. Dies ist auf den deutlich steigenden Anteil von erneuerbaren Energien zurückzuführen. Nicht der gesamte Leitungsbau kann durch den Austausch (Upgrade) bestehender Stromkreise realisiert werden. Insgesamt sind auf der HöS- und HS-Ebene bis 2050 zusätzliche Stromkreise in bestehenden Trassen¹⁸ mit einer Gesamtlänge von rund 55 km notwendig. Auch der Transformatorausbau nimmt merklich zu; im Jahr 2050 beträgt der Zubau an Transformatoren rund das 5,5 fache in Bezug auf 2020. Im Vergleich zum Basisszenario ist eine Zunahme von rund +50 % im Jahr 2030 zu verzeichnen.

(2) Die resultierenden Netzausbaukosten sind Tabelle 18 zu entnehmen.

¹⁸ Wie bereits in Abschnitt 3.3.5 beschrieben, wird der berechnete Netzausbau durch Verstärkung und Erweiterung bestehender Trassen bestimmt. Bei der Umsetzung von Netzausbau durch die Netzbetreiber kann der Bedarf für neue Stromkreise im Einzelfall auch durch neue Trassen realisiert werden, wenn sich dies als günstiger darstellt.

Tabelle 18: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	118 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	8 Mio. €	76 Mio. €
HS-Leitungen	3 Mio. €	43 Mio. €	80 Mio. €
HS/MS Umspannung	249 Mio. €	584 Mio. €	1.053 Mio. €
MS-Leitungen	86 Mio. €	201 Mio. €	308 Mio. €
MS/NS Umspannung	1 Mio. €	16 Mio. €	136 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	9 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	95 Mio. €
Weitbereichsregelung	1 Mio. €	3 Mio. €	5 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	6 Mio. €	40 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	443 Mio. €	954 Mio. €	1.920 Mio. €

Quelle: Energynautics

Durch den gestiegenen Ausbau erneuerbarer Energien im Vergleich zum Basisszenario ist ein deutlicher Anstieg der Netzausbaukosten zu erkennen. Während im Jahr 2020 der Unterschied zum Basisszenario noch knapp +20 % beträgt, steigt die Differenz im Jahr 2030 auf etwa +56 % und 2050 sogar auf knapp +70 % an. Analog zum Basisszenario ist auch hier der größte Kostenverursacher die HS/MS-Umspannung.

3.3.3 Szenarien des Klimaschutzplans: Hoher Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario A2/B/B1)

(1) Die Ergebnisse für die Szenarien des Klimaschutzplans bei hohem Ausbaupfad erneuerbarer Energien und konstantem Stromverbrauch sind in Tabelle 19 abgebildet.

Tabelle 19: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	105 km	474 km	956 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	3.500 MVA	16.050 MVA
HS-Leitungen	264 km	1.387 km	4.320 km
HS/MS Umspannung	4.635 MVA	12.495 MVA	22.556 MVA
MS-Leitungen	372 km	614 km	4.428 km
MS/NS Umspannung	23 MVA	710 MVA	7.269 MVA
NS-Leitungen	0 km	24 km	972 km
Weitbereichsregeleinheiten	29	72	153
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	96%	68%	49%

Quelle: Energynautics

Der erforderliche Netzausbau ist im Vergleich zu den Szenarien des Klimaschutzplans mit niedrigem Ausbau erneuerbarer Energien deutlich angestiegen. Durch den Austausch (Upgrade) bestehender Stromkreise kann nur ein Teil des notwendigen Leitungsbaus realisiert werden. Insgesamt sind auf der HöS- und HS-Ebene zusätzliche Stromkreise in bestehenden Trassen mit einer Gesamtlänge von rund 1.060 km notwendig.

Weiterhin ist zu erkennen, dass der Anteil an regelbaren Ortsnetztransformatoren am Transformator-Zubau abnimmt. Im Basis-szenario sowie in den Szenarien des Klimaschutzplans mit niedrigem Ausbau erneuerbarer Energien ist der Anteil noch höher. Daraus lässt sich erkennen, dass der Netzausbau in der Niederspannungsebene mit zunehmender installierter Leistung von erneuerbaren Energien verstärkt durch die Begrenzung der Netzauslastung bedingt wird und weniger durch die Begrenzung der Spannungsanhebung. Bei der Begrenzung der Netzauslastung kann aufgrund der geringeren Einheitenkosten auf konventionelle Ortsnetztransformatoren zurückgegriffen werden; regelbare Einheiten bieten hier keinen Vorteil. Dies resultiert im Anstieg des Anteils konventioneller Ortsnetztransformatoren und dadurch im anteiligen Rückgang von regelbaren Ortsnetztransformatoren.

(2) Die Netzausbaukosten, die aus dem ermittelten Netzausbau resultieren, können Tabelle 20 entnommen werden.

Die Netzausbaukosten im Jahr 2020 liegen um rund +50 %, die Kosten im Jahr 2030 um +80 % sowie die im Jahr 2050 um knapp +90 % über den Kosten des Basisszenarios.

Tabelle 20: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	25 Mio. €	115 Mio. €	373 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	75 Mio. €	345 Mio. €
HS-Leitungen	21 Mio. €	108 Mio. €	467 Mio. €
HS/MS Umspannung	464 Mio. €	1.220 Mio. €	2.256 Mio. €
MS-Leitungen	149 Mio. €	402 Mio. €	1.073 Mio. €
MS/NS Umspannung	2 Mio. €	50 Mio. €	508 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	2 Mio. €	78 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	100 Mio. €
Weitbereichsregelung	1 Mio. €	4 Mio. €	8 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	17 Mio. €	124 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	765 Mio. €	2.086 Mio. €	5.331 Mio. €

Quelle: Energynautics

3.3.4 Szenarien des Klimaschutzplans: 100 % Ausbau erneuerbarer Energien bei konstanter Last (Szenario B2)

(1) Der höchste Anteil von erneuerbaren Energien im nordrhein-westfälischen Stromnetz ist im Szenario des Klimaschutzplans mit 100 % erneuerbarer Energien vorgegeben. Der Stromverbrauch ist weiterhin konstant. Die Ergebnisse hinsichtlich des ermittelten Netzausbaus sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Tabelle 21: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	105 km	474 km	2.597 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	3.500 MVA	42.300 MVA
HS-Leitungen	264 km	1.387 km	9.136 km
HS/MS Umspannung	4.635 MVA	12.495 MVA	43.933 MVA
MS-Leitungen	380 km	629 km	11.471 km
MS/NS Umspannung	23 MVA	710 MVA	30.422 MVA
NS-Leitungen	0 km	24 km	7.694 km
Weitbereichsregeleinheiten	30	73	286
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	96%	68%	37%

Quelle: Energynautics

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der Szenarien des Klimaschutzplans mit hohem Ausbaupfad erneuerbarer Energien, so ist festzuhalten, dass markante Unterschiede erst für den Zeitraum 2030 bis 2050 vorhanden sind. Die installierte Leistung von erneuerbaren Energien variiert ab 2030 deutlich voneinander. So steigt der Anteil von erneuerbaren Energien im vorliegenden Szenario des Klimaschutzplans B2 ersichtlich an. Dieser erhebliche Zubau führt im Jahr 2050 zu einer Verdreifachung des erforderlichen Leitungsausbaus und zu einer mehr als Verdopplung des Transformatorausbaus (bezogen auf Szenarien des Klimaschutzplans mit hohem EE-Anteil). In diesem 100%-Szenario steigt auch der Bedarf an zusätzlichen Stromkreisen auf der HöS/HS-Ebene, da der Austausch bestehender Stromkreise bei weitem nicht ausreicht. Der zwischen 2030 und 2050 entstehende Bedarf an zusätzlichen Stromkreisen in bestehenden Trassen beläuft sich auf eine Gesamtlänge von rund 4.400 km.

(2) Der gestiegene Netzausbau für 2050 spiegelt sich auch in den Kosten wider, wie Tabelle 22 zu entnehmen ist. Während die Netzausbaukosten der Jahre 2020 und 2030 in den Szenarien des Klimaschutzplans mit hohem Anteil erneuerbarer Energien und dem vorliegenden Szenario B2 keine nennenswerten Unterschiede aufweisen, steigen die Netzausbaukosten im Jahr 2050 für das Szenario B2 sehr deutlich an. So liegen die Kosten +60 % über den Szenarien des Klimaschutzplans mit hohem Ausbaupfad.

Tabelle 22: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und konstanter Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen (Summe)	25 Mio. €	115 Mio. €	1.231 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	75 Mio. €	909 Mio. €
HS-Leitungen (Summe)	21 Mio. €	108 Mio. €	1.277 Mio. €
HS/MS Umspannung (Summe)	464 Mio. €	1.220 Mio. €	4.393 Mio. €
MS-Leitungen (Summe)	155 Mio. €	407 Mio. €	2.314 Mio. €
MS/NS Umspannung	2 Mio. €	50 Mio. €	2.125 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	2 Mio. €	616 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	119 Mio. €
Weitbereichsregelung	2 Mio. €	4 Mio. €	14 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	17 Mio. €	393 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	770 Mio. €	2.092 Mio. €	13.391 Mio. €

Quelle: Energynautics

3.3.5 Szenarien des Klimaschutzplans: Niedriger Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C1)

(1) Im Folgenden werden die ermittelten Netzausbaumaßnahmen für das Szenario des Klimaschutzplans mit niedrigem Ausbaupfad von erneuerbaren Energien bei nun sinkender Stromnachfrage beschrieben (siehe Tabelle 23). Die Annahmen bzgl. der installierten Leistungen sind unverändert zu den entsprechenden Szenarien bei konstanter Last (A/A1/BCCS).

Tabelle 23: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	0 km	0 km	537 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	350 MVA	3.950 MVA
HS-Leitungen	36 km	549 km	1.306 km
HS/MS Umspannung	2.489 MVA	5.836 MVA	10.528 MVA
MS-Leitungen	359 km	593 km	593 km
MS/NS Umspannung	19 MVA	233 MVA	1.945 MVA
NS-Leitungen	0 km	4 km	116 km
Weitbereichsregeleinheiten	26	54	101
Regelbare Ortsnetztransformatoren-Anteil	95%	75%	59%

Quelle: Energynautics

Im vorliegenden Szenario bei sinkender Last ändern sich ausschließlich die Ergebnisse für das Jahr 2050 im Vergleich zu den entsprechenden Szenarien bei konstanter Last. Die Ergebnisse für die anderen zwei Jahre sind dagegen identisch. Bis zum Jahr 2050 ist bei sinkender Last ein erhöhter Netzausbaubedarf im Bereich der Hoch- und Höchstspannungsebene zu verzeichnen.

Der erforderliche Leitungsausbau nimmt um +17 %, der Transformatorausbau um +2 % zu in Bezug zu den Szenarien bei konstanter Last. Diese Erhöhung ist hauptsächlich durch die Transitströme nach Europa zu begründen. Durch die sinkende Last in Nordrhein-Westfalen muss die hohe Stromerzeugung in die Nachbarländer transportiert werden, da sie in Nordrhein-Westfalen nicht aufgenommen werden kann. Dies erhöht folglich den Netzausbaubedarf in der Hoch- und Höchstspannungsebene. Gegenüber dem Szenario mit konstanter Last bleibt der Bedarf an zusätzlichen HöS- und HS-Stromkreisen in bestehenden Trassen mit einer Gesamtlänge von rund 55 km unverändert.

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen des Basisszenarios ist ein deutlicher Anstieg sowohl im Leitungs- als auch im Transformatorausbau zu erkennen: So ist für das Jahr 2030 im Leitungsausbau mehr als eine Verfünffachung und im Transformatorausbau eine Verdopplung im Vergleich zum Basisszenario zu verzeichnen.

(2) Entsprechend dem erhöhten Netzausbaubedarf steigen im Jahr 2050 die Netzausbaukosten im Szenario mit sinkender Last im Vergleich zu den Szenarien mit konstanter Last (+4 %). Die Ergebnisse veranschaulicht Tabelle 24.

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen des Basisszenarios, ist für alle drei Betrachtungszeiträume ein deutlicher Kostenanstieg festzustellen: +20 % im Jahr 2020, +58 % im Jahr 2030 und rund +70 % im Jahr 2050. Die Kosten im Basisszenario fallen vor allem aufgrund der geringeren installierten Leistung aus erneuerbaren Energien kleiner aus.

Tabelle 24: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei niedrigem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen (Summe)	0 Mio. €	0 Mio. €	158 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	8 Mio. €	85 Mio. €
HS-Leitungen (Summe)	3 Mio. €	43 Mio. €	102 Mio. €
HS/MS Umspannung (Summe)	249 Mio. €	584 Mio. €	1.053 Mio. €
MS-Leitungen (Summe)	86 Mio. €	201 Mio. €	308 Mio. €
MS/NS Umspannung	1 Mio. €	16 Mio. €	136 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	0 Mio. €	9 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	95 Mio. €
Weitbereichsregelung	1 Mio. €	3 Mio. €	5 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	6 Mio. €	40 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	443 Mio. €	954 Mio. €	1.991 Mio. €

Quelle: Energynautics

3.3.6 Szenarien des Klimaschutzplans: Hoher Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C)

(1) Der ermittelte Netzausbau für das Szenario des Klimaschutzplans mit hohem Anteil erneuerbarer Energien bei gleichzeitig sinkender Last ist in Tabelle 25 skizziert. Die Annahmen bzgl. der installierten Leistungen sind unverändert zu den entsprechenden Szenarien bei konstanter Last (A2/B/B1).

Tabelle 25: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	105 km	514 km	1.418 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	3.500 MVA	16.050 MVA
HS-Leitungen	264 km	1.387 km	4.361 km
HS/MS Umspannung	4.635 MVA	12.495 MVA	22.556 MVA
MS-Leitungen	372 km	614 km	4.428 km
MS/NS Umspannung	23 MVA	710 MVA	7.269 MVA
NS-Leitungen	0 km	24 km	972 km
Weitbereichsregeleinheiten	29	72	153
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	96%	68%	49%

Quelle: Energynautics

Der Netzausbaubedarf für das vorliegende Szenario bei sinkender Last nimmt im Jahr 2030 um etwa +2 % und im Jahr 2050 um +5 % zu im Vergleich zu den entsprechenden Szenarien mit ebenfalls einem hohen Ausbaupfad von erneuerbaren Energien bei allerdings konstanter Last. Dies resultiert aus dem Stromtransport in die Nachbarregionen: Aufgrund der gesunkenen Last kann die hohe Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien anteilig weniger von Nordrhein-Westfalen selbst aufgenommen werden. Daher, sowie durch die ebenfalls erhöhten Stromtransite, ist ein erhöhter Netzausbaubedarf in der Hoch- und Höchstspannungsebene erforderlich, um den erzeugten Strom in die Nachbarländer zu transportieren. Bereits bis 2030 kann dies nicht mehr durch den Austausch (Upgrade) bestehender HöS- und HS-Stromkreise erreicht werden, rund 200 km zusätzliche Stromkreise in bestehenden Trassen sind notwendig. Bis 2050 steigt der zusätzliche Stromkreisbedarf auf der HöS- und HS-Ebene wie im Szenario mit konstanter Last dann auf rund 1.060 km.

(2) Die berechneten Netzausbaukosten werden in Tabelle 26 zusammengefasst.

Tabelle 26: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei hohem EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	25 Mio. €	274 Mio. €	485 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	75 Mio. €	345 Mio. €
HS-Leitungen	21 Mio. €	108 Mio. €	470 Mio. €
HS/MS Umspannung	464 Mio. €	1.250 Mio. €	2.256 Mio. €
MS-Leitungen	149 Mio. €	402 Mio. €	1.073 Mio. €
MS/NS Umspannung	2 Mio. €	50 Mio. €	508 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	2 Mio. €	78 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	100 Mio. €
Weitbereichsregelung	1 Mio. €	4 Mio. €	8 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	17 Mio. €	124 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	765 Mio. €	2.275 Mio. €	5.446 Mio. €

Quelle: Energynautics

Im Jahr 2050 ist eine Steigerung der Kosten auf 5,5 Mio. € Vergleich zu 0,8 Mio. € bis 2020 zu verzeichnen. Im Vergleich zu den entsprechenden Szenarien des Klimaschutzplans bei konstanter Last ist ebenso ein Kostenanstieg für die Jahre 2030 und 2050 festzuhalten.

Insbesondere im Vergleich zum Basisszenario für das Jahr 2030 ist ein deutlich höherer Netzausbaubedarf zu erkennen: So erhöht sich der Leitungsausbaubedarf von etwa 200 Stromkreiskilometern auf über 2.500 Kilometer sowie der Transformatorausbau von gut 3.200 MVA im Basisszenario auf nun etwa 16.700 MVA.

3.3.7 Szenarien des Klimaschutzplans: 100 % Ausbau erneuerbarer Energien bei sinkender Last (Szenario C2)

(1) Abschließend werden nun die Resultate für das Szenario des Klimaschutzplans C2 dargelegt. Wie alle C-Szenarien wird auch hier von einer sinkenden Stromlast ausgegangen. Die Annahmen bzgl. der installierten Leistungen sind unverändert zum entsprechenden Szenario bei konstanter Last (B2).

Im Vergleich zum Szenario des Klimaschutzplans B2 mit konstanter Last ist für das vorliegende Szenario C2 bei sinkender Last ein geringfügiger Anstieg im Leitungsausbaubedarf für die Jahre 2030 (+2 %) und 2050 (+1 %) ersichtlich. Allerdings entsteht der Bedarf an zusätzlichen Stromkreisen auf der HöS- und HS-Ebene früher und er fällt insgesamt auch größer aus. Bis zum Jahr 2030 sind

rund 200 km zusätzliche Stromkreise in bestehenden Trassen erforderlich, bis 2050 ergibt sich ein zusätzlicher Bedarf von rund 4.650 km. Der Transformatorausbau nimmt lediglich für das Jahr 2050 um etwa +2 % zu.

Tabelle 27: Umfang der ermittelten Netzausbaumaßnahmen (im Vergleich zum Ist-Zustand, in der HöS- und HöS/HS-Ebene im Vergleich zu dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	105 km	514 km	2.915 km
HöS/HS Umspannung	350 MVA	3.500 MVA	44.150 MVA
HS-Leitungen	264 km	1.387 km	9.213 km
HS/MS Umspannung	4.635 MVA	12.495 MVA	43.933 MVA
MS-Leitungen	380 km	629 km	11.471 km
MS/NS Umspannung	23 MVA	710 MVA	30.422 MVA
NS-Leitungen	0 km	24 km	7.694 km
Weitbereichsregeleinheiten	30	73	286
Regelbare Ortsnetztransformatoren -Anteil	96%	68%	37%

Quelle: Energynautics

Festzuhalten ist allerdings, dass aufgrund der Annahme von 100 % erneuerbarer Energien der ermittelte Netzausbau im Vergleich zu allen Szenarien des Klimaschutzplans am höchsten ausfällt. Dies betrifft hauptsächlich das Jahr 2050. Legt man den Fokus auf die Unterschiede zwischen den Szenarien C (hoher Ausbau erneuerbarer Energien) und C2, so verursacht der zunehmende Anstieg von erneuerbaren Energien in Nordrhein-Westfalen für 2050 eine Steigerung des Netzausbaubedarfs (Leitungsausbau +64 %, Transformatorausbau +61 %). Im Jahr 2050 beträgt der PV-Anteil im Szenario C rund 21 GW, der Wind-Anteil 25 GW. Im Szenario C2 verdoppelt sich der PV-Anteil auf 40 GW, der Wind-Anteil steigt um 60 % auf ebenfalls 40 GW an. Diese deutliche Zunahme der EE lässt den Netzausbau im Jahr 2050 deutlich ansteigen. Der Anstieg ist dabei auf allen Spannungsebenen zu verzeichnen. Der sehr stark gestiegene PV-Anteil erhöht insbesondere den Leitungsausbaubedarf in der NS- und MS-Ebene, wo die PV-Leistung integriert ist. Der hohe Wind-Anteil verursacht vor allem einen Ausbau der HS-Leitungen.

Bezogen auf das Basisszenario steigt der Leitungsausbaubedarf im Jahr 2030 von knapp 200 Stromkreiskilometern auf über 2.500 Kilometer, der Transformatorausbaubedarf erhöht sich von gut 3.200 MVA auf etwa 16.700 MVA.

(2) Eine Zusammenfassung der Netzausbaukosten ist in Tabelle 28 gegeben.

Die Tabelle verdeutlicht die starke Zunahme der Netzausbaukosten zwischen 2020 und 2050. Diese resultiert aus dem erheblichen Zubau von erneuerbaren Energien, der dem Szenario zu Grunde liegt. Festzuhalten ist, dass die Summe der Kosten im Jahr 2050 mit rund 13,6 Mrd. € die höchste ist im Vergleich zu den restlichen Szenarien des Klimaschutzplans. Der noch höhere Zubau von erneuerbaren Energien im Vergleich zum Szenario C (hoher Anteil von Erneuerbaren) verursacht einen Kostenanstieg von knapp +60 % im Jahr 2050. Die weiteren zwei Zeiträume weisen keine so evidenten Unterschiede auf.

Tabelle 28: Umfang der ermittelten Netzausbaukosten (ausgehend vom Ist-Zustand, in der HöS und HöS/HS-Ebene ausgehend von dem im NEP 2013 dargelegten Planungsstand der Netzbetreiber) bei 100 % EE-Ausbau und sinkender Last für NRW

	2013 bis einschließlich		
	2020	2030	2050
HöS-Leitungen	25 Mio. €	274 Mio. €	1.391 Mio. €
HöS/HS Umspannung	8 Mio. €	75 Mio. €	949 Mio. €
HS-Leitungen	21 Mio. €	108 Mio. €	1.294 Mio. €
HS/MS Umspannung	464 Mio. €	1.250 Mio. €	4.393 Mio. €
MS-Leitungen	155 Mio. €	407 Mio. €	2.314 Mio. €
MS/NS Umspannung	2 Mio. €	50 Mio. €	2.125 Mio. €
NS-Leitungen	0 Mio. €	2 Mio. €	616 Mio. €
Dynamic Line Rating	95 Mio. €	95 Mio. €	120 Mio. €
Weitbereichsregelung	2 Mio. €	4 Mio. €	14 Mio. €
Regelung MS/NS Umspannung (für regelbare Ortsnetztransformatoren)	1 Mio. €	17 Mio. €	393 Mio. €
SUMME Netzausbaukosten	770 Mio. €	2.281 Mio. €	13.609 Mio. €

Quelle: Energynautics

3.3.8 Zusammenfassung Netzausbaukosten

(1) Grundlage der Netzausbauberechnungen ist für das Übertragungsnetz ein reales Netzmodell unter Berücksichtigung der im Netzentwicklungsplan 2013 (NEP) beschriebenen Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen.¹⁹ Für die darunterliegenden Spannungsebenen erfolgt eine Hochrechnung von Ergebnissen aus Referenz- und Modellnetzen. In allen Szenarien einschließlich der Basisszenarien wird auf dieser Grundlage ein Ausbau- und Verstärkungsbedarf ermittelt. Weil sich für beide Basisszenarien auf-

¹⁹ Die Umsetzung der im NEP ermittelten Maßnahmen wird damit grundsätzlich als gegeben vorausgesetzt, auch wenn sich in der Praxis u.U. zeitliche Verzögerungen gegenüber den angestrebten Realisierungszielen ergeben könnten.

grund identischer relevanter Inputs dieselben Ergebnisse einstellen, wird im Folgenden nur noch von einem Basisszenario gesprochen.

(2) Der berechnete Netzausbau für das Basisszenario dient als ein „Ohnehin-Investitionspfad“, mit dem die berechneten Investitionen der Szenarien des Klimaschutzplans verglichen werden. Zur Bewertung der Netzausbaukosten in den verschiedenen Szenarien des Klimaschutzplans werden jeweils die Kostendifferenzen zum Basisszenario betrachtet. Tabelle 29 zeigt die ermittelten Netzausbau-Zusatzkosten als jährliche Investitionskosten. Die angegebenen Werte umfassen den Netzausbau auf allen Spannungsebenen einschließlich der Umspannung.

Tabelle 29: Über die Entwicklung im Basisszenario hinaus erforderliche Investitionen in Netzausbau in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans bis 2050

E-Ausbaupfad	Szenarien des Klimaschutzplans	Delta zum Basisszenario in Mio. €/pro Jahr		
		2013 - 2020	2021 – 2030	2031 - 2050
Niedrig	A = A1 = BCCS	12 Mio. €/a	46 Mio. €/a	40 Mio. €/a
	C1	12 Mio. €/a	46 Mio. €/a	43 Mio. €/a
Hoch	A2 = B = B1	58 Mio. €/a	127 Mio. €/a	154 Mio. €/a
	C	58 Mio. €/a	146 Mio. €/a	150 Mio. €/a
100%	B2	59 Mio. €/a	127 Mio. €/a	556 Mio. €/a
	C2	59 Mio. €/a	146 Mio. €/a	558 Mio. €/a

Quelle: Energynautics

Die Ergebnisse zeigen einige Zusammenhänge:

- In allen Szenarien des Klimaschutzplans ergibt sich im Vergleich zum Basisszenario ein Bedarf für zusätzliche Investitionen in Netzausbau, der zwischen den Szenarien variiert.
- Der Faktor mit dem höchsten Einfluss auf die Netzausbaukosten ist die Höhe der installierten EE-Leistung, d. h. der EE-Ausbaupfad.
- Im Vergleich dazu hat die Entwicklung der Verbraucherlast (abweichend in den C-Szenarien) nur einen vernachlässigbaren Einfluss.

- Im niedrigen sowie im hohen EE-Ausbaupfad steigen die notwendigen jährlichen Investitionen bis 2030 deutlich an, um danach nur noch langsamer zuzunehmen oder wieder leicht abzufallen. Die Begründung dafür ist in den Zubauraten der EE-Einspeiseleistung aus Windenergie und PV zu finden.
- Im 100 %-EE-Ausbaupfad, der sich erst ab 2030 vom hohen Ausbaupfad abspaltet, nehmen die notwendigen Investitionen ab 2030 noch einmal deutlich zu.

(3) Die ermittelten Netzausbaukosten stellen eine Abschätzung dar, in der zwar wichtige Maßnahmen zur Kostenminimierung berücksichtigt wurden, andererseits allerdings noch weitergehende Maßnahmen denkbar sind. Neben den bereits in den Berechnungen einbezogenen Maßnahmen Freileitungsmonitoring, Hochtemperaturleiterseile, Weitbereichs-Spannungsregelung sowie regelbaren Ortsnetztransformatoren besteht grundsätzlich die Möglichkeit, auch mit Hilfe von Maßnahmen wie erweiterten Einspeisekappungen, Lastmanagement oder der Kopplung mit dem Gas- oder Verkehrssektor Optimierungspotenziale zu heben. Notwendige Voraussetzung dazu ist allerdings eine Umgestaltung der Rahmenbedingungen in einem Maße, die eine Abschätzung der möglichen Wirkung auf die Netzausbaukosten im Rahmen dieser Studie unmöglich macht.

(4) Alle durch den Ausbau der erneuerbaren Energien entstehenden Engpässe in den Stromnetzen der Verteil- und Übertragungsebenen in NRW lassen sich durch die Umsetzung von Netzausbaumaßnahmen beheben. Bei Umsetzung der Maßnahmen ist damit die heutige Rolle von NRW als wichtiges Drehkreuz der Stromversorgung im Zentrum des europäischen Stromverbundes auch zukünftig nicht in Gefahr. Der Beitrag der Übertragungskapazitäten des Stromnetzes zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit kann in allen Szenarien des Klimaschutzplanes gewährleistet werden.

3.4 Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität

Die Begriffe der Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität beschreiben die Fähigkeit des elektrischen Energieversorgungssystems, den angeschlossenen Verbrauchern die benötigte Leistung und Energie stets bedarfsgerecht bereitstellen zu können. In Regelwerken der Netzbetreiber sind Kriterien festgelegt, welche Fehlertypen im Netzbetrieb diese Fähigkeit nicht beeinträchtigen dürfen. Neben der Verbraucherversorgung ist auch die Sicherstellung der Energieabnahme von Erzeugern als Bestandteil der Netzzuverlässigkeit zu sehen.

3.4.1 Netzzuverlässigkeit

(1) Die Netzzuverlässigkeit kann typischerweise als statistische Größe über die Erfassung von Versorgungs- und Abnahmeunterbrechungen bestimmt und bewertet werden. Die Bewertung erfolgt dabei meist nach Häufigkeit, durchschnittlicher Dauer, der betroffenen Leistung oder einer Kombination dieser Faktoren. Entscheidend für die Zuverlässigkeit hinsichtlich einzelner Anschlussnehmer ist vor allem die Topologie des Anschlusses und des umgebenden Netzes, wobei auch die verwendeten Betriebsmittel wie Leitungen, Schalter und Transformatoren eine Rolle spielen. Fehlerhäufigkeiten der Betriebsmittel werden durch Bauart, Alter, Betriebsbelastung, Wartungsintervalle und weitere Faktoren beeinflusst.

(2) Für die in den Netzberechnungen untersuchten innovativen Technologien wie DLR und RONT existiert bisher noch wenig Langzeiterfahrung zur Ausfallhäufigkeit. Daher lässt sich aus dem Einsatz neuer Netzbetriebsmittel in den Entwicklungsannahmen der Klimaschutzpfade an sich nicht unmittelbar eine Beeinträchtigung der Netzzuverlässigkeit ableiten.

Es ist außerdem zu erwarten, dass die Netzzuverlässigkeit stärker von den Planungs- und Wartungsstrategien der Netzbetreiber abhängt als vom Einsatz der neuen Betriebsmittel. Zu den Planungs- und Wartungsstrategien der Netzbetreiber und deren Bewertung wurden im Rahmen der Studie keine Annahmen getroffen.

(3) Für die Aufrechterhaltung der Netzzuverlässigkeit auf dem derzeitigen Niveau ist es daher wichtig, dass die Netzbetreiber dieser in der Netzplanung und ihren Wartungs- und Instandhaltungsstrategien weiterhin den gleichen Stellenwert einräumen. Im Rahmen der Regulierung sind die dafür notwendigen Anreize und Freiheiten beizubehalten und nach Erforderlichkeit weiterzuentwickeln. Dies gilt für die Szenarien des Klimaschutzplans ebenso wie für die „Ohnehin-Entwicklung“.

Allerdings unterscheiden sich die Netzstrukturen in den untersuchten Entwicklungspfaden von heutigen Strukturen neben den neuartigen Betriebsmitteln auch durch die durch die höhere benötigte Übertragungsleistung bedingte höhere Zahl der Betriebsmittel. Dadurch steigt die Komplexität der Netze ebenfalls weiter, die durch entsprechend hoch qualifiziertes Personal beherrscht werden muss. Die Beibehaltung der Netzzuverlässigkeit ist also auch im Bereich der Wartung und Instandhaltung mit einem höheren Aufwand im Betrieb verbunden und nicht nur bei den Anfangsinvestitionen für neue Betriebsmittel.

(4) Für die betrieblichen Aufwendungen für Wartung und Betrieb entstehen in denjenigen Entwicklungspfaden die höchsten Anforderungen, in denen die Netze das höchste Maß an Komplexität und Ausdehnung annehmen. Weil die Zubauleistungen der erneuerbaren Energien der Haupttreiber für den benötigten Netzausbau sind, ergibt sich für den Aufwand zur Sicherstellung der Netz Zuverlässigkeit eine ähnliche Entwicklung: Im niedrigen EE-Ausbaupfad wird auch der verhältnismäßig geringste zusätzliche Aufwand für Wartung und Instandhaltung anfallen. Im hohen EE-Ausbaupfad steigt der Aufwand weiter an; für 100 % ist der entsprechende Aufwand noch einmal deutlich höher.

(5) Ein wichtiger Aspekt der Netz Zuverlässigkeit wird durch die sogenannte (n-1)-Sicherheit beschrieben, auf die im Folgenden separat eingegangen wird.

3.4.2 (n-1)-Sicherheit

(1) Das Prinzip der (n-1)-Sicherheit bezeichnet die Fähigkeit des Netzes, bei unvorhergesehenem Ausfall eines belasteten Betriebsmittels wie einer Sammelschiene, eines Transformators oder einer Leitung den Betrieb ohne Versorgungsunterbrechung von Verbrauchern aufrechterhalten zu können. Dies gelingt durch Aufrechterhaltung von Redundanz (im vermaschten Netz sind parallele Strompfade verfügbar) und Beschränkung der Belastung der Betriebsmittel im Normalbetrieb auf einen Wert deutlich unterhalb der Auslastungsgrenze (zum Beispiel 50 %), so dass es bei Aufnahme der Leistungsflüsse durch parallele Strompfade nicht zur Überschreitung von Belastungsgrenzen mit Folgeausfall kommt.

(2) Um im zugrundeliegenden noch fehlerfreien Betrieb die Betriebsmittelbelastungen hinreichend niedrig halten zu können, müssen gegebenenfalls Maßnahmen zur Lastflusssteuerung eingesetzt werden. Das können Umschaltungen in Umspannwerken oder geänderte Sollwerte für Blindleistung sein. Sofern solche Maßnahmen des Netzbetriebs nicht ausreichen, wird auch ein Redispatch von steuerbaren (konventionellen) Kraftwerken eingesetzt (also eine Anpassung der fahrplanmäßig vorgesehenen Einspeiseleistungen mehrerer Kraftwerke).

(3) In den Spannungsebenen der Mittel- und Niederspannung wird aufgrund des benötigten Aufwandes nicht mehr die volle (n-1)-Sicherheit gefordert. Hier kommt es bei Ausfällen von Betriebsmitteln meist zu Verbrauchsunterbrechungen, die je nach Netzstruktur und betroffenem Betriebsmittel unterschiedlich schnell behoben werden können. Für Anschlüsse von Erzeugungsanlagen wird im Allgemeinen keine (n-1)-Sicherheit gefordert.

(4) Um die (n-1)-Sicherheit im Übertragungsnetz von NRW in der Entwicklung der Szenarien des Klimaschutzplans im Detail zu untersuchen, müssten umfangreiche Berechnungen am Netzmodell vorgenommen werden, die den Umfang der Studie überschreiten. Grundsätzlich ist das Übertragungsnetz in NRW bereits heute stark vermascht und weist dadurch ein hohes Maß an Redundanz auf. Da sich diese Struktur durch die in den Netzberechnungen ermittelten Verstärkungen nicht wesentlich ändert, kann von einem ähnlich hohen Niveau auch in der Zukunft ausgegangen werden. Dazu muss es gelingen, die Auslastung der Betriebsmittel auch unter den neuen Strukturen der Einspeisung und Übertragung zu begrenzen.

(5) Damit die (n-1)-Sicherheit über den **Redispatch** hergestellt werden kann, müssen ausreichend steuerbare Kraftwerke dafür zur Verfügung stehen. Laut den Szenario-Angaben des Wuppertal Instituts werden bezüglich der installierten Leistung in NRW auch bis 2050 nahezu ebenso viele konventionelle Kraftwerke zur Verfügung stehen wie heute. Allerdings werden diese – bedingt durch die stark ansteigende Erzeugung aus erneuerbaren Energien – voraussichtlich deutlich geringere Betriebsstunden aufweisen. Demnach ist vorstellbar, dass zu bestimmten Zeiten unter Umständen nicht genügend konventionelle Kraftwerksleistung für den Redispatch zur Verfügung steht. Für solche Fälle ist es erforderlich, in Form von Laststeuerung oder Abregelung von Erneuerbaren neue Eingriffsmöglichkeiten zu erschließen und somit die erforderliche Redispatchfähigkeit sicherzustellen.

(6) Die Notwendigkeit für neue Eingriffsmöglichkeiten in den Netzbetrieb zur Sicherstellung der Redispatchfähigkeit ist entscheidend mit der Notwendigkeit der Vorhaltung konventioneller Kraftwerkseinheiten verknüpft: Solange nur konventionelle Kraftwerke die erforderliche Steuerbarkeit aufweisen und die Marktbedingungen auch praktisch keine Alternativen zulassen, kann die installierte Leistung aus konventionellen Kraftwerken nicht ohne Gefährdung der (n-1)-Sicherheit beliebig reduziert werden. Durch neue Eingriffsmöglichkeiten wie die gezielte Laststeuerung oder eine dynamische Abregelung von Erneuerbaren kann der für die Redispatchfähigkeit nötige Bedarf an konventionellen Kraftwerken dagegen reduziert werden.

An die Entwicklung der Klimaschutzpfade gekoppelt ist der Bedarf für Anpassungen somit über den EE-Ausbaupfad: Höhere Anteile erneuerbarer Energien verdrängen mehr konventionelle Kraftwerke. Um diese Verdrängung nicht zu begrenzen, ist zur Beibehaltung der (n-1)-Sicherheit neue Flexibilität zu erschließen.

3.4.3 Systemstabilität

(1) Als wichtiger Bestandteil der Versorgungssicherheit bezeichnet die Systemstabilität die Fähigkeit des Systems, sichere Betriebszustände bei normalen Änderungen von Betriebsparametern und soweit möglich auch beim Auftreten von Netzfehlern beizubehalten. Ausfälle oder steuernde Eingriffe in das Marktgeschehen sollen im Allgemeinen in ihrer Wirkung auf ein Minimum beschränkt werden. Fragestellungen der Systemstabilität werden in eine Reihe von Kategorien unterteilt, die sich in ihren Charakteristiken unterscheiden.

(2) **Frequenzstabilität** bezeichnet die Fähigkeit zur Herstellung und Beibehaltung des Gleichgewichts aus Erzeugung und Verbrauch von Wirkleistung. Im Zeitbereich von Sekunden und Minuten geht es um die Themen der Momentanreserve und der Regelenergie. Mit steigender Länge des betrachteten Zeitraumes kommen der Bilanzkreisgleichgewicht, die Kraftwerkseinsatzplanung sowie die Kraftwerksbedarfsplanung ins Spiel. Im engeren Sinne umfasst die Frequenzstabilität vor allem den kurzen Zeitbereich.

Dieses Gleichgewicht aus Erzeugung und Verbrauch muss systemweit im Verbundsystem hergestellt werden. Im Rahmen regionaler Betrachtungen können nach Erforderlichkeit Import und Exporte von elektrischer Energie stattfinden. Bundesweite Betrachtungen zeigen, dass die Themen der Momentanreserve und der Regelenergie durch den europäischen Kontext des Verbundsystems dominiert werden, so dass sich aus den Klimaschutzpfaden für NRW zunächst keine besonderen Schlussfolgerungen ergeben.

^{20, 21, 22}

(3) Grundlage für diese Aussage zur Frequenzstabilität ist in den betreffenden Studien allerdings die Annahme, dass die Erzeugungsstruktur in den europäischen Nachbarländern im betrachteten Zeitraum weiterhin ähnlich zur derzeitigen Situation beibehalten wird und dort somit eine vorwiegend zentrale Kraftwerksstruktur mit großen konventionellen Kraftwerkseinheiten vorliegt. Diese Annahme steht in Einklang mit den derzeit bekannten politischen Zielsetzungen. Dennoch ist eine Änderung politischer Zielsetzun-

²⁰ Studie zur Ermittlung der technischen Mindesterzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien: http://www.50hertz.com/de/file/4TSO_Mindesterzeugung_final.pdf (Abruf 23.06.2014),

²¹ Auswirkungen reduzierter Schwungmasse auf einen stabilen Netzbetrieb: http://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/attachments/Minimale%20Schwungmasse_0.pdf (Abruf 23.06.2014)

²² Dena-Studie Systemdienstleistungen 2030: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena-Studie_Systemdienstleistungen_2030.pdf (Abruf 23.06.2014)

gen im gegebenen Zeitraum mit entsprechenden Konsequenzen auf die Erzeugungsstruktur nicht vollständig auszuschließen. Dieser Unsicherheit kann nur begegnet werden, indem auch innerhalb von Deutschland und insbesondere auch NRW eine lokale Bereitstellung von Reserven an Momentanreserve und Regelleistung in bestimmter Höhe beibehalten wird.

(4) Der Bedarf an flexibel einsetzbarer Leistung zum Ausgleich der im System entstehenden Leistungsschwankungen steigt mit dem Anteil der volatilen erneuerbaren Energien an. Ausbaupfade für NRW mit einem höheren Anteil an Photovoltaik und Windenergie erhöhen damit auch die Leistungsschwankungen im System und dadurch den Bedarf an Regelleistung. Im 100 %-Ausbaupfad entstehen aufgrund der sehr hohen installierten Leistung die größten Schwankungen. Es ist davon auszugehen, dass diese Schwankungen zumindest anteilig auch innerhalb von NRW auszugleichen sind. Da die Bereitstellung von Regelleistung aber aus technischer Sicht problemlos auch über Grenzen hinweg erfolgen kann, lässt sich der Bedarf für Maßnahmen in NRW kaum belastbar quantifizieren.

(5) Sowohl Momentanreserve als auch Regelleistung lassen sich prinzipiell auch durch EE-Anlagen bereitstellen. Allerdings sind die bestehenden Rahmenbedingungen derzeit noch weitgehend auf die Möglichkeiten konventioneller Kraftwerksparks zugeschnitten und erschweren so eine aktive Beteiligung der EE-Anlagen. Diese könnten stärker einbezogen werden, wenn die Ausschreibungs- und Lieferzeiträume verkürzt werden. So können die Dargebotsabhängigkeit und Vorhersagegenauigkeit von Einspeisung aus Wind- und Solarenergie berücksichtigt werden und stellen dann kein wesentliches Hindernis mehr dar. Weitere Möglichkeiten sind der Einsatz von Lastmanagement und/oder Speichern zur Bereitstellung von Regelleistung.

(6) Als zweiter Aspekt der Stabilität beschreibt die **Rotorwinkelstabilität** die Fähigkeit der Synchronmaschinen, gegebenenfalls entstehende Schwingungen zwischen mehreren Rotoren begrenzen und dämpfen zu können, so dass keine durch anschwellende Schwingungen entstehenden unzulässig hohen Drehmomente auftreten, die zu Schäden an den Maschinen führen können. In erster Näherung kann das Risiko für Rotorwinkel-Instabilität über die Netzkurzschlussleistung an den Generator-Sammelschienen beurteilt werden. Hier bestehen aktuell ausreichende Reserven, so dass derzeit kein Handlungsbedarf abzusehen ist. Trotzdem sind für die mittel- bis langfristige Perspektive weitergehende Untersuchungen sinnvoll, die in dieser Studie nicht geleistet werden können. Die Einspeisung aus EE-Anlagen erfolgt stark überwiegend durch umrichterbasierte Generatorsysteme, die sich automatisch an der Netzfrequenz ausrichten und nicht anfällig für elektromechanische Schwingungen sind.

(7) Wie schon bei der Beschreibung der Frequenzstabilität beruht die Annahme ausreichender Reserven auch bei der Rotorwinkelstabilität auf den erwarteten Entwicklungen in den europäischen Nachbarländern. Eine Änderung der politischen Zielsetzungen kann auch hier zu geänderten Sachverhalten führen. Derzeit sind keine Forderungen nach spezifischen Maßnahmen zur Verbesserung der Rotorwinkelstabilität absehbar, da das System noch über ausreichend Reserven verfügt. Die mittel- und langfristige Entwicklung wäre in weitergehenden Studien unter Bezugnahme auf geänderte energiepolitische Zielsetzungen in den europäischen Nachbarländern zu untersuchen.

(8) Die **Spannungsstabilität** beschreibt die Fähigkeit des Systems, den immanenten Blindleistungsbedarf des Stromnetzes jederzeit decken zu können, so dass die Spannung an den Netzknoten innerhalb des vorgegebenen Spannungsbandes gehalten werden kann. Damit dies gelingt, sind ausreichend Kapazitäten zur Bereitstellung von kapazitiver und/oder induktiver Blindleistung an entsprechenden Stellen im Netz zu positionieren. Grundsätzlich ist eine kontinuierliche Blindleistungsbereitstellung aus Synchronmaschinen oder Leistungselektronik aus der Perspektive einer kontinuierlichen Betriebsführung einer gestuften Bereitstellung aus Kondensatorbänken oder Spulen vorzuziehen, verursacht jedoch im Allgemeinen höhere Kosten. Dort, wo Erzeugungsanlagen mit steuerbarer Blindleistungseinspeisung am Netz angeschlossen sind, bietet sich ihre Verwendung unmittelbar an.

(9) Derzeit werden zur **Blindleistungsbereitstellung** hauptsächlich die Synchronmaschinen großer Kraftwerke sowie spezifische Kompensationsanlagen (Kondensatorbänke, Spulen oder leistungselektronische Systeme) eingesetzt. Wenn in Zukunft (wie zu erwarten) die Einsatzzeiten der konventionellen Kraftwerke reduziert werden, sinkt dadurch auch deren jederzeit zur Spannungsregulierung einsetzbare Kapazität zur Blindleistungseinspeisung. Gleichzeitig steigt im Übertragungsnetz durch zunehmende Übertragung hoher Leistungen über größere Entfernungen der Blindleistungsbedarf. Da Blindleistung nicht über große Strecken transportiert werden kann, entsteht dadurch tendenziell ein Blindleistungsdefizit, das eine erweiterte Kompensation oder die systematische Erschließung neuer Blindleistungsquellen erfordert.

Einerseits bietet die steigende Durchdringung der Netzebenen mit Einspeisung aus leistungselektronischen Komponenten (PV und heute auch große Anteile der Windanlagen) grundsätzlich eine Verbesserung der Blindleistungs-Einstellmöglichkeiten im Netz. Andererseits werden diese potenziell auch zur Vermeidung von Spannungsproblemen (entstehend durch die Wirkleistungseinspeisung) eingeplant und zum Beispiel durch Vorgaben einer Weitbereichs-Spannungsregelung innerhalb der jeweiligen Netzebene

angesteuert. Jene Kapazitäten stehen dann nicht mehr im überlagerten Netz zur Verfügung, sondern bewirken dort im schlechtesten Fall ein nicht mehr zu deckendes Blindleistungsdefizit.

(10) Damit ergibt sich ein potenzieller **Zielkonflikt** für den Blindleistungseinsatz aus dezentralen Erzeugungsanlagen: Ein Einsatz zur Verringerung des andernfalls notwendigen Netzausbaus kann zwar die Netzausbaukosten in der betreffenden Spannungsebene begrenzen helfen, er verringert jedoch die Einsatzmöglichkeit im überlagerten Netz und kann damit dort zusätzliche Kompensationsanlagen (höhere Netzausbaukosten) bewirken. Wird das Steuerungskonzept um Abregelungsmaßnahmen ergänzt, könnte auf Kosten der dezentralen Wirkleistungseinspeisung auch die Blindleistungsbereitstellung in vollem Umfang genutzt werden. Für solche Fälle könnte angestrebt werden, dass im Rahmen von intelligenten Netzsteuerungsmaßnahmen (Smart Grid) adaptiv ein geeigneter Betriebszustand angesteuert werden kann, der unter Abwägung der Zielvorgaben einerseits die Stabilität sicherstellt und andererseits die Wirkleistungsbegrenzung der dezentralen Einspeisung minimiert.

(11) Auf Kosten eines **verstärkten Netzausbaus** in unterlagerten Netzen ließe sich die dezentral erzeugte Blindleistung im überlagerten Netz besser nutzen. Ohne diesen zusätzlichen Netzausbau sind neben Smart Grids auch erzeugungsunabhängige Anlagen zur Blindleistungserzeugung nach Bedarf einzusetzen. Die durch solche Anlagen gegebenenfalls entstehenden zusätzlichen Kosten konnten im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden. In jedem Fall müssen Lösungen unter Einbeziehung aller betroffenen Netzbetreiber gefunden werden und es besteht weiter Forschungsbedarf.

3.4.4 Kurzschlussleistung

(1) Die Kurzschlussleistung an einem Netzknoten ist eine rechnerische Größe, die sich aus dem Produkt der Nennspannung mit dem in einem standardisierten Berechnungsverfahren zu berechnenden sogenannten Anfangskurzschlusswechselstrom bestimmen lässt. Damit ist sie ein Maß für den im Falle eines Netzfehlers auftretenden Strom. Dieser darf einerseits nicht zu hoch sein (stärkere Ströme sind schwieriger zu unterbrechen als schwächere und verursachen höhere thermische Belastungen der Betriebsmittel), muss aber andererseits in ausreichendem Maß stärker sein als normale Betriebsströme (damit der Fehler durch die Netzschutzeinrichtungen erkannt werden kann).

(2) Kurzschlussleistung wird vor allem von Synchronmaschinen bereitgestellt, die kurzzeitig ein Mehrfaches ihres Nennstromes ins Netz speisen können. Umrichterbasierte Erzeugungsanlagen kön-

nen nur dann Kurzschlussleistung bereitstellen, wenn dies in die Anlagensteuerung einprogrammiert ist, und selbst dann ist der Kurzschlussstrombeitrag meist auf wenig mehr als den Nennstrom begrenzt. Gemäß den Anforderungen der Netzanschlussrichtlinien wird bereits heute von dezentralen Erzeugungseinheiten die Bereitstellung von Blindleistung bei Spannungseinbrüchen und damit ein Beitrag zum Kurzschlussstrom gefordert. Bei der zunehmenden Verdrängung konventioneller Erzeugung durch dezentrale umrichterbasierte Erzeugung kommt es deshalb nicht in gleichem Maße zu einer Absenkung der Kurzschlussleistung an den Netzknoten.

(3) Im Übertragungsnetz wird auch in Zukunft ausreichend Kurzschlussleistung bereitstehen, selbst wenn in Deutschland kaum noch Synchronmaschinen eingesetzt würden. Vorausgesetzt ist dabei eine weiterhin mehrheitlich auf Synchronmaschinen basierende Einspeisung in den europäischen Nachbarländern. Aktuelle Einschätzungen und politische Zielsetzungen lassen nicht erwarten, dass sich diese Annahme als unzureichend erweisen könnte.²³

(4) In den unterlagerten Netzen kommt es durch die dort integrierten dezentralen Erzeugungsanlagen dazu, dass Lastflüsse nicht mehr einheitlich in einer Richtung vom überlagerten Netz zu den Verbrauchern auftreten, sondern auch Leistung ins überlagerte Netz ausgespeist werden kann. Auch im Kurzschlussfall treten dann Leistungsflüsse von den Erzeugungsanlagen zur Fehlerstelle auf, die vom Netzschutz angemessen behandelt werden müssen.

3.4.5 Versorgungswiederaufbau

(1) Im heutigen Stromversorgungsnetz spielen konventionelle thermische Kraftwerke und Wasserkraftwerke die wichtigste Rolle beim Versorgungswiederaufbau nach großflächigen Stromausfällen. Unter den thermischen Kraftwerken spielen hierbei die Gasturbinen die größte Rolle, da sie im Vergleich zu Kohlekraftwerken nur einen geringen Eigenbedarf haben. So kann die zum Hochfahren des Kraftwerks notwendige Energie aus Speichern (Batterien) bereitgestellt werden.

(2) In allen Szenarien des Klimaschutzplans wird eine steigende installierte Leistung von Gasturbinenkraftwerken angenommen. Dementsprechend können die Fähigkeiten zum Versorgungswie-

²³ Studie zur Ermittlung der technischen Mindesterzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien: http://www.50hertz.com/de/file/4TSO_Mindesterzeugung_final.pdf (Abruf 23.06.2014),

deraufbau sogar gegebenenfalls als verbessert angesehen werden, sofern die neuen Kraftwerke tatsächlich mit Schwarzstartfähigkeiten ausgestattet werden. Auch die steigenden installierten Leistungen der dezentralen Einspeisung aus erneuerbaren Energien können in den im Laufe des Versorgungswiederaufbaus entstehenden Inselnetzen gegebenenfalls einen Anteil zur Netzstützung liefern, wenn sie für die Frequenz- und Spannungshaltung entsprechend gesteuert eingesetzt werden können. Ein Versorgungswiederaufbau aus den Verteilnetzen heraus bleibt jedoch wegen der hohen Anforderungen an Netzregelung und Inbetriebnahme von Betriebsmitteln bis auf weiteres unrealistisch.

3.4.6 Spannungsqualität

(1) Zunehmend wird neben der Freiheit von Versorgungsunterbrechungen auch der zeitliche Verlauf der Spannung am Verknüpfungspunkt der Verbraucher als Aspekt der Versorgungsqualität und Netzzuverlässigkeit gesehen. Die Spannung sollte nicht nur innerhalb der vorgegebenen Minimal- und Maximalwerte verbleiben, sondern in ihrem Verlauf auch möglichst arm an bestimmten Verlaufsmerkmalen sein:

- Kurzunterbrechungen im Bereich Hunderter Millisekunden, die beispielsweise durch Fehler mit Klärung durch automatische Wiedereinschaltung (AWE) verursacht werden.
- Flicker, d. h. niederfrequente Spannungsänderungen, die z. B. als störende Helligkeitsschwankungen von Glühlampen wahrgenommen werden können.
- Oberschwingungen, d. h. Komponenten des Spannungsverlaufes mit vielfachen der Grundfrequenz, die das Spannungssignal gegenüber einer Sinuskurve verzerrt erscheinen lassen. Durch zu starke Oberschwingungen können Geräte beschädigt oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden und die Netzverluste steigen an.
- Transienten sind kurzzeitige Änderungen, die entweder aufgrund ihrer Höhe und Schnelligkeit oder aufgrund der betroffenen Energiemenge wahrgenommen werden können. Ein Beispiel sind Spannungsänderungen durch Schaltvorgänge.
- Schiefast entsteht, wenn ein- oder zweiphasige Verbraucher verwendet und nicht gleichmäßig zwischen den drei Phasen des Drehstromsystems verteilt werden.

Bei einigen Anschlussnehmern entsteht im Übrigen die Erwartung, dass für eine hohe Versorgungsqualität die Spannung auch im oberen Bereich des erlaubten Spannungsbandes zu verlaufen habe. Auch wenn es darauf keinen Anspruch gibt, sind die Netzbetreiber im Allgemeinen ebenfalls daran interessiert, denn höhere Spannungen erlauben die Übertragung der gleichen Leistung bei niedrigeren Verlusten. Dennoch kann es im Einzelfall für den

Netzbetreiber günstiger oder sogar notwendig sein, gelegentlich die gesamte Breite des verfügbaren Spannungsbandes ausnutzen zu können.

(2) In den Szenarien des Klimaschutzplans steigt mit dem EE-Ausbaupfad entsprechend der Anteil an Einspeisung aus umrichterbasierten Technologien, die je nach Typ mit bestimmten Oberschwingungen einhergehen. Beim Anschluss der betroffenen Anlagen wird bereits heute darauf geachtet, dass deren Oberschwingungen mit geeigneten Filtern weitgehend eliminiert werden. Die Netzanschlussrichtlinien geben Grenzen für die Erzeugung von Oberschwingungen vor und werden regelmäßig der technischen Entwicklung angepasst, so dass weitere bekannt werdende Einflüsse erneuerbarer Einspeisung auf die Spannungsqualität angemessen behandelt werden können.

(3) Durch die stärker schwankenden Leistungsflüsse in den Szenarien des Klimaschutzplans mit hohen Anteilen dezentraler, fluktuierender Einspeisung ist es möglich, dass Spannungsschwankungen innerhalb der erlaubten Betriebsgrenzen ebenfalls häufiger auftreten als bisher. Für die meisten Stromverbraucher stellen solche Schwankungen kein Problem dar, solange sie nur hinreichend langsam auftreten und damit praktisch nicht wahrnehmbar sind. Einzelne industrielle Verbraucher, die besondere Anforderungen haben, müssen falls erforderlich gemeinsam mit dem Netzbetreiber ihres Anschlusses sicherstellen, dass ihren besonderen Bedürfnissen Rechnung getragen werden kann. Mit Hilfe zusätzlicher Kompensationseinrichtungen kann zum Beispiel vor Ort eine Spannungsstützung vorgenommen werden, so dass Schwankungen abgefangen und ausgeglichen werden können.

3.4.7 Zusammenfassung Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität

(1) Voraussetzung zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ist neben dem bedarfsgerechten Netzausbau die Erbringung von Systemdienstleistungen im erforderlichen Umfang. In allen betrachteten Szenarien steigt der Anteil der Stromerzeugung aus dezentralen EE-Anlagen gegenüber der Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken erheblich. Daraus ergibt sich ein steigender Bedarf, die Systemdienstleistungen ebenfalls aus den dezentralen EE-Anlagen bereitstellen zu können. Die Lieferung von Blindleistung, Trägheit (Momentanreserve) und Kurzschlussstrom kann grundsätzlich auch durch erzeugungsunabhängige Anlagen wie Phasenschiebergeneratoren, Speicher oder Lastmanagement erfolgen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Möglichkeiten:

Tabelle 30: Möglichkeiten zur Erschließung neuer Quellen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Stromnetz

Systemdienstleistung	Alternative Bereitstellung durch
Trägheit	Phasenschiebergeneratoren, Speicher, Windenergieanlagen, DSM*
Negative Regelleistung	
Primär	Alle EE-Anlagen, Speicher, DSM*
Sekundär	Alle EE-Anlagen, Speicher, DSM*
Minutenreserve	Biogasanlagen, DSM*
Positive Regelleistung	
Primär	DSM*, angedrosselte EE-Anlagen, Speicher
Sekundär	DSM*, angedrosselte EE-Anlagen, Biogasanlagen, Speicher
Minutenreserve	DSM*, angedrosselte EE-Anlagen, Biogasanlagen
Kurzschlussstrom	Phasenschiebergeneratoren, (alle EE-Anlagen, Speicher)
Blindleistung	Phasenschiebergeneratoren, Kondensatoren, Drosseln, FACTS, (alle EE-Anlagen, Speicher)

* DSM: Demand Side Management (Lastmanagement)
Quelle: Energynautics

(2) Durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen aus dezentralen Anlagen (DEA) kann die Höhe der erforderlichen Mindestleistung aus konventionellen Kraftwerken reduziert werden.

(3) Ausgemusterte Kraftwerksgeneratoren konventioneller Kraftwerke können zwar zu Phasenschiebern umgerüstet werden, allerdings können die Kosten für die Umrüstung und Nutzung ausschließlich zur Spannungs- und Blindleistungsregelung stark vom Einzelfall abhängen. Wegen fehlender Turbinenmasse haben diese Systeme auch eine geringere Trägheit als die ursprünglichen Generatorsysteme. Heutige DEA verfügen noch nicht standardmäßig über virtuelle rotierende Masse, entsprechende Ansätze sind bei den Herstellern aber bereits in der Vorbereitung oder schon als Option verfügbar.

(4) Positive Regelleistung aus Windenergie- und PV-Anlagen ist momentan noch unwirtschaftlich, da diese dazu angedrosselt betrieben werden müssten. Dabei geht nutzbare Primärenergie verloren. Dieser Nachteil lässt sich weitgehend vermeiden, wenn diese Anlagen nur zur Bereitstellung von negativer Regelleistung eingesetzt werden und für positive Regelleistung der Einsatz von Lastmanagement (DSM) und Speichern bevorzugt wird.

Die aktuellen Rahmenbedingungen erlauben derzeit die Erbringung von Regelleistung durch erneuerbare Energien nur in sehr geringem Umfang. Ursache sind die Präqualifikationsregelungen der Regelleistungsmärkte, die derzeit für dezentrale EE-Anlagen in der Praxis nur die Teilnahme an der Minutenreserve ermöglichen.

(5) Voraussetzung für die Bereitstellung jeder Form von Systemdienstleistungen ist die ausreichende Dimensionierung der Netzbetriebsmittel. Der Umfang des entsprechenden Netzausbaus für die Klimaschutzpfade wurde in dieser Studie berechnet und ist in Abschnitt 3.3 beschrieben.

(6) Mit Hilfe einer kontinuierlichen Überprüfung und Anpassung der Netzanschlussrichtlinien sollte sichergestellt werden, dass dezentrale Anlagen über die technischen Vorrichtungen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen dann in ausreichendem Umfang verfügen, wenn dies zur Beibehaltung der Versorgungssicherheit vorteilhaft ist.

(7) Regelleistungsbereitstellung oder auch Kurzschlussleistung sind Systemdienstleistungen, die nur relativ wenig von lokalen Gegebenheiten abhängig sind. Stattdessen ist für diese Faktoren der überregionale Kontext von großer Bedeutung: Diese Systemdienstleistungen können theoretisch in ausreichendem Umfang importiert werden, sofern die europäischen Nachbarländer ihre aktuellen strategischen Stromversorgungsplanungen beibehalten. Ändern sich diese Pläne oder sollen aus politischen Gründen zur Verringerung der Abhängigkeit lokale Ressourcen genutzt und gefördert werden, so steigt damit unmittelbar der in NRW zu betreibende Aufwand.

Grundsätzlich steigt durch die zunehmende Einspeisung aus fluktuierenden Energieträgern wie Wind und Sonne der Bedarf für die dynamische Bereitstellung der Systemdienstleistungen. Da zu erwarten ist, dass auch Nordrhein-Westfalen seinen Beitrag zur Lieferung dieser Leistungen leisten will und wird, folgt aus dem verstärkten Zubau in den Szenarien des Klimaschutzplans ebenfalls ein erhöhter Aufwand als Beitrag zur Systemstabilität.

(8) Im Hinblick auf die Zuverlässigkeit zukünftiger Netzstrukturen vor dem Hintergrund der Klimaschutzpfade lassen sich kaum präzise Aussagen treffen, da für die in den Netzberechnungen verwendeten innovativen Technologien wie Freileitungsmonitoring und regelbare Ortsnetztransformatoren noch wenig Langzeiterfahrung zur Ausfallhäufigkeit existiert. Es ist außerdem zu erwarten, dass die Netzzuverlässigkeit stärker von den Planungs- und War-

tungsstrategien der Netzbetreiber abhängt als von den veränderten Erzeugungsstrukturen und den durch sie bedingten Netzausbaumaßnahmen der verschiedenen Klimaschutzpfade. Durch die steigende Komplexität der Netze ist die Beibehaltung der Netzzuverlässigkeit auf dem heutigen Qualitätsniveau für die Netzbetreiber zukünftig mit einem höheren betrieblichen und planerischen Aufwand verbunden.

3.5 Die Rolle der NRW-Netzstruktur in Deutschland und Europa

In der Diskussion der verschiedenen Aspekte der Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität ist bereits deutlich geworden, dass für die Bewertung von Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen eine isolierte Betrachtung zu kurz greift und deshalb auch eine Berücksichtigung der Strukturen sowie der Entwicklungen außerhalb von NRW notwendig ist. Im Folgenden wird zunächst die Struktur des Kraftwerksparks in NRW und Deutschland betrachtet. Anschließend werden die Entwicklungspfade der Szenarien des Klimaschutzplans mit den Szenarien anderer Studien für die Entwicklung in Deutschland in Bezug gesetzt. Abschließend folgen einige kurze Bemerkungen zum europäischen Kontext.

3.5.1 Struktur der Stromerzeugung in NRW und Deutschland

(1) In Abbildung 31 und Abbildung 32 sind die Strukturen der Stromerzeugung durch einzelne Kraftwerksarten in Nordrhein-Westfalen und in der gesamten Bundesrepublik dargestellt, wie sie vom Wuppertal Institut für die Szenarien des Klimaschutzplans bestimmt wurden. Der Vergleich der beiden Diagramme zeigt, dass der Anteil der konventionellen Kraftwerke an der Stromerzeugung in Nordrhein-Westfalen größer ist als im bundesdeutschen Durchschnitt. Dies gilt nicht nur für den Stand von 2010, sondern mit der in den Szenarien des Klimaschutzplans angenommenen Entwicklung noch bis 2030 und darüber hinaus. Nur im 100 %-EE-Ausbaupfad („2050 B2“) sinkt der Anteil der konventionellen Kraftwerke an der Stromerzeugung in NRW bis 2050 auf einen Wert unter dem Anteil in Deutschland insgesamt.

Abbildung 31: Stromerzeugung in NRW in Terawattstunden (TWh) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050

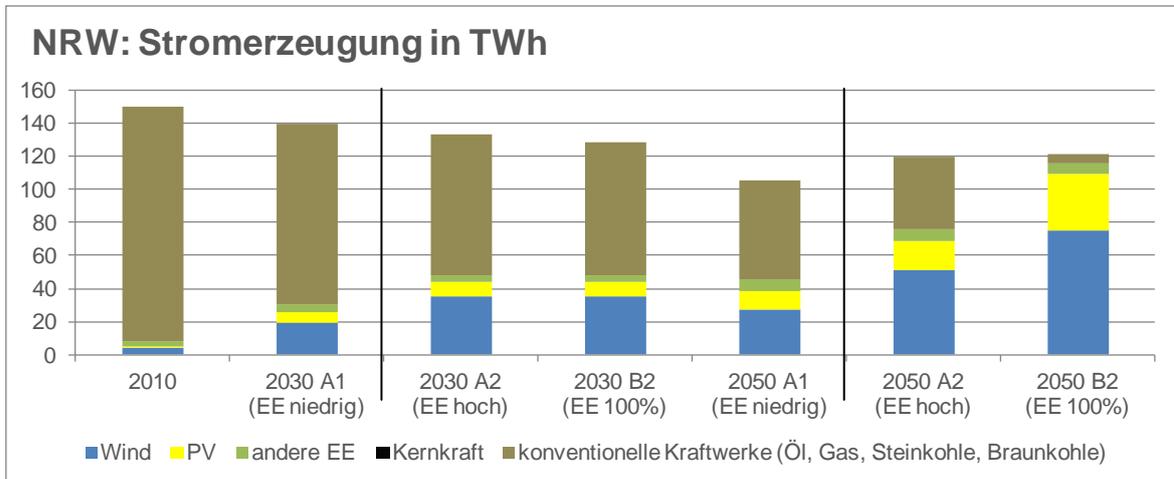
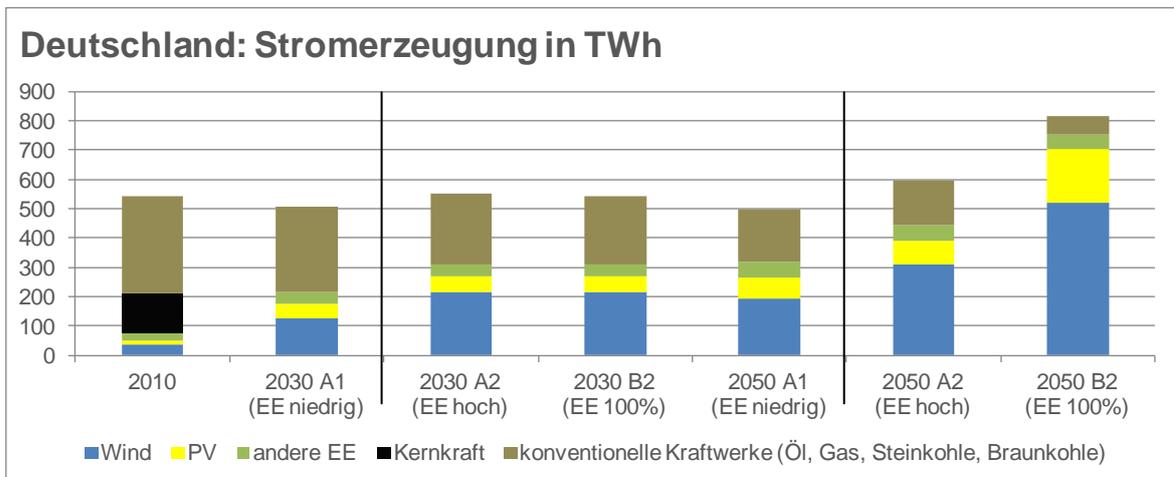


Abbildung 32: Stromerzeugung in Deutschland in Terawattstunden (TWh) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050



(2) Beim Blick auf die installierten Leistungen der einzelnen Kraftwerksarten (dargestellt in Abbildung 33 und Abbildung 34) lässt sich erkennen, dass trotz der Abnahme der Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken deren installierte Leistung nicht merklich reduziert ist. Sowohl in NRW als auch in Deutschland insgesamt werden bis 2050 konventionelle Kraftwerke mit nahezu der gleichen installierten Leistung wie heute vorgehalten. Dies geschieht, weil zu Zeiten minimaler Einspeisung aus Windenergie und Photovoltaik die vollständige Lastdeckung nur durch Speicher und Stromimporte nicht kosteneffizient möglich ist.

Aus den sinkenden Energiemengen aus konventionellen Kraftwerken bei gleichbleibender installierter Leistung ergibt sich die Schwierigkeit, diese Anlagen gerade auch in Szenarien mit hohem

und sehr hohem EE-Anteil wirtschaftlich betreiben zu können. Dabei geht es nicht nur darum, die Kostendeckung bestehender Anlagen zu gewährleisten, sondern auch die Investitionssicherheit bei der Umstellung des konventionellen Kraftwerksparks weg von Kohlekraftwerken (Braunkohle und Steinkohle) für den Grundlast- und Mittellastbetrieb hin zu Gaskraftwerken für geringere Betriebsstunden zu schaffen. Dieses Problem kann nicht im Rahmen der Klimaschutzentwicklung für NRW gelöst werden, sondern erfordert Maßnahmen auf deutscher bzw. europäischer Ebene.

Abbildung 33: *Installierte Kraftwerksleistung in NRW in Megawatt (MW) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050*

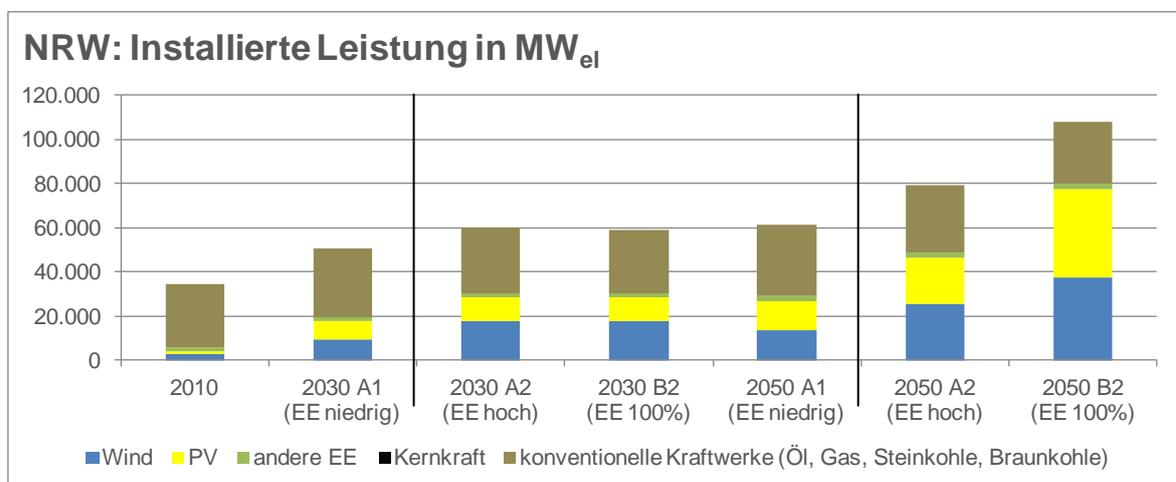
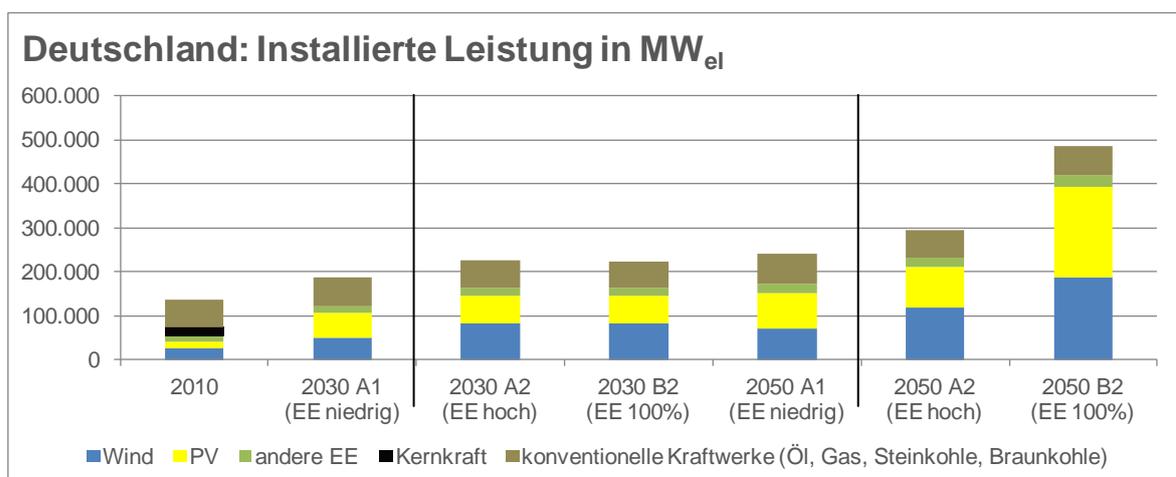


Abbildung 34: *Installierte Kraftwerksleistung in Deutschland in Megawatt (MW) 2010 und in den Szenarien für 2030 und 2050*



(3) Im Vergleich zur Kraftwerksstruktur in Deutschland sind die konventionellen Kraftwerke in Nordrhein-Westfalen mit einem höheren Anteil vertreten. Sie leisten mit der Bereitstellung von Sys-

temdienstleistungen einen wertvollen Beitrag zum sicheren Betrieb der Netze.

Die geringeren Betriebszeiten für konventionelle Kraftwerke haben zur Folge, dass diese nicht mehr über längere Zeiträume zur Vorrhaltung von Systemdienstleistungen vorgesehen werden können. Insbesondere kann es zu Zeiten kommen, in denen kaum noch konventionelle Kraftwerke in NRW gleichzeitig einspeisen werden. Auch zu diesen Zeiten muss aber etwa Regelleistung verfügbar sein. Die Erschließung der EE-Leistung in NRW für weitere Systemdienstleistungen kann diese Lücke teilweise füllen, wenn die Anforderungen an Anlagen und Marktteilnahme darauf abgestimmt und weiterentwickelt werden. Ebenso sind Speicher und Lastmanagement dazu geeignet, zukünftig zu den benötigten Systemdienstleistungen beizutragen.

3.5.2 Kontext: Klimaschutzszenarien für Deutschland

(1) Die Entwicklung des Stromversorgungssystems ohne den besonderen Einfluss des Klimaschutzplanes für NRW wird durch Faktoren beeinflusst, deren Einschätzung mit steigendem Zeitabstand ebenfalls stark steigenden Unsicherheiten unterliegt. In Studien zur Unterstützung der politischen Zielfindungsprozesse werden Szenarien verwendet, um eine als realistisch eingeschätzte Bandbreite der möglichen Entwicklungen abzugrenzen. Da für die Entwicklung des Energieversorgungssystems und insbesondere auch der Stromnetze mehrere bundesweite Studien vorliegen, lohnt sich ein Vergleich der Szenarien des Klimaschutzplans mit den für Deutschland insgesamt als mögliche Entwicklungen angesetzten Szenarien.

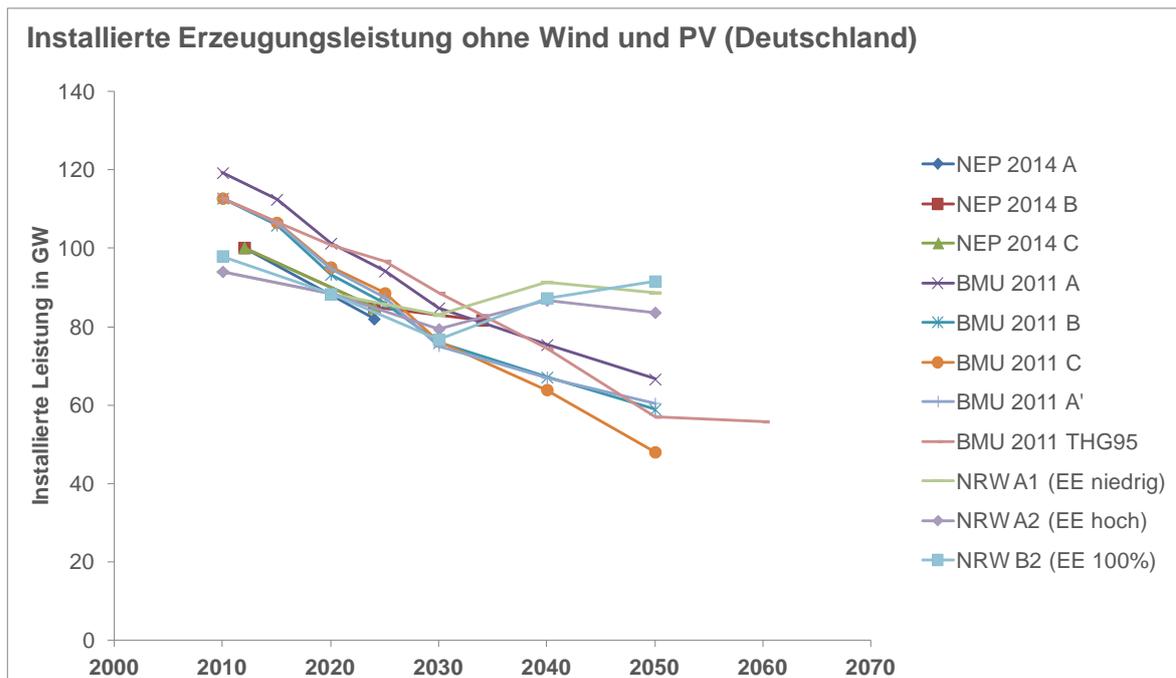
Die wichtigste Studie mit Einfluss auf nahezu alle anderen Studien ist dabei die BMU-Leitstudie von 2011²⁴. Außerdem werden die Szenarien des Netzentwicklungsplanes (NEP 2014) der Übertragungsnetzbetreiber (zusammen mit der Bundesnetzagentur) zum Vergleich herangezogen, weil diese regelmäßig an aktuelle und verbesserte Daten und Entwicklungsannahmen angepasst werden.

(2) Zum Vergleich herangezogen werden die jeweils für ganz Deutschland angegebenen Werte für Kraftwerksleistungen nach Kraftwerkstyp sowie der Nettostromverbrauch. Abbildung 35 zeigt zunächst die installierte Leistung von konventionellen Kraftwerken. Tatsächlich sind die in dieser Kategorie zusammengefassten Kraftwerkstypen in der Darstellung nicht vollständig identisch, was

²⁴ Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf (Abruf: 30.06.2014)

zu der bereits im Ist-Zustand am linken Rand der Entwicklungsszenarien hohen Streuung führt. Allerdings gibt es auch innerhalb einzelner Studien teilweise abweichende Angaben. Grundzüge der erwarteten Entwicklungen lassen sich jedoch ablesen.

Abbildung 35: Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung nicht fluktuierender Energieträger in Szenarien verschiedener Studien



In allen Szenarien der BMU-Studie sowie des NEP 2014 wird eine kontinuierliche Abnahme der installierten Kapazität aus konventionellen Kraftwerken angenommen. In den Szenarien des NRW-Klimaschutzplanes für Deutschland verläuft diese Entwicklung bis 2030 genauso, danach kommt es jedoch wieder zu einem Anstieg der installierten Leistung. Im Vergleich zum Ist-Zustand erreichen diese Szenarien bis 2050 wieder ein ähnliches Niveau. Die Begründung für diese angenommene Entwicklung ist die größere Rolle von Gaskraftwerken, die in den Szenarien des Klimaschutzplans mit allen EE-Ausbaupfaden angenommen wird. Die Werte hängen jeweils davon ab, welche Annahmen zum Stromimport und zu den Kostenentwicklungen der Technologien in den zugrundeliegenden Marktsimulationen getroffen wurden, und welche Entwicklung für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien angesetzt wurde.

(3) Die installierten Leistungen für Windenergie und Photovoltaik in den verschiedenen Szenarien sind in Abbildung 36 und Abbildung 37 wiedergegeben. Aufgrund der engeren Abgrenzung der Erzeugungseinheiten liegen hier in allen Szenarien weitgehend übereinstimmende Werte zum Ist-Zustand vor.

Abbildung 36: Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung von Windenergieanlagen in Szenarien verschiedener Studien

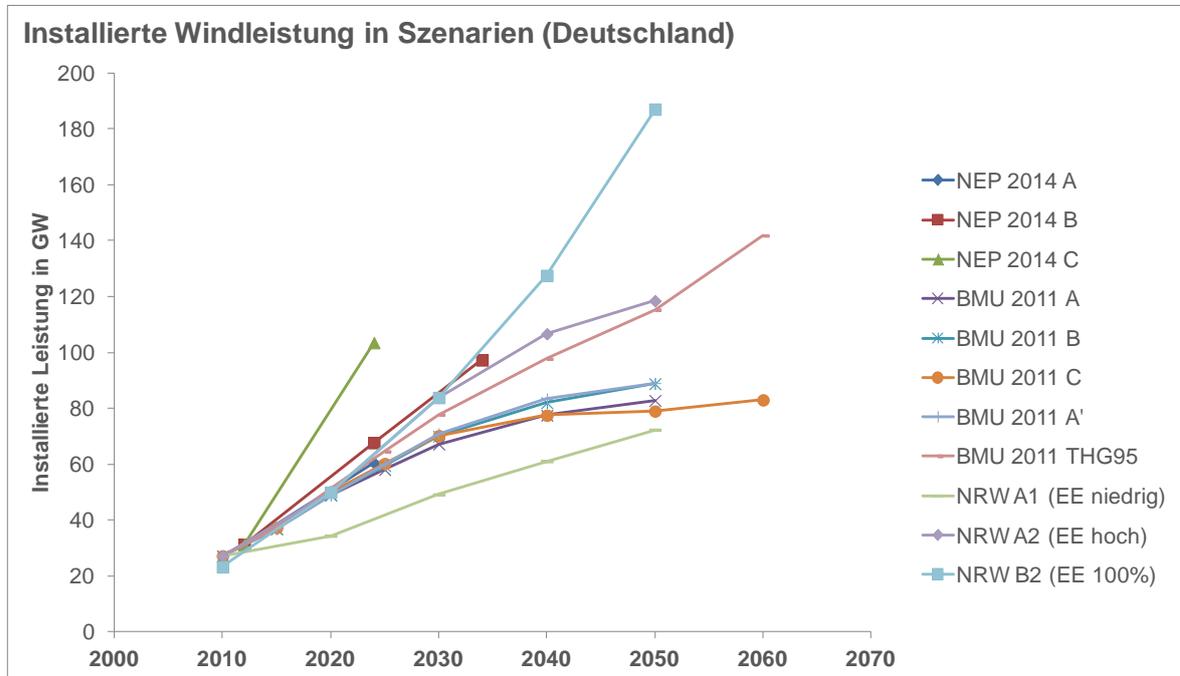
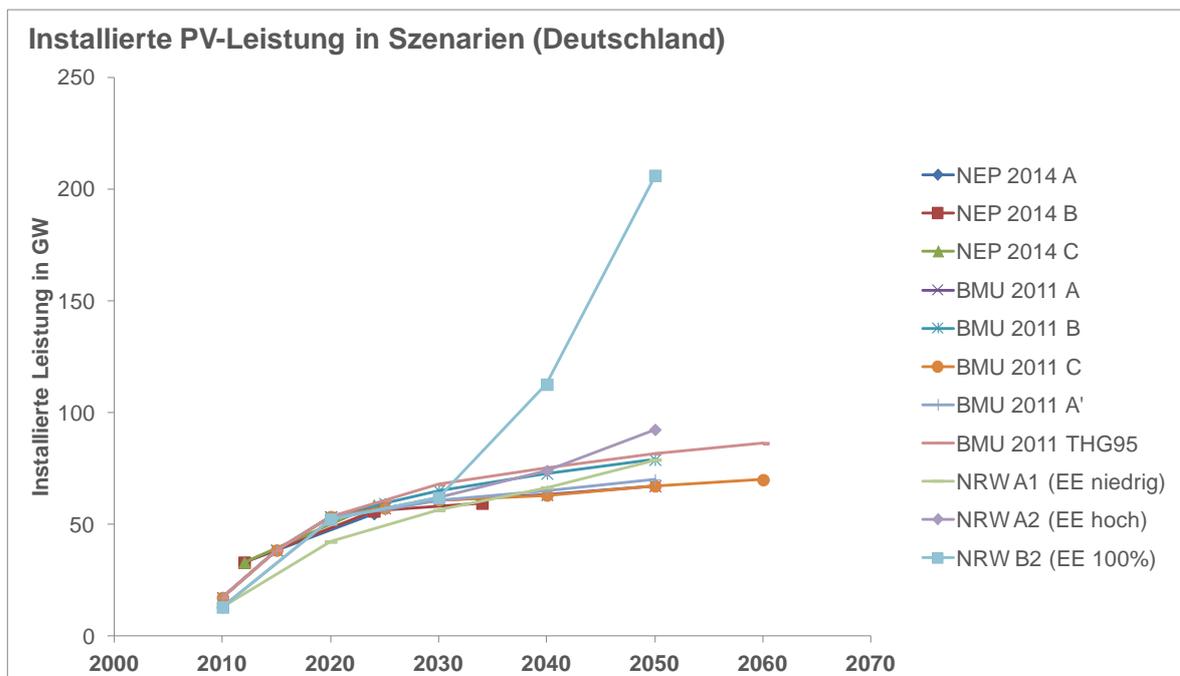


Abbildung 37: Übersicht über die Entwicklung der installierten Leistung von PV-Anlagen in Szenarien verschiedener Studien



Hinsichtlich der installierten Leistung aus **Windenergie** stellt der niedrige EE-Ausbaupfad (NRW A1) der Szenarien des Klimaschutzplans für Deutschland den unteren Rand der Szenarien dar.

Alle anderen Szenarien weisen bereits in der kurzfristigen Entwicklung bis 2020 deutlich höhere Annahmen auf. Die höchste Ausbaurate der Windenergie für Deutschland findet sich nicht etwa im hohen EE-Ausbaupfad der Impactanalyse, sondern im Szenario C 2024 des NEP 2014. Bis 2030 liegen der hohe EE-Ausbaupfad (NRW A2), der 100 %-EE-Ausbaupfad (NRW B2) sowie das Szenario B des NEP 2014 in etwa auf der gleichen Höhe. Ab diesem Zeitpunkt laufen dann die Annahmen der beiden höchsten EE-Ausbaupfade der Szenarien des Klimaschutzplans auseinander.

