
Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses

Bei der vorliegenden Fassung des Berichtes handelt es sich um eine aktualisierte Fassung gegenüber der Version vom 16.01.2014.

Düsseldorf/Wuppertal,
01.12.2014

IMPRESSUM

Auftraggeber: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Wissenschaftliche Bearbeitung: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH

Projektleitung:

Christoph Zeiss

Prof. Dr. Manfred Fishedick

Stellvertretende Projektleitung:

Valentin Espert

Szenarienmodellierung:

Clemens Schneider

Ole Soukup

Arjuna Nebel

AG 1 (Umwandlung):

Prof. Dr. Manfred Fishedick

Christoph Zeiss

AG 2 (Produzierendes Gewerbe/Industrie):

Dr. Stefan Lechtenböhmer

Dr. Daniel Vallentin

Samuel Höller

AG 3 (Bauen/GHD):

Thomas Hanke

Dietmar Schüwer

AG 4 (Verkehr):

Ulrich Jansen

Philipp Hillebrand

AG 5 (Landwirtschaft, Forst, Boden):

Sabine Nanning

AG 6 (Private Haushalte):

Dr. Claus Barthel

Benjamin Best

Ansprechpartner:

Christoph Zeiss

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Döppersberg 19

42103 Wuppertal

Tel.: +49 202 2492-135

Fax: +49 202 2492-198

christoph.zeiss@wupperinst.org

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Szenarien im Beteiligungsprozess	10
1.1 Rolle der Szenarien.....	10
1.2 Funktion und Grenzen der Szenarien.....	12
2 Annahmen und Szenarienbeschreibung	14
2.1 Grundannahmen	14
2.2 Darstellung der Szenarien	15
2.2.1 Szenarienübersicht	15
2.2.2 Storylines der Szenarien	18
3 Zentrale Ergebnisse	21
3.1 Die Szenarien A, B und C	21
3.2 Varianten zu den Szenarien.....	21
3.2.1 Varianten zu Szenario A.....	22
3.2.2 Varianten zu Szenario B.....	23
3.2.3 Varianten zu Szenario C.....	24
3.3 Übersicht über die Ergebnisse der Szenarien und Varianten für NRW nach Sektoren und Vergleich der Szenarien.....	27
3.4 Ergebnisse der Szenarien für die Treibhausgasemissionen in Deutschland	28
4 Interpretation der Ergebnisse	30
5 Arbeitsgruppenspezifische Ergebnisse	37
5.1 Arbeitsgruppe 1 - Umwandlung.....	37
5.1.1 Beschreibung der AG-spezifischen Szenarien und deren Varianten	38
5.1.2 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse für Deutschland.....	44
5.1.3 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse für NRW	53
5.2 Arbeitsgruppe 2 – Produzierendes Gewerbe/Industrie	58
5.2.1 Wachstumspfade	58
5.2.2 Technologiepfade	60
5.2.3 Ergebnisse für die Industrie.....	67
5.2.4 Fazit zu den Szenarioergebnissen der AG Industrie	70
5.3 Arbeitsgruppe 3 Bauen/GHD.....	72
5.3.1 Beschreibung der AG-spezifischen Szenarienvarianten im Bereich Wohngebäude	73
5.3.2 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse	75
5.3.3 Darstellung der Szenarienergebnisse im Sektor GHD	80

5.3.4	Anhang zur Arbeitsgruppe 3	83
5.4	Arbeitsgruppe 4 - Verkehr	97
5.4.1	Vorgehensweise.....	97
5.4.2	Personenverkehr.....	98
5.4.3	Güterverkehr	102
5.4.4	Szenario für das Handlungsfeld Verkehr: Gesamtergebnisse (Auswahl)	103
5.5	Arbeitsgruppe 5 – Landwirtschaft, Forst, Boden	105
5.5.1	Einführung	105
5.5.2	Beschreibung der AG-spezifischen Szenarioannahmen	105
5.5.3	Darstellung der Szenarioergebnisse	107
5.5.4	Ausblick.....	109
5.5.5	Literatur	109
5.6	Arbeitsgruppe 6 – Private Haushalte	110
5.6.1	Der Beitrag der elektrischen Anwendungen zu den Szenarien	110
5.6.2	Der Beitrag der Strategien in den Bedarfsweldern Wohnen, Konsum, Ernährung, Mobilität und von Querschnittsmaßnahmen zu den Szenarien	112
	Anhang	113
	Anhang 1: Tabellen.....	113

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER ENTWICKLUNG VON SZENARIEN IM DIALOG- UND BETEILIGUNGSPROZESS (QUELLE: IFOK/WI).....	12
ABBILDUNG 2: SZENARIENÜBERSICHT (AUF DER BASIS DER KOMBINATION VON VORGABEN AUS DEN ARBEITSGRUPPEN).....	18
ABBILDUNG 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE BERECHNETEN SZENARIEN UND SZENARIOVARIANTEN	20
ABBILDUNG 4: ENTWICKLUNG DER THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) OHNE FLÜCHTIGE ENERGIEBEDINGTE THG IN NRW BIS 2050 DER SZENARIEN A, B UND C (1990 - 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV)	21
ABBILDUNG 5: ENTWICKLUNG DER THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) DER GESAMTEN THG EMISSION IN NRW BIS 2050 IM SZENARIO A UND DEN SZENARIOVARIANTEN A1 UND A2	22
ABBILDUNG 6: ENTWICKLUNG DER THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) DER GESAMTEN THG EMISSION IN NRW BIS 2050 DES SZENARIOS B UND DER SZENARIOVARIANTEN B1, B2 UND BCCS.....	24
ABBILDUNG 7: ENTWICKLUNG DER THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) DER GESAMTEN THG EMISSION IN NRW BIS 2050 DES SZENARIOS C UND DER SZENARIOVARIANTEN C1 UND C2	25
ABBILDUNG 8: ENTWICKLUNG DER THG EMISSIONEN NACH AG IN NRW BIS 2050 AM BEISPIEL DES SZENARIOS C NACH ARBEITSGRUPPEN (EMISSIONSSEKTOREN).....	27
ABBILDUNG 9: WIRKUNGSBEITRAG DES EMISSIONSHANDELS IN NRW IM JAHR 2050 (UNTERSCHIEDUNG VON ZWEI VARIANTEN FÜR DEN LINEAREN REDUKTIONSFAKTOR A) 1,74%/A GEMÄß BESTEHENDER EU-REGELUNGEN UND B) 2,3%/A IN ANLEHNUNG AN DIE EU LOW CARBON ECONOMY ROAD MAP)	33
ABBILDUNG 10: RESULTIERENDE THG-MINDERUNG 2050 (IM VERGLEICH ZU 1990) IN NRW IN ABHÄNGIGKEIT DER VORGABEN FÜR DIE ENTWICKLUNG DES EUROPÄISCHEN EMISSIONSHANDELSSYSTEM (UNTERSCHIEDUNG VON ZWEI VARIANTEN FÜR DEN LINEAREN REDUKTIONSFAKTOR A) 1,74%/A GEMÄß BESTEHENDER EU-REGELUNGEN UND B) 2,3%/A IN ANLEHNUNG AN DIE EU LOW CARBON ECONOMY ROAD MAP).....	33
ABBILDUNG 11: UNTERSTELLTE ENTWICKLUNG DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN QUELLEN IN NRW IN DER <u>HOHEN</u> VARIANTE (QUELLE: BIS 2025 NACH VORGABE DER AKTEURE DER AG 1, NACH 2025 FORTSCHREIBUNG DURCH DAS WUPPERTAL INSTITUT).	39
ABBILDUNG 12: UNTERSTELLTE ENTWICKLUNG DER STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN QUELLEN IN NRW IN DER <u>NIEDRIGEN</u> VARIANTE (QUELLE: AUS DER HOHEN VARIANTE ABGELEITETE ENTWICKLUNG DURCH DAS WUPPERTAL INSTITUT).	40
ABBILDUNG 13: ENTWICKLUNG DER KWK-STROMERZEUGUNG IN NRW (QUELLE: BIS 2020 NACH VORGABE DER AKTEURE DER AG 1, NACH 2025 FORTSCHREIBUNG DURCH DAS WUPPERTAL INSTITUT).	43
ABBILDUNG 14: NETTOSTROMPRODUKTION IN DEUTSCHLAND (SZENARIO A).....	45
ABBILDUNG 15: AUSTAUSCHSALDO FÜR DEUTSCHLAND IM SZENARIO A	46
ABBILDUNG 16: BRUTTOSTROMNACHFRAGE UND DER ANTEIL DER ERNEUERBAREN ENERGIEN AN DIESER FÜR DAS SZENARIO A.....	47
ABBILDUNG 17: NETTOSTROMPRODUKTION IN DEUTSCHLAND (SZENARIO B).....	48
ABBILDUNG 18: AUSTAUSCHSALDO FÜR DEUTSCHLAND IM SZENARIO B.....	49
ABBILDUNG 19: BRUTTOSTROMNACHFRAGE UND ANTEIL DER ERNEUERBAREN ENERGIEN AN DER BRUTTOSTROMNACHFRAGE FÜR DAS SZENARIO B.....	50
ABBILDUNG 20: NETTOSTROMPRODUKTION IN DEUTSCHLAND (SZENARIO C).....	51