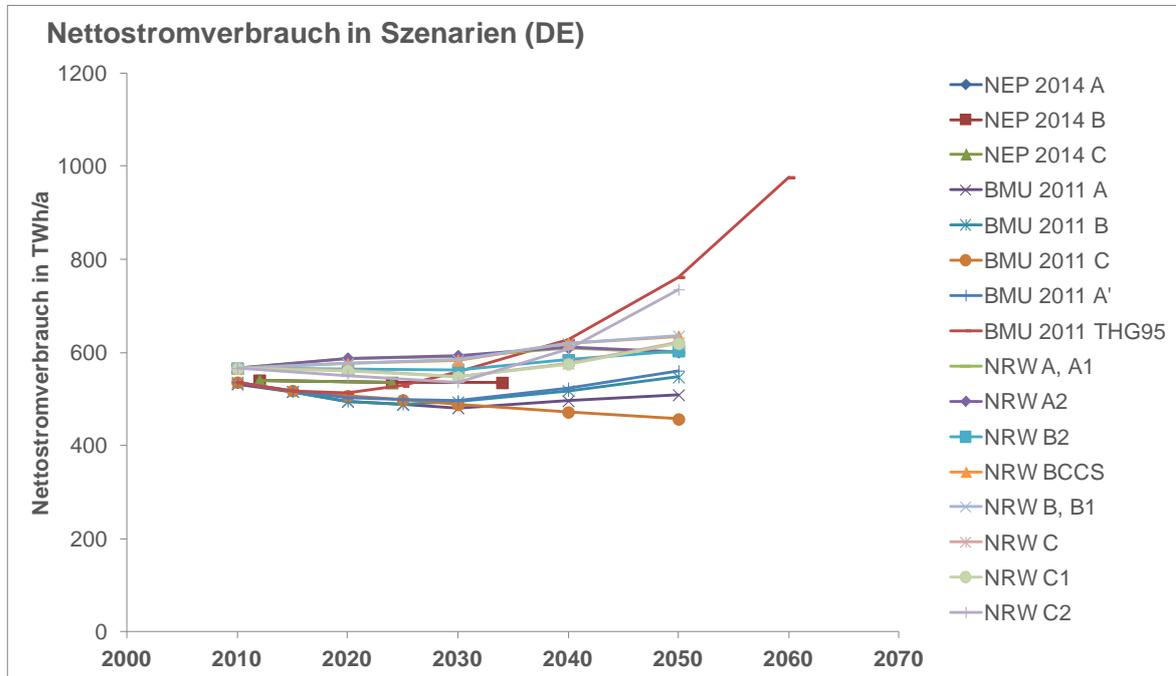
Die Angaben der BMU-Szenarien für den Ausbau der Windenergie liegen bis 2050 jeweils zwischen dem niedrigen und dem hohen EE-Ausbaupfad der Szenarien des Klimaschutzplans.

(4) Bei der Entwicklung der installierten Leistung der **Photovoltaik** liegen die meisten betrachteten Szenarien zunächst sehr dicht beieinander. Bei den Werten zum Ist-Zustand am linken Ende der Kurven zeigt sich die höhere Aktualität der Daten des NEP: Die schnelle Zuwachsrate der letzten Jahre war zum Zeitpunkt der Erstellung der Vorgaben der anderen Szenarien noch nicht erwartet worden. Der Wert des niedrigen EE-Ausbaupfades (NRW A1) für 2020 am unteren Ende der Spanne der Szenarien dürfte damit bereits eine extrem niedrige Annahme darstellen.

Bis 2030 und dann bis 2040 liegen die Annahmen zum PV-Ausbau in den meisten Szenarien noch recht dicht beieinander. Als einziger „Ausreißer“ erweist sich der 100 %-EE-Ausbaupfad der Szenarien des Klimaschutzplans, in dem ab 2030 und erheblich verstärkt nach 2040 eine Zuwachsrate an installierter PV-Leistung angenommen wird. Bis 2050 haben auch der hohe und selbst noch der niedrige EE-Ausbaupfad (NRW A2 und NRW A1) eine höhere PV-Zuwachsrate als die BMU-Szenarien, liegen von den Ausbauzielen her aber noch in derselben Größenordnung. Die Szenarien des NEP liegen durch ihren kürzeren Zeithorizont alle in dem Bereich, in dem alle anderen Szenarien der Studien noch eng beieinander liegen.

(5) Abbildung 38 zeigt den **Nettostromverbrauch** der Szenarien in den verschiedenen Studien. Neben den Szenarien A1, A2 und B2 der Szenarien des Klimaschutzplans sind hier auch die Szenarien C, C1 und C2 enthalten, die sich durch eine geänderte Annahme zur Stromverbrauchsentwicklung von den zuerst genannten Szenarien unterscheiden.

Abbildung 38: Übersicht über die Entwicklung des Nettostromverbrauchs in Deutschland in Szenarien verschiedener Studien



Die BMU-Szenarien nehmen zunächst eine sinkende Tendenz des Nettostromverbrauches an, wobei ab 2020 bzw. 2030 in einigen Szenarien wieder ein Anstieg erwartet wird. Am Ende des Szenarienhorizontes (2050) stellen die BMU-Szenarien sowohl das Szenario mit dem höchsten als auch das Szenario mit dem niedrigsten Stromverbrauch. Im Gegensatz zu den BMU-Szenarien wird in den Szenarien des Klimaschutzplans nur in den C-Szenarien ein leichter Rückgang angenommen, der nach 2030 durch die Integration der Wasserstofftechnologie ebenfalls in eine Zunahme übergeht. Die Szenarien des NEP weisen einen nahezu konstanten Nettostromverbrauch auf und liegen zwischen den Szenarioannahmen der BMU-Studie und denjenigen des NRW-Klimaschutzplanes.

(6) Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die **Szenarien des Klimaschutzplans** im Vergleich mit anderen Szenarien für ganz Deutschland weitgehend **innerhalb der üblichen Bandbreiten** liegen, was den Ausbau der Einspeiseleistung aus EE-Anlagen angeht. Hinsichtlich der Einspeiseleistung aus PV liegen die meisten Szenarien bis 2030 recht nah beieinander. Nach 2030 verlässt der 100 %-Ausbau Pfad der Szenarien des Klimaschutzplans den Bereich der übrigen Szenarien und weist einen deutlich darüber hinausgehenden PV-Ausbau auf.

Bei der installierten Windleistung liegt der 100 %-EE-Ausbaupfad zwar am oberen Rand des Szenarienbandes anderer Studien, weist jedoch nicht deutlich darüber hinaus. Stattdessen stellt der niedrige EE-Ausbaupfad eine Entwicklung dar, die einen besonders langsamen Zubau von Windleistung vorsieht.

(7) Beim Vergleich der Szenarien verschiedener Studien ergibt sich keine einfache Zuordnung direkt miteinander vergleichbarer Annahmen und Ergebnisse einzelner Szenarien, die etwa als alternative „Ohnehin-Entwicklungen“ zu den Basisszenarien angenommen werden könnten. Auch in anderen Studien werden grundsätzlich ähnlich ambitionierte Szenarien wie im NRW-Klimaschutzplan angenommen und untersucht. Dennoch stellt die hohe Annahme für den PV-Zubau im 100 %-EE-Ausbaupfad nach 2030 ein auffälliges Detail unter den Szenarioannahmen dar. In allen Szenarien des Klimaschutzplans wird zudem eine höhere konventionelle Kraftwerksleistung ab 2040 veranschlagt.

3.5.3 Bezug zu Europa

(1) Nordrhein-Westfalen stellt innerhalb des europäischen Strom-Verbundnetzes ein relativ kleines Gebiet dar und ist in alle Richtungen mit starken Netzanbindungen versehen. Durch die starke Steigerung der Einspeisung aus EE-Anlagen nicht nur in NRW werden weiträumige Stromtransporte zum Ausgleich der Leistungsbilanz an Bedeutung gewinnen, was auch mit verstärkten Transitflüssen durch NRW einhergehen wird. Eine Verzögerung des notwendigen Netzausbaus in NRW insbesondere im Übertragungsnetz hätte damit potenziell auch schwerwiegende Konsequenzen für die Geschwindigkeit der Umsetzung der Energiewende in Deutschland insgesamt. Umgekehrt wird deutlich, dass eine zügige Umsetzung von notwendigen Netzausbaumaßnahmen in Nordrhein-Westfalen für die Umstellung des deutschen und auch des europäischen Stromsystems auf höhere Anteile erneuerbarer Energien besonders förderlich ist und Nordrhein-Westfalens Rolle als wesentliche Drehscheibe der europäischen Stromversorgungssysteme zu erhalten hilft.

(2) Eine im europäischen Kontext besonders wichtige Frage ergibt sich aus dem Ziel der am Verbund der Übertragungsnetze beteiligten Länder, ihre jeweilige Stromversorgung mit möglichst hoher Versorgungssicherheit gleichzeitig möglichst kostengünstig zu betreiben. Die Implementierung von Energiemärkten ist der Versuch, diese beiden Anforderungen ohne konkrete staatliche Vorgaben für die Kraftwerksbedarfsplanung in Einklang zu bringen. Schwierigkeiten ergeben sich, weil mehrere politisch wünschenswerte Ziele zu widersprüchlichen Forderungen führen:

- Die im jeweiligen Land verbrauchte Energiemenge soll aus Gründen der Versorgungsunabhängigkeit im Allgemeinen auch dort erzeugt werden können. Allerdings ist es gesamtwirtschaftlich effizienter, Erzeugungsanlagen dort zu errichten, wo sie den größten Nutzen erbringen können. Dies würde unter Umständen regionale Ungleichgewichte stärker begünstigen, als dies politisch tolerierbar wäre.
- Selbst bei weitgehend ausgeglichener Energiebilanz der Länder ergibt sich bei hohen Anteilen fluktuierend einspeisender erneuerbarer Energien zu den meisten Zeiten eine nicht ausgeglichene Leistungsbilanz, so dass entweder ein Stromexport oder ein Stromimport benötigt wird. Die entstehenden Schwankungen müssen im Gesamtsystem ausgeglichen werden, so dass regionale Zielsetzungen auch immer Auswirkungen auf die umgebenden Netzregionen haben. Dies gilt bereits bei hohen EE-Anteilen einzelner Regionen, umso mehr noch, wenn mehrere Staaten ähnliche Ziele verfolgen und in großem Umfang ihre EE-Anteile steigern. Dadurch entstehen neue Anforderungen an die Strommärkte, etwa für einen überregionalen Austausch von Regelleistung oder anderer Systemdienstleistungen.
- Auch durch unterschiedliche politische Rahmenbedingungen kommt es zu unterschiedlichen Voraussetzungen in den einzelnen Ländern, da die Zusammensetzung der Kraftwerksparks der Staaten neben der geographischen Eignung für bestimmte Kraftwerkstypen immer auch durch politische Zielsetzungen beeinflusst ist. So können die Kraftwerksparks verschiedener Länder auch sehr unterschiedlich für die effektive Bereitstellung von Systemdienstleistungen geeignet sein. Zudem können Fragen der Versorgungsunabhängigkeit (trotz ggf. ausgeglichener Leistungsbilanz) oder der politischen Akzeptanz eines hohen Exports von Dienstleistungen entstehen.

Länder mit sehr hohen Anteilen von Windenergie und Photovoltaik wie zum Beispiel Deutschland im 100 %-EE-Ausbaupfad der Szenarien des Klimaschutzplans bis 2050 können durch den Bedarf an Systemdienstleistungen trotz eines strukturellen Stromüberschusses abhängig von ihren Nachbarn sein. Diese Abhängigkeit wird mit Kosten verbunden sein, deren Höhe heute nicht belastbar abzuschätzen ist. Nach Einschätzung von Energynautics sind die Kosten dafür niedriger als bei einer Eigenversorgung mit allen benötigten Systemdienstleistungen.

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse des Impactbereichs Versorgungssicherheit

3.6.1 Wirkungen und erforderliche Maßnahmen

(1) Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmendem Ausbau erneuerbarer Energien der Netzausbaubedarf und folglich die Netzausbaukosten steigen. Die Szenarien mit **100 % Erneuerbaren** (B2 und C2) erfordern bis zum Jahr 2050 den höchsten Netzausbau und daher die höchsten Kosten. Der Ausbau der Erneuerbaren stellt damit den Haupttreiber für die ermittelten Netzausbaukosten dar.²⁵ Da in den Szenarien B2 und C2 der Import von Strom für die Wasserstoffproduktion nicht während der Belastungsspitzen des Netzes erfolgt, entsteht dadurch kein Beitrag zum Umfang des ermittelten Netzausbaus. Die Höhe der ermittelten Kosten ist naturgemäß mit steigendem Zeithorizont auch mit steigenden Unsicherheiten behaftet. Dennoch sind die Unterschiede zwischen den Szenarien signifikant genug, um belastbare Aussagen ableiten zu können.

(2) Die Unterschiede der Szenarien des Klimaschutzplans bei **konstanter sowie sinkender Last** sind geringfügig. Die Szenarien mit sinkender Last sind stets mit einem etwas höheren Netzausbaubedarf und demnach mit leicht höheren Netzausbaukosten versehen, weil die steigende dezentrale Erzeugung bei sinkender Verbraucherlast noch stärker die Leistungsbilanz der Verteilnetze dominiert.

(3) Aus Sicht von Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität ergeben sich aus den in den Klimaschutzpfaden angenommenen Entwicklungen keine unlösbaren technischen Herausforderungen. Allerdings müssen neue technische Lösungen in den Netzbetrieb integriert werden, wie z. B. die Nutzung zusätzlicher technischer Fähigkeiten von erneuerbaren Erzeugungsanlagen (Blindleistungssteuerung).

(4) Aus rein **technischer Sicht** ist die Integration hoher Leistungen aus erneuerbaren Energien damit möglich, einschließlich der 100 %-EE-Szenarien. Diese Einschätzung wird auch von den Netzbetreibern geteilt. Eine Herausforderung stellen vielmehr die wirtschaftlichen sowie genehmigungsrechtlichen Aspekte dar. So

²⁵ Der Netzausbau stellt im Vergleich etwa mit dem Einsatz von Speichern die günstigste Technologieoption zur Integration hoher Leistungen aus erneuerbaren Energien dar. Siehe dazu z. B. die Studie Roadmap Speicher: http://www.iaew.rwth-aachen.de/fileadmin/uploads/pdf/neuigkeiten/2014_Roadmap_Speicher_Kurzzusammenfassung_01.pdf (Abruf: 09.07.2014)

müssen für einen Netzausbau beispielsweise Genehmigungen erteilt werden, was viel Zeit in Anspruch nehmen kann. Auch die Herstellung gesellschaftlicher Akzeptanz als Voraussetzung für die Durchführung von Maßnahmen setzt einen entsprechenden verfahrenstechnischen Aufwand voraus.

(5) An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die angenommenen Entwicklungspfade sowohl der erneuerbaren Energien als auch der Kraftwerksleistung aus steuerbaren konventionellen Kraftwerken auf geeignete Rahmenbedingungen angewiesen sind, da der bestehende Ordnungsrahmen für sehr hohe Anteile der Erneuerbaren nicht geeignet ist.²⁶

(6) Die folgenden Abbildungen (Abbildung 39 und Abbildung 40) fassen die Ergebnisse einiger wichtiger Indikatoren im Kontext der Versorgungssicherheit für die Szenarien des Klimaschutzplans im Vergleich zum Basisszenario zusammen. Sie beziehen sich einerseits auf den Aufwand, der zur Aufrechterhaltung des heutigen hohen Niveaus der Versorgungssicherheit notwendig ist (Netzausbaukosten, Regelenergie). Andererseits zeigen sie, dass die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit unter Beibehaltung des aktuellen Qualitätsniveaus von Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität erreicht werden kann.

²⁶ Siehe zum Beispiel auch die Studie: „Integration der erneuerbaren Energien in den deutsch-europäischen Strommarkt“: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/Endbericht_Integration_EE.pdf (Abruf: 30.06.2014)

Abbildung 39: Ergebnisübersicht Netzausbau und Regelenergiebedarf (Kosten/Aufwand)

Impact Versorgungssicherheit /Netzkosten	Netzkosten (NK) gesamt		Regelenergiebedarf		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	o	o	o		
Szenario A1	o	o	o	o		
Szenario A2	-	-	-	-		
Szenario B	-	-	-	-		
Szenario B1	-	-	-	-		
Szenario B2	-	--	-	--		
Szenario BCCS	o	o	o	o		
Szenario C	-	-	-	-		
Szenario C1	o	o	o	o		
Szenario C2	-	--	-	--		

Legende:

- o = neutral, geringer Aufwand/Zusatzkosten,
- = negativ, mittlerer Aufwand/Zusatzkosten
- = deutlich negativ, großer Aufwand/Zusatzkosten

Abbildung 40: Ergebnisübersicht Netzzuverlässigkeit und Systemstabilität (Qualitätskenngrößen)

Impact Versorgungssicherheit /Systemstabilität	Netzzuverlässigkeit		Systemstabilität		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	o	o	o		
Szenario A1	o	o	o	o		
Szenario A2	o	o	o	o		
Szenario B	o	o	o	o		
Szenario B1	o	o	o	o		
Szenario B2	o	o	o	o		
Szenario BCCS	o	o	o	o		
Szenario C	o	o	o	o		
Szenario C1	o	o	o	o		
Szenario C2	o	o	o	o		

Legende:

- o = neutral, geringe Wirkung,
- = negativ, leichte bis mittlere Verschlechterung
- = deutlich negativ, große Verschlechterung

3.6.2 Vorschläge zur möglichen Minderung von Wirkungen

(1) Die Szenarien des Klimaschutzplanes bedeuten im Vergleich zur „Ohnehin-Entwicklung“ einen **zusätzlichen Aufwand** zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit im Hinblick auf die Netze der Stromversorgung:

- Für den Anschluss steigender installierter Leistungen aus EE-Anlagen und den Transport des erzeugten Stroms werden Investitionen in zusätzlichen Netzausbau benötigt.
- Die durch die höheren Anteile fluktuierender Einspeisung verursachten Änderungen der Leistungsflüsse in den Netzen müssen ausgeglichen werden und die Anforderungen des Betriebs an die Nutzung von Systemdienstleistungen steigen. Die Verfügbarkeit der Systemdienstleistungen ist durch entsprechenden Aufwand sicherzustellen.
- Durch die höhere Komplexität der Netze entsteht bei den Netzbetreibern ein steigender Aufwand für die Netzplanung, Wartung & Instandhaltung sowie Personal und Qualifikation.

(2) Dieser entstehende Zusatzaufwand kann mithilfe geeigneter **Maßnahmen** begrenzt werden. Dazu gehören etwa:

- Die Beseitigung von Hemmnissen bei der Einführung innovativer Technologien. Studien zu Netzausbaukosten zeigen, dass durch Einsatz von Technologien wie Freileitungsmonitoring, Hochtemperaturleiterseile, Spannungs-Weitbereichsregelung und regelbare Ortsnetzstationen die Netzausbaukosten minimiert werden können. Hier ist sicherzustellen, dass die Kostenreduktionen auch im Investitionsumfeld im Rahmen der Regulierung angemessen abgebildet werden.
- Die Marktbedingungen zum Beispiel für Regelenergie und die Regeln des Netzbetriebs können besser auf die Gegebenheiten der erneuerbaren Energien angepasst werden. So stellt die Bereitstellung von Blindleistung aus dezentralen EE-Anlagen wie auch die Leistungsreduktion bei Überproduktion eine Möglichkeit für diese Anlagen dar, netzstützend noch wirksamer zu sein. Leistungsbegrenzung kann auch als wirtschaftliche Maßnahme zur Optimierung der Kosten des Netzausbaus gegenüber dem Nutzen der Einspeisung von EE-Anlagen genutzt werden.
- Auch die mögliche Beteiligung von Speichern und Lastmanagement kann bei der Weiterentwicklung der Systemdienstleistungsmärkte noch mehr berücksichtigt werden, so dass bestehende Hemmnisse identifiziert und abgebaut werden können.

Nicht zuletzt entsteht bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Stärkung des Netzbetriebs (insbesondere bei neuen Stromtrassen) ein Bedarf an **öffentlicher Diskussion und Beteiligung**. Hier gilt

es, die Nachweismöglichkeiten für den Bedarf transparenter zu machen und um Akzeptanz für die Notwendigkeit von Maßnahmen zu werben.

4 Importabhängigkeit

Bereits heute sind Deutschland und NRW in hohem Maße auf den **Import** von Öl, Steinkohle und Erdgas angewiesen. Braunkohle und der größte Teil der erneuerbaren Energieträger wird nahezu vollständig inländisch gewonnen und verbraucht. Für Strom bildet NRW derzeit eine Exportregion, auch Deutschland insgesamt ist Nettostromexporteur. Die installierte Kraftwerksleistung reicht heute aus, die maximale jährliche Stromnachfrage (Maximallast) zu decken. Langfristig ist davon auszugehen, dass sich die Importquoten für fossile Primärenergieträger weiter erhöhen, da die inländische Förderung stark zurückgeht (Erdgas und Öl) bzw. eingestellt wird (Steinkohle). Unklar ist die zukünftige Situation der Biomasse und Braunkohle in Deutschland. Auch die Stromerzeugungsbilanz ist Veränderungen unterworfen.

4.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die Untersuchungen in diesem Kapitel verfolgen das **Ziel**, die Entwicklung der **Importabhängigkeit** Nordrhein-Westfalens in den Bereichen Strom und Primärenergie für die einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans aufzuzeigen und mit der Entwicklung der Basisszenarien sowie der Ausgangslage zu vergleichen. Dabei verfolgen wir diese **Vorgehensweise**:

- Im ersten Schritt stellen wir die **heutige Versorgungssituation** mit Fokus auf der Importabhängigkeit dar. Dabei legen wir die Energiebilanz des Landes NRW aus dem Jahr 2010 zu Grunde.
- Im zweiten Schritt verwenden wir die **Entwicklung des Primärenergieeinsatzes** im Basisszenario und in den Szenarien des Klimaschutzprozesses. Da detaillierte Berechnungen des Primärenergieverbrauchs in der Abgrenzung der Energiebilanz nicht vorliegen, wird dieser lediglich angenähert.
- Im nächsten Schritt stellen wir die **künftigen Importquoten** der einzelnen Energieträger dar.
- Auf dieser Basis ermitteln wir die **Importe fossiler Energieträger** und die Entwicklung des **Stromimportsaldos**.
- Anschließend stellen wir gesamthaft dar, wie sich die Importquote für NRW über alle Energieträger entwickelt und ziehen ein Fazit.

4.2 Heutige Versorgungslage

(1) Unter den deutschen Bundesländern ist Nordrhein-Westfalen vergleichsweise rohstoffreich, verfügt aber insgesamt dennoch nur über eine eingeschränkte eigene Rohstoffbasis. Signifikante **Vorräte an fossilen Energieträgern** liegen für Braunkohle und Steinkohle vor. Potenziale erneuerbarer Energien bestehen vor allem im Bereich Windenergie und Photovoltaik.

(2) Die **Importquote** kann nach **zwei unterschiedlichen Methoden** ermittelt werden:

- Einerseits als häufig für die Betrachtung der deutschen Importquote verwendeter Quotient aus **Importsaldo und Primärenergieverbrauch**. Nach dieser Methode lag die Importquote in NRW im Jahr 2010 bei **66,8 %** (vgl. Tabelle 31 auf der folgenden Seite). Diese Betrachtung wird aber durch Bestandsentnahmen aus Speichern in einzelnen Jahren verzerrt, was besonders bei Erdgas im Jahr 2010 zu einem falschen Bild führt. So betrug beim Gas die Quote „Nettoimporte zu Primärenergieverbrauch“ im Jahr 2010 in NRW 92,3 %, was den Eindruck erweckt, als könne NRW sich noch zu nahezu 8 % (100 % - 92,3 %) aus eigener Gasproduktion versorgen. Tatsächlich verfügt NRW nicht über eine eigene Erdgasförderung, sondern gewann im Jahr 2010 nur noch ca. 410 Mio. m³ (6,6 PJ) Grubengas. Dies entsprach 0,8 % des Primärenergieverbrauchs der Gase. Langfristig ist aber von einer ausgeglichenen Bilanz der Speicher auszugehen, wodurch der angesprochene Effekt verschwindet.
- Die zweite Methode, die für die hier behandelte Fragestellung zielführender ist und in den folgenden Betrachtungen verwendet wird (vgl. hierzu Tabelle 33 in Kapitel 4.4), stellt von vornherein auf die **inländische Gewinnung von Primärenergieträgern** ab und nähert hierüber die Importe ohne Berücksichtigung von Speicherstandsveränderungen an. Die Importquote bildet sich somit nach der Formel

Verbrauch abzüglich inländische Gewinnung dividiert durch den Verbrauch.

Die so ermittelte Importquote für NRW betrug im Jahr 2010 für Gas 99,2 % und insgesamt **68,2 %**.

Nordrhein-Westfalen importierte im Jahr 2010 somit gut zwei Drittel seines Energiebedarfs und lag damit leicht unter der Importquote von Deutschland, das im gleichen Jahr rd. 71 % seines Primärenergiebedarfs importierte. Die Importquoten der einzelnen Energieträger für Deutschland und NRW als Quotient aus Importsaldo und Primärenergieverbrauch zeigt die folgende Tabelle 31.

Tabelle 31: Primärenergiebedarf und Importabhängigkeit in Deutschland und NRW (2010)

Deutschland - Energieangaben in PJ	Primärenergieverbrauch (PEV)	Nettoimporte*	Gewinnung im Inland	Nettoimporte / PEV
Steinkohle	1.714	1.321	387	77,0%
Braunkohle	1.512	-25	1.535	-1,6%
Mineralöle	4.684	4.695	107	100,2%
Gase	3.181	2.587	462	81,3%
Wasser, Wind, Solar	254	0	254	0,0%
Biomasse	1.121	-8	1.129	-0,7%
Übrige erneuerbare Energieträger	39	0	39	0,0%
Sonstige Energieträger*	244	0	244	0,0%
Elektrischer Strom und andere Energieträger**	1.469	1.469	0	100,0%
Summe	14.217	10.039	4.155	70,6%

Nordrhein-Westfalen - Energieangaben in PJ	Primärenergieverbrauch (PEV)	Nettoimporte*	Gewinnung in NRW	Nettoimporte / PEV
Steinkohle	917	544	349	59,4%
Braunkohle	764	-48	812	-6,3%
Mineralöle	1.775	1.795	0	101,1%
Gase	860	794	7	92,3%
Wasser, Wind, Solar	22	0	22	0,0%
Biomasse	150	13	138	8,7%
Übrige erneuerbare Energieträger	11	0	11	0,0%
Sonstige Energieträger*	0	0	0	
Elektrischer Strom und andere Energieträger**	-87	-150	64	173,8%
Summe	4.412	2.947	1.403	66,8%

Quelle: Energiebilanzen 2010.

* Negative Werte entsprechen Nettoexporten

** In Deutschland überwiegend Kernbrennstoffe, in NRW überwiegend elektrischer Strom.

(3) Im Hinblick auf die einzelnen **Energieträger** zeigt sich folgendes Bild:

- Bei der **Steinkohle** versorgte sich NRW im Jahr 2010 noch zu knapp 41 % aus eigenen Ressourcen.
- **Braunkohle** wurde als einziger fossiler Energieträger zu 100 % im Inland gewonnen. Ein internationaler Handel mit Braunkohle lohnt sich wegen des – bezogen auf den Energiegehalt – spezifisch hohen Gewichts in der Regel nicht.
- **Mineralöl** und **Gase** wurden nahezu vollständig importiert.
- Die **erneuerbaren Energieträger** Wind, Wasser, PV kommen definitionsgemäß zu 100 % aus dem jeweiligen Inland. Strom aus Offshore Windenergie ist hingegen aus nordrhein-westfälischer Sicht bilanziell ein Stromimport. Bei der Biomasse besteht aufgrund der Handelbarkeit des Brennstoffs (z. B. in Form von Pellets) ein Importanteil von rd. 9 %.
- In der Tabellenzeile „Elektrischer Strom und andere Energieträger“ sind in Deutschland u. a. die **Kernbrennstoffe** subsumiert, die zu 100 % importiert werden, aber auch die Importe und Exporte von Strom. Für das kernenergiefreie NRW

ergibt sich in dieser Position ein negativer Primärenergiebedarf, was nichts anderes bedeutet, als dass NRW im Jahr 2010 mehr **Strom** exportierte als importierte.

4.3 Weltweite Verfügbarkeit von Primärenergieträgern

(1) Das nachfolgende Kapitel nimmt eine Bewertung der Primärenergieträger **Steinkohle**, **Erdgas** und **Erdöl** vor. Dabei steht die Frage der langfristigen Verfügbarkeit im Mittelpunkt.

Braunkohle ist nicht Gegenstand des Vergleichs, da wir davon ausgehen, dass die Reichweite der nordrhein-westfälischen Braunkohle im Rahmen der Betriebspläne abgesichert ist.

Biomasse ist als regenerativer Energieträger per Definition nicht endlich, eine Bewertung der Reichweite deshalb nicht sinnvoll. Deutlichen Beschränkungen unterliegt die Biomasse jedoch in der regionalen Verfügbarkeit, die sich aus dem Potenzial der Anbauflächen und der konkurrierenden Nutzung für Nahrungsmittel, Biokraftstoffe, Holzprodukte etc. ergibt. Wir gehen davon aus, dass sich die Szenarien des Klimaschutzplans auf Verfügbarkeitsstudien zur Biomasse stützen. Insofern kann diese als gegeben angenommen werden und wird hier nicht untersucht.

(2) Für die Bewertung werden ausschließlich öffentlich zugängliche **Quellen** renommierter Institutionen verwendet. Es wird aufgezeigt, welche Versorgungs- und Preisrisiken die Verfügbarkeit der betrachteten Primärenergieträger im Zeitraum bis zum Jahr 2050 beeinträchtigen können.

(3) Die Beurteilung der **Versorgungssicherheit** muss die langfristige Verfügbarkeit der Primärenergieträger genauso berücksichtigen wie die Planbarkeit ihrer Preise. Für die Versorgungssicherheit gibt es kein absolutes Maß. Deshalb werden Indikatoren untersucht, die Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen der Versorgungssicherheit zulassen. **Indikatoren** hierfür sind:

- Die **Reichweite** der Primärenergieträger, die aus den bekannten Vorräten und dem Verbrauch bestimmt wird,
- die **Importabhängigkeit** Deutschlands von den einzelnen Energieträgern sowie
- die **weltweite Verteilung der Reserven** und die **Wettbewerbssituation auf der Anbieterseite** unter Berücksichtigung der Stabilität der Handelsbeziehungen zu den Haupt-Lieferländern und der politischen Risiken.

Darauf aufbauend wird aus diesen Indikatoren die **Brennstoffverfügbarkeit** zu planbaren Preisen bewertet.

4.3.1 Reichweiten der Primärenergieträger

(1) Angesichts eines weltweit steigenden Primärenergieverbrauchs und der weiterhin wichtigen Rolle der fossilen Energieträger ist im Rahmen der Impactanalyse, deren **Zeithorizont** bis zum Jahr 2050 reicht, zu hinterfragen, ob die eingesetzten Energierohstoffe auch langfristig in ausreichender Menge verfügbar sein werden.

(2) Ausgangspunkt einer Darstellung der **Verfügbarkeit** der Energieträger ist die Abgrenzung zwischen den Begriffen Reserven und Ressourcen (vgl. Abbildung 41). Die **Ressourcen** umfassen in der Regel ein wesentlich höheres Potenzial, da hier zukünftig wirtschaftlich gewinnbare und heute noch nicht identifizierte Vorräte mit erfasst werden. Es werden Erfolge bei der Neufindung unterstellt und eine verbesserte Technik zur kostengünstigeren Gewinnung dieser Vorräte.

Abbildung 41: Begriffsbestimmung Reserven und Ressourcen

		Identifizierte Vorräte		Nicht identifizierte Vorräte	
		sicher	wahrscheinlich	bekannte Gebiete	unbekannte Gebiete
Möglichkeit der technisch-wirtschaftlichen Nutzung	derzeit wirtschaftlich gewinnbar	Reserven			
	wirtschaftlich gewinnbar zu zukünftigen Preisen		Ressourcen		
		Ungewissheitsgrad bezüglich der Lagerstätte			

Quelle: Prognos AG 2013

(3) Die **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe** (BGR) beziffert die weltweite Förderung, Reserven und Ressourcen an nicht erneuerbaren Energierohstoffen wie in der folgenden Tabelle 32 dargestellt. Das ebenfalls ausgewiesene „Verbleibende Potenzial“ stellt die Summe aus Reserven und Ressourcen dar.

(4) In der Regel wird die langfristige Verfügbarkeit von fossilen Energierohstoffen anhand ihrer **statischen Reichweite** diskutiert. Sie setzt die Reserven und/ oder Ressourcen ins Verhältnis zum Jahresverbrauch und bemisst die Vorräte somit in Vielfachen des Jahresverbrauches (vgl. Abbildung 42).

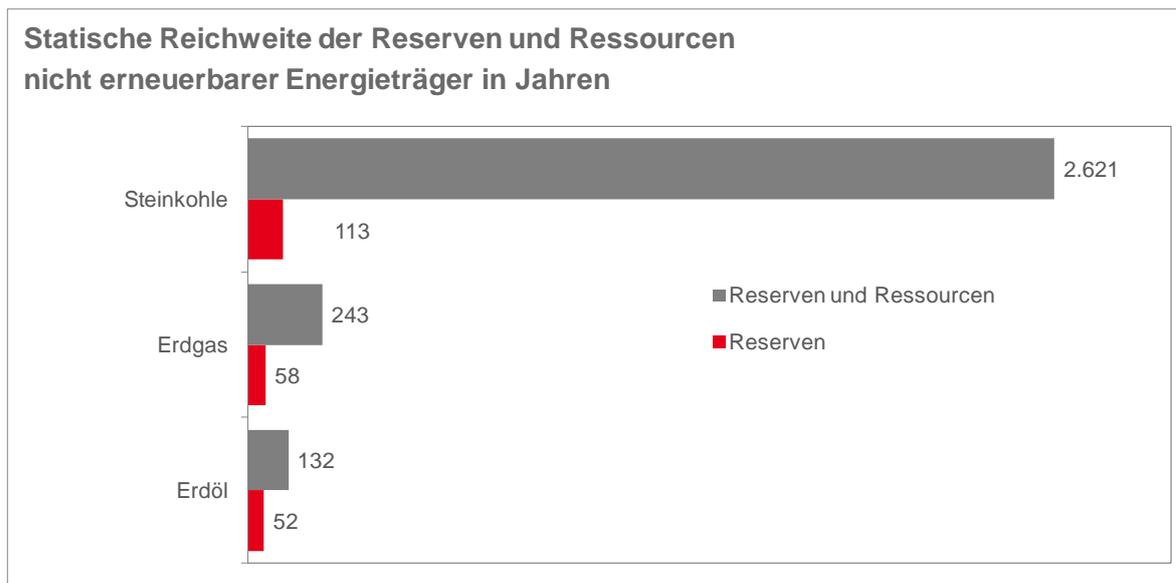
Tabelle 32: Weltweiter Verbrauch, Reserven und Ressourcen nicht erneuerbarer Energieträger

	Energie- einheit	Förderung 2012	Reserven 2012	Ressourcen 2012	Verbleibendes Potenzial 2012
In physischen Einheiten					
Steinkohle	Gt	6,84	769,0	17.143,5	17.912,5
Braunkohle	Gt	1,11	283,1	4.164,7	4.447,9
... davon Braunkohle in Deutschland	Gt	0,19	40,4	36,5	76,9
Erdgas	Bill. m ³	3,39	196,2	628,8	825,0
Uran	Mt	0,06	2,2	13,0	15,2
Einheitlich in Gt SKE					
Steinkohle	Gt SKE	4,8	616	13.178	13.794
Braunkohle	Gt SKE	0,3	106	1.678	1.784
... davon Braunkohle in Deutschland	Gt SKE	0,05	15,1	14,7	29,8
Erdgas	Gt SKE	4,4	280,1	898,0	1.178
Uran	Gt SKE	1,2	43	260	304
Summe	Gt SKE	10,7	1.061	16.029	17.090

Erdgas ohne Aquifergas und Gashydrate

Quelle: Prognos AG 2013, BGR 2013²⁷

Abbildung 42: Statische Reichweiten der Reserven und Ressourcen nicht-erneuerbarer Energieträger (Welt)



Quelle: BGR 2013

(5) Die Erschließung **nicht-konventioneller Ressourcen** verändert das Bild über die Höhe der fossilen Reserven und Ressourcen. Als nicht-konventionell oder „unkonventionell“ werden nach Definition der BGR Kohlenwasserstoffe bezeichnet, die mit herkömmlichen Fördermethoden nicht genutzt werden können. Meist

²⁷ BGR 2013: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2013“, Hannover 2013; http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [abgerufen am 20.12.2013]

befinden sich diese in tieferen Gesteinsschichten und sind nicht oder kaum fließfähig. Die Übergänge zwischen konventionellen und unkonventionellen Vorkommen sind fließend, aufgrund von Abgrenzungsschwierigkeiten fehlt bisher eine einheitliche Definition. Bei **Erdöl** zählen laut BGR Schwerstöl, Bitumen und Schieferöl zu den nicht-konventionellen Ressourcen. Bei nicht-konventionellem **Erdgas** handelt es sich um Tight Gas, Schiefergas, Kohleflözgas, Aquifergas und Gashydrate (vgl. Abbildung 43).

Abbildung 43: Abgrenzung zwischen konventionellen und nicht-konventionellen Vorkommen

	Erdöl	Erdgas	Kohle
konventionell	Leichtöl	Freies Erdgas	Hartkohle
	Schweröl	Erdölgas	Weichbraunkohle
	Kondensat		
unkonventionell	Schwerstöl	Tight Gas	
	Bitumen (Ölsand)	Schiefergas	
	Schieferöl (Ölschiefer)	Kohleflözgas	
		Aquifergas	
		Gashydrat	

Quelle: Prognos AG nach BGR

(6) Insbesondere in den USA wurde durch die Exploration von **nicht-konventionellem Erdgas** in den letzten Jahren ein Gasboom ausgelöst. Die Produktion nicht-konventioneller Gase betrug im Jahr 2010 weltweit rund 484 Mrd. m³, davon wurden etwa 420 Mrd. m³ in den USA produziert²⁸. Aber auch die Ölförderung in den USA konnte jüngst stark gesteigert werden, was im Wesentlichen auf die Ausbeutung unkonventioneller Vorkommen zurückzuführen ist.²⁹ Die Gewinnung der nicht-konventionellen Gase erfolgt meist durch sogenanntes „**Fracking**“, bei dem die undurchlässigen Gesteinsschichten durch Druckstöße aufgebrochen werden. Es sind dazu große Wassermengen notwendig, die zum Aufsprengen der tiefen Gesteinsschichten mit einer Chemikalien-Mischung versetzt werden. Hiermit sind Umweltrisiken und möglicherweise -kosten verbunden. Die IEA schätzt in ihrem aktuellen „World

²⁸ Vgl. International Energy Agency: „World Energy Outlook 2011“, International Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 2011

²⁹ Vgl. BP Statistical Review of World Energy June 2014

Energy Outlook³⁰ die weltweiten nicht-konventionellen Gas-Ressourcen für Ende 2012 auf 343 Billionen m³, dabei entfallen 19 Billionen m³ auf OECD Europa. Für Deutschland ermittelte die BGR Potenziale in Höhe von 1,3 Billionen m³.³¹

(7) In großen Teilen **Europas** ist eine Exploration nicht-konventioneller Ressourcen aufgrund der bisher unerforschten Risiken des Frackings für das Grundwasser und des womöglich erhöhten Methanausstoßes momentan nicht zu erwarten. Zudem liegen die Förderkosten aufgrund der Lage in dichter besiedelten Gebieten mit höheren Umweltauflagen vermutlich über denen in den USA sowie über denen von verflüssigtem Erdgas (LNG), das auf dem Weltmarkt derzeit in ausreichender Menge verfügbar ist.

In **Deutschland** wurde ein erster Gesetzesentwurf zum **Fracking** im Juni 2013 **abgelehnt**, auch der Koalitionsvertrag in NRW sieht Fracking nicht vor, bis die nötigen Datengrundlagen zur Bewertung vorhanden sind und zweifelsfrei geklärt ist, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nicht zu befürchten ist. Eine Auswirkung auf Deutschland durch die Förderung nicht-konventioneller Gase wird sich somit hauptsächlich durch eine tendenziell „entspanntere“ Versorgungssituation auf dem Weltmarkt ergeben, da die USA mittelfristig von einem Nettoimporteur zu einem Gasexporteur werden könnten.

(8) Für die **Reserven** von Steinkohle, Erdgas und Erdöl gilt, dass ihre **statischen Reichweiten bis zum Jahr 2050** als **ausreichend** eingeschätzt werden. Gleichwohl ist diese Feststellung von begrenzter **Aussagekraft**. Die Gründe hierfür sind:

- Die statische Reichweite berücksichtigt keine künftigen **Verbrauchsentwicklungen**. Eine **dynamische Reichweite**, die Veränderungen des Verbrauchs berücksichtigt, ist auf unsichere Verbrauchsprognosen angewiesen.
- Durch kontinuierliche **technische Entwicklungen**, sich ändernde **Marktpreise**, **Explorationserfolge** oder die **Neubewertung bekannter Vorkommen** aufgrund verbesserter geophysikalischer Verfahren kommt es immer wieder zu einer Anpassung des Wertes für die Reserven. Hierdurch kann sich die statische Reichweite verlängern oder verkürzen.
- Die Reichweite suggeriert das Bild, dass die Vorräte mit quasi beliebiger **Förderrate** (Fördermenge pro Zeit) geför-

³⁰ International Energy Agency: „World Energy Outlook 2013“, International Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 2013

³¹ Vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland, Hannover 2012; http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/BGR_Schiefergaspotenzial_in_Deutschland_2012.pdf;jsessionid=D8932EC72D6D08C53397660E00E4269B.1_cid334?_blob=publicationFile&v=7 [abgerufen an 27.12.2013]

dert und genutzt werden können und abrupt zu Ende gehen. Tatsächlich sinkt jedoch die Förderrate insbesondere bei Öl und Gas aus geophysikalischen Gründen (z. B. sinkender Lagerstättendruck) mit zunehmender Nutzbarmachung. Die Verknappung setzt daher weit vor Ende der theoretischen Reichweite ein.

(9) Das Gros der Referenzprognosen renommierter Institute erwartet eine **Zunahme des weltweiten Energieverbrauchs**. Deshalb wird trotz der bestehenden Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Verbrauchsentwicklung zusätzlich die **dynamische Reichweite** betrachtet. Eine solche Betrachtung zeigt:

- Die größten Reserven an fossilen Primärenergieträgern bestehen aus **Kohle**. Mit Blick auf die Energie-Ressourcen spielt Kohle sogar eine noch wichtigere Rolle. Hier stellen Braunkohle und Steinkohle zusammen mehr als drei Viertel aller fossilen Energieträger. Die weltweiten **Steinkohlere-serven** reichen auch **ohne weitere Explorationserfolge** bei steigendem Energiebedarf weit über das Jahr 2050 hinaus bis ins nächste Jahrhundert. Aus Sicht der vorhandenen Reserven bestehen somit keine Versorgungsrisiken.
- Bis zum Jahr **2050** sind auch die globalen **Erdgas**-Reserven **ausreichend**. Die statische Reichweite (Abbildung 42) betrug Ende des Jahres 2012 58 Jahre. Für den globalen jährlichen Erdgasverbrauch wird bis zum Jahr 2050 – je nach Szenario – gegenüber 2012 eine Zunahme um bis zu 56 % (Baseline Szenario) bzw. ein Rückgang von rund 26 % (BLUE Map Szenario, Halbierung der energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2050) erwartet³². Neben der deutlich zunehmenden Erdgasnachfrage im Elektrizitätsbereich wird langfristig auch im Transportsektor ein Wachstum der Nachfrage erwartet. Es ist möglich und geplant, aus Erdgas einen Flüssigkraftstoff herzustellen und mit diesem einen Teil der klassischen Mineralölprodukte zu ersetzen (Gas-To-Liquid/GTL).

Aufgrund des steigenden Bedarfs ist von einer **zunehmenden Nutzung nicht-konventioneller Erdgas-Vorkommen** auszugehen. Für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 ist zu erwarten, dass die Erdgasreserven durch den technischen Fortschritt und weitere Explorationserfolge aufgefüllt werden können und eine ausreichende Versorgung sichergestellt werden kann. Allerdings können Verzögerungen beim Ausbau der Förderung dazu führen, dass vor dem Hintergrund

³² Vgl. International Energy Agency: „Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050“, International Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 2010.

eines weiteren Verbrauchszuwachses zeitweise Verknappungen und hierdurch ausgelöste **Preisanstiege** auftreten.

- Auch die Verfügbarkeit von **Öl** ist bis zum Jahr 2050 und darüber hinaus als gegeben anzunehmen. Unter den drei hier untersuchten Energieträgern ist die statische Reichweite mit ca. 52 Jahren (Abbildung 42) zwar am niedrigsten, liegt aber in der gleichen Größenordnung wie beim Gas. Hier hat sich in den letzten Jahren durch den anhaltend hohen Ölpreis eine Neubewertung ergeben, da – wie dargestellt – ein Teil der unkonventionellen Ressourcen nunmehr wirtschaftlich gefördert werden kann. Allerdings steht die weltweite Ölförderung vor der Herausforderung, den Rückgang der konventionellen Förderung aufzufangen.

(10) **Zusammenfassend** lässt sich aus den **Reichweiten** der Primärenergieträger bis zum Jahr 2050 folgendes ableiten:

- Bei **Steinkohle** ergeben sich auch bei steigendem Bedarf bis zum Jahr 2050 wegen ausreichender globaler Reserven aus geologischer Sicht keine Versorgungsrisiken.
- Für **Erdgas** ist die Situation differenziert zu betrachten: Kurzfristig ist die Versorgungssituation durch die steigende Förderung der USA als entspannt anzusehen. Wegen einer wahrscheinlich steigenden Nachfrage bei geringerer Reichweite im Vergleich zu Kohle sind die Preisrisiken höher.
- Für **Erdöl** hat sich die Versorgungslage in den letzten Jahren auf hohem Preisniveau entspannt. Neue Fördertechnik macht Ressourcen erschließbar, die bisher unwirtschaftlich waren. Gleichwohl bestehen beim Öl die größten Risiken für weitere mittelfristige Preisanstiege bzw. Preisschwankungen.

4.3.2 Regionale Verteilung der Reserven und Anbieterstruktur am Weltmarkt

(1) Auch wenn die Reichweite der Primärenergieträger bis über das Jahr 2050 hinausreicht, ist nicht sicher, ob Deutschland und NRW dauerhaft **Zugang** zu diesen Rohstoffen haben werden. Vor dem Hintergrund der hohen Importabhängigkeit bezüglich Steinkohle, Erdgas und Öl sind deshalb die globale Verteilung der Reserven und die heutige und zukünftige Anbieterstruktur auf dem Weltmarkt von besonderer Bedeutung für eine sichere und kostengünstige Versorgung. Die deutsche und europäische **Politik und Wirtschaft** sind bemüht, mit den jeweils ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln den Zugang zu den Energiereserven kurzfristig und langfristig zu sichern. Allerdings sind die Voraussetzungen bei den betrachteten Primärenergieträgern durchaus unterschiedlich.

(2) Kurzfristige Verknappungen können unterschiedliche Ursa-

chen haben – wie politische Unruhen, Unwetter oder das Ausnutzen von Monopolstellungen (Preisabsprachen, Produktionskontrolle). Das **Verknappungsrisiko** nimmt im Allgemeinen zu, wenn

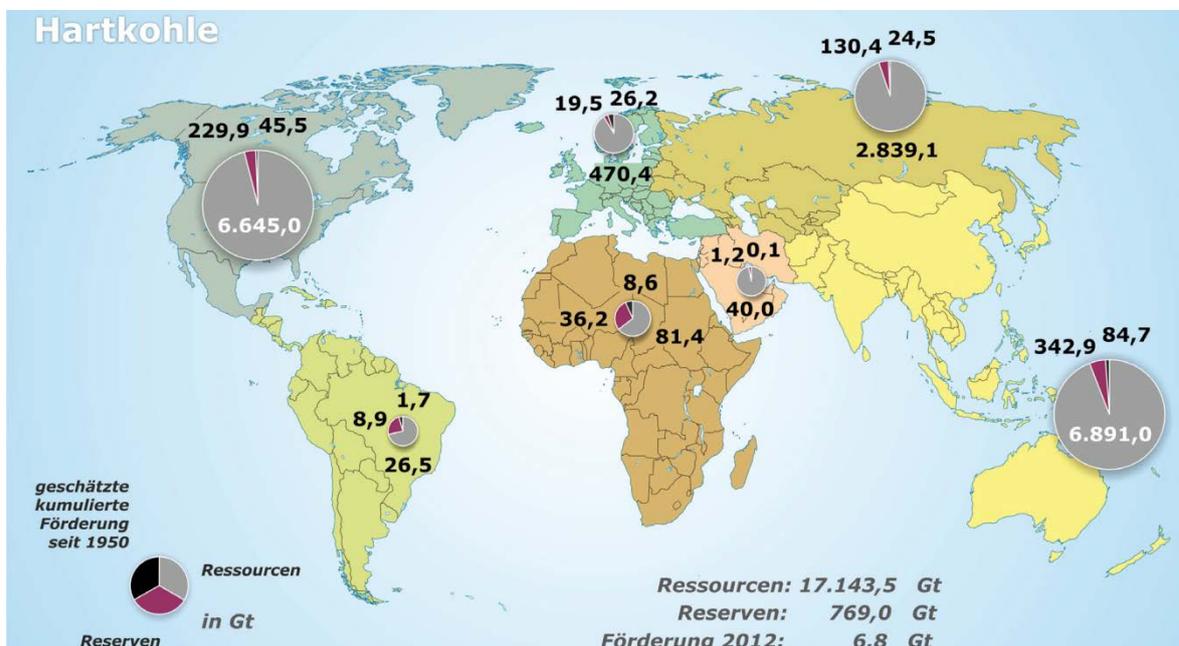
- ein Energieträger von nur wenigen Akteuren am Markt angeboten wird (**Oligopol**), vor allem, wenn die Rohstoffreserven regional stark konzentriert sind oder von **Kartellen** kontrolliert werden,
- die wichtigsten Lieferländer keiner internationalen **Handelsorganisation** wie der WTO angehören und nicht deren Regelwerke für sich akzeptieren,
- diese Länder potenzielle Herde **politischer Unruhen** sind, z. B. aufgrund von ethnischen oder religiösen Spannungen.

Die Energieträger **Steinkohle, Erdgas und Erdöl** werden deshalb anhand dieser Kriterien einer **Prüfung** unterzogen.

Steinkohle

(3) Die folgende Abbildung 44 zeigt die regionale Verteilung der weltweiten **Steinkohlereserven und -ressourcen**. Zur Einordnung des Verbrauchs sind die kumulierte Förderung seit 1950 sowie die globale Steinkohlenförderung im Jahr 2012 ausgewiesen.

Abbildung 44: Steinkohleförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen im Jahr 2012



Quelle: BGR 2013 a.a.O.

(4) Für den **Steinkohlemarkt** wird auch für die Zukunft ein **kontinuierliches Wachstum** erwartet. Mit rund 1,08 Gt wurden im Jahr 2012 rund 85 % der international gehandelten Steinkohle auf dem Seeweg transportiert. In Deutschland dominierten die **Steinkohleeinfuhren** aus **Russland** (30 %), **Kolumbien** (25 %) und

den **USA** (20 %). Anteile von weniger als 10 % steuerten Polen, Südafrika und weitere Länder bei. Die Importe aus den USA nahmen in den letzten Jahren deutlich zu. Auch für die nächsten Jahre ist von einer guten Versorgung des Weltmarktes auszugehen.

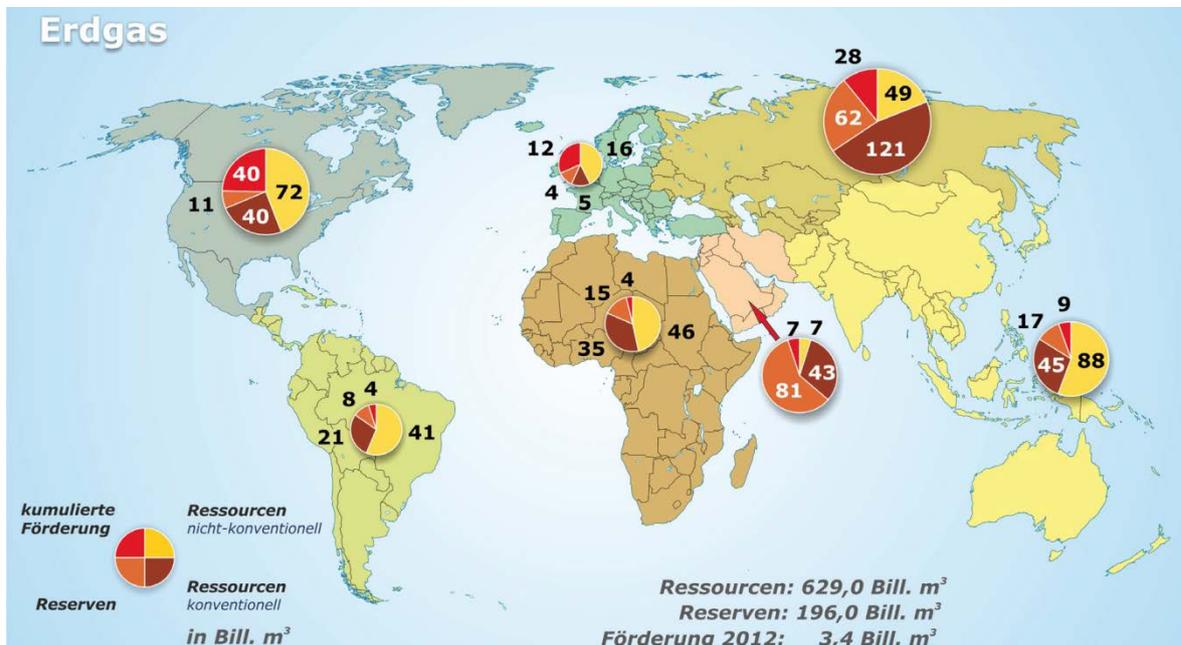
(5) Auch wenn sich auf dem Weltmarkt für Steinkohle leichte Konzentrationstendenzen abzeichnen, so kann der Ausfall eines Lieferlandes kurz- bis mittelfristig durch die anderen verfügbaren Anbieter ausgeglichen werden. Eine **Kartellbildung** kann bisher nicht beobachtet werden. Deshalb ist auch zukünftig von einer ausreichenden Anbieterzahl und damit zusammenhängend einem **weltweiten Preiswettbewerb** auszugehen. Für Steinkohle sind gegenwärtig **keine Verknappungen** und nur geringe politisch bedingte Risiken zu erkennen. Zu beachten sind allerdings die zukünftigen Auflagen, die sich aus dem globalen **Klimaschutz** ergeben. Eine stärkere Internalisierung der externen Kosten für den Kohlendioxidausstoß (CO₂-Zertifikate) oder die Verpflichtung zur CO₂-Abscheidung bergen **Preisrisiken** für die Steinkohle.³³

Erdgas

(6) Die regionale Verteilung der weltweiten **Erdgasreserven** und -ressourcen ist der folgenden Abbildung 45 zu entnehmen. Als zusätzliche Information sind wiederum die kumulierte Förderung (gesamt) sowie die globale Förderung im Jahr 2012 mit dargestellt.

³³ Die Prognos AG geht davon aus, dass sich das Klimaschutzregime vorwiegend auf die Stromerzeugung konzentrieren wird. CO₂-Zertifikate oder die CO₂-Abscheidung erhöhen in der Stromerzeugung dann sowohl die Kosten der Kohle- als auch der Erdgasverstromung. Da die auf den Energieinhalt bezogenen CO₂-Emissionen bei der Kohle höher sind als bei Erdgas, wird sie im Verhältnis stärker von diesen zusätzlichen Kosten belastet als Erdgas. Erneuerbare Energieträger und die Kernenergie werden CO₂-neutral bewertet, das heißt, dass diese Kosten für diese Energieträger nicht anfallen.

Abbildung 45: Erdgasförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen (ohne Aquifergas und Gashydrat) im Jahr 2012

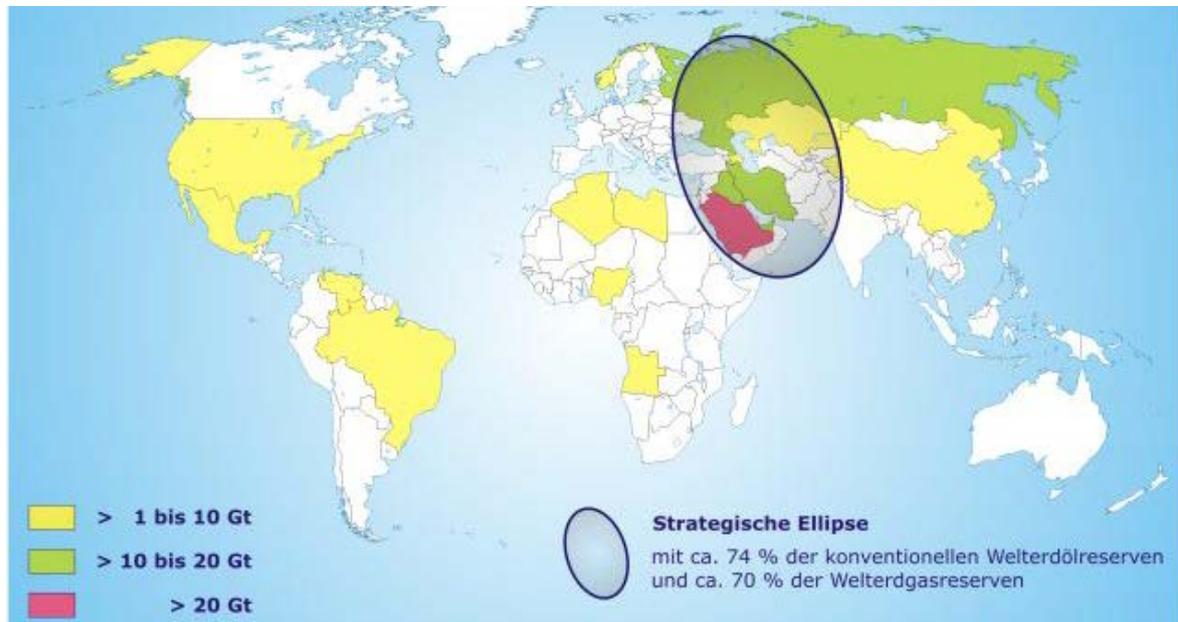


Quelle: BGR 2013

(7) Trotz einer noch für Jahrzehnte ausreichenden geologischen Verfügbarkeit von **Erdgas** besteht nach wie vor eine größere **Abhängigkeit** von einer **geringen Zahl an Lieferländern**. Wenngleich sich die heute nicht wirtschaftlich erschließbaren nicht-konventionellen Erdgasressourcen weiträumig verteilen, befinden sich nach wie vor mehr als 50 % der weltweit verfügbaren Erdgasreserven in Russland, Iran und Katar. Rund 70 % aller Erdgasreserven liegen zudem in der so genannten „strategischen Ellipse“ (vgl. Abbildung 46).³⁴

³⁴ Die „strategische Ellipse“ ist ein geostrategischer Begriff für das Gebiet mit den größten weltweiten Reserven an Erdöl und Erdgas. Sie erstreckt sich vom Nahen Osten über Zentralasien bis nach Nordsibirien.

Abbildung 46: Abhängigkeit von Erdgas- und Erdöllieferländern in der „strategischen Ellipse“



Quelle: BGR 2011³⁵

(8) Im Jahr **2012** wurden mit 1,03 Bill. m³ rund 30 % des weltweit geförderten Erdgases grenzüberschreitend gehandelt (ohne Transithandel), der Rest wurde in den jeweiligen Förderländern verbraucht. Von diesen Erdgasexporten stammten 18,1 % aus Russland, dem mit deutlichem Abstand vor Katar (12,1 %) und Norwegen (10,6 %) größten Erdgasexporteur.

Die **größten Förderländer** von Erdgas sind seit dem Jahr 2008 im **Forum Gas Exportierender Länder** (Gas Exporting Countries Forum, GECF) zusammengeschlossen. Dem Forum gehören 13 Länder an, vier weitere, darunter Norwegen, haben den Beobachterstatus. Diese Regierungs-Organisation verfolgt gemäß eigener Aussage das Ziel, die souveränen Rechte der Mitgliedstaaten zu unterstützen, Interessen zu bündeln sowie Informationen auszutauschen.³⁶ Preisabsprachen oder die Festlegung von Fördermengen gehören bisher nicht zu den Aufgaben dieses Forums.

(9) Deutschland **importierte** im Jahr 2012 ca. 87 % seines benötigten Erdgases und war damit nach Japan die zweitgrößte Importnation. Der deutsche Erdgasbedarf wurde vor allem durch Lieferungen aus **Russland** (39 %), **Norwegen** (35 %) und den **Nie-**

³⁵ BGR 2011: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Abbildung zu Erdgas- und Erdölreserven in der „strategischen Ellipse“, Hannover 2011; <http://www.bgr.bund.de> [abgerufen im März 2011, heute nicht mehr online verfügbar]

³⁶ www.gecf.org eingesehen am 27.6.2014

derlanden (23 %) gedeckt. Innerhalb dieser Ländergruppe kann Russland als die politisch instabilste Region angesehen werden, insbesondere wegen des Transits durch Drittstaaten.

Da die **europäischen Erdgasreserven an ihre Grenzen stoßen** und die größten verbleibenden Fördergebiete im Nahen Osten und den Staaten der ehemaligen Sowjetunion liegen, verlagert sich die Erdgasförderung in einem immer größeren Maße in **politisch instabile Regionen**.

(10) **Nachfrageseitig** ist mit **zunehmender Konkurrenz** zu rechnen, weil Erdgas für viele Länder ein wichtiger Rohstoff ist und dieser als LNG (Liquefied Natural Gas) noch flexibler gehandelt und eingesetzt werden kann. Hinzu kommt eine steigende Nachfrage aus dem Transportsektor, wo Erdgas in Form von GTL (Gas-to-Liquids – Flüssigtreibstoffe aus Erdgas) Anwendung finden könnte.

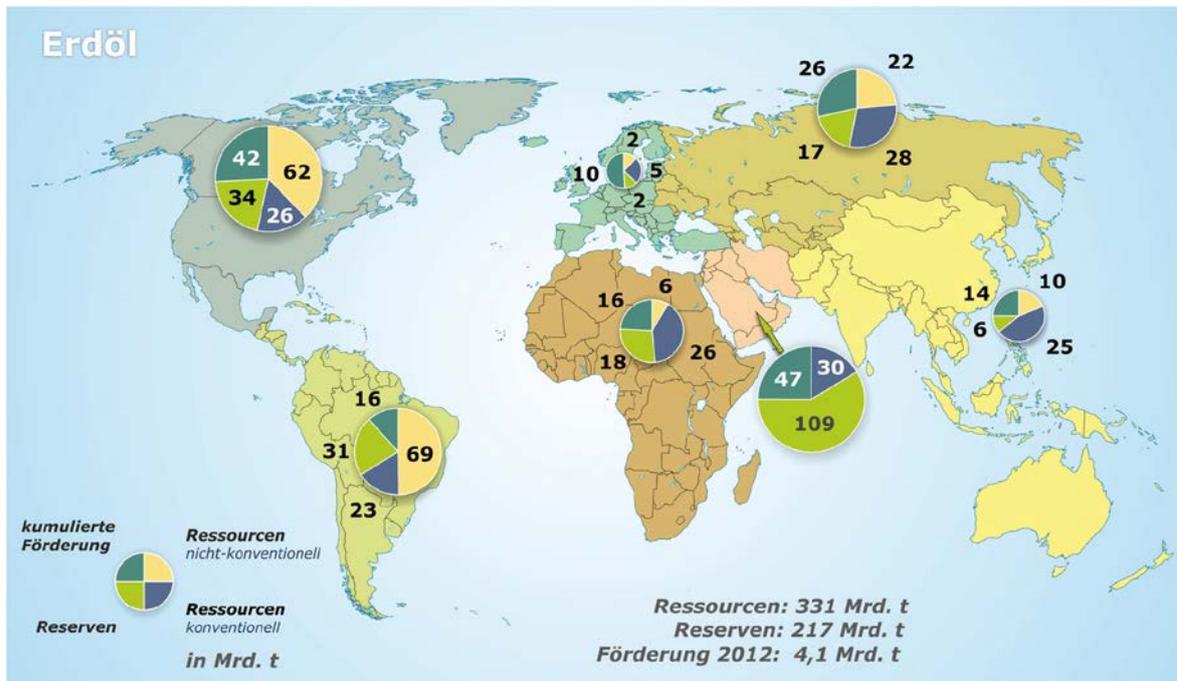
Der bisher in Europa dominierende **Preisbildungsmechanismus** für Erdgas („Ölpreisbindung“) stellt eine Besonderheit dar, die bereits heute deutlich spürbare **Risiken** für eine kostengünstige Erdgasversorgung in sich birgt. Gemäß diesem Mechanismus ist der Gaspreis in den Importverträgen mit den Lieferländern an die Preisentwicklung anderer Energieträger, insbesondere an Ölprodukte, gekoppelt. Die Ölpreisbindung wurde allerdings in den letzten Jahren weitgehend von anderen Vertragsmodellen abgelöst. Heute dominieren Preisgleitklauseln, die auf Gasmarktnotierungen referenzieren. Gleichwohl ist ein Zusammenhang zwischen den Öl- und Gaspreisen zu beobachten.

Insgesamt ist für Erdgas mittel- bis langfristig mit einem überwiegend ausgeglichenen Markt mit oligopolistischen Strukturen auf der Anbieterseite zu rechnen. Hierdurch steigen die politischen und/ oder marktseitigen **Risiken**.

Erdöl

(11) Der folgenden Abbildung 47 ist die regionale Verteilung der weltweiten **Erdölreserven** und -ressourcen zu entnehmen. Als zusätzliche Information sind wiederum die kumulierte Förderung (gesamt) sowie die globale Förderung im Jahr 2012 dargestellt.

Abbildung 47: Erdölförderung und regionale Verteilung der Reserven und Ressourcen im Jahr 2012



Quelle: BGR 2013

(12) Für Rohöl und Mineralölprodukte existiert heute ein **funktio-**
nierender Weltmarkt, Angebot und Nachfrage bestimmen den
Lieferpreis. Allerdings werden ca. 42 % der Weltmarktproduktion
von Ländern gefördert, die in der „Organization of the Petroleum
Exporting Countries („OPEC“) zusammengeschlossen sind. Diese
verfolgt das Ziel, den Rohölpreis durch Förderquoten zu stabilisie-
ren und somit ein gleichmäßiges Einkommen für die Mitgliedsstaa-
ten sicherzustellen. Der Rohölpreis betrug im Jahr 2013 im Durch-
schnitt 106 US \$/ Barrel und lag damit etwa auf dem historischen
Höchststand aus dem Jahr 2012. Die Stabilität der Preise war
2012 und 2013 im historischen Vergleich außergewöhnlich hoch.

Deutschland verfügt nur über wenige eigene Quellen und **import-**
ierte im Jahr 2012 rund 97 % seines Rohölbedarfs. Wenngleich
wichtige Industrieländer ihren Erdölbedarf nach und nach reduzie-
ren, ist in den nächsten Jahren weltweit ein **Nachfrageanstieg**,
ausgelöst durch steigende Mobilitätsansprüche in den Schwellen-
ländern und gesteigerte Industrieproduktion, zu erwarten. Die glo-
bale **Verteilung der Erdölreserven** zeigt ein deutliches Ungleich-
gewicht. Rund 74 % der konventionellen Erdölreserven befinden
sich in einer politisch und ethnisch instabilen Region, die sich vom
Nahen Osten über den Kaspischen Raum bis nach Nordwest-
Sibirien erstreckt. Die steigende Abhängigkeit von Lieferungen aus
diesen Regionen birgt die Gefahr von Versorgungsengpässen.

(13) Auch deshalb werden **nicht-konventionelle Erdöle** wie Schweröl, Schwerstöl, Ölsande oder Ölschiefer zukünftig eine immer größere Rolle bei der Energieversorgung spielen; große Vorkommen liegen beispielsweise in Venezuela (Schwerstöle) und Kanada (Ölsande). Die wirtschaftliche Gewinnbarkeit hängt jedoch in hohem Maße von der Entwicklung des Ölpreises ab. Die Förderung speziell von Ölsanden ist außerdem mit einem hohen Energie- und Wasserverbrauch sowie mit Umweltbelastungen verbunden. In den USA wurde die Förderung in den letzten fünf Jahren um durchschnittlich 8 % pro Jahr durch die Erschließung unkonventionellen Öls, kombiniert mit der wegen Umweltgefährdungen umstrittenen Fracking Methode, erhöht.

Gesamtergebnis Verfügbarkeit

(14) Die Analyse der Verfügbarkeit und der Wettbewerbssituation auf dem Weltmarkt für die einzelnen Primärenergieträger in Verbindung mit der Entwicklung der Importabhängigkeit ergibt für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 folgendes **Gesamtbild**:

- **Steinkohle** verfügt über die größten wirtschaftlich abbaubaren Reserven, die zudem global weit verteilt sind. Es existiert ein funktionierender Weltmarkt, auf dem allerdings eine zunehmende Konzentration der Förderung auf wenige Unternehmen zu beobachten ist. Dennoch sind nur relativ geringe Versorgungsrisiken zu erkennen. Preisschwankungen sind wegen des geringen Anteils der am Weltmarkt gehandelten Kohle jedoch nicht auszuschließen. In welchem Umfang eine stärkere Internalisierung der externen Kosten für den Kohlendioxidausstoß (CO₂-Zertifikate) oder die Verpflichtung zur CO₂-Abscheidung den Einsatz von Steinkohle weiter verteuern, ist heute noch nicht absehbar.
- **Erdgas** verfügt über ausreichende Reserven. Allerdings konzentrieren sich die Reserven auf die „strategische Ellipse“ vom Nahen Osten bis Russland, ein Gebiet, das von ethnischen und politischen Spannungen geprägt ist. Das Forum Gas Exportierender Länder hat bisher nicht den Charakter eines Kartells, könnte sich aber dazu entwickeln. Dies führt zu moderaten Versorgungs- und Preisrisiken. Eine Reduktion dieser Risiken könnte von einer Erschließung weiterer Erdgasressourcen ausgehen. Durch das große Angebot auf dem Weltmarkt bestehen Chancen, dass sich die Gaspreise für eine längere Periode nach unten von den Ölpreisen abkoppeln.
- **Erdöl** zeigt die deutlichsten Versorgungs- und Preisrisiken bei den betrachteten Primärenergieträgern. Als Energieträger mit der höchsten Importquote weist Erdöl die kürzeste statische Reichweite bei den Reserven auf, eine stabile bis steigende globale Nachfrage kann bei gleichzeitigem Rückgang der Förderung bereits mittelfristig zu Verknappungen am Weltmarkt

führen. Nicht-konventionelles Öl ist nur bei einem konstant hohen Ölpreisniveau wirtschaftlich erschließbar. In einzelnen Ländern hat in den letzten Jahren ein deutlicher Kapazitätsaufbau stattgefunden. Ob dies ausreicht, um dauerhaft die sinkende Förderung konventionellen Öls auszugleichen, ist fraglich.

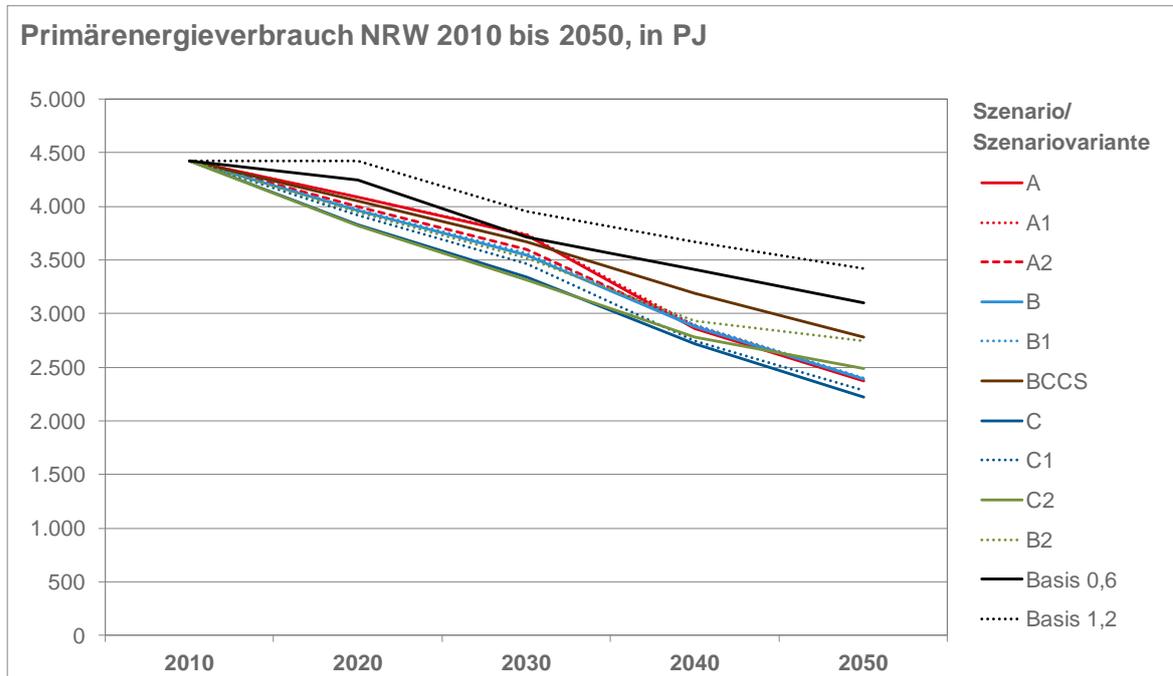
Das Gesamtbild zeigt, dass die von Deutschland nach dem Ausstieg aus der Kernenergienutzung noch nutzbaren Primärenergieträger bereits im Zeithorizont bis zum Jahr 2050 zumindest von leichten Versorgungsrisiken betroffen sind, die sich in Preissteigerungen und temporären Preisspitzen ausdrücken können. Diese Risiken lassen sich minimieren, wenn der Verbrauch dieser Energieträger reduziert wird.

(15) Für den **Klimaschutzplan** ergibt sich die Folgerung, dass Szenarien mit einem geringeren Import von fossilen Energieträgern insbesondere von Öl und Gas im Vergleich zur Basisentwicklung zu bevorzugen sind. Die Auswertung der Importabhängigkeit (Kapitel 4.4) wird zeigen, dass in allen Szenarien des Klimaschutzplans die Nutzung importierter Energieträger stärker zurück geht, als in der Basisentwicklung.

4.4 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Importe von Energie nach NRW in den Szenarien

(1) Der **Primärenergieverbrauch in NRW** lag im Jahr 2010 bei rd. 4.400 Petajoule. In Folge des sinkenden Endenergiebedarfs sinkt auch der Primärenergieverbrauch in NRW. Im Basisszenario 0,6 (1,2) erwarten wir einen Rückgang um 29 (20) %, in den Szenarien des Klimaschutzplans wird ein Rückgang um 37 % (BCCS) bis 50 % (C) erwartet.

Abbildung 48: Angenäherter Primärenergieverbrauch Nordrhein-Westfalens 2010 bis 2050



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG

(2) Die **Importabhängigkeit Nordrhein-Westfalens** wird sich künftig verändern, da die Steinkohlenförderung in NRW im Jahr 2018 beendet wird und zunehmend auch erneuerbare Energieträger importiert werden müssen. Andererseits wirkt der sinkende Primärenergiebedarf dämpfend auf das absolute Niveau der einzuführenden Energiemengen.

Die folgende Übersicht der Importquoten zeigt die Veränderungen bei den einzelnen Energieträgern. Angegeben ist die Quote als Quotient aus Primärenergieverbrauch abzüglich inländischer Gewinnung und Primärenergieverbrauch.

Tabelle 33: Importquoten der Energieträger in NRW in den Jahren 2010 und 2050

Energieträger	2010	2050
Steinkohlen	59 %	100% (bereits ab 2020)
Braunkohlen	0%	0%
Mineralöle	100 %	100%
Gase	99,2 %	100%
Biomasse	8,7 %	10 % (geschätzt)
Übrige erneuerbare Energien (aus NRW)	0 %	0 %
Strom	Exportüberschuss	Lediglich in Sz. A2 Exportüberschuss. In anderen Szenarien Importüberschüsse

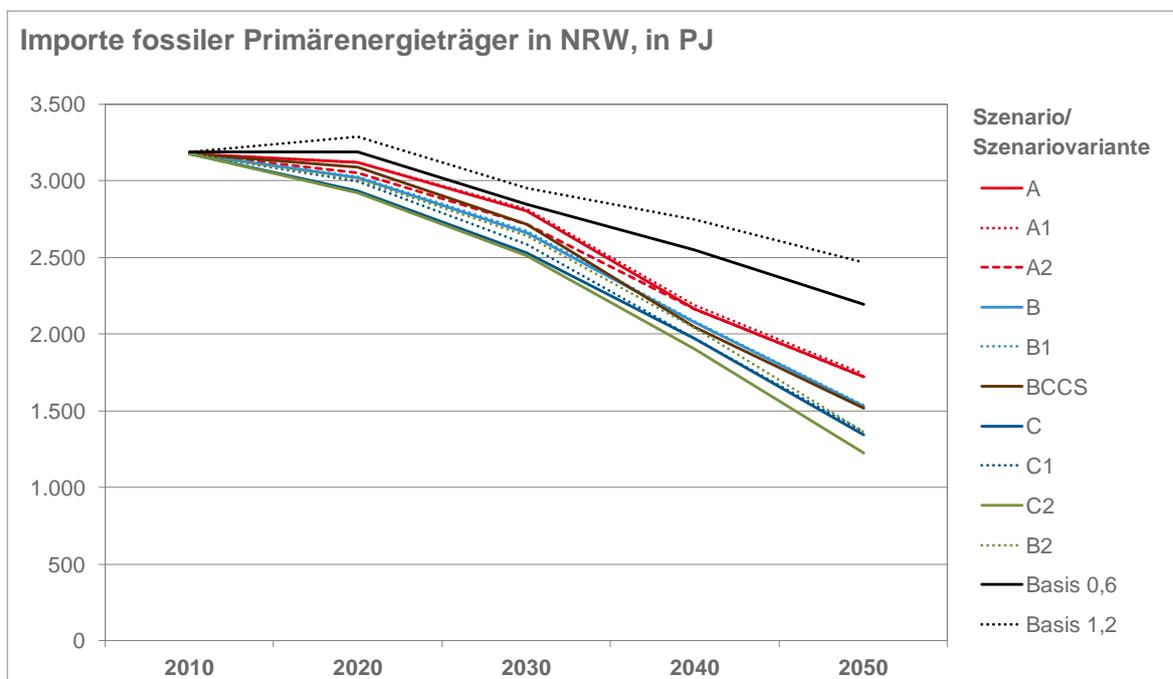
Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG

Importe fossiler Energieträger nach NRW

(3) Der rückläufige Primärenergieverbrauch und der – je nach Szenario – mehr oder weniger schnell wachsende Anteil erneuerbarer Energien in NRW führen zu einem rückläufigen Bedarf an fossilen Brennstoffen. Bezogen auf die fossilen Brennstoffe sinkt somit die **absolute Importabhängigkeit** in allen Szenarien. Dieser Rückgang gilt sowohl im Vergleich mit der jeweiligen Basisentwicklung (vgl. Abbildung 50) als auch im Vergleich mit den heutigen Ausgangswerten. Allerdings bleibt NRW von Energielieferungen abhängig, da auch die geringeren Mengen aus dem Ausland oder - im Fall der erneuerbaren Energien - aus anderen Bundesländern importiert werden müssen.

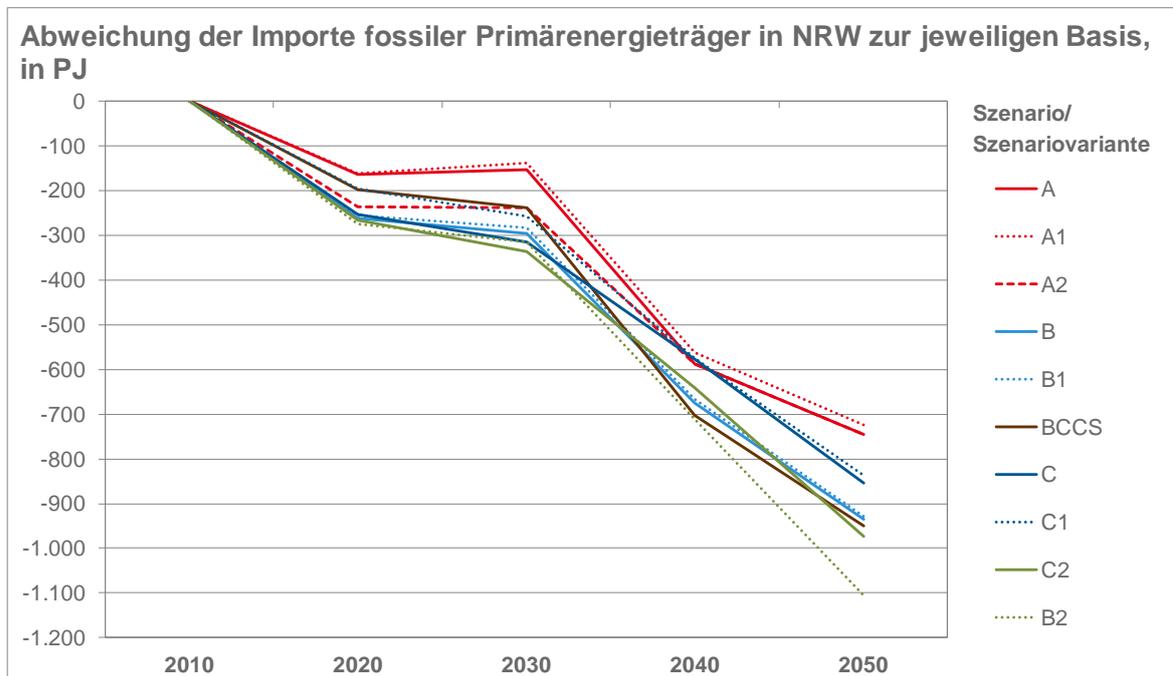
(4) An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass ein **Stromimport aus anderen deutschen Bundesländern** bzw. aus Windparks in der deutschen Nordsee **anders zu bewerten** ist, als beispielsweise Gasimporte aus Russland. Aus diesem Grund wird nachfolgend der **Import fossiler Energieträger** dargestellt, die anders als der Stromimportsaldo nicht überwiegend aus anderen deutschen Bundesländern stammen, sondern zu über 90 % aus dem Ausland.

Abbildung 49: Fossile Primärenergieimporte nach Nordrhein-Westfalen 2010 bis 2050 (in PJ)



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG; 2010 nicht temperaturbereinigt.

Abbildung 50: Abweichungsanalyse fossile Primärenergieimporte



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG.

Entwicklung der Stromhandelsbilanz in NRW

(5) Aufgrund seiner großen Bedeutung für die Beurteilung der Importabhängigkeit im Allgemeinen und der Stromversorgung für die Wirtschaft eines Landes im Speziellen wird an dieser Stelle auf die **Import-/Exportbilanz** des Landes NRW beim **Strom** eingegangen.

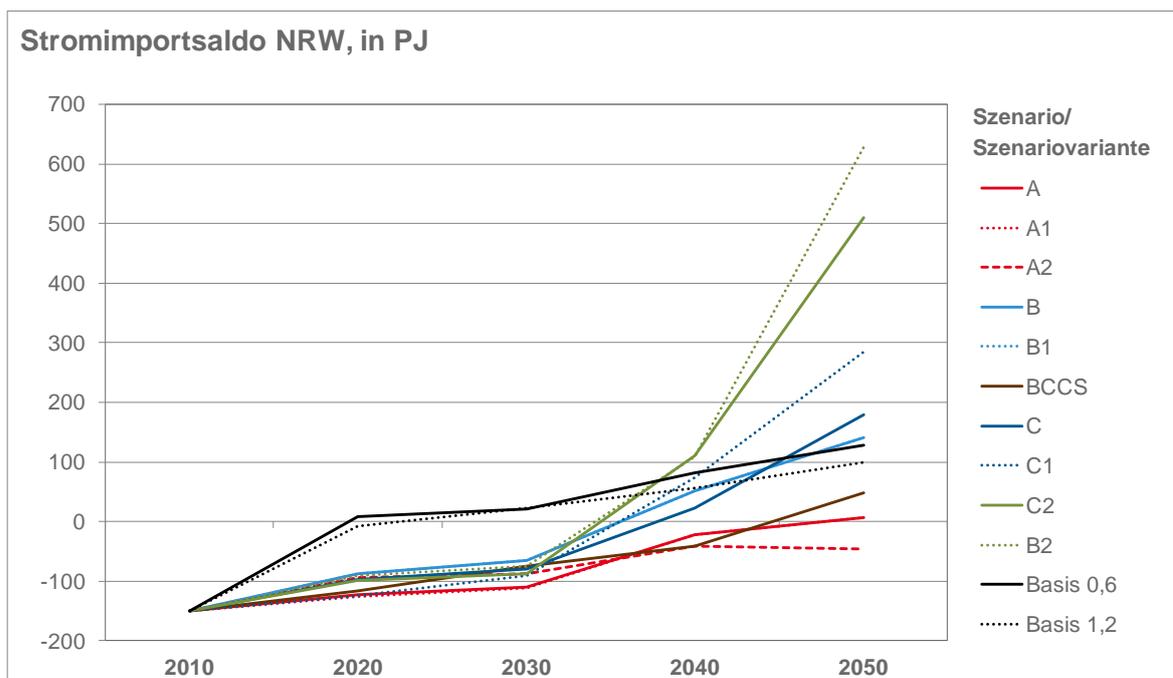
Nordrhein-Westfalen ist heute ein Stromexportland. Im Jahr 2010 wurden laut Energiebilanz ca. 42 TWh Strom (150 PJ) mehr exportiert als importiert, was ungefähr dem Stromverbrauch von Hessen entspricht. Somit trug und trägt NRW in bedeutendem Maße zur Stromversorgung Deutschlands bei.

(6) In den Szenarien des Klimaschutzplans spielen **erneuerbare Energien** eine große Rolle. Diese können aber überwiegend nicht bedarfsgerecht produziert werden. Vielmehr richtet sich die Stromproduktion insbesondere der Windenergie und Photovoltaik nach dem jeweiligen – wetterabhängigen – Dargebot. Somit wird Strom aus erneuerbaren Energien teilweise auch dann produziert, wenn er im Inland nicht gebraucht wird. Dies tritt insbesondere in Szenarien mit hohen installierten EE-Leistungen auf und führt regelmäßig zu Stromexporten. Umgekehrt wird phasenweise nur sehr wenig Strom aus erneuerbaren Energien produziert.

(7) Um den Anteil erneuerbarer Energien auch in den Wärmebereichen (also z. B. in der Industrie oder bei privaten Haushalten) zu erhöhen, wird in den Szenarien des Klimaschutzplans insbesondere in den Szenariovarianten B2 und C2 davon ausgegangen, dass Strom mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und dann als Brennstoff verwendet wird. Hierzu ist aber weit mehr Strom erforderlich, als in Nordrhein-Westfalen erzeugt wird. So wird beispielsweise eine erhebliche Stromerzeugung in Offshore-Windparks unterstellt, die dann nach NRW importiert werden müsste. Dieser Effekt kompensiert in den Szenarien mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien die Stromexporte. Im Saldo wird NRW auf lange Sicht zum **Stromimportland**.

Die folgende Abbildung 51 zeigt die Stromimportsaldo der Basis-szenarien und der Szenarien des Klimaschutzplans, also die Summe der Stromimporte abzüglich der Summe der Stromexporte.

Abbildung 51: Stromimportsaldo NRW 2010 bis 2050



Quelle: Wuppertal Institut. Basis: Prognos AG
Negative Werte entsprechen Nettoexporten.

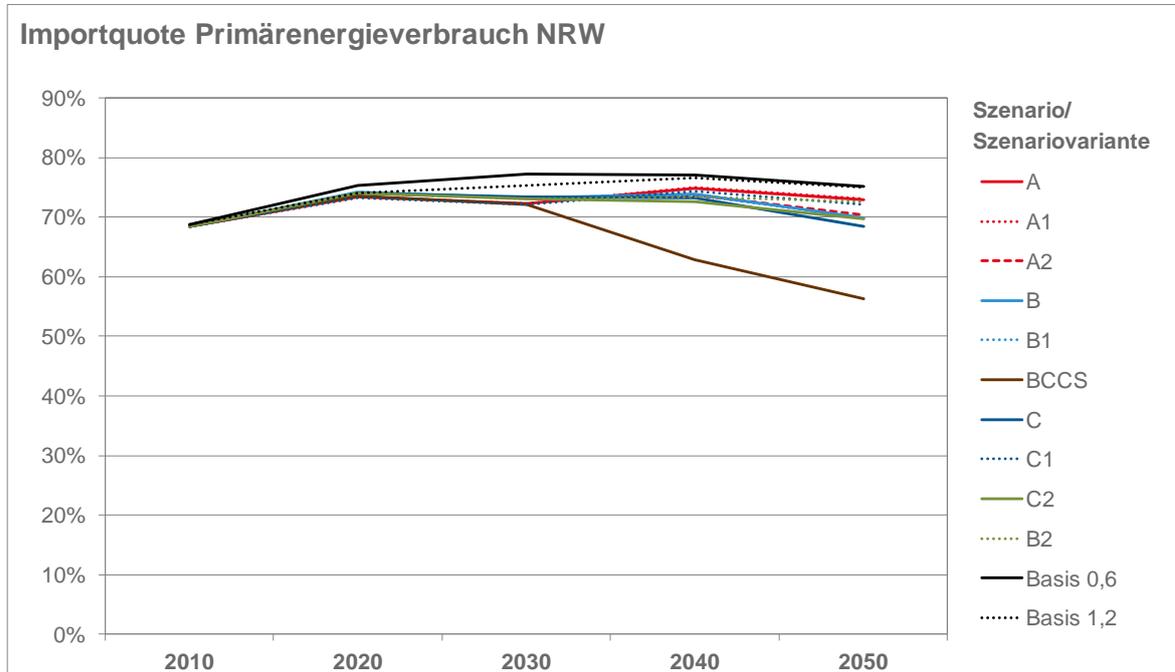
(8) Es wird deutlich, dass NRW im Gegensatz zur Entwicklung in den Basisszenarien in allen **Szenarien des Klimaschutzplans bis 2030 Stromexportland** bleibt. Erst danach werden die Wirkungen unterschiedlicher Klimaschutzpolitiken und Szenarioannahmen auf den Stromimportsaldo in den Szenarien ersichtlich. Lediglich in Szenariovariante A2 verbleibt dauerhaft ein Exportüberschuss. In A und A1 ist der Saldo in etwa ausgeglichen, was bedeutet, dass in NRW dauerhaft so viel Strom erzeugt wie verbraucht wird. Ein Stromtausch findet aber dennoch statt. In der Variante BCCS entsteht nach 2040 ein moderater Importsaldo.

In den Szenariovarianten von B und C mit niedrigen oder hohen Anteilen erneuerbarer Energien wird NRW in etwa gleichem Maße zum Stromimportland, wie es heute Stromexportland ist.

Auffällig sind vor allem die beiden 100 % Szenariovarianten (B2, C2), die im Jahr 2050 zu sehr hohen Stromimportsalden führen. Ursache hierfür ist der Stromimport vor allem von Offshore-Windstrom zur Erzeugung von Wasserstoff in NRW.

(9) Wendet man die obigen Importquoten auf den Primärenergiebedarf des Landes an, so ergeben sich für die Basisszenarien und die Szenarien des Klimaschutzplans die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Importquoten. Die **Importquote** über alle Energieträger bleibt in allen Szenarien außer der Variante BCCS nahezu unverändert hoch, da die Stromerzeugung aus (überwiegend aus dem Ausland) importierten Energieträgern durch Stromimporte (überwiegend aus anderen Bundesländern) ersetzt wird. NRW bleibt also abhängig von Energielieferungen anderer Regionen, was dem Gedanken des europäischen Binnenmarktes entspricht.

Abbildung 52: Importquote gesamter Primärenergieverbrauch Nordrhein-Westfalen 2010 bis 2050



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG.

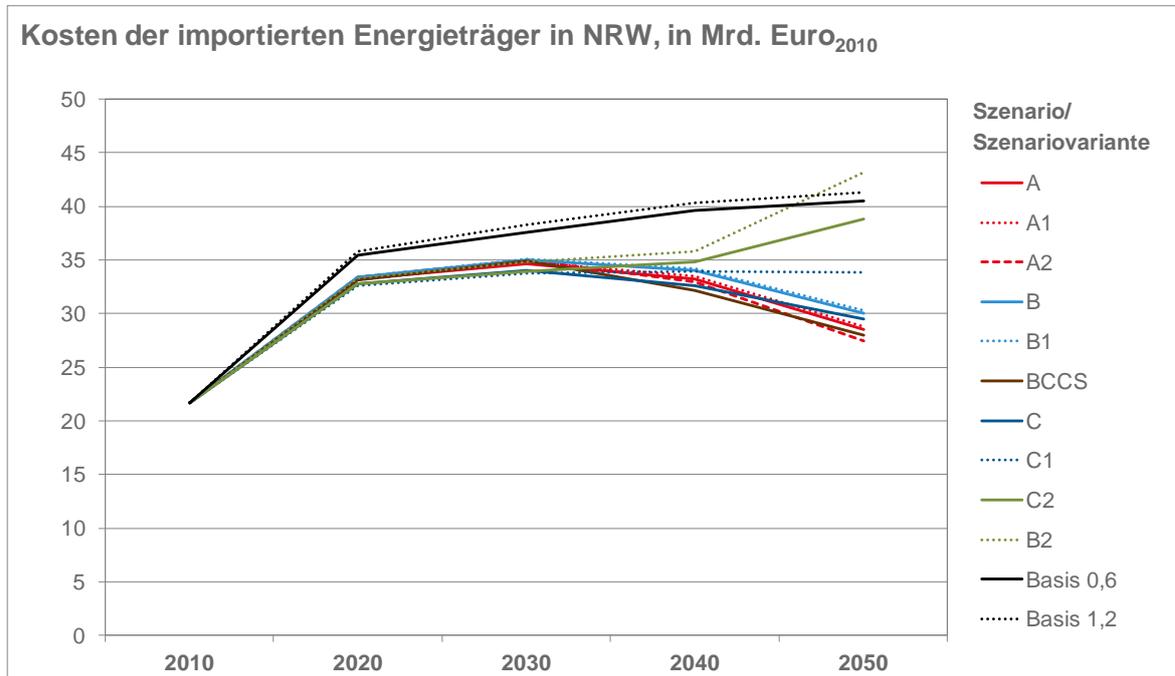
4.5 Monetäre Bewertung der Energieträgerimporte

(1) In Kapitel 4.4 wurde gezeigt, wie sich die Importabhängigkeit aus energetischer Sicht entwickelt. Energieimporte haben auch eine bedeutende **ökonomische Dimension**, da die importierten Ressourcen zu erheblichen Mittelabflüssen ins Ausland bzw. in andere Regionen führen. Die folgende Darstellung zeigt, wie sich der ökonomische Wert der importierten Energieträger entwickelt. Die Darstellung verfolgt nicht das Ziel einer präzisen Quantifizierung sondern der Abschätzung des Wertes bzw. der Kosten der Energieimporte. Dabei wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

- **Fossile Energieträger** wurden in Übereinstimmung mit den Preisen aus der zentralen Liste der Default-Werte des Wuppertal Instituts für den Klimaschutzprozess bewertet.
- **Stromimporte nach NRW aus anderen Regionen** wurden mit dem jeweiligen Base-Großhandelspreis gemäß den Modellierungen der Prognos AG bewertet (vgl. Abbildung 17). Der Base-Preis bezeichnet den ungewichteten Mittelwert der Strompreise aller Stunden eines Jahres.

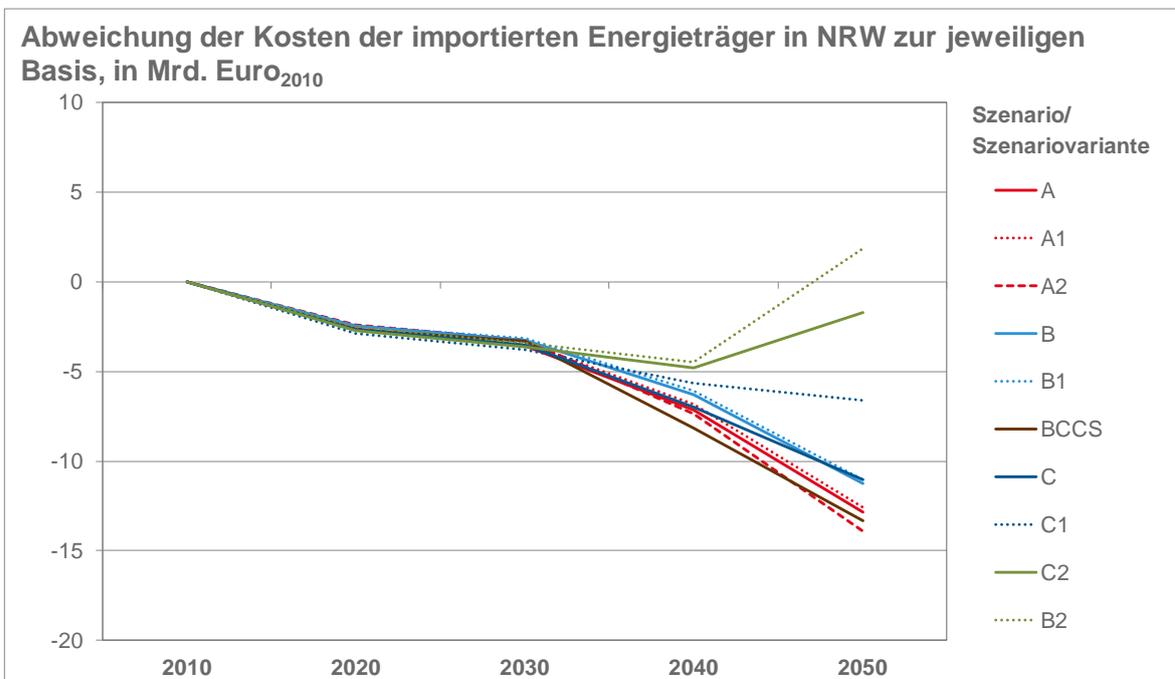
(2) Es zeigt sich, dass die **Kosten der Energieimporte** nach NRW aufgrund der Preissteigerungen aber auch wegen des Auslaufens der nordrhein-westfälischen Steinkohlenproduktion in allen Szenarien bereits bis zum Jahr 2020 deutlich steigen werden. In den Basisszenarien setzt sich der Anstieg auch nach 2020 noch moderat fort, während in den Szenarien des Klimaschutzplans nach 2020 ein Plateau erreicht wird, das nach 2040 wieder sinkt. Lediglich in den Szenariovarianten mit 100 % erneuerbaren Energien steigen die Kosten durch die Stromimporte nach 2040 wieder deutlich. Die Abweichungsanalyse zu den jeweiligen Basisszenarien zeigt, dass in allen Szenarien des Klimaschutzplans niedrigere Kosten für Energieimporte entstehen als in der jeweiligen Basis.

Abbildung 53: Monetäre Bewertung der Energieträgerbezüge NRWs in den Szenarien



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG.

Abbildung 54: Abweichungsanalyse monetäre Bewertung der importierten Energieträger



Quelle: Wuppertal Institut, Prognos AG.

4.6 Gesamtergebnis Importabhängigkeit

(1) Durch die Klimaschutzpolitik **reduziert sich die Importabhängigkeit deutlich**, da die absoluten Importe fossiler Energieträger in den Szenarien des Klimaschutzplans stärker zurückgehen als in der Basis. Die Steigerung der Energieeffizienz mit den entsprechenden Folgen für den Energieverbrauch und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien in NRW führen zu dieser Entwicklung.

Bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien nimmt allerdings langfristig der Bedarf nach Stromlieferungen aus anderen Regionen stark zu (z. B. aus Offshore-Windenergie). Zwischen 2030 und 2040 dürfte das Land NRW so auch im Saldo aus Lieferungen und Bezügen zum Stromimportland werden. In allen Szenarien des Klimaschutzplans wird NRW deutlich später zum Stromimportland als in der Basis, zudem liegen die Kosten für Energieimporte nach NRW in allen Szenarien des Klimaschutzplans deutlich unter der Basis. Die Kosten der Energieimporte wurden nicht in die Bewertungstabelle aufgenommen, da sie linear abhängig sind von den Indikatoren „Absolute Importe“ und „Stromimportsaldo“.

(2) Die **Verfügbarkeit** der benötigten Primärenergieträger ist bis 2050 gegeben, Versorgungs- bzw. Preisrisiken ergeben sich langfristig am ehesten in der Ölversorgung, Preisschwankungen wird es aber bei allen Energieträgern geben. Alle Szenarien des Klimaschutzplans gehen von einem etwas niedrigeren Verbrauch an Mineralöl aus als die Basisentwicklungen. Eine weitere Differenzierung zwischen den Szenarien erfolgte bei der Ölverwendung nicht.

Beim Gasbedarf liegen die Szenarien des Klimaschutzplans im Jahr 2050 etwa bei der Hälfte des Bedarfs wie in der Basis. Zwar existieren Differenzen beim Erdgasverbrauch zwischen den Szenarien des Klimaschutzplans. Die absoluten Unterschiede sind aber im Verhältnis zum Gesamtbedarf gering.

Der Steinkohlebedarf liegt in den Szenarien des Klimaschutzplans deutlich unter der Basis. Zudem unterscheiden sich die Szenarien erheblich beim Steinkohlenbedarf im Jahr 2050. Allerdings können hieraus keine Bewertungen abgeleitet werden, die über die Gesamtbewertung hinausgehen, da Steinkohle der am besten verfügbare fossile Energieträger ist.

Im **Fazit** bestätigt die Auswertung der Verfügbarkeit der Energieträger das Grundergebnis, dass die Importabhängigkeit durch den Klimaschutz reduziert werden kann. Darüber hinausgehende Erkenntnisse für die Bewertung der Szenarien des Klimaschutzplans untereinander liegen nicht vor, so dass sie nicht in die nachfolgende Bewertungstabelle aufgenommen wurden.

Tabelle 34: Gesamtergebnis Importabhängigkeit

Impact Import- abhängigkeit	Importquote alle Energieträger (ET)		Absolute Importe fossile ET		Stromimportsaldo		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	o	+	++	++	++		
Szenario A1	o	o	+	++	++	++		
Szenario A2	o	o	+	++	++	++		
Szenario B	o	o	+	++	++	+		
Szenario B1	o	o	+	++	++	+		
Szenario B2	o	o	+	++	++	--		
Szenario BCCS	o	++	+	++	++	++		
Szenario C	o	o	+	++	+	o		
Szenario C1	+	o	+	++	+	-		
Szenario C2	o	o	+	++	+	--		

Legende:

- ++ = deutlich niedrigere Importquote / Importe als Basis,
- + = niedrigere Importquote / Importe als Basis,
- o = neutral, vergleichbare Importquote / Importe wie Basis,
- = höhere Importquote / Importe als Basis
- = deutlich höhere Importquote / Importe als Basis

(3) Zur Abflachung des Anstiegs der Stromimporte ab etwa 2030 könnte bei einem Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft, der in den Varianten mit hohen Anteilen bzw. 100% erneuerbarer Energien unterstellt wird, Wasserstoff anstelle von Strom aus anderen Regionen importiert werden. Falls noch größere Potenziale erneuerbarer Energien im Land NRW vorhanden sind, könnten diese auch vorrangig genutzt werden. Dies, sowie die damit verbundenen Kosten, wurden aber im Rahmen der Impactanalyse nicht analysiert.

5 Gesamtwirtschaftliche Effekte

5.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

(1) Klimaschutz und Energiewende sind bereits heute elementare Bestandteile der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung Deutschlands und Nordrhein-Westfalens. Unter der **Gesamtwirtschaft** werden an dieser Stelle die Sektoren Land- und Forstwirtschaft, das produzierende Gewerbe und die Dienstleistungen (inkl. Gewerbe, Handel und Bau) verstanden. Gerade im produzierenden Gewerbe ist es zur Herausarbeitung der Effekte des Klimaschutzplans notwendig, noch spezifischer die energieintensiven Industrien zu betrachten.

(2) Die Untersuchungen in diesem Kapitel verfolgen das **Ziel**, die gesamtwirtschaftlichen Effekte (Impacts) des Klimaschutzplans auf Nordrhein-Westfalen modellhaft abzubilden. Es gilt darzustellen, wie sich die Wirtschaft in Nordrhein-Westfalen verändern wird, wenn die verschiedenen Szenarien des Klimaschutzplans umgesetzt werden. Jeweils abgebildet wird die Differenz eines Szenarios des Klimaschutzplans und der entsprechenden Größe im zugehörigen Basisszenario (siehe Kapitel 2).

(3) Zur Erreichung dieser Zielstellung werden die gesamtwirtschaftlichen Effekte in einem **Modellverbund** ermittelt:

Die aufbereiteten Inputgrößen werden in das gesamtwirtschaftliche Modell **PANTA RHEI** der **GWS** eingebunden, welches die **deutsche Volkswirtschaft** tief disaggregiert auf der Ebene von 59 Branchen erfasst. Dieser Vorteil einer detaillierten Modellierung ist bei der Betrachtung langer Zeithorizonte eine Schwäche, da die unterstellte Strukturkonstanz in weiterer Zukunft zunehmend unwahrscheinlich wird.

Gesamtwirtschaftliche Größen ergeben sich konsistent aus der Summe der Branchenentwicklungen. Das Anpassungsverhalten wird durch preisabhängige Verhaltensparameter abgebildet. Damit ermöglicht das Modell, Wirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans auf das Bruttoinlandsprodukt und viele weitere ökonomische Größen einschließlich Beschäftigung (vgl. Kapitel 5.1), Anpassungseffekte in vor- und nachgelagerten Branchen und damit insgesamt **Nettoeffekte** der Klimaschutzstrategien abzubilden. PANTA RHEI zeichnet sich durch eine detaillierte Abbildung von Wertschöpfungsketten (Input-Output-Strukturen) aus. Gerade für Szenarien, wie die des Klimaschutzplanprozesses, bei denen unterschiedliches industrielles Wachstum ein maßgeblicher Treiber

der Szenariovarianten ist, können Szenariounterschiede und ihre Konsequenzen daher in vollem Umfang abgebildet werden.

Dabei gilt es zu beachten, dass das für die Industrie in den Basis-szenarien mit 0,6 % bzw. 1,2 % festgelegte Wachstum durch die Strategien des Klimaschutzplans in den unterschiedlichen Szenarien positiv oder negativ beeinflusst wird und sich ein neuer Wachstumspfad endogen ergibt. In den nachstehenden Abbildungen wird dies als Änderung der Wertschöpfung ausgewiesen.

Die Ergebnisse der nationalen Modellierung sind wiederum Input für Berechnungen mit dem **Prognos-Modell REGINA** für Nordrhein-Westfalen. Das Modell REGINA³⁷ basiert auf einem vergleichbaren methodischen Ansatz und weist eine zu PANTA RHEI anschlussfähige Branchenstruktur auf. Die sich in den Szenarien ergebenden Änderungen auf der Bundesebene werden einerseits auf die Nachfrage von Gütern und andererseits auf die Produktion von Gütern auf die Regionen in NRW übertragen. Damit ist es möglich, die Effekte der einzelnen Szenarien auf Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit im Abgleich zum jeweiligen Basis-szenario und unter Berücksichtigung von Mengen- und Preiseffekten darzustellen. Das Modell basiert auf verfügbaren Informationen zu den folgenden Größen: Investitionen, Exporte, Bevölkerung, Ausgaben der Gemeinde und Kreise, Gebäudebestand, verfügbares Einkommen, Wertschöpfung, Erwerbstätigkeit, Beschäftigung etc. auf der Kreis- und Bundeslandebene. Durch Nutzung möglichst vieler Strukturinformationen wird in REGINA abgebildet, an welchem Ort welche Güter produziert werden und wie die Nachfrage nach einzelnen Güterarten für die in der Statistik genannte Wertschöpfung aussieht.

(4) Übergeordnet muss in diesem Kapitel betont werden, dass weder die Szenarien des Klimaschutzplans noch die dazu gehörigen Basisszenarien den Anspruch von Prognosen haben. Die Szenarien des Klimaschutzplans sind Ergebnis des Klimaschutzplanprozesses und wurden durch die Arbeitsgruppen gestaltet. Das Selbstverständnis der Basisszenarien ist in Kapitel 2 ausführlich dargestellt. Insgesamt lässt sich die gesamtwirtschaftliche Impact-Analyse als „Wenn-dann“ Analyse verstehen. Wenn den Strategien des Klimaschutzplans gefolgt wird und wenn diese Strategien sich so auswirken wie in den Szenarien des Klimaschutzplans durch das Wuppertal Institut berechnet, dann ergeben sich im Vergleich zu derselben Entwicklung ohne Klimaschutzplan die nachstehend beschriebenen Effekte.

³⁷ REGionalized National Account

5.2 Inputvariablen der Modellierung

(1) Für die Berechnung der Effekte in NRW werden die Ergebnisse Gesamtdeutschlands (aus PANTA RHEI) an die **Komponenten der Nachfrage** angelegt (Modell REGINA). Diese veränderte Nachfrage wird in regionale Produktionsfunktionen unter Berücksichtigung der Preisänderungen in den Szenarien eingespeist. Hierbei werden ebenfalls Wertschöpfungsketten berücksichtigt. Im Ergebnis resultiert die Wertschöpfung, aus der die Erwerbstätigkeit abgeleitet wird. Die Komponenten der Nachfrage setzen sich dabei aus privatem Konsum, staatlichem Konsum, Bauinvestitionen, Ausrüstungsinvestitionen und Exporten zusammen.

(2) Die Veränderungen des **privaten Konsums** in den Szenarien nach Preis- und Mengenanpassungen werden aus PANTA RHEI in REGINA übernommen. Für die regionsspezifische Modellierung des privaten Konsums werden zudem aus der von IT.NRW übernommenen Bevölkerungsvorausberechnung nach Altersgruppen spezifische Konsumzusammensetzungen gebildet. Anhand einer ökonometrischen Schätzung wird die zukünftige Entwicklung in Anlehnung an die Bundesentwicklung des privaten Konsums altersspezifisch geschätzt. Im Ergebnis geht in das Modell eine mit den Bundeswerten abgestimmte private Nachfrage in den Kreisen in NRW ein. In den einzelnen Szenarien sind die Abweichungen, die sich aus dem privaten Konsum ergeben, dann auf die Veränderungen der Preis- und Mengenanpassungen aufgrund der Szenarien zurückzuführen.

(3) Die **Entwicklung des Staatskonsums** auf der regionalen Ebene orientiert sich im Wesentlichen an der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung und an den auf der Kreis- und Bundeslandebene verfügbaren Informationen zu den Staatsausgaben im Stützzeitraum. Die Veränderungen des pro-Einwohner-Staatskonsums in PANTA RHEI werden in das Modell REGINA übernommen und auf die Kreise übertragen, so dass im Ergebnis miteinander harmonisierte Inputgrößen vorliegen.

(4) Die **Bauinvestitionen** in den (Basis-)Szenarien beruhen auf dem in der Regionalstatistik genannten Gebäudebestand. Die Fortschreibung dieses Gebäudebestands basiert auf den im Klimaschutzplan enthaltenen Annahmen. Entsprechend werden die Investitionen auf die Kreise verteilt und mit der Entwicklung auf der Bundesebene harmonisiert.

(5) Die **Verteilung der Ausrüstungsinvestitionen** im Stützzeitraum auf die Kreise wird aus den Investitionen im verarbeitenden Gewerbe auf der Kreisebene abgeleitet und auf die Investitionen auf der Bundesebene angepasst. Die verbleibende Differenz zum Bundeswert wird dann in Anlehnung an geeignete Größen wie

Wertschöpfung oder Beschäftigung hinzu geschätzt. Die resultierende Aufteilung ist kompatibel mit dem PANTA RHEI Modell, so dass basierend hierauf die Veränderungen auf der Bundesebene in den (Basis-)Szenarien auf die Entwicklung in den Regionen übertragen werden können.

(6) Das Vorgehen bei den **Exporten** entspricht im Wesentlichen dem der Ausrüstungsinvestitionen. Als wesentliche Referenzwerte zur Bestimmung der Exportschwerpunkte werden die Exporte des verarbeitenden Gewerbes auf der Kreisebene und nach Gütern auf der Bundeslandebene herangezogen.

(7) Zur Berücksichtigung von **Kostenänderungen** werden zudem in die **regionalen Produktionsfunktionen** die sich auf der Bundesebene ergebenden Veränderungen der Vorleistungen im Verhältnis zum Produktionswert einheitlich übernommen (Stückkostenentwicklung). Ziel hierbei ist es, die sich in den Szenarien bei den Produzenten ergebenden Preisänderungen in den regionalen Produktionsfunktionen zu berücksichtigen.

(8) Letztlich wird im Basiszeitraum eine notwendige **Kalibrierung** der geschätzten letzten Verwendung vorgenommen, indem über die in der Statistik genannte Wertschöpfung im Modell auf die letzte Verwendung zurückgerechnet wird. Diese Korrektur wird bei der zukünftigen Entwicklung beibehalten.

5.3 Impulse für die Nordrhein-Westfälische Wirtschaft

(1) Die Szenarien des Klimaschutzplans unterscheiden sich von den Basisszenarien und untereinander durch den Kraftwerksmix, insbesondere infolge des unterschiedlichen **Ausbaus erneuerbarer Energien** und die **gestiegene Energieeffizienz** in der Industrie und im Gebäudebereich sowie den verstärkten Netzausbau in einigen Szenarien. Damit verbunden sind Investitionen in den einzelnen Bereichen, die während der Investitionsphase positive gesamtwirtschaftliche Impulse entfalten. Langfristig wird diese positive Entwicklung über höhere Kosten und Preise gedämpft.

(2) Der nachfolgende Überblick über die relevanten Treiber der Impacts Gesamtwirtschaft und Beschäftigung verdeutlicht das komplexe Zusammenspiel zwischen

- Investitionsimpulsen
- Strompreissteigerungen
- dem Endenergieverbrauch und der
- Struktur der Stromimporte und -exporte.

Abbildung 55: Treiber der Impacts Gesamtwirtschaft und Beschäftigung

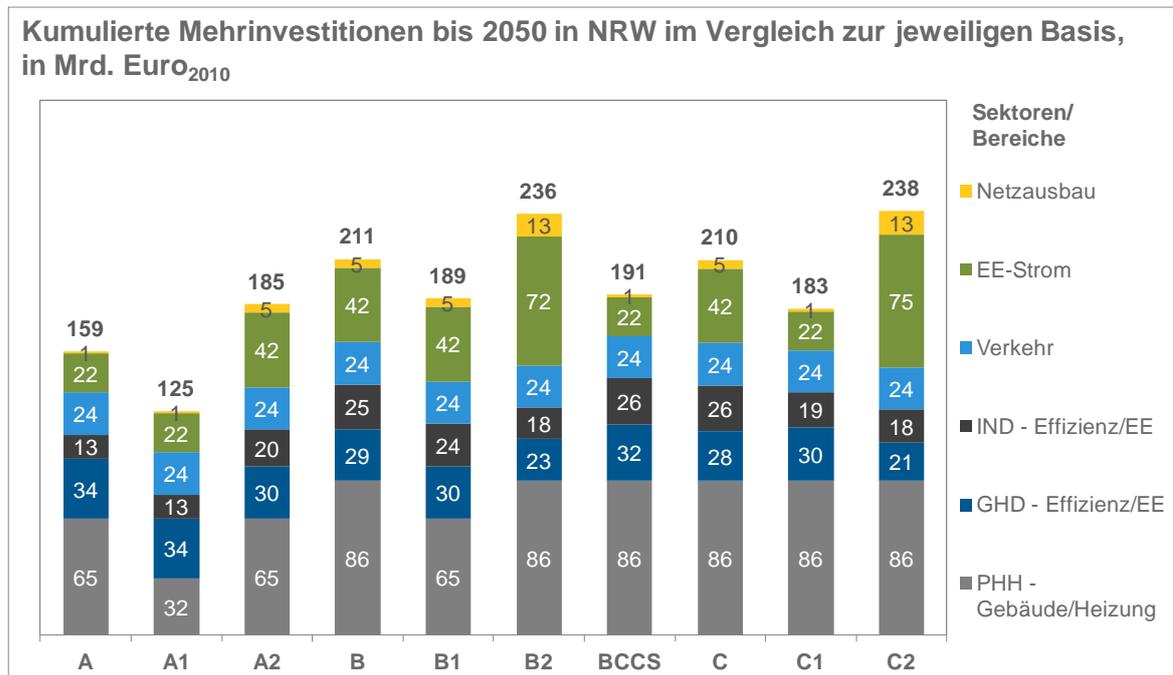
Szenarien	Szenarien des Klimaschutzplans										
	A	A1	A2	B	B1	B2	BCCS	C	C1	C2	
	Szenario	Varianten		Szenario	Varianten		Szenario	Varianten			
Darstellung											
Strom	Im Vergleich zur entsprechenden Basis > größer >> deutlich größer < kleiner << deutlich kleiner										
Strompreise im Vergleich zur entsprechenden Basis. Höhere Preise wirken dämpfend, niedrigere belebend	PHH, Industrie	>									
	privilegierte Industrie	>	<	<	>	<	<	>			
Nettostromimporte im Vergleich zur entsprechenden Basis: hohe Importe wirken dämpfend auf BWS, besonders Energiewirtschaft		<		<		>>		<	<	>>	
Mehrinvestitionen im Vergleich zur entsprechenden Basis: wirken im Jahr der Investition belebend		kumuliert in Mrd. € ₂₀₁₀									
Erneuerbare Energien	nach 2040	22	22	42	42	42	72	22	42	22	75
Netze		2	2	6	6	6	14	2	6	2	14
Effizienz (Industrie & GHD)		34	34	30	29	30	23	32	28	30	21
Gebäude		65	32	65	86	65	86	86	86		
Energieeinsparung wirkt als Schutz gegen steigende Preise		Energieverbrauch im Vergleich zur entsprechenden Basis < kleiner << deutlich kleiner <<< viel kleiner									
aus Gebäudesanierung	PHH	<<	<	<<	<<<	<<	<<<	<<<	<<<	<<<	<<<
aus Wachstum und Technologie	Industrie	<<	<<	<<	<<	<<	<	<<	<	<	<

Quelle: GWS

(3) **Investitionen in erneuerbare Energien** werden in einem der heutigen EEG-Umlage ähnlichen Prinzip auf die Stromverbraucher – unter Berücksichtigung ähnlicher Ausnahmetatbestände wie den derzeitigen – umgelegt (vgl. Kapitel 2). Die B- und C-Szenarien bzw. Szenariovarianten unterscheiden einen niedrigen, einen hohen und einen 100%-Ausbaupfad.

(4) In den Sektoren Industrie und Dienstleistungen werden (nur) solche **Investitionen in Effizienzmaßnahmen** umgesetzt, die im Rahmen der jeweiligen Rahmenbedingungen **betriebswirtschaftlich** ihre Kosten durch Einsparungen wieder einspielen. Zahlreiche Maßnahmen sind zwar betriebswirtschaftlich sinnvoll (besonders im Dienstleistungssektor, z. B. Querschnittsmaßnahmen im Bereich Kühlen, Lüften, Kälteerzeugung, Druckluft und Pumpen), werden aber aufgrund von Opportunitätsüberlegungen in den Basisszenarien nicht durchgeführt, da Energiekosten in den meisten Branchen eine untergeordnete Rolle in der Kostenstruktur spielen. Die Abschätzung der Zusatzinvestitionen in Effizienzmaßnahmen erfolgt nach der **Methode der anlegbaren Kosten**. Sie bilden eine Obergrenze für die von den Sektoren Dienstleistungen und Industrie umsetzbaren **Mehrinvestitionen**. Das bedeutet, dass sich die Mehrausgaben für effizientere Geräte innerhalb von fünf bis zehn Jahren durch verringerte Ausgaben für Strom refinanzieren müssen. Damit wird eine Obergrenze für zusätzliche Investitionen festgelegt.

Abbildung 56: Kumulierte Mehrinvestitionen bis 2050 in NRW



Quelle: Prognos AG

IND: Industrie; GHD: Gewerbe / Handel / Dienstleistungen, PHH: Private Haushalte

Die Szenarien arbeiten mit verschiedenen **Technologiepfaden**, bei denen unterschiedliche Investitionen angelegt werden. Die Szenario-Familie A arbeitet mit den „best available techniques“ (BAT), die dem in Deutschland traditionell verwendeten Konzept des Standes der Technik entsprechen. Die B- und C-Szenario-Familie verwendet „Low carbon technologies“ (LC), die technologisch weit über den heutigen Stand der Technik hinausgehen. In den LC-Szenarien spielen Wasserstofftechnologien eine herausragende Rolle und werden als „Joker“ u. a. für die Speicherproblematik verwendet. Ab dem Jahr 2040 werden in der Industrie nicht unerhebliche Mengen Wasserstoff als Endenergieträger eingesetzt (in allen Szenarien des Klimaschutzplans auch im Verkehr). Bei der Bewertung dieses Aspekts wurde im Klimaschutzplanprozess davon ausgegangen, dass der Wasserstoff ausschließlich durch Strom aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt wird, der nicht zeitgleich verbraucht werden kann („Überschussstrom“). Der dafür verwendete Strom ist bereits jeweils in den Kosten des Stromsystems verarbeitet und „eingepreist“, da sie auch anfallen, wenn der Überschussstrom nicht genutzt werden kann. Die Brennstoffkosten des Wasserstoffs entstehen vor allem durch die Kosten der Elektrolyse und Speicherung vor Ort. Diese liegen heute bei ca. 10 €/MWh (bei großen Elektrolyseuren und gekühlter Druckspeicherung

ohne besonderen zusätzlichen Sicherungsaufwand).³⁸ Die Kosten für Wasserstoff von 10 Euro/MWh_{Wasserstoff} ergeben sich über einen Projektzeitraum von 10 Jahren für eine 5-MW-Elektrolyse aus Investitionskosten von ca. 2.500 Euro/kW, einer Verzinsung von 6 %, jährlichen fixen Betriebskosten von 75 Euro/kW und einer Auslastung von im Mittel 4.500 h pro Jahr.³⁹ Zusätzlich werden für die Zwischenspeicherung Kosten von 2,5 Euro/MWh angesetzt. Bei der Kostenermittlung wurden jeweils die so angesetzten Kosten des „Brennstoffs“ Wasserstoff (mit Verlusten bei der Produktion sowie wiederum bei der Verarbeitung in Brennstoffzellen bei etwa der Hälfte der ausgewiesenen Mengen) angesetzt.

(5) Über die Kosten einer **Wasserstoffverteilungsinfrastruktur** können jedoch keine Aussagen gemacht werden. Für den Industriesektor kann angenommen werden, dass in den großen Produktionsstätten, für die der Wasserstoffeinsatz vorgesehen wurde (Stahlproduktion, Chemie), die Wasserstoffproduktion on-site erfolgt, so dass kein gesondertes Verteilnetz erforderlich würde. Für den Verkehrssektor gab es im Rahmen der Klimaschuttszenarien keine Spezifikationen für eine Wasserstoffverteilungsinfrastruktur. Denkbar wäre auch hier eine on-site Produktion an Tankstellen, wofür zumindest jeweils eine Anbindung an das Mittelspannungs-Stromnetz erforderlich wäre. In diesem Fall müssten gegenüber einer zentralen Produktion kleinere Elektrolyseureinheiten und dezentral Wasserstoffspeicher aufgebaut werden. Dadurch wäre mit zusätzlichen Kosten bzw. Investitionen gegenüber großen Anlagen zu rechnen. Aber auch bei zentraler Produktion von Wasserstoff entstünden im Bereich des Verkehrs zusätzliche Kosten gegenüber der Industrierversorgung, da in diesem Fall ein zusätzliches Wasserstoffverteilnetz zur Anbindung der Tankstellen notwendig würde – zumindest sofern Teile des bestehenden Erdgasnetzes bis dahin nicht genutzt werden können. Eine Entscheidung über zentrale oder dezentrale Bereitstellungskonzepte für Wasserstoff im Verkehrsbereich kann heute noch nicht getroffen werden.

Die **Kosten für die Wasserstofftechnologie** in den Fahrzeugen (Drucktanks und Brennstoffzellen) wurden in den Kostenrechnungen dagegen **berücksichtigt**.

Daher muss hier darauf hingewiesen werden, dass ein unbekannter, aber möglicherweise nicht unerheblicher Kostenblock für

³⁸ Perspektivisch kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten durch verstärkten Einsatz noch leicht sinken, da es sich hier um bereits ausgereifte Techniken handelt. Andererseits besteht eine Kopplung (durch eine Substitutionsbeziehung) an den Börsenstrompreis – wenn dieser deutlich unter den Wasserstoffpreis fällt, wird ein sich rational verhaltendes großes Unternehmen dann eher direkt Strom einkaufen und verwenden. Dies gilt nur in eingeschränktem Maße und mit Zeitverzögerung bei Direktverbrennung von Wasserstoff.

³⁹ Quelle: u. a. DVGW/DBI 2011 unter http://www.dbi-gti.de/fileadmin/downloads/5_Veroeffentlichungen/Tagungen_Workshops/2011/H2-FF/07_Mueller-Syring_DBI_GUT.pdf, abgerufen zuletzt am 18. Juli 2014

Wasserstoffverteilungs-Infrastruktur nicht in die Rechnungen einbezogen werden konnte und sowohl auf der Investitions- als auch auf der Kostenseite **unberücksichtigt** ist. Vor diesem Hintergrund ist zu empfehlen, die technische Entwicklung der Wasserstofftechnologie als Speichermedium und die damit verbundenen Kosten einem Monitoring zu unterziehen, um diese Technologie in einigen Jahren belastbarer einschätzen zu können und ihren möglichen Beitrag zu einer 100 %-EE-Versorgung auch im Vergleich zu anderen Speichertechnologien oder netzseitigen Veränderungen neu zu bewerten.

(6) Ausgehend von den Investitionen in erneuerbare Energien und den Steuerungswirkungen des Marktes reagieren die Strompreise. Diese Zusammenhänge sind ausführlich in Kapitel 2 dargestellt. Allgemein führen die Investitionen in Energieeffizienz zu Kostenerhöhung in der Industrie und in der Wohnungsnutzung, langfristig aber **bei steigenden Energiepreisen zu Einsparungen** bei den jeweiligen Energiekosten. Eingesparte Energieausgaben können wiederum anderweitig ausgegeben werden und führen zu positiven Impulsen auf den Konsum.

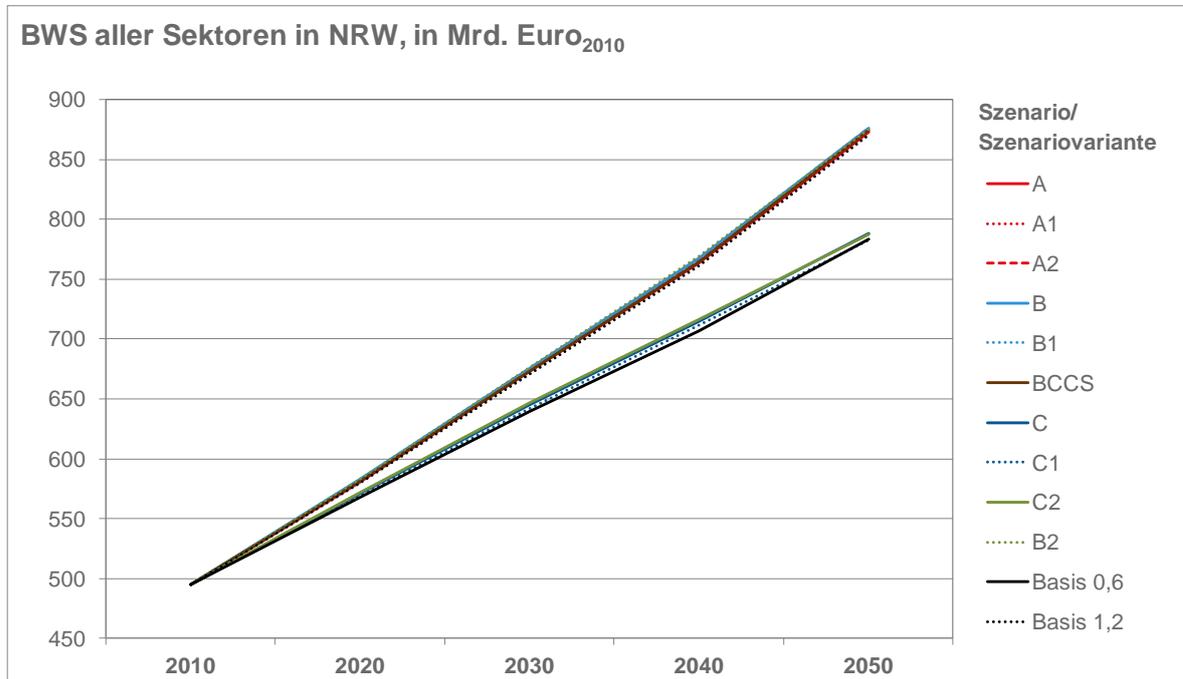
5.4 Gesamtwirtschaftliche Wirkungen

(1) Insgesamt werden verschiedene Szenarienfamilien in die Modelle eingestellt und in ihrer Wirkung untersucht. Grundsätzlich ergeben sich Aussagen zu den gesamtwirtschaftlichen Effekten durch einen Szenarienvergleich: ein Szenario des Klimaschutzplans wird mit der entsprechenden Basis verglichen, um die gesamtwirtschaftliche Wirkung anhand ausgewählter Indikatoren, wie der Bruttowertschöpfung, der gesamten Beschäftigung und der Beschäftigung einzelner Sektoren (vgl. Kapitel 5.1), abzulesen.

(2) Die C-Familie bezieht sich auf das Basisszenario 0,6, d.h. eine Basisentwicklung ohne Maßnahmen des Klimaschutzplans mit einem Industriewachstum von 0,6 %. Die Szenarienfamilien A und B beziehen sich auf ein höheres Industriewachstum und müssen somit mit dem Basisszenario 1,2 verglichen werden. Dieses unterstellt ein höheres Wachstum in der Industrie (1,2 %).

(3) Die Entwicklung der preisbereinigten („realen“) Bruttowertschöpfung in Nordrhein-Westfalen in den einzelnen Szenarien ist nachfolgend dargestellt. Wie bereits weiter oben ausgeführt, beeinflussen die Szenarien des Klimaschutzplans durch die verschiedenen Treiber den Wachstumspfad der Industrie, wie auch der gesamten regionalen Wirtschaft. Vor allem gegenüber dem niedrigen Wachstumspfad lassen sich bereits in der Absolut-Darstellung die leicht höheren Wachstumspfade erkennen.

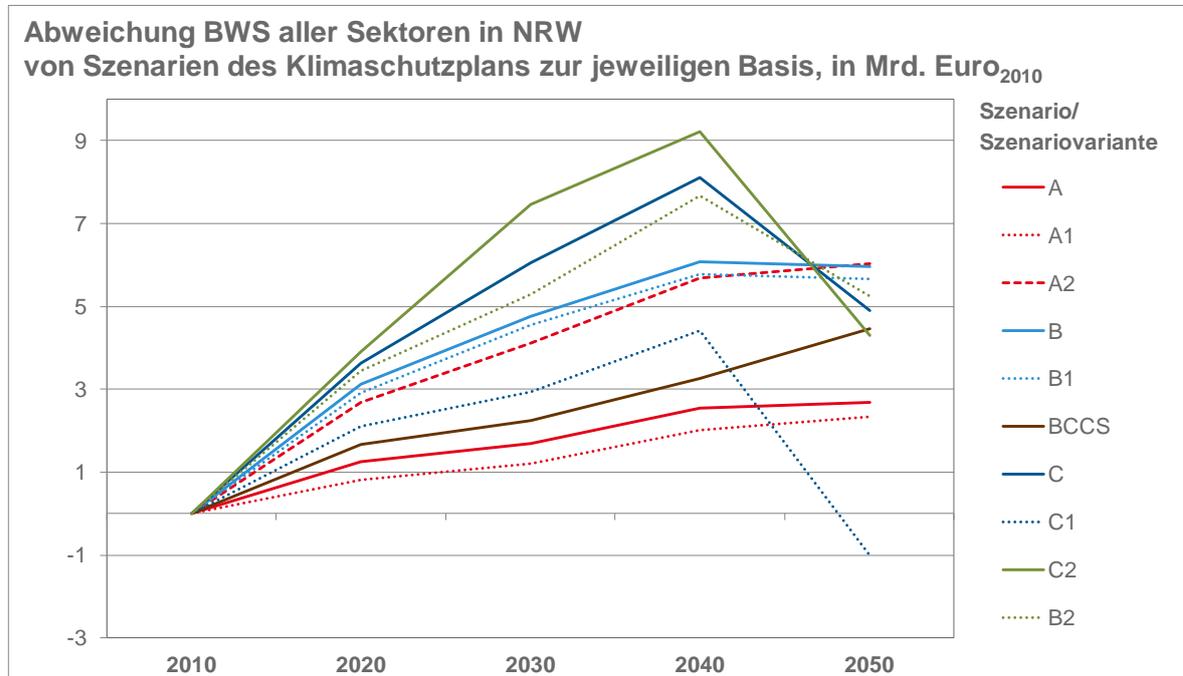
Abbildung 57: Bruttowertschöpfung real über alle Wirtschaftssektoren in NRW



Quelle: Prognos AG

(4) Betrachtet man die absolute Wirkung der Szenarien auf die Entwicklung zeigt sich einerseits, dass die Effekte der Szenarien des Klimaschutzplans im Vergleich mit der gesamten Bruttowertschöpfung in NRW gering sind. Andererseits sind Abweichungen der Szenarien C (6,1 Mrd. €), C2 (7,5 Mrd. €) und B2 (5,3 Mrd. €) im Jahr 2030 eine durchaus relevante Größenordnung. In einem der späteren Jahre sind diese Abweichungen sogar größer, allerdings sind sie auch von zunehmender Unsicherheit geprägt.

Abbildung 58: Abweichung der gesamten Bruttowertschöpfung in NRW zwischen Szenarien des Klimaschutzplans und jeweiligem Basisszenario



Quelle: Prognos AG

Wirkungen der Szenarien-Familie A und B

(5) In der A und B-Familie sind die Szenarien stark ausdifferenziert. Neben einem hohen und einem niedrigen EE-Ausbaupfad unterschieden sie sich durch unterschiedliche Annahmen zur Gebäudesanierung innerhalb einer Szenarienfamilie, durch unterschiedliche Annahmen zu den Investitionen der Industrie sowie zur Wirtschaftlichkeit von Effizienzinvestitionen zwischen den Szenarienfamilien.

(6) In der Szenariofamilie A ist das Szenario mit dem hohen EE Ausbau und einer höheren Gebäudesanierung am vorteilhaftesten. Investitionen in die Gebäudesanierung zahlen sich langfristig durch die Energieeinsparung wieder aus. Die Preise für die Industrie steigen erst am Ende des Beobachtungszeitraums deutlich, dann ist jedoch der Energieverbrauch bereits erheblich gesunken, sodass die dämpfende Preiswirkung geringer ist. Die Importe fossiler Brennstoffe entwickeln sich in A2 auf einem deutlich niedrigeren Pfad als in den Varianten A1 und A. Der Vergleich zwischen den Szenarien A und A1 illustriert im Wesentlichen den positiven Effekt zusätzlicher Gebäudesanierung, der Vergleich zwischen den Szenarien lässt vor allem Rückschlüsse auf einen höheren EE Ausbau zu. Die A-Familie weist durchgehend geringere Stromimporte auf als die entsprechende Basis.

(7) Die B-Familie folgt einer noch stärkeren Ausdifferenzierung als die A-Familie, denn sie unterstellt Low Carbon Technologien in der Industrie, die je nach Strompreis über das weiter oben beschriebene Wirtschaftlichkeitskriterium unterschiedliche Investitionen in Industrie und GHD auslösen. Darüber hinaus gibt es eine Variante, in der CCS die CO₂-Vermeidungsoptionen ergänzt. Allerdings weist das 100% EE Szenario erheblich höhere Stromimporte aus, wodurch die Wertschöpfung in der Energiewirtschaft geringer ausfällt als in der vergleichbaren Basis.

B, B2 und BCCS unterstellen dieselbe Gebäudesanierung und somit dieselben Be- und Entlastungen der Haushalte, B1 fällt hier geringer aus. B und B1 weisen den gleichmäßigsten Verlauf auf, die Bruttowertschöpfung wächst zunächst schneller als in der Basis und entwickelt sich ab ca. 2040 ähnlich allerdings auf einem deutlich höheren Pfad. Diese beiden Pfade sind die günstigsten unter Bruttowertschöpfungsgesichtspunkten im Vergleich mit dem Basisszenario mit hohem Industriewachstum.

(8) Die Wertschöpfung in den Szenarienfamilien A und B liegt stets höher als im entsprechenden Basisszenario. Die Wertschöpfung liegt im Zeitraum 2010 bis 2030 zwischen 0,2 % und 0,8 % höher als im Basisszenario. Im Zeitraum bis 2050 bleibt der Effekt positiv (durchschnittlich in den A und B-Familie 0,5 %). Absolut liegt die Wertschöpfung im Jahr 2030 zwischen 1,2 und 5,3 Mrd. € über der des Basisszenarios. Bis zum Jahr 2050 nimmt der positive Effekt noch etwas zu (max. 6,0 Mrd. €). In einer ersten Zusammenschau lässt sich somit feststellen, dass sich alle Szenarien unter Annahme eines hohen Industriewachstums positiv bis neutral auf die Wirtschaft NRWs auswirken.

Wirkungen der Szenarien-Familie C

(9) Das Szenario C ist von einem hohen Ausbau der erneuerbaren Energien gekennzeichnet, die Variante C1 von einem niedrigen und bei der Variante C2 erreichen die EE bis zum Jahr 2050 in der Stromerzeugung einen Anteil von 100 %. Daher weist C niedrigere Strompreise für die privilegierte Industrie auf, was sich günstig auf die Wirtschaftstätigkeit energieintensiver Sektoren auswirkt. C1 hingegen ist durch hohe Energiepreise, besonders aber auch durch hohe Stromimporte gekennzeichnet, denn der niedrige Ausbau der erneuerbaren Energien wird hier mit erheblichen Investitionen in die Erzeugung von Wasserstoff als Brennstoff kombiniert. Der dafür notwendige Strom wird importiert, wodurch die Umsätze in der Energieversorgung deutlich gedämpft werden.

(10) Während die Investitionen in die Gebäudeeffizienz innerhalb der C-Familie gleich sind, unterschieden sich die Szenarien bezüglich des EE-Ausbaus und der für die Industrie gewählten Effizienzinvestitionen. Letztere sind in C und C1 ähnlich, in C2 hingegen geringer. Die für den EE-Ausbau notwendigen Investitionen entwickeln sich in C und C2 bis 2030 ähnlich, danach steigen sie in C2 erheblich schneller an als in den anderen beiden Szenarien. Dies führt zu einem kräftigen Impuls, der unterstützt wird durch Einsparungen für Brennstoffe, die wiederum in C im Vergleich zur Referenz am höchsten liegen. Das C2 Szenario mit einer 100 %igen EE-Stromversorgung setzt zunehmend auf Wasserstofftechnologie als Speicher und ist daher von deutlichen Kosten für diese Technologie gekennzeichnet, die sich bremsend auf die Wertschöpfung der entsprechenden Bereiche auswirken. Hinzu kämen die Kosten der Wasserstoff-Infrastruktur im Verkehrssektor, die aber in der vorliegenden Untersuchung – wie dargestellt - nicht enthalten sind.

(11) In den Ergebnissen der Modellrechnung zeigen Szenarien C und C2 die höchsten positiven Effekte. Getrieben über die Investitionen und die Einsparungen wird im Jahr 2040 ein zusätzlicher Impuls gegenüber der Basis von bis zu 9,2 Mrd. € erzielt (Szenario C2; 1,3 % der BWS Nordrhein-Westfalens bezogen auf das Basis-szenario 0,6). Einzig das Szenario C1 mit sehr niedrigen Investitionen rutscht langfristig in einen negativen Bereich und hat im Jahr 2050 eine um 1,0 Mrd. € niedrigere Wertschöpfung als die entsprechende Basis. Letztlich entfallen in den Szenarien mit niedrigem Ausbau die für die großen Stromkunden bereits heute bedeutsamen Börsenpreiseffekte, die bei hohen EE-Einspeisungen entstehen. Im Szenario C1 kommen die dämpfenden Effekte wie höhere Preise und höhere Importe zusammen, ohne die belebenden Effekte zusätzlicher Investitionen.

5.5 Wirkungen nach Sektoren

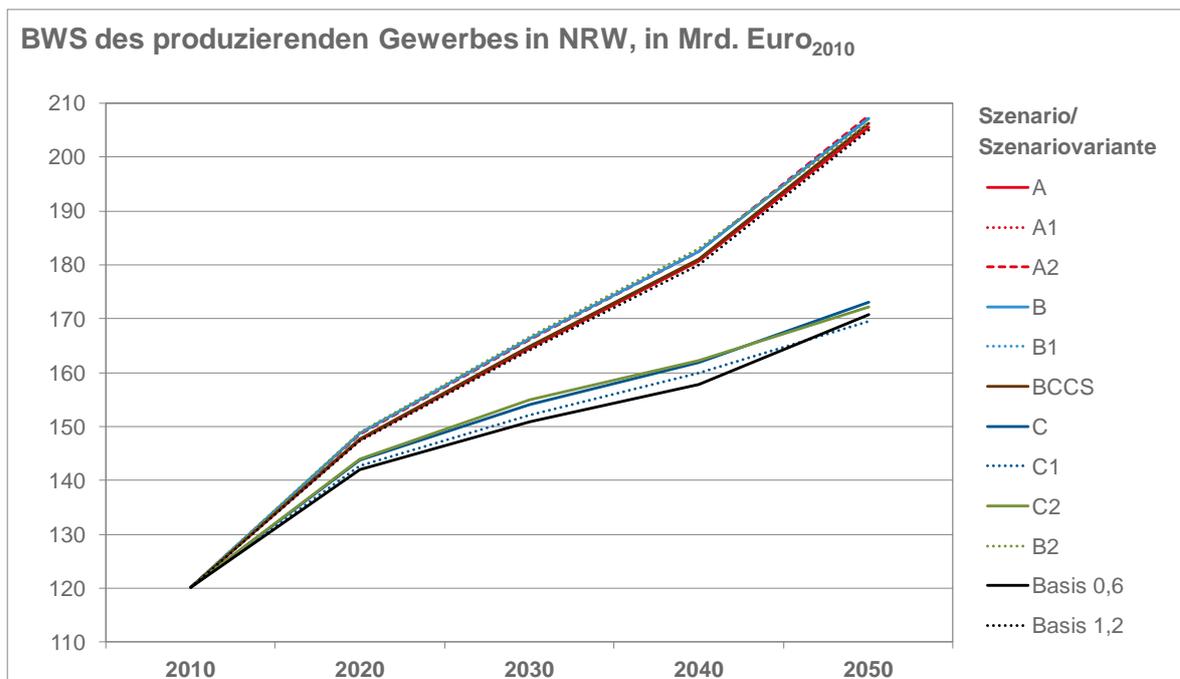
Nicht alle Sektoren reagieren in gleichem Umfang auf die Treiber aus den Szenarien des Klimaschutzplans. Die reale Bruttowertschöpfung in den einzelnen Sektoren wird nachfolgend differenziert dargestellt. Übergeordnet unterschieden wird dabei zwischen dem produzierenden Gewerbe mit der spezifischen Betrachtung der energieintensiven Branchen und den Handels- und Dienstleistungssektoren inkl. Bausektor. Stärkere sektorale Untergliederungen werden vorgenommen, wenn die Effekte aus gegenläufigen Effekten sich zusammensetzen und/oder von ihrer Größe deutlich zum Gesamteffekt beitragen.

5.5.1 Produzierendes Gewerbe

(1) Analog zur Darstellung der Gesamtwirtschaft liegt auch in der Detailbetrachtung des Produzierenden Gewerbes die Wertschöpfung in den A und B Szenarien stets höher als im dazugehörigen Basisszenario. Die positive Abweichung liegt im Jahr 2030 zwischen 0,3 % und 1,5 %. Im Zeitraum bis 2050 bleibt die Abweichung stets positiv (max. 1,3 %).

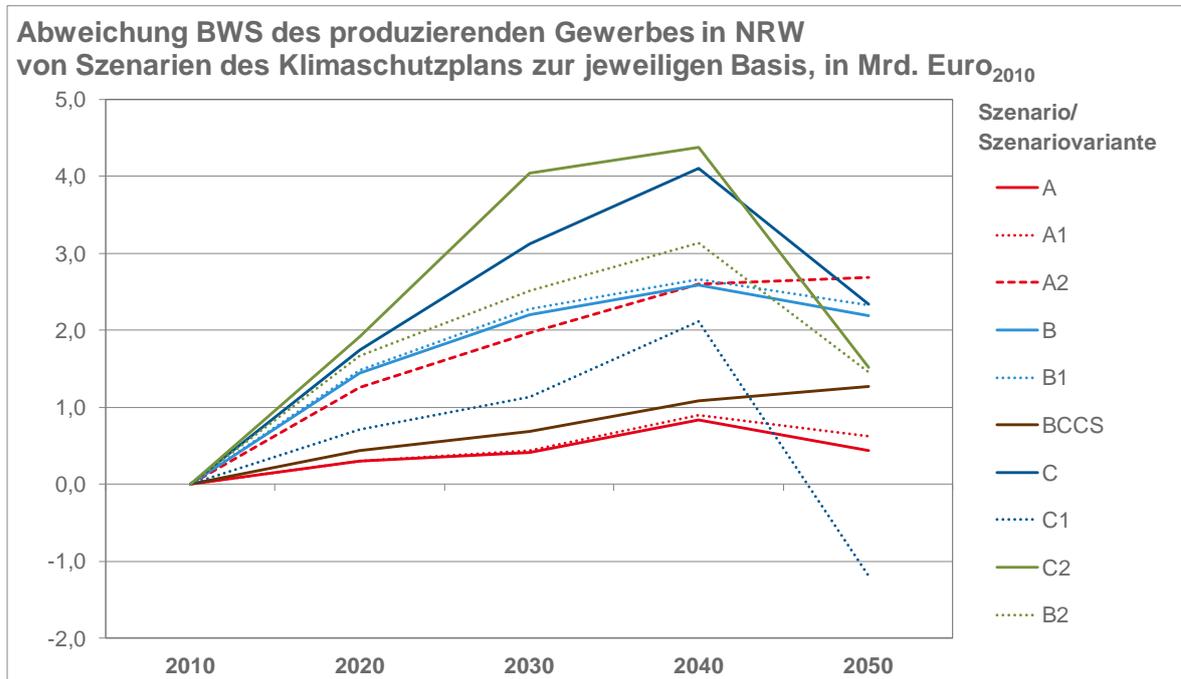
Auch die Wertschöpfung in der Szenarienfamilie C liegt meist höher als im 0,6er Basisszenario. Die positive Abweichung liegt im Zeitraum 2010 bis 2030 zwischen 0,8 % und 2,7 %. Einzig das Szenario C1 zeigt im längeren Zeitraum bis 2050 einen negativen Wert von -0,7 %.

Abbildung 59: Bruttowertschöpfung real im produzierenden Gewerbe in NRW



Quelle: Prognos AG

Abbildung 60: Abweichung Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes von der jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG

(2) Die Darstellung der Abweichung der Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes jeweils im Vergleich zum Basis-szenario zeigt einerseits, dass bis 2030 alle Szenarien positive Wertschöpfungsimpulse erzeugen. 2030 liegt die zusätzliche Wertschöpfung zwischen rund 0,4 und 3,1 Mrd. €. Die niedrigste Performance können zunächst bis 2030 die Szenarien A, A1 und BCCS erzielen.

(3) Innerhalb des Produzierenden Gewerbes zeigt eine Branchenanalyse, dass einerseits Wertschöpfungsverluste signifikant in der Branche „**CPA4 Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden**“ zu beobachten sind. Mit Verlusten zwischen 3,5 % und 6,0% in 2030 sowie zwischen 3,9 % und 11,0% in 2050 zeigt diese Branche prozentual die größten Verluste (Szenario C1: -429 Mio. € BWS).

(4) Andererseits kann bspw. der **Maschinenbau (CPA19 Maschinenbau)** nach einem anfänglich flacheren Verlauf (im Besonderen in der A-Familie) mittel und langfristig von den Ausrüstungs-investitionen in den Szenarien profitieren. 2030 liegt die zusätzliche Wertschöpfung bspw. im C Szenario 1 Mio. € BWS über der Basisentwicklung und 2050 bis zu 250 Mio. € BWS höher.

Der Maschinenbau ist einer der Branchen, die vom KSP gewinnt, indem Investitionen in Energieeffizienztechnologien und der Aus-

bau erneuerbarer Energien ausgelöst werden. Der Maschinenbau ist u. a. Technologieanbieter von Energieeffizienzprodukten und kann profitieren, da innovative Lösungen relativ attraktiver werden und ein Nachfrageanstieg zu erwarten ist⁴⁰. Eine hohe Nachfrage nach diesen Produkten (und den dazugehörigen Dienstleistungen) ermöglicht es diesen Technologieanbietern einerseits sich auf internationalen Märkten zu positionieren (Preferred Partner) und andererseits durch die Nähe zu ihren Lead Usern eine stetige Optimierung bestehender Angebote und potenziell die Entwicklung neuer Lösungen voranzutreiben⁴¹. Ebenso wirkt sich die inländische Nachfrage nach erneuerbaren Energien sowohl als direkter Wachstumstreiber als auch als Unterstützung für die Exporttätigkeit des Sektors aus. Neben Investitionen in Energieeffizienztechnologien können durch hohe Strompreise auch Anreize bzw. Impulse für die Hebung von Prozessoptimierungspotenzialen und die Generierung von Prozess- und Organisationsinnovationen ausgehen⁴². Wie die Innovationsforschung zeigt, liegen hierin bedeutende Potenziale zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.

(5) Die Energiewirtschaft ist erheblich von den Klimaszenarien beeinflusst. Zum einen wird in allen Szenarien weniger fossil erzeugter Strom erzeugt und somit auch verkauft. Der Mengenrückgang lässt sich zunächst durch die steigenden Preise kompensieren. In den Szenarien mit hohem EE-Ausbau, besonders jedoch in den Szenarien mit hohem Stromimport (C1, C2, C2) werden die Wertschöpfungsänderungen negativ und zeigen somit einen Wertschöpfungsverlust.

(6) Für die energieintensiven Branchen⁴³ sind die Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans in jeder Richtung nahezu vernachlässigbar gering. Die Preisrückgänge der Szenarien mit hohem EE Ausbau führen in der letzten Dekade zwar zu Entlastungen, insgesamt beträgt der Effekt mit weniger als einer Milliarde im Jahr 2050 eine durchschnittliche zusätzliche Wertschöpfung von 1,4 % (jeweils ohne BCCS) gemessen an der Wertschöpfung der Basis (74 Mrd. € in 2050). Der erst negative und dann positive Impuls ist im Verhältnis zur gesamten Wertschöpfung der Branche

⁴⁰Pehnt, M. Lehr, U.,Lutz, C. (2012): Volkswirtschaftliche Effekte der Energiewende: Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

⁴¹Fankhauser, Sehleier, Stern 2008: Climate change, innovation and jobs

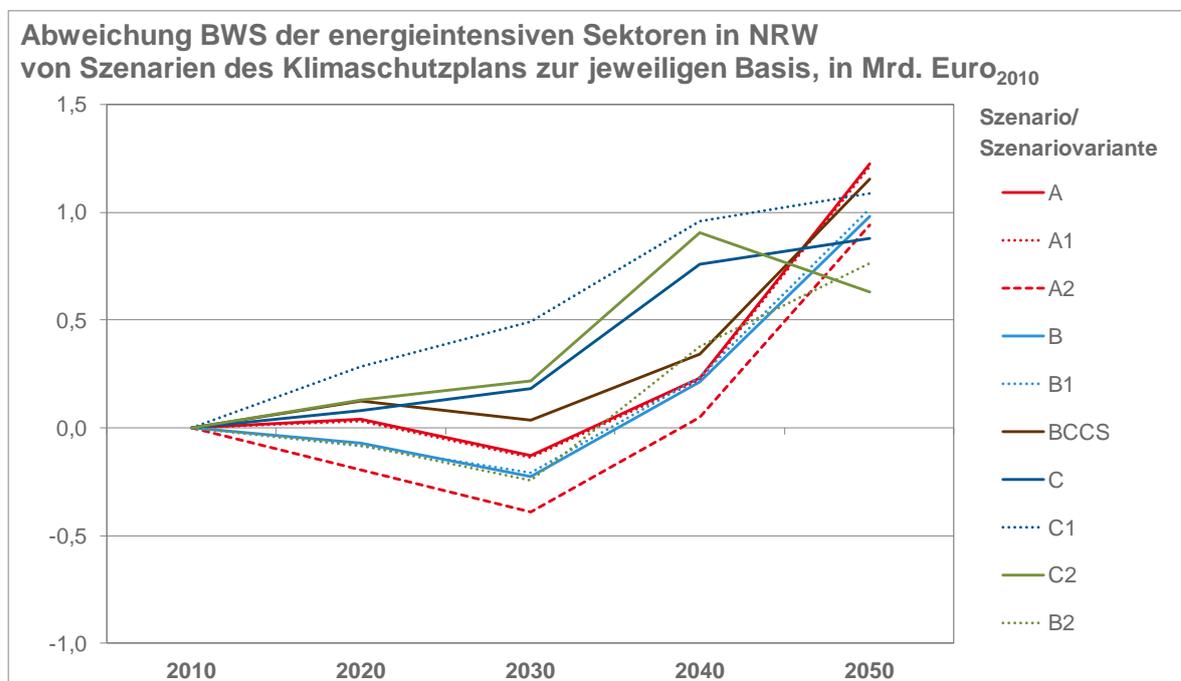
⁴²Ebda.

⁴³Der Begriff der energieintensiven Industrien ist in vielen Regelungen enthalten, eine abschließende und allgemeingültige Definition gibt es allerdings nicht. Ein Kriterium, das häufig herangezogen wird, um energieintensive Industrien zu identifizieren, ist der Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung oder am Produktionswert. In Rahmen der Summen-darstellung werden hier die Branchen CPA8 H.v. Papier, Pappe und Waren daraus, CPA10 Kokerei und Mineralölverarbeitung, CPA11 H.v. chemischen Erzeugnissen, CPA14 H.v. Glas, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden, CPA15 Metallerzeugung und -bearbeitung, CPA16 H.v. Metallerzeugnissen dargestellt.

somit als sehr klein einzuschätzen bzw. die Entwicklung der Wertschöpfung wird von anderen Determinanten als dem Klimaschutzplan weit intensiver beeinflusst.

Innerhalb dieser eher geringen Bandbreite schneidet das C1 Szenario oberhalb der Null-Linie ab, da die Energiepreise in diesem Szenario unter den Preisen des Basisszenarios liegen und geringe Ausgaben für Effizienzinvestitionen getätigt werden. Diese Entwicklung flacht später ab, wenn die preisdämpfende Wirkung des EE-Ausbaus in der langen Frist unterbleibt und die Preise sich denen des Basisszenarios angleichen.

Abbildung 61: Abweichung Bruttowertschöpfung energieintensive Sektoren von der jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG

(7) Eine weitere Branchendifferenzierung innerhalb der energieintensiven Industrien zeigt, dass bspw. **die Chemische Industrie und auch die Branche Kokerei und Mineralölverarbeitung** besonders in den A und B Szenarien bis 2030 Verluste bis zu 5 % (Kokerei und Mineralölverarbeitung Szenario A2 2030; -160 Mio. € BWS) zu verzeichnen sind (siehe hierzu Kapitel 11). Langfristig drehen diese negativen Anfangsimpulse aber in den positiven Bereich (Chemische Industrie Szenario B 2050; +470 Mio. € BWS).

Die Metallbranchen (hier CPA15 Metallerzeugung und -bearbeitung) generieren über den gesamten Zeitraum leichte positive Wertschöpfungsimpulse. Im näheren Zeitraum bis 2030 sind es zwischen 0,2 % und 1,2 % und in der längeren Perspektive bis

zum Jahr 2050 zwischen 1,0 % und 2,5 % zusätzliche Wertschöpfung (Szenario C 2050; +400 Mio. € BWS).

Die weiteren energieintensiven Branchen **CPA8 H.v. Papier, Pappe und Waren daraus, CPA10 Kokerei und Mineralölverarbeitung, CPA14 H.v. Glas, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden, CPA16 H.v. Metallzeugnissen** vervollständigen das Bild, in dem eine niedrigere BWS Entwicklung bis 2030 in der längeren Perspektive dynamisiert.

(8) In den einzelnen Szenarien und Branchen kann diese Übergangsphase strukturell erhebliche Herausforderungen nach sich ziehen. Die höheren Strompreise bedingen als zentraler Treiber zusätzliche Kosten und führen in der Folge – ohne Investitionen in eine höhere Energieeffizienz – zu höheren Stückkosten. In preissensitiven Märkten und Märkten mit einem hohen internationalen Wettbewerbsdruck führt u. a. gemäß der Einschätzung DIHK 2013 kurzfristig zu einer Schwächung der Absatzpotenziale und einer negativen Wirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit dieser Wirtschaftszweige zu erwarten.

Investitionen in Energieeffizienz sind eine mögliche Antwort auf steigende Energiekosten. Insgesamt können diese unter Annahme begrenzter Unternehmensressourcen, zu Verdrängungseffekten anderer notwendiger produktivitätsbezogener Investitionen führen (Opportunitätskosten). Insbesondere Technologien mit hohen Wirkungsgraden sind gegenwertig mit hohen Investitionen verbunden. Unter diesen Verdrängungs- oder Crowding-Out-Effekten kann die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leiden. Dem gegenüber steht eine mögliche Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit, wenn die Umstellung auf effizientere Verfahren gelingt, insbesondere, wenn sich der Preisdruck auch global entwickelt.

Die Statistik der letzten Jahre belegt allerdings, dass gerade die energieintensiven Branchen spürbar weniger in den Erhalt ihrer Fertigungsanlagen investieren. Seit Mitte der 1990er Jahre waren die Nettoanlageinvestitionen der energieintensiven Industriezweige lediglich in zwei Jahren positiv⁴⁴. Näheres hierzu findet sich in Kapitel 11.

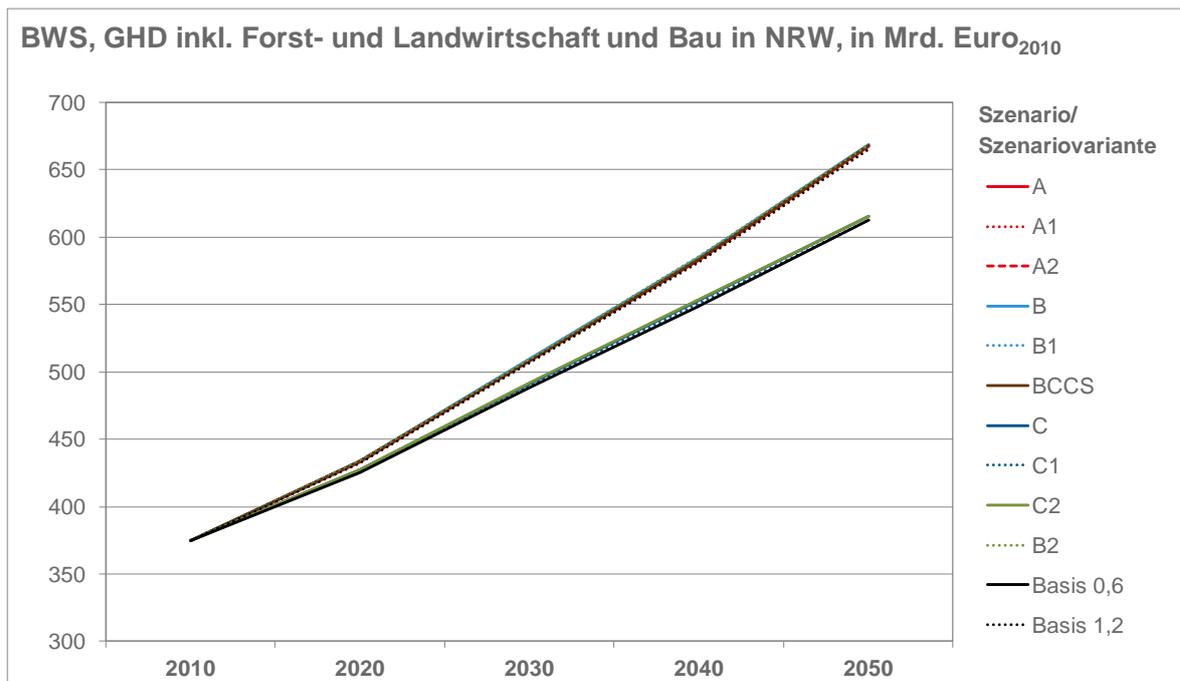
5.5.2 Handel, Dienstleistungen und Bau

(1) Die Bruttowertschöpfung in den Handels- und Dienstleistungssektoren verläuft in den Jahren bis 2050 sehr positiv. Die unternehmensnahen Dienstleistungen hängen in ihrer Entwicklung

⁴⁴Vgl. Bardt (IW Köln) 2014: Erhöhung der EEG-Kosten als Investitionshemmnis für stromintensive Unternehmen, sowie Folkerts-Landau (DB Research), 2013 Energiewende 2.0 – Wettbewerbsfähigkeit nicht riskieren

am produzierenden Gewerbe. Auch die Transportleistungen wachsen mit der steigenden Wertschöpfung der Sektoren des produzierenden Gewerbes. Dieser allgemeine Trend wird durch die folgende Abbildung verdeutlicht.

Abbildung 62: Bruttowertschöpfung real im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

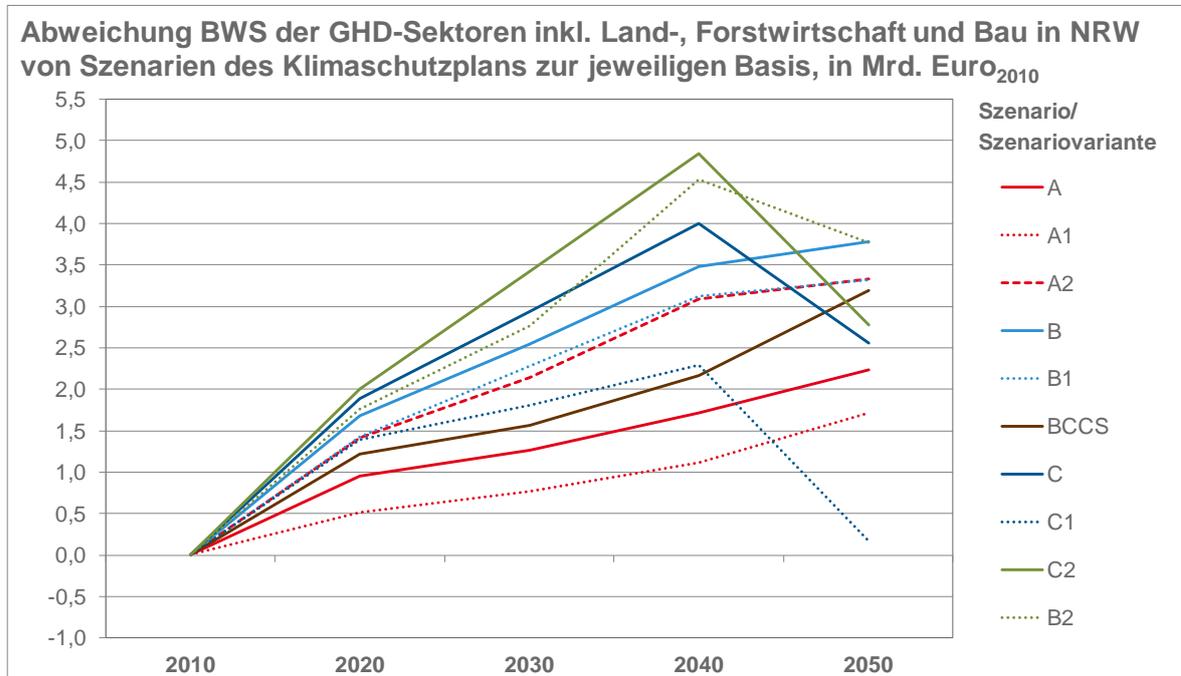


Quelle: Prognos AG

Analog zur den vorherigen Darstellungen liegen auch in dieser Detailbetrachtung die A und B Szenarien stets höher als das dazugehörige Basisszenario 1,2.

(2) Die nachfolgende Abbildung zeigt die Veränderung in der Bruttowertschöpfung in den einzelnen Szenarien der Handels- und Dienstleistungssektoren sowie Bau und Land- und Forstwirtschaft. Die Szenarien-Familie B erzielt durchgängig eine höhere Bruttowertschöpfung. Das Szenario B2 weist im Maximum 2040 ein Plus von 4,5 Mrd. € auf. Die Szenarien mit dem höheren Wirtschaftswachstum in der Industrie von 1,2 differenzieren sich über die Bauinvestitionen und den EE-Ausbaupfad aus. Die Szenarien mit hohen Bauinvestitionen entfernen sich anfangs von ihrer jeweiligen Basis deutlicher. Ersichtlich ist dann aber auch der später wirkenden Preiseffekt in diesen Szenarien.

Abbildung 63: Abweichung Bruttowertschöpfung in den Handels- und Dienstleistungssektoren von der jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG

(3) Auffallend auch in der Darstellung der Abweichungen ist die durchgängig positive Wirkung (Ausnahme Szenario C1) auf die Dienstleistungsbranchen. Die Szenarien erzielen hier positive Wertschöpfungsimpulse, bspw. im Jahr 2030 in den A und B Szenarien von durchschnittlich 1,9 Mrd. € (in den C-Szenarien durchschnittlich 2,7 Mrd. €). Auf lange Sicht verändern sich die Familien zueinander. In 2050 liegen die A und B Szenarien bei durchschnittlich 3,1 Mrd. €, hingegen können die C-Szenarien nur noch einen durchschnittlichen Impuls gegenüber der Basis von 1,8 Mrd. € erzielen.

(4) Eine weitere Branchendifferenzierung innerhalb des GHD Sektors zeigt, dass der Bausektor am stärksten in der Bruttowertschöpfungsentwicklung profitiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Investitionen in die Gebäudesanierung ebenso in zusätzlicher Bautätigkeit niederschlagen, wie der Ausbau erneuerbarer Energien, der mit umfangreichen Bauleistungen verbunden ist. Bezogen auf die Basisszenarien erzielt das Szenario B2 im Jahr 2030 eine zusätzliche Wertschöpfung von 5,4 % (1,4 Mrd. €) und in 2050 eine zusätzliche Wertschöpfung von 8 % (2,4 Mrd. €).

Daneben zeigt sich auf relativ niedrigem Niveau, dass auch im Dienstleistungsbereich einige Branchen wie bspw. „CPA46 Architektur- u. Ing.-Büros; techn. Untersuchung“ oder „CPA47 For-

schung und Entwicklung“ profitieren können, während anderen wie bspw. die Öffentliche Verwaltung (CPA54 Öff. Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung) nur sehr geringe oder leichte Einbußen verzeichnen.

5.6 Gesamtwirtschaftliche Effekte bei alternativer Mittelverwendung?

(1) Im Rahmen der Diskussion gesamtwirtschaftlicher Effekte der Szenarien des Klimaschutzplans wird häufig die Frage nach den gesamtwirtschaftlichen Effekten bei alternativer Mittelverwendung unter dem Stichwort der „**Opportunitätskosten** des Klimaschutzplans“ gestellt. Hierunter verstehen die Wirtschaftswissenschaften entgangene Beiträge einer nicht gewählten Handlung. Für die Bewertung einer Investitionen stellt sich in diesem Zusammenhang oftmals die Frage, welche Effekte mit der Investition in einen anderen Wirtschaftsbereich verbunden wären und ob diese in ähnlicher Höhe abschätzbar sind.

(2) Diese Frage geht **weit über den Umfang einer Impactanalyse hinaus**. Die Impactanalyse beantwortet die Frage, welche Effekte mit einem Szenario des Klimaschutzplans im Vergleich zu einem Basisszenario oder einem anderen Szenario des Klimaschutzplans verbunden sind. Die Frage, ob man Klimaschutz machen möchte oder ein anderes Investitionsprogramm auflegen sollte, sollte hierzu bereits positiv für den Klimaschutz beantwortet sein.

(3) Allerdings enthält die Impactanalyse durch den Szenarienvergleich eine **Bewertung alternativer Investitionspfade** in den **Basisszenarien** und den Szenarien des Klimaschutzplans. So werden in den Basisszenarien Investitionen in den fossilen Kraftwerkspark vorgenommen, die in den Szenarien des Klimaschutzplans nicht in demselben zeitlichen Verlauf und Umfang anfallen. Zur Zusätzlichkeit dieser Investitionen ist in allen Szenarien eine ähnliche Unterstützung von Maßnahmen etwa durch zinsgünstige Kredite und Zuschüsse unterstellt wie sie heute vorliegt. Dies bedeutet, dass die Investitionen zu einem Teil als zusätzlich betrachtet werden und zu einem Teil andere Verwendungszwecke verdrängen. Da die Szenarien des Klimaschutzplans hier keine jeweils eigenen Mechanismen unterstellen, wurde der beschriebene Ansatz gewählt.

(4) Der Blick auf spezifische **Unternehmen** in den betroffenen Wirtschaftszweigen kann nicht modellhaft abgebildet werden. Der Zusammenhang, der auch im Kapitel 11 dargestellt ist, besteht für

die Unternehmen u. a. darin, dass ab einem gewissen Schwellenwert der branchenspezifischen Energiekosten (Preiselastizität) zur Kompensation der Preissteigerungen überproportional in Energieeffizienz investiert werden muss. Unter Annahme begrenzter Unternehmensressourcen kann dies zu Verdrängungseffekten anderer Investitionen führen.

(5) Unternehmen, die frühzeitig in energieeffizientere Prozesse investieren können frühzeitig eingesparte Energiekosten realisieren und gewinnen an Wettbewerbsfähigkeit sofern Energiekosten auch bei den Wettbewerbern zunehmen.

5.7 Gesamtergebnis gesamtwirtschaftliche Effekte

(1) Bei der Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Effekte ist zu berücksichtigen, dass deutliche Veränderungen bei Investitionen insgesamt auftreten, sich die **Unterschiede** zwischen den **Szenarien** der einzelnen Familien und der zugehörigen Basis in einzelnen Jahren aber in Grenzen halten. Stärkere Effekte bei Energiepreisen treten zwischen einzelnen Szenarien erst zum Ende des Betrachtungszeitraums auf, sind aber insgesamt weder drastisch noch abrupt. Da bis zum Jahr 2050 zum einen auch das allgemeine Preisniveau deutlich gestiegen ist und zum anderen die Energieintensität (Energieeinsatz bezogen auf die Wertschöpfung) in allen Bereichen deutlich niedriger liegt als heute, sind auch die durch die Kostensteigerungen ausgelösten Effekte begrenzt.

(2) Berücksichtigt man die laufende wirtschaftliche Entwicklung, so erzeugen die Szenarien eine zusätzliche Veränderung der **Bruttowertschöpfung** von 1,2 % (2030). D. h. die Szenarien des Klimaschutzplans beeinflussen die Wirtschaft des Landes nicht negativ, vielmehr ist in Summe ein leicht positiver Effekt zu beobachten.

(3) Die Szenarien des Klimaschutzplans bilden verstärkte Anstrengungen ausgehend von auch bundesweit bereits eingeschlagenen Pfaden ab. Preise und Energiekosten können sich daher **allmählich anpassen** und entwickeln sich in einem von langjährig steigenden Energiepreisen geprägten Umfeld.

Die eingesetzten Modelle simulieren **stetige Übergänge** und unterstellen keine abrupten Sprünge oder Technologiewechsel, ebenso wenig wie Fehlinvestitionen oder sunk costs. Vor diesem Hintergrund bewirken die Szenarien des Klimaschutzplans auch eher moderate gleichmäßige Anpassungsreaktionen.

(4) Die erheblichen Investitionseffekte wie auch die Kostensteigerungen führen zu einer Beschleunigung eines Transformationsprozesses hin zu einer noch energieeffizienten Wirtschaft. In der Verbindung mit verstärkten allgemeinen Innovationsentwicklungen, lassen die Modellierungen erwarten, dass sich die nordrhein-westfälische Wirtschaft schneller und in der Richtung leicht positiver entwickelt, als ohne Klimaschutzplan.

Tabelle 35: Gesamtergebnis gesamtwirtschaftliche Effekte

Impact Gesamtwirtschaft	Abweichung BWS alle Sektoren in NRW		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	o		
Szenario A1	o	o		
Szenario A2	+	+		
Szenario B	+	+		
Szenario B1	+	+		
Szenario B2	+	+		
Szenario BCCS	o	+		
Szenario C	+	+		
Szenario C1	o	-		
Szenario C2	+	+		

Legende:

- ++** = deutlich positive Wirkung gegenüber Basis,
- +** = positive Wirkung gegenüber Basis,
- o** = neutral, vernachlässigbare Wirkung gegenüber Basis,
- = negative Wirkung gegenüber Basis
- = deutlich negative Wirkung gegenüber Basis

6 Beschäftigungseffekte

6.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

(1) Klimaschutz und Energiewende gelten bereits aktuell als **bedeutende Determinanten der Beschäftigung**. Einerseits bezieht sich dies auf die quantitativen Wirkungen bzw. die Anzahl von Beschäftigungsverhältnissen und ihre jeweilige branchenbezogene und regionale Verortung. Im Bereich der Betrachtung der Bruttoeffekte liegen hier bereits vielfältige Auswertungen, auch auf Bundesländerebene, vor. Die Ermittlung von Nettoeffekten können nur über komplexe Modellierungen erstellt werden. Andererseits entstehen durch den Klimaschutz spezifische Qualifikationsveränderungen über die in Form von Sekundäranalysen Informationen generiert werden können.