ABBILDUNG 21: AUSTAUSCHSALDO FÜR DEUTSCHLAND IM SZENARIO C.....	52
ABBILDUNG 22: BRUTTOSTROMNACHFRAGE UND DER ANTEIL DER ERNEUERBAREN ENERGIEEN AN DIESER FÜR DAS SZENARIO C	53
ABBILDUNG 23: NETTOSTROMPRODUKTION IN NRW IM SZENARIO A	54
ABBILDUNG 24: NETTOSTROMPRODUKTION IN NRW IM SZENARIO B	54
ABBILDUNG 25: NETTOSTROMPRODUKTION IN NRW IM SZENARIO C	55
ABBILDUNG 26: INSTALLIERTE NETTOKRAFTWERKSLEISTUNG IN NRW IM SZENARIO A.....	56
ABBILDUNG 27: DREI VARIANTEN DES WACHSTUMS DER BRUTTOWERTSCHÖPFUNG DER INDUSTRIE IN NRW NACH VCI UND PROGNOSE 2013 UND BMWI 2010.	59
ABBILDUNG 28: DIREKTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES PRODUZIERENDEN GEWERBES/INDUSTRIE (AG2) IN NRW IN MIO. T CO ₂ -ÄQUIVALENT IN DREI SZENARIEN UND DREI VARIANTEN (PROZENTANGABEN = MINDERUNG GGÜ. 1990; EMISSIONEN DER INDUSTRIEKRAFTWERKE IN DEN VARIANTEN GESCHÄTZT).	67
ABBILDUNG 29: ENDENERGIEEINSATZ DER INDUSTRIE IN NRW NACH ENERGIETRÄGERN, 2010 UND 2050 IN VERSCHIEDENEN SZENARIEN BZW. VARIANTEN	68
ABBILDUNG 30: ENTWICKLUNG DER BRENNSTOFF- UND STROMINTENSITÄT DER INDUSTRIE ZWISCHEN 2010 UND 2050 IN VERSCHIEDENEN SZENARIEN BZW. VARIANTEN (INDEX: 2010 = 1)	69
ABBILDUNG 31: BRENNSTOFFEINSATZ, OUTPUT UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER INDUSTRIEKRAFTWERKE IM JAHR 2010 SOWIE SZENARIEN FÜR 2020 UND 2050	70
ABBILDUNG 32: ENTWICKLUNG DER ENDENERGIEVERBRÄUCHE IN DEN SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G-2,0%	77
ABBILDUNG 33: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN IN DEN SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G- 2,0% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG).....	80
ABBILDUNG 34: ENTWICKLUNG DER ANTEILE DER RAUMWÄRMEKLASSEN (SANIERUNGS- /NEUBAUSTANDARDS) IM GEBÄUDEBESTAND NACH UNSANIERTEM UND SANIERTEM BESTAND SOWIE IM NEUBAU IM SZENARIO G-0,7% (IN MIO. M ²).....	84
ABBILDUNG 35: ENTWICKLUNG DER NUTZENERGIEBEDARFE FÜR RAUMWÄRME (GEBÄUDEBESTAND UND NEUBAU) UND WARMWASSER SOWIE DER VERLUSTE IM HEIZUNGSSYSTEM FÜR DAS SZENARIO G-0,7% (IN TJ/A)	85
ABBILDUNG 36: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-0,7% (IN %) IM GEBÄUDEBESTAND (GEBÄUDE BIS 2007)	86
ABBILDUNG 37: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-0,7% (IN %) IM NEUBAU (GEBÄUDE AB 2008).....	86
ABBILDUNG 38: ENTWICKLUNG DER ENDENERGIE IM RAUMWÄRMEBEREICH PRIVATER HAUSHALTE (INCL. WARMWASSER) NACH ENERGIETRÄGERN IM SZENARIO G-0,7% (IN TJ/A).....	87
ABBILDUNG 39: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH NACH BESTAND UND NEUBAUBEREICH IM SZENARIO G-0,7% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)87	
ABBILDUNG 40: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH PRIVATER HAUSHALTE (INCL. WARMWASSER) UND DEN SEKTOR GHD IM SZENARIO G-0,7% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)	88
ABBILDUNG 41: ENTWICKLUNG DER ANTEILE DER RAUMWÄRMEKLASSEN (SANIERUNGS- /NEUBAUSTANDARDS) IM GEBÄUDEBESTAND NACH UNSANIERTEM UND SANIERTEM BESTAND SOWIE IM NEUBAU IM SZENARIO G-1,4% (IN MIO. M ²).....	89