(2) Die Untersuchungen in diesem Kapitel verfolgen das **Ziel**, den Impactbereich Beschäftigung abzubilden, so dass dargestellt werden kann, wie sich die Beschäftigung in NRW durch den Klimaschutzplan verändern wird. Unterschieden werden hier quantitative Aussagen, die aus der gesamtwirtschaftlichen Modellierung abgeleitet werden können (siehe hierzu Methodenteil im Kapitel Gesamtwirtschaftliche Effekte), von qualitativen Informationen, die der Sekundärliteratur entnommen werden. Im quantitativen Bereich werden dabei wie in den anderen Impactbereichen wiederum die Differenzen zwischen dem jeweils passenden Basisszenario und den einzelnen Szenarien des Klimaschutzplans abgebildet.

6.2 Quantitative Beschäftigungseffekte

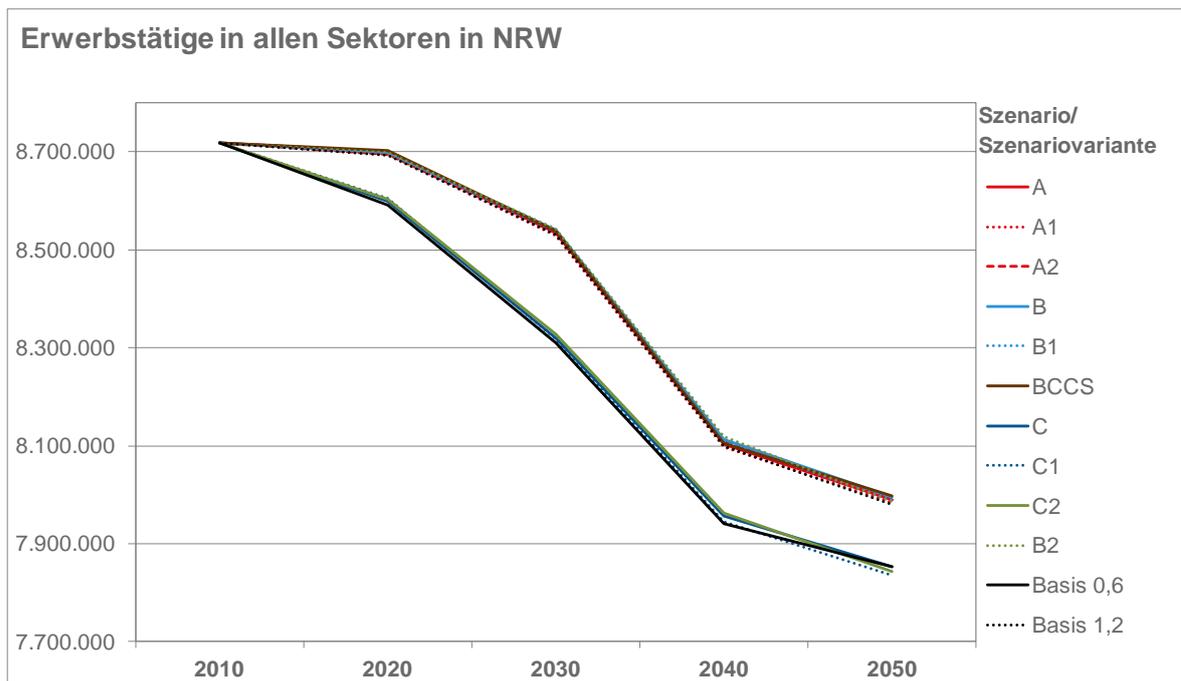
(1) Die Beschäftigungseffekte leiten sich aus den Ergebnissen der Wertschöpfungsrechnung ab. Ausgehend von der heutigen Produktivität (Wertschöpfung je Erwerbstätigen) nach Branchen in den Kreisen in NRW, wird diese in Anlehnung an die Produktivität auf der Bundesebene bis 2050 entwickelt. Das bedeutet, dass im Ergebnis eine allgemeine Produktivitätsentwicklung unabhängig von den Szenarien berücksichtigt ist. Die Abweichung der Erwerbstätigen zur jeweiligen Basisentwicklung ist dann Ergebnis der Szenarien des Klimaschutzplans unter Berücksichtigung einer allgemeinen Produktivitätsentwicklung.

Gesamtwirtschaftliche Beschäftigungseffekte

(2) Die beschriebene Methodik zur Ableitung der quantitativen Beschäftigungseffekte belegt die **enge Bindung der Beschäftigung** an die Entwicklung der **Bruttowertschöpfung**. Zudem muss eingangs betont werden, dass die demographisch bedingte Entwicklung der Beschäftigung der dominierende Trend ist. Die nachfolgende Grafik zeigt die Entwicklung von rund 8,7 Mio. Beschäftigten in NRW im Jahr auf unter 8 Mio. Beschäftigten je Szenario. Dieser Rückgang von rund 740.000 bzw. 860.000 Erwerbstätigen ist bedingt durch den demographischen Wandel und gänzlich unabhängig vom Klimaschutzplan NRW. Rückschlüsse auf etwaige Veränderungen der Beschäftigungsquote sind hieraus nicht möglich, da die Entwicklung des Erwerbspersonenpotenzials nicht untersucht wurde.

Die Darstellung zeigt vor allem, dass die jeweils vergleichbaren Szenarien sehr eng beieinander liegen und die klimaschutzbedingten Unterschiede über alle Sektoren gering sind.

Abbildung 64: Beschäftigungseffekte über alle Sektoren



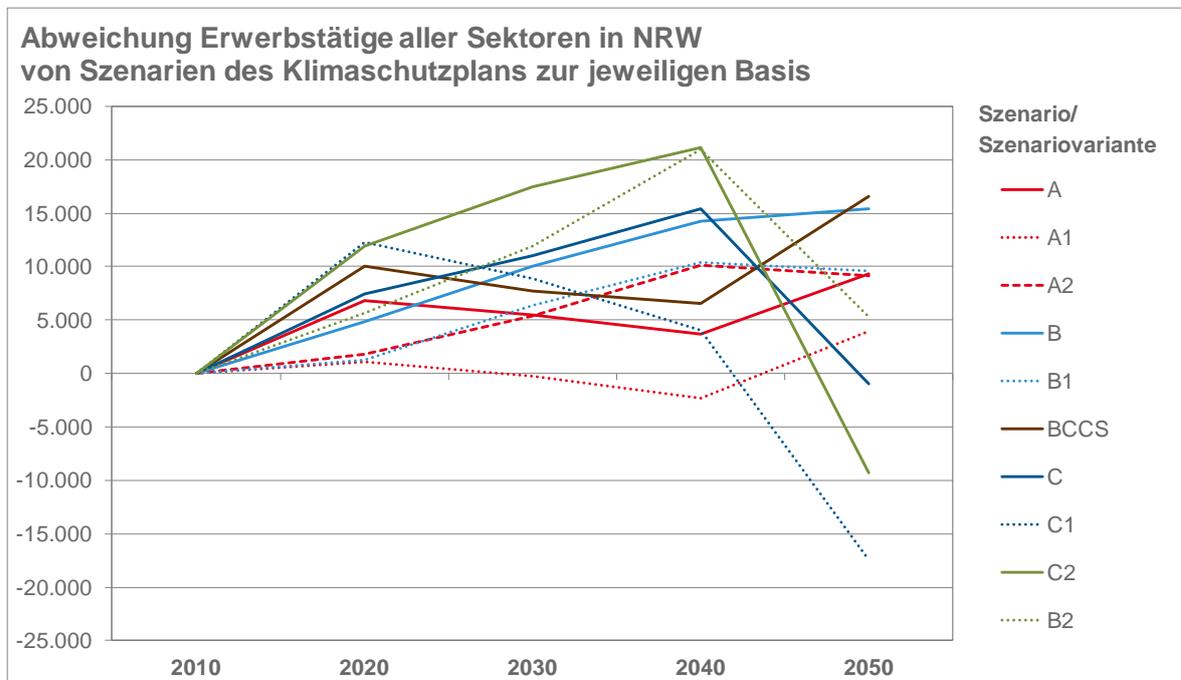
Quelle: Prognos AG

(3) Betrachtet man die **einzelnen Szenarien** im Vergleich zum jeweiligen Basisszenario werden Unterschiede deutlich. Die maximale Abweichung zeigt sich im Szenario C2 bis 2030 mit einer positive Abweichung von 17.500 Beschäftigten. Die maximale negative Abweichung liegt im Jahr 2030 in Szenario A1 bei minus 250 Beschäftigten. Bezogen auf die jeweilige Basis von 8,530 Mio. Erwerbstätigen im Basisszenario 1,2 und 8,309 Mio. Erwerbstätigen

im Basisszenario 0,6 ist dies im Durchschnitt ein Plus von 0,10 %. Im unsicheren Bereich von 2030 bis 2050 fallen die Szenarien der C-Familie stärker ab, positiver verlaufen die B-Szenarien. Die A-Familie zeigt die geringste Abweichung von der Basis und schwankt um die Nulllinie, da hier auch die geringsten Investitionen getätigt werden.

Wesentliche Treiber für diese Entwicklungen sind die Investitionen auf der einen und die Preisentwicklung aufgrund der Klimaschutzpolitik auf der anderen Seite. So resultieren in den Szenarien mit einem hohen Bauinvestitionsvolumen und einem zugleich hohen Zubau an erneuerbaren Energien (B2, C2) auch die stärksten Abweichungen von der jeweiligen Basis.

Abbildung 65: Abweichung Erwerbstätige aller Sektoren in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis



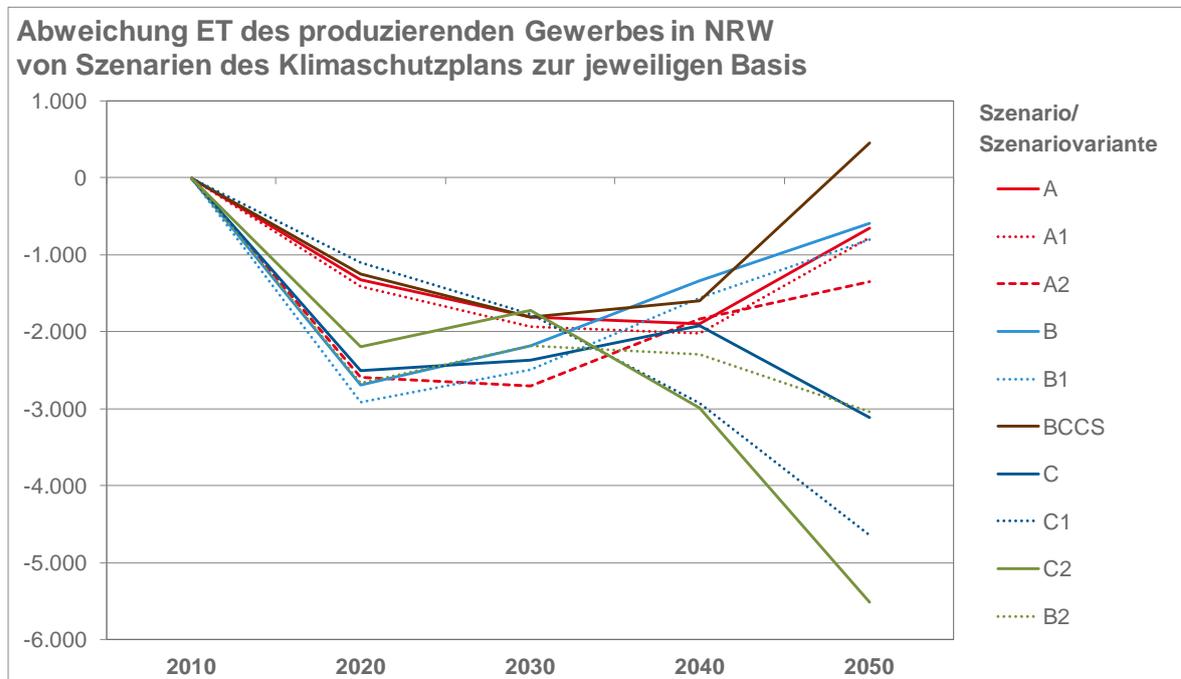
Quelle: Prognos AG

(4) Die Entwicklung der Erwerbstätigen in den einzelnen **Sektoren** wird nachfolgend differenziert dargestellt. Unterschieden wird dabei zwischen dem

- produzierenden Gewerbe mit der spezifischen Betrachtung der energieintensiven Branchen und
- den Handels- und Dienstleistungssektoren.

Produzierendes Gewerbe und energieintensive Branchen

Abbildung 66: Abweichung Erwerbstätige im Produzierenden Gewerbe in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG

(5) Das **produzierenden Gewerbe** weist in der Tendenz in allen Szenarien eine leicht negative Abweichung von der jeweiligen Basis auf. Dabei beträgt die höchste negative Abweichung bis zum Jahr 2030 aber lediglich rund 2.700 Beschäftigte im Szenario A2. Bezogen auf die jeweilige Basis von 1,3 Mio. Erwerbstätige im Basisszenario 1,2 und 1,25 Mio. Erwerbstätige im Basisszenario 0,6 ist dies im Durchschnitt ein Minus von -0,16 %.

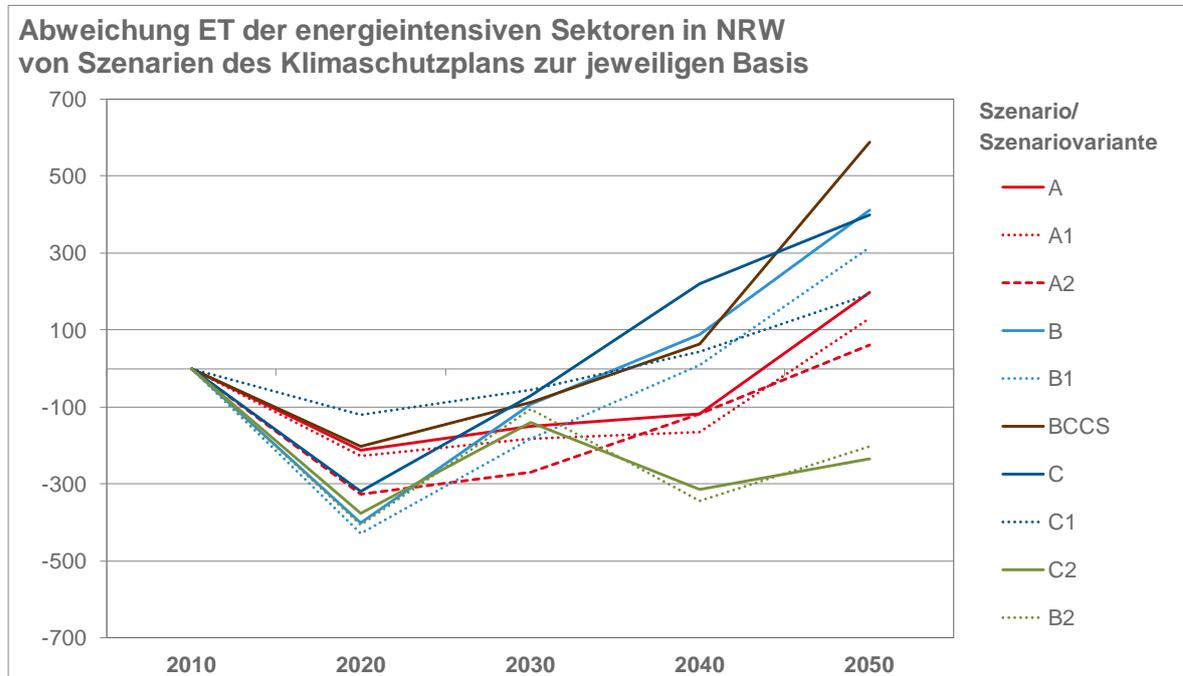
Wie bereits beschrieben, wirken auch hier sowohl positive als auch negative Effekte. Positive Effekte resultieren aus dem Investitionsimpuls des Klimaschutzplans. Negativ wirken die steigenden Strompreise infolge des Ausbaus erneuerbarer Energien und die Effizienzmaßnahmen, die sich in steigenden Kosten niederschlagen. Die ungünstige Entwicklung in der **ersten Dekade** gegenüber der Basis erklärt sich folgenermaßen: Die Effizienzmaßnahmen der Industrie führen zunächst zu Belastungen, die langfristig wieder eingespielt werden (siehe Kapitel 5.3: Beschreibung Methode der anlegbaren Kosten). In den Szenarien mit geringen Strompreissteigerungen und / oder höheren Sanierungsraten, vollzieht sich im produzierenden Gewerbe dann wieder eine Annäherung an die Basisentwicklung.

(6) Innerhalb des Produzierenden Gewerbes zeigt eine Branchenanalyse, dass Beschäftigungsverluste signifikant in der traditionellen Energiewirtschaft „**CPA24 Energieversorgung**“ zu beobachten sind. Mit Verlusten zwischen 2,8 % und 4,6 % in 2030 sowie zwischen 3,8 % und 14,4 % in 2050 zeigt diese Branche prozentual die größten Verluste. In absoluten Werten sind dies durchschnittlich 1850 Beschäftigte in 2030 und 2700 Beschäftigte in 2050. Hinzu kommt, dass diese Verluste regional gehäuft auftreten, so dass daraus regional erhebliche Herausforderungen (Transfer, Qualifizierung, Vermittlung) entstehen. Im Bezug auf die Beschäftigungswirkungen der gesamten Energiewirtschaft inkl. der erneuerbaren Energien muss betont werden, dass dort zusätzliche Arbeitsplätze bspw. im Maschinenbau und in den Elektrobranchen entstehen, die jedoch nicht in der „Energieversorgung“ verortet sind (Systematik der Wirtschaftsklassifikation).

Die weiteren Branchen des produzierenden Gewerbes (hier ohne die energieintensiven Industrien) zeigen Effekte von rund 100 Beschäftigten. Die Ungenauigkeiten einer Langfristentwicklung verbieten es an dieser Stelle, spezifische Effekte auf dieser kleinen Größenordnung zu diskutieren. Wie bereits im Teil der Gesamtwirtschaft beschrieben ist der Maschinenbau ist einer der Branchen, die profitieren kann, wenn Energieeffizienztechnologien (BAT, LC) vermehrt eingesetzt werden.

(7) Die Beschäftigungseffekte in den **energieintensiven Branchen** in NRW sind insgesamt ebenfalls gering. Auch wenn die Szenarien bis 2030 in der Grafik leichte Beschäftigungseinbußen verzeichnen, so zeigt die Größenordnung jedoch, dass es sich nur um maximal 270 Beschäftigte handelt. Auf lange Sicht zeigen alle Szenarien eine positivere Entwicklung.

Abbildung 67: Abweichung Erwerbstätige in den energieintensiven Branchen in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG

(8) Eine weitere Branchendifferenzierung innerhalb der energieintensiven Industrien zeigt, dass bspw. **die Chemische Industrie** bis 2030 Verluste bis zu 0,3 % (220 Erwerbstätige) zu verzeichnen hat. Langfristig liegt der maximale Verlust in gleicher Größenordnung.

Die **Metallbranchen** (hier CPA15 Metallerzeugung und -bearbeitung und CPA16 H.v. Metallerzeugnissen) generieren zusammen über den gesamten Zeitraum leichte negative Wirkungen, wobei aufgrund von Produktivitätsfortschritten und in Anlehnung an die Wertschöpfungsentwicklung, die Herstellung von Metallerzeugnissen mehr Erwerbstätige verliert. Die **weiteren energieintensiven Branchen** CPA8 H.v. Papier, Pappe und Waren daraus, CPA10 Kokerei und Mineralölverarbeitung, und CPA14 H.v. Glas, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden zeigen ebenfalls keine nennenswerten Beschäftigungseffekte.

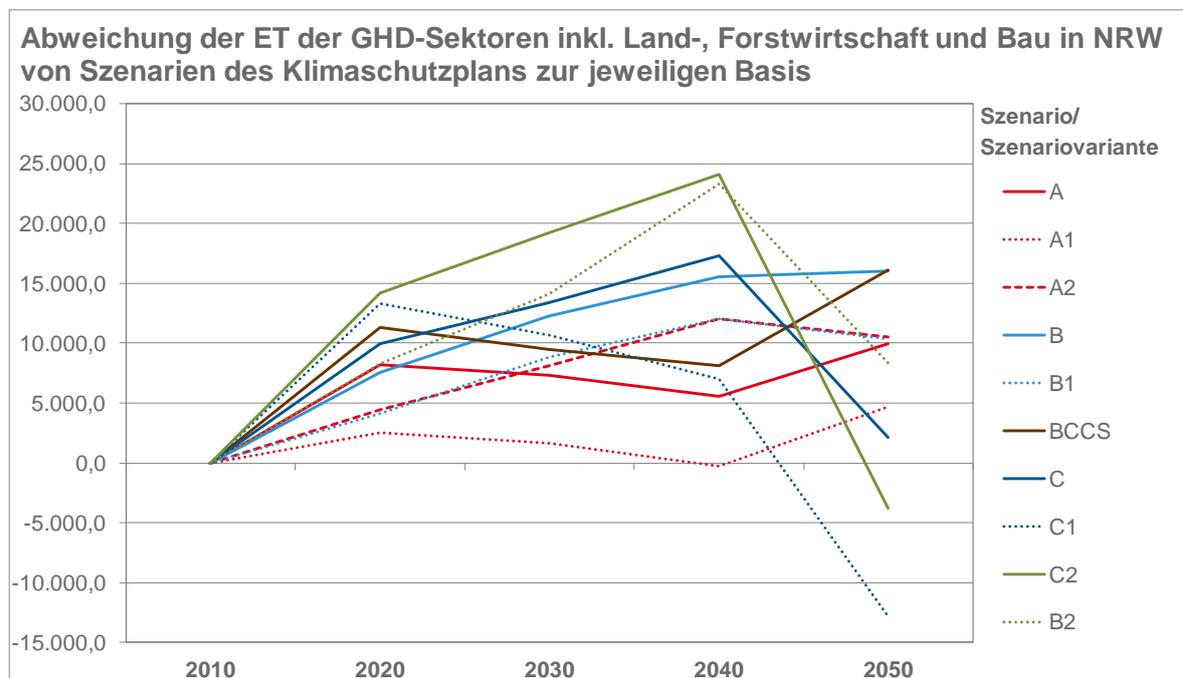
(9) Dem Zusammenhang der kurzfristigen Wettbewerbsfähigkeit der energieintensiven Branchen in NRW wird nachfolgend ein eigenes Kapitel gewidmet. Auch die Beschäftigungssituation hängt von Bewältigung der Herausforderung ab, die Standortbedingungen auch jenseits der Wirkungen des KSPs politisch so zu gestalten, dass einer Deindustrialisierung in NRW entgegengewirkt wird.

Handels- und Dienstleistungssektoren sowie Bauwirtschaft

(10) Die Effekte der Beschäftigung in den Handels- und Dienstleistungssektoren sowie im Bau und der Land- und Forstwirtschaft sind hingegen weit größer und positiv. Die Szenarienfamilien B und C generieren bis 2030 zwischen rund 9.000 und 19.000 zusätzliche Beschäftigte. In den A-Szenarien schwanken die Effekte und bleiben mit durchschnittlich 5.700 Beschäftigten geringer. Bezogen auf die jeweilige Basis von 7,218 Mio. Erwerbstätigen im Basisszenario 1,2 und 7,058 Mio. Erwerbstätigen im Basisszenario 0,6 ist dies im Durchschnitt ein Plus von +0,15 %.

Insgesamt profitieren die bauaffinen Dienstleistungen stärker als diejenigen, die über andere Konsumzweige gestützt werden. In diesem Zusammenhang muss nochmals angemerkt werden, dass vor dem Hintergrund des Arbeitskräfterrückgangs (demographische Entwicklung) das erhöhte Industriewachstum in den 1,2er Szenarien die Dienstleistungsentwicklung in den nicht baubezogenen Bereichen hemmt bzw. dort über höhere Produktivitätsfortschritte geprägt wird (siehe Erläuterungen zu den Szenarien).

Abbildung 68: Abweichung Erwerbstätige in den Handels- und Dienstleistungssektoren in NRW im Vergleich zur jeweiligen Basis



Quelle: Prognos AG
 ET: Erwerbstätige, GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

(11) Der Bausektor ist der treibende Sektor mit durchschnittlich über die B und C Szenarien +3 % bezogen auf die jeweilige Basis (+12.500 von 411.000 (Base 1,2) bzw. 405.000 (Base 0,6) Er-

werbstätige). Im Maximum des Szenarios C2 sind dies 15.700 Erwerbstätige (3,9 %) im Jahr 2030. Die bauaffinen technische Dienstleistungen (hier CPA46 Architektur- u. Ing. büros; techn. Untersuchung) generieren ebenfalls zusätzliche Beschäftigung mit durchschnittlich ca. 450 Erwerbstätige im Jahr 2030.

Innerhalb der nicht baubezogenen Handelsbranchen zeigt sich bspw., dass der Kfz-Handel (CPA28 Kfz-Handel; Instandhaltung u. Rep. v. Kfz) bis 2030 (durchschnittlich ca. 400 Erwerbstätige) sowie langfristig im Besonderen in den C-Szenarien bis zu 850 Erwerbstätige einbüßen könnte (SZ. C1: 0,7 % in 2050). Profitieren könnte z. B. der Landverkehr (CPA31 Landverkehr u. Transport in Rohrfernleitungen; durchschnittlich ca. 250 Erwerbstätige in 2030). Im Besonderen getrieben über die Energiepreise und den oben dargestellten Zusammenhang der Produktivitätsannahmen in 1,2er Szenario verlieren bspw. das Gastgewerbe und ITK Dienstleister Beschäftigung.

6.3 Qualitative Beschäftigungseffekte

(1) Im Hinblick auf die qualitativen Beschäftigungseffekte sind zwei Aspekte zu unterscheiden. Zum einen interessiert, wie sich Anteile an Arbeitsplätzen mit verschiedenen Qualifikationsniveaus verändern, zum anderen stellt sich die Frage nach zu erwartenden Veränderungen von Qualifikationsinhalten. Hauptsächlich beruhen die Aussagen zu den qualitativen Effekten auf einer Literaturrecherche. Insgesamt zeigt sich, dass ein forcierter Klimaschutz einerseits die Qualifikationsanforderungen erhöht und der Anteil der Arbeitsplätze, die einen Hochschulabschluss erfordern, steigt.

Qualifikationsniveau

(2) Forcierter Klimaschutz kann den **Transformationsprozess** beschleunigen und sektorale Verschiebungen verstärken (Bausektoren, Umwelttechnologien, etc.). Zudem zeigen intrasektorale Verschiebungen, insbesondere in der Energiewirtschaft, Handlungsbedarfe auf. In der Summe erhöhen sich tendenziell die Qualifikationsbedarfe (Technikanwendung und Technologien) während in der grundsätzlichen Ausrichtung Beschäftigungsmöglichkeiten für Geringqualifizierte nicht verbessert werden. Die größten Verschiebungen erfolgen jedoch zulasten von Fachausgebildeten hin zu Hochschulabsolventen.⁴⁵ Hoher Innovations- und Produktivi-

⁴⁵ Blazejczak, Jürgen, Edler, Dietmar: Strukturwandel und Klimaschutz - Wie Klimapolitik Wirtschaft und Arbeitswelt verändert, Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.), Schriften zu Wirtschaft und Soziales Band 8, Berlin 2011

tätsdruck erfordern insgesamt ein hohes Ausbildungs- und Qualifikationsniveau. Je nach eingesetzter Klimatechnologie variieren die spezifischen Qualifikationserfordernisse, für alle Szenarien aber ist von steigenden Anforderungen auszugehen.

(3) Für die Nutzung und den Ausbau bspw. der **erneuerbaren Energien** sind mehrere, traditionell abgegrenzte Tätigkeitsfelder erforderlich. Betrachtet man die technologische Entwicklungen z. B. im Bereich der Energienutzung und -umwandlung, so werden zukünftig voraussichtlich vermehrt Stromspeicher eingesetzt, die den gesamten Größenklassenbereich von portablen Anwendungen über Fahrzeugbatterien bis zu Leistungen zur Ausregelung von über ein Gigawatt (=1.000 MW) umfassen. Im Bereich der Photovoltaik werden aller Voraussicht nach auch Technologien der dritten Generation (auf der Basis von organochemischen Materialien, z. B. Farbstoffen) zur Marktreife entwickelt und angewendet. Auch werden Produktionsprozesse für die Herstellung maßgeschneiderter Biokraftstoffe auf der Basis eines breiten biogenen Ausgangsspektrums fortentwickeln können.

Diese beispielhaften technologischen Entwicklungen verdeutlichen die fachlichen Qualifikationsherausforderungen. Sowohl auf Fertigungs- wie auch auf Planungs- und Installationsseite ist die Innovationsintensität hoch und Verfahren sind erst wenig standardisiert. Beschäftigte müssen in der Lage sein, mit der ständigen technischen Entwicklung mitzuhalten.⁴⁶ Eine umfassende Unternehmensbefragung zeigte bereits für das Jahr 2007, dass 82 % der Beschäftigten der EE-Branche eine abgeschlossene Berufsausbildung vorweisen können, 40% davon sogar einen Hochschulabschluss. Der Durchschnitt aller Wirtschaftsbereiche lag bei knapp 70% mit abgeschlossener Berufsausbildung und nur knapp 10% mit einem Hochschulabschluss.⁴⁷

(4) Im Bereich der **Energieeffizienz** erfordert der hohe Innovationsgrad vieler Technologien in der Tendenz ebenfalls höhere Qualifikationen; ergänzend sind Querschnittsqualifikationen als besonders wichtig einzuschätzen (bspw. gewerkeübergreifendes Arbeiten und Planen im Bereich des energetischen Bauens).⁴⁸

⁴⁶ Ostenrath, Krischan: Jobmotor Nachhaltigkeit, Teil VI, Nachhaltigkeit in der Energiewirtschaft, Wissenschaftsladen Bonn e.V. (Hrsg.), arbeitsmarkt. Umweltschutz, Naturwissenschaften, Bonn 2012

⁴⁷ GWS/DIW/DLR/ISI/ZSW (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung; Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrt; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung; Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung): Erneuerbar beschäftigt!, Kurz- und langfristige Arbeitsplatzwirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Osnabrück; Berlin; Stuttgart; Karlsruhe 2010

⁴⁸ Leonhard Hennen: Folgen von Umwelt- und Ressourcenschutz für Ausbildung, Qualifikation und Beschäftigung, Vorstudie, Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 71, 2001

Beispielhaft werden nachfolgend einige Innovationen in Produktionsprozessen dargestellt, die qualifikatorische Herausforderungen andeuten:

- Bei Produktionsprozessen spielt die Anwendung katalytischer und biologischer Prozesse, vor allem in der Chemie, bei der Werkstoffherstellung und der Oberflächenbearbeitung etc. zunehmend eine Rolle.
- Auch werden zukünftig ggf. vermehrt Infrarotlaser zur Erzeugung von „lokaler Prozesswärme“ genutzt oder
- verstärkt optoelektronische Technologien angewendet.

(5) Auch im Bereich der **Werkstoffe** zeigt sich, dass die steigenden Anforderungen an die Werkstofftechnik nur durch spezifische Fachkräfte erbracht werden können.

- Neue energieeffiziente Materialien, insbesondere im Bereich der Mikro- und Nanotechnologie und der Funktionskunststoffe werden vermehrt angewendet und
- mit spezifischen Werkstoffen werden „maßgeschneiderte“ Oberflächen hergestellt, die die Reibung bei mechanischen Prozessen und damit den Kraftbedarf verringern.

Qualifikationsinhalte

(6) Spezifische Qualifikationen **klimaschutzbezogener Kompetenzen** werden in allen Bereichen zunehmen, und zwar in Form praktischer, prozessbezogener sowie strategischer Kompetenzen⁴⁹. Diese Green Skills lassen sich nach fachlichen und transversalen Green Skills, also Querschnittsqualifikationen unterscheiden. Spezifische fachliche Green Skills lassen sich nochmals trennen in traditionelle Skills (z. B. elektrotechnische Kenntnisse, Schweißkenntnisse, betriebswirtschaftliche Kenntnisse) und eher neue, spezialisierte Skills (z. B. Fachkenntnisse über Erneuerbare Energietechnologien, Fachexpertise in der Ressourceneffizienz)

(7) Dennoch wird erwartet, dass **keine völlig neuen Kompetenzen** nötig sind.⁵⁰ Viele der benötigten Fähigkeiten sind bereits in existierenden Berufen zu finden. Wichtiger als die Einführung neuer Berufsgruppen ist der effektive Ausbau und die Balance benötigter Querschnitts- und Fachqualifikationen. In der Verknüpfung

⁴⁹ Blazejczak, Jürgen, Edler, Dietmar: Strukturwandel und Klimaschutz - Wie Klimapolitik Wirtschaft und Arbeitswelt verändert, Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.), Schriften zu Wirtschaft und Soziales Band 8, Berlin 2011

⁵⁰ Blazejczak, Jürgen, Edler, Dietmar: Strukturwandel und Klimaschutz - Wie Klimapolitik Wirtschaft und Arbeitswelt verändert, Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.), Schriften zu Wirtschaft und Soziales Band 8, Berlin 2011

zwischen „generic skills“, (z. B. Eigeninitiative, Flexibilität und Kommunikation), „generic green skills“ (z. B. Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz) und einem „topping up“ existierender, berufsbezogener Skills, also spezieller branchenbezogener Qualifikationsinhalte, liegt die große Herausforderung.⁵¹ Bei der Aneignung spezifischer fachlicher Skills sind **Branchenspezifische Ergänzungen** im Rahmen klassischer Fachausbildungen von großer Bedeutung ebenso **Fortbildungsmaßnahmen** und Fähigkeiten, die während des Arbeitsprozesses erworben werden (Training on the Job).⁵²

(8) Exemplarisch zeigen sich diese Aspekte innerhalb der **(re-generativen) Energiewirtschaft**. Beschäftigte sind meist nicht branchenspezifisch, sondern in klassischen Berufsfeldern ausgebildet, spezifische Kenntnisse werden durch Training on the Job, Schulungen und Fortbildungen generiert. Dezentrale Erzeugung, Verteilung und Speicherung setzen spezifisches Know-How voraus. Der Wartungsaufwand von kleinteiligen Anlagen steigt. Ebenso die Weiterentwicklung von onshore- und offshore-Windenergie und neue Technologien, wie etwa die Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung aber auch Photovoltaik, Biomasse, Geothermie und Solarthermie.

(9) Bei den Anforderungen an Primärqualifikationen zeigt sich eine deutliche **Dominanz technisch ausgerichteter Qualifikationsgruppen** (Ingenieure/ Ingenieurinnen, TechnikerInnen und HandwerkerInnen).⁵³

Gleichzeitig lässt sich feststellen, dass das **Potenzial von Frauen** für den Bereich noch lang nicht ausgeschöpft ist. Das betrifft vor allem die traditionellen technischen Bereiche, unabhängig von der Qualifikationsstufe. Normative Geschlechterrollen spiegeln sich in der Energiebranche wider, der Frauenanteil liegt bei 18 %. Gender-Aspekte müssen in Bildungskonzepten berücksichtigt werden. Was den unmittelbaren Arbeitskräftenachwuchs betrifft, lassen die Daten vermuten, dass das Thema Erneuerbare Energie bei Frauen auf mehr Akzeptanz stößt als traditionelle technische Bereiche.⁵⁴

⁵¹ Klima- und Energiefonds: Materplan zur Sicherstellung der Humanressourcen im Bereich „Erneuerbare Energie“, Blue Globe Foresight, Studie 3/2013

⁵² Blazejczak, Jürgen, Edler, Dietmar: Strukturwandel und Klimaschutz - Wie Klimapolitik Wirtschaft und Arbeitswelt verändert, Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.), Schriften zu Wirtschaft und Soziales Band 8, Berlin 2011

⁵³ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Chancen durch Klimaschutz, Positive ökonomische Implikationen einer ehrgeizigen Klimaschutzpolitik für Schlüsselbranchen in NRW, Kurzanalyse, Wuppertal 2011

⁵⁴ Klima- und Energiefonds: Masterplan zur Sicherstellung der Humanressourcen im Bereich „Erneuerbare Energie“, Blue Globe Foresight, Studie #3/2013

(10) Technologieübergreifend wird auf fachlicher Ebene auch ein Schwerpunkt von kaufmännischen und **kundenorientierten Qualifikationen** vermerkt. Wachsende Qualifikationsanforderungen liegen in den Bereichen:

- Beratung und Planung,
- Service, Ferndiagnosen und Reparaturen
- Qualitäts- und Risikomanagement, Supply-Chain und Materialkreisläufe
- Öffentlichkeitsarbeit und Bewusstseinsbildung

Der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft verlangt die Entwicklung vielfältiger Kompetenzen, die neben Wissen und Fertigkeiten auch Haltungen und Werte umfassen müssen. Transversale Green Skills sind in allen Bereichen von Bedeutung. In steigendem Maße benötigte Querschnittsqualifikationen sind beispielsweise Kommunikations-, Kooperations- und Teamfähigkeit, Eigeninitiative, Lernbereitschaft, Flexibilität und Sprachkenntnisse.⁵⁵

(11) Offensichtlich auch für die Öffentlichkeit werden die Qualifikationsentwicklungen im **Gebäudesektor und der Bauwirtschaft**. Insbesondere im Bereich der energetischen Bausanierung besteht Fachkräftebedarf und bereits vorhandene Aus- und Weiterbildungsstrukturen müssen die Qualifizierung und Nachfrage in diesem Feld unterstützen. Tätigkeitsbereiche und Qualifikationsanforderungen sind:

- Erst- und Energieberatung (inkl. Finanzfragen)
- Planung und Koordination
- Durchführung von Maßnahmen im Bereich Dämmung und
- Durchführung von Maßnahmen im Bereich Heizung.⁵⁶

Auch hier sind wiederum technologische Qualifikationen erforderlich (z. B. stetige Weiterentwicklung von Produkten wie beispielsweise von Dämmmaterialien). Qualifizierte Fachkräfte sind unentbehrlich, duale Ausbildung, Weiterbildung und das Studium müssen auf den Bedarf der energetischen Bausanierung abgestimmt werden. Verschiedene Berufsgruppen wie Architekten, aber auch alle am Hausbau- und -ausbau Beteiligten müssen vernetzt arbeiten und neue Qualifikationen erwerben.

⁵⁵ Ostenrath, Krischan: Jobmotor Nachhaltigkeit, Teil VI, Nachhaltigkeit in der Energiewirtschaft, Wissenschaftsladen Bonn e.V. (Hrsg.), arbeitsmarkt. Umweltschutz, Naturwissenschaften, Bonn 2012

⁵⁶ IÖW (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung) / Universität Oldenburg / Wissenschaftsladen Bonn: Beschäftigungswirkungen sowie Ausbildungs- und Qualifizierungsbedarf im Bereich der energetischen Gebäudesanierung, Dessau-Roßlau 2011

Die bessere, systemische Vernetzung verschiedener Disziplinen ist dringend erforderlich, zusammengefasst unter dem Stichwort „**integrale Planung**“⁵⁷. In der Konsequenz ist eine Kombination verschiedenster Qualifikationen nötig, angefangen von der Nutzung regenerativer Energien über die Haus- und Gebäudesystemtechnik, Prozess- und Steuerungstechnik, Informations- und Telekommunikationstechnik bis hin zu sozialen und kommunikativen Kompetenzen für die Kundenberatung und die Kooperation mit anderen Berufszweigen.

6.4 Gesamtergebnis Beschäftigungseffekte

(1) Insgesamt werden die Beschäftigungswirkungen klar von dem **demographischen Trend** dominiert. Der Rückgang um rund 800.000 Beschäftigte ist wesentlich bedingt durch den demographischen Wandel und unabhängig vom Klimaschutzplan NRW.

(2) Die **Wirkung des Klimaschutzplans** gegenüber der Basisentwicklung ist in den meisten Szenarien (leicht) positiv. Das **Produzierende Gewerbe und darin die energieintensiven Industrien** zeigen in den unterschiedlichen Szenarien Verluste von durchschnittlich 0,16 % in 2030 (rund 2.000 Beschäftigte im produzierenden Gewerbe). Bei der Interpretation der Summenwerte muss berücksichtigt werden, dass branchenbezogene Verluste (u. a. Energiewirtschaft) an spezifischen Standorten auftreten und daraus regional erhebliche Herausforderungen (Transfer, Qualifizierung, Vermittlung) entstehen.

(3) Leicht positiven Beschäftigungseffekte der Szenarien des Klimaschutzplans werden in den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen erzielt.

Das **Baugewerbe** kann höhere positive Beschäftigungswirkungen von knapp 4 % im Jahr 2030 generieren. So könnte die Erwerbstätigkeit in der Baubranche im Jahr 2030 um bis zu 15.700 Beschäftigte höher liegen als in der Basisentwicklung. Ursache hierfür ist das erhebliche Investitionsvolumen infolge des energieeffizienten Bauens und somit eine Folge von Klimaschutzpolitik. Insgesamt profitieren die bauaffinen Dienstleistungen stärker als diejenigen, die über andere Konsumzweige gestützt werden.

⁵⁷ Benjamin O’Daniel: Jobmotor Nachhaltigkeit, Teil III, Ökologisches Bauen, Wissenschaftsladen Bonn e.V. (Hrsg.), Arbeitsmarkt. Umweltschutz, Naturwissenschaften, Bonn 2012

Die relevanten Treiber der Entwicklung sind die Strompreise und Investitionen. Investitionen führen zwangsläufig zunächst zu Belastungen die von den Unternehmen bereits kurzfristig zu stemmen sind (Wirkungen auf Beschäftigung). Andererseits wirken Technologieninvestitionen in Teilen der Branchen auch beschäftigungsbelebend, in dem die Produktion von Technologien (wenn sie denn in NRW erzeugt werden) und die Dienstleistungen rund um die Klimaschutzinvestitionen zusätzliche Impulse generieren (u. a. Umwelttechnologien).

(4) Die Entwicklung hin zu einer „Low Carbon Gesellschaft“ hat zudem Implikationen auf **Beschäftigungsqualifikationen**. Es ergibt sich die Notwendigkeit, die künftigen Fachkräfte während der Ausbildung auf die neuen Berufsherausforderungen vorzubereiten. Die in den Ausbildungsordnungen fixierten Mindestanforderungen werden der aktuellen Entwicklung nicht mehr gerecht.

Tabelle 36: Gesamtergebnis Beschäftigungseffekte

Impact Beschäftigung	Abweichung Beschäftigte alle Sektoren in NRW		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	+		
Szenario A1	o	o		
Szenario A2	o	+		
Szenario B	+	+		
Szenario B1	o	+		
Szenario B2	+	o		
Szenario BCCS	o	++		
Szenario C	+	o		
Szenario C1	+	--		
Szenario C2	++	-		

Legende:

- ++ = deutlich positive Wirkung gegenüber Basis,
- + = positive Wirkung gegenüber Basis,
- o = neutral, vernachlässigbare Wirkung gegenüber Basis,
- = negative Wirkung gegenüber Basis
- = deutlich negative Wirkung gegenüber Basis

7 Sozialverträglichkeit und Auswirkungen auf private Haushalte

(1) Wohnen und Mobilität sind **Grundbedürfnisse** der Menschen. In Summe stehen beide für 55 % des Endenergieverbrauchs privater Haushalte in Deutschland. Ein durchschnittlicher Haushalt in Deutschland wendet etwa 26 % seines Nettoeinkommens für Wohnen und bis zu 13 % für Mobilität auf. Beide Bereiche spielen für die Klimaschutzpolitik eine wichtige Rolle. Ausgehend von einer global steigenden Nachfrage nach fossilen Energieträgern bei gleichzeitig unklarer Angebotssituation ist mit langfristig steigenden Energiepreisen zu rechnen.

(2) Klimaschutz braucht **Investitionen in die Gebäudeinfrastruktur**. Ausgehend von langfristig steigenden Energiepreisen kann man sehr sicher davon ausgehen, dass zielgerichtete Investitionen in die Energieeffizienz des Gebäudebestandes langfristig die Gesamtkosten des Wohnens reduzieren werden – kurz- und mittelfristig sind finanzielle Mehrbelastungen für Haushalte jedoch nicht auszuschließen.

7.1 Präambel - Die Situation auf den Wohnungsmärkten

(1) Laut dem Bericht über die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Deutschland⁵⁸ hat sich die **Lage auf dem Gesamtmarkt** in den letzten Jahren **spürbar verändert**. Stellten größere Preis- und Mietsteigerungen im ersten Jahrzehnt noch eher eine Ausnahme dar, so zeichneten sich in einer zunehmenden Zahl von Städten und Regionen lange Zeit nicht mehr bekannte Wohnungsmarktengpässe ab. Die Gutachter führen das auf mehrere Effekte zurück:

- Die wirtschaftliche Erholung nach der Finanzkrise 2008 führt zu steigenden Einkommen und sinkenden Arbeitslosenzahlen.
- Die bestehenden Unsicherheiten auf den Kapitalmärkten und niedrige Zinsen führen zu einer wachsenden Attraktivität von Wohnungen als Kapitalanlage und/oder Altersabsicherung.
- Die Bautätigkeit bewegte sich über mehrere Jahre auf einem für eine nachhaltige Marktentwicklung zu geringem Niveau.

⁵⁸ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bericht über die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Deutschland. Bonn/Berlin. 2013

Die Summe dieser Effekte führt insgesamt zu einer **gestiegenen Nachfrage nach Wohnraum** was sich in **steigenden Preisen und Mieten** niederschlägt und mit regionalen **Versorgungsgaps** insbesondere bei einkommensschwachen Haushalten einhergeht.

(2) Auch wenn die Gesamtentwicklung des deutschen Wohnungsmarktes derzeit für die Wohnungsbauunternehmen und privaten Investoren günstige Rahmenbedingungen für den Neubau und die Sanierung von Wohnungen aufweist, unterscheidet sich die **Situation vor Ort** in den einzelnen Kommunen zum Teil deutlich voneinander. **Wohnungsmärkte unterliegen einer Vielzahl von Einflussgrößen**, die zum Teil **regional stark differieren**.

(3) Die **große regionale Divergenz** ist auch an den **Nettokaltmieten** ablesbar. Der Bericht über die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Deutschland konstatiert, dass der **Standort** für eine Immobilie sowohl beim Bestand als auch beim Neubau eines der wichtigsten preisbestimmenden Merkmale sei.⁵⁹

Laut dem Wohnungsmarktreport der LEG Immobilien AG für bewegen sich die mittleren **Nettokaltmieten** in NRW in einem Bereich von knapp 4 Euro / m² und Monat im Nordöstlichen NRW bis hin zu knapp 13 Euro / m² und Monat in städtischen Lagen in Köln und Düsseldorf. Die mittleren **Wohnkosten** in NRW schwanken zwischen 300 Euro / Monat und Haushalt und 1.300 Euro / Monat und Haushalt. Dementsprechend breit streut auch der Anteil der Ausgaben für Wohnen am verfügbaren **Haushalteinkommen**, der sich zwischen gut 11 % im Märkischen Kreis und knapp 40 % in den teuren Wohnlagen in Köln und Düsseldorf bewegt.

(4) Auch die **Dynamik der Nettokaltmieten** ist regional stark unterschiedlich. Die Angebotsmieten stiegen im Jahr 2012 im Vergleich zum Vorjahr in einigen Kreisen um bis zu 20 % während sie in anderen Kreisen um bis zu 15 % gesunken sind.⁶⁰

Die Kosten für jegliche Modernisierungen an Wohngebäuden können auf die Netto-Kaltemiete umgelegt werden und diese erhöhen. In § 555b des BGB wird geregelt, welche Maßnahmen zu den Modernisierungen zählen. Dabei handelt es sich vorwiegend um Maßnahmen, die den Gebrauchswert der Mietsache erhöhen oder

⁵⁹ ebd.

⁶⁰ LEG Immobilien AG: LEG-Wohnungsmarktreport NRW 2013. LEG Immobilien AG, Düsseldorf. 2013

die allgemeinen Wohnverhältnisse dauerhaft verbessern oder nachhaltig Einsparungen von Energie oder Wasser bewirken⁶¹.

Häufig werden Modernisierungsmaßnahmen an die reguläre Instandhaltung⁶² gekoppelt, deren Kosten im Gegensatz zur Modernisierung aus der bestehenden Netto-Kaltniete zu decken sind und nicht umgelegt werden dürfen. Dies ermöglicht einerseits eine kostengünstige Umsetzung von Maßnahmen, führt aber andererseits häufig zu Konflikten über die Abgrenzung der Kosten zwischen Instandhaltung und Modernisierung und über die zulässige Höhe der Modernisierungsumlage.

Gerade in strukturschwachen Regionen, die von einem Wohnungsüberhang und sinkenden Nettokaltmieten betroffen sind, lassen sich modernisierungsbedingte Mietsteigerungen nicht flächendeckend durchsetzen. In der Folge werden notwendige Instandhaltungsarbeiten und / oder Modernisierungen dort – wenn überhaupt – entweder verzögert in Angriff genommen oder auf einem niedrigeren Standard durchgeführt als in prosperierenden Regionen mit erhöhter Wohnungsnachfrage und insgesamt steigenden Mieten. Die **Voraussetzungen der Investoren** für die (energetische) Modernisierung des Wohnungsbestands **unterscheiden sich** deshalb stark in den einzelnen **Regionen** Nordrhein-Westfalens.

(5) In der hier durchgeführten Untersuchung werden die Änderungen der Kosten des Wohnens in Abhängigkeit vom **verfügbaren Haushaltseinkommen** verschiedener Haushaltstypen bewertet. Hierfür sind nicht das absolute Ausgangsniveau der Nettokaltmieten und dessen regionale Verteilung ausschlaggebend, sondern die **Einkommensstruktur der untersuchten Haushaltstypen**, die grundsätzlich in allen Regionen – wenn auch in unterschiedlichem Maße – vertreten sind.

(6) Die Entwicklungen zur Lage der Immobilienmärkte werden sehr stark über die oben geschilderten Aspekte getrieben. Diese sind **unabhängig vom Klimaschutzplan** wirksam und treten somit auch in der **Basisentwicklung** (s. u.) auf. Die sich aus diesen Aspekten ergebenden Herausforderungen für den Wohnungsmarkt sind daher nicht dem Klimaschutzplan zuzurechnen und auch nicht über ihn zu lösen. Nichts desto trotz sollten sie bei der Umsetzung von Politikinstrumenten zum Klimaschutzplan grundsätzlich be-

⁶¹ Das Maßnahmenportfolio ist groß. Beispiele für Modernisierungsmaßnahmen sind: Verbesserung von Zuschnitt, Schallschutz, Belichtung, Belüftung, sanitären Einrichtungen, Beheizung und Kochmöglichkeiten, Balkon, die Schaffung oder der Ausbau von Gemeinschaftseinrichtungen auf dem Grundstück (Spielplatz, Grünanlagen), Aufzugeinbau; Türöffner mit Gegensprechanlage, Wärmedämmung, Wohnraumvergrößerung etc.

⁶² Die Lebenserwartung energetisch relevanter Bauteile (Außenputz, Fenster, Dacheindeckung, Heizung) liegt bei 20 bis maximal 50 Jahren. Im Zeitraum von 50 Jahren dürften nahezu alle Wohngebäude zumindest einmal umfassend instandgesetzt werden. Dies entspricht einer (nicht energetischen) Sanierungsrate von 2 % bezogen auf den Gesamtbestand.

rücksichtigt werden, um die Akzeptanz für die Umsetzung von Klimaschutz im Wohngebäudebestand zu erhalten und Klimaschutz auch in strukturschwachen Regionen zu ermöglichen.

7.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

(1) Aufgrund ihrer Eigenschaft als Grundbedürfnis sollten die Impacts der Klimaschutzpolitik auf die Bereiche Wohnen und Mobilität untersucht werden. Entscheidend ist hier die Frage, ob **bestimmte Gruppen besonders belastet oder gar benachteiligt** werden.

(2) Für den Bereich Wohngebäude lagen **drei unterschiedliche Szenarien** vor, in denen die energetische Sanierungsrate variiert wurde. Hierbei ist die Sanierungstiefe in allen drei Szenarien annähernd identisch. Die Sanierungsrate ist ein Ausdruck für die Menge der sanierten Wohnfläche, während die Sanierungstiefe die energetische Qualität der Sanierungen beschreibt. Ausschlaggebend für die Benennung der Szenarien waren die Sanierungsraten mit Werten von 0,7 %, 1,4 % und 2,0 % des bis 2007 errichteten Gebäudebestandes.

Das **Basisszenario** wurde aus dem Referenzszenario der **Szenarien zum Energiekonzept** der Bundesregierung (Prognos/EWI/GWS 2010) abgeleitet. Die Sanierungsrate liegt im Mittel auf dem Niveau des 0,7 %-Szenarios. Die Sanierungstiefe entspricht einem mittleren Ambitionsgrad, wobei sie im Vergleich zu den Szenarien des Klimaschutzplans bis 2050 weniger stark steigt. Die Klimaschutzszenarien unterscheiden sich mit Ausnahme des 0,7 %-Szenarios deutlich von dem für den Rest von Deutschland angenommenen Basisszenario. In Folge dessen unterscheidet sich der Bereich der Gebäudesanierung im Sektor der privaten Haushalte (PHH) wesentlich von den anderen Sektoren, in denen die Entwicklung in Deutschland und NRW deutlich stärker miteinander korrespondieren.

Im Bereich des Wohnungsneubaus unterscheiden sich die Szenarien des Klimaschutzplans weder bei der Neubaurate noch hinsichtlich der Energieeffizienz grundlegend von der Basisentwicklung. Dementsprechend sind auch die Effekte auf die Sozialverträglichkeit in den betrachteten Szenarien vergleichbar, so dass auf eine detaillierte Betrachtung des Neubaus verzichtet werden kann.

Die drei Szenarien wurden in die insgesamt zehn zu betrachtenden Szenarien des Klimaschutzplans eingesetzt. Tabelle 37 zeigt die Zuordnung der drei Szenarien zu den vorliegenden Szenarien des Klimaschutzplans. Das 0,7 %-Szenario ist im Szenario A1, das

1,4 %-Szenario in den Szenarien A, A2 und B1 und das 2,0 %-Szenario in den Szenarien B, B2, BCCS, C, C1 und C2, enthalten.

Tabelle 37: Übersicht über die Zuordnung der drei Gebäudeszenarien zu den Szenarien des Klimaschutzplans

Szenarien	Szenarien des Klimaschutzplans										Basisszenarien	
	A	A1	A2	B	B1	B2	BCCS	C	C1	C2	0,6	1,2
	Szenario		Varianten		Szenario		Varianten		Szenario		Szenario	
Darstellung	—	---	—	—	—	—	—
Gebäude												
Sanierungsrate	1,4%	0,7%	1,4%	2,0%	1,4%	2,0%			2,0%		0,7%	

Quelle: Prognos AG

Die sich aus den unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Strompreisen (vgl. Kapitel 2.4) in den zehn Szenarien des Klimaschutzplans ergebenden Differenzen sind so gering, dass die Betrachtung der drei Gebäudeszenarien (0,7 %, 1,4 % und 2,0 %-Szenario) mit Zuordnung zu den Szenarien des Klimaschutzplans entsprechend Tabelle 37 ausreichend ist.

(3) Für den Bereich **Verkehr / Mobilität** wurden für **alle Szenarien des Klimaschutzplans einheitliche Annahmen** getroffen, sodass nur **ein Szenario** vorliegt.

(4) Folgende **Indikatoren** fließen in die spätere Gesamtbewertung der Szenarien ein:

- Reduktion der Heizkosten je m² Wohnfläche für sanierte Gebäude
- Steigerung der Nettokaltmiete je m² Wohnfläche für sanierte Gebäude
- Netto-Effekt auf die Bruttowarmmiete / Wohnkosten je m² Wohnfläche für sanierte Gebäude
- Belastung besonders sensibler Haushaltstypen durch geänderte Wohnkosten
- Netto-Effekt auf die Stromausgaben
- Belastung besonders sensibler Haushaltstypen durch geänderte Mobilitätskosten.

(5) Im **Bereich Wohnen** wurden zum einen die langfristigen Be- und Entlastungswirkungen auf den Gesamtbestand von Mietwohnungen und selbst genutztem Wohneigentum berechnet und zum anderen die kurz- und mittelfristigen Be- und Entlastungswirkungen für unterschiedliche Haushaltstypen detailliert analysiert.

Im ersten Schritt wurde die Einkommens- und Wohnsituation von sechs Haushaltstypen auf Basis des Sozio-oekonomischen Panels (SOEP) analysiert.

In einem zweiten Schritt wurden die Haushaltsdaten des SOEP mit den Daten zu den Effekten des Klimaschutzplanes auf die Wohnkosten verknüpft. Die Änderung der Kosten durch die energetische Sanierung und die Änderungen der Energiekosten in Euro pro Monat und Quadratmeter Wohnfläche wurden für insgesamt 24 Fälle in Abhängigkeit von den Besitzverhältnissen, vom Wohnhaustyp und dem Sanierungsbedarf differenziert berechnet und entsprechend auf die Haushaltsdaten übertragen.

Für die Berechnungen wurden die Gesamtkosten nach „Ohnehin-Kosten“ (Instandhaltung, Instandsetzung) und energiebedingten Mehrkosten (Wärmedämmung) differenziert. Gemäß den vorgefundenen Dokumentationen der Szenarien des Klimaschutzplans wurde der Grundsatz der **Freiwilligkeit** der Durchführung von **energetischen Sanierungen beibehalten**, womit für die Berechnungen auf Haushaltsebene nur die energiebedingten Mehrkosten zum Tragen kommen. Würde eine – wie auch immer geartete – Pflicht zur energetischen Gebäudesanierung eingeführt werden, so müsste zusätzlich untersucht und berücksichtigt werden, wie viele Gebäude nur aufgrund dieser Verpflichtung saniert bzw. vorzeitig saniert würden. Aufgrund der Lebenserwartung der energetisch relevanten Bauteile und Bauteilschichten (Außenputz, Fenster, Dach und Eindeckung, Heizung) von 20 bis maximal 50 Jahren⁶³ ist davon auszugehen, dass diese im Zeitraum von rund 50 Jahren bei allen Wohngebäuden zumindest einmal umfassend instandgesetzt oder ersetzt werden – dies entspricht einer Sanierungsrate von 2 % bezogen auf den Gesamtbestand. Somit ist also selbst im 2 %-Szenario nicht damit zu rechnen, dass zusätzliche Sanierungen erforderlich werden. Die alleinige Betrachtung der energiebedingten Mehrkosten kann daher als ausreichende und realitätsnahe Grundlage zur Bewertung der Sozialverträglichkeit herangezogen werden.

In einem dritten Schritt wurden die durchschnittlichen **Be- und Entlastungseffekte** absolut und relativ zum Haushaltsnettoeinkommen für die einzelnen Haushaltstypen dargestellt. Im letzten Schritt wurde auf Basis der amtlichen Statistiken zu den Transferempfängern in NRW abgeschätzt, welche Auswirkungen aufgrund der veränderten Wohnkosten über die Zahlung von Transferleistungen bei der öffentlichen Hand zu erwarten sind. Hierbei wurde

⁶³ IEMB 2006: Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten (Tragkonstruktion, Nichttragende Konstruktion, Installationen und betriebstechnische Anlagen, Außenanlagen). Info-Blatt Nr. 4.2.

vorausgesetzt, dass energetisch modernisierter Wohnraum grundsätzlich als angemessen akzeptiert wird.⁶⁴

Weiterhin wurden die **Effekte der Szenarien des Klimaschutzplans** auf die Stromausgaben der privaten Haushalte verglichen. Diese sind abhängig von den Strompreisen für Haushaltskunden und deren Stromverbrauch.

(6) **Mobilität:** Die Sozialverträglichkeit im Bereich Mobilität wurde im Sinne der Bezahlbarkeit und somit Leistbarkeit für unterschiedliche Haushaltstypen untersucht.

Zu diesem Zweck wurde zunächst eine Analyse der Haushalte mit dem Fokus Mobilität durchgeführt. Der Fokus auf Mobilität bedeutet eine Analyse der Haushalte entlang der Mobilitätskennziffern wie Pkw-(Nicht)Verfügbarkeit, mit dem Pkw erbrachte Fahrleistung und Verkehrsmittelwahl. Die Kennziffern wurden auf der Grundlage der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (MiD) ermittelt, wobei die Daten auf Bundes- und auch teilweise auf Landesebene vorliegen.

Die Haushaltstypen und Mobilitätskennziffern wurden in Verbindung mit dem verfügbaren Einkommen und den Ausgaben für Mobilität gebracht. Anschließend wurde identifiziert, welche Haushaltstypen von einer möglichen Verteuerung betroffen sein könnten und darauf mit einer Verkehrsverhaltensänderung reagieren (müssten).

(7) Mit dem SOEP für den Bereich Wohnen und MiD für den Bereich Mobilität wurden **zwei unterschiedliche Datengrundlagen** herangezogen. Entscheidend **für diese Auswahl waren Eignung für die jeweiligen Fragestellungen**, Detaillierung und Aktualität der Daten. Dieses Vorgehen führte dazu, dass leichte Unterschiede bei den Kennzahlen der Haushaltstypen möglich wurden, die jedoch für die Aussagekraft der Untersuchung keine Relevanz besitzen.

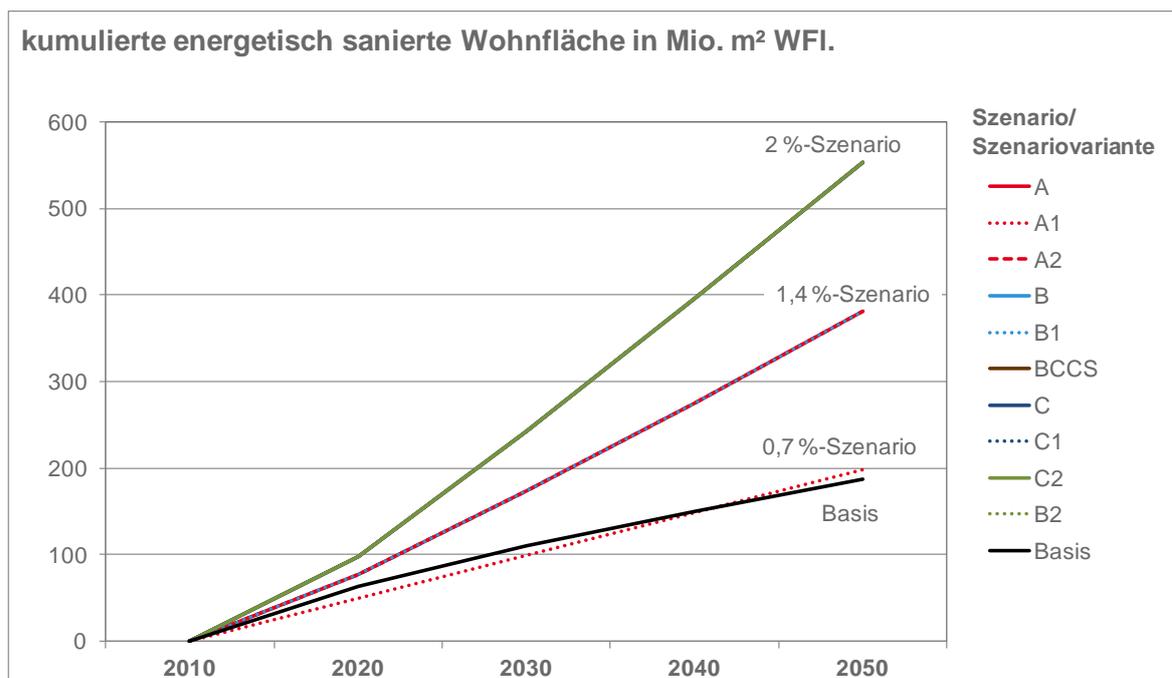
⁶⁴Die Kosten der Unterkunft (KdU) werden vorbehaltlich der Angemessenheit der tatsächlichen Wohnungskosten gewährt, wobei sich die Angemessenheitsgrenze nach ortsüblichen Wohnkosten bzw. kommunalen Mietspiegeln richtet und von den Kommunen i.d.R. auf Basis der Kaltmieten bestimmt wird (vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR): KdU-Richtlinien: Werkstattberichte aus der Praxis. Fachtagung am 1. April 2014 in Köln. In: BBSR-Berichte KOMPAKT 02/2014).

Solange sich der energetisch modernisierte Zustand nicht als preisbestimmendes Merkmal in den lokalen Mietmärkten etabliert hat, kann das Heranziehen der Kaltmieten als Bewertungsmaßstab dazu führen, dass die Kaltmiete von energetisch modernisiertem Wohnraum als unangemessen hoch bewertet wird. In diesem Fall werden die Wohnungskosten von den Sozialleistungsträgern nicht in voller Höhe erstattet oder die Mieter/-innen zu einem Wechsel in eine günstigere, ggf. energetisch unsanierte Wohnung angehalten, was – zumindest aus klimapolitischer Sicht – einen Fehlanreiz darstellt.

7.3 Vorgehen und Ergebnisse im Bereich Wohnen

(1) Grundlage für die Berechnungen sind die dokumentierten Annahmen und Ergebnisse zu den Szenarien des Klimaschutzplans. Diese unterscheiden sich maßgeblich durch den Umfang der energetischen Gebäudesanierung (**Sanierungsrate**). Abbildung 69 zeigt die kumulierte, energetisch sanierte Fläche in den Szenarien. Im 2 %-Szenario werden in NRW im Zeitraum 2010 bis 2050 etwa 560 Mio. m² Wohnfläche energetisch saniert. Das entspricht 75 % des Wohnungsbestandes im Jahr 2050. Im 1,4 %-Szenario werden von 2010 bis 2050 etwa 380 Mio. m² Wohnfläche (WFI.) bzw. 43 % des Wohnungsbestandes energetisch saniert. Das 0,7 %-Szenario liegt mit 200 Mio. m² Wohnfläche annähernd gleich auf mit dem Basisszenario (190 Mio. m² WFI.).

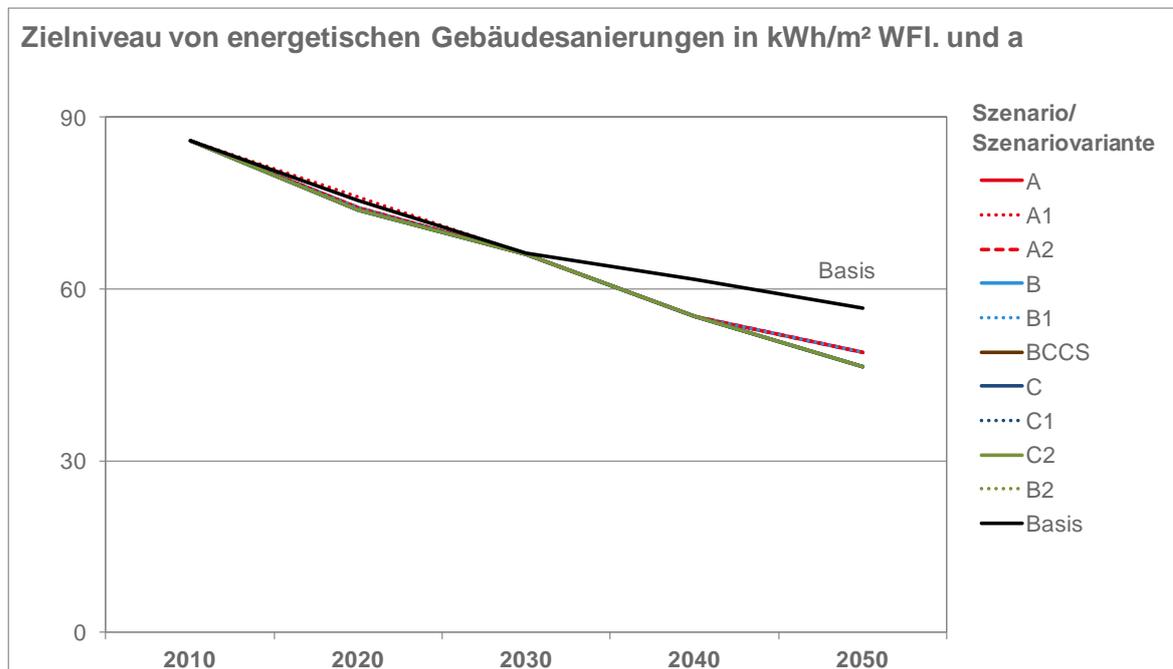
Abbildung 69: Kumulierte energetisch sanierte Gebäudefläche in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und in der Basis in Mio. m² Wohnfläche



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

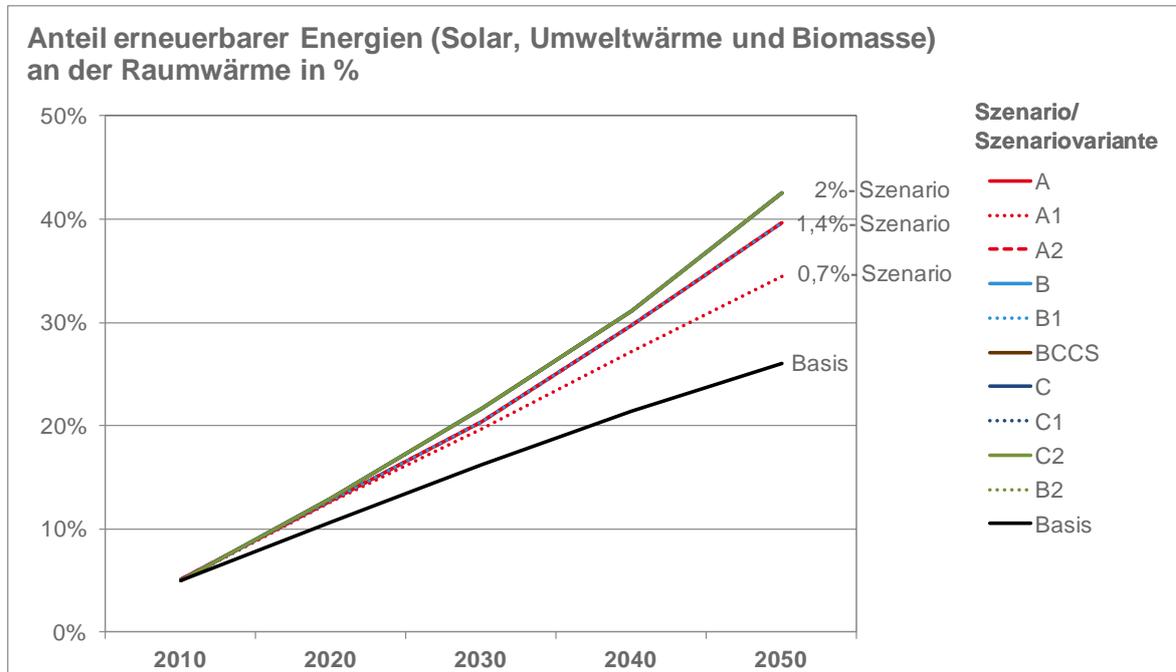
(2) Hinsichtlich der **Sanierungstiefe**, also dem mittleren Ambitionsgrad der durchgeführten Sanierungen, unterscheiden sich die Szenarien des Klimaschutzplans nur marginal. Das Basisszenario liegt bis 2030 ebenfalls sehr nah an den Szenarien des Klimaschutzplans. Nach 2030 ist das Basisszenario etwas weniger ambitioniert (vgl. Abbildung 70).

Abbildung 70: Mittleres Zielniveau der energetischen Gebäudesanierung in kWh/m² WFI. und Jahr



(3) Neben der Sanierungsrate wurde der **Energieträgermix** zur Bereitstellung von Raumwärme in den Szenarien variiert. Dies zeigt sich deutlich im Anteil von erneuerbaren Energien (Solar, Umweltwärme, Biomasse), wie er in Abbildung 71 dargestellt wird. Im Basisszenario erreichen die erneuerbaren Energien einen Anteil von 26 % bis 2050. In den Szenarien des Klimaschutzplans liegt der Anteil deutlich höher und erreicht bis zu 43 % im 2 %-Szenario. Die absolute Menge der erneuerbaren Energien ist in den Szenarien des Klimaschutzplans aufgrund der in der AG 3 getroffenen Setzungen zum Potenzial nahezu identisch.

Abbildung 71: Anteil erneuerbarer Energien (Solar, Umweltwärme, Biomasse) zur Bereitstellung von Raumwärme in %



7.3.1 Spezifische Investitionen der Gebäudesanierung

(1) Die spezifischen Investitionskosten der energetischen Gebäudesanierung wurden über Kostenfunktionen für **Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten** für Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) aus den dena Sanierungsstudien abgeleitet⁶⁵. Die Differenz aus Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten sind die Ohnehin-Kosten, die zur Instandhaltung der energetisch relevanten Bauteile aufgewendet werden. Sie fallen unabhängig vom erzielten Energieeffizienzstandard bei jeder Gebäudesanierung an und gehen nicht in die Modernisierungsumlage ein. Ihre Finanzierung erfolgt aus der Nettokaltmiete.

Für die Berechnungen zur Sozialverträglichkeit wurde davon ausgegangen, dass neben der **Gebäudehülle** im Laufe der Zeit auch der **Wärmeerzeuger** ersetzt wird – dies fließt sowohl in die Investitionskosten als auch in den mittleren Raumwärmepreis ein.

Die Annahmen zu den spezifischen Sanierungskosten werden in Tabelle 38 dargestellt.

⁶⁵ dena 2010 und dena 2012

Tabelle 38: Spezifische Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten der energetischen Gebäudesanierung für die vier Raumwärmeklassen (RWK1, RWK2, RWK3 und PH) der Szenarien des Klimaschutzplans in Euro / m² WFI.

EZFH	Einheit	Vollkosten	davon energiebedingte Mehrkosten
RWK1	Euro/m ² WFI.	400	115
RWK2	Euro/m ² WFI.	465	180
RWK3	Euro/m ² WFI.	535	250
PH	Euro/m ² WFI.	710	425
MFH	Einheit	Vollkosten	davon energiebedingte Mehrkosten
RWK1	Euro/m ² WFI.	275	80
RWK2	Euro/m ² WFI.	355	160
RWK3	Euro/m ² WFI.	425	230
PH	Euro/m ² WFI.	620	425

Quelle: dena 2010 und dena 2012

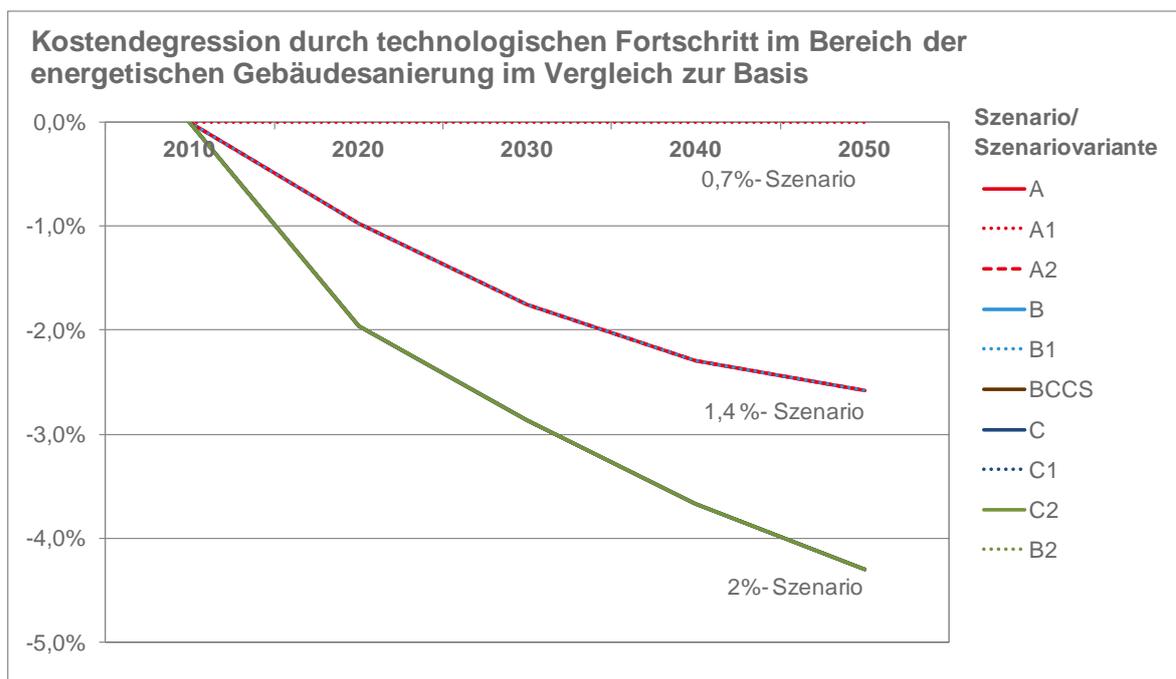
(2) Aufgrund des langfristigen Betrachtungshorizonts wurden **Lernkurveneffekte** berücksichtigt. Hinsichtlich der Kostenentwicklung im Bereich der energetischen Gebäudesanierung konnten keine historischen Daten recherchiert werden, die eine belastbare Basis für die Fortschreibung bis 2050 darstellen. Gespräche mit Experten und Herstellern ergaben Hinweise auf **zwei grundsätzlich gegenläufige Entwicklungen** in den letzten 20 Jahren, ohne dass diese jedoch belastbar quantifiziert werden konnten:

- **Sinkende Kosten:** Die **energetische Gebäudesanierung** ist ein **Standard-Produkt** geworden. Mit zunehmenden Erfahrungen wurden Arbeitstechniken und Produkte immer weiter standardisiert und professionalisiert. So war das Anbringen von Wärmedämmung in den frühen 1990er Jahren technologisches Neuland und mit viel manuellem Aufwand verbunden – mittlerweile konnten die Arbeitstechniken standardisiert und der Zeitaufwand und damit die Kosten teils deutlich reduziert werden. Weitere Fortschritte konnten beispielsweise bei den Aspekten Vermeidung von Wärmebrücken und Verbesserung der Luftdichtigkeit erzielt werden.
- **Steigende Kosten:** Die **steigende Nachfrage** nach Produkten – insbesondere Dämmstoffe und Fenster – und Leistungen (Handwerker, Planungsleistungen) führen zu steigenden Kosten. Hinzu kommen Kostensteigerungen aufgrund höherer Effizienzanforderungen. Diese resultieren aus einem höheren Materialaufwand (größere Dämmstoffdicken, zusätzliche Verglasungsebene bei 3-Scheiben-Verglasung, größere Einbautiefe von Fenstern, etc.), verbesserten Eigenschaften (vorwiegend verbesserter Wärmedurchgangskoeffizient, selektive Beschichtungen der Verglasung) sowie dem Forschungsaufwand für technologische Neuentwicklungen (Vakuumdämmstoffe, Nanodämmstoffe, etc.).

Das Institut für Energieforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE) ermittelt bei der Auswertung der Förderjahre 2005 bis 2007 zwar insgesamt positive Lerneffekte, weist aber auch darauf hin, dass eine belastbare Trendaussage für einen längeren Zeitraum nicht getroffen werden kann (STE Research Report 2009).

(3) In den Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die beschriebenen kostensenkenden Faktoren die kostentreibenden Faktoren langfristig leicht überwiegen werden und somit in Summe eine leichte Kostendegression resultiert. Abbildung 72 zeigt die **Annahmen zur Entwicklung der Kostendegression** in den Szenarien des Klimaschutzplans gegenüber dem Basisszenario bis 2050. Aufgrund des ähnlichen Umfangs der Gebäudesanierung im 0,7 %-Szenario und im Basisszenario wurden hier identische Annahmen zur Kostendegression getroffen. Im 2 %-Szenario entsteht bis 2050 ein Kostenvorteil von etwa 4,5 % gegenüber der Basis.

Abbildung 72: Kostendegression der energetischen Gebäudesanierung in den Szenarien des Klimaschutzplans im Vergleich zur Basisentwicklung



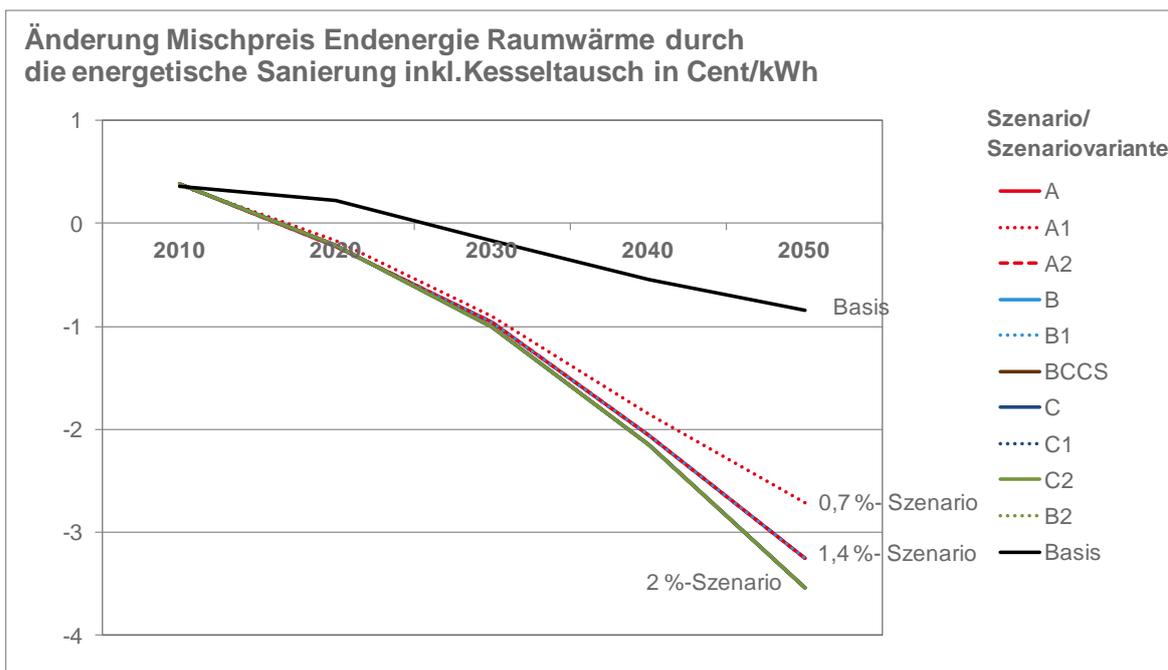
7.3.2 Energiekosten und Energieträgermix

(1) Die Endkundenpreise für die zentralen Wärmeenergieträger wurden aus den Vorarbeiten des Wuppertal Instituts übernommen, die **Strompreise** (für Wärmepumpen) wurden für die einzelnen Szenarien im Rahmen der Impactanalyse für die Verbraucherguppen berechnet (vgl. Kapitel 2). Dabei wurde der derzeit am

Markt bestehende Preisnachlass von ca. 15 % für Wärmepumpenstrom ggü. Haushaltsstrom bis 2050 abgebaut. Dies begründet sich darin, dass es beim breiten Einsatz von Wärmepumpen künftig notwendig sein wird, der Wärmepumpenleistung eine gesicherte elektrische Leistung in Form von regelbaren Kraftwerken oder aber Stromspeichern gegenüber zu stellen. Die Preise für biogene Brennstoffe und Erdgas gleichen sich langfristig an. Diese Annahme wurde aus den Szenarien zum Energiekonzept (Prognos/EWI/GWS 2010) abgeleitet.

(2) Der **Energieträgermix** zur Bereitstellung von Raumwärme wurde aus der Dokumentation der Szenarien des Klimaschutzplans übernommen. Wie beschrieben, wird im Falle einer Vollsanierung auch vom Austausch des Wärmeerzeugers ausgegangen. Um die in den Szenarien dargestellten Veränderungen des Energieträgermixes zu erreichen, werden überwiegend fossile Energieträger gegen einen zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien ausgetauscht, wodurch sich unterschiedliche Mischpreise der Endenergie für Raumwärme vor und nach der Sanierung ergeben. In den Szenarien des Klimaschutzplans ist der Anteil der kostenfrei und unbegrenzt zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energien (Solare Energie, Umweltwärme) an der Wärmebereitstellung deutlich höher als im Basisszenario. Dies führt in den Szenarien des Klimaschutzplans, wie Abbildung 73 dargestellt, zu einer deutlich stärkeren Reduktion des Mischpreises der Endenergie für Raumwärme als im Basisszenario.

Abbildung 73: Änderung des Mischpreises Endenergie für Raumwärme durch sanierungsbedingte Energieträgerumstellung in Cent/kWh



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

7.3.3 Energieverbrauch des unsanierten Gebäudebestands

(1) Zur Berechnung der Energiekosteneinsparungen sind die Heizkosten im Ausgangszustand erforderlich. Da es hierfür keine Vorgaben aus den Szenarien des Klimaschutzplans gab, wurden die Ausgangswerte aus dem Gebäudemodell der Prognos AG⁶⁶ abgeleitet. Tabelle 39 zeigt, die Verbrauchsdaten für insgesamt sechs unterschiedliche Gebäudetypen.

Tabelle 39: Endenergieverbrauch für Raumwärme für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie für Mehrfamilienhäuser

Baualter	Endenergieverbrauch (kWh/m ² WFl. und Jahr)	
	Ein-/Zweifamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Vor 1980	241	172
1980 bis 2000	151	112
Nach 2000	94	74

Quelle: Prognos AG

7.3.4 Strukturelle Merkmale der betrachteten Haushaltstypen

(1) Zur **Analyse der Sozialverträglichkeit** der Wirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans wurde eine nach Haushaltstypen differenzierte Analyse durchgeführt. Hierdurch sollen Aufschlüsse darüber gewonnen werden, ob bzw. in welchem Maße Menschen in spezifischen Lebenslagen und -formen durch die in den Szenarien vorgesehene Sanierungsintensität finanziell betroffen wären. Hierbei werden folgende sechs **Haushaltstypen** untersucht:

- Alleinerziehende,
- Paare mit mindestens einem Kind im Haushalt,
- Alleinlebende Senioren, d. h. Personen ab 65 Jahren,
- Senioren-Paare, d. h. Haushalte mit zwei Erwachsenen ab 65 Jahren,
- Alleinlebende Erwachsene unter 65 Jahren,
- Paare unter 65 Jahre ohne Kinder im Haushalt.

⁶⁶ Die Prognos AG verfügt über mehrere Modelle zur Abbildung und sektoralen Fortschreibung von Energieverbrauch und Energieumwandlung in Deutschland. Diese Modelle bilden die Grundlage für langfristige Prognosen und Szenarien. Beim Gebäudemodell der Prognos AG handelt es sich um ein bottom-up basiertes Kohortenmodell mit einer historischen Fortschreibung von Wohnflächen nach Gebäudeklassen (EFH, ZFH, MFH), Baualtersklassen sowie der Heizungsanlagen in ihrer jeweiligen energetischen Qualität. Die Basis bilden unterschiedliche Datensätze, wie etwa die amtliche Vollerhebung und der Mikrozensus; die Fortschreibung erfolgt auf Basis der amtlichen Baustatistik sowie auf Basis von Marktdaten zu Heizungsanlagen. Die Ergebnisse werden jährlich mit verfügbaren sekundären Quellen und empirischen Erhebungen abgeglichen und auf die amtliche Energiestatistik (Arbeitsgruppe Energiebilanzen) energieträgerscharf kalibriert. Damit bietet das Modell eine sehr verlässliche Grundlage bezüglich der absoluten Höhe des spezifischen Energieverbrauchs pro Wohnfläche in den einzelnen Gebäudeklassen wie auch bezüglich der Geschwindigkeit ihrer Veränderung.

Die folgenden Auswertungen zur Einkommens- und Wohnsituation dieser Haushalte sind auf Basis des sozio-oekonomischen Panels (SOEP, Welle v29, Erhebungsjahr 2012) durchgeführt.

(2) Die **Einkommenssituation** der betrachteten Haushaltstypen unterscheidet sich erheblich, wie in Tabelle 40 ausgewiesen. Die Spanne der mittleren verfügbaren Haushaltseinkommen (Medianeinkommen nach Steuern und Transferleistungen) in Nordrhein-Westfalen reicht von 15.600 Euro pro Jahr bei alleinlebenden Senioren bis zu 43.100 Euro bei Familien mit zwei Elternteilen. Im Vergleich mit dem deutschlandweiten Durchschnitt zeigt sich zum einen eine sehr ähnliche Verteilung der Haushaltstypen, zum anderen, dass die Medianeinkommen in den meisten Haushaltstypen in Nordrhein-Westfalen leicht höher als im Bundesdurchschnitt liegen.

Aufgrund dieser grundsätzlichen strukturellen Ähnlichkeit können die differenzierteren Auswertungen zu den Haushalten im Folgenden mit bundesweiten **SOEP-Daten** gerechnet werden, ohne dass die Situation in NRW verzerrt dargestellt wird. Die Verwendung bundesweiter Daten ist methodisch zu bevorzugen, da durch die größere Fallzahl differenzierte Auswertungen für Einzelgruppen belastbarer durchgeführt werden können und die Gefahr erheblicher Verzerrungen durch einzelne Ausreißer-Fälle vermieden wird. Die im Bundesdurchschnitt leicht niedrigeren Medianeinkommen führen in den Auswertungen für NRW dazu, dass problematische Auswirkungen auf die Sozialverträglichkeit eher überschätzt werden.

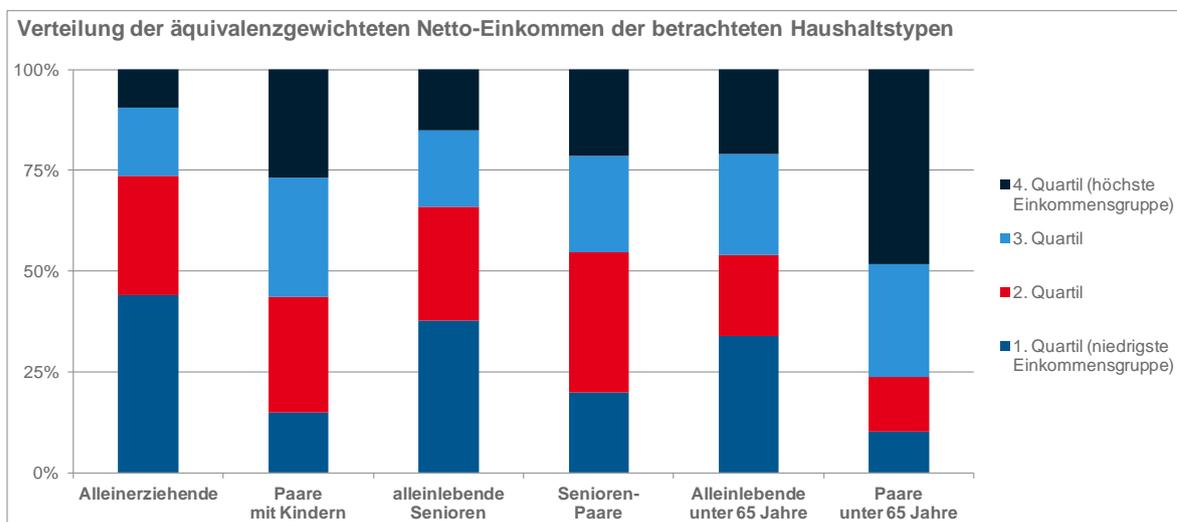
Tabelle 40: Haushaltstypen und verfügbare Haushaltsnettoeinkommen, NRW und Deutschland, 2012

Haushaltstyp	Nordrhein-Westfalen		Deutschland	
	Anteil an allen Haushalten	Median-Haushaltseinkommen	Anteil an allen Haushalten	Median-Haushaltseinkommen
Alleinerziehende	6 %	22.530 €	5 %	22.530 €
Paare mit Kind(ern)	24 %	43.058 €	22 %	42.196 €
Alleinlebende Senioren	16 %	15.608 €	17 %	15.290 €
Senioren-Paare	15 %	27.806 €	15 %	26.407 €
Alleinlebende unter 65 Jahre	23 %	18.530 €	24 %	17.390 €
Paare unter 65 Jahre	16 %	38.575 €	16 %	38.099 €
Haushalte gesamt	100 %	27.841 €	100 %	26.221 €

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis SOEP v29, hochgerechnet

Wie in Tabelle 40 ausgewiesen, verfügen Haushalte von Alleinlebenden und Alleinerziehenden über die niedrigsten mittleren Einkommen. Allerdings kann ohne Berücksichtigung der Zahl der Haushaltsmitglieder nicht unmittelbar auf die wirtschaftliche Situation des Haushalts geschlossen werden. Aussagekräftiger ist hierfür die Betrachtung der äquivalenzgewichteten⁶⁷ Haushaltsnettoeinkommen. In Abbildung 74 ist die Einkommensstruktur der Haushaltstypen nach Einkommensquartilen dargestellt. Das 1. Quartil entspricht hierbei dem nach Bedarf gewichteten einkommensschwächsten Viertel der Bevölkerung, das 4. Quartil weist das einkommensstärkste Viertel der Bevölkerung aus.

Abbildung 74: Verteilung der Nettoäquivalenzeinkommen nach Haushaltstypen, Deutschland, 2012



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis SOEP v29, hochgerechnet

(3) Der Vergleich der **Nettoäquivalenzeinkommen** zeigt, dass niedrige Einkommen am häufigsten bei Alleinerziehenden verbreitet sind. Bei nahezu drei Viertel der Alleinerziehenden-Haushalte (74 %) liegt das Einkommen unter dem mittleren Einkommen der Bevölkerung (Medianeinkommen), 44 % der Alleinerziehenden verfügen maximal über ein Einkommen, das dem einkommensschwächsten Viertel der Gesamtbevölkerung entspricht. Ein hoher Anteil niedriger Einkommen zeigt sich zudem bei alleinlebenden Senioren, von denen 66 % über weniger als das Medianeinkommen der Bevölkerung verfügen. Bei 37 % der alleinlebenden Senioren entspricht das Einkommen dem einkommensschwächsten Viertel der Bevölkerung. Bei der Prüfung der Sozialverträglichkeit ist auf diese beiden Haushaltstypen daher ein besonderes Au-

⁶⁷ Das Haushaltseinkommen wird mittels einer Äquivalenzskala gewichtet. Die Gewichtung richtet sich nach Anzahl und Alter der Personen der Haushaltsgemeinschaft. Nach der modifizierten OECD-Skala geht der Hauptbezieher des Einkommens mit Faktor 1 in die Gewichtung ein, alle weiteren Haushaltsmitglieder ab 15 Jahre mit 0,5 und alle jüngeren mit 0,3.

genmerk zu legen. Bei unter 65-jährigen Paaren ohne Kinder – aber auch mit Kindern – sind einkommensstarke Haushalte dagegen am häufigsten vertreten.

(4) Bei der Analyse der finanziellen Auswirkungen der Szenarien zur energetischen Sanierung auf Haushalte ist zu berücksichtigen, dass die Kosten der (Warm-)Miete für die einkommensschwächsten Haushalte dem Grundsatz nach durch soziale **Transferleistungen** getragen werden. Sofern sanierungsbedingt steigende Wohnkosten von den Transferleistungsträgern als angemessen akzeptiert werden, sind von wirtschaftlicher Instabilität bedrohte Haushalte, die Transferleistungen wie Arbeitslosengeld II oder Wohngeld beziehen, von den Auswirkungen des Klimaschutzplanes in Form von Mieterhöhungen oder sinkenden Energiekosten gar nicht oder nur teilweise betroffen.⁶⁸ Entsprechende Be- und Entlastungswirkungen fallen dagegen bei Kommunen, dem Land und dem Bund an, gegebenenfalls wird hier ein Ausgleich notwendig.

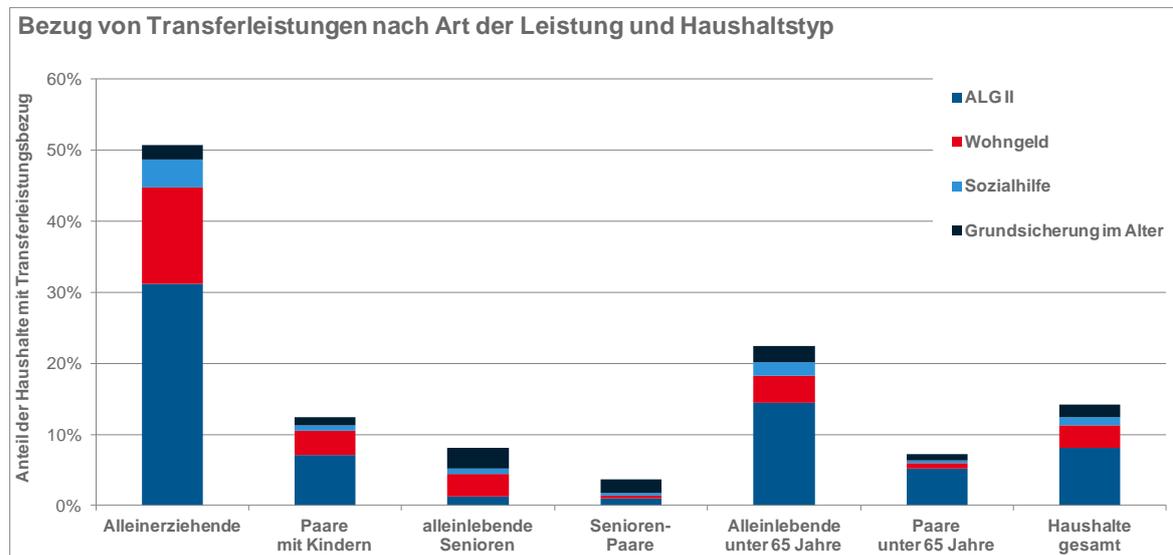
Empfänger von Leistungen des Arbeitslosengeldes II (SGB II) als auch von Sozialhilfeleistungen (SGB XII) bekommen als sogenannte Kosten der Unterkunft (KdU) sowohl die Bruttokaltmiete als auch die Kosten für Heizung und Warmwasser, – sofern diese in Relation zu den kommunalen Mietspiegeln angemessen sind – gezahlt. Als weitere Transferleistung können bedürftige Haushalte **Wohngeldleistungen** als Zuschuss zur Bruttokaltmiete beantragen. Die Höhe der Wohngeldleistungen richtet sich nach dem Einkommen. Ein Heizkostenzuschlag wurde 2009 eingeführt, 2011 aber bereits wieder abgeschafft.

(5) Abbildung 75 zeigt den Anteil der Leistungsempfänger verschiedener Transferleistungen (ALG II, Wohngeld, Sozialhilfe und Grundsicherung im Alter) nach Haushaltstypen auf Basis der Angaben im SOEP. Besonders hohe Inanspruchnahmequoten weisen Alleinerziehende mit einer Transferbezugsquote von über 50 % aber auch Alleinlebende unter 65 Jahren auf.⁶⁹

⁶⁸ Eine aktuelle Studie der Heinrich Böll Stiftung zeigt, dass die Praxis der Anerkennung energetischer Kriterien bei der Beurteilung der Angemessenheit der Wohnkosten in den Kommunen stark unterschiedlich gehandhabt wird. Ein Beispiel für die weitreichende Anerkennung stellt die Stadt Dortmund dar. Vgl. Hentschel, A. / Hopfenmüller, J. (2014): Energetisch modernisieren bei fairen Mieten? Heinrich Böll Stiftung Schriften zur Ökologie Band 37

⁶⁹ Die Ergebnisse auf Basis des SOEP liegen für die meisten Haushaltstypen unter den Werten der amtlichen Statistik. Laut Bundesagentur für Arbeit haben in NRW im November 2012 44,8 % aller Alleinerziehenden ALG II Leistungen erhalten.

Abbildung 75: Anteil von Transferempfängern an den jeweiligen Haushaltstypen, 2012



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis SOEP v29, hochgerechnet

In der Analyse zur Belastung der einzelnen Haushaltstypen durch die Wohnkostensteigerungen und die Energiekosteneinsparungen werden die Transferempfänger zunächst aus der Betrachtung ausgeschlossen. Vorausgesetzt wird hierbei, dass durch energetische Sanierung steigende Wohnkosten von den Transferleistungsträgern als angemessen akzeptiert und vollständig getragen werden (vgl. Absatz 4). Entsprechende Auswirkungen auf die Ausgaben der öffentlichen Haushalte sind Gegenstand von Abschnitt 7.6.

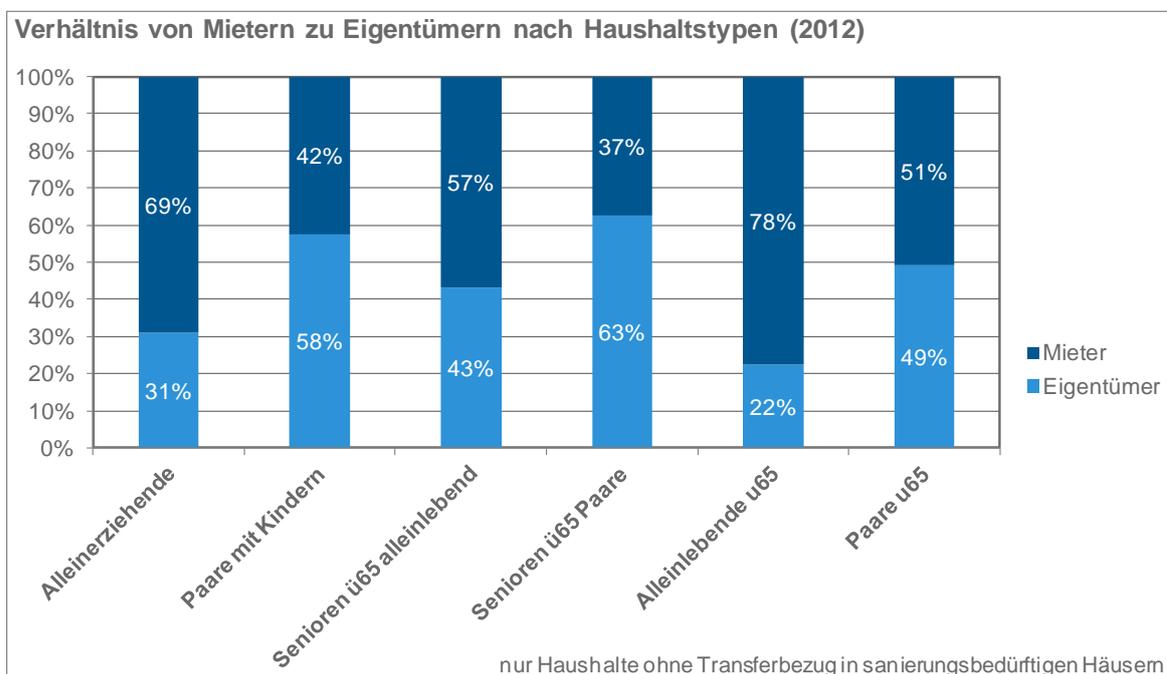
(6) Wie in den Abschnitten 7.3.1 bis 7.3.3 dargestellt, hängen die Kosten und Einspareffekte einer energetischen Wohnraumsanierung u. a. von den Eigentumsverhältnissen der Bewohner, dem Wohnungstyp, dem Baualter und dem baulichen Zustand einer Wohnung ab. Zwischen dem **Haushaltstyp** und dem **Haushaltseinkommen** zeigen sich **strukturelle Zusammenhänge** bzw. Unterschiede hinsichtlich dieser Einflussfaktoren.

(7) Bezogen auf die **Eigentümerschaft** von Haushalten ohne Transferbezug in sanierungsbedürftigen Häusern zeigt sich, dass über drei Viertel (78 %) der alleinlebenden unter 65-Jährigen zur Miete wohnen. Ebenfalls überdurchschnittlich hoch ist die Mieterquote mit 69 % bei den Alleinerziehenden sowie mit 63 % bei den alleinlebenden Senioren. Überdurchschnittlich hohe Eigentümerquoten zeigen sich bei Senioren-Paaren (63 %) und Paaren mit Kindern (42 %).

Über alle Haushaltstypen hinweg besteht zudem ein enger Zusammenhang zwischen dem – absoluten wie äquivalenzgewichteten – Haushaltseinkommen und der Eigentümerschaft. Je höher das Einkommen, desto größer ist der Anteil selbstnutzender Eigentümer unter den Haushalten (vgl. Abbildung 76).

Wie in Abbildung 77 dargestellt wohnen lediglich 26 % der Haushalte aus dem untersten Einkommensquartil im Eigentum, im höchsten Einkommensquartil sind es rund 63 %.

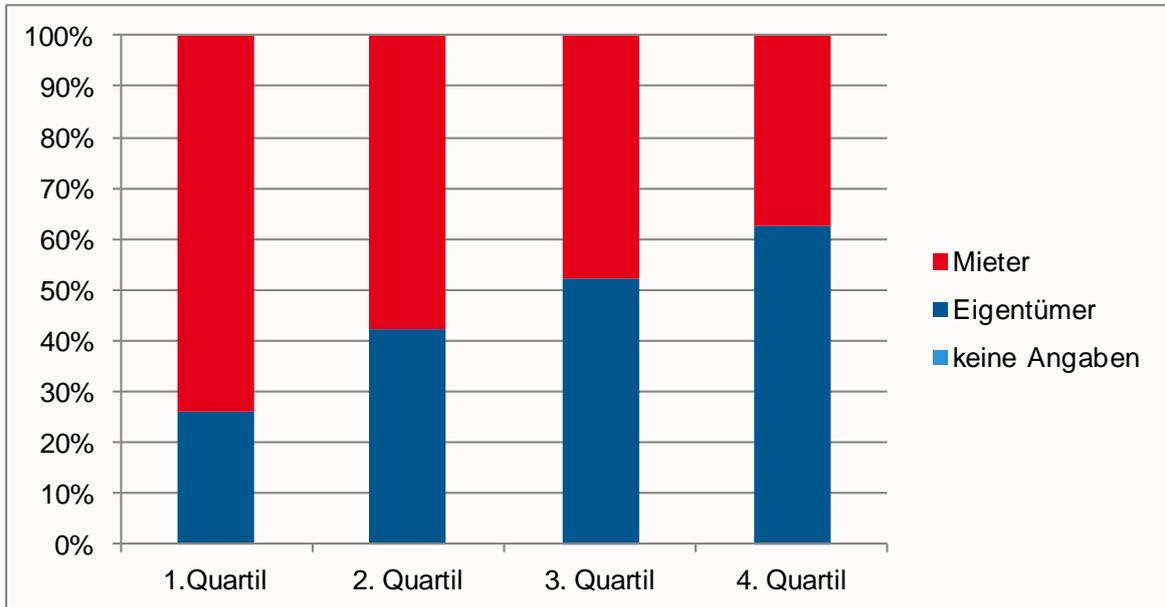
Abbildung 76: Verhältnis von Mietern zu Eigentümern nach Haushaltstypen, 2012⁷⁰



Quelle: Eigene Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

⁷⁰ nur Haushalte ohne Transferbezug in sanierungsbedürftigen Häusern.

Abbildung 77: Verhältnis von Wohnungseigentümern und -mietern nach äquivalenzgewichteten Nettohaushaltseinkommensquartilen, 2012



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis SOEP v29, hochgerechnet

(8) Auch bei den weiteren wohnungsbezogenen Merkmalen zeigen sich systematische Unterschiede zwischen den **Haushaltstypen**. Während Paarhaushalte überdurchschnittlich häufig in Ein- und Zweifamilienhäusern wohnen (über 40 %), ist dieser Wohnungstyp bei Ein-Personen-Haushalten und Alleinerziehenden mit Anteilen von z.T. deutlich unter 30 % seltener verbreitet. Hier spielen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern eine entsprechend stärkere Rolle.

(9) Beim **Baualter** der Wohnungen zeigt sich ein enger Zusammenhang mit dem Alter der Bewohner. Senioren – ob in Paargemeinschaft oder allein lebend – wohnen am häufigsten in älteren Wohnungen mit Baujahr vor 1980 (über 75 %). Insbesondere Paare mit Kindern leben dagegen am häufigsten in neueren Wohnungen. Mit einem Anteil von rund 10 % liegt der Anteil von seit dem Jahr 2001 errichteten Neubauwohnungen bei Paaren mit Kindern am höchsten.

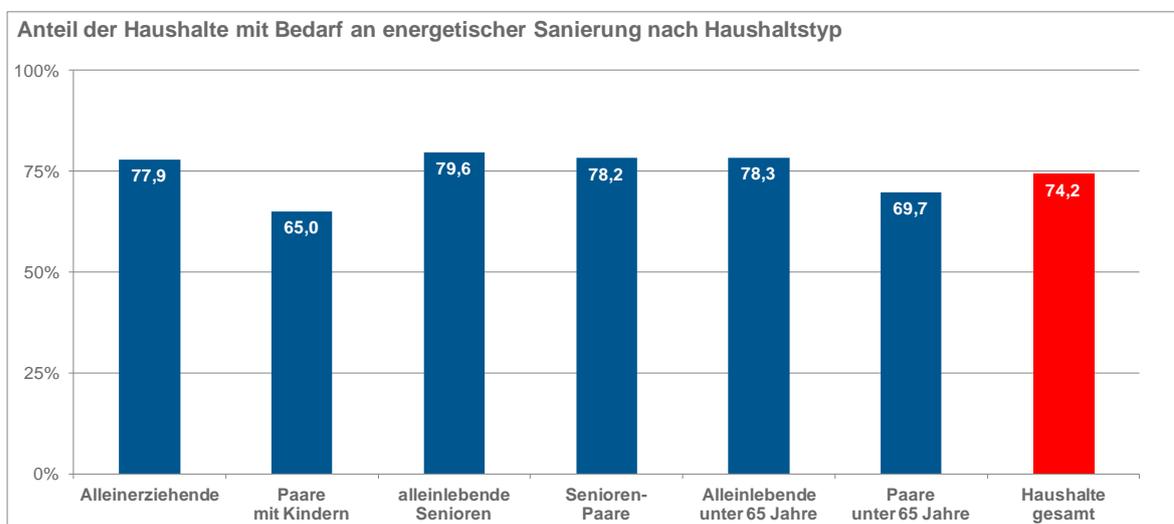
Sowohl beim Baualter als auch bei dem Wohnungstyp zeigen sich zudem enge Zusammenhänge zwischen dem äquivalenzgewichteten und absoluten Haushaltseinkommen. Je niedriger die Einkommen, desto häufiger leben die Haushalte in älteren Wohnungen und in Mehrfamilienhäusern.

(10) Zur Ermittlung der durch **energetische Sanierung** entstehenden Kosten als auch der Energieeinsparungen je Haushalt bildet der gegenwärtige bauliche Zustand der Wohnungen eine we-

sentliche Berechnungsgrundlage. Da in dem als Datengrundlage herangezogenen Sozio-oekonomischen Panel (SOEP) der Sanierungszustand nur grob und auf subjektiver Einschätzung beruhend erhoben wird⁷¹, liegt den Analysen stattdessen eine Kombination der Merkmale Baujahr des Wohnhauses und Heizkosten pro Quadratmeter zugrunde. Als nicht energetisch sanierungsbedürftig werden dabei seit 2001 errichtete Wohnhäuser gewertet sowie ältere Wohnungen, deren Heizkosten pro Quadratmeter im niedrigsten Quartil aller Wohnungen liegen. Die so ermittelte Menge des sanierungsbedürftigen Wohnraumbestands deckt sich mit den in aktuellen Erhebungen aufgeführten Werten.⁷²

Insgesamt wird auf Grundlage der SOEP-Auswertungen von einem Anteil der Wohnungen mit energetischem Sanierungsbedarf von knapp 75 % ausgegangen. Unter den betrachteten Haushaltstypen wohnen dabei alleinlebende Senioren und Seniorenpaare wie auch Alleinlebende unter 65 Jahren und Alleinerziehende überdurchschnittlich häufig in energetisch sanierungsbedürftigem Wohnraum (Abbildung 78). Insbesondere Paare mit Kindern, aber auch Paare unter 65 Jahre ohne Kinder leben dagegen überdurchschnittlich häufig in nicht sanierungsbedürftigen Wohnungen und Häusern.

Abbildung 78: Anteile der Haushalte mit Sanierungsbedarf nach Haushaltstyp, 2012



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis SOEP v29, hochgerechnet

⁷¹ Im SOEP werden die Befragten gebeten, den baulichen Zustand des Hauses, in dem sie wohnen, einer der folgenden vier Kategorien zuzuordnen: „In gutem Zustand“, Teilweise renovierungsbedürftig“, „Ganz renovierungsbedürftig“, oder „Abbruchreif“.

⁷² Vergleiche Kraus et. al. „Wo steht der Gebäudebestand energetisch? – Modernisierungsstand, Ausgangsbasis und Perspektiven. in Kurzberichte aus der Bauforschung, Jahrgang 53 (2012), Heft 5

(11) Unter dem Aspekt der Sozialverträglichkeit der Sanierungstätigkeit ist vor allem Haushaltstypen eine besondere Beachtung zu widmen, die

- einen hohen Anteil an Mietern aufweisen,
- über ein unterdurchschnittliches Haushaltseinkommen verfügen und
- zu einem hohen Anteil in sanierungsbedürftigem Wohnraum leben.

Wie die Ergebnisse der Haushaltsanalysen zeigen, trifft dies in besonderer Weise auf Alleinerziehende und alleinlebende Senioren, in abgeschwächter Form auch für Alleinlebende unter 65 Jahren zu.

7.3.5 Effekte der energetischen Gebäudesanierung auf der Ebene des Gesamtbestands

(1) Zur Ermittlung der langfristigen Effekte auf die Mieter und Eigentümer wurden die ermittelten Werte zur Be- und Entlastung der Haushalte pro Monat und Quadratmeter in Abhängigkeit von den Besitzverhältnissen, dem Gebäudetyp und dem Baujahr auch für die zukünftigen Dekaden mit dem aktuellen Bestand und der Struktur der Haushalte im SOEP verknüpft. Für die Darstellung wird mangels einer belastbaren Prognose zur strukturellen Veränderung der Haushaltskonstellationen und deren Wohnsituation von einer Konstanz der Haushaltsstrukturen ausgegangen. Die Analyse der langfristigen Belastungen berücksichtigt damit ausschließlich die Effekte der unterschiedlichen Entwicklung der einzelnen Szenarien und spiegelt unterschiedliche Lernkurveneffekte und Energieträgermische wider, wobei die Werte in realen Preisen von 2012 ausgewiesen sind.

(2) Unter den getroffenen Annahmen ist die Modernisierung energetisch unsanierter Gebäude **im Basisszenario für Mieter in etwa warmmietenneutral**, selbst wenn die Zusatzkosten der energetischen Modernisierung in vollem Umfang auf die Nettokaltmiete umgelegt werden. Mieter von Gebäuden mit mittlerer energetischer Qualität müssen in diesem Fall mit leichten Zusatzbelastungen rechnen.

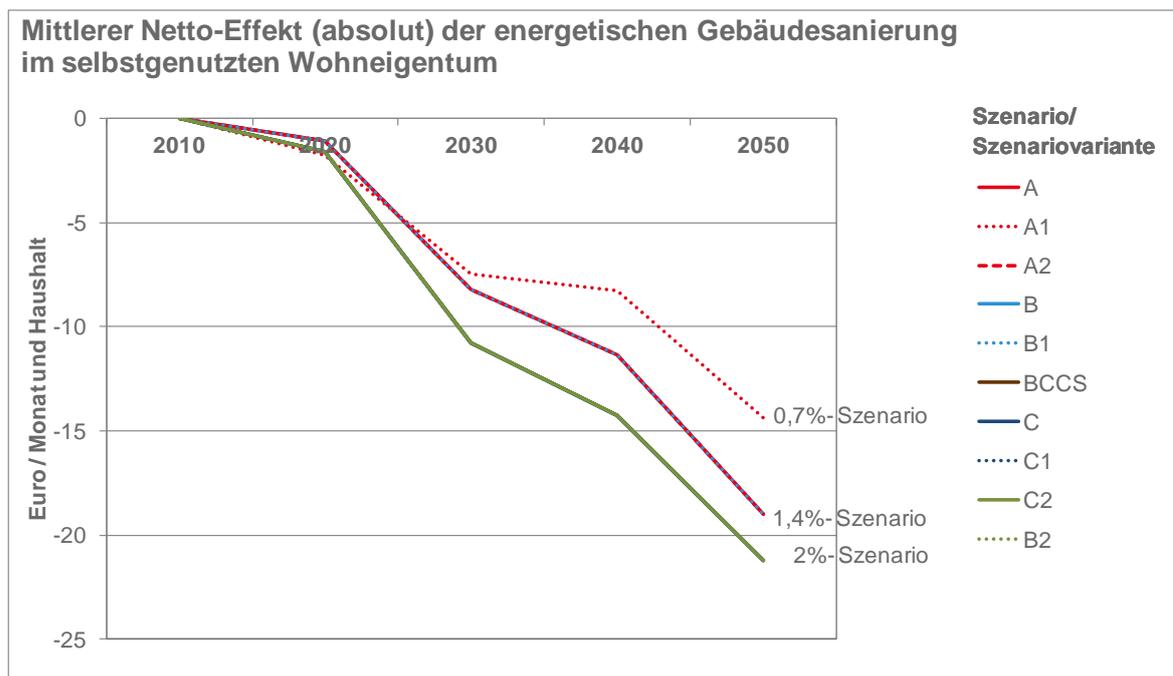
Für **Selbstnutzer** führt die Modernisierung energetisch unsanierter Gebäude **im Basisszenario zu einer Netto-Entlastung**. Für Eigentümer von Gebäuden mit mittlerer energetischer Qualität ist sie in etwa kostenneutral.

(3) Werden die Zusatzkosten einer energetischen Modernisierung in vollem Umfang auf die Nettokaltmiete umgelegt, sind **Mieter etwas mehr belastet als Eigentümer** (11 % Modernisierungsumlage vs. 20 Jahre Betrachtungsdauer).

(4) Für das selbst genutzte Wohneigentum führen die Szenarien des Klimaschutzplans zu einer weiteren, über das Basisszenario hinausgehenden Entlastung. Aufgrund der höheren Kostendegression im Bereich der energiebedingten Mehrkosten bei höheren Sanierungsraten haben das 1,4 %-Szenario und das 2 %-Szenario Vorteile gegenüber dem 0,7 %-Szenario. Grundsätzlich liegen die drei Szenarien allerdings recht nah zusammen. Neben der Kostendegression wirkt sich der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien (insbesondere Solarenergie und Umweltwärme) positiv auf den Netto-Effekt der Gebäudesanierungen aus.

(5) Bis zum Jahr 2050 wächst die Entlastung ggü. der Basis auf bis zu 21 Euro pro Monat und Haushalt im 2 %-Szenario. Für das 0,7 %-Szenario ergibt sich eine Entlastung von knapp 15 Euro pro Monat und Haushalt.

Abbildung 79: Mittlerer Netto-Effekt der energetischen Gebäudesanierung für selbstgenutztes Wohneigentum im Vergleich zur Basis in Euro / Monat und Haushalt

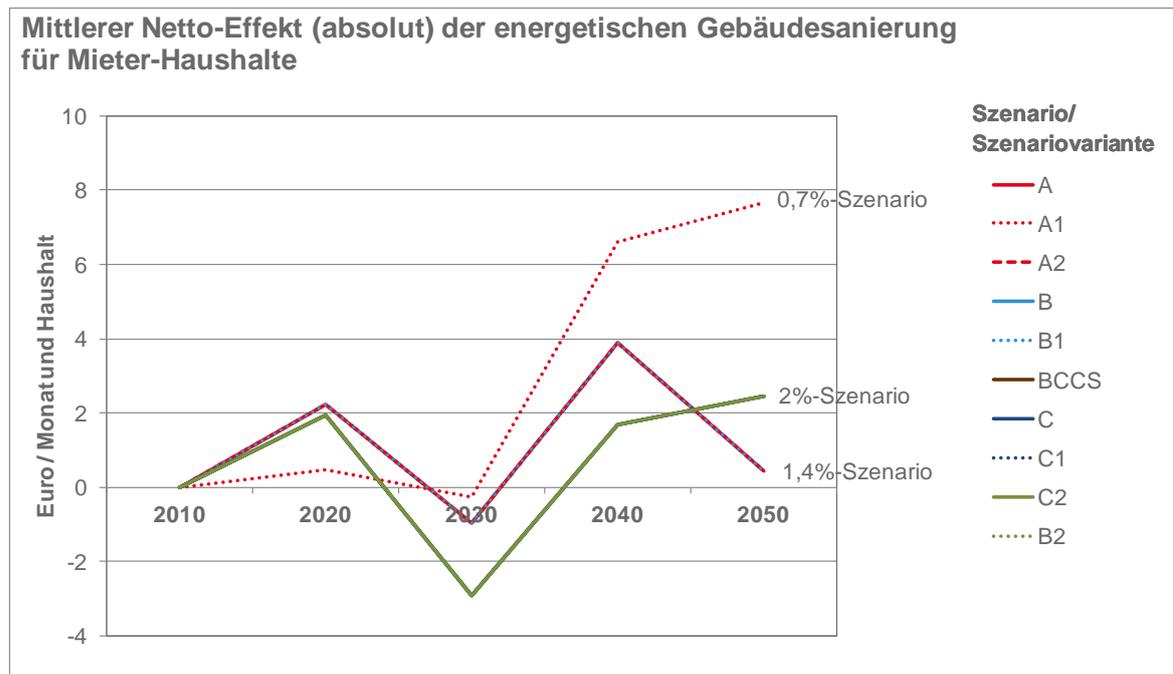


Quelle: Prognos AG

(6) Für Mietwohnungen schwanken die Ergebnisse der Szenarien des Klimaschutzplans um die Werte des Basisszenarios, was zu Be- und Entlastungen im Bereich -3 bis +4 Euro / Monat und Haushalt im Vergleich zu Basis führt. Ausnahme bildet das 0,7 %-Szenario, das in der letzten Dekade zu einer Belastung von etwa 8 Euro / Monat und Haushalt führt. Die Reihung der Szenarien des Klimaschutzplans ergibt sich, wie beim selbstgenutzten Wohnei-

gentum, aus dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien in allen Szenarien des Klimaschutzplans und der erhöhten Kostendegression bei hohen Sanierungsraten.

Abbildung 80: Mittlerer Netto-Effekt der energetischen Gebäudesanierung für Mietwohnungen im Vergleich zur Basis in Euro / Monat und Haushalt



Quelle: Prognos AG

(7) Der in Abbildung 79 und Abbildung 80 gezeigte Netto-Effekt setzt sich aus den Belastungen durch die Modernisierungsumlage (Abbildung 81) und der Entlastung durch die Heizkostenreduktion (Abbildung 82) im Vergleich zum Basisszenario zusammen.

Die **Modernisierungsumlage** liegt in den Szenarien des Klimaschutzplans höher als im Basisszenario. Bis zum Jahr 2030 resultiert dieser Unterschied nahezu ausschließlich aus dem höheren Einsatz von erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung, der mit einem höheren Investitionsaufwand verbunden ist. Nach 2030 kommen zusätzliche Investitionen durch die erhöhte Energieeffizienz der sanierten Gebäude hinzu (vgl. Abbildung 70).

(8) Für die **Heizkostenreduktion** ist das gleiche Verhalten bei umgekehrtem Vorzeichen zu beobachten. Im Vergleich zum Basisszenario sinken die Heizkosten in den Szenarien des Klimaschutzplans bis 2030 ausschließlich aufgrund des höheren Anteils der kostenfrei und unbegrenzt zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energien (Solare Energie, Umweltwärme) an der Wärmebereitstellung. Nach 2030 kommen zusätzliche Entlastungen durch die höhere Energieeffizienz der Sanierungen hinzu.

Abbildung 81: Mittlere Modernisierungsumlage für Mieter in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario bis 2050 in Euro/Monat und Haushalt

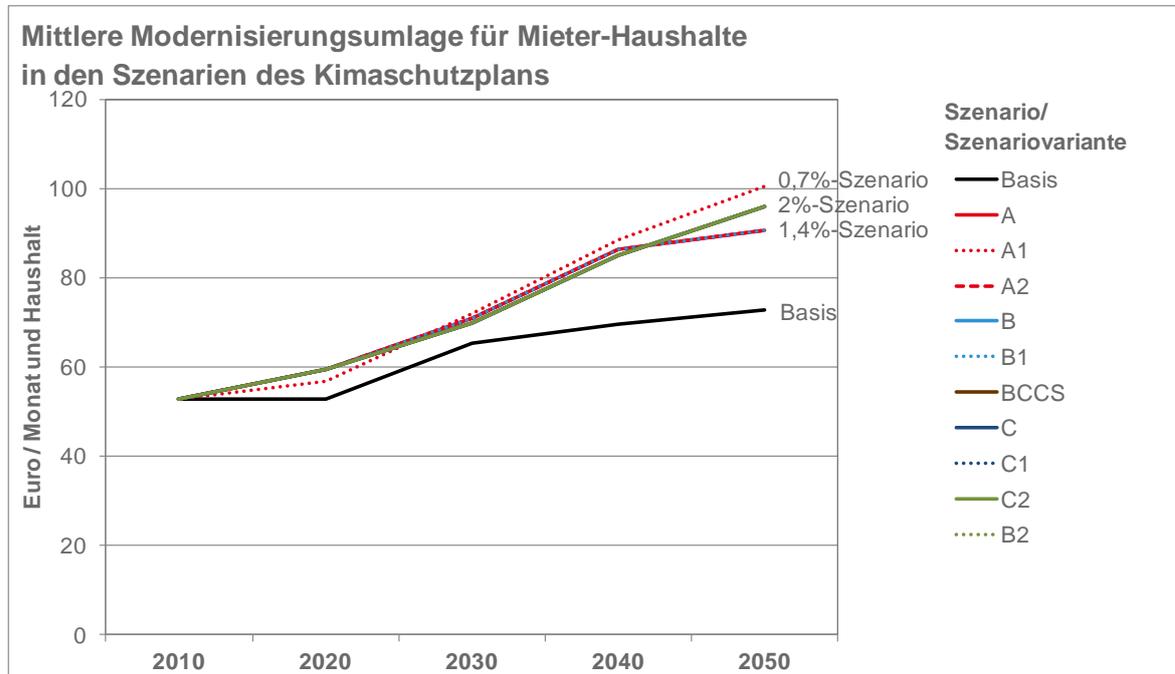
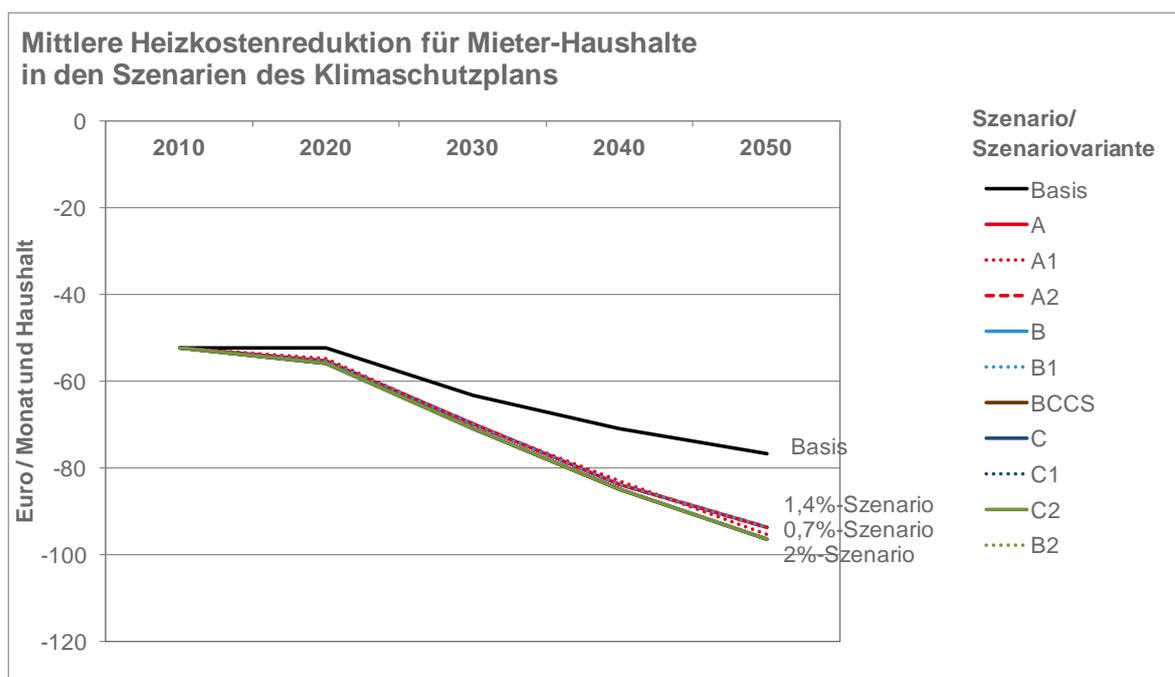


Abbildung 82: Mittlere Heizkostenreduktion für Mieter in NRW in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario bis 2050 in Euro/Monat und Haushalt



7.3.6 Effekte der energetischen Gebäudesanierung auf der Ebene von unterschiedlichen Haushaltstypen

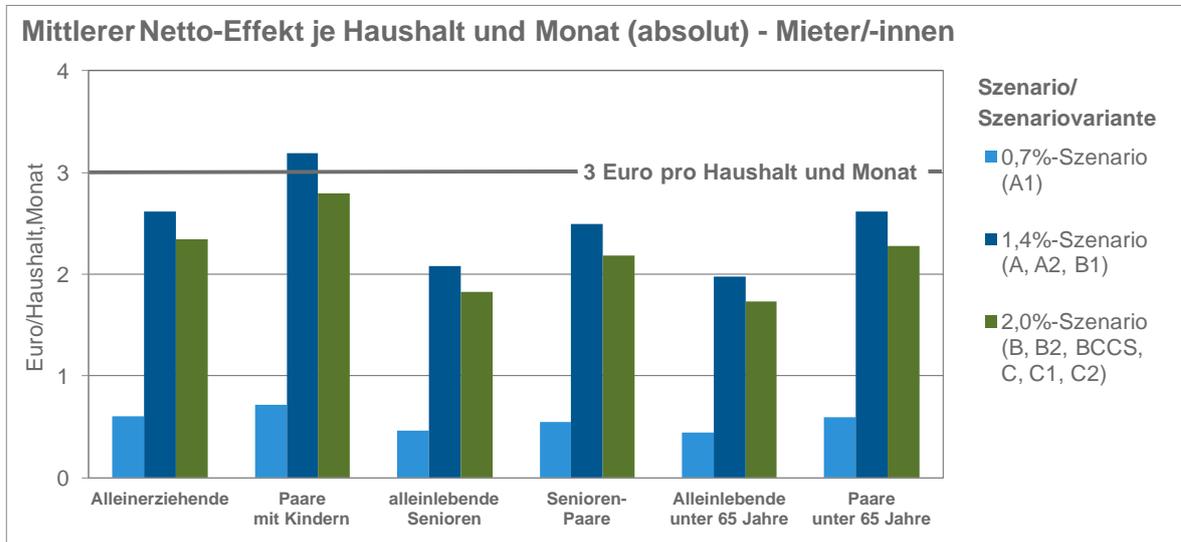
(1) Zur Ermittlung der finanziellen Be- oder Entlastung auf Ebene der privaten Haushalte werden für jeden Haushalt im SOEP-Datensatz auf Grundlage des Wohnungstyps, der Wohnungsgröße (Quadratmeter), des Eigentumsverhältnisses und des aus Baujahr und Heizkosten ermittelten Sanierungsbedarfs die Sanierungskosten und die Einsparungen durch den geringeren Energieverbrauch errechnet. Diese finanziellen Effekte werden in Relation zum verfügbaren Einkommen des Haushalts gestellt. Als Indikator sind die Medianwerte über alle Haushalte eines Haushaltstyps ausgewiesen. Die Be- und Entlastungen sind hierbei ausschließlich als Differenz gegenüber dem Basisszenario, welches ebenfalls von einer Sanierungstätigkeit ausgeht, dargestellt.

(2) Wie die Analyse der Einkommens- und Wohnsituation der verschiedenen Haushaltstypen für Deutschland und NRW gezeigt hat, verfügen **Alleinlebende** (unabhängig vom Alter) und **Alleinerziehende** im Durchschnitt über vergleichsweise niedrige Haushaltsnettoeinkommen und leben zudem häufiger in sanierungsbedürftigen Häusern. Hinzu kommt, dass sie häufiger zur Miete wohnen als Paarhaushalte oder Familien. Insgesamt schlagen sich die Kosten der energetischen Sanierung in Relation zum Haushaltseinkommen bei diesen Haushaltstypen daher stärker nieder.

Eine Sonderrolle nehmen die **Senioren Paarhaushalte** ein. Sie leben zwar häufiger in sanierungsbedürftigen Häusern, verfügen aber über ein höheres Einkommen und besitzen zudem häufiger Eigentum, weshalb die Mehrbelastungen durch die energetische Sanierung bezogen auf das verfügbare Einkommen relativ niedrig ausfallen.

(3) Die absoluten **Netto-Effekte auf die Brutto-Warmmieten** (Abbildung 83) sind insgesamt sehr gering, wobei sie bei Haushalten mit mehreren Personen und damit auch größeren Wohnungen etwas höher ausfallen als im Mittel. Für die betrachteten Haushaltstypen liegt die mittlere Veränderung der Bruttowarmmiete in der Dekade bis 2020 im Vergleich zum Basisszenario im 0,7 %-Szenario mit maximal 70 Cent pro Monat und Haushalt auf einem kaum spürbaren Niveau. Auch die vergleichsweise höheren Mehrkosten im 1,4 %-Szenario und 2,0 %-Szenario von maximal 3,20 je Monat und Haushalt im Vergleich zum Basisszenario bleiben letztlich gering.

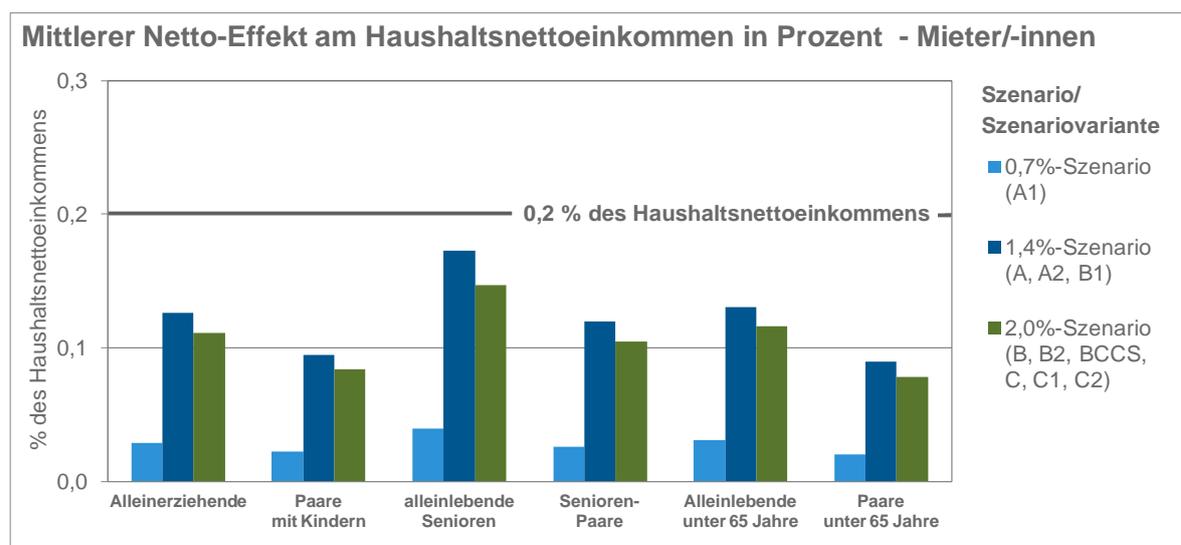
Abbildung 83: Mittlere Netto-Effekte (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Euro pro Monat und Haushalt



Quelle: Berechnungen der Prognos AG, ohne Bezieher von Transferleistungen

Entsprechend niedrig fallen die Mehrkosten über alle Szenarien und Haushaltstypen hinweg auch in Relation zum Haushaltseinkommen aus. **Die maximale Mehrbelastung liegt hier bei 0,17 % des verfügbaren Haushaltseinkommens** (Abbildung 84).

Abbildung 84: Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent des Haushaltseinkommens

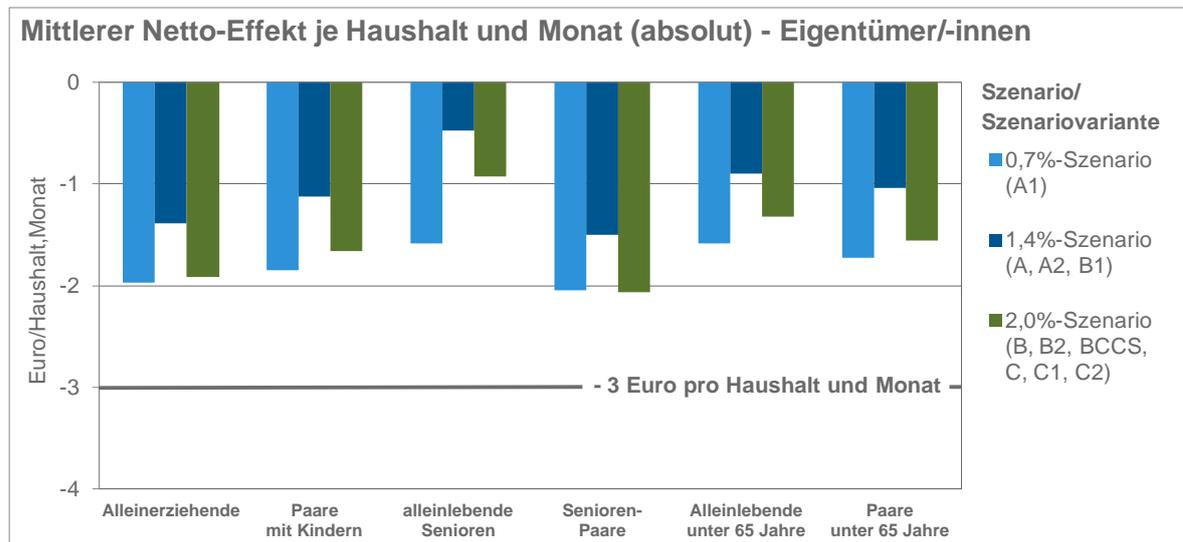


Quelle: Berechnungen der Prognos AG, ohne Bezieher von Transfereinkommen

(4) Die **Netto-Effekte der Modernisierung für Eigentümer** stellen innerhalb sämtlicher Szenarien und für alle Haushaltstypen Entlastungen dar - sowohl absolut betrachtet als auch in Relation zum Haushaltsnettoeinkommen. Die mittlere absolute Entlastung ist mit 50 Cent bis 2 Euro pro Monat und Haushalt allerdings ebenfalls kaum spürbar (Abbildung 85).

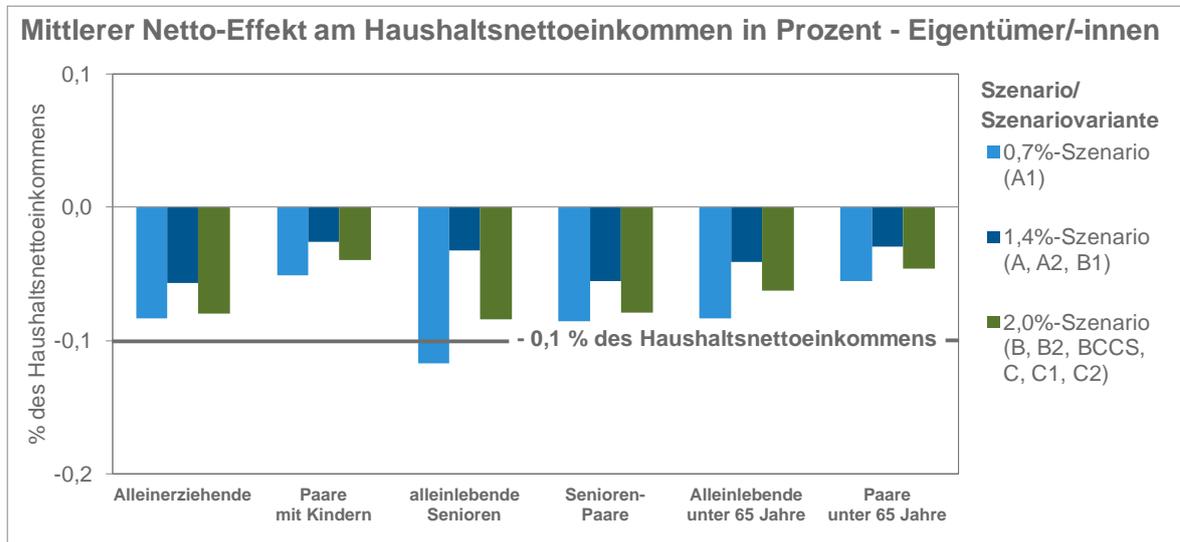
Gleichfalls marginal fallen die im Vergleich zum Basisszenario entstehenden Entlastungen der selbstnutzenden Wohneigentümer in Relation zu ihren Haushaltseinkommen aus. **Der maximale Entlastungseffekt liegt hierbei bei lediglich 0,12 % des verfügbaren Nettoeinkommens** (Abbildung 86).

Abbildung 85: *Mittlere Netto-Effekte (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Euro pro Monat und Haushalt*



Quelle: Berechnungen der Prognos AG

Abbildung 86: Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent des Haushaltseinkommens



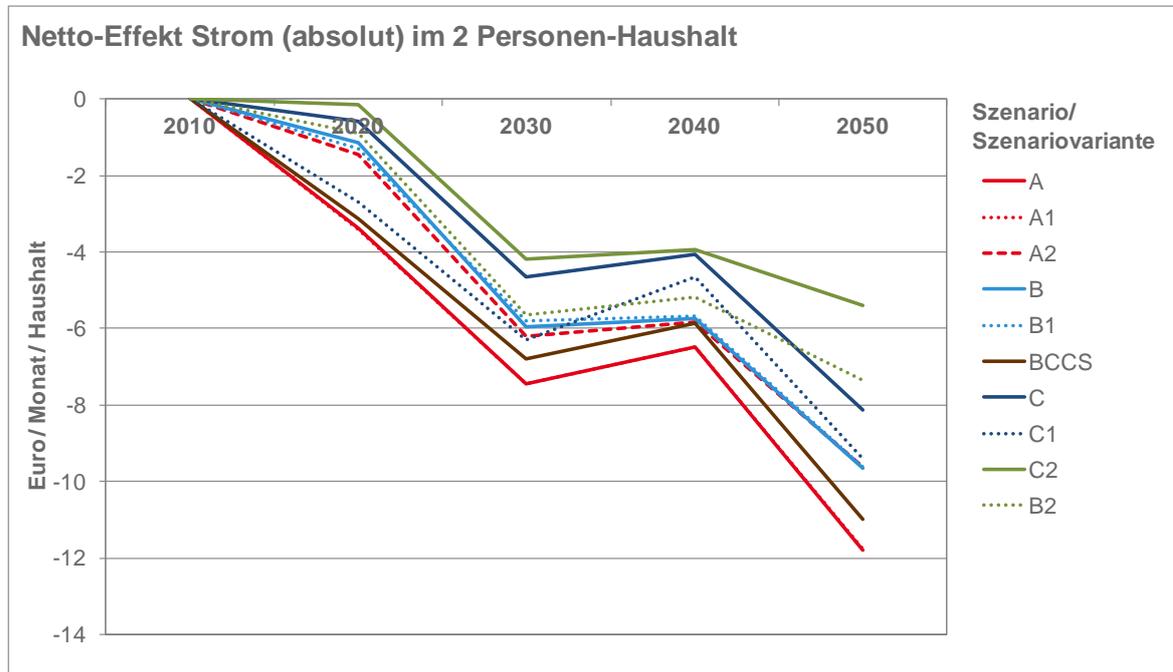
Quelle: Berechnungen der Prognos AG

7.3.7 Effekte auf die Stromausgaben von Haushalten

Die Effekte auf die Stromausgaben privater Haushalte werden durch die beiden Parameter Haushaltskundenpreis und Stromverbrauch bestimmt. Es wurde bereits gezeigt, dass **in allen Szenarien des Klimaschutzplans mit einer Reduktion der Ausgaben für Strom zu rechnen** ist. Abbildung 87 stellt die Entwicklung der Stromausgaben für einen 2-Personen-Haushalt im Vergleich zum Basisszenario bis 2050 dar. Die Entlastungen liegen je nach Szenario bei 6 bis 12 Euro pro Monat und Haushalt im Jahr 2050 und damit in gleicher Größenordnung wie die Effekte der energetischen Gebäudesanierung.

Die Entlastungen können daher helfen, die partiell auftretenden Belastungen durch die energetische Gebäudesanierung zu kompensieren. Dies gilt insbesondere für das Szenario A1, das zur höchsten Entlastung bei den Stromausgaben führt.

Abbildung 87: Stromkosten eines 2-Personen-Haushalts in NRW in Euro / Monat und Haushalt



Quelle: Prognos AG

7.3.8 Fazit

(1) Als **Fazit** der Sozialverträglichkeits-Analyse im Bereich **Wohnen** ist damit festzuhalten, dass die Be- und Entlastungseffekte der in den Szenarien des Klimaschutzplans vorgesehenen Sanierungstätigkeit im Vergleich zu dem Basisszenario ausschließlich geringfügig sind. Dies gilt auch mit Blick auf die Haushaltstypen, bei denen aufgrund der Einkommensstruktur besondere Belastungen vermutet werden können. Eine Unverträglichkeit der berücksichtigten Sanierungsszenarien hinsichtlich sozialer Aspekte kann damit ausgeschlossen werden. Die Stromausgaben liegen in allen Szenarien des Klimaschutzplans unter denen des Basisszenarios.

(2) Zur Einordnung dieser Ergebnisse soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass hierbei zum einen ausschließlich die klimaschutzspezifischen Differenzen gegenüber einer Basisentwicklung – d.h. ohne Berücksichtigung von ohnehin anzunehmenden Energiekostensteigerungen oder Kosten für die allgemeine Instandhaltung und Modernisierung – untersucht wurde.

(3) Als **mögliche flankierende Maßnahmen zur Steigerung der Sozialverträglichkeit** kommen in Betracht:

- Im Bereich der Transferleistungen zu den Wohnkosten sollten energetisch sanierte Gebäude als angemessen akzeptiert und die energetische Modernisierung für Wohngeldempfänger warmmietenneutral gestellt werden.
- Aufgrund starker regionaler Divergenz auf dem Wohnungsmarkt NRW sollten additiv zu den Bundesförderungen zielgerichtete Landesförderprogramme mit sozialer Ausrichtung fortgeführt bzw. intensiviert werden.

7.4 Vorgehen und Ergebnisse im Bereich Mobilität

7.4.1 Entwicklungen des Basisszenarios und der Szenarien des Klimaschutzplans

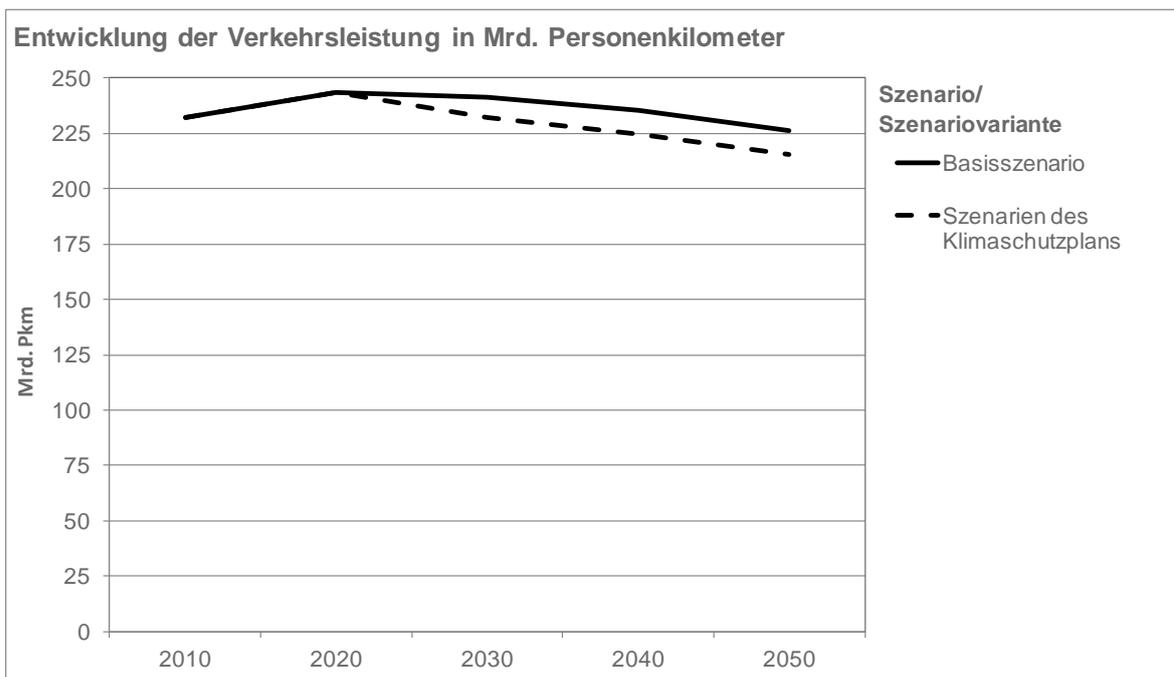
(1) Für den Verkehrssektor wurde von den Akteuren der Arbeitsgruppe Verkehr (AG 4) ein einheitliches **Annahmen-Set** für alle Szenarien des Klimaschutzplans erarbeitet, dessen Verkehrsmengengerüst auf den Zielszenarien der „Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung“ (2010) basiert, die auf die Erreichung von Klimaschutzzielen ausgerichtet sind. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde für den Vergleich mit einer von den Zielen des Klimaschutzplans NRW unbeeinflussten Entwicklung ein Basisszenario für NRW erarbeitet. Dieses ist konsistent mit dem Referenzszenario aus den genannten Energieszenarien und stellt für den Bereich Mobilität das fehlende Bindeglied zwischen den Energieszenarien auf Bundes- und Landesebene dar (siehe Kapitel 2).

(2) Bei der Erstellung des **NRW-Basisszenarios** wurden regionalspezifische Besonderheiten beachtet und die kurzfristige Perspektive der Verkehrsmengenentwicklung für NRW aus dem Szenario zum Klimaschutzplan übernommen. Diese berücksichtigt einen weiteren Anstieg des Verkehrsaufkommens in NRW im Zeitraum zwischen 2010 und 2020, bevor das Personenverkehrsaufkommen durch die Umsetzung der Klimaschutzstrategien und die demografische Entwicklung wieder zurückgeht. Die Entwicklung im Personenverkehr von 2010 bis 2020 wurde deshalb aus dem NRW-Szenario zum Klimaschutzplan für das Basisszenario übernommen. Die weitere Entwicklung ab 2020 folgt dann im Basisszenario dem Pfad des Referenz-Szenarios des Energiekonzeptes.

(3) In der Abbildung 88 wird die Entwicklung der landseitigen **Verkehrsleistung in beiden Szenarien** abgebildet. Die Entwicklung zeigt, dass die Verkehrsleistungen nach 2020 in beiden Szenarien kontinuierlich zurückgehen werden: Im Szenario des Klimaschutzplans stärker als im Basisszenario.

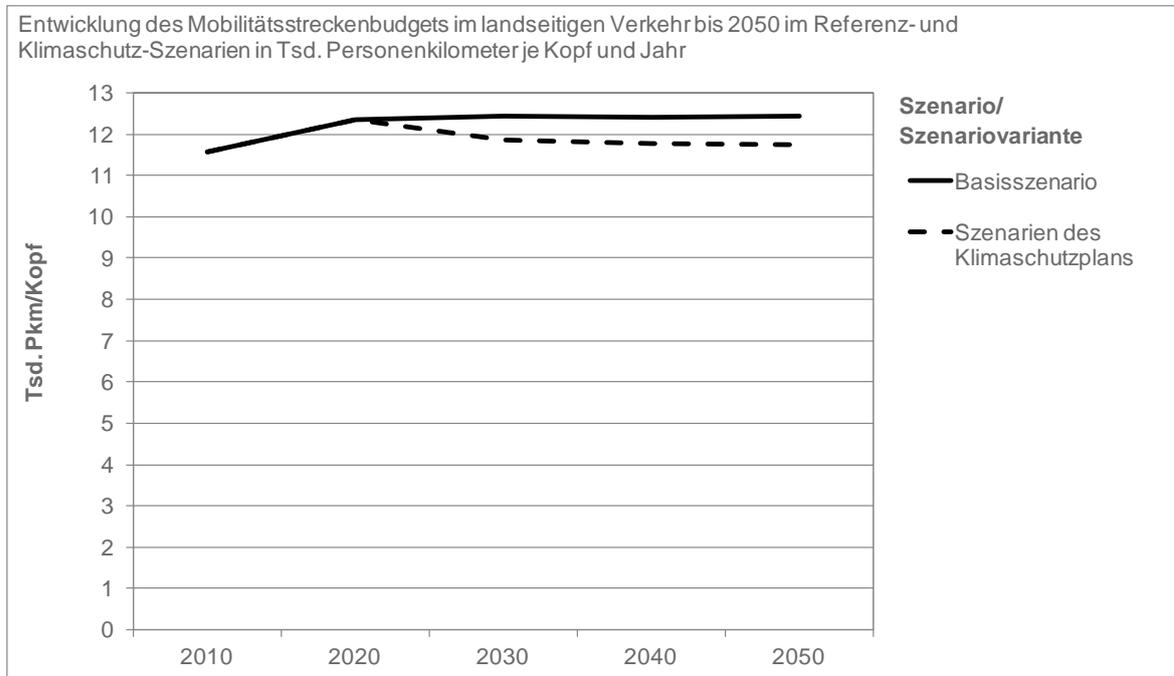
(4) Um diese Entwicklung besser zu verstehen, wird das **Mobilitätsstreckenbudget** betrachtet (Abbildung 89). Das Mobilitätsstreckenbudget drückt aus, wie viele Personenkilometer mit motorisierten individuellen und öffentlichen Verkehrsmitteln auf deutschen Verkehrswegen je Einwohner und Jahr erbracht werden. Aus der nachfolgenden Abbildung geht hervor, dass - während die Verkehrsleistung pro Kopf im Basisszenario konstant bleibt - diese im Szenario des Klimaschutzplans zwischen 2020 und 2030 sinkt und erst dann auf gleichem Niveau bleibt.

Abbildung 88: Entwicklung der Verkehrsleistung in NRW bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

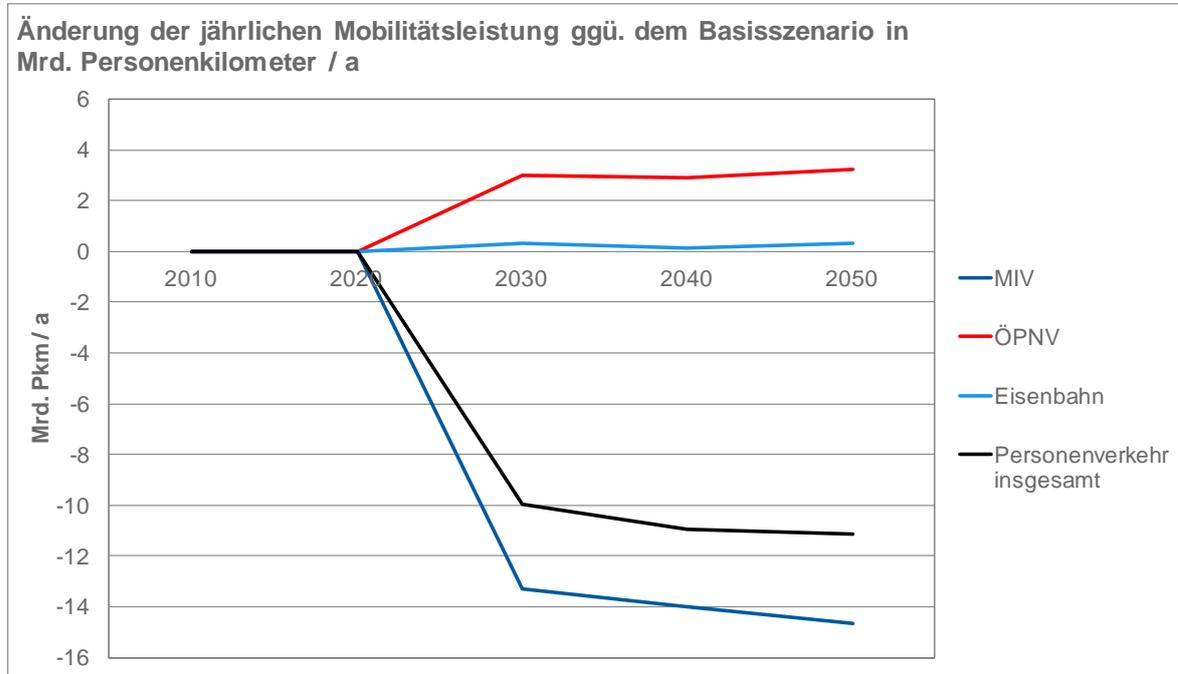
Abbildung 89: Entwicklung des Mobilitätsstreckenbudgets im landseitigen Verkehr bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(5) Die Aufteilung der Verkehrsleistung nach **Verkehrsträgern** zeigt darüber hinaus die szenariobedingte Verschiebung zwischen den Verkehrsträgern. Aus Abbildung 90 der wird deutlich, dass der motorisierte Individualverkehr (MIV) im Szenario des Klimaschutzplans kontinuierlich Anteile zugunsten des ÖPNV verliert. Der Anteil des ÖPNV steigt von aktuell 7,5 % bis zum Jahr 2050 auf 8,5 % und liegt im Szenario des Klimaschutzplans dann zwei Prozentpunkte bzw. 30 % höher als im Basisszenario. Der Anteil der Eisenbahn bleibt im Szenario des Klimaschutzplans zwischen 2030 und 2050 nahezu konstant (6,2 %) und entspricht damit weitgehend der Entwicklung im Basisszenario.

Abbildung 90: Änderung der jährlichen Mobilitätsleistung von MIV, ÖPNV, Eisenbahn und Personenverkehr insgesamt bis 2050 im Vergleich zum Basisszenario



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(6) Neben den Verkehrsleistungen im MIV und öffentlichen Verkehr (ÖV) werden im Szenario des Klimaschutzplans Entwicklungen im Fuß- und Radverkehr – als dritte Säule des landseitigen Verkehrs – abgebildet. Auch auf diese Verkehrsträger findet die Verlagerung vom MIV statt (vgl. Tabelle 41). Der Anteil des Fuß- und Fahrradverkehrs steigt von 6 % im Jahr 2010 auf 10 % im Jahr 2050. Besonders stark ist der Anstieg der **Fahrradverkehrsleistungen** insgesamt und pro Kopf.

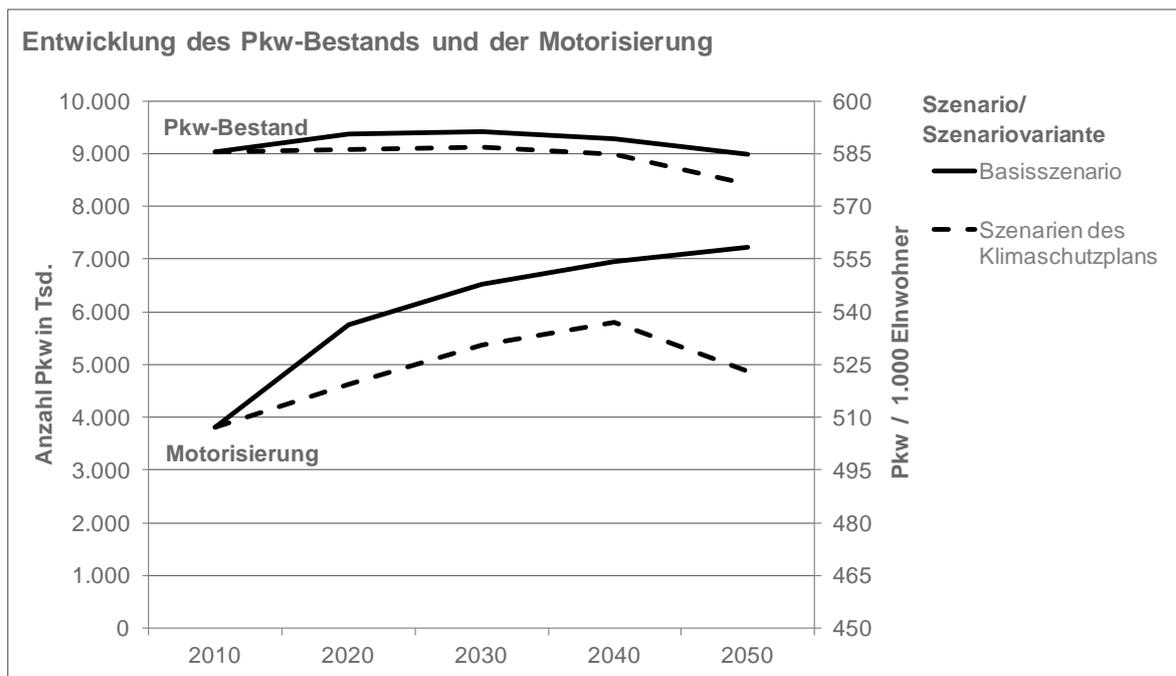
Tabelle 41: Entwicklungen im Fuß- und Radverkehr bis 2050 im Szenario des Klimaschutzplans

Verkehrsleistungen in Mrd. Pkm	2010	2020	2030	2040	2050
Fußverkehr	7.9	7.7	8.0	7.8	7.5
Fahrrad-Verkehr	6.9	6.7	15.3	14.9	14.3
Gesamt	14.7	14.4	23.2	22.6	21.8
<hr/>					
Verkehrsleistung pro Kopf (Pkm/Kopf)	2010	2020	2030	2040	2050
Fußverkehr	440.6	440.6	464.3	464.3	464.3
Fahrrad-Verkehr	385.0	385.0	887.7	887.7	887.7

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(7) Im Zusammenhang mit der sinkenden Verkehrsleistung im MIV stellt sich die Frage nach der **Entwicklung des Pkw-Bestandes** in beiden Szenarien. Aus folgender Abbildung geht hervor, dass die Anzahl der Pkw bis 2050 im Basisszenario wie im Szenario des Klimaschutzplans annähernd konstant bleibt, wobei der Pkw-Bestand im Szenario des Klimaschutzplans über den ganzen Zeitraum ein etwas niedrigeres Niveau aufweist und nach 2040 leicht sinkt. Der Motorisierungsgrad – Pkw-Verfügbarkeit pro 1.000 Einwohner (Pkw / Tsd. Einw.) – weicht zwischen den Szenarien deutlich stärker voneinander ab, wenngleich dieser Wert in beiden Szenarien im Vergleich zum Jahr 2010 noch zunimmt. Nach 2040 ist im Szenario des Klimaschutzplans ein Rückgang der Pkw-Verfügbarkeit zu beobachten, wobei das Niveau weiter über dem des Jahres 2010 liegt.

Abbildung 91: Entwicklung des Pkw-Bestandes bis 2050 in den Szenarien des Klimaschutzplans und im Basisszenario



Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

(8) Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass die Umsetzung der Strategien im Szenario des Klimaschutzplans eine (erwünschte) Mobilitätsverhaltensänderung bewirkt. Deren wesentliche Trends sind:

- Abnahme der Verkehrsleistung mit MIV
- Weniger starker Anstieg der Pkw-Verfügbarkeit
- Umstieg auf andere Verkehrsmittel wie z. B. ÖV und Rad

7.4.2 Sensitivität der Haushalte auf geänderte Mobilitätskosten

(1) Die **Ziele** der folgenden Analyse sind das Aufzeigen von Haushaltsstrukturen und die Identifikation der für eine mögliche Verteuerung im Verkehr sensiblen Haushaltstypen. Die Grundlage bildet die Erhebung „Mobilität in Deutschland 2008“ (MiD).

(2) **Verteuerungen** sind insbesondere durch einen erhöhten Investitionsbedarf bei der Beschaffung neuer Fahrzeuge (Pkw und ÖPNV-Verkehrsmittel) mit alternativen Antrieben möglich. Diese sind notwendig, um die im Klimaschutzplan angestrebte Pkw-Antriebsstruktur im Bestand zu erreichen. Weiterhin kann der Ausbau des ÖPNV – bei dann partiell geringerer Auslastung – trotz Verbesserung des Angebots für die Haushalte zusätzliche Kosten verursachen.

Da dem Basisszenario und dem Szenario des Klimaschutzplans identische Annahmen zur Entwicklung der Rohölpreise zugrunde liegen, ergibt sich hieraus methodisch bedingt kein unmittelbarer Impact auf die Haushalte. Die folgende Tabelle zeigt, dass die Preise für fossile Kraftstoffe bis 2050 um real gut 60 % ggü. 2010 anwachsen werden. Insofern ist unabhängig von der Umsetzung der Szenarien des Klimaschutzplans mit deutlich spürbaren Kostensteigerungen im MIV bis 2050 zu rechnen.

Tabelle 42: Entwicklung der Kraftstoffpreise bis 2050 in allen Szenarien in Euro₂₀₁₀ / l

	2010	2020	2030	2040	2050
Benzin in EUR/l	1,34	1,62	1,81	1,96	2,15
Diesel in EUR/l	1,29	1,57	1,76	1,90	2,10

Quelle: Prognos AG, Wuppertal Institut

Für die Analyse und Diskussion der Auswirkungen des Klimaschutzplans auf spezifische Haushaltstypen wird auf die differenzierte **Typologie** der MiD-Erhebung zurückgegriffen. Hierdurch wird die Anschlussfähigkeit an die MiD-Publikationen gewährleistet. Unterschieden wird nach folgenden elf Haushaltstypen:

- Alleinlebende, differenziert nach drei Altersgruppen (junge, mittlere und ältere Alleinlebende)
- Zweipersonenhaushalte, differenziert nach drei Altersgruppen (junge, mittlere und ältere Zweipersonenhaushalte)
- Paarhaushalte mit Kindern, differenziert nach dem Alter des jüngsten Kindes (unter 6 Jahren, unter 12 Jahren und unter 18 Jahren)
- Alleinerziehende sowie
- Haushalte mit drei oder mehr Erwachsenen.

Als weitere Einflussfaktoren werden neben dem Haushaltstyp die wirtschaftliche Situation der Haushalte sowie der Raumtyp der Wohnregion berücksichtigt.

(3) Die räumliche Verteilung der Wohnstätten und Arbeitsplätze sowie Infrastrukturen bildet ein Kernelement für die Erklärung von Mobilität.⁷³ Im Hinblick **auf Raum und Siedlungsstruktur**⁷⁴ leben 77,3 % der Haushalte in NRW in hochverdichteten Agglomerationsräumen und 7,0 % der Haushalte in Agglomerationsräumen mit herausragenden Zentren, wo große Verkehrsverbünde ein dichtes ÖPNV-Netz und gute Angebotsstrukturen vorhalten (müssen). 10,3 % der Haushalte haben ihren Lebensmittelpunkt in verdichteten Räumen höherer Dichte. Die restlichen knapp 6 % leben in verdichteten Räumen mittlerer Dichte mit und ohne Oberzentren.⁷⁵ Insgesamt kann die Mehrheit der Haushalte auf die ÖPNV-Strukturen der Agglomerationsräume zurückgreifen. Diese zeichnen sich durch ein dichteres ÖV-Netz und höhere Taktung im Vergleich zu den Angeboten in ländlichen Räumen aus. Von einer weiteren Verbesserung würden diese Gruppen profitieren, müssten hierfür aber ggf. steigende ÖPNV-Preise in Kauf nehmen.

(4) Der **ökonomische Status** der **Haushalte** gilt als wesentlicher Einflussfaktor auf das Mobilitätsverhalten.⁷⁶ Der ökonomische Status eines Haushalts wird nach dem Prinzip des Äquivalenzeinkommens (nach der OECD-Skala) bestimmt. Das Äquivalenzeinkommen ist ein Pro-Kopf-Einkommen, bei dessen Berechnung das Haushaltseinkommen durch eine nach Alter und Haushaltsgröße gewichtete Summe der Haushaltsmitglieder geteilt wird.⁷⁷ In NRW weisen 17,7 % der Haushalte einen sehr niedrigen bis niedrigen ökonomischen Status auf; 40,6 % haben einen mittleren und 41,8 % hohen bis sehr hohen ökonomischen Status.

Tabelle 43 zeigt die Verteilung nach dem ökonomischen Status, bezogen auf die vordefinierten Haushaltstypen. Daraus geht hervor, dass die Mehrheit der jungen Alleinlebenden sowie der Alleinziehenden zu den einkommensschwachen Gruppen gehören. Zu dieser Gruppe zählen außerdem rund ein Viertel der Haushalte mit einem Kind unter 18 Jahren, ältere Alleinlebende und junge Zweipersonenhaushalte. Auch knapp ein Fünftel der Haushalte mit Kindern unter 6 und 14 Jahren haben einen sehr niedrigen bis niedri-

⁷³ Vgl. Infas, DLR (2010a): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Kap. 3, S. 33

⁷⁴ Die Definition der Raumkategorien in MiD erfolgte im Wesentlichen entlang verschiedener Angebote aus der Raumbeobachtung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

⁷⁵ Vgl. Infas, DLR (2010b): Mobilität in Deutschland 2008. Tabellenband. Haushalte, S. 26

⁷⁶ Vgl. Infas, DLR (2010a): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Kap. 4, S. 128

⁷⁷ Infas, DLR (2010b): Mobilität in Deutschland 2008. Tabellenband. Haushalte, S. 2

gen ökonomischen Status. Mit anderen Worten: Die Personen mittleren Alters sowie Ältere ohne Kinder im Haushalt sind ökonomisch besser gestellt als die anderen Haushaltstypen. Diese Tendenz gilt auch für Haushalte mit mittlerem ökonomischen Status.

Tabelle 43: Verteilung der Haushaltstypen nach ökonomischem Status in NRW (in %)

Haushaltstypen	sehr niedrig	niedrig	Zwischen- summe	mittel	hoch	sehr hoch
junge Alleinlebende	15.1	28.1	43.2	31.7	21.4	3.7
Alleinlebende mittleren Alters	4.7	12.4	17.1	34.5	37.7	10.6
ältere Alleinlebende	2.7	21.3	24.0	44.6	25.5	6
junge Zweipersonenhaushalte	23.2	1.5	24.7	41.0	27.0	7.3
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	8.5	1.3	9.8	39.7	33.3	17.1
ältere Zweipersonenhaushalte	15.2	1.8	17.0	54.3	21.5	7.3
HH mit mind. 3 Erwachsenen	5.9	13.3	19.2	36.3	33.5	11.1
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	6.4	13.8	20.2	35.6	31.9	12.3
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	5.8	14.5	20.3	39.1	30.2	10.4
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	8.9	18.0	26.9	32.7	32.9	7.5
Alleinerziehende	27.4	26.4	53.8	30.1	14.4	1.6

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

(5) Bei einer detaillierten Betrachtung der **Einkommensverteilung**, bei der ein monatliches Nettohaushaltseinkommen der Haushalte zugrunde gelegt wird, zeigt sich die finanzielle Situation noch deutlicher (siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Verteilung der Haushaltstypen nach Nettohaushaltseinkommen in NRW Euro pro Monat (in %).

Haushaltstypen	bis unter 500	500 bis unter 900	900 bis unter 1.500	Zwischen- summe	1.500 bis unter 2.000	2.000 bis unter 2.600	2.600 bis unter 3.000	3.000 bis unter 3.600	3.600 bis unter 4.000	4.000 bis unter 4.600	4.600 bis unter 5.000	ab 5.000
junge Alleinlebende	15,1	27,0	27,8	69,9	14,0	7,3	0,7	1,8	0,3	0,8	0,0	5,1
Alleinlebende mittleren Alters	4,7	10,7	28,3	43,7	22,7	14,2	3,9	3,9	0,7	0,6	0,3	9,8
ältere Alleinlebende	2,6	17,8	38,3	58,7	16,0	7,6	2,6	2,0	0,3	0,3	0,0	12,6
junge Zweipersonenhaushalte	1,2	5,1	16,9	23,2	15,5	20,5	11,4	9,7	4,1	3,5	0,9	11,2
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	0,2	1,3	7,0	8,5	11,7	17,9	11,7	12,6	5,6	5,9	2,7	23,3
ältere Zweipersonenhaushalte	0,3	1,6	13,3	15,2	24,2	19,7	7,5	8,3	2,6	2,9	1,1	18,5
HH mit mind. 3 Erwachsenen	0,0	0,5	3,6	4,1	7,6	15,1	11,7	14,1	6,6	8,8	3,9	27,9
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	0,1	0,5	3,9	4,5	9,1	21,5	12,4	16,9	6,4	7,0	2,2	20,3
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	0,0	0,3	2,6	2,9	6,6	19,1	13,0	15,8	6,2	7,3	3,2	25,8
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	0,2	0,7	3,4	4,3	8,1	14,3	12,1	14,6	7,2	8,2	3,7	27,5
Alleinerziehende	1,0	7,9	32,7	41,6	25,0	15,7	4,9	3,3	2,4	0,5	0,2	6,3

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

Die Verteilung der Haushaltstypen zeigt, dass jeweils die deutliche Mehrheit der jungen Alleinlebenden (ca. 70 %) und der älteren Alleinlebenden (ca. 59 %) sowie jeweils über 40 % der Alleinlebenden mittleren Alters und der Alleinerziehenden über ein Haushaltsnettoeinkommen von maximal 1.500 Euro/Monat – d. h. weniger als das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen in NRW – verfügt.