ABBILDUNG 42: ENTWICKLUNG DER NUTZENERGIEBEDARFE FÜR RAUMWÄRME (GEBÄUDEBESTAND UND NEUBAU) UND WARMWASSER SOWIE DER VERLUSTE IM HEIZUNGSSYSTEM FÜR DAS SZENARIO G-1,4% (IN TJ/A)	89
ABBILDUNG 43: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-1,4% (IN %) IM GEBÄUDEBESTAND (GEBÄUDE BIS 2007)	90
ABBILDUNG 44: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-1,4 % (IN %) IM NEUBAU (GEBÄUDE AB 2008).....	91
ABBILDUNG 45: ENTWICKLUNG DER ENDENERGIE PRIVATER HAUSHALTE IM RAUMWÄRMEBEREICH (INCL. WARMWASSER) NACH ENERGIETRÄGERN IM SZENARIO G-1,4% (IN TJ/A).....	91
ABBILDUNG 46: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH NACH GEBÄUDEBESTAND UND NEUBAUBEREICH IM SZENARIO G-1,4% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)	92
ABBILDUNG 47: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH PRIVATER HAUSHALTE (INCL. WARMWASSER) UND DEN SEKTOR GHD IM SZENARIO G-1,4% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)	92
ABBILDUNG 48: ENTWICKLUNG DER ANTEILE DER RAUMWÄRMEKLASSEN (SANIERUNGS- /NEUBAUSTANDARDS) IM GEBÄUDEBESTAND NACH SANIERTEM UND UNSANIERTEM BESTAND SOWIE IM NEUBAU IM SZENARIO G-2,0% (IN MIO. M ²).....	93
ABBILDUNG 49: ENTWICKLUNG DER NUTZENERGIEBEDARFE FÜR RAUMWÄRME (GEBÄUDEBESTAND UND NEUBAU) UND WARMWASSER SOWIE DER VERLUSTE IM HEIZUNGSSYSTEM FÜR DAS SZENARIO G-2,0% (IN TJ/A)	93
ABBILDUNG 50: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-2,0% (IN %) IM GEBÄUDEBESTAND (GEBÄUDE BIS 2007)	94
ABBILDUNG 51: ENTWICKLUNG DER MARKTVERTEILUNG VON HEIZUNGSANLAGEN FÜR DAS SZENARIO G-2,0 % (IN %) IM NEUBAU (GEBÄUDE AB 2008).....	95
ABBILDUNG 52: ENTWICKLUNG DER ENDENERGIE IM BEREICH RAUMWÄRME PRIVATER HAUSHALTE (INCL. WARMWASSER) NACH ENERGIETRÄGERN IM SZENARIO G-2,0% (IN TJ/A).....	95
ABBILDUNG 53: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH NACH GEBÄUDEBESTAND UND NEUBAUBEREICH IM SZENARIO G-2,0% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)	96
ABBILDUNG 54: ENTWICKLUNG DER DIREKTEN CO ₂ -EMISSIONEN FÜR DEN GEBÄUDEBEREICH PRIVATER HAUSHALTE (INCL. WARMWASSER) UND DEN SEKTOR GHD IM SZENARIO G-2,0% (IN KT CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG)	96
ABBILDUNG 55: ANTEIL DER ANTRIEBE IM PKW-VERKEHR 2010 IN PROZENT (QUELLE KRAFTFAHRTBUNDESAMT)	98
ABBILDUNG 56: MÖGLICHER ANTEIL DER ANTRIEBE IM PKW-VERKEHR 2030 IN PROZENT (QUELLE ENERGIESZENARIEN).....	99
ABBILDUNG 57: MÖGLICHER ANTEIL DER ANTRIEBE IM PKW-VERKEHR 2050 IN PROZENT (QUELLE ENERGIESZENARIEN)	99
ABBILDUNG 58: MODAL SPLIT DER WEGE IM PERSONENVERKEHR IN NRW 2008 (QUELLE MiD 2008)	101
ABBILDUNG 59: MÖGLICHER MODAL SPLIT DER WEGE IM PERSONENVERKEHR IN NRW BIS 2030 (QUELLE EIGENE BERECHNUNG)	101

ABBILDUNG 60: ENTWICKLUNG DER SICH AUS DEN ENERGIESZENARIEN ERGEBENDEN TRANSPORTLEISTUNG IM GÜTERVERKEHR IN KT BIS 2050 BEI AUFTEILUNG AUF DIE VERKEHRSTRÄGER STRAÙE, SCHIENE UND SCHIFF GEMÄÙ DEN VERABREDUNGEN IN DER AG VERKEHR.....	103
ABBILDUNG 61: MODELLIERUNG DES STROMVERBRAUCHS VON ELEKTRISCHEN ANWENDUNGEN IN HAUSHALTEN	111