(6) Die **Ausgaben für Mobilität** nehmen nach den Ausgaben für Wohnen den zweiten Rang in den Konsumbudgets ein und betragen fast ein Siebtel der gesamten Konsumausgaben.⁷⁸ In Tabelle 45 wird ein Überblick darüber gegeben, wie viel Geld in Abhängigkeit vom Nettohaushaltseinkommen dem jeweiligen Haushaltstyp monatlich für Mobilität zur Verfügung steht:

Tabelle 45: Monatliche Ausgaben für Mobilität in Abhängigkeit vom Nettohaushaltseinkommen nach Haushaltstypen (Euro pro Monat)

Haushaltstypen	bis unter 500	500 bis unter 900	900 bis unter 1.500	1.500 bis unter 2.000	2.000 bis unter 2.600	2.600 bis unter 3.000	3.000 bis unter 3.600	3.600 bis unter 4.000	4.000 bis unter 4.600	4.600 bis unter 5.000	ab 5.000
junge Alleinlebende											
Alleinlebende mittleren Alters											
ältere Alleinlebende											
junge Zweipersonenhaushalte											
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	bis 65 €	65 bis 117 €	117 bis 195 €	195 bis 260 €	260 bis 338 €	338 bis 390 €	390 bis 468 €	468 bis 520 €	520 bis 598 €	598 bis 650 €	ab 650 €
ältere Zweipersonenhaushalte											
HH mit mind. 3 Erwachsenen											
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren											
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren											
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren											
Alleinerziehende											

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

(7) Im Segment der **unteren Einkommensgruppe** bis unter 500 Euro stehen den Haushalten knapp 65 Euro im Monat für Mobilität zur Verfügung; das entspricht im regulären ÖV-Tarif beispielsweise einem MonatsTicket der Preisstufe 1a im Gebiet des Verkehrsverbund Rhein-Sieg (VRS-Gebiet) (CityTicket)⁷⁹ oder einem Ticket 2000 der Preisstufe A1 (Stadtgebiet in kleineren Städten und Gemeinden) bzw. A2 (Stadtgebiet in 17 größeren Städten mit einer besonders hohen Qualität des Nahverkehrsangebotes) im Abo des Verkehrsverbund Rhein-Ruhr (VRR)⁸⁰. Während ältere und jüngere Personen auf altersspezifische Ermäßigungen zurückgreifen können, haben die Personen im mittleren Alter nur die Möglichkeit, ihre Mobilitätsbedürfnisse in Form von Einzelfahrten zu erfüllen. Während im VRS-Gebiet MonatsTickets nicht übertragbar sind, können im VRR-Gebiet Inhaber des Tickets 2000 dieses an weitere Person übertragen (wichtig für Mehr-Personen-Haushalte mit einem niedrigen Einkommen). Neben den regulären Tarifen bieten die Verkehrsverbünde auch ein sog. Sozialticket an, das sich als eine rabattierte Monatskarte versteht.

⁷⁸ Vgl. Kuhnert, U., Radke, S. (2012): Personenverkehr in Deutschland – mobil bei hohen Kosten. In: DIW Wochenbericht Nr. 24.2012. Berlin, S. 10

⁷⁹ Vgl. <https://www.vrsinfo.de/tickets/tickets-fuer-regelmaessige-fahrten/monatsticket.html>. Zugriff 03.03.2014

⁸⁰ Vgl. http://www.vrr.de/imperia/md/content/service/tarifinformationen/die_preise_2014.pdf. Zugriff 03.03.2014

Eine weitere Analyse der Ticketpreise im ÖPNV zeigt, dass sich mit abnehmender Höhe des Einkommens auch der **Aktionsradius** bzw. die Reichweite der Ticketgültigkeit verringert. Im Rahmen eines durchschnittlichen monatlichen Einkommens von ca. 1.600 Euro/Monat kann man sich ein MonatsTicket der höchsten Preisstufe 5 im VRS-Gebiet und ein Ticket 2000 der höchsten Preisstufe E im VRR-Gebiet leisten.

(8) **Pkw** gehören heute zur Standardausstattung der privaten Haushalte.⁸¹ Während Personen im mittleren Alter im Verkehr zu Berufszwecken häufig auf einen Pkw angewiesen sind, benutzen die älteren Personen ihren Pkw für Arztbesuche, zum Einkaufen und in der Freizeit. Auch aus gesundheitlichen Gründen wird ein Pkw gefahren (überwiegend in der Altersgruppe zwischen 65 und 75 Jahre), weil man die Einkäufe nicht zu Fuß über längere Distanzen transportieren möchte oder kann. Die meisten Haushalte in NRW - etwa 52,5 % - verfügen über ein Auto und 25,6 % stehen zwei Pkw zur Verfügung. Lediglich 16,6 % der Haushalte haben kein Fahrzeug.⁸² Das bedeutet, dass rund 83 % aller Haushalte in NRW über mindestens einen Pkw verfügen.

In der nachfolgenden Tabelle 46 ist die **Pkw-Verfügbarkeit** nach Haushaltstypen dargestellt. Insbesondere Single-Haushalte und Alleinerziehende haben eine geringe Pkw-Verfügbarkeit und zählen daher zu den ÖV-Captives, d. h. sie sind mangels Alternative an den öffentlichen Verkehr gebunden.

Tabelle 46: Pkw-Verfügbarkeit nach Haushaltstypen (in %)

Haushaltstypen	kein Auto	1 Auto	2 Autos	3 Autos	4 und mehr Autos
junge Alleinlebende	37,6	57,8	3,2	0,9	0,6
Alleinlebende mittleren Alters	25,1	69,1	4,6	0,8	0,3
ältere Alleinlebende	45,5	52,3	1,7	0,3	0,2
junge Zweipersonenhaushalte	15,9	42,9	39,6	1,2	0,4
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	4,4	50,0	42,5	2,5	0,5
ältere Zweipersonenhaushalte	8,3	73,2	17,6	0,7	0,1
HH mit mind. 3 Erwachsenen	2,5	22,4	46,2	23,0	6,0
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	3,0	42,1	51,1	2,6	1,2
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	1,9	38,6	52,4	5,6	1,4
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	2,4	35,3	48,2	11,8	2,2
Alleinerziehende	22,9	75,0	1,7	0,1	0,3

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

⁸¹ Vgl. Kuhnert, U., Radke, S. (2012): Personenverkehr in Deutschland – mobil bei hohen Kosten. In: DIW Wochenbericht Nr. 24.2012. Berlin, S. 7

⁸² Infas, DLR (2010b): Mobilität in Deutschland 2008. Tabellenband. Haushalte, S. 8

Knapp 23 % der Alleinerziehenden verfügt über kein Auto während diese Quote bei Haushalten mit Kind oder Haushalten im mittleren Alter ohne Kinder unter 5 % liegt.

Tabelle 47: Pkw-Verfügbarkeit nach Haushaltseinkommen (in %)

Netto-Haushaltseinkommen in Euro	kein Auto	1 Auto	2 Autos	3 Autos	4 und mehr Autos
bis unter 500	66,50	32,00	1,40	0,00	0,00
500 bis unter 900	59,40	38,70	1,70	0,00	0,00
900 bis unter 1.500	34,50	60,80	4,10	0,20	0,20
1.500 bis unter 2.000	16,20	71,50	11,30	0,70	0,20
2.000 bis unter 3.000	6,50	59,00	30,60	3,30	0,60
3.000 bis unter 4.000	2,70	44,10	44,00	7,50	1,70
4.000 bis unter 5.000	1,50	29,00	52,50	14,10	2,90
5.000 bis unter 6.000	2,40	23,10	53,10	17,70	3,70
6.000 bis unter 7.000	0,30	22,30	55,10	16,10	6,30
mehr als 7.000	0,80	22,30	47,70	20,10	9,20

(gerundete Werte)
Quelle: MID 2008

Auch die Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Einkommen und der Anzahl der Autos zeigt eine starke Korrelation (Tabelle 47): mit steigendem Einkommen wächst die Anzahl der Haushalte mit einem Pkw und umgekehrt, je niedriger das Einkommen, desto größer ist die Anzahl der Pkw-losen Haushalte⁸³.

In der Einkommensklasse bis 1.500 Euro im Monat ist der Anteil der autolosen Haushalte am höchsten. Die Haushalte mit einem Einkommen zwischen 900 bis unter 3.000 Euro im Monat haben i.d.R. einen Pkw.⁸⁴

(9) Bei den Haushalten mit Pkw-Verfügbarkeit bestimmt der Pkw einen Teil der Mobilität. Generell steigt mit der Zahl der Personen im Haushalt die durchschnittliche Jahresfahrleistung an. Im Vergleich der Haushaltstypen weisen Haushalte mit mindestens drei Erwachsenen – gefolgt von Familien insbesondere mit älteren Kindern – die höchste jährliche Pkw-Fahrleistung auf.

⁸³ Infas, DLR (2010b): Mobilität in Deutschland 2008.

⁸⁴ Ebd., S. 7

Tabelle 48: Durchschnittliche Pkw-Kilometer pro Jahr je Haushalt und je Person nach Haushaltstyp, in km, 2008

Haushaltstyp	Jahresfahrleistung aller Pkw im Haushalt in km
Junge Alleinlebende	17.720
Alleinlebende mittleren Alters	17.448
Ältere Alleinlebende	9.366
Junge Zweipersonenhaushalte	25.144
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	23.374
Ältere Zweipersonenhaushalte	12.706
Haushalte mit mind. 3 Erwachsenen	31.223
Haushalte mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	25.966
Haushalte mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	27.575
Haushalte mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	29.441
Alleinerziehende	15.388

Quelle: MiD 2008

Allerdings ist der Zusammenhang zwischen Personenzahl und Jahresfahrleistung nicht proportional. Auf die – erwachsene – Person gerechnet liegt die Jahresfahrleistung bei jungen Alleinlebenden und Alleinlebenden mittleren Alters am höchsten. Bei Senioren liegt die Zahl der jährlichen Pkw-Kilometer dagegen am niedrigsten.

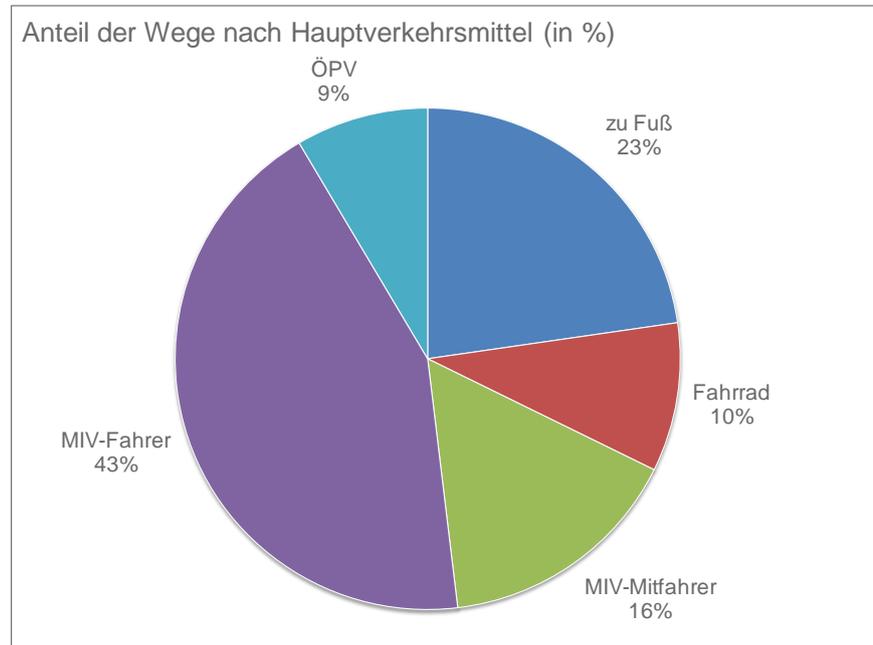
Auch hier kann ein **Zwischenfazit** im Hinblick auf die Sensitivität der Haushaltstypen gezogen werden: Von einer Verteuerung wären vor allem diejenigen Haushaltstypen betroffen, die eine hohe durchschnittliche Fahrleistung ausschließlich mit einem Pkw erbringen und gleichzeitig ein geringes Einkommen haben, z. B. junge und ältere Single-Haushalte. Ihnen bleibt – soweit keine adäquaten Alternativen wie Car-Sharing, ein optimales ÖPNV-Angebot o. ä. verfügbar sind – mit dem Ausstieg aus dem MIV im Zweifel nur eine mit größeren Einschnitten verbundene Handlungsoption, während Haushalte mit mehreren PKW zunächst die Zahl der PKW reduzieren und deren Nutzung optimieren können. Immerhin böte der Verzicht auf den eigenen PKW den Haushalten zusätzliche freie finanzielle Mittel, die für andere Mobilitätsformen wie dem ÖPNV oder Car-Sharing eingesetzt werden können.

(10) Auch bei der Autoverfügbarkeit wird ein – wenn auch geringer - Teil der Wege mit ÖPNV zurückgelegt. Folgende Abbildung zeigt die Anteile der Wege nach benutzten Hauptverkehrsmitteln:

Mehr als die Hälfte der Wege wird mit dem Pkw – entweder als Fahrer oder auch als Mitfahrer – zurückgelegt. Für 8,5 % der Wege werden öffentliche Verkehrsmittel benutzt. Darüber hinaus wer-

den die Wege, die man als Pkw-Fahrer zurücklegt, nicht mit anderen Verkehrsmitteln kombiniert. Mit anderen Worten: Der Pkw-Fahrer ist wenig intermodal.

Abbildung 92: Anteil der Wege nach Hauptverkehrsmittel (in %)



(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

In Tabelle 50 wird auf der Basis der Zahlen für 2012 die Anzahl der von Verteuerungen im den Bereichen ÖPNV und MIV betroffenen Haushalte überschlägig ermittelt. Auffällig ist eine hohe Pkw-Verfügbarkeit der jungen Alleinlebenden (58 % des jeweiligen Haushalt-Typs) bei gleichzeitig unterdurchschnittlichem Einkommen (70 % des jeweiligen Haushaltstyps).

Tabelle 49: Von einer möglichen Verteuerung im ÖPNV betroffene Haushalte⁸⁵

Haushaltstypen	Absolut 2012	davon HH mit einem unterdurchschnittl. Einkommen (unter 1.500 Euro/Monat)	Anteil am jeweiligem HH-Typ	HH ohne Pkw	Anteil am jeweiligem HH-Typ
junge Alleinlebende	251.488	175.790	70%	94.559	38%
Alleinlebende mittleren Alters	1.396.192	610.136	44%	350.444	25%
ältere Alleinlebende	1.569.632	921.374	59%	714.183	46%
junge Zweipersonenhaushalte	234.144	54.321	23%	37.229	16%
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	1.222.752	103.934	9%	53.801	4%
ältere Zweipersonenhaushalte	1.456.896	221.448	15%	120.922	8%
HH mit mind. 3 Erwachsenen	849.856	34.844	4%	21.246	3%
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	398.912	17.951	5%	11.967	3%
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	659.072	19.113	3%	12.522	2%
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	450.944	19.391	4%	10.823	2%
Alleinerziehende	130.080	54.113	42%	29.788	23%
Total	8.619.968	2.232.416	26%	1.457.486	17%

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

Tabelle 50: Von einer möglichen Verteuerung im MIV betroffene Haushalte⁸⁶

Haushaltstypen	Absolut 2012	davon HH mit einem unterdurchschnittl. Einkommen (unter 1.500 Euro/Monat)	Anteil am jeweiligem HH-Typ	HH mit einem Pkw	Anteil am jeweiligem HH-Typ
junge Alleinlebende	251.488	175.790	70%	145.360	58%
Alleinlebende mittleren Alters	1.396.192	610.136	44%	964.769	69%
ältere Alleinlebende	1.569.632	921.374	59%	820.918	52%
junge Zweipersonenhaushalte	234.144	54.321	23%	100.448	43%
Zweipersonenhaushalte mittleren Alters	1.222.752	103.934	9%	611.376	50%
ältere Zweipersonenhaushalte	1.456.896	221.448	15%	1.066.448	73%
HH mit mind. 3 Erwachsenen	849.856	34.844	4%	190.368	22%
HH mit mind. 1 Kind unter 6 Jahren	398.912	17.951	5%	167.942	42%
HH mit mind. 1 Kind unter 14 Jahren	659.072	19.113	3%	254.402	39%
HH mit mind. 1 Kind unter 18 Jahren	450.944	19.391	4%	159.183	35%
Alleinerziehende	130.080	54.113	42%	97.560	75%
Total	8.619.968	2.232.416	26%	4.578.773	53%

(gerundete Werte)
Quelle: MiD 2008

⁸⁵ Die Kategorie „verweigert“, „weiß nicht“ und „keine Angaben“ wurde hier nicht betrachtet bzw. herausgenommen.

⁸⁶ Die Kategorie „verweigert“, „weiß nicht“ und „keine Angaben“ wurde hier nicht betrachtet bzw. herausgenommen.

(12) Zwischenfazit Mobilität

Mit der vorliegenden Analyse wurden die wesentlichen Mobilitätsmerkmale der Haushalte in Verbindung mit Einkommen und Ausgaben für Mobilität erfasst und die für eine Verteuerung der Mobilität sensiblen Haushaltstypen identifiziert:

- Etwa 2,2 Mio. Haushalte in NRW bzw. gut ein Viertel aller Haushalte reagiert aufgrund ihrer unterdurchschnittlichen Monatseinkommen besonders sensibel auf Verteuerungen von Mobilität. Dies betrifft besonders alleinlebende aller Altersstufen und Alleinerziehende.
- Von einer Verteuerung im ÖPNV sind v.a. ÖV-Captives ohne eigenen PKW betroffen (ca. 1,4 Mio. Haushalte),
- Von einer Verteuerung im MIV sind potenziell Haushalte besonders betroffen, die auf ein Auto angewiesen sind und nur ein Auto zur Verfügung haben (ca. 4,5 Mio. Haushalte).

Mit Blick auf die erwarteten Preissteigerungen der fossilen Kraftstoffe (vgl. Tabelle 42) im Basisszenario und im Szenario des Klimaschutzplans wird aber auch deutlich, dass ein attraktives ÖPNV-Angebot durch die im Szenario des Klimaschutzplans skizzierten Optimierungen einen wichtigen Beitrag zum Umstieg auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel darstellt. Mit dem Umstieg auf den ÖPNV und dem Verzicht auf den eigenen PKW werden zusätzliche finanzielle Mittel freigesetzt, die für andere Mobilitätsbedürfnisse und/oder Zwecke eingesetzt werden können. Hiervon können insbesondere Haushalte profitieren, die in urbanen Gebieten mit verbessertem ÖPNV Angebot leben oder in Randgebieten, in denen der ÖPNV durch die Optimierungen überhaupt erst zur ernst zu nehmenden Alternative zum eigenen PKW wird.

7.5 Gesamtergebnis Sozialverträglichkeit

(1) Die Berechnungen im **Bereich Wohnen** zeigen, dass das Niveau der aus den Szenarien des Klimaschutzplans resultierenden Be- und Entlastungen vergleichsweise niedrig ist. Für keinen Haushaltstyp und kein Szenario des Klimaschutzplans ergeben sich damit Hinweise auf eine soziale Unverträglichkeit. Die gesamtwirtschaftlichen Berechnungen deuten darauf hin, dass mit keinen spürbaren Auswirkungen auf das allgemeine Preisniveau zu rechnen sein dürfte.

(2) Bei der Bewertung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die **Immobilienmärkte stark durch übergeordnete Aspekte getrieben** werden. Die sich hieraus ergebenden Herausforderungen für den Wohnungsmarkt sind nicht dem Klimaschutzplan zuzurechnen und auch nicht über ihn zu lösen. Nichts desto

trotz sollten sie bei der Umsetzung von Politikinstrumenten zum Klimaschutzplan grundsätzlich berücksichtigt werden, um die Akzeptanz für die Umsetzung von Klimaschutz im Wohngebäudebestand zu erhalten.

(3) Für **Mieter** ergibt sich ein **uneinheitliches Bild** mit geringen bis kaum spürbaren Be- und Entlastungen, die kurzfristig für alle untersuchten Haushaltstypen unter 0,2 % des verfügbaren Haushaltseinkommens liegt. Nur im 0,7 %-Szenario liegt die Belastung mit langfristig 6 bis 8 Euro pro Monat und Haushalt etwas höher. **Im selbst genutzten Wohneigentum zeigen sich langfristig spürbare Entlastungen** von bis zu 20 Euro pro Monat und Haushalt **in allen Szenarien**. Kurzfristig ergeben sich Entlastungen von maximal 0,1 % des verfügbaren Haushaltseinkommens der betrachteten Haushaltstypen. Die Heizkosteneinsparung (Entlastung) steigt im Vergleich zum Basisszenario in allen Szenarien des Klimaschutzplans stärker als die energiebedingten Mehrkosten (Belastung).

Die **Ausgaben** für den privaten **Stromverbrauch** sinken für einen beispielhaften Zwei-Personenhaushalt in allen Szenarien um 6 bis 12 Euro pro Monat - trotz der im Vergleich zur Basis leicht erhöhten Strompreise. Der Grund liegt in der deutlich stärkeren Entwicklung im Bereich der Energieeffizienz.

(4) Für die Beziehenden von wohnungsbezogenen Transferleistungen sind keine Effekte zu erwarten, da Bruttokaltmiete und Heizkosten von der öffentlichen Hand getragen werden. Grundvoraussetzung hierfür ist allerdings, dass energetisch sanierter Wohnraum als angemessen akzeptiert wird.

Die Effekte auf die kommunalen Haushalte sind im Vergleich zum Gesamtvolumen der von den Kommunen getragenen wohnungsbezogenen Transferleistungen sehr niedrig. Ggf. ist ein Ausgleich zwischen Kommunen, Land und Bund notwendig.

(5) Im **Bereich Mobilität** ist das Szenario des Klimaschutzplans durch die Abnahme der Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), den verminderten Zuwachs der Pkw-Verfügbarkeit und den Umstieg auf andere Verkehrsmittel wie z. B. ÖV und Rad gekennzeichnet.

Die im Szenario des Klimaschutzplans skizzierte Optimierung des ÖPNV- Angebots lässt insbesondere Haushalte in dicht besiedelten Gebieten und Städten und Haushalte ohne Pkw profitieren. Der optimierte ÖPNV erleichtert den Umstieg vom eigenen Pkw auf den ÖPNV und bietet den Haushalten damit zudem die Mög-

lichkeit, zusätzliche finanzielle Mittel frei zu setzen, die für andere Zwecke eingesetzt werden können.

Etwa 2,2 Mio. Haushalte in NRW bzw. gut ein Viertel aller Haushalte reagiert aufgrund ihrer unterdurchschnittlichen Monatseinkommen besonders sensibel auf Verteuerungen von Mobilität. Dies betrifft besonders Alleinlebende aller Altersstufen und Alleinerziehende.

Die im Klimaschutz-Szenario angestrebte Verlagerung von Teilen des MIV auf den ÖV kann grundsätzlich zu einem stärkeren sozialen Ausgleich beitragen. Bei einer bedarfsgerechten Weiterentwicklung des ÖV-Angebots erhalten mehr Haushalte die Möglichkeit, durch einen Umstieg auf den ÖV die – auch in der Basisentwicklung steigenden – Kosten für den MIV teilweise oder vollständig einzusparen. Unter dem Gesichtspunkt der Sozialverträglichkeit ist hierbei allerdings entscheidend, wie die Ausweitung des ÖV-Angebots finanziert wird. Eine maßgebliche Finanzierung über erhöhte Fahrpreise, insbesondere ohne passgenau tarierte soziale Preisstaffelung, drohen auf den ÖV angewiesenen finanzschwachen Haushalten, deren Mobilitätsbudget wie dargestellt bereits heute einen überdurchschnittlichen Teil der Haushaltsausgaben ausmacht, spürbare Mehrbelastungen.

(6) Im Bereich Wohnen sind bei insgesamt sehr geringen Auswirkungen **(ältere) Alleinlebende und Alleinerziehende etwas mehr als andere Gruppen betroffen:**

- Sie leben häufiger in sanierungsbedürftigen Häusern (hohe Energiekosten) und
- sie sind häufiger Mieter (Modernisierungsumlage).

Im Bereich Mobilität ist auf diese Gruppen ebenfalls ein besonderes Augenmerk zu richten, da sie bei niedrigem Haushaltseinkommen über die geringsten Ausweich-Strategien verfügen.

(7) Als **mögliche flankierende Maßnahmen zur Steigerung der Sozialverträglichkeit** kommen in Betracht:

- Im Bereich der Transferleistungen zu den Wohnkosten sollten energetisch sanierte Gebäude als angemessen akzeptiert und die energetische Modernisierung für Wohngeldempfänger warmmietenneutral gestellt werden.
- Aufgrund starker regionaler Divergenz auf dem Wohnungsmarkt NRW sollten additiv zu den Bundesförderungen zielgerichtete Landesförderprogramme mit sozialer Ausrichtung fortgeführt bzw. intensiviert werden.
- Im Bereich Mobilität gehört Angebotsverbesserung und – ausbau im ÖPNV sowie Radverkehr-Infrastrukturförderung

zu den zentralen flankierenden Maßnahmen. Die integrierte Stadt- und Verkehrsplanung kann den Bedarf für Personenverkehr darüber hinaus reduzieren.

Tabelle 51: Gesamtergebnis Sozialverträglichkeit

Impact Sozialverträglichkeit	Reduktion der Heizkosten		Steigerung der Nettokaltmiete		Netto-Effekt auf die Bruttowarmmiete		Belastung sensibler Haushaltstypen "Wohnen"		Netto-Effekt auf die Stromkosten		Belastung sensibler Haushaltstypen "Mobilität"		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario A1	+	++	o	--	o	o	o	-	+	++	o	o		
Szenario A2	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario B	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario B1	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario B2	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario BCCS	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario C	+	++	o	-	o	+	o	o	o	+	o	o		
Szenario C1	+	++	o	-	o	+	o	o	+	++	o	o		
Szenario C2	+	++	o	-	o	+	o	o	o	+	o	o		

Quelle: Prognos AG

Legende:

- ++ = deutlich positive Wirkung gegenüber Basis,
- + = positive Wirkung gegenüber Basis,
- o = neutral, vernachlässigbare Wirkung gegenüber Basis,
- = negative Wirkung gegenüber Basis
- = deutlich negative Wirkung gegenüber Basis

7.6 Exkurs: Auswirkungen der Bereiche Wohngeld bezogene Leistungen, ÖPNV und energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften auf die kommunalen Haushalte

Die Umsetzung der von den Akteuren entwickelten Strategien zum Klimaschutzplan NRW setzt das Handeln aller **relevanten Akteure** voraus. Hierzu gehören neben der Wirtschaft, Wissenschaft und Privatpersonen auch die **Kommunen**, die einerseits über die von ihnen geleisteten Transferleistungen Mieteffekte aus der Sanierung für sozial schwache Bürger abfedern müssen, andererseits aber auch selbst Akteure beim Ausbau des ÖPNV und bei der Sanierung kommunaler Liegenschaften sind. Dieses Handeln nimmt direkten Einfluss auf die kommunalen Haushalte in NRW.

In diesem Kapitel werden einerseits die **quantifizierbaren Auswirkungen auf die kommunalen Haushalte** zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um die wohnungsbezogenen Transferleistungen der Kommunen, die konsumtiven Ausgaben für das ausgeweitete ÖPNV-Angebot sowie die Kosten und Einsparungen durch die energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften. Auf der anderen Seite ergeben sich für die Kommunen Möglichkeiten für zusätzliche Einnahmequellen als Besitzer von Flächen, die für den Ausbau der erneuerbaren Energien geeignet sind.

7.6.1 Wohngeld bezogene Leistungen der Kommunen

(1) Bei privaten Haushalten, die soziale Transferleistungen wie Arbeitslosengeld II oder Wohngeld beziehen, werden die (Warm-)Miete in angemessener Höhe und damit grundsätzlich auch die sanierungsbezogenen Auswirkungen des Klimaschutzplans durch die öffentliche Hand getragen. Entsprechende Be- und Entlastungswirkungen fallen damit in Abhängigkeit der Leistungsart bei Kommunen, dem Land und dem Bund an.

(2) Empfänger von Leistungen des **Arbeitslosengeldes II (SGB II)**, von **Grundsicherung im Alter und bei Erwerbsminderung sowie von Hilfen zum Lebensunterhalt (SGB XII)** bekommen sowohl die Bruttokaltmiete als auch die Kosten für Heizung und Warmwasser, sofern diese angemessen sind, gezahlt. Diese sogenannten Kosten der Unterkunft zahlen die Kommunen mit Unterstützung des Bundes. Die Angemessenheitsgrenze richtet sich nach den kommunalen Mietspiegeln. Im Leistungsbereich des ALG II trägt der Bund aktuell zwischen 30 % und 40 % der Kosten. Bei der Grundsicherung im Alter und bei Erwerbsminderung erstattet der Bund ab 2014 vollständig die Nettoausgaben, um den steigenden Belastungen der Kommunen durch den demografischen Wandel entgegen zu wirken.

Wohngeldempfänger erhalten je nach Einkommen, Höhe der Wohnkosten und Anzahl der Personen im Haushalt einen Zuschuss zur Bruttokaltmiete. Träger der Wohngeldleistungen sind zu jeweils 50 % Bund und Länder. Der Umfang der Überwälzung der Kostensteigerung durch die energetische Modernisierung auf die öffentlichen Haushalte ist beim Wohngeld nicht ganz eindeutig. Im Folgenden wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die gesamten Modernisierungskosten durch das Wohngeld übernommen werden. Von möglichen Effekten bzgl. neuer Wohngeldempfänger durch die Mieterhöhungen wird zunächst abgesehen.

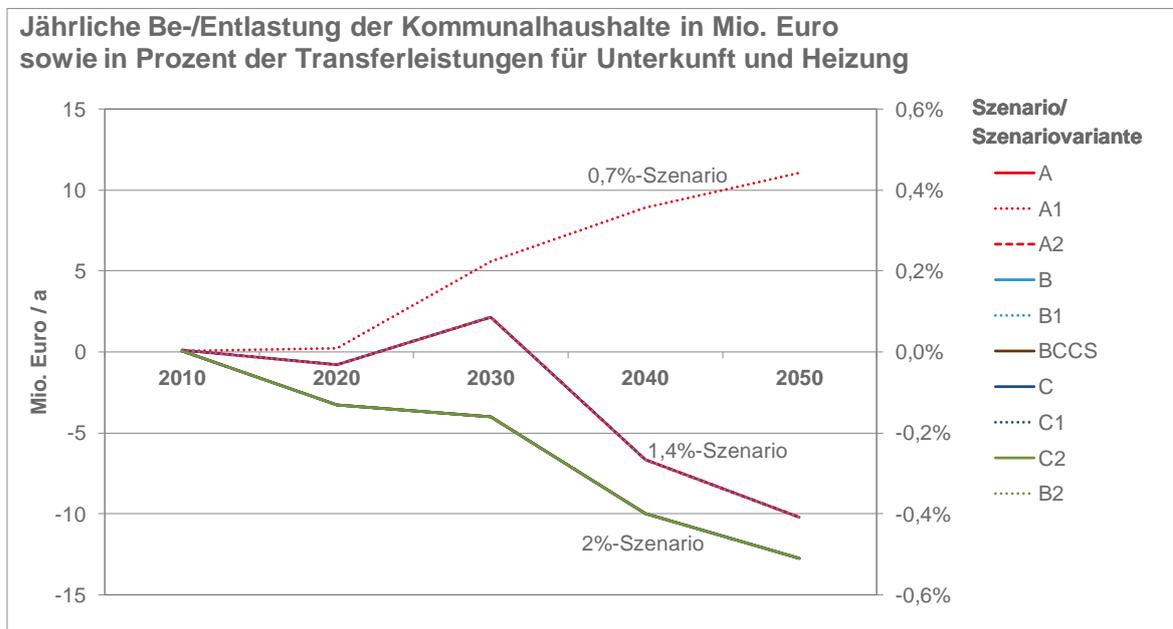
(3) Der **Abschätzung der Belastungen der öffentlichen Haushalte** über die Zahlung von Transferleistungen zu den Wohnkosten, liegen folgende **Annahmen und Daten** zugrunde:

- Die Zahl der Leistungsempfänger/Bedarfsgemeinschaften im Jahr 2010 und die durchschnittliche Leistungshöhe für Unterkunft und Heizung wurden der amtlichen Statistik entnommen.
- Die Abschätzung beschränkt sich auf Transferempfänger, die zur Miete wohnen, da nur dort sicher von einer Übernahme der Mehrbelastungen ausgegangen werden kann. Laut SOEP Auswertungen wohnen bundesweit rund 90 % aller Transferempfänger zur Miete. Beim Wohngeld wurden nur die Haushalte mit Mietzuschuss berücksichtigt.

- Ausgehend von dieser so ermittelten Grundgesamtheit an Haushalten werden die jährlichen Belastungen der öffentlichen Haushalte gegenüber dem Basisszenario berechnet. Dies geschieht als jährlicher Zusatzeffekt beispielhaft für verschiedene Zeitpunkte mit den entsprechenden Be- und Entlastungen der Transferhaushalte dieses Jahres unter Berücksichtigung der bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Sanierungsraten. Die Zahl der Transferempfänger wird dabei über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant gehalten.

(4) Wie in Abbildung 93 dargestellt, führen die verschiedenen Sanierungs-Szenarien gegenüber der Basis-Entwicklung zu unterschiedlichen Effekten für die kommunalen Haushalte. Im 0,7 %-Szenario bleiben die **Kosten** für die kommunalen Haushalte in der ersten Dekade bis 2020 auf dem Niveau des Basisszenarios, nehmen in der Folge aber kontinuierlich zu. Das 2,0 %-Szenario stellt sich für die kommunalen Haushalte als die kostengünstigste Variante mit kontinuierlich sinkenden Ausgaben dar. Eine uneinheitlichere, aber langfristig ebenfalls kostensenkende Entwicklung zeigt sich bei dem 1,4 %-Szenario.

Abbildung 93: Auswirkungen der Sanierungs-Szenarien auf die kommunalen Transfer-Ausgaben in Nordrhein-Westfalen, 2010 - 2050



Quelle: Eigene Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29, IT.NRW(2012)

Die unterschiedliche **Transferkostenentwicklung** zwischen den Szenarien ist auf zwei gegenläufige Aspekte zurückzuführen:

- Sowohl im Basisszenario als auch in den Szenarien des Klimaschutzplans führt die energetische Gebäudesanierung zu Entlastungen der betroffenen Haushalte. Allerdings ist diese Entlastung für Mieter in den Szenarien des Klimaschutzplans marginal niedriger als im Basisszenario (vgl. 7.3.5).
- Dies führt bei gleichbleibender Sanierungsrate zu marginalen Mehrbelastungen der öffentlichen Haushalte (siehe 0,7 %-Szenario)
- Wird die Sanierungsrate gesteigert, so wird die beschriebene marginale Belastung der öffentlichen Haushalte durch die höhere Anzahl der – wenn auch im Einzelfall leicht reduzierten – Entlastungen überkompensiert. Das Resultat sind die in den 1,4 % und 2 %-Szenarien berechneten marginalen Entlastungen der öffentlichen Haushalte.

(5) Generell ist anzumerken, dass die **Effekte für die Kommunen in Nordrhein-Westfalen über sämtliche Szenarien** hinweg sehr gering ausfallen. Angesichts von jährlichen Ausgaben der Kommunen für wohnbezogene Transferleistungen in Höhe von 2,5 Mrd. Euro (Basisjahr 2010) beträgt die maximale Mehrbelastung im Jahr 2050 (im 0,7 %-Szenario) in Höhe von 11 Mio. Euro lediglich 0,44 % der Gesamtausgaben. Umgekehrt betragen die maximalen Einsparungen (im 2,0 %-Szenario) mit 12,8 Mio. Euro gerade einmal 0,51 % der Ausgaben.

7.6.2 Ausgaben der Aufgabenträger für den ÖPNV

(1) Die Szenarien des Klimaschutzplans gehen von einer Verschiebung des **Modal Split** weg vom motorisierten Individualverkehr hin zum **ÖPNV** aus. Mit dieser Umorientierung verschieben sich auch die Kosten der Mobilität, die von den einzelnen Akteuren getragen werden müssen. Aus den Vorarbeiten zum Klimaschutzplan lagen keine Abschätzungen zu den Kosten vor, welche die Aufgabenträger in NRW aufzuwenden haben. Daher wurden diese im Rahmen der Impactanalyse abgeschätzt. Die Abschätzung stützt sich auf eine Untersuchung des VDV zum Finanzierungsbedarf des ÖPNV bis 2025 (in Deutschland) aus dem Jahre 2009.⁸⁷ Diese Studie enthält detaillierte Angaben zu den mittleren spezifischen ÖPNV-Kosten pro Personenkilometer (Pkm) Verkehrsleistung. Dies hat für die Kostenschätzung den Vorteil, dass sich der künftige Finanzierungsbedarf direkt an die prognostizierte Verkehrsleistung der Szenarien zum Klimaschutzplan und dem Basis-szenario koppeln lässt.

⁸⁷ •VDV/Deutsche Städtetag/ et al.: Finanzierungsbedarf des ÖPNV bis 2025; Untersuchung von Intraplan und VWI; 2009

Bei dem im Folgenden dargestellten Finanzierungsbedarf handelt es sich um die **konsumtiven Kosten der Aufgabenträger des ÖPNV** in NRW (Kommunen, Landkreise, Zweckverbände, Verbände). Konsumtive Ausgaben sind Gesamtkosten des ÖPNV für den laufenden Betrieb abzüglich der Erlöse. Neu- und Ersatzinvestitionen, an denen sich die Aufgabenträger beteiligen könnten, sind hierbei nicht enthalten.

(2) Nach der o.g. VDV-Studie wurden die spezifischen konsumtiven Kosten für den schienengebundenen ÖSPV (Straßen- und U-Bahnen), städtische Busse und Busse in Landkreisen für 2007 und 2025 ermittelt (Preisstand 2008). Die Angaben beziehen sich auf das gesamte Bundesgebiet und wurden mangels weiterer Informationen ohne weitere Anpassung direkt auf NRW übertragen.

Die in der Studie für den Preisstand 2008 (Euro₍₂₀₀₈₎/Pkm) ausgewiesenen spezifischen konsumtiven Kosten wurden auf den in der Impactanalyse verwendeten Preisstand 2010 (Euro₍₂₀₁₀₎/Pkm) umgerechnet. Sie betragen:

für 2007: 0,06048 Euro₍₂₀₁₀₎/Pkm (0,05942 Euro₍₂₀₀₈₎/Pkm)

für 2025: 0,06882 Euro₍₂₀₁₀₎/Pkm (0,06762 Euro₍₂₀₀₈₎/Pkm)

Für das Ausgangsjahr 2010 und die Betrachtung bis 2050 wurden die spezifischen konsumtiven Kosten linear interpoliert und fortgeschrieben.

Eine Abschätzung für das Jahr **2010** lässt auf dieser Grundlage spezifische konsumtive Kosten in Höhe von rund **0,06186 Euro/Pkm** erwarten. Bis zum Jahr **2050** steigen die spezifischen Kosten dann auf **0,08041 Euro/Pkm**.

(3) Das Wuppertal Institut weist in der Szenariendokumentation für die AG Verkehr für das Jahr **2010** eine nordrhein-westfälische **ÖPNV-Verkehrsleistung** (ÖPSV, Busse in Städten und Landkreisen) von rund **15,4 Mrd. Pkm** (2010) aus.

Bis **2050** steigt dieser Wert durch den Ausbau des ÖPNV in den **Szenarien des Klimaschutzplans** bei gleichzeitig deutlichem Rückgang des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf **16,4 Mrd. Pkm**. Im **Basisszenario** sinkt die ÖPNV-Verkehrsleistung bei nahezu konstantem MIV auf **13,2 Mrd. Pkm**.

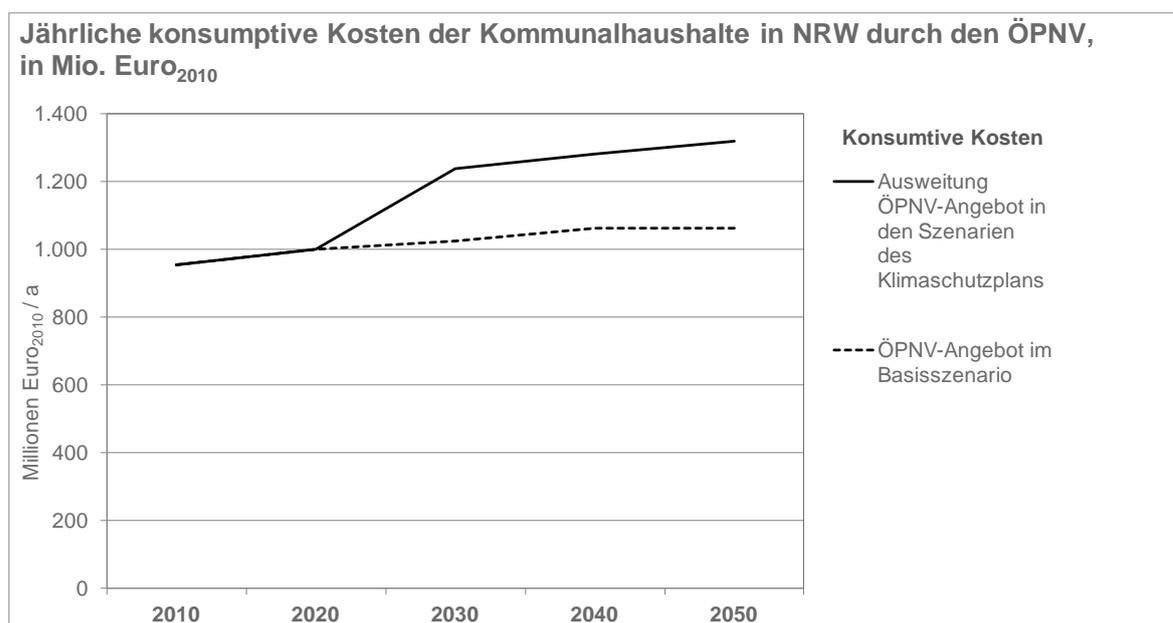
(4) Auf der Grundlage der spezifischen ÖPNV-Kosten ergeben sich in dieser Abschätzung die konsumtiven **Ausgaben der Kommunen in NRW für den ÖPNV** für das Jahr **2010** in einer **Größenordnung von 954 Mio. Euro₍₂₀₁₀₎**.

Nach den Annahmen der beiden Szenarien zur Entwicklung der Verkehrsleistung im ÖPNV steigt der Finanzierungsbedarf bis zum Jahr **2050** kontinuierlich. Für den ÖPNV im **Szenario des Klimaschutzplans** ergeben sich für 2050 geschätzte Kosten in Höhe von **1.319 Mio. Euro**, im **Basisszenario** fallen wegen der geringeren ÖPNV-Verkehrsleistung **1.061 Mio. Euro** an.

Die **Mehraufwendungen**, die auf die Aufgabenträger in NRW hinzukommen, steigen über den betrachteten Zeitraum auf **knapp 260 Mio. Euro(2010)** pro Jahr (vgl. Abbildung 94). In diesem Betrag sind Kostenbeteiligungen der Aufgabenträger an investiven Maßnahmen noch nicht enthalten.

Für den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) in NRW nehmen die nordrhein-westfälischen Zweckverbände Nahverkehr Rheinland und Westfalen-Lippe sowie der VRR die Funktion des Aufgabenträgers wahr. Planung, Organisation und Ausgestaltung des kommunalen ÖPNV sind Aufgabe der Kreise und kreisfreien Städte bzw. der mittleren und großen kreisangehörigen Städte mit eigenem Verkehrsunternehmen.

Abbildung 94: Jährliche konsumptive Kosten der Kommunen durch den ÖPNV in Mio. Euro₂₀₁₀ bis 2050



Quelle: Prognos AG

7.6.3 Energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften

(1) Zur **energetischen Sanierung öffentlicher Liegenschaften** in Kommunen liegen **keine Informationen** aus den Vorarbeiten zum Klimaschutzplan vor. Empirische Informationen hierzu konnten ebenfalls nicht in ausreichendem Umfang recherchiert werden.

(2) Die hier vorliegende **grobe Abschätzung** der Effekte beruht auf folgenden **Annahmen und Daten**:

Das **Mengengerüst der Flächen** kommunaler Liegenschaften wurde aus Prognos 2010 abgeleitet.⁸⁸ Die Kennzahlen basieren auf einer breit angelegten Umfrage unter 1.400 Kommunen in Deutschland im Jahr 2010.

Tabelle 52: Abschätzung Flächen kommunaler Liegenschaften in m² BGF basierend auf einer Umfrage unter 1.400 Kommunen im Jahr 2010

Flächenart	Zuständigkeit	Mittlere BGF je Einwohner in m ²	Gesamt- BGF in NRW in m ²
Schulen	Kommunen	1,4372	25.647.742
Verwaltung	Kommunen	0,2887	5.151.842
Sonstiges	Kommunen	0,8465	15.106.456

BGF= Bruttogeschossfläche
Quelle: Prognos AG

Die **energetische Sanierungsrate** wurde in der Basis-Variante mit jährlich 1 % angenommen. In den Szenarien des Klimaschutzplans wurde eine Verdopplung auf 2 % berechnet. Wie im Wohngebäudebestand wird auch bei den kommunalen Liegenschaften von einer ohnehin stattfindenden nicht energetischen Sanierungsrate von 2 % (alle 50 Jahre) ausgegangen. „Ohnehin-Kosten“ werden daher auch bei einer Verdoppelung der energetischen Sanierungsrate nicht mit einbezogen. Ob die Kommunen – insbesondere finanzschwache Kommunen und Kommunen in Haushaltssicherung – dieses Bauvolumen leisten können, ist aber unklar. Schon heute besteht in vielen Kommunen ein Sanierungsstau.

Die **Sanierungstiefe** wurde aus dem Basisszenario und den Szenarien des Klimaschutzplans für Mehrfamilienhäuser übernommen.

Die **spezifischen Investitionskosten** wurden aus den für Mehrfamilienhäuser genutzten Werten abgeleitet. Die Energiekosteneinsparungen basieren auf den Energiepreisen für den GHD-Sektor.

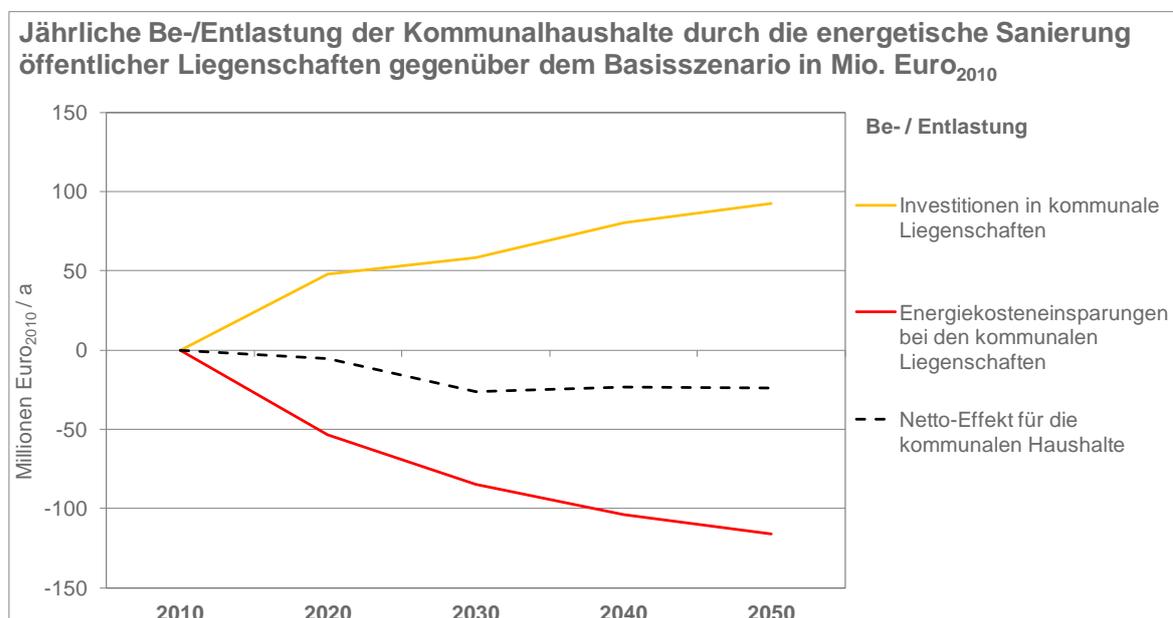
(3) Die getroffenen Annahmen führen zu den in Abbildung 95 dargestellten **Be- und Entlastungen kommunaler Haushalte**.

⁸⁸ Prognos 2010: Endenergieeinsparungen in Ländern und Kommunen durch Maßnahmen der Öffentlichen Hand im Kontext der EU-Energiedienstleistungsrichtlinie. Im Auftrag des BMWi, Berlin/Köln 2010

Die Verdoppelung der energetischen Sanierungsrate und die Weiterentwicklung der energetischen Standards führen bei den Kommunen in den Szenarien des Klimaschutzplans zu **erheblichen Mehrinvestitionen** gegenüber dem Basisszenario. Von jährlich rund 50 Mio. Euro₍₂₀₁₀₎ im Jahr 2020 steigen die zusätzlichen Investitionen gegenüber dem Basisszenario bis 2050 auf knapp 100 Mio. Euro₍₂₀₁₀₎ pro Jahr. Die Investitionen für Maßnahmen an den Gebäudehüllen und der Wärmebereitstellung steigen im Vergleich zur Basisentwicklung um 25 %. Diesen Mehrinvestitionen stehen allerdings auch höhere **Energiekosteneinsparungen** gegenüber, **die leicht höher liegen als der zusätzliche Investitionsbedarf**.

Insgesamt ergibt sich damit eine **leichte Netto-Entlastung** der kommunalen Haushalte. Es muss allerdings stark einschränkend gesagt werden, dass **fraglich** ist, **ob sich finanzschwache Kommunen die höheren Investitionen leisten können** – auch wenn sie rechnerisch durch die hierdurch möglichen Energiekosteneinsparungen gedeckt sind.

Abbildung 95: *Jährliche Be- und Entlastung kommunaler Haushalte durch die energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften in NRW ggü. dem Basisszenario in Mio. Euro₂₀₁₀*



7.6.4 Chancen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien

(1) Den zusätzlichen Netto- Belastungen der kommunalen Haushalte in NRW insbesondere durch den Ausbau des ÖPNV können – regional unterschiedliche – **zusätzliche Einnahmen** ge-

genüberstehen.⁸⁹ Diese Einnahmen sind in ihrer Höhe als Netto-Effekt für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 jedoch nicht belastbar abzuschätzen, da einerseits die heutigen Regelungen des Steuerrechts insbesondere hinsichtlich der Aufteilung des Steueraufkommens auf Kommunen, Land und Bund nicht bis zum Jahr 2050 Bestand haben werden. Andererseits sind auch Mindereinnahmen in anderen als den im Folgenden genannten Bereichen möglich (z.B. Steuerausfälle, Wertverlust von Beteiligungen usw.).

(2) Zusätzliche Einnahmen können Kommunen aus dem **Ausbau der erneuerbaren Energien** erzielen.

Im Jahr 2012 lag das bundesweite **Gewerbesteueraufkommen** aus dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien insgesamt bei rund 440 Mio. Euro. Die Schwerpunkte bildeten dabei mit rund 190 Mio. Euro der Betrieb von Biomasseanlagen und Onshore-Windkraftanlagen mit rund 130 Mio. Euro. Nach § 28ff des Gewerbesteuergesetzes (GewStG) verteilen sich die Steuereinnahmen für Photovoltaik und Windkraft-Neuanlagen zu 30% auf die Standortkommune des Betreibers und zu **70% auf die Standortkommune** der Anlage. Ab dem Jahr 2023 gilt diese Regelung auch für PV-Bestandsanlagen.

Die Kommunen, die Flächen für den Ausbau der erneuerbaren Energien ausweisen, können so zusätzliche Steuereinnahmen generieren. Diese Einnahmen lassen sich steigern, wenn sie Flächen ausweisen, die sich in kommunalem Besitz befinden. Dann ergänzen direkte **Einnahmen aus Verkauf/Verpachtung** die Einnahmen aus der Gewerbesteuer.

Kommunen können auch selbst **in den Ausbau** der erneuerbaren Energien **investieren** und dann direkte **kommunale Gewinne und Einnahmen** aus Errichtung und Betrieb der Anlagen erzielen. Diese Möglichkeit wird bereits von vielen Kommunen genutzt.

(3) Bei der Erschließung der neuen Einnahmen aus dem Ausbau der erneuerbaren Energien stehen die Kommunen in NRW im Standortwettbewerb. Nicht zuletzt sind diese zusätzlichen Einnahmen deshalb auch **vom zukünftigen Handeln der einzelnen Kommunen abhängig**.

⁸⁹ DIW/GWS: „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Steuern und Sozialabgaben“, 2013

7.6.5 Einordnung und Zusammenfassung

(1) Nach einer Umfrage unter 300 Kommunen in Deutschland weisen **viele Kommunen in NRW** einen **defizitären Haushalt** auf.⁹⁰ Demnach überstiegen im Jahr 2012 die Ausgaben bei 77 % der Kommunen in NRW die Einnahmen und für 2013 rechneten sogar über 90 % der Kommunen in NRW mit einer negativen Haushaltsbilanz. Die Kommunen in NRW liegen damit deutlich über dem Bundestrend. Über 40 % der Kommunen in Westdeutschland mussten in den vergangenen Jahren ein Haushaltssicherungskonzept erstellen. Der Anteil dieser Kommunen dürfte in NRW aufgrund der höheren Verschuldungsrate noch höher liegen.

Knapp die Hälfte aller Kommunen in NRW geht davon aus, dass ihr **Schuldenstand** weiter steigen wird. Mit einem Schuldenstand von 2.781 Euro pro Einwohner gehören die NRW-Kommunen zu den am höchsten verschuldeten Kommunen in Deutschland.⁹¹

Zwei von drei Kommunen in Deutschland erhöhen Steuern und Abgaben, um ihre Haushaltslage zu verbessern. Ein Drittel der Kommunen in Deutschland reduziert ihr Leistungsangebot – vorwiegend im sozialen Bereich.

(2) Die Zusammenführung der drei einzelnen Aspekte in Abbildung 96 macht die **Größenordnungen** der Effekte vergleichbar. Sie zeigt auch, dass auf die **Kommunen erhöhte Ausgaben** zukommen werden, die nur zum Teil durch geringere Ausgaben im Bereich der Energieversorgung der eigenen Liegenschaften kompensiert werden können.

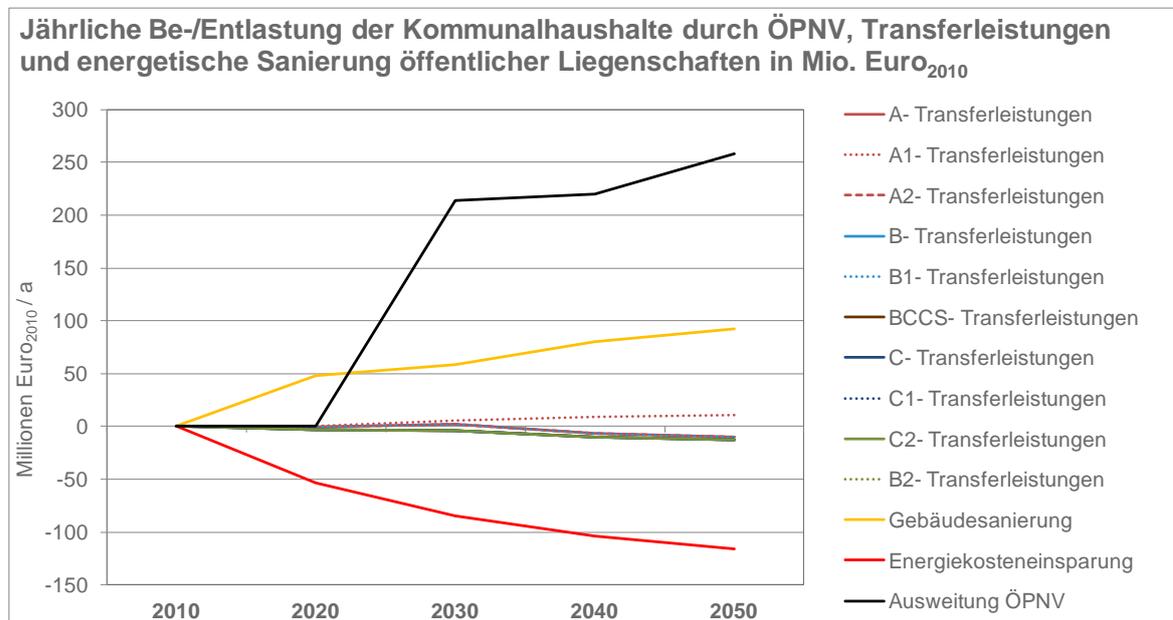
Mögliche zusätzliche Einnahmen der Kommunen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien sind hier nicht berücksichtigt, da sie für den betrachteten Zeitraum in Ihrer Höhe nicht abschätzbar sind. Es ist bis auf Einzelfälle jedoch nicht zu erwarten, dass diese Einnahmen die zusätzlichen Ausgaben der Kommunen ausgleichen werden.

Der Einfluss der Transferleistungen ist mit minus 13 bis plus 11 Mio. Euro /a deutlich kleiner als die Effekte durch die energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften oder den Ausbau des ÖPNV. Letzterer führt – da er auf der im Gegensatz zur energetischen Gebäudesanierung keine quantifizierbare Einsparung bringt – zu den absolut höchsten Belastungen für die kommunalen Haushalte.

⁹⁰ EY 2013: Kommunen in der Finanzkrise: Status quo und Handlungsoptionen EY Kommunenstudie 2013. Ernst & Young, 2013

⁹¹ Nur in Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz sind die Schulden pro Kopf leicht höher. Auf Rang 5 folgt Niedersachsen mit deutlichem Abstand (1.641 Euro / Einwohner)

Abbildung 96: Zusammenfassung der jährlichen Be- und Entlastungen kommunaler Haushalte durch ÖPNV, Transferleistungen und energetische Sanierung öffentlicher Liegenschaften in Mio. Euro₂₀₁₀



Quelle: Prognos AG

(3) Bis 2050 kumulieren sich die zusätzlichen konsumtiven Ausgaben für den Ausbau des ÖPNV auf rund 6,9 Mrd. Euro. Die energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften führt in Summe zu einer leichten Entlastung der kommunalen Haushalte von gut 0,8 Mrd. Euro bis zum Jahr 2050 – Voraussetzung ist, dass die Kommunen in der Lage sind bzw. in die Lage versetzt werden, die hierfür erforderlichen Investitionen auch zu tätigen.

Über alle dargestellten Bereiche führt die Umsetzung der Strategien aus den Szenarien des Klimaschutzplans für die kommunalen Haushalte **bis zum Jahr 2050** gegenüber dem Basisszenario zu einer **Mehrbelastung von rund 6,1 Mrd. Euro₂₀₁₀**.

Die überschlägig ermittelten **jährlichen Zusatzbelastungen** für die kommunalen Haushalte belaufen sich über den Zeitraum bis zum Jahr 2050 im Mittel auf rund **150 Mio. Euro₂₀₁₀**. Vor dem Hintergrund der finanziellen Situation der Kommunen in NRW kann diese Zusatzbelastung eine **Umsetzung der Klimaschutzstrategien gerade in finanzschwachen Kommunen behindern** oder zumindest verzögern.

(4) Insbesondere für den **Ausbau des ÖPNV** sind die Kommunen auf **Unterstützung durch das Land NRW** angewiesen. Allein der aus dem Ausbau folgende **Anstieg der konsumtiven Kosten**

kann für viele Kommunen eine große Belastung darstellen, für die im negativen Fall zusätzliche Schulden gemacht werden müssen.

Die für den Ausbau des **ÖPNV** darüber hinaus notwendigen **Investitionen in den Infrastrukturausbau** lassen den Finanzierungsbedarf für die Ausweitung des ÖPNV weiter wachsen. Ohne ein starkes Engagement des Landes NRW können sich dies nur wenige, sehr finanzstarke Kommunen leisten.

(5) Die **Schuldenproblematik** hemmt auch die Aktivitäten vieler Kommunen in der im Netto-Effekt aus Sanierungskosten und Energiekosteneinsparung positiven **Gebäudesanierung**. Hier sind vom Land NRW gemeinsam mit den Kommunen adäquate Lösungen zu finden, die **die kommunalen Haushalte nicht weiter belasten** und so die notwendigen Sanierungen ermöglichen.

Werden die Kommunen darüber hinaus in die Lage versetzt, selbst vor Ort Investitionen in den Ausbau der erneuerbaren Energien zu tätigen, kann dies nicht nur ihre allgemeine Finanzlage verbessern, es trägt darüber hinaus auch zu einer stärkeren regionalen Verankerung des Umbaus der Energiewirtschaft in NRW bei.

8 Umweltwirkungen

8.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

(1) Ein wesentliches Ziel des Klimaschutzplans Nordrhein-Westfalen ist es, Strategien und Maßnahmen zu entwickeln, die die Gesamtsumme der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 Prozent und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 Prozent im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 verringern.

Die Verbesserung des Klimaschutzes⁹² und die damit verbundene **klimaschutzbezogene Umweltwirkung** der Minderung der THG-Emissionen stehen im Vordergrund der Strategien des künftigen Klimaschutzplans und wurden in den Szenarien des Klimaschutzplans durch das Wuppertal Institut berechnet.

(2) Die Umsetzung der Strategien des künftigen Klimaschutzplans kann jedoch zusätzlich dazu auch mit weiteren Umweltwirkungen verbunden sein, die nicht klimaschutzbezogen sind. Im Zuge der Untersuchung der Auswirkungen des Klimaschutzplans (Impactanalyse) sollen diese **nicht klimaschutzbezogenen Umweltwirkungen** der Strategien und Szenarien des Klimaschutzplans analysiert und bewertet werden. Dabei werden sowohl positive als auch negative Umweltwirkungen betrachtet.

Die Analyse der Umweltauswirkungen erfolgt anhand der **Schutzgüter der Umwelt** gemäß UVPG⁹³ und ihre zugehörigen Wechselwirkungen⁹⁴: Mensch und menschliche Gesundheit, Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt sowie Boden, Wasser und Luft, Landschaft, Kultur und sonstige Sachgüter.

Untersucht werden die durch die Umsetzung der Strategien ausgelösten **nicht klimaschutzbezogenen Umweltwirkungen auf die Schutzgüter der Umwelt**, sofern zu diesen innerhalb der Szenarien des Klimaschutzplans eine Aussage getroffen wird bzw. sie unmittelbar aus den Szenarien abgeleitet oder ausgewertet werden können. Dazu gehören v.a. betriebsbedingte Umweltauswirkungen wie z. B. die Veränderung von Emissionen (Luftschadstoffe, Feinstaub, Lärm) und damit verbundene Sekundärwirkungen wie z. B. die Eutrophierung von Böden und Gewässern oder Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit.

⁹² Neben der Klimafolgenanpassung, die nicht in den Szenarien des Klimaschutzplans abgebildet wird.

⁹³ Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)

⁹⁴ ausgenommen Schutzgut Klima, s.o.

(3) Das Vorgehen ist zweistufig:

- Zuerst werden die **umweltrelevanten Aktivitäten** der Strategien der Szenarien des Klimaschutzplans herausgearbeitet.
- Darauf folgend werden die relevanten, **nicht klimaschutzbezogenen Umweltwirkungen dieser Aktivitäten** für den Bezugsraum NRW identifiziert.

Dabei wird sich im Zuge dieser Impactanalyse auf wesentliche, **betriebsbedingte Umweltwirkungen** konzentriert.

Demgegenüber sind anlagebedingte Umweltwirkungen (wie zum Beispiel die Versiegelung von Flächen, die Zerschneidung von Flächen und Lebensräumen oder Änderungen des Landschaftsbilds) sowie baubedingte Umweltwirkungen und Umweltwirkungen der Maßnahmenvorschläge Gegenstand von Umweltverträglichkeitsprüfungen und Genehmigungsverfahren konkreter Planungsvorhaben.

- (5) Die **Untersuchungsfragen** für die Impactanalyse lauten:
- Sind mit der Umsetzung der Strategien des KSP **zusätzliche positive oder negative Umweltwirkungen** im Vergleich zur Basisentwicklung bzw. zur voraussichtlichen Entwicklung des Umweltzustandes (VE 2020) zu erwarten?
 - Inwieweit **unterscheiden** sich die **Szenarien**?

Das heißt, die Untersuchung relevanter, betriebsbedingter, nicht Klimaschutzbezogener Umweltwirkungen der Strategien des KSPs beruht ausschließlich auf einem Vergleich (siehe auch Kapitel 2):

- Die identifizierten Umweltwirkungen der Szenarien werden zum einen untereinander verglichen – sofern sie auf unterschiedlichen Strategien beruhen – und mögliche Differenzen bei den Umweltwirkungen herausgearbeitet.
- Zum anderen wird ein Vergleich der durch den Klimaschutzplan und seine Strategien originär bedingten Umweltwirkungen gegenüber den Basisszenarien bzw. der voraussichtlichen Entwicklung der Umwelt in NRW angestellt, die ohne die Umsetzung des Klimaschutzplans zu erwarten wäre.

(6) Da eine quantitative Analyse von Umweltwirkungen aufgrund des geringen Konkretisierungsgrades der Strategien und der Komplexität der zu untersuchenden Zusammenhänge nur bedingt zu leisten ist⁹⁵, werden die nicht klimaschutzbezogenen Umweltauswirkungen **qualitativ** betrachtet. Im Vordergrund stehen vergleichende Analysen zu Unterschieden des voraussichtlichen Ausmaßes der zu erwartenden, betriebsbedingten, nicht klimaschutzbezogenen Umweltwirkungen der Strategien. Sofern es möglich ist, das Ausmaß der den Umweltwirkungen zu Grunde liegenden Aktivitäten zu quantifizieren, wird für die Wirkungsabschätzung ein semi-quantitativer Ansatz gewählt (siehe dazu Tabelle 53).

(7) Darauf aufbauend werden in einem weiteren Untersuchungsschritt der Impactanalyse ggf. zu erwartende, weitergehende relevante Implikationen auf die **Gesundheit des Menschen** im Einzelnen beschrieben (siehe Kap. 10) sowie damit ggf. verbundene **genderspezifische Auswirkungen** betrachtet (siehe Kap. 9).

⁹⁵ MKULNV, 2013 - (Leistungsbeschreibung Seite 10/22)

8.2 Relevante Umweltwirkungen der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans NRW

8.2.1 Methodik

(1) Zuerst wurden innerhalb der sechs Handlungsfelder des Klimaschutzplans jeweils die **Strategien⁹⁶ identifiziert, mit denen eine Umweltrelevanz verbunden ist.**

Anschließend wurden die **auslösenden Aktivitäten** für Umweltwirkungen beschrieben - z. B. ist mit den Strategien für erneuerbare Energien die Einsparung des Einsatzes fossiler Energieträger verbunden. Für die weitere Analyse wird noch festgehalten, inwieweit zu den auslösenden Aktivitäten Datengrundlagen verfügbar waren, mit denen es möglich ist, das Ausmaß der Aktivität zu quantifizieren und auf dieser Grundlage eine Einschätzung der Umweltwirkungen vorzunehmen.

(2) Die eigentlichen, **zu der jeweiligen Aktivität gehörigen relevanten Umweltwirkungen** werden in dem dritten Schritt identifiziert – z. B. im Falle der Einsparung des Einsatzes fossiler Energieträger werden Emissionen an Luftschadstoffen und deren Sekundär- und Wechselwirkungen verringert. Da die Impactanalyse nur **nicht klimaschutzbezogene** Umweltwirkungen behandelt, werden beispielsweise die Umweltwirkungen der Reduzierung von Treibhausgasen und ihre Folgewirkungen nicht in die Untersuchung mit einbezogen. Eine Übersicht zum Herleitungsprozess liefert Tabelle 53.

⁹⁶ Quelle: Strategieübersicht Klimaschutzplan vom 18.12.13 S. 2/3

Tabelle 53: Ermittlung der nicht klimaschutzrelevanten Umweltwirkungen aus den Strategien des Klimaschutzplans NRW

Handlungsfeld	Strategie(n) => relevant für Umweltwirkungen	Umsetzung (durch) => relevante Aktivität	Quantifizierbar?	Relevante Umweltwirkungen zusätzlich zum Klimaschutz
Umwandlung	Strategien zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung	Einsparung fossiler Energieträger (aus Umwandlung)	Ja	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen (v. a. NOx, Feinstaub, Ozon, SOx) Änderung der Schallbelastung
	Strategien zu erneuerbaren Energien Strategien zu Kraftwerken Sonstige (innerhalb Kraftwerksmodell)	Betrieb von Windenergieanlagen	Nein	
Produz. Gewerbe und Industrie	Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz, zum Energieträgerwechsel, zur Reduktion prozessbedingter Emissionen	Einsparung fossiler Energieträger (aus Produzierendem Gewerbe/Industrie)	Ja	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen (v. a. NOx, Feinstaub, Ozon, SOx)
Wohnen	Strategien zur Erhöhung der energetischen Sanierungsrate und -tiefe, zur Erhöhung der Anteile EE in Neubau und Bestand	Einsparung fossiler Energieträger (aus Wohnen)	Ja	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen (v. a. NOx, Feinstaub, Ozon, SOx)
Verkehr	Strategien zur Verlagerung von Personenverkehr, für effizienteren Wirtschafts- und Güterverkehr (Transporte), Einsparung von Kraftstoffen oder Einsatz alternativer Kraftstoffe	Einsparung fossiler Energieträger (aus Verkehr)	Ja	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen (v. a. NOx, Feinstaub, Ozon, SOx) Änderung der Schallbelastung
		Erhöhung des Anteils alternativer Antriebe und Abnahme des MIV ab 2020 (> Zunahme ÖPNV)	Nein	
Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Boden ²⁾³⁾	Steigerung der Stickstoffeffizienz der Düngung / Verbesserung der Bodenbewirtschaftung	Verlustminimierung beim Wirtschaftsdüngermanagement (u.a. Güllevergärung, Gasdichte Lagerung von Gülle/Gärresten, emissionsarme Ausbringungstechnik: zu 90%)	Ja (Ammoniak)	Reduzierung der Freisetzung von Ammoniak und Gerüchen sowie indirekt damit der N-Einträge in Böden, Gewässer und Ökosysteme (Gewässerschutz, Artenschutz, Bodenschutz) Folgewirkung: Ggf. geringere Nitratauswaschung in Gewässer
		Folge: Reduzierung des Düngerbedarfs an Mineralstickstoff durch bessere Ausnutzung der Nährstoffe aus Wirtschaftsdünger	Ja indirekt: weniger N-Mineraldünger	
	Verringerung der THG-Emissionen aus der Tierhaltung	Optimierung Exkrementelagerung und -verwertung (z.B. Vergärung in Biogasanlagen)	Ja (Ammoniak)	Reduzierung der Freisetzung von Ammoniak und Gerüchen (s. o.)
	Erhalt, Schutz u. Aufbau der Kohlenstoffspeicherung in Böden, Wald u. Holzprodukten	Aufforstung	Entfällt, keine Quantifizierung möglich ¹⁾	Umweltwirkungen haben Klimaschutz als Ziel (klimaschutzbezogene Wirkung durch Aufbau und Erhalt von C-Senken) und treten jeweils nur maßnahmenbezogen auf (keine weitere Berücksichtigung in der Impactanalyse)
		Umwandlung Acker- zu Grünland Moorschutz Wiedervernässung ehem. Moore Vermeidung von Grünlandumbruch		
	Verminderung Energieeinsatz in Landwirtschaft und Forstwirtschaft	Einsparung fossiler Energieträger	(Ja)	Wird bei Einsatz Energieträger (AG 3) betrachtet ¹⁾
Verbesserung der THG-Effizienz bei der Nutzung von NaWaRo	Einsparung fossiler Energieträger	(Ja)	Wird bei Umwandlung (AG 1) betrachtet ¹⁾	
1) Quelle: Strategieübersicht Klimaschutzplan vom 18.12.13 S. 2/3 2) Szenariendokumentation Klimaschutzplan - AG spezifische Ergebnisse - Arbeitsgruppe 5, 22.11.2013			3) Vorstellung der Szenarioberechnungen AG 5, von Thünen-Institut, 20.11.2013	

Quelle: Prognos AG, 2014

8.2.2 Ergebnis der Identifizierung der Umweltwirkungen

(1) Zusammenfassend sind v.a. folgende **Aktivitäten** zur Umsetzung der Strategien mit relevanten Umweltwirkungen verbunden:

- Einsparung luftschadstoffemittierender Energieträger in den Bereichen Umwandlung, Produzierendes Gewerbe/Industrie, Wohnen, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft
- Verlustminimierung bei Lagerung und Einsatz von Wirtschaftsdüngern⁹⁷ (optimales Wirtschaftsdüngermanagement)
- Betrieb von Windenergieanlagen
- Abnahme des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und effizientere Transporte.

(2) Insgesamt wurden **fünf relevante Umweltwirkungen** festgehalten, die entweder unmittelbar oder über zugehörige Wechselwirkungen mit der Umsetzung der Strategien verbunden sein werden:

- Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen,
- Reduzierung der Freisetzung von Ammoniakemissionen,
- Reduzierung von Gerüchen,
- Einfluss auf den Nitrataustrag in Böden und Gewässer
- Veränderung von Schallbelastungen.

8.2.3 Übersicht potenzieller Umweltwirkungen des Klimaschutzplans NRW auf die Schutzgüter der Umwelt

(1) Ausgehend von den genannten Umweltwirkungen, die durch die Umsetzung des Klimaschutzplans primär ausgelöst werden, werden nun in der zweiten Analysestufe die relevanten **Wirkungen auf die einzelnen Schutzgüter der Umwelt** ermittelt.

⁹⁷ Wirtschaftsdünger nach § 2 Düngegesetz sind Düngemittel, die a) als tierische Ausscheidungen aa) bei der Haltung von Tieren zur Erzeugung von Lebensmitteln oder bb) bei der sonstigen Haltung von Tieren in der Landwirtschaft oder b) als pflanzliche Stoffe im Rahmen der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft, [...] anfallen oder erzeugt werden. Zu Wirtschaftsdüngern aus tierischen Ausscheidungen zählen Festmist, Gülle und Jauche.

(2) Ausgangspunkt sind die zugehörigen Strategieelemente und die grundsätzlich möglichen bzw. ggf. verfügbaren Bewertungsgrundlagen. Dazu werden

- für jedes Schutzgut einzeln die jeweiligen **Wirkfaktoren** identifiziert, die die nicht klimaschutzbezogenen Umweltwirkungen auslösen können,
- ihre jeweilige **Auswirkung** beschrieben und
- in Frage kommende **Indikatoren und Kriterien** zur Bewertung ergänzt.

(3) Relevante Wirkungen werden in den Schutzgütern Mensch, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden, Wasser und Kultur- und Sachgüter erwartet. In Tabelle 54 wird die Herleitung nach den Schutzgütern dokumentiert.

(4) Da es in den Handlungsfeldern Verkehr und Landwirtschaft keine Szenariovarianten gibt, sind die zu erwartenden Umweltwirkungen in allen Szenarien gleich (szenariounabhängig).

Im Gegensatz dazu variiert in den Handlungsfeldern Umwandlung, Produzierendes Gewerbe/ Industrie und Wohnen die Höhe der Einsparung von Primärenergieträgern und dementsprechend wirkt sich das unterschiedlich auf das Ausmaß der Abnahme der Emissionsbelastung in den zu Grunde liegenden Szenarien des Klimaschutzplans aus (szenarioabhängig)

Tabelle 54: Nicht klimaschutzbezogene Wirkungen auf Schutzgüter der Umwelt

Umweltwirkungen der Strategien (ohne Klimaschutz)	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen	Reduzierung der Freisetzung von Ammoniak
Einfluss der Szenarien	Abhängig von Wahl des Szenarios	Nicht szenarioabhängig
auslösendes Element durch Strategie(n)	Weniger Einsatz von Energieträgern, die Luftschadstoffe emittieren => reduziert die Emission zugehöriger Luftschadstoffe aus den Bereichen der privaten Haushalte, des Gewerbes, der Industrie, des Verkehrs	Verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement und -verwertung => reduziert die Emissionen von Ammoniak (und Gerüchen)
Bewertungsgrundlagen	Änderung der Immissionsbelastung der Luft durch Reduzierung des Einsatzes von Energieträgern, die Luftschadstoffe emittieren > Steinkohle, Braunkohle, Mineralöle, Gase, Biomasse, Abfälle > (semi-quantitativer Ansatz)	Zusätzliche Verringerung der Ammoniakemissionen ggü. 2010 um -11,55 % bis 2020 (8,1 Gg NH ₃) und um -12,3 % (8,6 Gg/a) bis 2030 (vTI, 2014)
Schutzgut Mensch, Luft	Verbesserte Luftqualität durch geringere Luftschadstoffbelastung einschl. der Auswirkung auf die Bildung von Ozon und Feinstaub	Geringere Luftschadstoffbelastung durch Reduzierung der Bildung von Feinstaub (Ammoniumverbindungen maßgeblich - zu ~40% - beteiligt) und Ozon
- Wirkfaktor	Menschliche Gesundheit (Atemwegserkrankungen, Herz-/ Kreislaufferkrankungen)	Menschliche Gesundheit (Atemwegserkrankungen, Herz-/ Kreislaufferkrankungen) Erholung, Wohnen
- Auswirkung	Einfluss auf die Luftqualität und damit auf die menschliche Gesundheit und Lebenserwartung	Einfluss auf die Luftqualität und damit auf die menschliche Gesundheit und Lebenserwartung
- Kriterien¹ und Indikator(en)	Luftqualität: Schadstoffbelastung, Staubbelastung (Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid, Ozonkonzentration, Feinstaubkonzentration)	Luftqualität: Schadstoffbelastung, Staubbelastung (Bildung von Feinstaub und Ozon durch Ammoniakemissionen)
Schutzgut Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden	Rückgang der stofflichen Belastung der Böden => Verringerung der Stoffeinträge (Deposition von Salzen basierend auf N, P, K und Schwermetalle)	Rückgang der stofflichen Belastung der Böden durch Verringerung der Ammoniakemissionen (Eutrophierung durch N-Verbindungen, Versauerung durch Bildung von Nitrat => Nährstoffübersorgung von Ökosystemen und Veränderungen der Artenvielfalt)
- Wirkfaktor	Eutrophierung (Ammoniak, Ammonium) Versauerung (Nitrat); ggf. Ökotoxizität (ausgewählte Schwermetalle)	Eutrophierung (Ammoniak, Ammonium) Versauerung (Nitrat) Ökotoxische Wirkung auf Pflanzen
- Auswirkung	Senkung der Schadstoffbelastung der Böden => weniger Versauerung und Eutrophierung => Erhalt bzw. Erholung Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren, der Lebensstätten wildlebender Tierarten, der Bodenfunktionen	Senkung der Schadstoffbelastung der Böden => weniger Versauerung und Eutrophierung => Erhalt bzw. Erholung Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren, der Lebensstätten wildlebender Tierarten, der Bodenfunktionen => durch Wechselwirkung positive Wirkung auf das Schutzgut Landschaft Reduzierung ökotoxischer Wirkungen auf Pflanzen
- Kriterien¹ und Indikator(en)	Stoffliche Belastungen (Schadstoff- und Nährstoffeintrag): Deposition von Salzen (N, P, K), ggf. einzelner Schwermetalle	Stoffliche Belastungen (Nährstoffeintrag): Deposition von Salzen (basierend auf N) durch Ammoniakemission

Quelle: Prognos AG 2014

1) in Übereinstimmung mit den Kriterien, die für die fachgutachterliche Stellungnahme zusammen mit dem MKLUNV festgelegt wurden

Tabelle 53ff: Nicht klimaschutzbezogene Wirkungen auf Schutzgüter der Umwelt

Umweltwirkungen der Strategien (ohne Klimaschutz)	Reduzierung der Freisetzung von Luftschadstoffen	Reduzierung der Freisetzung von Ammoniak
Schutzgut Wasser	Verringerte stoffliche Belastung von Grundwasser und Oberfl.gewässer	Verringerte stoffliche Belastung von Grundwasser und Oberfl.gewässer
- Wirkfaktor	Nitrateintrag durch Auswaschung aus Böden (landwirtschaftlichen Flächen) => Eutrophierung, Nitratbelastung	Nitrateintrag durch Auswaschung aus Böden (landwirtschaftlichen Flächen) => Eutrophierung, Nitratbelastung
- Auswirkung	Verbesserung ökologischer Zustand Oberflächengewässer, chemischer Zustand Oberflächen- und Grundwasser	Verbesserung ökologischer Zustand Oberflächengewässer, chemischer Zustand Oberflächen- und Grundwasser
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)	Stoffliche Belastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers (Nitratgehalt), Gewässerstrukturgüte	Stoffliche Belastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers (Nitratgehalt), Gewässerstrukturgüte
Schutzgut Landschaft	----	Verringerung der Belastung der Luft durch die Freisetzung von Gerüchen Wechselwirkung mit Schutzgut Mensch
- Wirkfaktor		Einfluss auf die Luftqualität und damit auf den Erholungswert der Landschaft in der Umgebung von Emittenten
- Auswirkung		Rückgang der olfaktorischen Belastungen
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)		Erhaltung und Verbesserung des Erholungswertes von Landschaftsräumen: Akustische, optische oder olfaktorische Einwirkungen
Schutzgut Kultur und Sachgüter	geringere Luftschadstoffbelastung aus diffusen Quellen	geringere Luftschadstoffbelastung aus diffusen Quellen
- Wirkfaktor	Säureeinwirkung auf Oberflächen (Versauerung durch Ammonium-, Nitrat- und Sulfat-Ionen)	Angriff auf Oberflächen durch sich bildendes Ammonium (Bildung von wasserlöslichen Salzen) oder wasserlösliche Calciumnitrate
- Auswirkung	Verbesserter Erhalt/Schutz von Kultur- und Sachgütern	Verbesserter Erhalt/Schutz von Kultur- und Sachgütern
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)	Erhalt und Schutz von UNESCO-Welterbestätten, Einzeldenkmalen, Ensembles, sonstiger Sachgüter	Erhalt und Schutz von UNESCO-Welterbestätten, Einzeldenkmalen, Ensembles, sonstiger Sachgüter

Quelle: Prognos AG 2014

1) in Übereinstimmung mit den Kriterien, die für die fachgutachterliche Stellungnahme zusammen mit dem MKLUNV festgelegt wurden

Tabelle 53ff: Nicht klimaschutzbezogene Wirkungen auf Schutzgüter der Umwelt

Umweltwirkungen der Strategien (ohne Klimaschutz)	Reduzierung des Nitrataustrags	Änderung der Schallbelastung	Reduzierung von Gerüchen
Einfluss der Szenarien	Nicht szenarioabhängig	Teilweise szenarioabhängig	Nicht szenarioabhängig
auslösendes Element durch Strategie(n)	Verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement und -verwertung > bedarfsgerechter, effizienter Einsatz minimiert Stickstoffverluste und verhindert - neben Ammoniakemissionen - Nitratausträge durch Überdüngung	Zunahme Transportleistungen, Verlagerung Personenverkehr (Modal-Split), effizientere Transporte, Neubau Windenergieanlagen - Intensität szenarioabhängig - und von Verkehrsinfrastruktur (u.a. ÖPNV) > regionale/ lokale Auswirkungen auf Lärmpegel +/-	Verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement und -verwertung => reduziert die Entstehung von Gerüchen (durch Ammoniak)
Bewertungsgrundlagen	Weniger Nitrataustrag => nicht quantifizierbar indirekte Wirkung: Minderung der N-Mineraldüngung um 20 % zw. 2010 und 2020 möglich (entspricht - 20 kg/ha*a), (vTI, 2013);	Qualitative Bewertung (ggf. sowohl positive als auch negative Wirkungen) => quantitative, regionalisierte Angaben nicht darstellbar	Qualitative Bewertung => keine Quantifizierung möglich
Schutzgut Mensch, Luft	Schutz des Trinkwassers (siehe Schutzgut Wasser => Verflechtung, Wechselwirkung)	Veränderung der Schallbelastung (lokal/regional v.a. in Ballungszentren, an Hauptverkehrsachsen) Wechselwirkung mit Schutzgut Landschaft	Weniger Geruch durch verringerte Ammoniakemissionen (lokale Wirkung) Wechselwirkung mit Schutzgut Landschaft
- Wirkfaktor	Gesundheitsvorsorge für den Menschen (nitratarmes Trinkwasser, v.a. Säuglinge)	Menschliche Gesundheit (Herz-/ Kreislauferkrankungen) Erholung, Wohnen	Lebensqualität des Menschen (Wohn- und Wohnumfeldfunktionen, Erholungs- und Freizeitfunktionen)
- Auswirkung	Erhalt der menschlichen Gesundheit durch Minimierung des Eintrags von Nitrat in Ge-wässer, aus denen Trinkwasser gewonnen wird	Einfluss auf lokale Lärmpegel (Zu- oder Abnahme) und damit auf die menschliche Gesundheit und Lebenserwartung der Menschen	Einfluss auf das Wohlbefinden der Menschen
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)	Wasserqualität: Nitratbelastung von Grundwasser- und Oberflächengewässern zur Trinkwassergewinnung	Lebensqualität des Menschen (Wohn- und Wohnumfeldfunktionen, Erholungs- und Freizeitfunktionen): Belastung durch Schall	Lebensqualität des Menschen (Wohn- und Wohnumfeldfunktionen, Erholungs- und Freizeitfunktionen): Geruch (olfaktorische Eigenschaft)
Schutzgut Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden	Rückgang der stofflichen Belastung der Böden => Verringerung Nitratüberschüsse	Veränderung der Schallbelastung (lokal/regional) Wechselwirkung mit Schutzgut Landschaft	----
- Wirkfaktor	Ein-/Austrag von überschüssigem Nitrat aus organischer oder mineralischer Düngung in/aus Böden	Lärmmissionen (Zu- oder Abnahme)	
- Auswirkung	Senkung der Schadstoffbelastung der Böden => weniger Versauerung und Eutrophierung von Grund- und Oberflächengewässern durch Nitratauswaschung aus landwirtschaftlichen Böden => Erhalt bzw. Erholung Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren, der Lebensstätten wildlebender Tierarten, der Bodenfunktionen	Veränderte Lärmmissionen (Intensität, Dauer): Vergrämung von Tieren, Barrierewirkung bei Zunahme Verbesserung der Lebensraumqualität und Wegfall von Barrierewirkungen bei Abnahme	
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)	Stoffliche Belastungen (Nährstoffeintrag): Deposition von Salzen (basierend auf N) durch Ammoniakemission	Sicherung der biologischen Vielfalt: Lebensbedingungen für Tier- und Pflanzenarten	

Quelle: Prognos AG 2014

1) in Übereinstimmung mit den Kriterien, die für die fachgutachterliche Stellungnahme zusammen mit dem MKLUNV festgelegt wurden

Tabelle 53ff: Nicht klimaschutzbezogene Wirkungen auf Schutzgüter der Umwelt

Umweltwirkungen der Strategien (ohne Klimaschutz)	Reduzierung des Nitrataustrags	Änderung der Schallbelastung	Reduzierung von Gerüchen
Schutzgut Wasser	Verringerte stoffliche Belastung von Grundwasser und Oberfl.gewässer	----	----
- Wirkfaktor	Nitrateintrag durch Auswaschung aus Böden (landwirtschaftlichen Flächen) => Eutrophierung, Nitratbelastung		
- Auswirkung	Verbesserung chemischer Zustand Oberflächen- und Grundwasser (Verschlechterungsverbot von Grundwasserkörpern, Erhalt natürlicher Gewässer)		
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)	Stoffliche Belastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers (Nitratgehalt), Gewässerstrukturgüte		
Schutzgut Landschaft	----	Veränderung der Schallbelastung + /- (lokal/ regional v.a. in Ballungszentren, an Hauptverkehrsachsen), Zunahme optischer Belastungen durch Windenergieanlagen Wechselwirkung mit Schutzgütern Mensch, Tiere	Verringerung der Belastung der Luft durch die Freisetzung von Gerüchen Wechselwirkung mit Schutzgut Mensch
- Wirkfaktor		akustisch: Lärmemissionen optisch: Bauwerke	Einfluss auf die Luftqualität und damit auf den Erholungswert der Landschaft in der Umgebung von Emittenten
- Auswirkung		Veränderung der optischen und akustischen Belastungen	Rückgang der olfaktorischen Belastungen
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)		Erhaltung und Verbesserung des Erholungswertes von Landschaftsräumen: Akustische, optische oder olfaktorische Einwirkungen	Erhaltung und Verbesserung des Erholungswertes von Landschaftsräumen: Akustische, optische oder olfaktorische Einwirkungen
Schutzgut Kultur und Sachgüter	----	----	----
- Wirkfaktor			
- Auswirkung			
- Kriterien¹⁾ und Indikator(en)			

Quelle: Prognos AG 2014

1) in Übereinstimmung mit den Kriterien, die für die fachgutachterliche Stellungnahme zusammen mit dem MKLUNV festgelegt wurden

8.2.4 Bewertung der relevanten Umweltwirkungen

(1) Die Analyse der Szenarien in den verschiedenen Handlungsfeldern des Klimaschutzplans hat ergeben, dass gegenüber der Entwicklung ohne Klimaschutzplan auf zwei Wegen eine zusätzliche **Reduzierung der Immissionsbelastungen der Luft** zu erwarten ist:

- Durch die Verringerung des Einsatzes an Energieträgern und
- durch die Verbesserung des Wirtschaftsdünger-managements in der Landwirtschaft.

Die **zusätzliche Reduzierung der Immissionen** selbst wird durch den Rückgang der Emissionen von Luftschadstoffen aus Prozessen zur stationären Verbrennung und dem Verkehr und durch die Verringerung der Entstehung von Ammoniakemissionen sowie ihrer Sekundärwirkungen (Ozonbildung, Sekundärpartikel/ Feinstäube) erzeugt.

(2) Für diese beiden Wege zur Reduzierung der Immissionsbelastung der Luft wurden für die spätere Ableitung der zugehörigen Umweltwirkungen quantitative Einschätzungen als Bewertungsgrundlage für die Einschätzung des Ausmaßes der damit verbundenen Umweltwirkungen herangezogen (siehe Kap. 8.3.1 und 8.3.2).

(3) Die Bewertung der Umweltwirkungen folgt einer **fünf-stufigen qualitativen Bewertungsskala** (s. Abbildung 97). In den Fällen, in denen die Bewertung auf Basis einer quantitativen Grundlage durchgeführt werden kann, basiert die Einstufung auf prozentualen Änderungen der Bemessungsgrundlagen.

Abbildung 97: Bewertungsskala für Umweltwirkungen

zusätzliche Veränderung durch Umsetzung des KSP		
> - 20 %	++	deutliche positive Auswirkungen
-10% bis -20%	+	positive Auswirkungen tendenziell gegeben
0 - +/- 10%	o	Auswirkungen vernachlässigbar / nicht vorhanden
+10% bis +20%	-	negative Auswirkungen tendenziell gegeben
> + 20 %	--	deutliche negative Auswirkungen

8.3 Ergebnisse

8.3.1 Abnahme der Emissionen durch reduzierten Einsatz luftschadstoffemittierender Energieträger (szenarioabhängig)

Hintergrund und Herleitung

(1) Energieträger wie Kohle, Mineralöl, Gase aber auch Biomasse und Abfall setzen bei der Energieerzeugung (Verbrennung) neben CO₂ diverse **Luftschadstoffe** frei, vor allem Stickoxide, Schwefeldioxid und Stäube. Aus Stickstoffoxiden bildet sich bei hohen Lufttemperaturen und starker Sonneneinstrahlung Ozon. Diese Schadstoffemissionen in Summe beeinträchtigen die Umwelt einschließlich der menschlichen Gesundheit (s. Tabelle 53).

Hauptemittenten für **Stickoxide** sind Industrieanlagen (40 %) und der Verkehr (~52 %)⁹⁸. Direkte Emissionen von Stickstoffdioxid aus dem Verkehr können unmittelbar auf den Menschen einwirken, die Emissionen aus Industrieanlagen verteilen sich weiträumig und bilden einen Teil der sogenannten Hintergrundbelastung. Die Folge erhöhter NO₂-Konzentrationen sind Atemwegserkrankungen beim Menschen. Die anderen Schutzgüter sind vor allem durch die zusätzlichen Stickstoffeinträge aus der Luft und ihre vielfältigen Wirkungen betroffen (vgl. Tabelle 54).

Die Bildung von **Ozon** kann beim Menschen zu Reizungen der Schleimhäute, der Atemwege und der Lunge führen.

Staubpartikel (Feinstaub und Grobstaub) können zum einen zu vielfältigen, komplexen Wirkungen auf die Gesundheit des Menschen (s. Kap. 10) und zum anderen zu Einträgen von gesundheitsgefährdenden Stoffen wie Schwermetallen und organischen Verbindungen in Böden, Gewässer und zugehörige Lebensräume von Tieren und Pflanzen (einschließlich der Nahrungskette) führen.

(2) Da weder für Stickstoffdioxid noch für Feinstaub bisher ein Schwellenwert ermittelt werden konnte, bei dessen Unterschreitung keine gesundheitsschädlichen Wirkungen mehr auftreten können, ist **jede Reduzierung der Belastung mit einem Gesundheitsgewinn für die Bevölkerung verbunden**⁹⁹.

⁹⁸ Quelle: Umweltbericht NRW 2013

⁹⁹ Quelle: Umweltbericht NRW 2013

(3) Auf dieser Basis wird der Untersuchung der relevanten Umweltwirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans folgende Annahme zugrunde gelegt:

Die derzeitige Belastung der Luft ist auf vielfältige Weise direkt auf die Emission von Luftschadstoffen aus der Verbrennung von Kohle, Mineralöl, Gasen, Biomasse und Abfall zurückzuführen. Wenn der Einsatz dieser Energieträger abnimmt, gehen auch die Emissionen der Luftschadstoffe zurück. Das führt unmittelbar zu einer Belastungsreduzierung der Luft und damit der Belastung der Menschen. Parallel werden auch in den anderen betroffenen Schutzgütern wie z. B. Boden und Wasser die Einträge aus der Luft und damit verbundene Wechsel- und Folgewirkungen abnehmen.

Ausschlaggebend für die qualitative Einschätzung des Umfangs dieser Umweltwirkungen in den einzelnen Szenarien sind die jeweiligen Einsatzmengen der luftschadstoffemittierenden Energieträger von 2010 bis 2050 (semi-quantitativer Ansatz).

Erstellung der Bewertungsgrundlagen

(4) Abgeleitet aus der Primärenergieträgerbilanz (s. Kapitel 4.3) wurde die Summe der **Einsatzmengen luftschadstoffemittierender Energieträger** (Braun- und Steinkohle, Gase, Mineralölprodukte, Biomasse, Abfall) in allen Szenarien bis 2050 berechnet und die prozentualen Veränderungen innerhalb von vier Perioden ermittelt (siehe Tabelle 55).

Tabelle 55: Entwicklung der Gesamtmenge luftschadstoffemittierender Energieträger 2010-2050 (PJ)

Szenario						Veränderung gegenüber 2010			
	2010	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Basis 0,6	3.386	2.965	2.571	2.294	2.033	-12%	-24%	-32%	-40%
Basis 1,2	3.386	3.155	2.802	2.575	2.383	-7%	-17%	-24%	-30%
A	3.384	2.876	2.550	1.702	1.448	-15%	-25%	-50%	-57%
A1	3.384	2.879	2.564	1.728	1.468	-15%	-24%	-49%	-57%
A2	3.384	2.731	2.329	1.641	1.406	-19%	-31%	-52%	-58%
B	3.384	2.681	2.232	1.535	1.218	-21%	-34%	-55%	-64%
B1	3.384	2.695	2.267	1.572	1.238	-20%	-33%	-54%	-63%
B2	3.384	2.669	2.213	1.481	935	-21%	-35%	-56%	-72%
BCCS	3.384	2.825	2.435	2.032	1.806	-17%	-28%	-40%	-47%
C	3.384	2.565	2.044	1.399	1.012	-24%	-40%	-59%	-70%
C1	3.383	2.705	2.247	1.472	1.074	-20%	-34%	-56%	-68%
C2	3.384	2.552	2.025	1.319	779	-25%	-40%	-61%	-77%

Quelle: Berechnungen der Prognos AG 2014

Anschließend wurden die Differenzen der prozentualen Veränderungen zum jeweiligen Basisszenario gebildet und bewertet (s. Tabelle 56).

Tabelle 56: Bewertung der zusätzlichen Veränderung der Gesamtmenge luftschadstoffemittierender Energieträger für 2030 und 2050

Szenario	Veränderung gegenüber den Basisszenarien			
	2030	2050	2030	2050
A	-7%	-28%	o	++
A1	-7%	-27%	o	++
A2	-14%	-29%	+	++
B	-17%	-34%	+	++
B1	-16%	-34%	+	++
B2	-16%	-34%	+	++
BCCS	-11%	-17%	+	+
C	-16%	-30%	+	++
C1	-10%	-28%	o	++
C2	-16%	-37%	+	++

Quelle: Berechnungen der Prognos AG 2014

(5) Die indirekte Analyse des möglichen Umfangs der Reduzierung von Immissionsbelastungen der Luft aufgrund der Abnahme des Einsatzes luftschadstoffemittierender Energieträger bei der Umsetzung der verschiedenen Szenarien des KSP ergibt folgendes Bild (siehe auch Abbildung 98):

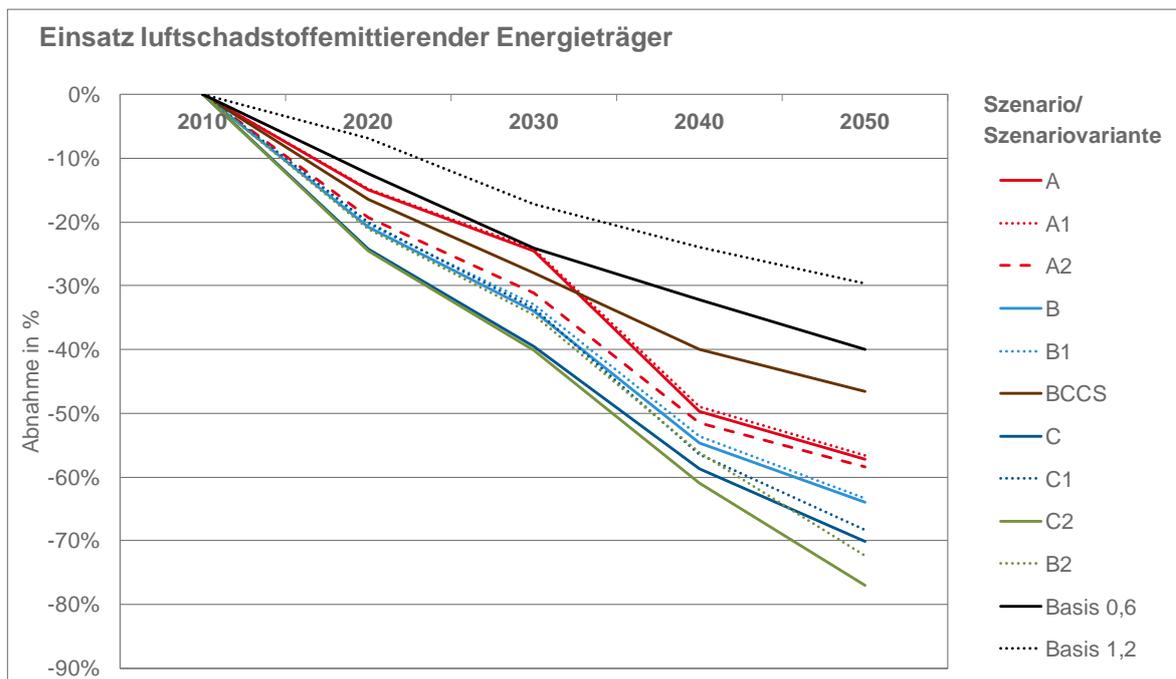
Bis 2030 nimmt die Gesamtmenge der **luftschaadstoffemittierenden Energieträger** bei der Mehrheit der Szenarien im Vergleich zu den Basisszenarien zusätzlich ab (zwischen 11 % bis 15 %). In den Szenarien A, A1 und C1 beträgt die Abnahme 10 % oder weniger gegenüber dem jeweiligen Basisszenario, so dass die erwarteten positiven Umweltwirkungen noch nicht so deutlich werden wie in den anderen Szenarien.

Die Gesamtmenge der **luftschaadstoffemittierenden Energieträger** wird sich **bis 2050** in allen Szenarien im Vergleich zur Basisentwicklung zusätzlich reduzieren:

- Während im Basisszenario 1,2 die Einsatzmengen um 30 % sinken, reduzieren sie sich in den A-Szenarien nochmals um weitere ~30 % auf insgesamt minus ~58 %.

- Bei den B-Szenarien sinken die Einsatzmengen zusätzlich um -34 bis -42 % (fast Halbierung) und liegen insgesamt bei minus 64 % bis minus 72 % (BCCS: zusätzlich nur -17 %).
- Während im Basisszenario 0,6 die Einsatzmengen um 40 % sinken, reduzieren sie sich in den C-Szenarien auf insgesamt minus 68 % bis minus 77 %.

Abbildung 98: Abnahme der Gesamteinsatzmenge luftschadstoffemittierender Energieträger in %



Quelle: Berechnungen der Prognos AG 2014

Bewertung

Obwohl die Stickstoffoxidemissionen in NRW seit 1996 kontinuierlich zurückgegangen sind, ist die Schadstoffbelastung der Luft durch **Stickstoffdioxid (NO₂)** in den innerstädtischen Bereichen weiterhin hoch. Im Jahr 2012 waren Industrieanlagen mit 160.000 t und der Verkehr mit 125.000 t die Hauptemittenten von NO₂¹⁰⁰. Der EU-Grenzwert (40 µg/m³ im Jahresmittel) wurde 2012 an vielen Messstellen in NRW überschritten.

Der Trend der Konzentrationen von **Feinstaub (PM₁₀)** ist seit 2003 rückläufig, dennoch werden immer noch ~11.000 t Feinstaub aus Anlagen und ~14.000 t Feinstaub durch den Verkehr emittiert¹⁰¹.

¹⁰⁰ Quelle: Umweltbericht NRW 2013

¹⁰¹ Quelle: Umweltbericht NRW 2013

Während der EU-Grenzwert (40 µg/m³ im Jahresmittel) in städtischen Wohngebieten eingehalten wird, wurden 2012 die EU-weit zulässigen Tagesmittelwerte von 50 µg/m³, die maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden dürfen, an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen und im Nahbereich einzelner industrieller Emittenten an mehr als 35 Tagen überschritten.

Insgesamt wird bis 2020 eine leichte Verbesserung der Luftqualität durch die Umsetzung der Luftreinhaltepläne (Staub- und Schadstoffreduzierung) und Maßnahmen zur Luftreinhaltung (z. B. Umweltzonen) erwartet.

Mit Umsetzung der Strategien des KSPs ist künftig eine deutliche zusätzliche Verbesserung der Luftqualität zu erwarten, da die Einsatzmengen der Energieträger, die für die Emissionen von Luftschadstoffen verantwortlich sind, bis 2030 und 2050 insgesamt wesentlich stärker zurückgehen werden als in der jeweiligen Basisentwicklung erwartet wird (siehe Abbildung 98 und Tabelle 56). Die Stoffeinträge in Böden, Gewässer und Lebensräume für Tiere und Pflanzen durch die Deposition von Stäuben werden parallel ebenfalls deutlich zurückgehen. Diese zusätzliche Entlastung wird den Umweltzustand in NRW insgesamt verbessern.

Die Auswirkungen auf die Luftqualität, auf die stoffliche Belastung der Böden und Lebensräume sowie der Gewässer **bis 2030** werden mit Ausnahme der Szenarien A, A1 und C1 als **leicht positive Umweltwirkung (+)** eingestuft.

Die Auswirkungen auf die Luftqualität, auf die stoffliche Belastung der Böden und Lebensräume sowie der Gewässer **bis 2050** werden mit Ausnahme des BCCS-Szenarios als **deutlich positive Umweltwirkung (++)** eingestuft.

Die gegenüber den anderen Szenarien nicht so deutlich geminderten Auswirkungen bei Umsetzung des BCCS-Szenarios könnten durch den Einsatz anderer Filtertechnologien und Abgasreinigungsmaßnahmen bei der Braunkohlenutzung verbessert werden.

(6) Als **Indikatoren** zur Verfolgung der Wirkungen der Umsetzung des Klimaschutzplans durch die Reduzierung der Belastungen mit Luftschadstoffen werden folgende, bereits bestehende Umweltindikatoren vorgeschlagen:

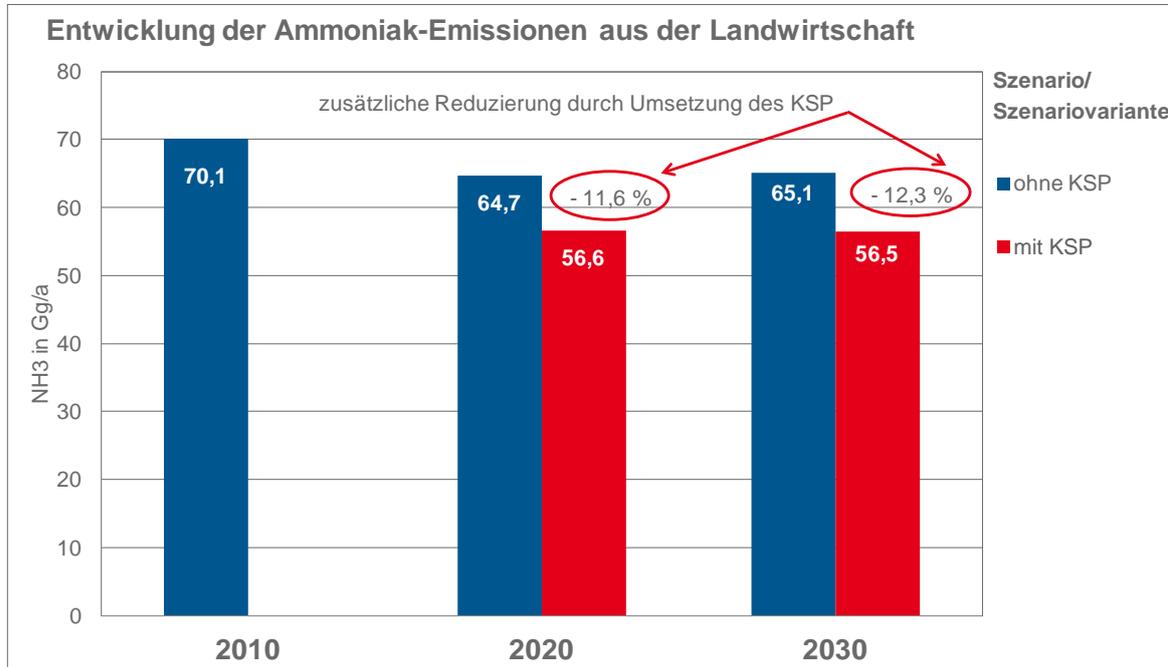
- Stickstoffoxidemission in NRW,
- Stickstoffdioxidkonzentration im städtischen Hintergrund ,
- Ozonkonzentration im städtischen Hintergrund,
- Feinstaubkonzentration im städtischen Hintergrund in NRW.

8.3.2 Abnahme der Ammoniakemissionen und Gerüche aus organischen Wirtschaftsdüngern (szenariounabhängig)

(1) Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngung) können durch eine optimierte Lagerung und Verwertung von Wirtschaftsdüngern (Wirtschaftsdüngermanagement) gegenüber dem bisher anzunehmenden Rückgang von ~8 % gegenüber 2020 und 2030 mehr als verdoppelt und damit deutlich reduziert werden¹⁰² (siehe Abbildung 99). Insgesamt kann eine Reduzierung der Ammoniakemissionen um > 19 % erreicht werden, das entspricht einem Rückgang der Gesamtemission im Jahr 2010 um ein Fünftel bzw. einer Verdopplung der Abnahme, die ohne die Umsetzung der Klimaschutzstrategien im Bereich Landwirtschaft erwartet wird.

Da der Anteil der Ammoniakemission der Landwirtschaft an der Gesamtemission von Ammoniak etwa 95 % beträgt (94 % in 2012, Daten zur Umwelt 2012, UBA) kann die Wirkung der zusätzlichen Reduzierung durch die Umsetzung der Klimaschutzstrategien im Bereich Landwirtschaft in etwa mit der Gesamtwirkung für NRW gleichgesetzt werden.

Abbildung 99: Entwicklung der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft in NRW bis 2030 [Gg/a]



Quelle: Berechnungen von Thünen-Institut 2013 und eigene Berechnungen der Prognos AG 2014

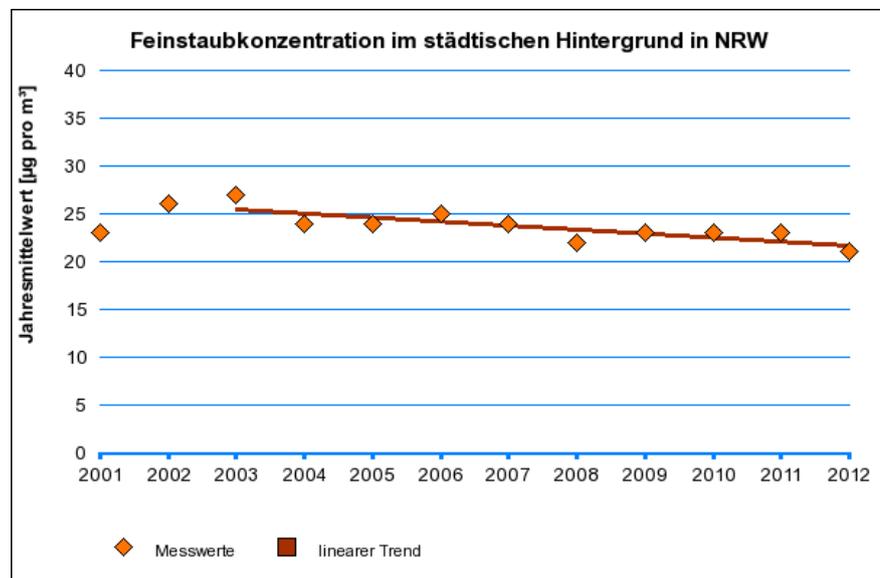
¹⁰² Quelle: Berechnungen des von Thünen-Instituts 2013

(2) Ammoniak reagiert in der Atmosphäre mit anderen Gasen zu gesundheitswirksamen Partikeln (sekundär gebildeter **Feinstaub**) oder lagert sich in Ökosystemen ab, wo es auf Pflanzen bzw. das Nährstoffgefüge des Bodens negative Wirkungen ausüben kann oder in die Stickstoffkaskade eintritt (siehe Tabelle 54). Für die Ammoniakkonzentration in der Luft gibt es derzeit keine ausreichende Regelung¹⁰³. Die Emission von Ammoniak ist für den Menschen mit starken Gerüchen verbunden, die die Wohn- und Erholungsqualität lokal beeinträchtigen können.

(3) Gemäß der internationalen Luftreinhalteverpflichtungen (EU-NEC-RL) darf Deutschland nicht mehr als 550 Tausend Tonnen Ammoniak jährlich emittieren¹⁰⁴. Zur Verbesserung des Umweltzustands ist eine weitere Senkung der Emissionen nötig, da diese Grenze gegenwärtig nicht sicher eingehalten wird¹⁰⁵.

Die **Feinstaubbelastung in NRW** wird über den Indikator „Feinstaub im städtischen Hintergrund“ gemessen und langfristig verfolgt¹⁰⁶. Der Indikator weist aus, dass in NRW im städtischen Hintergrund und somit in den Wohngebieten der EU-Jahresgrenzwert von 40 µg/m³ eingehalten wird. Die Trendanalyse ergibt einen leicht fallenden Trend (siehe Abbildung 100).

Abbildung 100: Feinstaubkonzentration im städtischen Hintergrund in NRW



Quelle: LANUV NRW, 2014

¹⁰³ UBA: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/ammoniak>; Abruf 11.04.14

¹⁰⁴ In der 39.BImSchV in deutsches Recht umgesetzt.

¹⁰⁵ Vereinbarungen in den überarbeiteten Luftreinhalteverpflichtungen gemäß UN/ECE CLRTAP – Multikomponentenprotokoll, 2012

¹⁰⁶ LANUV: <http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php>, Abruf 11.04.2014

Die Weltgesundheitsorganisation WHO rät bei Feinstaub (PM₁₀) jedoch schon lange zu einem weitaus strengeren Luftgüteleitwert von 20 Mikrogramm pro m³ im Jahresmittel. Dieser wurde 2013 an fast 51 % aller Messstationen in Deutschland überschritten.

Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft tragen als eine von neun Quellgruppen ca. 10 % bis 12 % zu der PM₁₀-Feinstaubgesamtbelastung¹⁰⁷ bei. In den „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“ des Umweltbundesamtes¹⁰⁸ werden Maßnahmen zur Senkung der Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft als sehr effektiv eingeschätzt.

Bewertung

(4) Mit der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans im Bereich Landwirtschaft können bis zum Jahr 2030 die Ammoniak-Emissionen in NRW zusätzlich leicht gesenkt werden. Um diesen Trend in den Folgejahren fortzusetzen, müssten zusätzliche Strategien zur Emissionsminderung festgelegt und umgesetzt werden.

(5) Die zusätzliche Wirkung der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans im Bereich Landwirtschaft wird bis 2030 wie folgt eingestuft: **Positive Wirkung auf die Umwelt tendenziell gegeben (+)**. Für die Folgejahre sind bisher keine weiteren Auswirkungen zu erwarten (o).

Das betrifft das Schutzgut Mensch durch die damit verbundene leichte Verringerung der Feinstaubbelastung der Luft und Verringerung der Gesundheitsbelastung des Menschen. Die Geruchsemissionen werden lokal deutlich reduziert. Zudem wirkt sich der leicht verringerte Stickstoff- (und Säure-)eintrag förderlich auf das Schutzgut Tiere, Pflanzen, die biologische Vielfalt und den Boden aus. Positiv zu werten ist ebenfalls der anteilige Rückgang von Stickstoffeinträgen in das Oberflächenwasser sowie die geringere Säurewirkung auf Kultur- und Sachgüter.

(6) Als **Indikator** zur Verfolgung der Wirkungen der Umsetzung wird der Umweltindikator **"PM 2,5 im ländlichen Hintergrund"** vorgeschlagen.

¹⁰⁷ UBA, 2009: Feinstaubbelastung in Deutschland

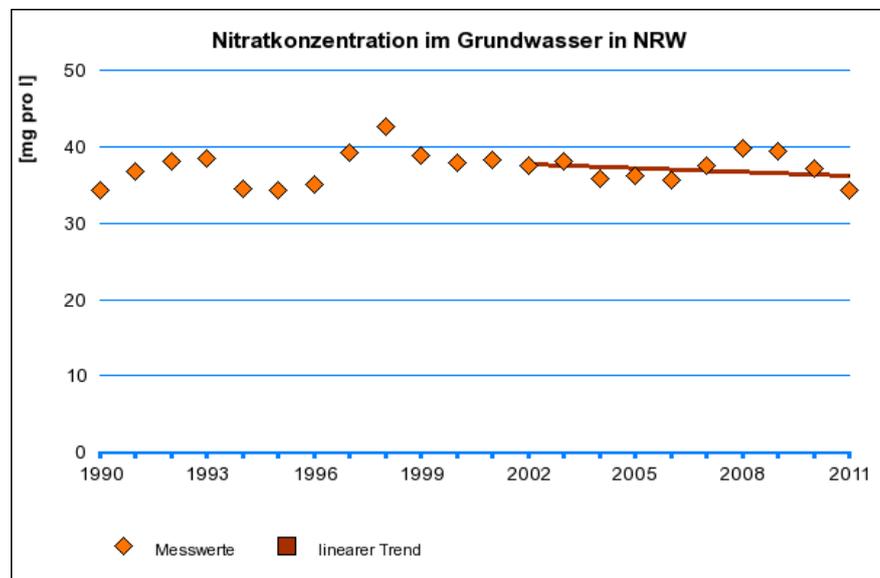
¹⁰⁸ UBA 2012: Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung

8.3.3 Abnahme der Nitratbelastung durch geänderte landwirtschaftliche Bewirtschaftung (szenariounabhängig)

(1) Eine weitere Wirkung der optimierten Lagerung und Verwertung von Wirtschaftsdüngern (Wirtschaftsdüngermanagement) ist der reduzierte Bedarf an zusätzlichem Stickstoff-Mineraldünger und in Folge eine verringerte Auswaschung überschüssigen Nitrats in Oberflächen- und Grundwasser.

(2) Die Ausgangslage für die Nitratkonzentration im Grundwasser in NRW stellt sich wie folgt dar¹⁰⁹:

Abbildung 101: Nitratkonzentration im Grundwasser in NRW



Quelle: LANUV NRW

Die Nitratkonzentration im Grundwasser überschreitet in einzelnen Regionen in NRW den Richtwert der EU. Der Grenzwert von 50 mg/ml für Nitrat im Trinkwasser wird in NRW eingehalten. Grundwasser stellt vielerorts die Basis für Trinkwasser dar und die ordnungsgemäße Trinkwasserversorgung kann aufgrund erhöhter Nitratwerte nur unter erheblichem Aufwand gewährleistet werden. Die voraussichtliche Entwicklung bis 2020 geht von einer weiteren Verschlechterung der chemischen Güte des Grundwassers aus. In Gebieten mit verbreitet erhöhten Nitratbelastungen sind daher zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratreinträge in das Grundwasser notwendig¹¹⁰.

¹⁰⁹ siehe: <http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php?indikator=17&aufzu=3&mode=indi>

¹¹⁰ LANUV: <http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php>, Abruf 11.04.2014

(3) Eine qualitative Einschätzung der direkten Auswirkungen des verbesserten Wirtschaftsdüngermanagements auf die Nitratbelastung des Grundwassers in NRW ist nicht möglich, da das Ausmaß der zusätzlichen Verringerung stark von der individuellen Bewirtschaftung (Düngepraxis auch mit anderen Stickstoffdüngern) und den Ausgangsvoraussetzungen sowie Vorbelastungen Vor-Ort abhängig ist. Dennoch sind im Falle einer großflächigen Umsetzung der Strategie geringere Einträge von Nitrat in Böden und Grundwasser zu erwarten. Um eine Vorstellung von der Wirkung effizienter Stickstoffdüngung mit Wirtschaftsdüngern zu erhalten, wurde vom von Thünen-Institut berechnet, dass mit konsequenter Umsetzung der Strategie in der Summe jährlich **20 kg/ha mineralischer Stickstoffdünger eingespart** werden könnte.

Ergebnis

(4) Die **Nitratbelastung** von Gewässern kann grundsätzlich auch durch ein optimiertes Wirtschaftsdüngermanagement positiv beeinflusst werden. Dennoch ist selbst eine qualitative Bewertung der zusätzlichen Wirkungen des Klimaschutzplans auf die Nitratbelastung der Grund- und Fließgewässer nicht möglich. Als **Indikator** zur Verfolgung möglicher Wirkungen der Umsetzung der Strategien im Bereich Landwirtschaft wird der bestehende Umweltindikator **Nitratkonzentration im Grundwasser in NRW** vorgeschlagen.

8.3.4 Bewertung der Umweltwirkungen durch Verlagerung von Personenverkehr und effizientere Transporte sowie durch den Betrieb von Windenergieanlagen (szenariounabhängig)

Emissionen von Luftschadstoffen

(1) Die möglichen **Änderungen der Emissionen aus dem Verkehr** durch die Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans NRW werden zusammen mit dem Rückgang des Einsatzes der Energieträger in Kap. 8.3.1 behandelt.

Schallemissionen

(2) Die Verlagerung von Personenverkehr sowie effizientere Transporte können den bestehenden **Lärmpegel** regional/lokal verändern – in Abhängigkeit von der Form der Ausführung sowohl im positiven als auch im negativen Sinne.

Die landseitigen Verkehrsleistungen gehen in den Szenarien des Klimaschutzplans nach 2020 bis 2050 stärker zurück als im Basis-

szenario (s. Impact Verkehr Kap. 7.4). Die Umsetzung des Klimaschutzplans führt zu Mobilitätsverhaltensänderungen wie beispielsweise einer rückgängigen Pkw-Verfügbarkeit (minus ~20 % bis 2030), dem Umstieg auf andere Verkehrsmittel oder dem Einsatz von E-Bikes. Die Effekte gegenüber dem Basisszenario werden vor allem nach 2040 nochmals deutlicher (minus ~35 % bis 2050).

Mit diesen Änderungen wird **großräumig ein zusätzlicher Rückgang** der insbesondere durch motorisierten Individualverkehr (MIV) induzierten **derzeitigen Lärmbelastung für große Anteile der Bevölkerung** erwartet¹¹¹. Der Klimaschutzplan und seine Szenarien geben keine Auskunft über Art, Umfang und die Lokalisation von Verkehrsverlagerungen im Detail. Eine Grundlage für die nähere Bewertung der Auswirkungen der Strategien aus dem Bereich Verkehr auf die Schallbelastung durch Verkehrslärm liegt somit nicht vor.

Negative Auswirkungen sind für Anwohner lokal ggf. durch Zunahme des Wirtschaftsverkehrs (Multimodale Terminals) oder des ÖPNV-Verkehrs (Bahnen, Busse), den Betrieb zusätzlicher Verkehrsinfrastruktur für den ÖPNV und durch den Betrieb neuer Windenergieanlagen zu erwarten. Im Zuge von Maßnahmen- und Umweltverträglichkeitsprüfungen in Genehmigungsverfahren müssen diese lokalen Auswirkungen bewertet und zusätzliche Lärmbelastungen so weit wie möglich minimiert werden.

Diese Effekte werden in Summe deutlich weniger Menschen ggf. zusätzlich belasten als durch die Umsetzung der o.g. Strategien im Bereich MIV entlastet werden. In der Gesamtbetrachtung wird daher eine leichte Entlastung der Bevölkerung durch Lärmemissionen erreicht.

Ergebnis

(3) Die **Schallbelastung** durch Verkehr wird großflächig v.a. in den Ballungszentren und entlang der Hauptverkehrswege durch Abnahme des MIV/der Pkw-Anzahl ab 2020 zusätzlich zurückgehen, ab 2040 wird die Wirkung deutlicher. Demgegenüber kann es durch einzelne Maßnahmen bei der Umsetzung der Strategien lokal zu Mehrbelastungen kommen. Insgesamt wird mit der Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans eine **leicht positive Umweltwirkung** im Hinblick auf Schallbelastungen bewirkt.

¹¹¹ Die bestehenden Lärmaktionspläne und ihre Maßnahmen sollen durch Umsetzung des Klimaschutzplans künftig unterstützt werden (Umweltbericht NRW, 2013)

8.3.5 Gesamtergebnis Umweltwirkungen

(1) Die Gesamtwirkung der Szenarien des Klimaschutzplans auf die Umwelt wird dominiert von der **deutlichen zusätzlichen Abnahme der Emissionen von Luftschadstoffen** bis 2030 und bis 2050. Ein Großteil der zusätzlichen, nicht klimaschutzrelevanten Auswirkungen der Strategien des Klimaschutzplans NRW auf die Umwelt wird bereits 2030 wirksam, bis 2050 werden deutlich positive Umweltwirkungen zu verzeichnen sein.

Luftschadstoffemissionen werden durch den stark rückläufigen Einsatz von luftschadstoffemittierenden Energieträgern bis 2050 in allen Sektoren (Umwandlung, Industrie, Verkehr, Wärme) zusätzlich deutlich reduziert. Die Folgewirkung ist v.a. eine deutliche Verbesserung der Luftqualität für die Menschen in NRW (siehe auch Auswirkungen auf die Gesundheit in Kap. 9). Die deutliche Abnahme von Schadstoffeinträgen aus der Luft wirkt sich gleichermaßen positiv auf die Lebenswelt von Tieren und Pflanzen und den Zustand von Böden und Gewässern aus. Der Umweltzustand in NRW wird sich deutlich verbessern, damit heute verbundenen Folgekosten und Ausgaben werden sich vermindern¹¹².

(2) **Ammoniakemissionen und Gerüche** durch Wirtschaftsdünger werden durch verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement bis 2030 zusätzlich deutlich abnehmen. Das hat auch eine leichte zusätzliche Abnahme der Feinstaubbelastung zur Folge.

(3) Ein optimiertes Düngermanagement organischer Wirtschaftsdünger kann sich zudem positiv auf die Effizienz der Verwertung der Stickstoffgaben auswirken, so dass weitere Einträge von **Nitrat** in Gewässer verringert oder vermieden werden können. Das Ausmaß der zusätzlichen Verringerung ist von der individuellen Bewirtschaftung und den Ausgangsvoraussetzungen sowie Vorbelastungen Vor-Ort abhängig und kann daher nicht bestimmt werden.

(4) Die **Schallbelastung** durch Verkehr wird großräumig durch Abnahme des motorisierten Individualverkehrs bzw. der Pkw-Anzahl und effizientere Gütertransporte zusätzlich zurückgehen, ab 2040 wird diese Wirkung deutlicher. Das wirkt sich positiv auf die Gesundheit des Menschen aus (s. Kap. 9). Ausnahme sind lokale Wirkungen, z. B. durch den Neubau von Verkehrsinfrastruktur

¹¹² zu Umweltfolgekosten siehe UBA 2013: Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekonomische-bewertung-von-umweltschaeden-0>

und Windenergieanlagen, die ggf. zusätzliche Schallbelastungen verursachen können.

Tabelle 57: Gesamtergebnis nicht klimaschutzbezogene Umweltwirkungen

Impact Umwelt	Emissionen Luftschadstoffe		Ammoniakemissionen		Nitrat austrag		Schallbelastung		Gerüche (lokal)		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario A1	o	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario A2	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario B	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario B1	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario B2	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario BCCS	+	+	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario C	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario C1	o	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		
Szenario C2	+	++	+	o	k.B.	k.B.	+	+	+	o		

k.B. = keine Bewertung

Quelle: Prognos AG, 2014

Untersuchungsteil III: Vertiefung einzelner Impactbereiche

9 Genderspezifische Impactwirkungen

(1) Mit Blick auf das Ziel einer geschlechtergerechten Gesellschaft und insbesondere der genderneutralen Verwendung öffentlicher Mittel ist im Rahmen der Impactanalyse des Klimaschutzplans Nordrhein-Westfalen eine vertiefte Differenzierung vorgesehen, um auf geschlechtsspezifisch unterschiedliche Wirkungen frühzeitig aufmerksam zu werden und nach Möglichkeit durch geeignete Anpassungen entsprechend gegensteuern zu können.

(2) Die Analyse genderspezifischer Impacts baut hierbei im Wesentlichen auf den Ergebnissen der Impactanalysen anderer Bereiche auf, die geschlechtsspezifisch differenziert werden. Betrachtet werden hierbei folgende Untersuchungsbereiche des Klimaschutzplans Nordrhein-Westfalens:

- Auswirkungen veränderter Wohn- und Energiekosten aufgrund energetischer Sanierungen unter Berücksichtigung geschlechtsspezifisch verbreiteter Lebenslagen und -formen,
- Auswirkungen veränderter Mobilitätskosten unter Berücksichtigung geschlechtsspezifischer Mobilitätsmuster,
- Auswirkungen der Beschäftigungswirkungen unter Berücksichtigung der Frauen- und Männeranteile in den betroffenen Branchen und ggf. Qualifikationsniveaus,
- gesundheitliche Auswirkungen unter Berücksichtigung geschlechtsspezifischer Morbiditäten bzw. Prävalenzen.

(3) Bei der Analyse und Bewertung längerfristiger Auswirkungen auf die Geschlechter ist zu berücksichtigen, dass geschlechtsspezifische Haushalts-, Einkommens-, Mobilitäts-, Berufswahl- und Beschäftigungsstrukturen gesellschaftlich bedingt und damit in dynamischen Gesellschaften einem stetigen Wandel unterworfen sind. Geschlechtsspezifische Wirkungen des Klimaschutzplans, die bezogen auf die heutige Situation zu Tage treten, können sich in der Zukunft deutlich abschwächen. Mit Blick auf die in der Vergangenheit gestiegene Bildungs- und Erwerbsbeteiligung und die gewachsenen Karrierechancen der Frauen ist etwa davon auszugehen, dass die geschlechtsspezifischen Einkommensunterschiede weiter zurückgehen werden. Eine mögliche Entwicklung ist zudem, dass sich durch den Ausbau der Betreuungsinfrastruktur für Kinder und vermehrte arbeitgeberseitige Angebote zur Vereinbarkeit von Beruf und Familie die gegenwärtig häufig prekäre wirtschaftliche Situation weiblicher Alleinerziehender verbessern wird. In welcher Intensität und mit welcher Geschwindigkeit sich derartige Entwicklungen vollziehen, kann jedoch nicht belastbar prognostiziert werden. Die Aussagekraft der folgenden Analysen und Bewertungen im Impactbereich Gender ist daher notwendigerweise

auf die kurz- und mittelfristige Perspektive – d. h. auf einen Zeitraum von etwa maximal 15 Jahren, in dem von einer weitgehenden Persistenz aktueller Strukturen ausgegangen werden kann – beschränkt. Für das Jahr 2050 als Zielzeitpunkt der Szenarien können dagegen keine begründeten und belastbaren Bewertungen getroffen werden.

9.1 Auswirkungen im Bereich Wohnen

(1) Zur Analyse der geschlechtsspezifischen Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplans im Bereich Wohnen werden im Folgenden die für verschiedene Haushaltstypen ermittelten Ergebnisse aus dem Impactbereich Sozialverträglichkeit geschlechtsspezifisch differenziert. Betrachtet werden hierbei ausschließlich Haushalte mit einer erwachsenen Person, d. h. Alleinlebende oder Alleinerziehende. Auf diese Haushaltstypen entfallen in Nordrhein-Westfalen insgesamt 46 % aller Haushalte (Tabelle 58).

(2) Die Anteile von Männern und Frauen, die in den betrachteten Haushaltstypen leben, variieren erheblich. Während unter den allein lebenden Erwachsenen unter 65 Jahren die Geschlechteranteile ausgeglichen sind, überwiegen bei allein lebenden Senioren die Frauen mit einem Anteil von 70 %. Unter den Alleinerziehenden bilden Männer mit lediglich 12 % die Ausnahme.

Tabelle 58: Anteile der betrachteten Haushaltstypen an allen Haushalten sowie Männer- und Frauenanteile, Nordrhein-Westfalen 2012, in Prozent

Haushaltstyp	Anteil an allen Haushalten	davon	
		Anteil Männer	Anteil Frauen
Alleinerziehende	5 %	12 %	88 %
Allein lebende Seniorinnen und Senioren (ab 65 Jahren)	17 %	30 %	70 %
Allein lebende Personen unter 65 Jahren	24 %	51 %	49 %
Gesamt	46 %	38 %	62 %

Quelle: Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

Da die Einkommens- und Lebenssituation der betrachteten Haushaltstypen nicht strukturell vom deutschlandweiten Durchschnitt abweicht, die Fallzahlen aus Nordrhein-Westfalen für differenzierte Analysen aber zu niedrig liegen, werden für die folgenden Auswertungen des sozio-ökonomischen Panels (SOEP) bundesweite Daten verwendet.

9.1.1 Wohn- und Einkommenssituation der Haushaltstypen

(1) Für den Bereich Wohngebäude werden drei unterschiedliche Szenarien berücksichtigt, die nach der Sanierungsrate variieren. Da sich die jeweiligen Sanierungskosten für Mieter und selbstnutzende Eigentümer unterscheiden, müssen die geschlechtsspezifischen Mieter- und Eigentümeranteile innerhalb der Haushaltstypen berücksichtigt werden. Wie in Tabelle 59 dargestellt, leben über drei Viertel der alleinerziehenden Frauen, aber lediglich die Hälfte der alleinerziehenden Männer zur Miete. Bei den allein lebenden Senioren wohnen knapp 60 % der Frauen gegenüber 52 % der Männer zur Miete. Der Mieteranteil bei allein lebenden Erwachsenen unter 65 Jahren zeigt kaum geschlechtsspezifische Unterschiede: Sowohl Männer als auch Frauen leben zu über drei Vierteln in Mietverhältnissen.

Tabelle 59: Anteile der Mieterinnen und Mieter nach Haushaltstyp und Geschlecht, Deutschland 2012

	Männer	Frauen
Alleinerziehende	47,7 %	77,4 %
Allein lebende Seniorinnen und Senioren (ab 65 Jahren)	52,2 %	59,6 %
Allein lebende Personen unter 65 Jahren	76,4 %	78,6 %

Quelle: Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

(2) Wie in oben ausgeführt, leben rund 74 % der Haushalte in Wohnraum mit energetischem Sanierungsbedarf. Während hierbei bezogen auf alle Haushalte nur geringfügige geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen, zeigen sich innerhalb einzelner Haushaltstypen z. T. deutliche Unterschiede nach Geschlecht. Dies trifft insbesondere für Alleinerziehenden-Haushalte zu, bei denen knapp 80 % der Frauen, aber nur 65 % der Männer in sanierungsbedürftigen Wohnungen leben (Tabelle 60).

Ein überdurchschnittlich hoher Wohnraumsanierungsbedarf zeigt sich zudem bei allein lebenden Seniorinnen. Mit 81 % liegt in dieser Gruppe der Anteil der Haushalte mit Sanierungsbedarf sowohl über dem Vergleichswert der männlichen Senioren (76 %) als auch deutlich über dem Durchschnitt aller Haushalte – wobei zu berücksichtigen ist, dass die Haushaltsform allein lebender über 65-Jähriger mit einem Frauenanteil von 70 % eine typisch weibliche Lebensform darstellt.

Bei allein lebenden Personen unter 65 Jahren zeigt sich im Vergleich zum Durchschnitt aller Haushalte ein erhöhter Sanierungsbedarf, ohne dass hierbei geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen.

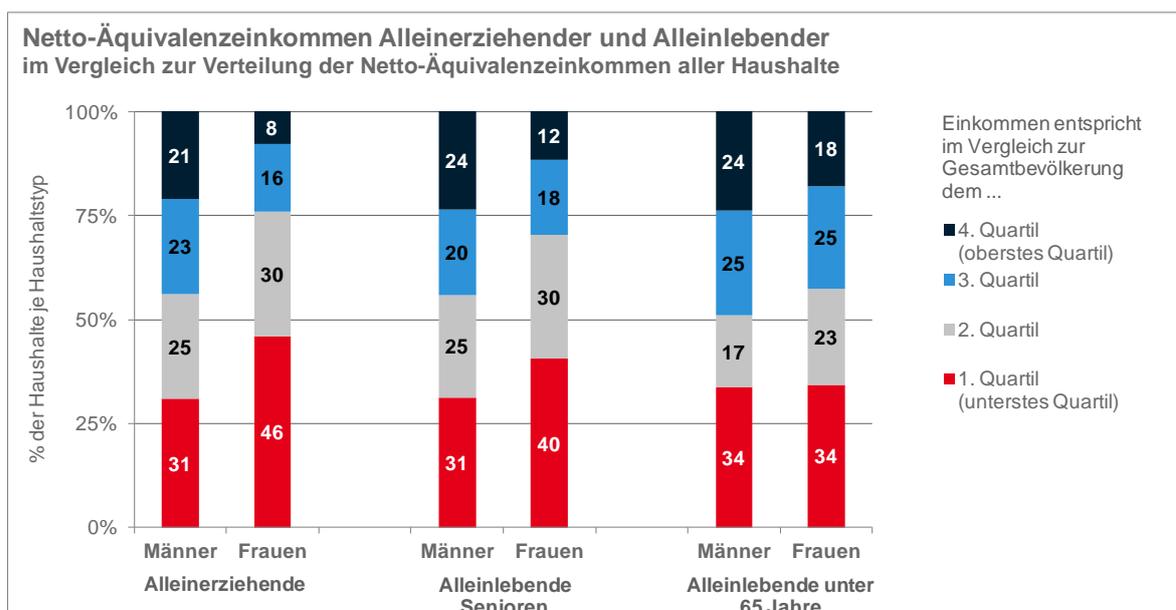
Tabelle 60: Anteile der in Wohnungen mit Bedarf an energetischer Sanierung lebenden Frauen und Männer nach Haushaltstyp, Deutschland 2012

	Männer	Frauen
Alle Haushalte	73,0 %	75,5 %
Haushalte mit einer erwachsenen Person		
darunter:		
Alleinerziehende	64,8 %	79,5 %
Allein lebende Seniorinnen und Senioren (ab 65 Jahren)	76,2 %	81,0 %
Allein lebende Personen unter 65 Jahren	78,9 %	77,7 %

Quelle: Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

(3) Bei der Einkommenssituation der betrachteten Haushaltstypen ist durchweg festzuhalten, dass ihre äquivalenzgewichteten Netto-Einkommen unter dem Durchschnitt der Gesamtbevölkerung liegen. Zudem sind in allen Haushaltstypen – wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß – die Einkommen der Frauen geringer als die der Männer. Besonders deutliche Unterschiede zeigen sich bei Alleinerziehenden: Lediglich acht Prozent der alleinerziehenden Frauen sind dem einkommensstärksten Viertel der Bevölkerung zuzurechnen (Abbildung 102).

Abbildung 102: Einkommensstruktur der betrachteten Haushaltstypen nach Geschlecht, Deutschland 2012



Quelle: Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

46 % der alleinerziehenden Frauen verfügen maximal über das Einkommen, das dem einkommensschwächsten Viertel der Gesamtbevölkerung entspricht, bei 76 % der alleinerziehenden Frauen liegt das Einkommen unter dem mittleren Einkommen der Bevölkerung (Medianeinkommen). Bei männlichen Alleinerziehenden entspricht die Einkommensverteilung deutlich stärker dem Bevölkerungsdurchschnitt.

Bei allein lebenden Senioren sind Frauen mit unterdurchschnittlichen Einkommen ebenfalls deutlich häufiger vertreten als Männer. Zwischen allein lebenden Männern und Frauen unter 65 Jahren zeigen sich Einkommensunterschiede dagegen nur in abgeschwächter Form.

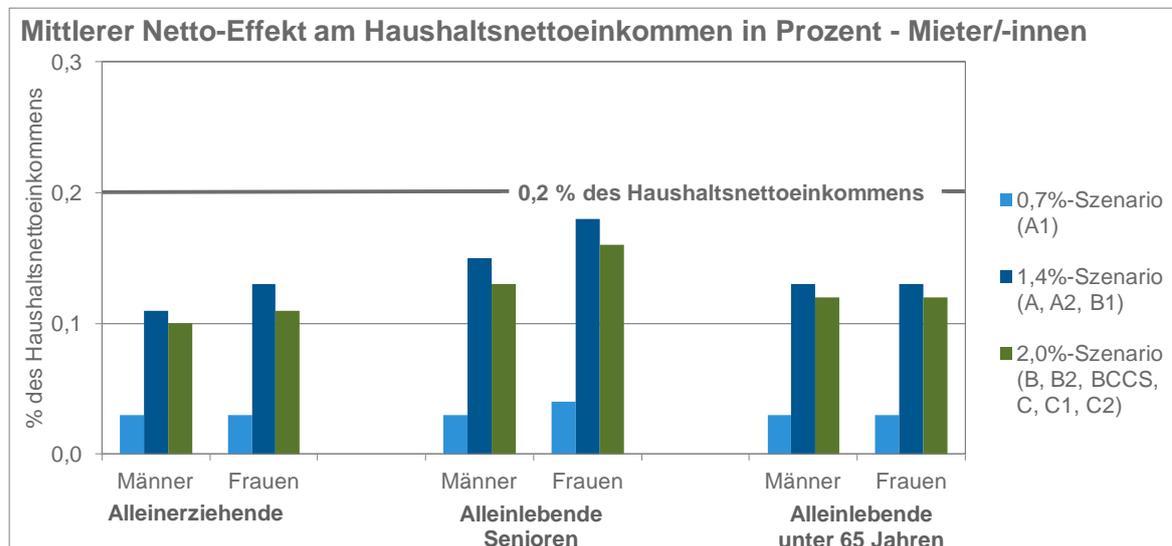
9.1.2 Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Szenarien des Klimaschutzplan im Bereich Wohnen

(1) Als zentraler Indikator zur Einschätzung geschlechtsspezifisch unterschiedlicher Belastungen wird analog zum Vorgehen im Impactbereich Sozialverträglichkeit die Netto-Belastung bzw. Entlastung am Haushaltseinkommen in energetisch sanierten Wohnungen betrachtet. Bei der Berechnung ist neben Einsparungen durch Energiekostenreduktionen berücksichtigt, dass Kosten für die Warm- bzw. Kaltmiete bei Transferleistungs-Empfängern in Abhängigkeit von Leistungsart und -anspruch durch die öffentliche Hand getragen werden. Der Berechnungsweg und die zugrunde liegenden Annahmen sind in Kapitel 7.3 detailliert beschrieben.

(2) Wie in Abbildung 103 dargestellt, zeigen sich für Mieterinnen und Mieter in den betrachteten Haushaltstypen in sämtlichen Szenarien gegenüber dem Basisszenario im Zeitraum zwischen 2010 und 2020 geringfügige Mehrbelastungen. Diese zusätzlichen Kosten bewegen sich dabei auf sehr niedrigem Niveau und betragen maximal 0,18 % des Haushaltsnettoeinkommens. Auf absolute Beträge umgerechnet liegen diese durchschnittlichen Mehrkosten bei höchstens 2,62 Euro pro Monat.

(3) Die geschlechtsspezifische Analyse zeigt ausschließlich minimale Unterschiede der mittleren Mehrbelastung von Männern und Frauen gegenüber dem Basisszenario. Die maximale Differenz, die bei der Gruppe der allein lebenden Seniorinnen und Senioren auftritt, beträgt lediglich 0,03 % am Haushaltsnettoeinkommen. In absoluten Werten liegen die geschlechtsspezifischen Unterschiede der Mehr- oder Minderbelastungen in allen Szenarien unter 0,20 Euro pro Monat.

Abbildung 103: Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Mieter nach Geschlecht und Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent

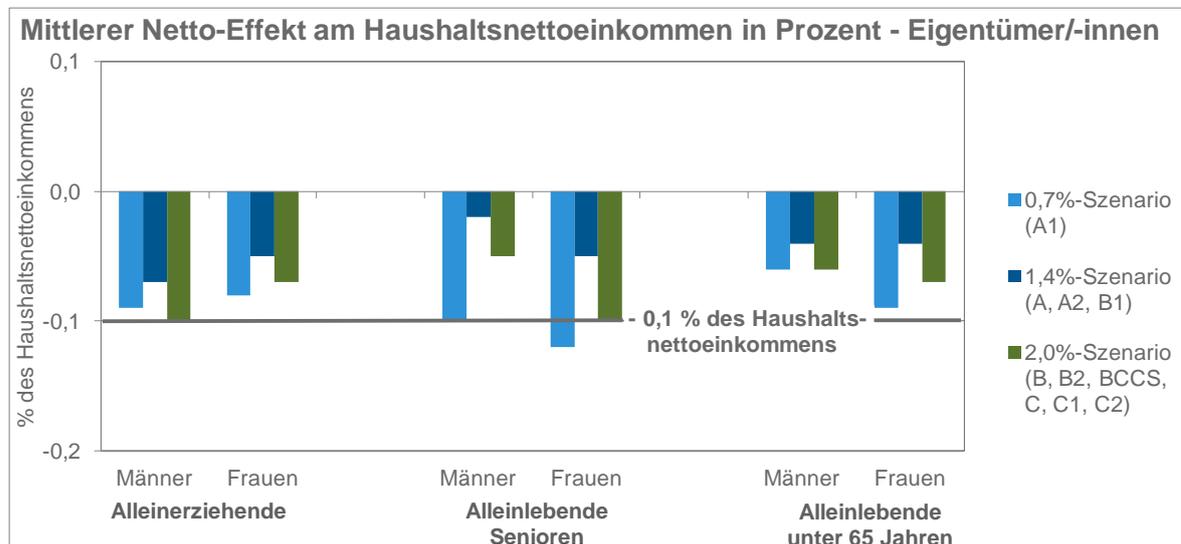


Quelle: Berechnungen der Prognos AG auf Basis SOEP v29 (hochgerechnet)

(4) Für Selbstnutzer von Wohneigentum zeigen sich für sämtliche betrachteten Haushaltstypen und Szenarien gegenüber dem Basisszenario durchgängig Netto-Entlastungen nach der Sanierung – allerdings ebenfalls auf äußerst niedrigem Niveau. Die maximale Entlastung liegt hierbei bei 0,12 % des Haushaltsnettoeinkommens bzw. 2,89 Euro pro Monat. Die geschlechtsspezifische Differenz der Wirkungen beträgt maximal 0,05 % des Haushaltsnettoeinkommens bzw. 0,58 Euro pro Monat, wobei alleinlebende Frauen über und unter 65 Jahren relativ stärker entlastet werden als Männer (Abbildung 104).

Aufgrund der geschlechtsspezifischen Unterschiede bei der Eigentümerquote (vgl. Tabelle 55) profitieren anteilig mehr Männer als Frauen von der Entlastung bei den Selbstnutzern von Wohneigentum. Dies gilt insbesondere für Alleinerziehende, aber auch für alleinlebende Seniorinnen und Senioren. Bei den Alleinlebenden unter 65 Jahren bestehen dagegen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Zudem liegt hier die Eigentümerquote mit einem Wert unter 25 % bei beiden Geschlechtern vergleichsweise niedrig. Angesichts der generell geringen Höhe der Be- und Entlastungswirkungen zeigen sich auch bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Eigentümerquoten keine nennenswerten geschlechtsspezifischen Auswirkungen.

Abbildung 104: Mittlere Netto-Effekte am Haushaltsnettoeinkommen (im Vergl. zur Basis) für Eigentümer nach Geschlecht und Haushaltstyp, Periode 2010 - 2020, Medianwerte in Prozent



(5) Als **Gesamtergebnis der Gender-Analyse für den Impactbereich Wohnen** ist somit festzuhalten, dass die geschlechtsspezifischen Unterschiede der finanziellen Mehr- oder Minderbelastung in sämtlichen Szenarien auch für einkommensschwache Haushalte **als marginal zu bewerten** sind. Zu berücksichtigen ist, dass hierbei ausschließlich die Differenz zu dem Basisszenario – dem ebenfalls die Annahme einer Sanierungstätigkeit zugrunde liegt – betrachtet wird. Zudem liegt den Berechnungen die Annahme zugrunde, dass auf die Kaltmiete umgelegte Kosten der energetischen Sanierung bei der Bewilligung von wohnbezogenen Transferleistungen als angemessen bewertet werden. Ohne diese – bislang keineswegs flächendeckend in den Kommunen verbreitete – Anerkennungspraxis ist angesichts der hohen Bezugsquote von SGB II-Leistungen insbesondere bei Alleinerziehenden von spürbaren finanziellen Mehrbelastungen oder auch von Verdrängungswirkungen auszugehen.

Unabhängig von den finanziellen Folgewirkungen ist allerdings auf geschlechtsspezifisch unterschiedliche Belastungen durch Begleiterscheinungen einer intensiven Sanierungstätigkeit hinzuweisen. Dies gilt insbesondere für die quantitativ bedeutende Gruppe der alleinlebenden Seniorinnen, die überproportional häufig in energetisch sanierungsbedürftigem Wohnraum leben. Auch wenn sich rein energetische Sanierungen in erster Linie auf Außenarbeiten beziehen, werden sie häufig aus wirtschaftlichen Gründen mit umfassenden Modernisierungen der Wohnung verbunden, die einen temporären oder dauerhaften Umzug der Bewohnerinnen und Bewohner erfordern. Ein Verlassen des gewohnten Lebensum-

felds schränkt für ältere Menschen nicht nur die Lebensqualität, sondern auch die langfristigen Möglichkeiten für ein selbständiges und selbstbestimmtes Leben in einer vertrauten Umgebung durch die Erhaltung des räumlichen Orientierungsrahmens und die Pflege und den Erhalt sozialer Beziehungen ein.¹¹³

Als Handlungsoption zur Vermeidung dieser geschlechtsspezifisch einseitigen Belastungswirkungen sollten bei umfassenden Sanierungsvorhaben insbesondere bei Wohnraum in öffentlicher Eigentümerschaft Zwischenwohnlösungen oder seniorengerechte Ersatzangebote im unmittelbaren Wohnumfeld vermittelt werden.

9.2 Auswirkungen im Bereich Mobilität

(1) Sämtlichen in der vorliegenden Studie untersuchten Szenarien des Klimaschutzplans liegt ein identisches Set von Annahmen bezüglich des künftigen Verkehrsmengengerüsts zugrunde (vgl. Kapitel 7.4). In den Zieldefinitionen dieses Klimaschutzplan-Szenarios wird ein – über demografische Effekte hinausgehender – Rückgang der motorisierten Mobilitätsleistung bei gleichzeitiger Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr auf den ÖV sowie auf den Fahrradverkehr festgehalten.

Ein Treiber dieser Entwicklung sind die im Durchschnitt steigenden Anschaffungskosten für PKW aufgrund der Diversifizierung der Antriebssysteme, d. h. dem steigenden Anteil der (zunächst) teureren Alternativenantriebe. Sowohl im Basisszenario als auch im Szenario des Klimaschutzplans wird von einer Verteuerung der fossilen Treibstoffe ausgegangen.

(2) Genderspezifisch unterschiedliche Auswirkungen des Klimaschutzplans NRW im Bereich Mobilität sind somit in erster Linie mit Blick auf geschlechtsspezifische Nutzungsmuster von PKW zu sehen. Zwischen Männern und Frauen zeigen sich hierbei in mehrfacher Hinsicht unterschiedliche Mobilitätsmuster.

¹¹³ vgl. BMVBS (2011), Wohnen im Alter - Marktprozesse und wohnungspolitischer Handlungsbedarf, Schriftenreihe Forschungen, Heft 147, Berlin.

9.2.1 Geschlechtsspezifische Muster von PKW-Besitz und PKW-Nutzung

(1) Für Frauen wie für Männer stellen PKW das wichtigste Verkehrsmittel dar. Allerdings ist die Bedeutung der PKW für Männer – die für 60,5 % ihrer zurückgelegten Wege den MIV nutzen – in der Gesamtbetrachtung aller Personen ab dem ersten Lebensjahr höher als für Frauen (55,1 % der Wege, Tabelle 61).

Männer nutzen den MIV zudem deutlich häufiger als Frauen als Selbstfahrer. Während der öffentliche Personenverkehr für beide Geschlechter in etwa die gleiche Bedeutung als Verkehrsmittel besitzt, legen Frauen Verkehrswege häufiger zu Fuß zurück. Die in Tabelle 61 für Deutschland ausgewiesene prozentuale Verteilung der zurückgelegten Wege nach (Haupt-)Verkehrsmittel und Geschlecht entspricht mit lediglich geringfügigen Abweichungen den geschlechtsspezifischen Mobilitätsmustern in Nordrhein-Westfalen. Aufgrund der differenzierteren Datenlage für Deutschland werden im Folgenden die bundesweiten Werte ausgewiesen.

Tabelle 61: Wege nach (hauptsächlich) genutztem Verkehrsmittel und Geschlecht, Deutschland 2008

	Männer	Frauen
Nichtmotorisierter Individualverkehr (NMIV)	31,3 %	36,1 %
<i>darunter:</i>		
<i>zu Fuß</i>	21,2 %	26,3 %
<i>Fahrrad</i>	10,1 %	9,8 %
Motorisierter Individualverkehr (MIV)	60,5 %	55,1 %
<i>darunter:</i>		
<i>Fahrer</i>	49,2 %	36,3 %
<i>Mitfahrer</i>	11,3 %	18,8 %
Öffentlicher Personenverkehr	8,2 %	8,8 %
Gesamt	100 %	100 %

Quelle: MiD 2008

(2) Männer leben zudem häufiger in Haushalten mit PKW als Frauen, haben also häufiger unmittelbaren Zugriff auf ein Auto im Privatbesitz. Lediglich 9,5 % der volljährigen Männer gegenüber 15,7 % der volljährigen Frauen leben in Haushalten ohne eigenes Auto. 41,2 % der erwachsenen Männer leben zudem in Haushalten mit zwei oder mehr Autos – bei den Frauen liegt der entsprechende Anteil mit 37,1 % niedriger (Tabelle 62).

Tabelle 62: Anzahl der Autos im Haushalt nach Geschlecht und Altersgruppen, Deutschland 2008, in Prozent

Altersgruppe / Geschlecht	Anzahl der Autos im Haushalt			Gesamt
	kein Auto	ein Auto	zwei und mehr Autos	
Personen gesamt ab 18 Jahren				
Männer	9,5 %	49,3 %	41,2 %	100%
Frauen	15,7 %	47,2 %	37,1 %	100%
18 bis 64 Jahre				
Männer	8,8 %	43,2 %	48,0%	100%
Frauen	9,5 %	44,4 %	46,1 %	100%
65 Jahre und älter				
Männer	11,8 %	70,0%	18,2 %	100%
Frauen	34,2 %	55,3 %	10,5 %	100%

Quelle: MiD 2008

Die deutlichsten geschlechtsspezifischen Unterschiede nach PKW-Besitz im Haushalt bestehen hierbei bei Seniorinnen und Senioren ab 65 Jahren: Während der Anteil der Männer, die in Haushalten ohne Auto lebt, in dieser Altersgruppe mit 11,8 % nur geringfügig höher als bei Erwachsenen unter 65 Jahren liegt, lebt über ein Drittel der Seniorinnen in PKW-losen Haushalten (Tabelle 62). Zwischen Männern und Frauen im Alter von 18 bis 64 Jahren bestehen dagegen nur geringe Unterschiede beim Autobesitz des Haushaltes.

(3) Ein differenzierter Blick auf Haushalte mit nur einer erwachsenen Person zeigt dagegen deutlichere geschlechtsspezifische Unterschiede. Drei Viertel der Männer in Ein-Personen-Haushalten, aber lediglich 53 % der allein lebenden Frauen besitzen ein Auto. Die deutlichste Differenz besteht hierbei bei älteren Personen ab 60 Jahren (74,4 % Autobesitz bei Männern ggü. 43,4 % bei Frauen, Tabelle 63).

Tabelle 63: Anteil der Ein-Personen- und Alleinerziehenden-Haushalte mit PKW-Besitz nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008

	Männer	Frauen
Ein-Personen-Haushalte	74,8 %	53,4 %
darunter im Alter:		
18 bis 29 Jahre	64,1 %	57,0%
30 bis 59 Jahre	77,9 %	69,3 %
60 Jahre und älter	74,4 %	43,4 %
Alleinerziehende	80,3 %	72,5 %

Quelle: MiD 2008

Auch bei Alleinerziehenden zeigt sich eine geschlechtsspezifische Differenz beim Autobesitz, wobei der Gesamtanteil der Männer unter den Alleinerziehenden mit etwa 10 Prozent ohnehin sehr gering ist.

(4) Entsprechend der Struktur des Autobesitzes werden in Ein-Personen-Haushalten PKW von Frauen seltener als Hauptverkehrsmittel genutzt: Für 56,1 % der Männer in Ein-Personen-Haushalten, aber nur für 42,5 % der Frauen stellt der MIV das wichtigste Verkehrsmittel dar. Besonders ausgeprägt ist die geschlechtsspezifische Differenz wiederum bei den älteren Alleinlebenden ab 60 Jahren (Tabelle 64).

Tabelle 64: Anteil der allein lebenden Personen mit Hauptverkehrsmittel MIV nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008

	Männer	Frauen
Ein-Personen-Haushalte	56,1 %	42,5 %
darunter im Alter:		
18 bis 29 Jahre	58,3 %	47,3 %
30 bis 59 Jahre	59,5 %	53,0%
60 Jahre und älter	46,9 %	35,5 %

Quelle: MiD 2008.

(5) Die größere Verbreitung des PKW-Besitzes und die intensivere MIV-Nutzung spiegeln sich in der geschlechtsspezifisch stark unterschiedlichen Zahl der pro Jahr mit dem Auto zurückgelegten Kilometer wider. Während volljährige Männer im Durchschnitt rund 15.000 Kilometer pro Jahr mit dem Auto zurücklegen, liegt die durchschnittliche PKW-Jahresstrecke von Frauen mit etwa 9.500 Kilometern um 37 % niedriger (Tabelle 65). Nach dem Alter differenziert zeigen sich die deutlichsten geschlechtsspezifischen Unterschiede der jährlichen PKW-Leistung bei 25- bis 59-jährigen Personen.

Tabelle 65: Durchschnittliche PKW-Kilometer nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008

	Männer	Frauen
18 bis 24 Jahre	13.000	12.000
25 bis 44 Jahre	18.500	12.000
45 bis 59 Jahre	18.500	10.000
60 bis 64 Jahre	11.000	9.000
65 Jahre und älter	7.500	4.500
Gesamt	15.000	9.500

Quelle: MiD 2008

Bei allein lebenden Personen sind diese geschlechtsspezifischen Unterschiede in vergleichbarem Maß ausgeprägt. Bei den über 60 Jahre alten Alleinlebenden liegt die durchschnittliche PKW-Jahresfahrleistung von Männern nahezu doppelt so hoch wie bei Frauen (Tabelle 66).

Tabelle 66: Durchschnittliche PKW-Kilometer allein lebender Personen nach Alter und Geschlecht, Deutschland 2008

	Männer	Frauen
Ein-Personen-Haushalte	14.500	6.500
darunter im Alter:		
18 bis 29 Jahre	17.500	11.500
30 bis 59 Jahre	17.000	10.000
60 Jahre und älter	6.500	3.500

Quelle: MiD 2008

9.2.2 Geschlechtsspezifische Auswirkungen des Szenarios des Klimaschutzplans im Bereich Mobilität

(1) Die Erreichung der Zielsetzungen des Mobilitäts-Szenarios des Klimaschutzplans wirft mit Blick auf die gegenwärtigen geschlechtsspezifischen Mobilitätsmuster insbesondere die Frage nach alternativen Mobilitätsstrategien für Männer auf: Sie sind häufiger als Frauen im Besitz eines (oder mehrerer) Autos, sie nutzen den MIV häufiger als Hauptverkehrsmittel und weisen eine deutlich höhere durchschnittliche PKW-Fahrstrecke pro Jahr auf.

(2) Eine geschlechtsspezifisch unterschiedliche Belastung durch steigende Anschaffungskosten von Autos ist in besonders ausgeprägter Weise bei Senioren und Seniorinnen zu erwarten. Aufgrund des vergleichsweise geringen PKW-Besitzes sind Seniorinnen von steigenden PKW-Anschaffungskosten deutlich weniger betroffen.

(3) Geschlechtsspezifisch unterschiedliche Belastungen durch die im Basis- wie im Szenario des Klimaschutzplans unterstellte Erhöhung der Treibstoffkosten sind bei Männern und Frauen zwischen 25 bis 60 Jahren zu erwarten. Aufgrund einer absolut erheblich höheren PKW-Jahresfahrleistung werden für Männer dieser Altersgruppe deutlich höhere Ausgaben für Treibstoffe oder eine deutliche Änderung des Mobilitätsverhaltens erforderlich werden.

Die höhere Zahl der PKW-Jahreskilometer von Männern gegenüber Frauen ist u. a. auf berufsbedingte Wege zurückzuführen. Männer nehmen gegenwärtig häufiger längere Pendelwege zu ihrer Arbeitsstätte in Kauf: Die durchschnittliche Länge beruflicher Wege liegt bei Männern mit 18,8 Kilometern gut 50 % höher als

bei Frauen (12,2 km).¹¹⁴ Die durchschnittliche Dauer berufsbedingter Wege ist bei Männern mit 28,5 Minuten zwar ebenfalls länger als bei Frauen (24,8 Minuten), allerdings ist der geschlechtsspezifische Unterschied hierbei – bedingt durch die stärkere MIV-Nutzung durch Männer – deutlich geringer als bei der Wegelänge. Die (Bereitschaft und Möglichkeiten zu einer) längeren Strecke zwischen Wohnung und Arbeitsplatz von Männern gegenüber Frauen korrespondiert mit einem geringeren Anteil an Teilzeitbeschäftigten wie auch mit einer ausgeprägteren örtlichen Flexibilität bei der Arbeitsplatzsuche und letztlich auch höheren Einkommenschancen bei Männern.

Eine unabhängig von der Umsetzung des Klimaschutzplans in Zukunft ohnehin erfolgende Verteuerung des MIV droht diese ausgeprägte berufliche Mobilität von Männern tendenziell einzuschränken, sofern nicht tragfähige Alternativen geschaffen werden. Zentrale Handlungsoptionen sind entsprechend eine bedarfsgerechte und passgenau an den beruflichen Anforderungen ausgerichtete Anpassung von ÖV-Angeboten oder die Förderung und organisatorische Unterstützung privater Mitfahrsmöglichkeiten. Diese Ansätze besitzen gleichermaßen das Potenzial, die arbeitsmarktlichen Flexibilitätsspielräume für Frauen zu erhöhen.

(4) Alleinerziehende sind bei einer geschlechtsspezifischen Abschätzung der Wirkungen gesondert zu betrachten. Hierbei ist weniger auf den Unterschied beim PKW-Besitz zwischen alleinerziehenden Männern und Frauen abzuheben, sondern vielmehr auf die unterschiedliche Verbreitung von PKW in Paarfamilien gegenüber den – zu 90 % weiblichen – Alleinerziehenden. Paarhaushalte mit Kindern weisen gegenüber anderen Lebensformen die mit Abstand höchste PKW-Verfügbarkeit auf: Über 97 % der Paarfamilien besitzen mindestens ein Auto, über 50 % sogar mehrere PKW. Für Kinder unter 14 Jahren stellt die Mitfahrt im Auto das Hauptverkehrsmittel dar. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle des Autos für die Organisation des Familienalltags. Alleinerziehende verfügen zwar häufiger als kinderlose Alleinlebende über Autos, mit einer Besitzquote von 73 % (Frauen) bzw. 80 % (Männer) können sie deutlich seltener als Paarfamilien auf den eigenen PKW zurückgreifen. Diese geringere Verbreitung von PKW ist bei Alleinerziehenden maßgeblich auf Kostengründe zurückzuführen. Eine weitere Verteuerung des MIV kann daher bei Alleinerziehenden zu unvermeidbaren finanziellen Mehrbelastungen führen oder – sofern ein PKW nicht mehr finanzierbar ist – die Organisation des Familienlebens erheblich erschweren (vgl. Kapitel 7).

¹¹⁴ Quelle: MiD 2008.

Als langfristige Handlungsoptionen zur Vermeidung dieser Problemsituationen bieten sich neben der familiengerechten ÖV-Ausgestaltung weiterreichende Ansätze im Bereich der Stadtentwicklung an, die auf eine Erreichbarkeit familienrelevanter Infrastruktur (u. a. durch kurze, von Kindern selbständig zu bewältigenden Wege) abzielt. Hierbei bestehen Anknüpfungspunkte zu zunehmend verbreiteten Ansätzen einer kommunalen Familienzeitpolitik, etwa zu der von der Stadt Aachen ins Leben gerufenen Großstädteinitiative „Neue Zeiten für Familie“.

(5) Eine Prognose der Entwicklung des Mobilitätsverhaltens wurde im Rahmen der vorliegenden Impact-Analyse nicht durchgeführt. Es ist allerdings zu erwarten, dass sich die geschlechtsspezifischen Unterschiede tendenziell angleichen werden. Dies gilt in besonderer Weise für die Seniorinnen und Senioren. Die im Vergleich zu Männern geringe PKW-Nutzung älterer Frauen wird auf eine biografisch bedingte geringere Gewöhnung an die MIV-Nutzung – und auch einen selteneren Führerscheinbesitz zurückgeführt. Mit dem Eintritt jüngerer Kohorten in das Senioren-Alter ist von einer fortschreitenden Nivellierung der Geschlechterunterschiede bei der Mobilität auszugehen, wie sie für die zurückliegenden Jahre bereits zeigt. Auch die steigende Erwerbsintegration der Frauen ist als Treiber für eine intensivere PKW-Nutzung durch Frauen zu sehen.

(6) Unklar ist, auf welche Weise die – quantitativ überwiegende – Bevölkerung in Paar- bzw. Mehrpersonenhaushalten auf steigende Kosten des MIV reagiert. Ob eine Verteuerung stärker zu einer Einschränkung der PKW-Nutzung durch Männer oder zu einem Rückgang der PKW-Nutzung durch Frauen – etwa durch die Nichtanschaffung von Zweitwagen im Haushalt – und damit zu einer Retraditionalisierung geschlechtsspezifischer Mobilitätsmuster führt, kann auf Grundlage vorliegender Daten nicht eingeschätzt werden. Sofern keine Verhaltensanpassung erfolgt, fallen die MIV-bedingten Mehrkosten auf das (gemeinsame) Haushaltseinkommen an – und werden damit von Männern und Frauen in gleicher Weise getragen.

9.3 Weitere Impactbereiche für die Genderanalyse

(1) Bei der geschlechtsspezifischen Analyse der Auswirkungen auf die **Beschäftigung** sind zum einen die quantitativen Effekte, d. h. die Beschäftigungssalden differenziert nach Branchen in den Blick zu nehmen. Wie in Kapitel 6 (Impactbereich Beschäftigungseffekte) dargelegt, führt die Wirkung des Klimaschutzplans gegenüber der Basisentwicklung lediglich zu geringen, in den meisten Szenarien leicht positiven Beschäftigungseffekten. Leichte Beschäftigungsgewinne werden dabei in den Sektoren Gewerbe,

Handel, Dienstleistungen erzielt. Lediglich für das Baugewerbe sind etwas höhere positive Beschäftigungswirkungen zu erwarten. Insgesamt fallen positive Effekte des Klimaschutzplans damit vor allem in stark männerdominierten Branchen wie dem Baugewerbe (mit einem Männeranteil an den Beschäftigten von 87,5 %¹¹⁵) oder technischen Dienstleistungen an. Entsprechend werden von den Arbeitsplatzzuwächsen bzw. der Arbeitsplatzsicherheit überwiegend Männer profitieren. Für die geschlechtsspezifische Bewertung ist allerdings zu berücksichtigen, dass der quantitativen Beschäftigungseffekte über sämtliche Szenarien hinweg insgesamt nur gering ausgeprägt sind.

(2) Zum anderen zeichnen sich in Folge der Umsetzung des Klimaschutzplans Veränderungen der Tätigkeitsprofile und der spezifisch erforderlichen bzw. nachgefragten Qualifikationsniveaus und -inhalte ab. Dies betrifft wie in Kapitel 6.3 ausgeführt in erster Linie Tätigkeiten innerhalb der (regenerativen) Energiewirtschaft, der Elektrotechnik (z. B. mit Schwerpunkt Netzinfrastruktur), im Maschinen- und Anlagenbau sowie im Gebäudesektor und der Bauwirtschaft, die gegenwärtig personell stark männlich dominiert sind. Ausnahmen bilden die Bereiche Architektur, Planung und Bauingenieurwesen. Zwar liegt aktuell der Frauenanteil unter den bei Architektenkammern gemeldeten Hochbauarchitekten/-innen und Stadtplaner/-innen mit 29,5 % noch unter einem Drittel, wird aber wie bereits in den vergangenen Jahren künftig deutlich steigen.¹¹⁶ Mit einem Anteil von 59 % der Studierenden im ersten Semester und 55 % aller Studierenden stellen Frauen an Universitäten wie an Fachhochschulen mittlerweile eine deutliche Mehrheit im Studienfach Architektur.¹¹⁷ Auch im Studienfach Bauingenieurwesen liegt der Frauenanteil der Studierenden mit 27 % (Neueinschreibungen: 29 %) so hoch wie in keinem anderen ingenieurwissenschaftlichen Fach.

Insbesondere in diesen zunehmend von Frauen frequentierten Berufsrichtungen sollte – ggf. durch gezielte Förderungen unterstützt – ein geschlechtergerechter Zugang zu Aus- und Weiterbildungsgängen bezogen auf die zur Umsetzung des Klimaschutzplans erforderlichen Qualifikationen sichergestellt werden. Als beispielhafte Maßnahme kann das Qualifizierungsprojekt „Neue Energie für Ingenieurinnen“ des LIFE e.V. Berlin genannt werden, das Weiterbildungen für Ingenieurinnen im Bereich erneuerbarer Energien zusammen mit Betriebspraktika anbietet.¹¹⁸

¹¹⁵ Statistisches Bundesamt: Bevölkerung und Erwerbstätigkeit. Stand und Entwicklung der Erwerbstätigkeit in Deutschland 2012. Fachserie 1 Reihe 4.1.1.

¹¹⁶ Bundesarchitektenkammer: Bundeskammerstatistik zum 1.1.2014.

¹¹⁷ Statistisches Bundesamt: Bildung und Kultur. Studierende an Hochschulen. Fachserie 11 Reihe 4.1. Wintersemester 2012/2013

¹¹⁸ Projektinformationen im Internet unter www.kompetenzen-erneuerbareenergien.de

(3) Bei der geschlechtsspezifischen Differenzierung des Impactbereichs **Gesundheit** ergeben sich auf Grundlage der Literaturrecherche (Analyse von Meta-Studien und Einzelstudien) keine Anhaltspunkte für geschlechtsspezifisch unterschiedliche Gesundheitsbelastungen im Zusammenhang mit veränderten Emissionen. Zwar existieren geschlechterdifferenzierte bzw. -spezifische Studien, die sich aber aus methodischen Gründen¹¹⁹ einer geschlechtervergleichenden Perspektive enthalten. Zudem weist eine nach Geschlechtern differenzierte Analyse der Exposition mit den Luftschadstoffen Feinstaub (PM10) und Stickstoffdioxid (NO₂) für das Ruhrgebiet und die Stadt Düsseldorf nahezu identische Belastungen für Frauen und Männer auf.¹²⁰

Indirekt führt eine Verbesserung des Gesundheitszustands der Bevölkerung durch geringere Umweltbelastungen allerdings zu einer Entlastung von Frauen, die gegenwärtig den überwiegenden Anteil der privaten Pflege- und Care-Leistungen zu Lasten der eigenen Gesundheit und der gesellschaftlichen und beruflichen Teilhabe übernehmen. Unter diesem Aspekt tragen die Wirkungen des Klimaschutzplans zu einem Abbau geschlechtsspezifischer Benachteiligungen bei.

9.4 Gesamtergebnis Gender

(1) Die Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Analyse sind im Unterschied zu den anderen Impactbereichen nicht als Grundlage zur Bewertung einzelner Szenarien gedacht. Vielmehr soll gezeigt werden, in welchen Bereichen geschlechtsspezifisch unterschiedliche Auswirkungen zu erwarten sind und durch welche Handlungsoptionen diese ungleichen Auswirkungen begrenzt oder vermieden werden können.

Da aus inhaltlichen und methodischen Gründen keine über qualitative Trendaussagen hinausgehenden belastbaren Prognosen oder Szenarien zu geschlechtsspezifischen Haushalts-, Einkommens-, Mobilitäts- oder Beschäftigungsstrukturen verfügbar sind, beschränkt sich die Aussagekraft der Gender-Analyse auf eine kurz- und mittelfristige Perspektive.

¹¹⁹ Als methodische Barriere für geschlechtsvergleichende Studien sind insbesondere für ältere Kohorten die höhere Exposition von Männern mit Schadstoffen am Arbeitsplatz sowie das geschlechtsspezifisch unterschiedliche Gesundheitsverhalten anzuführen. Die Einschränkung der Untersuchungspopulation auf ein Geschlecht gilt daher als Qualitätsmerkmal, z. B. in der Feinstaubkohortenstudie Frauen in NRW des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV-Fachbericht 31, 2008).

¹²⁰ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit Nordrhein-Westfalen. Evaluation der Luftreinhaltepläne Ruhrgebiet und Düsseldorf. Exposition und gesundheitliche Wirkungen, 2009.

(2) Die Szenarien des Klimaschutzplans führen im Vergleich zum Basisszenario zu **unterschiedlichen Auswirkungen** und Belastungen auf Männer und Frauen. Eine eindeutige und durchgängige Mehr- oder Minderbelastung von Männern oder von Frauen ist insgesamt nicht feststellbar.

(3) Im **Bereich Wohnen** entstehen durch die Maßnahmen der Szenarien des Klimaschutzplans ausschließlich marginale geschlechtsspezifische finanzielle Be- und Entlastungen. Allerdings sind alleinlebende Seniorinnen, die besonders häufig in energietisch sanierungsbedürftigem Wohnraum leben, in stärkerem Maß von einer intensivierten Sanierungstätigkeit betroffen. Zur Vermeidung negativer Folgen auf die Lebensqualität und die Möglichkeiten für ein selbstbestimmtes Leben sollten daher temporäre oder dauerhafte Lösungen für Ersatzwohnraum angeboten werden.