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: GRUNDANNAHMEN DER SZENARIEN.....	14
TABELLE 2: ENTWICKLUNG DER GESAMTEN THG EMISSIONEN IN NRW BIS 2050 IN DEN SZENARIEN A, B UND C (IN 1000 T CO _{2EQ}); 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	21
TABELLE 3: ENTWICKLUNG DER GESAMTEN THG EMISSIONEN IN NRW BIS 2050 IN DEN SZENARIEN A, A1 UND A2 (IN 1000 T CO _{2EQ}); 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	23
TABELLE 4: ENTWICKLUNG DER GESAMTEN THG EMISSIONEN IN NRW BIS 2050 IN DEN SZENARIEN B, B1, B2 UND B CCS (IN 1000 T CO _{2EQ}); 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	24
TABELLE 5: ENTWICKLUNG DER GESAMTEN THG EMISSIONEN IN NRW BIS 2050 IN DEN SZENARIEN C, C1 UND C2 (IN 1000 T CO _{2EQ}); 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	25
TABELLE 6: ENTWICKLUNG DER ABSOLUTEN THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) UND KORRESPONDIERENDEN PROZENTUALEN MINDERUNGSSZENARIEN (2020/2050) FÜR ALLE BETRACHTETEN SZENARIEN FÜR NRW; 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	26
TABELLE 7: ENTWICKLUNG DER ABSOLUTEN THG-EMISSIONEN (IN 1000 T CO _{2EQ}) UND KORRESPONDIERENDEN PROZENTUALEN MINDERUNGSSZENARIEN (2020/2050) FÜR NRW AM BEISPIEL DES SZENARIO C NACH ARBEITSGRUPPEN (EMISSIONSSEKTOREN); 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV (OHNE FLÜCHTIGE ENERGIEBEDINGTE EMISSIONEN)	28
TABELLE 8: ENTWICKLUNG DER VERBRENNUNGSBEDINGTEN THG EMISSIONEN IN DEUTSCHLAND BIS 2050 IN DEN SZENARIEN A, B UND C (IN 1000 T CO _{2EQ}).....	29
TABELLE 9: ENTWICKLUNG DER ABSOLUTEN THG-EMISSIONEN DER AG 1 UMWANDLUNG (IN 1000 T CO _{2EQ}) UND KORRESPONDIERENDEN PROZENTUALEN MINDERUNGSSZENARIEN (2020/2050) FÜR ALLE BETRACHTETEN SZENARIEN FÜR NRW; 1990 UND 2010 IST-DATEN AUF DER BASIS VON WERTEN DES LANUV	57
TABELLE 10: ÜBERSICHT ÜBER ANTEILE DER INDUSTRIE AN DER GESAMTEN BRUTTOWERTSCHÖPFUNG DES LANDES NRW.....	59
TABELLE 11 VERGLEICH DER TECHNIKBEZOGENEN ANNAHMEN ZWISCHEN DEN BAT UND DEN LOW-CARBON- PFADEN 64	
TABELLE 12: ANNAHMEN VON RAUMWÄRMEKLASSEN ALS MITTLERE ZIELWERTE FÜR NEUBAU UND SANIERUNGSSTANDARDS DES GEBÄUDEBESTANDES IN DEN SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G-2,0%.....	74
TABELLE 13: ENTWICKLUNG DER WOHNFLÄCHEN IM GEBÄUDEBESTAND SOWIE IM NEUBAU IM VERGLEICH DER SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G-2,0% (IN MIO. M ²).....	75
TABELLE 14: ENTWICKLUNG DER ENERGIETRÄGER UND DER ENDENERGIE IN DEN SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G-2,0% (IN TJ/A)	76
TABELLE 15: GEGENÜBERSTELLUNG DER EINSPARUNGEN IM NUTZENERGIEBEREICH (OHNE WARMWASSER) DURCH WÄRMETECHNISCHE SANIERUNGEN SOWIE DARAUF AUFBAUEND EINSPARUNGEN IM ENDENERGIEBEREICH (MIT WARMWASSER) DURCH HEIZUNGSUSTAUSCH UND HEIZUNGSMODERNISIERUNGEN IN DEN SZENARIEN G- 0,7%, G-1,4% UND G-2,0%.....	78
TABELLE 16: GEGENÜBERSTELLUNG DER DIREKTEN EMISSIONEN (IN KILOTONNEN CO ₂ , OHNE EMISSIONEN DER BHKW-OBJEKTVERSORGUNG) IN DEN SZENARIEN G-0,7%, G-1,4% UND G-2,0%.....	79
TABELLE 17: ENTWICKLUNG DER ENDENERGIE NACH NUTZUNGSZWECK UND ENERGIETRÄGERN IM GHD-SEKTOR (IN TJ/A).....	81
TABELLE 18: ENTWICKLUNG DER CO ₂ –EMISSIONEN IM GHD-SEKTOR (IN KT CO ₂)	82

TABELLE 19: WOHNFLÄCHENENTWICKLUNG PRIVATER HAUSHALTE UND FLÄCHENENTWICKLUNG IM BEREICH DER NICHT-WOHNGEBÄUDE (IN MIO. M ²) FÜR ALLE DREI SZENARIEN SOWIE SPEZIFISCHE ENTWICKLUNGEN JE PERSONEN (IN M ² /PERSON) UND NACH BEHEIZTER FLÄCHE PRO BESCHÄFTIGTE (IN M ² /BESCHÄFTIGTE)	83
TABELLE 20: VERGLEICH DER THG-EMISSIONSMENGEN FÜR VERKEHR IN NRW DER JAHRE 1990 UND 2010 ZWISCHEN MODELL UND EMISSIONSSTATISTIK	97
TABELLE 21: TREIBHAUSGASEMISSIONEN AUS DER QUELLGRUPPE LANDWIRTSCHAFT (IN 1.000 T CO ₂ EQ.)	108

Vorwort

Bei dem vorliegenden Bericht handelt es sich um eine überarbeitete und ergänzte Fassung. Die ursprüngliche Fassung wurde nach einer intensiven Diskussion in den Arbeitsgruppen und dem Koordinierungskreis des Klimaschutzplanprozesses im Dezember 2013 veröffentlicht. In ihr befanden sich aus Zeitgründen noch vorläufige Schätzungen der Ergebnisse der Szenarien B2 und C2, in denen eine 100%ige Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2050 angenommen wurde. Diese Szenarien wurden inzwischen berechnet und flossen auch in die Bewertung der Impactanalyse ein. In der vorliegenden Fassung sind nun die zentralen Grundannahmen und die Ergebnisse der Szenarienberechnung für B2 und C2 dokumentiert. Da die Schätzung aus Dezember 2013 sehr nahe an den tatsächlich errechneten Ergebnissen lag, ergeben sich nur wenige Unterschiede. So liegt zum Beispiel die Treibhausgas-minderung im Szenario B2 im Jahr 2050 gegenüber 1990 in der Schätzung bei 77% und in der errechneten Fassung bei 79%. Die Aussagen der Szenarien haben sich daher nicht wesentlich verändert.

Zusätzlich sind in dem vorliegenden Bericht folgende Korrekturen bzw. Ergänzungen enthalten:

- In der Aufteilung der Industriekraftwerke zwischen der AG 1 Umwandlung und der AG 2 Produzierendes Gewerbe/Industrie wurde in der Fassung vom Dezember nicht der letzte Stand berücksichtigt. Drei Kraftwerke, die aufgrund der Eigentümerstruktur vom LANUV der öffentlichen Versorgung zugerechnet werden, sind von der Einsatzcharakteristik her reine Industriekraftwerke und wurden folgerichtig der AG 2 Produzierendes Gewerbe/Industrie zugeordnet. Die Änderung wurde mit der AG 2 auf der Sitzung vom 21.11.2013 abgesprochen und vom Koordinierungskreis auf der Sitzung vom 25.11.2013 bestätigt. In der vorliegenden Fassung ist diese Zuordnung nun richtig dargestellt.
- Bei der Übermittlung der Daten der AG 3 Gebäude/GHD im Rahmen der Impactanalyse fiel auf, dass es im Modell eine falsche Zuordnung der Verteilung der Sanierungsklassen im Gebäudebestand gab. Nach Korrektur der Daten ergibt sich eine leichte Verringerung der Sanierungstiefen im Zeitverlauf gegenüber der ursprünglichen Version des 2%-Szenario, was die THG-Emissionen für das Jahr 2050 um 0,8 Mio. t CO_{2eq} erhöht. Die grundsätzlichen Aussagen der Szenarien in der AG 3 ändern sich dadurch nicht.
- Um einen konsistenten Vergleich der Treibhausgasemissionen zwischen den drei Szenarien der AG 3 zu ermöglichen, wurde in Kapitel 5.3 darauf verzichtet, die Emissionen der Blockheizkraftwerke zur Direktversorgung von Wohn- und Gewerbehäusern anzugeben. Weil die BHKW in die Kraftwerkseinsatzplanung miteinbezogen waren, können sich hier zwischen Szenariovarianten mit gleicher Wärmenachfrage aber unterschiedlicher Stromnachfrage (ausgelöst etwa durch unterschiedliches Wachstum in der Industrie) Unterschiede im Emissionsniveau ergeben. In den Tabellen zur Ausweisung der sektoralen THG werden die Emissionen dieser BHKW aber weiterhin unter der AG 3 geführt. Die Gesamtemissionen der AG 3 haben sich also durch diese andere Darstellung nicht geändert.
- Die Wirkungsbeiträge des Emissionshandels für NRW (Tabellen A3, A4, A5, A6 im Anhang 1) werden nun für alle Stützjahre (2020, 2030, 2040, 2050) und nicht nur für 2050 angegeben.

1 Szenarien im Beteiligungsprozess

1.1 Rolle der Szenarien

Der Klimaschutzplan NRW wird unter umfassender Beteiligung von gesellschaftlichen Gruppen sowie der kommunalen Spitzenverbände in einem breit angelegten Dialog- und Beteiligungsprozess erstellt. Er beschäftigt sich vor allem mit der Frage, mit welchen Strategien und Maßnahmen die im Klimaschutzgesetz des Landes formulierten Klimaschutzziele (d.h. insb. die Zielvorgaben für die Jahre 2020 und 2050¹) umgesetzt werden können. Hierfür sind im Bereich Klimaschutz sechs sektorale Arbeitsgruppen² gebildet worden, die in ihrem jeweiligen Themenbereich zentrale Handlungsfelder, spezifische Strategien und konkrete Maßnahmenvorschläge für den Klimaschutz erarbeitet haben:

- **Handlungsfelder** sind dabei die wesentlichen Bereiche in den einzelnen Sektoren (AGs), in denen eine Treibhausgas-Minderung erzielt werden kann (z.B. der Bereich Kraft-Wärme-Kopplung).
- **Strategien** umfassen im Verständnis des Klimaschutzplans innerhalb der Handlungsfelder Handlungsmöglichkeiten (z.B. Ausbau der industriellen KWK), die kurz-, mittel- und/oder langfristige Beiträge zum Klimaschutz leisten können. Der Wirkungshorizont der Strategien umfasst daher i.d.R. den gesamten Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2050.
- **Maßnahmen** konzentrieren sich primär auf einen Zeithorizont bis zum Jahr 2020. Sie sollten konkrete Vorschläge für die Umsetzung der jeweiligen Strategien machen (d.h. sie stellen u.a. die Frage nach „wer macht was?“ und „wie sind die Rahmenbedingungen für eine Umsetzung zu gestalten“). Maßnahmen können sich auf einen direkten bis 2020 schon wirksamen THG-Minderungsbeitrag innerhalb einer Strategie konzentrieren (z.B. Maßnahmen zur Steigerung der Sanierungsrate von Wohngebäuden), einen vorbereitenden Beitrag zur Ermöglichung von Minderungswirkungen zu einem späteren Zeitpunkt mit Blick auf spezifische Strategien leisten (z.B. Förderung von FuE-Vorhaben) oder aber auf Strategie übergreifende Aspekte abheben (z.B. Bildungsmaßnahmen). Es werden nicht nur Maßnahmenvorschläge betrachtet, die in NRW direkt umgesetzt werden können, sondern auch solche, die auf Bundes- und europäischer Ebene angesiedelt sind und für die aus NRW heraus Impulse gesetzt werden können.

Die in den AGs jeweils erarbeiteten Handlungsfelder, Strategien und Maßnahmenvorschläge sind in den Dokumenten „Zusammenfassung der Sitzungsergebnisse“ AG-spezifisch dargestellt.

¹ Das Klimaschutzgesetz formuliert für das Jahr 2020 die Zielvorgabe einer Minderung der Treibhausgasemissionen des Landes um 25% in Bezug auf das Jahr 1990, bis 2050 sollen die Treibhausgasemissionen um mindestens 80% unterhalb des Niveaus des Jahres 1990 liegen.

² AG1 - *Umwandlung*, AG2 --*Industrie/ produzierendes Gewerbe*, AG3 - *Bauen/ GHD*, AG4 - *Verkehr*, AG5 - *Landwirtschaft/ Forst/ Boden* , AG6 - *Private Haushalte*

Neben der Entwicklung von Strategien und Maßnahmen besteht eine weitere zentrale Aufgabe im Dialog- und Beteiligungsprozess darin, die Wirkung der von den Akteuren vorgeschlagenen Strategien zu quantifizieren und Wechselwirkungen positiver wie negativer Art zu identifizieren. Hierfür wurde im Rahmen des Prozesses ein Energiesystemmodell eingesetzt, in das die mit den Arbeitsgruppen abgestimmten Annahmen zu Strategien, zentralen Parametern sowie zu Rahmendaten eingehen. Ergebnis der Modellrechnungen sind schließlich **Szenarien** für die zukünftige Entwicklung des Energiesystems in Deutschland und NRW.

Die mit Hilfe des Energiesystemmodells durchgeführte Szenarioanalyse zeigt u.a. auf, welche Treibhausgasemissionen sich bei einer Realisierung der von den Arbeitsgruppen für Nordrhein-Westfalen beschriebenen Klimaschutzstrategien ergeben würden und welche wichtige Stell-schrauben sind, um die Klimaschutzziele für die Jahre 2020 und 2050 zu erreichen. Durch die Berechnungen ergeben sich auch Hinweise auf mögliche quantitative zeitliche Zwischenziele zur Reduktion der Gesamtmenge von Treibhausgasen für den Zeitraum bis 2050 und auf die möglichen Minderungsbeiträge der einzelnen Sektoren, wie sie im Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen vorgesehen sind.

Die Grundannahmen für die umgesetzten Strategien und damit die Szenarioberechnungen ergeben sich direkt aus den Angaben der Akteure aus den Arbeitsgruppen. Ist in den Arbeitsgruppen keine hinreichende Quantifizierung und Spezifizierung der angestrebten Entwicklungen erfolgt, wurden bei Bedarf die für die Modellierung notwendigen weiteren Parameter aus anerkannten nationalen Untersuchungen (z.B. Energieszenarien der Bundesregierung) bzw. Zielvorgaben für die Bundesebene (aus dem Energiekonzept der Bundesregierung) abgeleitet und mit den Akteuren diskutiert.