(4) Im **Bereich Mobilität** zeichnet sich im Vergleich der Geschlechter in Zukunft ein – in Basisszenario und Szenario des Klimaschutzplans allerdings nahezu gleich stark zunehmender – größerer Veränderungsdruck für Männer ab. Ursache hierfür ist, dass Männer gegenwärtig häufiger als Frauen im Besitz eines (oder mehrerer) Autos sind, häufiger den MIV als Hauptverkehrsmittel nutzen und eine deutlich höhere durchschnittliche PKW-Fahrstrecke pro Jahr aufweisen. Im Vergleich von Haushaltsformen und Altersgruppen ist zu erwarten, dass eine Verteuerung der Anschaffungskosten von PKW aufgrund der höheren Besitzquote Senioren stärker als Seniorinnen belasten wird. Eine Verteuerung der Treibstoffkosten wird sich dagegen auf in besonderer Weise auf Männer zwischen 25 und 60 Jahren – die eine besonders hohe PKW-Fahrleistung aufweisen – auswirken. Zur Vermeidung einer drohenden Einschränkung der beruflichen Mobilität sind passgenaue Alternativangebote beim ÖV oder privaten Mitfahrgelegenheiten erforderlich. Auf der anderen Seite kann die Verteuerung des MIV für alleinerziehende Frauen in besonderer Weise zu einer finanziellen Mehrbelastung oder einer Erschwernis der Organisation des Familienalltags führen. Neben der familiengerechten Anpassung des ÖV sind hierbei weiterführende Ansätze aus dem Bereich der Stadtentwicklung und Infrastrukturplanung sinnvoll, um negative Auswirkungen zu vermeiden.

(5) Im **Bereich Beschäftigung** sind leichte positive Zuwächse in stark männerdominierten Branchen und damit einseitig positive Effekte auf Arbeitsplatzzuwächse und -sicherheit für Männer zu erwarten. Allerdings sind die quantitativen Beschäftigungseffekte insgesamt nur gering ausgeprägt. Hinsichtlich der durch den Klimaschutzplan angestoßenen Veränderungen der Qualifikationsprofile sollte sichergestellt werden, dass insbesondere in den Berufsfeldern mit einem signifikanten Frauenanteil ein geschlechtergerechter Zugang zu Aus- und Weiterbildungen gewährleistet wird.

10 Gesundheit

10.1 Effekte von ausgewählten Umweltbelastungen auf den Gesundheitszustand

In der nachfolgenden Darstellung werden vertiefend zu den relevanten Umweltwirkungen in Kapitel 8 die Wirkungen ausgewählter Umweltbelastungen (Luftschadstoffe und Nitrat im Trinkwasser) bzw. deren Reduktion auf den Gesundheitszustand näher untersucht.

10.1.1 Luftschadstoffe

(1) Unter der Vielzahl verschiedener **Luftschadstoffe** wird im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen im Folgenden zwischen den Belastungen durch **Feinstaub** und durch **Ozon** unterschieden.

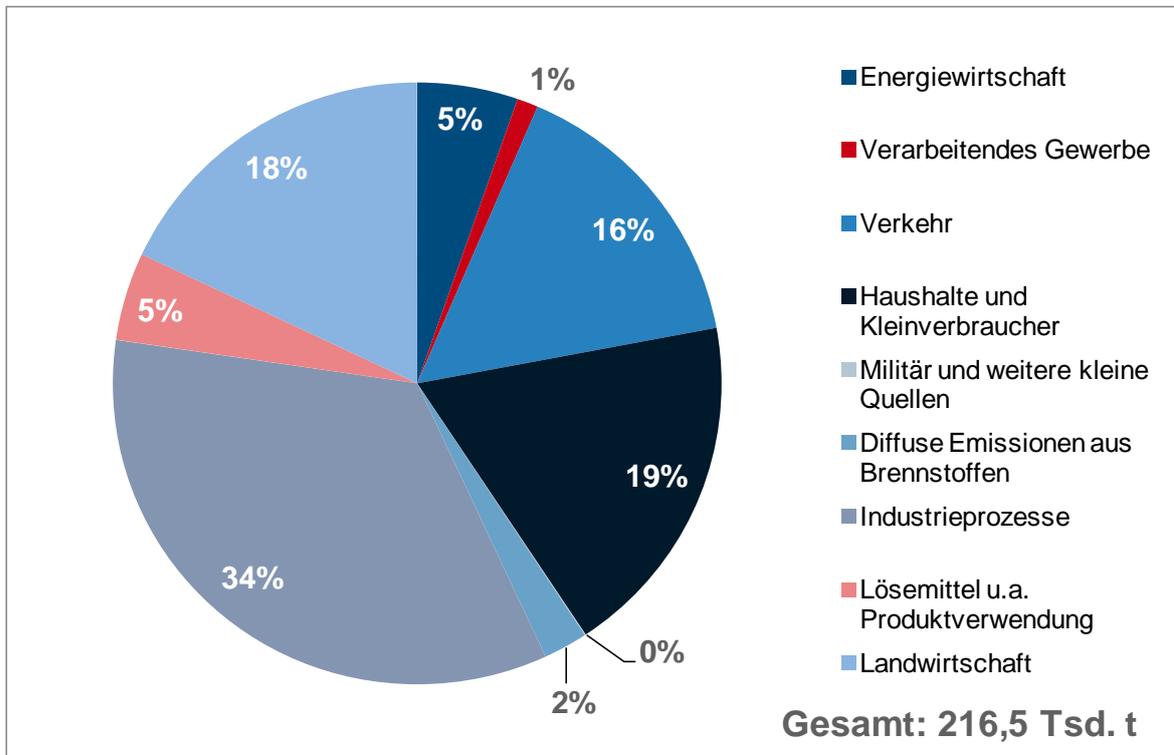
Feinstaub

(2) Unter dem Begriff Feinstaub werden der primär emittierte und sekundär gebildete Feinstaub zusammengefasst. Primärer Feinstaub wird unmittelbar an der Quelle freigesetzt, zum Beispiel bei Verbrennungsprozessen. Entstehen die Partikel durch gasförmige Vorläufersubstanzen wie Schwefel- und Stickoxide und Ammoniak, so werden diese als sekundärer Feinstaub bezeichnet.¹²¹ Feinstaub hat neben anthropogenen Quellen wie Verkehr (z.B. dieselbetriebene Kraftwagen, Reifen- und Straßen- und Bremsen-antrieb), Industrieanlagen, Kraftwerken, Heizungen von Häusern etc. auch natürliche Quellen.

In der Außenluft tritt Feinstaub anthropogenen Ursprungs überwiegend durch Aufwirbelungen, Industrieabgase, Hausbrand, landwirtschaftliche Quellen sowie durch den Verkehr auf. Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) tragen in Deutschland vor allem Industrieprozesse, der Verkehr und Haushaltsheizungen zu den Feinstaubemissionen bei (siehe Abbildung 105). In Städten verschiebt sich das Bild eindeutig in Richtung Verkehr als Hauptemittenten von Feinstaub.

¹²¹ UBA 2014: Feinstaub.

Abbildung 105: Emissionsfrachten Feinstaub (PM10) nach Quellkategorien in Tsd. t (2012)



Quelle: Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe, UBA 2012

Bei kurzzeitiger Exposition¹²² durch Feinstaub können bei besonders gefährdeten Personen wie beispielsweise Menschen mit bereits bestehenden Atemwegserkrankungen (Asthma bronchiale oder chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen; COPD) oder bei Kindern erhebliche gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten.

Studienergebnisse weisen an vielen Stellen auf signifikante Zusammenhänge zwischen Feinstaubemissionen und Gesundheitsgefährdungen hin.¹²³ Beispielsweise konnte ermittelt werden, dass das Risiko für einen Schlaganfall 24 h nach mittlerer Exposition um 34 % erhöht wird.

¹²² Für die Schätzung der Kurzzeiteffekte wird in den Studien zumeist die PM10 Konzentration herangezogen. Darunter werden Partikel erfasst, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Siehe Hornberg et al. "Quantifizierung der Auswirkungen verschiedener Umweltbelastungen auf die Gesundheit der Menschen in Deutschland unter Berücksichtigung der bevölkerungsbezogenen Expositionsermittlung" (2013).

¹²³ Die Untersuchungen des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009) sowie von Wichmann et. al (2012) bestätigen an dieser Stelle den Zusammenhang zwischen Feinstaubemissionen und der daraus resultierenden Gesundheitsgefährdung.

(3) Über alle Altersgruppen zeigt die Studienlandschaft auch das Krankheitsrisiko bei einer Langzeitexposition¹²⁴ durch Feinstaub auf. Das Spektrum der Krankheitsbilder reicht in diesem Zusammenhang von der allgemeinen Schwächung und Müdigkeit bis hin zu chronischen Erkrankungen und Krebs (siehe auch Heinrich et al. 2002 und Peters et al. 2002). Die Studienlandschaft deutet weiterhin auf kardiopulmonale¹²⁵ Erkrankungen wie Herzinfarkte und Schlaganfälle hin. Der Zusammenhang zwischen Lungenkrebs und Langzeitexposition wurde unabhängig von anderen Einflussgrößen (wie z. B. Rauchen) als signifikant nachgewiesen.

Neben der Risikogruppe von Personen mit bereits bestehenden Atemwegserkrankungen zeigt die Studienlandschaft grundsätzlich für alle Altersgruppen gesundheitsbelastende Ergebnisse unter dem Feinstaubeinfluss auf. Die gesundheitliche Gefährdung gilt aber in besonderer Weise für Kinder und ältere Menschen.

(4) Zur Berechnung des Einflusses der Feinstaubbelastung auf den Gesundheitszustand bietet sich – auch aus Vergleichszwecken – das **Konzept der Disability Adjusted Life Years (DALYs)** an. Mit diesem Konzept wird nicht nur die Sterblichkeit, sondern auch die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst, und in einer Maßzahl zusammengefasst.¹²⁶ Im Zuge der Beschreibung der Ergebnisse wird zwischen der Kurzzeit- sowie der Langzeitexposition unterschieden. Mit diesem Konzept konnten die bestehenden Gefährdungen als Annäherung quantifiziert werden:

Unter der Kurzzeitexposition ließ sich durch anthropogene Quellen insgesamt ein Verlust von 1-1,5 DALYs je 100.000 Einwohner bzw. zwischen 7.500 bis 10.600 Todesfälle pro Jahr für Deutschland im Untersuchungszeitraum der Jahre 2005 bis 2009 feststellen. Unter der Langzeitexposition steigt das Gesundheitsrisiko durch anthropogen verursachten Feinstaub deutlich an. So ließen sich im Mittel 5,7-7 DALYs je 1.000 Einwohner feststellen. In der Gruppe aller kardiopulmonalen Todesfälle entfielen 12 % bis 15 % auf die Feinstaubbelastung. Von den Todesfällen durch Lungenkrebs sind 18 % bis 22 % auf Feinstaub zurückzuführen.¹²⁷

¹²⁴ Für die Schätzung der Langzeiteffekte wird auf die PM_{2.5} Konzentration verwiesen. Die Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 µm (PM_{2.5}) können bis in die Lungenbläschen vordringen, da die Lunge nicht in der Lage, diese Teilchen zu filtern. Siehe Hornberg et al. (2013).

¹²⁵ Herz- oder Lunge betreffend.

¹²⁶ In diesem Zusammenhang wird für eine vorher festgelegte Personenzahl (z. B. 1.000 bzw. 100.000 Personen) ermittelt, wie viele Lebensjahre gegenüber der durchschnittlichen Lebenserwartung durch Erkrankungen in Folge der Exposition durch Feinstaub durch Tod bzw. Krankheit in Form von gesundheitlich eingeschränkten Lebensjahren verloren gehen.

¹²⁷ Vgl. Hornberg et al. (2013).

(5) Die Entwicklung der Feinstaubkonzentration im städtischen Hintergrund in Nordrhein-Westfalen macht deutlich, dass im Zeitraum der Jahre 2001 bis 2012 der EU-Jahresgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stets eingehalten wurde. **Die Trendanalyse zeigt zudem für den Untersuchungszeitraum eine rückläufige Entwicklung auf.**

Auf der anderen Seite zeigt sich, dass der EU-Tagesgrenzwert ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit zulässigen 35 Überschreitungstagen pro Jahr noch häufig an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen sowie im Nahbereich bestimmter industrieller Emittenten überschritten wird. Insofern sind in Nordrhein-Westfalen nur an Stellen mit hohem Verkehrsaufkommen sowie in Gebieten mit entsprechenden industriellen Emittenten die Gegebenheiten für eine Kurzzeitexposition durch Feinstaub erfüllt.¹²⁸

(6) Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Feinstaubbelastung in Nordrhein-Westfalen würde eine entsprechende Reduktion zu einem Rückgang der Kurzzeitexposition an jenen Stellen mit hohem Verkehrsaufkommen sowie entsprechender industrieller Emission führen. Unter Verweis auf die Ergebnisse zu den Gesundheitsbelastungen – gemessen über das Konzept der DALY's – wäre somit ein **gemäßigter Effekt (+)** auf den Gesundheitszustand zu erwarten. Darüber hinaus macht der Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2013¹²⁹ für die Belastung durch Feinstaub deutlich, dass jegliche Belastungsreduzierung mit einer gesundheitlichen Verbesserung in der Bevölkerung einhergeht. Insofern existiert kein Schwellenwert, ab dem bei weiteren Belastungsreduzierungen keine gesundheitlichen Effekte mehr zu verzeichnen sind.

(7) Weitere Analysen machen deutlich, dass die durch die Schadstoffemissionen ausgelösten Gesundheitsbelastungen erhebliche Gesundheitsfolgekosten nach sich ziehen.¹³⁰ Die veranschlagten Kosten werden für Deutschland im Jahr 2009 auf etwa 2,3 bis 6,4 Mrd. Euro geschätzt.¹³¹ Ein entsprechender Rückgang der Feinstaubbelastung in Nordrhein-Westfalen würde somit erhebliche Einsparungen in den Gesundheitskosten bewirken.

¹²⁸ Vgl. LANUV Umweltindikatoren 24: Feinstaubkonzentration im städtischen Hintergrund.

¹²⁹ Vgl. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2013.

¹³⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2012).

¹³¹ Siehe Huscher et al. (2013).

Ozon

(8) Unter dem Einfluss von erhöhten Konzentrationen durch Ozon lassen sich signifikante Ergebnisse hinsichtlich der Krankheitsbilder Husten, Atembeschwerden und Erkrankungen des tieferen Atemtrakts bis hin zum Tod feststellen. Als Risikogruppen sind grundsätzlich alle Altersgruppen von erhöhten Ozonwerten betroffen; bei Kindern und älteren Bevölkerungsschichten besteht allerdings ein erhöhtes Risiko.¹³² Der Belastung durch erhöhte Ozonkonzentration ist grundsätzlich ein erheblicher Teil der Krankheitslast durch respiratorische Allergien / Heuschnupfen zuzuschreiben. Der nachweisliche Anteil an der Gesamt mortalität beträgt zwischen 0,3 % und 0,4 %. Im Untersuchungszeitraum der Studie von Hornberg et al. (2013) im Zeitraum der Jahre 2005-2009 wurden zwischen 2.400 und 3.300 Todesfälle pro Jahr durch erhöhte Ozonbelastung registriert bzw. 0,40-0,55 DALYs je 1.000 Einwohner.

(9) Für das Land Nordrhein-Westfalen lässt sich die Ozonbelastung mit Hilfe eines Indikators bestimmen, der angibt, wie viele Stunden im Jahr die Informationsschwelle von 180 µg/m³ durchschnittlich pro Messstation erreicht oder überschritten wurde. Der Indikator zeigt für die Messstationen im städtischen Hintergrund im Zeitraum der Jahre 1990 bis 2012 erhebliche Schwankungen auf, lässt aber keinen signifikanten Trend erkennen. In den Jahren mit hochsommerlichen Schönwetterperioden wurde der Grenzwert bis über 40 Stunden pro Jahr überschritten. Aus detaillierten Langzeitanalysen lässt sich allerdings erkennen, dass die Ozonspitzenwerte und damit auch die Häufigkeit für die Überschreitung der Warnschwelle zurückgehen.¹³³

(10) Die vorangegangene Analyse verdeutlicht, dass der Rückgang der Ozonkonzentration zu nachweislichen Verbesserungen des Gesundheitszustands bis hin zu einer verringerten Mortalität führen kann. Vor dem Hintergrund der gemessenen Grenzwertüberschreitungen in Nordrhein-Westfalen in den Jahren 1990 bis 2012 ist daher von einem **gemäßigten Effekt (+)** auf den Gesundheitszustand auszugehen.

Als Ergebnis einer zusätzlichen Reduktion von Luftschadstoffen (Feinstaub und Ozon) durch die Umsetzung der Strategien des Klimaschutzplans ist von einem **gemäßigten Einfluss (+)** auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung auszugehen.

¹³² Siehe Hornberg et al. (2013).

¹³³ Vgl. LANUV Umweltindikatoren 23 - Ozonkonzentration im städtischen Hintergrund.

10.1.2 Nitrat im Grund – und Trinkwasser

(1) Die Trinkwasserverordnung 2001 (in der Fassung vom 28. November 2011) legt für Nitrat einen Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter fest. Wenngleich vom Nitrat (NO_3^-) nur eine sehr geringe unmittelbare Gesundheitsgefährdung für den erwachsenen Menschen ausgeht, ist es unter bestimmten Umständen (z. B. durch Bakterien im Mundraum oder Magen) möglich, dass das Nitrat zumindest teilweise zu Nitrit (NO_2^-) umgewandelt wird, woraus folgende Gesundheitsgefährdungen für den Menschen resultieren:

- So kann zum einen bei Säuglingen unter 3 Monaten eine "Methämoglobinämie" durch eine erhöhte Konzentration von Methämoglobin im Blut auslöst werden. Dies führt im schlimmsten Fall zum Tod des Säuglings.
- Eine weitere Gesundheitsgefährdung kann entstehen, wenn das Nitrit mit sekundären Aminen im Magen sogenannte "Nitrosamine" bildet. Im Tierversuch konnte für einige Nitrosamine eine krebserregende Wirkung nachgewiesen werden.¹³⁴

Insofern sind als Risikogruppen insbesondere Säuglinge unter 3 Monaten (Bildung einer "Methämoglobinämie") sowie alle Altersgruppen (krebserregende Wirkung durch Nitrosamine) von zu hohen Nitratkonzentrationen im Trinkwasser betroffen.

(2) Zur Einordnung des Gefahrenpotentials von erhöhten Nitratkonzentrationen auf den Gesundheitszustand sei darauf verwiesen, dass laut Aussage des Umweltbundesamtes bei nur etwa 0,08 % der Trinkwassermeldestellen der Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter überschritten wurde. Im Unterschied zu der vergleichsweise geringen Belastung durch Nitrat im Trinkwasser hat das Bundesumweltamt im Jahr 2010 in über 15 % der Fälle eine Überschreitung des Grenzwerts im Grundwasser festgestellt. Die geringe Nitratbelastung im Trinkwasser wird durch eine entsprechende Aufbereitung des Trinkwassers erreicht.

Die Messwerte zur mittleren Nitratkonzentration im **Grundwasser** in Nordrhein-Westfalen¹³⁵ machen im Zeitverlauf der Jahre 1990 bis 2011 deutlich, dass der Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter in keinem der untersuchten Jahre überschritten wurde. Gleichwohl zeigen die Messwerte mit nahezu 40 Milligramm pro Liter einen erhöhten Wert auf und die Trendanalyse verweist für die letzten zehn Jahre auf einen konstanten Verlauf.

¹³⁴ Vgl. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit: Nitrat im Trinkwasser.

¹³⁵ Vgl. LANUV Umweltindikatoren: 35 - Nitratkonzentration im Grundwasser.

(3) Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das Grundwasser in Nordrhein-Westfalen zwar vergleichsweise hohe Nitratgehalte aufweist und in einigen Regionen den Richtwert der EU überschreitet, beim Trinkwasser jedoch der Grenzwert von 50 mg pro Liter durch entsprechende Aufbereitung sicher eingehalten wird. Insofern wird eine Reduktion des Nitratgehaltes im Grundwasser **keinen Effekt (0)** auf die Gesundheit haben.

10.1.3 Verkehrslärm

(1) Die Ergebnisse des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2013) zeigen auf, dass sich in Deutschland ein Anteil von etwa 54 % der Bevölkerung im angestammten Wohnumfeld durch Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt fühlt, 6 % bewerten die Beeinträchtigung als stark. Beim Flugverkehr sind es 23 % und beim Schienenverkehr 34 %. Industrie und Gewerbelärm stört 32 % in unterschiedlichem Maße, wobei sich nur 2 % stark belästigt fühlen. Die Untersuchung macht weiterhin deutlich, dass sich jede Belastungsverringerung von Lärm positiv auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirkt.¹³⁶

(2) Die Exposition mit Verkehrslärm kann bei Menschen aller Altersgruppen – insbesondere bei Personen höherer Altersgruppen – zu Gesundheitseinschränkungen wie Annoyance, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigung, kardio- und zerebrovaskuläre Krankheiten sowie Störungen des Hörens führen.¹³⁷ Bei der Analyse der Exposition durch Umweltlärm auf den Gesundheitszustand müssen weiterhin die verschiedenen Lärmtypen getrennt voneinander untersucht werden, da sich deren Wirkungen nicht gegenseitig aufeinander übertragen lassen.

(3) Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 8.3.4 wird durch die Umsetzung der Strategien im Verkehr regional ein geringerer Verkehrslärm an Hauptverkehrsachsen und in Ballungsräumen erwartet. Die Strategien des Klimaschutzplans sind geeignet – wie geplant – einen zusätzlichen Beitrag zur Umsetzung der Maßnahmen zur Lärminderung in NRW zu leisten.

Vor dem Hintergrund der nach wie vor zum Teil hohen Lärmbelastungen in Deutschland sowie insbesondere in Nordrhein-Westfalen ist davon auszugehen, dass spätestens ab dem Jahr 2040 – z. B. durch eine verringerte Anzahl an PKW – der Rückgang der Lärm-

¹³⁶ Die Untersuchung von Krahé et al. (2014) unterstreicht an dieser Stelle ebenfalls den Zusammenhang zwischen den Auswirkungen des Infraschalls auf die menschliche Gesundheit.

¹³⁷ Siehe Hornberg et al. (2013).

belastung zu einer **gemäßigten Verbesserung (+)** des Gesundheitszustands führen wird.

10.2 Gesamtergebnis gesundheitliche Wirkungen

(1) Im Rahmen der Impactanalyse wurden zusätzlich zu den relevanten Umwelteffekten die Wirkung der Szenarien des Klimaschutzplans auf den Gesundheitszustand vertiefend untersucht. Die folgende Tabelle 67 fasst die betrachteten Indikatoren und Wirkmechanismen zusammen.

Tabelle 67: Wirkungen ausgewählter Umweltbelastungen auf den Gesundheitszustand

Kriterien	Umweltbelastungen				
	A Luftschadstoffe		B Nitrat im Trinkwasser	C Verkehrslärm	
	A1 Feinstaub	A2 Ozon			
Schwefeldioxid, Schwefelstoffoxid	Ammoniak				
Umweltfaktor	Unterschreitung Immissionsgrenzwert: Stickstoffoxidemission, Schwefeldioxidemission	Luftqualität: Partikelemissionen (hier Feinstaubbildung aus Ammoniakemissionen)	Reaktion von hochreaktivem atomarem Sauerstoff mit molekularem Sauerstoff bei verstärkter Sonneneinstrahlung	Nitratbelastung von Grundwasser- und Oberflächengewässern durch Landwirtschaft	Belästigung bis zu gesundheitlich schädlicher Wirkung durch verschiedene Lärmtypen
Wirkungen	Chronische Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, Herz-/ Kreislauferkrankungen, Lungenkrebs signifikanter Zusammenhang unabhängig von anderen Einflussgrößen (wie z. B. Rauchen)		Husten, Atembeschwerden und Erkrankungen des tieferen Atemtrakts, Gesamtmortalität	- "Methämoglobinämie" bei Säuglingen unter 3 Monaten - Krebserkrankung (bei Tieren nachgewiesen)	Annoyance, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigung, kardio- und zerebrovaskuläre Krankheiten, Störungen des Hörens
Risikogruppen	alle Altersgruppen, insbesondere Kinder und ältere Menschen		alle Altersgruppen, insbesondere Kinder und ältere Menschen	- Säuglinge unter 3 Monaten - alle Altersgruppen	alle Altersgruppen, insbesondere höhere Altersgruppen
Impact Klimaschutzszenarien	Rückgang der Gesundheitsbelastungen durch Reduzierung der Feinstaubemission		Rückgang der Gesundheitsbelastungen durch Reduzierung der Ozonbildung	Keine Auswirkungen	Rückgang der Lärmbelastung durch verändertes Mobilitätsverhalten
Effektstärke	+		+	o	+

Quelle: Prognos AG, basierend auf Hornberg et al. (2013)

(2) Bis zum Jahr 2030 ist - entsprechend den Ergebnissen in Kapitel 8.3.1 (Tabelle 48 und 49) - bei den Luftschadstoffen teilweise mit einem leichten Rückgang von 0 % bis 10 % (Szenario A, A1 und C1) zu rechnen, während in den verbleibenden Szenarien von einem Rückgang zwischen 10 % und 20 % auszugehen ist. Durch die Trinkwasseraufbereitung ist ein möglicher Rückgang des Nitratgehalts im Grundwasser in allen Szenarien zu vernachlässigen. Zugleich machen die Ausführungen in Kapitel 8.3.4 deutlich, dass erst nach dem Jahr 2030 mit einer spürbaren Reduktion des Verkehrslärms zu rechnen ist. Auf Basis der ermittelten Effektstärken auf den Gesundheitszustand – resultierend aus dem Rückgang der Feinstaubbelastung – wird sich in den Szenarien A2, B, B1, B2, BCCS, C und C2 bis zum Jahr 2030 eine nachweisliche Verbesserung des Gesundheitszustands in der Bevölkerung einstellen, während in den Szenarien A, A1 und C1 von einem ge-

ringen Effekt auf den Gesundheitszustand auszugehen ist.

(3) Bis zum Jahr 2050 werden die Emissionen im Szenario BCCS voraussichtlich weiterhin zwischen 10 % bis 20 % zurückgehen, während in den weiteren Szenarien ein Rückgang um mehr als 20 % zu verzeichnen sein wird. Neben dem Rückgang der Emissionen der Luftschadstoffe werden auch die Lärmbelastungen in allen untersuchten Szenarien zurückgehen. Im Ergebnis werden – mit Ausnahme des Szenarios BCCS, das dann einen leicht positiven Effekt aufweist – in allen hier untersuchten Szenarien erhebliche Verbesserungen im Gesundheitszustand durch den Rückgang der Luftschadstoffe (Feinstaub und Ozon) erreicht.

Der verbesserte Gesundheitszustand wird darüber hinaus zu Einsparungen bei den Gesundheitskosten und somit den Gesundheitsausgaben führen. Die folgende Tabelle 68 zeigt die Ergebnisse für den Impactbereich Gesundheit für die Jahre 2030 und 2050.

Tabelle 68: Gesamtergebnis Gesundheit

Impact Gesundheit	Emissionen Ozon und Feinstaub		Nitrat im Trinkwasser		Verkehrslärm		Gesamt	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Szenario A	o	++	o	o	o	+		
Szenario A1	o	++	o	o	o	+		
Szenario A2	+	++	o	o	o	+		
Szenario B	+	++	o	o	o	+		
Szenario B1	+	++	o	o	o	+		
Szenario B2	+	++	o	o	o	+		
Szenario BCCS	+	+	o	o	o	+		
Szenario C	+	++	o	o	o	+		
Szenario C1	o	++	o	o	o	+		
Szenario C2	+	++	o	o	o	+		

++ = deutlich positive Wirkung gegenüber Basisentwicklung
 + = positive Wirkung gegenüber Basisentwicklung,
 o = neutral, geringe Wirkung gegenüber Basisentwicklung,

11 Standortfaktoren und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen in NRW

(1) Die Modellierungen zu den gesamtwirtschaftlichen Effekten und deren Auswirkungen auf die Beschäftigung in NRW zeigen für die Wirtschaft insgesamt in NRW langfristig positive Effekte durch die Umsetzung des Klimaschutzplans. Allen betrachteten Szenarien liegt die Annahme zu Grunde, dass langfristig weltweit ähnliche Anstrengungen für den Klimaschutz unternommen werden, so dass von der Umsetzung der Klimaschutzstrategien voraussichtlich keine Nachteile für die Wirtschaft in NRW ausgehen werden.

(2) Durch Investitionen in Effizienztechniken und erneuerbare Energien werden letztlich günstigere Standortbedingungen für die heimische Wirtschaft geschaffen. Für den Standort NRW und die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft ist dabei auch von Bedeutung, dass der Transformationsprozess hin zu einer energieeffizienten Wirtschaft zusätzliche Innovationen erfordert. Der Transformationsprozess zu einer „low-carbon-Gesellschaft“ wird in den Unternehmen zusätzliche Modernisierungsimpulse auslösen und die Position der innovativen Unternehmen am Standort NRW im internationalen Wettbewerb verbessern.¹³⁸

(3) Unabhängig vom Klimaschutzplan und der damit verbundenen Modernisierung der Wirtschaft können kurzfristige Veränderungen der Wettbewerbssituation Standortverlagerungen auslösen (Carbon Leakage), die die langfristigen Auswirkungen beeinflussen. Die eingesetzten Modelle sind nicht darauf ausgelegt, diskrete Standortentscheidungen einzelner Unternehmen abzubilden, die zum einen mit ihren nordrhein-westfälischen Standorten intern im Wettbewerb zu anderen Standorten außerhalb Nordrhein-Westfalens innerhalb des eigenen Unternehmens stehen und sich zum anderen im Wettbewerb mit anderen Akteuren am Markt behaupten müssen.

(4) Besonderes Augenmerk dieses Kapitels liegt auf der Transformation der Wirtschaft hin zu dem beschriebenen positiven Endzustand, also auf der Zeit des Übergangs, der sich auf die nächsten zehn bis 20 Jahre erstreckt. In diesem Zeitraum ist darauf zu achten, dass auch bei einem engagierten Klimaschutz unerwünschte kurzfristige und mittelfristige Auswirkungen durch die Internalisierung externer Effekte – wie Standortverlagerungen und die dadurch mögliche regionale Verlagerung von CO₂-Emissionen

¹³⁸ Zur notwendigen Wirtschaftlichkeit von Effizienzinvestitionen siehe Kapitel 5

ohne effektive Einsparung von Treibhausgasemissionen (Carbon-Leakage) – nach Möglichkeit vermieden werden.

(5) Für eine umfassende Analyse solcher „unerwünschten Auswirkungen“ von Klimaschutzmaßnahmen in der kurz- und mittelfristigen Perspektive bedarf es in der Regel einer Betrachtung aller Standortfaktoren für die Wirtschaft in Deutschland und NRW. Diese umfassende Betrachtung der weltweiten Standortfaktoren geht über das Ziel und die Möglichkeiten dieser Impactanalyse weit hinaus. Die folgende Analyse kann nur die wesentlichen, vom Klimaschutzplan beeinflussten Bereiche aufgreifen und konzentriert sich deshalb insbesondere auf die Energiekosten für die Wirtschaft. Einerseits, weil die Energiekosten einen wesentlichen Standortfaktor insbesondere für die energieintensive Industrie darstellen und andererseits, weil die Internalisierung der zu erwartenden Klimafolgekosten zumeist über Steuern und Abgaben auf den Verbrauch von Energie erfolgt.

Folglich fokussieren die Aussagen zur Wettbewerbsfähigkeit den Aspekt der Energiekosten und deren Einordnung im Internationalen Kontext.

11.1 Standortfaktor Energiekosten

(1) Die Energiekosten sind insbesondere für energieintensive Unternehmen ein relevanter Kostenfaktor. Während die Industrie im Mittel Energiekostenanteile an den Gesamtkosten von weniger als 5 % aufweist¹³⁹, können die Anteile bei energieintensiven Unternehmen deutlich über 10 %, teilweise sogar mehr als 30 % (Aluminiumindustrie) betragen. Dem entsprechend liefert die folgende Analyse insbesondere für die energieintensiven Wirtschaftszweige erste Anhaltspunkte zur aktuellen Wettbewerbssituation und mögliche Handlungsbereiche für die Vermeidung bzw. Reduzierung unerwünschter Effekte.

(2) Eine abschließende und umfassende Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft in NRW, die weitere Faktoren, wie Kapitalkosten, Lohnstückkosten, Rohstoffkosten und auch weiche Standortfaktoren beinhaltet, ist im Rahmen der Impactanalyse nicht vorgesehen. Hinzu kommt, dass diese Faktoren von den Maßnahmen und Strategien des Klimaschutzplans nicht oder allenfalls nur indirekt und in geringem Maße beeinflusst werden. Gleichwohl können diese Standortfaktoren die Umsetzung wie

¹³⁹ Siehe u. a Prognos-Studie Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU, S. 16 http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos_Rolle_und_Bedeutung_von_Energieeffizienz_und_Energiedienstleistungen_in_KMU.pdf

auch die Wirkungen der Klimaschutzstrategien positiv oder negativ verstärken und sollten entsprechend mit berücksichtigt werden.

(3) In der Diskussion zur Rolle der Energiekosten als Standortfaktor werden derzeit hauptsächlich die unterschiedlich hohen Gas- und Strompreise genannt. Diese Energieträger unterliegen deutlich stärker regionalen Märkten und regional spezifischen Parametern als die Kosten für Mineralölprodukte und Kohle, deren Preise sich – unter Berücksichtigung von Transportkosten – überwiegend international auf dem Weltmarkt bilden.

(4) Die folgende Analyse der Energiekosten als Standortfaktor berücksichtigt vornehmlich OECD-Länder, die die Energiekosten für ihre Unternehmen nicht umfassend direkt subventionieren. Gleichwohl existieren auch in Nicht-OECD-Ländern Investitionsanreize für energieintensive Unternehmen, vor allem weil die Energiepreise durch direkte Subventionen gestützt werden. Direkte Subventionen von Energiekosten, wie sie insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern wie beispielsweise China, Indien und im Mittleren Osten oder in Brasilien Praxis sind, führen naturgemäß zu Standortvorteilen für die dortigen energieintensiven Industrien. Den subventionierten Energiepreisen stehen in diesen Ländern jedoch Standortnachteile gegenüber, beispielsweise in Form einer geringen Rechtssicherheit, einer schlechten oder unsicheren Infrastruktur oder aufwendigen Local-Content-Bestimmungen und es bedarf einer individuellen unternehmerischen Entscheidung, ob die Kostenvorteile hierdurch neutralisiert werden. In den meisten Industriestaaten der OECD sind solche Einschränkungen nicht oder nur in geringem Umfang vorhanden, so dass in diesen Ländern substantielle Energiekostenvorteile direkt zu entscheidenden Standortvorteilen werden.

11.1.1 Kosten für Erdgas

(1) Die Kosten für Erdgas spielen nicht nur als Energiekosten sondern auch als Rohstoffkosten insbesondere in der chemischen Industrie eine bedeutende Rolle, beispielsweise bei der Herstellung von Stickstoff. Knapp 10 % des Erdgaseinsatzes in der nordrhein-westfälischen Industrie in NRW entfallen heute auf die stoffliche Nutzung.

Darüber hinaus nimmt der Erdgaspreis für die Stromerzeugung eine entscheidende Rolle ein. Die Preise für Erdgas übersetzen sich entsprechend auch in die Strompreise.

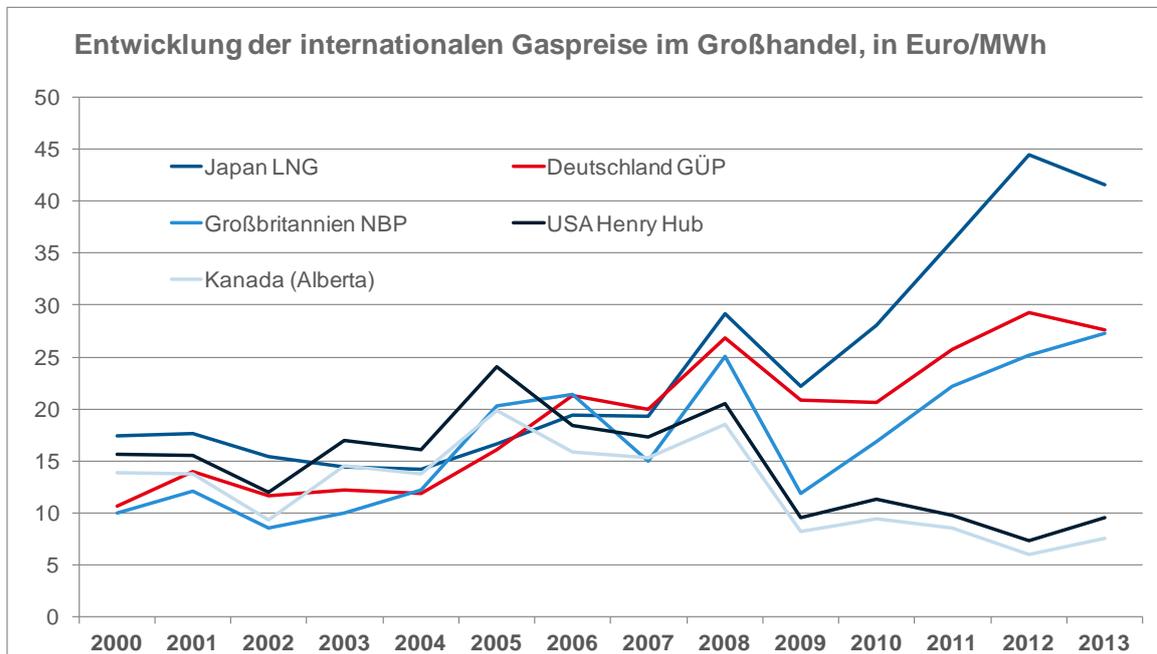
(2) Wie in Abbildung 106 ersichtlich, sind als Folge des Fracking-Booms in den USA die Preise für Erdgas in Nordamerika (Henry Hub und Alaska) in den letzten Jahren deutlich gesunken.

Sie liegen damit aktuell in etwa halb so hoch wie die Grenzübergangspreise in Deutschland. Im Vergleich zu den Preisen für verflüssigtes Erdgas (LNG) in Japan beträgt das aktuelle Preisniveau in Nordamerika sogar nur ein Viertel. Aktuell besteht aufgrund dieses Preisgefälles für Erdgas ein deutlicher Vorteil für viele Grundstoffindustrien in Nordamerika. Gegenüber mit LNG versorgten Industriestaaten in Asien wie beispielsweise Japan bestehen energie Kostenseitig immer noch deutliche Vorteile für deutsche Unternehmen.

(3) Die zukünftige Entwicklung der Erdgaspreise in den regionalen Märkten entscheidet somit darüber, ob die nordamerikanischen Wettbewerbsvorteile, die sich in den letzten 5 Jahren herausgebildet haben, bestehen bleiben. Die Einschätzung der Experten zur weiteren Entwicklung der Erdgaspreise in Nordamerika geht deutlich auseinander. Während die Internationale Energieagentur (IEA) ein dauerhaft niedriges Preisniveau für Erdgas bis mindestens 2030 durch anhaltende Fracking-Investitionen erwartet, gehen andere Experten davon aus, dass die bereits erkennbare Entwicklung sinkender Investitionen in Fracking sich fortsetzt.

Bereits heute machen niedrige Preise für Erdgas die Investitionen in neue Fracking Vorhaben unrentabel. Investitionen in die Fracking-Technologie sind in den USA nur dann wirtschaftlich, wenn der Erdgaspreis dauerhaft ein Preisniveau von 4 bis 5 US-Dollar pro MBTU hält. Dies entspricht einem Preisniveau von 15-20 Euro/MWh Erdgas. Damit würden sich die heute durch die Gaspreis Differenzen hervorgerufenen Vorteile des Standorts Nordamerika gegenüber Deutschland halbieren.

Abbildung 106: Die Entwicklung der Erdgaspreise im internationalen Vergleich



Quelle: BP Statistical Review of World Energy

(4) Aktuell nehmen die niedrigen Erdgaspreise in den USA auch einen starken Einfluss auf die dortigen Strompreise. Mit dem Rückgang der Erdgaspreise reduzieren sich die Grenzkosten der Stromerzeugung und damit die Preise für Strom im Großhandel.

Auch über diesen Weg verbessern die Erdgaspreise die Standortfaktoren für in den USA angesiedelte Betriebe, da die Gesamtenergiekosten der dort ansässigen Unternehmen deutlich unter denen europäischer Standorte liegen.

11.1.2 Kosten für Strom

(1) Die Entwicklung der Strompreise in den USA und Nordamerika gibt Anlass, die Wettbewerbsbedingungen und die Attraktivität des Standorts Deutschland für Investitionen der energieintensiven Industrie zu hinterfragen. Dies gilt sowohl für die in den Szenarien des Klimaschutzplans NRW getroffenen Annahmen als auch für die des Basisszenarios. Die Auswirkungen der NRW Szenarien zum Klimaschutzplan auf diese mittelfristigen Entwicklungen in Deutschland sind moderat. Dennoch kann eine Industrie, die bereits vor erheblichen Herausforderungen steht und ihre Investitionsentscheidungen unter anderem an den Energiepreisdifferenzen orientiert, die Produktion in Deutschland aufgeben und so langfristig nicht mehr von den ab 2030 verbesserten Preissignalen profitieren.

(2) Es liegen wenig belastbare Daten zu den tatsächlichen Strompreisen der energieintensiven Industrie am aktuellen Rand und für die nahe Zukunft vor. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat eine Untersuchung in Auftrag gegeben, die in einem ersten Bericht die Strompreise und ihre Komponenten im internationalen Vergleich zwischen 2005 und 2013 untersucht.¹⁴⁰ Im Vergleich der monatlichen Durchschnittspreise an den Strombörsen finden die Autoren im Vergleich zwischen Deutschland, Frankreich, Texas, den Niederlanden, UK und Pennsylvania die Entwicklung in Europa eher gleichförmig und die bestätigen die Abkopplung der Entwicklung in den USA seit 2009. Während im Jahr 2007 die Strompreise in den USA noch höher waren als in Europa, liegen die Großhandelsstrompreise im Jahr 2012 in den USA fast bei der Hälfte (Texas) oder 75 % (Pennsylvania) der durchschnittlichen deutschen Spotmarktpreise.

(3) Hintergrund für die sinkenden Strompreise in den USA ist das schnell wachsende Angebot an unkonventionellem Erdgas, das wegen gesetzlicher Bestimmungen und fehlender Infrastruktur nicht exportiert wird. Als Folge sind die Erdgaspreise deutlich gesunken, die wegen großer Erdgas-Kraftwerkskapazitäten zunehmend preissetzend auf dem US-Strommarkt sind.

(4) Im europäischen Vergleich liegen die monatlichen Durchschnittspreise an den Strombörsen in Deutschland in mehr als der Hälfte der Stunden gleich und in den Stunden mit abweichenden Preisen niedriger als in den Nachbarländern.¹⁴¹ In anderen Worten war der Strompreis auf dem Spotmarkt in Deutschland in den letzten Jahren niedriger als in den Nachbarländern. Zu welchem Preis sich die energieintensive Industrie mit Strom versorgt, kann auch von den Autoren nur abgeschätzt werden.

Basierend auf Interviews mit Marktteilnehmern kann für Deutschland ein Beschaffungspreis angenommen werden, der im Mittel um 10 % über dem durchschnittlichen Spotmarktpreis liegt, da die Beschaffung eine Kombination aus langfristigen Verträgen und kurzfristiger Beschaffung darstellt. Im Idealfall des liberalisierten Strommarktes findet die Preisbildung und Beschaffung in den Nachbarländern gleichermaßen statt.

Unter diesem Ansatz ist davon auszugehen, dass sich die beobachteten Spotmarktpreisdifferenzen in Beschaffungspreisdifferenzen zwischen den betrachteten Ländern niederschlagen. Mit

¹⁴⁰ Ecofys/Fraunhofer ISI (2014), Strompreise und ihre Komponenten - Ein internationaler Vergleich, Studie im Auftrag des BMWi. http://isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Strompreisvergleich_international_final.pdf

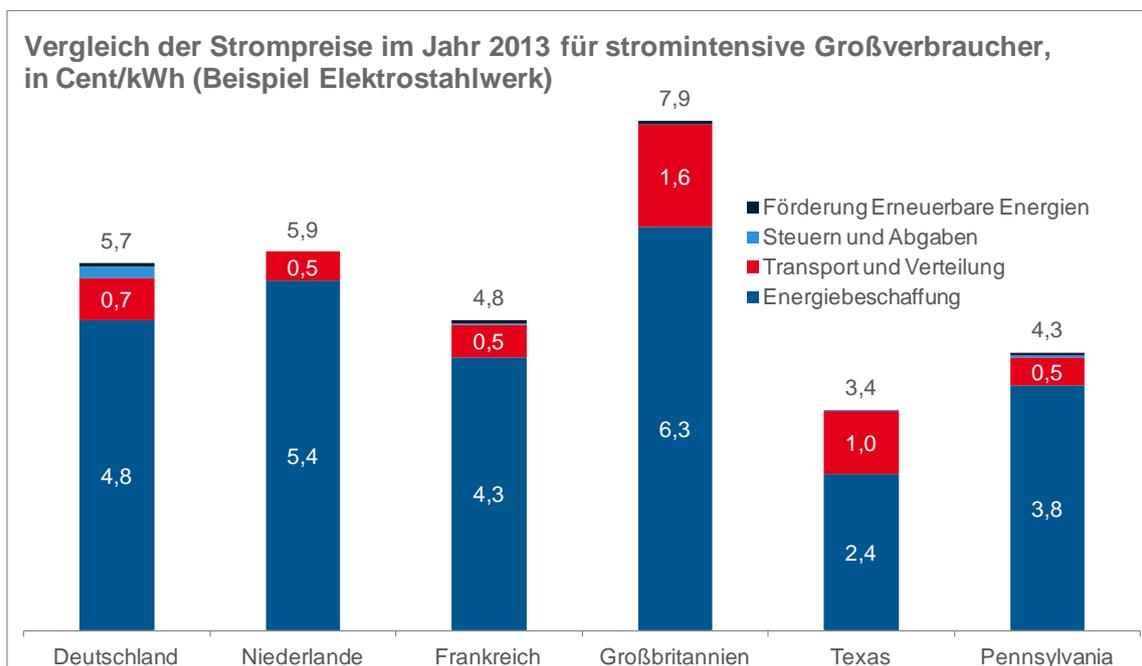
¹⁴¹ Ecofys/Fraunhofer ISI (2014), Strompreise und ihre Komponenten - Ein internationaler Vergleich, Studie im Auftrag des BMWi. http://isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Strompreisvergleich_international_final.pdf

der in Deutschland geltenden sehr geringen Belastung mit der EEG-Umlage für die stromintensiven Großverbraucher ergeben sich in Deutschland vergleichbare Preise wie in den Niederlanden, geringere Preise als in Großbritannien und um ca. 1 Cent/kWh höhere Preise als in Frankreich, wo Preise über direkte Stromlieferverträge zwischen heimischen Unternehmen und der EDF über mehr als 10 Jahre fixiert werden.

Nach Einschätzung von Industrievertretern sind in der Praxis jedoch besonders im Fall stromintensiver Unternehmen Abweichungen von der allgemein gültigen Preisbildung möglich. Altverträge, regulatorische Eingriffe und verdeckte Subventionen führen dann dazu, dass keine Preistransparenz besteht und somit ein Vergleich mit diesen Ländern erschwert ist.

Wiederum deutliche Nachteile ergeben sich für deutsche Unternehmen bei den Strompreisen u. a. gegenüber Standorten in den USA. Diese ergeben sich vor allem aus den Beschaffungskosten, die wiederum insbesondere in den USA durch das kostengünstige Erdgas zu Stande kommen.

Abbildung 107: Vergleich der Strompreise 2013 für stromintensive Großverbraucher



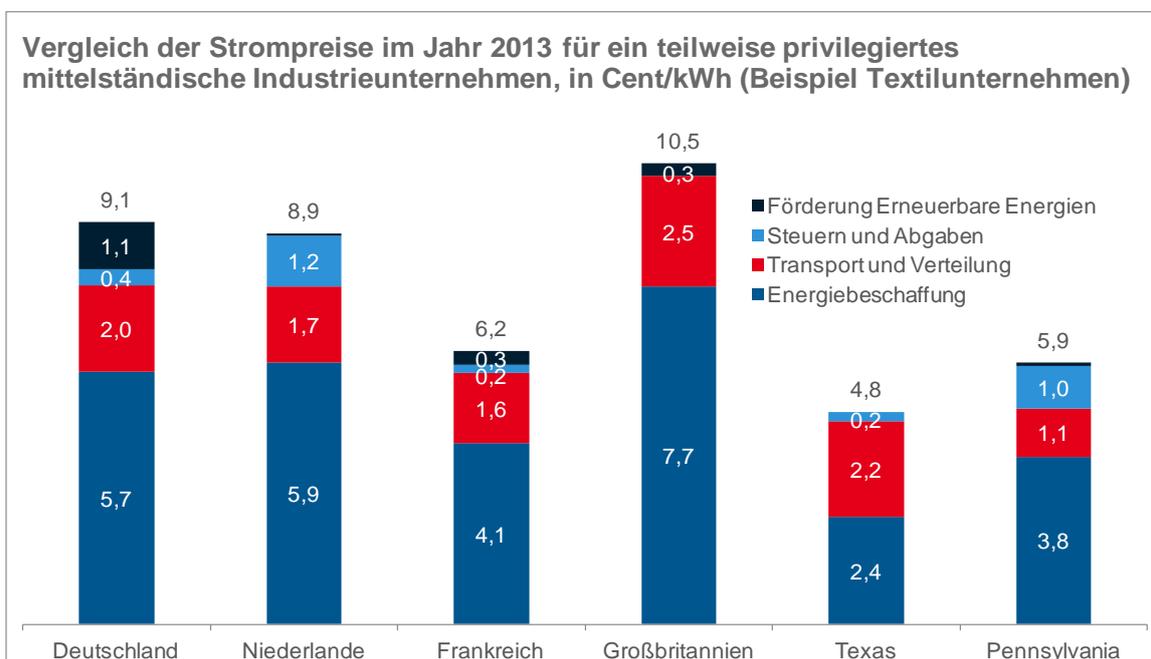
Quelle: Ecofys/Fraunhofer ISI 2014 - Strompreise und ihre Komponenten - Ein internationaler Vergleich; eigene Darstellung

(5) Für mittelständische Unternehmen, die anteilig höhere Belastungen durch die EEG-Umlage in Deutschland zu tragen haben ergeben sich etwas höhere Differenzen gegenüber den fixierten Strompreisen in Frankreich und gegenüber den Preisen in den USA. Aber auch für diese Abnahmefälle gilt, dass der Großteil der

Strompreisunterschiede bei den in der Studie aufgeführten Beispielen vor allem auf die Differenz in den Beschaffungskosten zurückzuführen ist.

Gegenüber den Niederlanden bestehen für mittelständische Unternehmen in Deutschland vergleichbare Kosten gegenüber Unternehmen in Großbritannien bestehen auch für mittelständische Unternehmen sogar Vorteile. Für Unternehmen, die nicht privilegiert sind, zeigen sich im Vergleich zu den genannten Ländern in Deutschland mit die höchsten Strompreise.

Abbildung 108: Vergleich der Strompreise 2013 für mittelständische Unternehmen



Quelle: Ecofys/Fraunhofer ISI 2014 - Strompreise und ihre Komponenten - Ein internationaler Vergleich; eigene Darstellung

(6) Für die Entwicklung der Strompreisunterschiede für deutsche Unternehmen im Vergleich zu anderen internationalen Standorten ist bei einer annähernd gleich bleibenden Belastung mit Kosten aus dem EEG wiederum die Entwicklung der Großhandelsstrompreise und Netzentgelte zu beachten. Während in Europa durch die zunehmende Vernetzung der Märkte mit einer Konvergenz der Großhandelspreise zu rechnen ist, ist für die Preise im Großhandel der USA wiederum die Entwicklung der Erdgaspreise entscheidend. Steigen diese mittelfristig an, ist auch direkt wieder mit steigenden Kosten für die Beschaffung von Strom im Großhandel zu rechnen.

11.2 Zusammenfassende Bewertung der Wettbewerbssituation

(1) Im Vergleich der OECD-Staaten untereinander haben sich in den letzten fünf Jahren deutliche Verschiebungen bei den Energiekosten eingestellt. Insbesondere gegenüber Nordamerika kam es zu einer Verschlechterung der Wettbewerbssituation der deutschen Standorte hinsichtlich der Preise für Strom und Erdgas. Dies gilt auch für die Standorte in NRW. Naturgemäß stark davon betroffen sind Unternehmen mit hohen Energiekostenanteilen, wie die typischen Grundstoffprozesse der Stahl-, Aluminium-, Chemie- und Papierindustrie. Hauptverantwortlich hierfür ist der in Folge der Nutzung der Fracking-Technologie deutlich gesunkene Erdgaspreis in Nordamerika.

Der heutige Wettbewerbs- und Standortnachteil gegenüber den USA ist weitgehend unabhängig von Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland und NRW. Gleichwohl ist die Wettbewerbssituation der Industrie im Vergleich zu anderen Standorten bei der Implementierung von Klimaschutzmaßnahmen und der Dimensionierung der effektiven Belastung von Unternehmen durch Klimaschutzkosten im Auge zu behalten.

(2) Bis jetzt hat diese Verschiebung zugunsten des Industriestandorts USA nur zu einzelnen Produktionsverlagerungen, aber noch nicht zur vollständigen Aufgabe von Standorten in NRW geführt. Die Gründe hierfür liegen einerseits in den Investitionszyklen der Industrie, andererseits aber auch in anderen Standortfaktoren begründet, die hier nicht näher untersucht wurden: Rechtssicherheit, die Verfügbarkeit gut ausgebildeten Personals, niedrige Lohnstückkosten, eine enge Vernetzung mit lokalen Forschungseinrichtungen und nicht zuletzt stabilen Investitionsbedingungen.

Gleichwohl richten sich heutige Entscheidungen über Investitionen in Produktionskapazitäten von Unternehmen mit Standort(en) in NRW verstärkt an der Energiepreissituation aus. Daher ist es wichtig, die Energiepreissituation mit Blick auf die Auswirkungen auf NRW im Auge zu behalten. So erwartet die IEA in einer aktuellen Analyse als eine Möglichkeit der Entwicklung,¹⁴² dass Europa in den nächsten Jahrzehnten bis zu einem Drittel seiner Weltmarktanteile in der energieintensiven Güterproduktion einbüßen könnte, wenn sich die Investitionen immer stärker auf Regionen mit niedrigen Energiepreisen konzentrieren. Diese von der IEA skizzierte Entwicklung ist unabhängig vom Klimaschutzplanprozess des Landes Nordrhein-Westfalen.

¹⁴² Internationale Energieagentur (IEA): „Europe’s Energy Trilemma: Energy security, environmental sustainability, and economic prosperity“, Van der Hoeven, Amsterdam, 2014 abgerufen unter http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/Amsterdam_Energy_Security.pdf

(3) Auch wenn die Länder Nordamerikas sich zukünftig nicht mehr nur auf der Ebene einzelner Bundesstaaten, sondern auch übergreifend ambitioniertere Klimaschutzziele setzten, ermöglichen die dortigen niedrigen Erdgaspreise kostengünstigen Klimaschutz. Mit einer Verdrängung von Kohle und Mineralöl durch das weniger CO₂-intensive Erdgas im Primärenergieträgereinsatz lassen sich bis zum Jahr 2030 substanzielle Beiträge zur Reduktion der Treibhausgase erzielen. Dieser so genannte Fuel-Switch ist bei Preisvorteilen für Erdgas auch bei relativ niedrigen Kosten für CO₂ möglich. Solange der Preisvorteil bei Erdgas besteht, lassen sich gleiche Reduktionsziele in Nordamerika mit geringerem Aufwand für die Unternehmen realisieren als in Deutschland.

Deutschland und NRW können von einer frühzeitigen Implementierung emissionsarmer Techniken, wie insbesondere erneuerbare Energien im Strom- und Wärmebereich profitieren: Langfristig muss auch in Nordamerika – wenn die Potenziale durch den Fuel-Switch erschlossen sind – der Einsatz von erneuerbaren Energien oder anderen nahezu CO₂-freien Techniken realisiert werden, um mit Europa vergleichbare Ziele der CO₂-Reduktion zu erreichen.

(4) Im Vergleich zu anderen europäischen Staaten und den Industrieländern Asiens besteht bezüglich der Energiekosten aktuell unter den gegebenen Entlastungstatbeständen kaum ein Wettbewerbsnachteil für die deutsche Industrie. In Teilen Asiens ist zu erwarten, dass sich diese Situation auch in den kommenden Jahren nicht substantiell verschiebt weil die Industrienationen Japan und Korea auch zukünftig auf Importe von Energieträgern aufgrund fehlender eigener Ressourcen angewiesen sein werden. Bezüglich der Energiekosten und der Nähe zu einem großen Wachstumsmarkt stellt sich China zunächst vorteilhafter dar; ein umfassender Vergleich müsste jedoch weitere Faktoren wie Rechtssicherheit oder Local-Content-Regelungen einschließen.

(5) Die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft sollte zur Vermeidung unerwünschter Effekte wie dem so genannten Carbon-Leakage bei der Ausgestaltung des Klimaschutzes in Europa, Deutschland und NRW berücksichtigt werden. Veränderungen der politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die nordrhein-westfälische Industrie gehen in die turnusgemäß vorgesehene Fortschreibung des Klimaschutzplans ein.

Die bisherige Ausgestaltung von Privilegien für die energieintensive Industrie bei der Belastung mit Kosten durch die EE-Förderung und die partielle, kostenlose Zuteilung von CO₂-Zertifikaten für die Industrie im Rahmen der ETS-Ausgestaltung zeigen, dass Standortfragen bereits heute teilweise bei der Ausgestaltung der Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Zu prüfen ist darüber hinaus, ob andere industriepolitische Maßnahmen die Einführung von ambitioniertem Klimaschutz begleiten und begünstigen können, die dann sowohl negativen Effekte abmildern als auch dazu beitragen, spezifische Wettbewerbsvorteile langfristig zu sichern. Beispiele hierfür wären die gezielte Stärkung der F&E-Aktivität der Unternehmen und die stärkere Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft zur Bildung leistungsfähiger Low-Carbon-Industriecluster, die sich bereits heute in kleinerem Umfang in NRW etablieren.

12 Anhang

12.1 Ausgewählte Ergebnistabellen – Endkundenstrompreise

Endkundenstrompreise in Cent ₂₀₁₀ /kWh					
Szenario/Szenariovariante Basis 0,6					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätiszahlung	7,4	6,6	8,5	10,3	11,8
Netznutzungsentgelt	5,8	6,4	7,0	7,0	7,0
EEG-Umlage	2,0	4,3	2,5	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,1	4,1	4,0	4,3
Summe	22,5	25,5	26,0	25,3	26,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätiszahlung	6,4	5,7	7,5	9,4	10,8
Netznutzungsentgelt	5,8	6,4	7,0	7,0	7,0
EEG-Umlage	2,0	4,3	2,5	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	20,5	20,9	20,3	21,5
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätiszahlung	5,5	5,6	7,5	9,4	10,9
Netznutzungsentgelt	3,1	3,6	4,0	4,0	4,0
EEG-Umlage	2,0	4,3	2,5	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,1	14,3	13,8	15,0
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätiszahlung	5,2	4,7	6,4	8,1	9,3
Netznutzungsentgelt	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	6,4	8,1	9,8	11,0

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante Basis 1,2					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	6,8	8,9	10,8	12,4
Netznutzungsentgelt	5,8	6,4	7,0	7,0	7,0
EEG-Umlage	2,0	4,2	2,4	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,1	4,2	4,1	4,4
Summe	22,5	25,6	26,4	26,0	27,4
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	5,8	8,0	10,0	11,5
Netznutzungsentgelt	5,8	6,4	7,0	7,0	7,0
EEG-Umlage	2,0	4,2	2,4	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	20,5	21,2	20,9	22,1
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	5,8	8,0	10,0	11,5
Netznutzungsentgelt	3,1	3,6	4,0	4,0	4,0
EEG-Umlage	2,0	4,2	2,4	0,3	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,1	14,6	14,4	15,7
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	5,0	6,9	8,7	9,9
Netznutzungsentgelt	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	6,6	8,5	10,3	11,5

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante A					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	6,9	8,8	10,8	12,0
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,7	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,2	4,3	4,4	4,4
Summe	22,5	26,0	27,1	27,5	27,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	5,9	7,8	9,9	11,0
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,7	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	20,9	21,8	22,2	22,3
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	6,1	7,9	10,0	11,0
Netznutzungsentgelt	3,1	4,0	4,5	4,6	4,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,7	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,7	15,3	15,7	15,6
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	5,2	6,8	8,7	9,4
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,3	8,9	10,8	11,5

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante A1					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	6,9	8,8	10,8	12,0
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,6	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,1	4,3	4,4	4,4
Summe	22,5	26,0	27,1	27,5	27,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	5,9	7,8	9,9	11,1
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,6	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	20,9	21,8	22,2	22,4
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	6,1	7,9	10,0	11,0
Netznutzungsentgelt	3,1	4,0	4,5	4,6	4,6
EEG-Umlage	2,0	4,0	2,6	1,0	0,0
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,7	15,3	15,7	15,7
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	5,2	6,8	8,7	9,4
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,3	8,9	10,8	11,5

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante A2					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	7,4	6,9	7,8	9,2	9,8
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,8	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,3	2,8	3,5
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,3	4,5	4,5	4,7
Summe	22,5	27,2	28,0	28,1	29,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	6,4	5,9	6,9	8,3	8,8
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,8	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,3	2,8	3,5
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	21,9	22,6	22,6	24,0
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,5	5,7	6,8	8,3	8,7
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,6	4,8	4,9
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,3	2,8	3,5
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,4	16,0	16,0	17,1
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,2	4,9	5,8	7,1	7,3
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,5	1,5
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,0	7,9	9,3	9,5

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante B					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	7,4	6,9	7,7	9,3	10,3
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,1	4,5	2,8	3,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,4	4,5	4,5	4,7
Summe	22,5	27,4	28,2	28,2	29,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	6,4	5,9	6,8	8,4	9,3
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,1	4,5	2,8	3,0
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	22,1	22,7	22,7	24,0
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,5	5,7	6,7	8,4	9,2
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,6	4,8	4,9
EEG-Umlage	2,0	5,1	4,5	2,8	3,0
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,5	16,1	16,1	17,2
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,2	4,8	5,7	7,3	7,8
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,5	1,5
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	6,9	7,8	9,4	10,0

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante B1					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	7,4	7,0	8,1	9,7	10,6
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,2	2,5	2,6
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,4	4,5	4,5	4,7
Summe	22,5	27,3	28,3	28,2	29,7
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	6,4	6,0	7,1	8,7	9,7
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,0
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,2	2,5	2,6
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	22,0	22,8	22,8	24,0
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,5	6,1	7,1	8,8	9,6
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,6	4,8	4,9
EEG-Umlage	2,0	5,0	4,2	2,5	2,6
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,7	16,2	16,2	17,2
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,2	5,2	6,1	7,6	8,1
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,5	1,5
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,3	8,2	9,7	10,3

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante B2					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	6,9	7,7	11,2	12,4
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	8,8	9,8
EEG-Umlage	2,0	5,2	4,6	0,3	0,9
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,4	4,5	4,6	5,1
Summe	22,5	27,6	28,4	28,6	31,8
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	5,9	6,8	10,3	11,4
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	8,8	9,8
EEG-Umlage	2,0	5,2	4,6	0,3	0,9
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	22,2	22,9	23,1	25,8
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	5,7	6,7	10,7	11,3
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,7	5,3	5,9
EEG-Umlage	2,0	5,2	4,6	0,3	0,9
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,6	16,3	16,5	18,2
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	4,8	5,7	9,3	9,7
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,6	1,8
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	6,9	7,8	11,6	12,1

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante BCCS					
Abnahmetyp:	Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)				
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	7,4	6,9	8,7	10,0	10,2
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,1	3,2	2,2	2,4
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,2	4,4	4,5	4,5
Summe	22,5	26,2	27,6	28,1	28,5
Abnahmetyp:	GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)				
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	6,4	6,0	7,7	9,1	9,2
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,6
EEG-Umlage	2,0	4,1	3,2	2,2	2,4
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	21,0	22,2	22,6	23,0
Abnahmetyp:	IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)				
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,5	6,0	7,7	9,1	9,0
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	3,1	4,0	4,5	4,6	4,6
EEG-Umlage	2,0	4,1	3,2	2,2	2,4
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,8	15,6	16,0	16,1
Abnahmetyp:	IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)				
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/	5,2	5,2	6,7	7,9	7,7
Kapazitätszahlung					
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,3	8,8	10,0	9,8

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante C					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	6,9	7,5	9,0	10,2
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,1
EEG-Umlage	2,0	5,3	5,2	3,5	3,4
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,4	4,6	4,6	4,8
Summe	22,5	27,7	28,7	28,7	30,1
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	6,0	6,5	8,0	9,2
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,7	7,9	8,1
EEG-Umlage	2,0	5,3	5,2	3,5	3,4
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	22,3	23,2	23,2	24,3
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	5,6	6,4	8,1	9,2
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,7	4,8	4,9
EEG-Umlage	2,0	5,3	5,2	3,5	3,4
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,6	16,5	16,6	17,6
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	4,7	5,5	6,9	7,8
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,5	1,5	1,5
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	6,9	7,6	9,1	10,0

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante C1					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	7,0	8,6	10,9	12,7
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,7
EEG-Umlage	2,0	4,3	3,2	1,5	0,3
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,2	4,4	4,5	4,6
Summe	22,5	26,4	27,5	28,2	28,9
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	6,0	7,6	10,0	11,8
Netznutzungsentgelt	5,8	6,9	7,5	7,6	7,7
EEG-Umlage	2,0	4,3	3,2	1,5	0,3
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	21,2	22,1	22,8	23,4
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	6,0	7,7	10,2	11,8
Netznutzungsentgelt	3,1	4,0	4,5	4,6	4,6
EEG-Umlage	2,0	4,3	3,2	1,5	0,3
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	14,8	15,6	16,4	16,8
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	5,1	6,6	8,8	10,2
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,2	8,7	10,9	12,3

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

Endkundenstrompreise in Cent₂₀₁₀/kWh					
Szenario/Szenariovariante C2					
Abnahmetyp: Haushalte, 3.500 kWh pro Jahr (inkl. MwSt.)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	7,4	7,0	7,5	11,1	12,4
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,8	8,9	10,0
EEG-Umlage	2,0	5,4	5,3	0,6	1,3
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	3,6	4,5	4,6	4,6	5,2
Summe	22,5	28,0	29,0	28,8	32,6
Abnahmetyp: GHD (Einzelhandel), 200 MWh pro Jahr, Niederspannungsebene (exkl. MwSt., ohne Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	6,4	6,1	6,6	10,1	11,5
Netznutzungsentgelt	5,8	7,0	7,8	8,9	10,0
EEG-Umlage	2,0	5,4	5,3	0,6	1,3
KWK-Umlage	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Offshore-Umlage	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stromsteuer	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	18,0	22,6	23,5	23,3	26,4
Abnahmetyp: IND (KMU), 1000 MWh pro Jahr, Mittelspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,5	5,7	6,6	10,9	11,4
Netznutzungsentgelt	3,1	4,1	4,8	5,4	6,1
EEG-Umlage	2,0	5,4	5,3	0,6	1,3
KWK-Umlage	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1
Stromsteuer	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	12,8	15,8	16,9	17,0	18,9
Abnahmetyp: IND (energieintensive Industrie), 100000 MWh pro Jahr, Hochspannungsebene, (exkl. MwSt., mit Stromsteuernachlass, mit Spitzensteuerausgleich, mit EEG 2012 § 41 Ausgleichsregelung mit Selbstbehalt)					
Komponente	2010	2020	2030	2040	2050
Beschaffung/Vertrieb/ Kapazitätszahlung	5,2	4,8	5,6	9,5	9,8
Netznutzungsentgelt	1,0	1,4	1,5	1,7	1,9
EEG-Umlage	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
KWK-Umlage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Offshore-Umlage	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Konzessionsabgabe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromsteuer	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Umsatzsteuer	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe	6,3	7,0	7,7	11,9	12,4

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

12.2 Ausgewählte Ergebnistabellen – Endenergieverbrauch in den Basisszenarien

Endenergieverbrauch (EEV) in NRW nach Sektoren						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	561	486	426	387	339
GHD	PJ	289	269	263	252	219
Industrie	PJ	1.055	1.053	999	980	920
Verkehr	PJ	448	492	424	371	330
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.300	2.112	1.990	1.808
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	561	486	426	387	339
GHD	PJ	289	269	263	252	219
Industrie	PJ	1.055	1.170	1.168	1.176	1.192
Verkehr	PJ	448	492	424	371	330
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.418	2.280	2.186	2.080

Endenergieverbrauch (EEV) in NRW nach Energieträgern						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	PJ	278	283	289	291	223
Braunkohle	PJ	21	19	18	15	10
Mineralöl	PJ	628	582	449	368	294
Gase (ohne H2)	PJ	713	649	584	536	474
Biomasse	PJ	51	78	90	103	112
Solar und Umgebungswärme	PJ	17	41	55	66	77
Abfall und sonstige	PJ	12	12	14	14	15
Wasserstoff	PJ	0	0	0	0	0
Nah-/Fernwärme, IKW-Wärme	PJ	198	200	180	180	179
Strom	PJ	434	437	434	418	425
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.300	2.112	1.990	1.808
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Steinkohle	PJ	278	303	323	348	370
Braunkohle	PJ	21	19	17	16	13
Mineralöl	PJ	628	582	449	365	289
Gase (ohne H2)	PJ	713	692	648	585	502
Biomasse	PJ	51	77	90	103	112
Solar und Umgebungswärme	PJ	17	41	56	68	80
Abfall und sonstige	PJ	12	12	14	14	13
Wasserstoff	PJ	0	0	0	0	0
Nah-/Fernwärme, IKW-Wärme	PJ	198	229	223	231	237
Strom	PJ	434	462	461	458	463
EEV GESAMT	PJ	2.353	2.418	2.280	2.186	2.080

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

12.3 Ausgewählte Ergebnistabellen – Stromverbrauch nach Sektoren in den Basisszenarien

Stromverbrauch (EEV) in NRW nach Sektoren						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	TWh	30	27	24	21	19
GHD	TWh	25	26	25	24	23
Industrie	TWh	64	68	69	68	71
Verkehr	TWh	2	1	2	3	4
STROM (EEV) GESAMT	TWh	121	121	120	116	118
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	TWh	30	27	24	21	19
GHD	TWh	25	26	25	24	23
Industrie	TWh	64	75	76	79	82
Verkehr	TWh	2	1	2	3	4
STROM (EEV) GESAMT	TWh	121	128	128	127	129

Stromverbrauch (EEV) in NRW nach Sektoren						
EEV in Abgrenzung der Klimaschutzszenarien						
Basisszenario 0,6	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	108	96	87	76	70
GHD	PJ	89	92	91	86	83
Industrie	PJ	231	244	247	244	256
Verkehr	PJ	6	4	9	11	16
STROM (EEV) GESAMT	PJ	434	437	434	418	425
Basisszenario 1,2	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050
Private Haushalte	PJ	108	96	87	76	70
GHD	PJ	89	92	91	86	83
Industrie	PJ	231	270	274	284	295
Verkehr	PJ	6	4	9	11	16
STROM (EEV) GESAMT	PJ	434	462	461	458	463

Quelle: Prognos AG, Rundungsdifferenzen möglich

12.4 Beschreibungen der wichtigsten Modelle für die Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte

12.4.1 GWS Modell PANTA RHEI

PANTA RHEI ist ein zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen entwickeltes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland. Der Name, der eine Reflexion des griechischen Philosophen Heraklit zitiert („alles fließt“), ist Programm: Das Modell erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen. Es verbindet insbesondere Wirtschaft und Energie und kann als Energiewirtschaftsmodell klassifiziert werden.

Einen Einblick in die Struktur des Modells PANTA RHEI gibt das im Folgenden 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 59 Wirtschaftsbereichen. Die Energiebilanzen der AGEB sind voll in das Modell integriert. Die Verhaltensparameter sind auf Basis von Zeitreihendaten der Jahre 1991 bis 2010 ökonometrisch geschätzt.

Das ökonomische Kernmodell INFORGE wird u. a. vom Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung und der Bundesagentur für Arbeit regelmäßig für langfristige Beschäftigungsprojektionen eingesetzt. Für das BMWi wurde es im Forschungsprojekt 11/12 (Demografischer Wandel – Auswirkungen auf die Bauwirtschaft durch steigenden Bedarf an stationären und ambulanten Altenpflegeplätzen) genutzt. Das Modell INFORGE (INterindustry FORecasting GERmany) ist ein sektoral tief gegliedertes Prognose- und Simulationsmodell, das seit 1996 jährlich aktualisiert wird und in vielen Anwendungen eingesetzt worden ist (vgl. z. B. Maier et al. 2012, Ahlert et al. 2009, Distelkamp et al. 2003, Meyer et al. 2007a, b). Es basiert auf der „Allgemeinen Systematik der Wirtschaftszweige in den Europäischen Gemeinschaften“ der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes. Mit der vor-

liegenden Modellversion wird erstmalig ein vollständig auf die neue Wirtschaftszweigsystematik umgestelltes Prognose- und Simulationsmodell vorliegen.

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells INFORGE beruht auf der INFORUM-Philosophie (Almon 1991). Sie ist durch die Konstruktionsprinzipien Bottom-up und vollständige Integration gekennzeichnet. Das Konstruktionsprinzip Bottom-up besagt, dass jeder der 59 Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert ist und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch explizite Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Das Konstruktionsprinzip vollständige Integration beinhaltet eine komplexe und simultane Modellierung, die die interindustrielle Verflechtung ebenso beschreibt wie die Entstehung und die Verteilung der Einkommen, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der Privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen. Der disaggregierte Aufbau des Modells INFORGE ist in das vollständig endogenisierte Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet.

Das Modell weist einen sehr hohen Endogenisierungsgrad auf. Exogen vorgegeben sind im Wesentlichen Steuersätze, das Arbeitsangebot sowie die Zinssätze und internationale Wachstumsdynamiken wichtiger Abnehmerländer deutscher Waren und Dienstleistungen. Das gesamte System löst simultan. Die Struktur des Modells INFORGE ist hochgradig interdependent. Neben den üblichen Kreislaufinterdependenzen sind die Mengen-Preisinterdependenzen und die Lohn-Preisinterdependenz abgebildet

INFORGE ist ein ökonometrisches Input-Output-Modell, das als evolutorisches Modell bezeichnet werden kann. In den Verhaltensgleichungen werden Entscheidungsroutrinen modelliert, die nicht explizit aus Optimierungsverhalten der Agenten abgeleitet sind, sondern beschränkte Rationalität zum Hintergrund haben. Die Herstellungspreise sind das Ergebnis einer Aufschlagskalkulation der Unternehmen. Die Zeit ist im Modell historisch und unumkehrbar. Die Kapitalstockfortschreibung generiert Pfadabhängigkeit.

Dem Input-Output-Ansatz wird gemeinhin eine nachfrageorientierte Modellierung zugesprochen. Dies trifft auf INFORGE allerdings nicht zu. Es ist zwar richtig, dass die Nachfrage in INFORGE die Produktion bestimmt, aber alle Güter- und Faktornachfragevariablen hängen unter anderem von relativen Preisen ab, wobei die Preise wiederum durch die Stückkosten der Unternehmen in Form einer Preissetzungshypothese bestimmt sind. Der Unterschied zu den allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, in denen ein Konkurrenzmarkt modelliert wird, liegt in diesem Punkt in der unterstellten Marktform, nicht in der Betonung der ei-

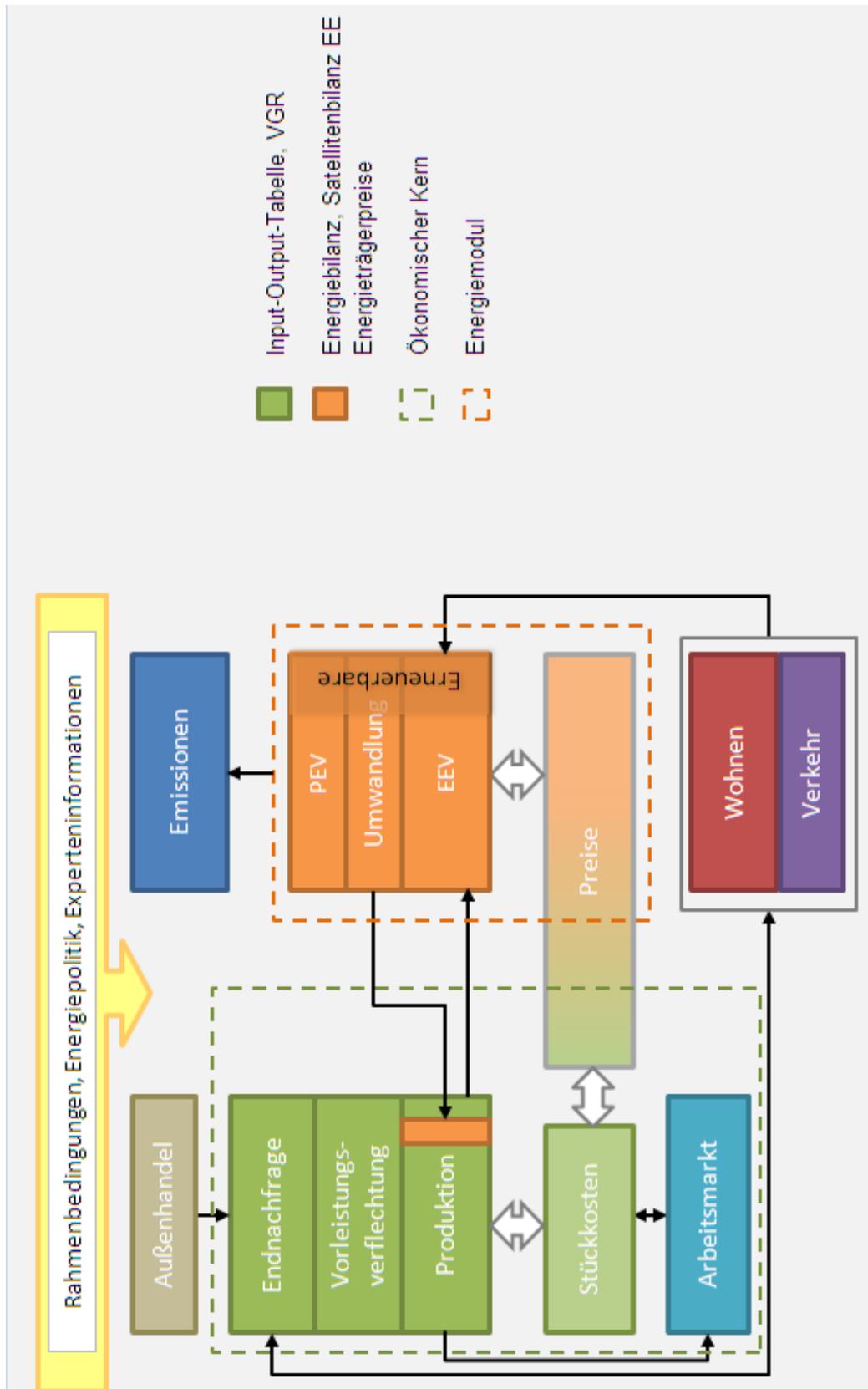
nen oder der anderen Marktseite. Man kann es auch so formulieren: Die Unternehmen wählen aufgrund ihrer Kostensituation und der Preise konkurrierender Importe ihren Absatzpreis. Die Nachfrager reagieren darauf mit ihrer Entscheidung, die dann die Höhe der Produktion bestimmt. Angebots- und Nachfrageelemente sind also im gleichen Maße vorhanden.

Neben der in 73 Produktions- bzw. Wirtschaftsbereiche tief gegliederten Ebene der Input-Output-Rechnung enthält das Modell zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Variablen das Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen der Bundesrepublik Deutschland mit seinen institutionellen Transaktoren Staat, Private Haushalte und private Organisationen ohne Erwerbszweck, Finanzielle Kapitalgesellschaften, Nichtfinanzielle Kapitalgesellschaften sowie übrige Welt und den funktionellen Transaktoren Produktion, Primäre Einkommensverteilung, Sekundäre Einkommensverteilung, Einkommensverwendung, Vermögensänderung und Sachvermögensbildung. Dieses System enthält die gesamte Einkommensumverteilung einschließlich Sozialversicherung und Besteuerung zwischen Staat, Privaten Haushalten und Unternehmen und ermöglicht so die Berechnung der Verfügbaren Einkommen, die wiederum wichtige Determinanten der Endnachfrage sind. Außerdem werden die Finanzierungssalden der institutionellen Transaktoren bestimmt. Damit ist insbesondere auch die staatliche Budgetrestriktion im Modell enthalten. Endogen eingebunden in dieses System ist somit die gesamte Fiskalpolitik.

Die Parameter der Modellgleichungen wurden mit dem OLS-Verfahren über den Zeitraum 1991 bis 2011 ökonometrisch geschätzt. Bei der Auswahl alternativer Schätzansätze wurden zunächst a priori-Informationen über Vorzeichen und Größenordnungen der zu schätzenden Koeffizienten genutzt. Mit anderen Worten: ökonomisch unsinnige Schätzergebnisse werden verworfen. Die verbleibenden Schätzungen werden auf Autokorrelation der Residuen anhand der Durbin-Watson-Statistik sowie auf Signifikanz der geschätzten Parameter mit dem t-Test geprüft. Ist auf dieser Basis eine Diskriminierung konkurrierender Ansätze nicht möglich, ist das Bestimmtheitsmaß der Schätzung hinzugezogen worden. Angesichts der Größe des Modells erscheint die OLS-Methode als die angemessene, weil einfachste Schätzmethode zu sein.

Das Modell PANTA RHEI ist in den vergangenen Jahren vielfältig eingesetzt worden, u. a. in den Energieszenarien 2010 und 2011. Im Forschungsprojekt 58/09 wurde der energiewirtschaftliche Kern EVA zuletzt für das BMWi aktualisiert. Derzeit wird es u. a. im Rahmen der aktuellen Energierferenzprognose (Projekt 57/12) zur Bestimmung gesamtwirtschaftlicher Effekte zwischen Referenzentwicklung und einem Szenario, das die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung erreicht, sowie für Sensitivitätsrechnungen eingesetzt.

Abbildung 109: Struktur des energie- und umweltökonomischen Modells PANTA RHEI



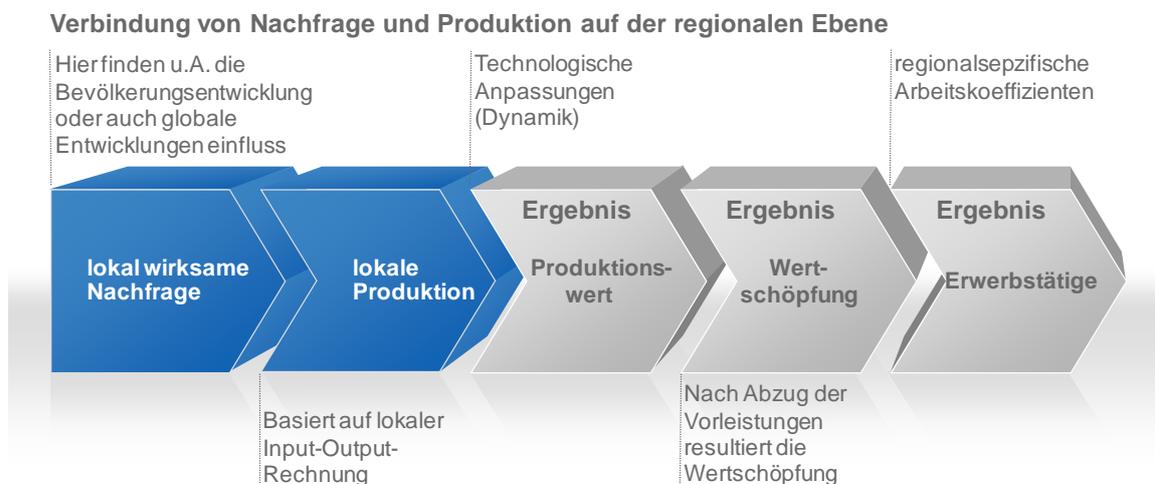
12.4.2 Prognos Modell REGINA

Das regionalökonomische Modell der Prognos AG (**REGINA**¹⁴³) ermöglicht, wie auch das gesamtwirtschaftliche Modell von GWS, die Betrachtungen der einzelnen Szenarien. REGINA prognostiziert auf der Kreisebene bis zum Jahr 2030 die Entwicklung der Produktion, Wertschöpfung und Erwerbstätigkeit nach verschiedenen Wirtschaftsbereichen. Für das Jahr 2050 werden Trendfortschreibungen erstellt. Das Modell bildet die Entstehungsseite der Wertschöpfung ab, umfasst aber auch Verwendungs- und Verteilungskomponenten. REGINA bezieht die Ergebnisse des Makroökonomischen Modells der GWS ein und berücksichtigt vielfältige zusätzliche Informationen auf regionaler Ebene (hier NRW spezifisch). Damit bildet REGINA die für Deutschland und die Region NRW relevanten makroökonomischen Einflüsse und vor allem regionsspezifische Besonderheiten ab. Entsprechend der Szenarien wird das Modell angepasst und mit den Annahmen des gesamtwirtschaftlichen Modells der GWS harmonisiert.

Als Ergebnis der Modellrechnung liegen die Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereiche bzw. Produktionsbereiche und Erwerbstätige am Arbeitsort nach Wirtschaftsbereichen bzw. Produktionsbereiche als sozioökonomischen Daten vor.

Im Kern von Regina stehen regionale Produktionsfunktionen, die sich in verschiedene Produktionsbereiche gliedern. Anhand der Verwendungskomponenten (Nachfrage nach in der Region produzierten Gütern) errechnet sich der Produktionswert. Hierbei werden verschiedene Komponenten wie u. a. Produktionskapazitäten, die Nachfrage nach personennahen Gütern der Bevölkerung, etc. berücksichtigt.

Abbildung 110: Verbindung von Nachfrage und Produktion auf der regionalen Ebene



Quelle: Prognos AG, 2013.

143 **REGI**onalized **N**ational **A**ccount