Das grundsätzliche Verfahren für die Erstellung der Szenarien ist in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt:

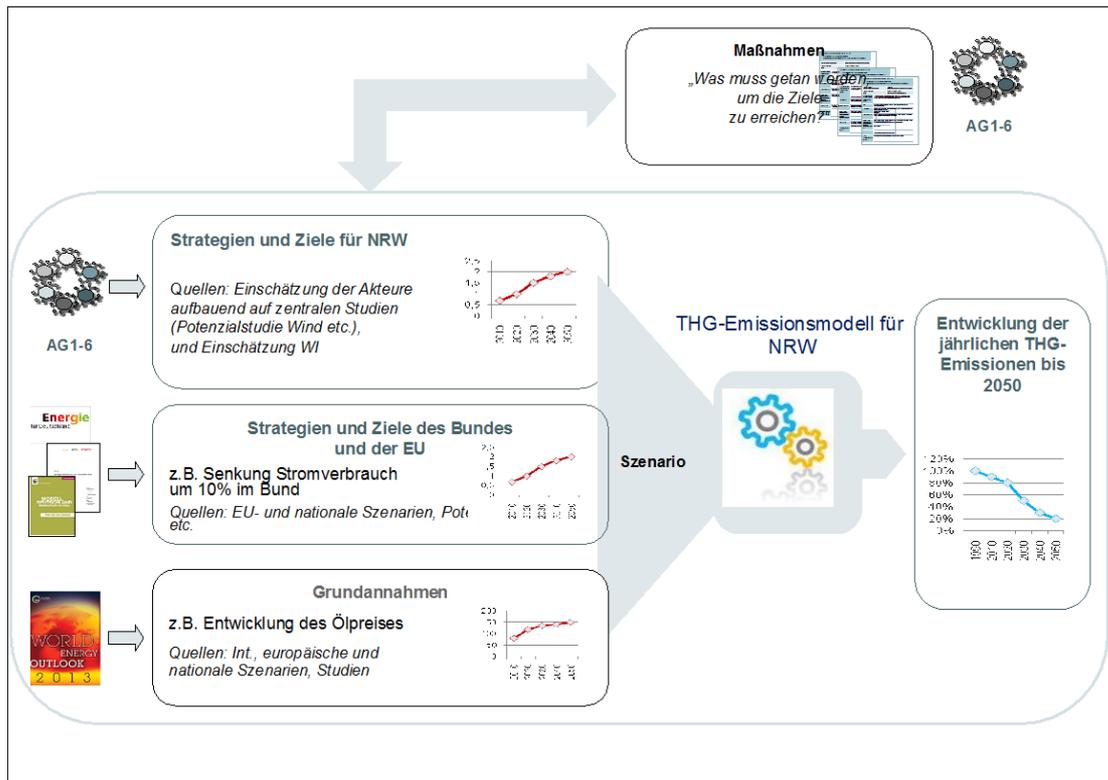


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Entwicklung von Szenarien im Dialog- und Beteiligungsprozess (Quelle: IFOK/WI)

Auf Basis der vorliegenden Szenarioberechnungen wird eine Impactanalyse (Wirkungsanalyse) durchgeführt, die aufzeigen soll, welche weiteren Auswirkungen die Szenarien neben der Treibhausgasreduzierung haben können (z.B. Auswirkungen auf Natur und Umwelt, gesamtwirtschaftliche Wechselwirkungen oder soziale und beschäftigungspolitische Effekte). Im Anschluss soll diskutiert werden, ob vor diesem Hintergrund die Szenarien anders zu bewerten sind und ggf. angepasst werden müssten.

1.2 Funktion und Grenzen der Szenarien

Szenarien sind keine Prognosen, sie gehen von "Wenn-Dann-Beziehungen" aus und beschreiben auf der Basis eines in sich geschlossenen Annahmengerüsts mögliche Zukünfte. Die Szenariomethodik bietet dementsprechend den Vorteil, durch die Variation der Annahmen den Einfluss dieser exogenen Parameter identifizieren und unterschiedliche Zukunftspfade beschreiben und diskutieren zu können. Dieser Ansatz ist im Rahmen des Dialog- und Beteiligungsprozesses zur Erstellung des Klimaschutzplans aufgegriffen worden. Auf der Basis übergeordneter Einflussgrößen wie z.B. der Entwicklung der Energieträgerpreise, der Bruttowertschöpfung, des CO₂-Preispfads, der Entwicklung der Investitionskosten von Kraftwerken und der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie der in den einzelnen Arbeitsgruppen zum Teil voneinander abweichenden Vorstellungen über eine mögliche zukünftige Ausprägung zentraler Parameter für die ausgewählten Strategien (z.B. energetische Sanierungsrate, Ausbaupfad erneuerbarer Energien) ist ein Szenariokorridor entstanden, der den unterschiedlichen Bewertungen der Akteure der zentralen Parameter Rechnung trägt und entsprechend unterschiedliche Zukunftsvorstellungen beschreibt.

Die im Rahmen des Prozesses erarbeiteten Szenarien basieren auf zentralen Annahmen (z.B. Energieträgerpreise) und Angaben, die naturgemäß vor dem Hintergrund der aktuellen bzw. für die Zukunft absehbaren Rahmenbedingungen formuliert worden sind (z.B. Marktbedingungen, Strompreise, Energie- und Strommarktdesign). Ändern sich diese Rahmenbedingungen kann dies durch die Akteure zu entsprechend abweichenden Bewertungen führen.

Grundlage der quantitativen Abbildung des Energiesystems und der Treibhausgasemissionen Nordrhein-Westfalens ist wie national und international üblich eine Quellenbilanz für die THG-Emissionen. Im Rahmen der Szenarienerstellung können aufgrund der systemimmanenten Grenzen der Methodik nicht alle für den Klimaschutz in NRW relevanten Aspekte betrachtet und nicht alle in den verschiedenen Arbeitsgruppen diskutierten Strategieelemente eingebunden werden. In den Klimaschutzplan-Arbeitsgruppen wurde thematisiert, dass Emissionsminderungen durch den Einsatz effizienter(er) Produkte, die in NRW produziert aber außerhalb von NRW genutzt werden (z.B. Wärmedämmmaterialien), von der Quellenbilanz nicht erfasst werden. Zu dieser Thematik wurde eigens eine ad hoc-Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich mit dem Thema „Methodik zur Bilanzierung der Wirkung klimafreundlicher Produkte“ beschäftigt. Diese ad hoc-AG diskutiert v.a. methodische Probleme der Quantifizierung solcher Effekte und soll Vorschläge unterbreiten, wie damit im Rahmen des Klimaschutzplanprozesses umgegangen werden soll. Zudem sieht § 6 Abs. 3 Klimaschutzgesetz NRW vor, dass die Wirkungsbeiträge und Wechselwirkungen von Maßnahmen des Bundes und der EU einzubeziehen und darzustellen sind sowie die Wirkungsbeiträge und Wechselwirkungen von Produktionsverlagerungen nach und aus NRW bei der Berechnung der Gesamtemissionen in geeigneter Weise zu berücksichtigen sind. Die *Arbeitsgruppe 5 - Landwirtschaft* hat in einem eigenen Textbaustein die grundsätzliche Speicher- und Senkenleistung von Wald und Boden herausgearbeitet, die in die Szenarioerstellung ebenfalls nicht eingeht.

Es gibt darüber hinaus Strategiebereiche, in denen derzeit nicht genügend Hintergrundinformationen vorhanden und Erfahrungen verfügbar sind, um eine für die Modellierung notwendige Quantifizierung ihrer Wirkung durchzuführen. Dazu gehört z.B. die Strategie „Intensivierung der Nutzung von Produkten (z.B. durch eine gemeinschaftliche Nutzung)“ aus dem Handlungsfeld Konsum/Ernährung der *AG 6 - Private Haushalte*³.

Aus diesen vorgenannten Komponenten sind weitere Minderungsbeiträge zu erwarten. Diese sind derzeit in der Modellierung nicht bestimmbar, werden aber durch weitere wissenschaftliche Forschung und eine Verbesserung der Datenbasis (u.a. im Rahmen einer kontinuierlich durchgeführten Analyse des Ist-Zustandes im Rahmen des zukünftigen Monitoringprozesses) besser abgebildet werden können. Vor diesem Hintergrund wird der Klimaschutzplan auch nach seiner Fertigstellung wie im Klimaschutzgesetz bereits vorgesehen entsprechend kontinuierlich weiterentwickelt werden müssen.

³ Die mit der Strategie verbundene Reduktion der Produktnachfrage führt aufgrund des Mengeneffektes zunächst zu einer Verringerung der THG-Emissionen in der Produktion des spezifischen Produktes. Möglicherweise kann es aufgrund der höheren Qualitätsanforderungen an das Produkt aber auch zu einer spezifischen Erhöhung von Energiebedarf und assoziierten THG-Emissionen im Produktionsprozess des langlebigeren Produktes kommen. Hinreichende Daten für eine Nettobilanz liegen derzeit nur für einzelne Produktbeispiele vor.

2 Annahmen und Szenarienbeschreibung

2.1 Grundannahmen

Zu Beginn des Partizipationsprozesses zur Erarbeitung des Klimaschutzplans wurden in den Arbeitsgruppen die zentralen Grundannahmen für die Szenarienerstellung festgelegt. Zu den Grundannahmen gehören Daten wie die globale Energiepreisentwicklung, die Entwicklung der CO₂-Emissionszertifikatspreise oder auch die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland und NRW. In Tabelle 1 werden die zentralen Parameter und ihre Entwicklung bis 2050 dargestellt. Diese Parameter sind in alle unten dargestellten Szenarien eingeflossen.

Tabelle 1: Grundannahmen der Szenarien

	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 frei Kraftwerk	EUR ₂₀₁₀ /MWh		11	11	13	18	18	WEO 2010 (IEA/OECD 2010), abweichend von ESz BuReg!
	Braunkohlepreis frei Kraftwerk	EUR ₂₀₁₀ /MWh		5,0	5,1	5,2	5,4	5,5	Wuppertal Institut
	Kernbrennstoff UO ₂ frei Kraftwerk	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	

2.2 Darstellung der Szenarien

2.2.1 Szenarienübersicht

Die Szenarienbausteine wurden zunächst arbeitsgruppenspezifisch erarbeitet. Von den Mitgliedern der einzelnen Arbeitsgruppen wurden im Rahmen der Erarbeitung der Szenarien zum Teil unterschiedliche Vorstellungen über die Entwicklung zentraler Variablen respektive Entwicklungspfade in die Diskussion eingebracht. Dies gilt vor allem in der *Arbeitsgruppe 1 - Umwandlung* für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien im Bereich der Stromerzeugung, in der *Arbeitsgruppe 2 - Produzierendes Gewerbe / Industrie* für die Nutzung sog. „low carbon“ Technologien (z.B. Direktreduktion mit Wasserstoff zur Stahlerzeugung) sowie die Entwicklung der Bruttowertschöpfung und in der *Arbeitsgruppe 3 – Bauen/GHD* für die Entwicklung der energetischen Sanierungsrate im Bereich des Gebäudebestandes. Im Klimaschutzplanprozess wurde deshalb entschieden, verschiedene Szenariovarianten zu berechnen, um die Bandbreite der möglichen Annahmen erfassen und eine vergleichende Analyse durchführen zu können.

Die Darstellung der verschiedenen Szenariovarianten der *Arbeitsgruppen 1 - Umwandlung, 2 – Produzierendes Gewerbe / Industrie* und *3 – Bauen / GHD* erfolgt an dieser Stelle lediglich in der Übersicht (siehe auch Abbildung 3). Vertiefende Darstellungen sind in den arbeitsgruppenspezifischen Kapiteln enthalten. Die übrigen Arbeitsgruppen haben sich jeweils auf eine einzige Szenariovariante verständigt.

Szenariovarianten der *AG 1 - Umwandlung*

Die *Arbeitsgruppe 1 - Umwandlung* hat sich für vier unterschiedliche Ausbaupfade der erneuerbaren Energien für den Zeitverlauf bis zum Jahr 2050 in Deutschland und damit auch für NRW entschieden. Der höhere Ausbaupfad entspricht für die nationale Ebene dabei weitestgehend dem Szenario A aus der BMU Leitstudie 2011⁴ – allerdings erfolgte hier eine Anpassung der Anteile zwischen offshore und onshore Windenergie zu Gunsten der onshore Windenergie u.a. um den aktuellen Trend der Zeitverzögerungen bei der Erschließung der offshore Standorte abzubilden. Gleichzeitig wird zugunsten der heimischen Wind- und Solarenergie von keinem Stromimport der erneuerbaren Energien aus dem Ausland ausgegangen. Der niedrige Ausbaupfad basiert auf den Annahmen aus den Energieszenarien der Bundesregierung⁵ (BMWi 2010). Gegenüber dem hohen Ausbaupfad setzt der niedrige Ausbaupfad schon bis 2020 auf einen deutlichen geringeren Zubau und geht für dieses Jahr von einem Deckungsanteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung von 35% aus. Zudem ist ein mittlerer Ausbaupfad definiert worden, der auf dem Szenario A aus der BMU Leitstudie 2011 basiert, jedoch von einer deutlich reduzierten Windenergieleistung ausgeht und unterstellt, dass nur 50 % des im Szenario A der BMU Leitstudie angenommenen Wind-Offshore Ausbaus umgesetzt wird. Während sich die

⁴ Nitsch, J.; Pregger, T.; Scholz, Y.; Naegler, T. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. No. BMU - FKZ 03MAP146. Leitstudie. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf

⁵ BMWi (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. No. 12/10. Basel/Köln/Osnabrück: ewi, gws, prognos

Ausbaudynamik bis 2020 sehr deutlich von dem niedrigen Ausbaupfad unterscheidet, näherten sich mittlerer und niedriger Ausbaupfad bis zum Ende des Betrachtungszeitraums deutlich an. Schließlich soll ein Pfad mit dem Ziel einer 100%igen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050 für Deutschland betrachtet werden. Für die mittlere Ausbauvariante und die 100%-Variante wurden im Prozess aus Zeit- und Ressourcengründen keine eigenen Berechnungen durchgeführt. Aufgrund der zu erwartenden zusätzlichen Erkenntnisse für den Dialogprozess wurde für das 100%-Szenario zunächst eine Grobabschätzung durchgeführt, die eine erste Einstufung der zu erwartenden Entwicklungen eines 100%-Szenarios erlaubt. Eine Berechnung der Szenarien erfolgte im Anschluss.

Die für Deutschland unterschiedenen Ausbaupfade für die erneuerbaren Energien wurden ausgehend von Diskussionen in der Arbeitsgruppe für den hohen Ausbaupfad in entsprechender Weise auf NRW übertragen.

Die Arbeitsgruppe 1 hat sich darüber hinaus dafür entschieden, eine eigene Szenariovariante mit der Berücksichtigung der CCS-Technologie⁶ berechnen zu lassen.

Szenariovarianten der AG 2 – Produzierendes Gewerbe / Industrie

Die *Arbeitsgruppe 2 - Produzierendes Gewerbe / Industrie* hat sich für zwei unterschiedliche Varianten hinsichtlich Verfügbarkeit und Einsatz von sog. „low carbon“ Technologien in der Industrie entschieden. Das BAT-Szenario (BAT steht hier für best available technology) geht davon aus, dass bei Ersatz oder Neubau von Industrieanlagen die heute jeweils beste verfügbare Technologie eingesetzt wird. Die Low Carbon-Szenariovariante geht darüber hinaus davon aus, dass auch fortschrittliche Technologien zum Einsatz kommen werden, die heute noch nicht zur Verfügung stehen, Technologiesprünge bedürfen bzw. großtechnisch unter heutigen Rahmenbedingungen noch nicht eingesetzt werden können. Die Annahmen für die Low Carbon-Szenariovariante sind mit den Vertretern der AG 2 diskutiert worden, basieren aber letztlich auf Einschätzungen über mögliche technische Entwicklungen des Wuppertal Instituts (z.B. Einsatz von regenerativem H₂ in der Ammoniakherstellung, katalytisches Cracken bzw. optimiertes Cracken, Infrarottrocknung in der Papierherstellung, elektrische Wannenbeheizung in der Behälterglaserzeugung).

Die Szenariovarianten BAT und Low Carbon wurden von der Arbeitsgruppe 2 jeweils mit unterschiedlichen Varianten für die Entwicklung des Wirtschaftswachstums hinterlegt. Die Wachstumsvarianten setzen konkret auf drei unterschiedlichen Zuwachsraten für die Bruttowertschöpfung in der Industrie in NRW auf (0,6 %/a; 1,2 %/a und 1,6 %/a).

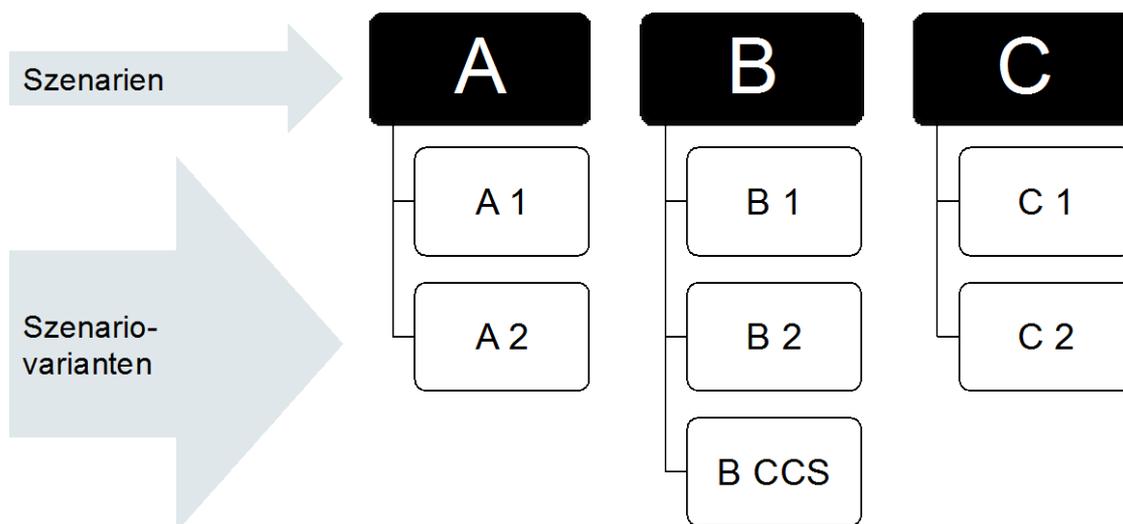
Szenariovarianten der AG 3 – Bauen / GHD

⁶ Carbon Dioxide Capture and Storage. Das in 2012 verabschiedete CCS Gesetz erlaubt in Deutschland zunächst nur die Abscheidung und Lagerung vergleichsweise geringer Mengen an CO₂ und kann daher allenfalls als Grundlage für Forschungs- und Demonstrationsvorhaben gelten. Der überwiegende Anteil der Bundesländer hat sich in Deutschland bis dato deutlich gegen CCS ausgesprochen. Die rot-grüne Landesregierung NRW sieht für die CCS-Technologie keine praktische Relevanz zur Reduktion der CO₂-Emissionen aus der Energiewirtschaft in NRW.

In der *Arbeitsgruppe 3 – Bauen / GHD* wurde in Analogie zum Verfahren in den AGs 1 und 2 ein Korridor für die energetische Sanierungsrate von 0,7 % über 1,4 % bis 2,0 % vereinbart. Die entsprechende Berechnung des Korridors in verschiedenen Szenarien zeigt den rechnerischen Einfluss dieses Parameters auf. Es ist gemeinsames Verständnis der Akteure der AG3, dass dies neben weiteren Kriterien wie z.B. der Wirtschaftlichkeit eine Basis für den weiteren, technologieoffenen Entscheidungsprozess ist.

Szenariokombinationen

Das Wuppertal Institut hat auf Basis der Rückmeldungen aus den verschiedenen Arbeitsgruppen zu den zentralen Parametern aus der Vielzahl von möglichen Kombinationen eine Auswahl getroffen, die einerseits die gesamte Bandbreite der in den Arbeitsgruppen vorgeschlagenen Parameter erfasst und gleichzeitig in sich konsistente, d.h. widerspruchsfreie Szenarien liefert. Die im Rahmen des Partizipationsprozesses letztlich betrachtete Bandbreite und Struktur der Szenarien ist Abbildung 2 zu entnehmen. Dabei stehen die Bezeichnungen A, B und C für drei hier ausgewählte Hauptszenarien, die untereinander signifikante Unterschiede in den Parametern aufweisen und durch unterschiedliche „Storylines“ beschrieben werden können. Die weiteren durch die Nummerierung gekennzeichneten Szenarien unterscheiden sich von diesen Hauptszenarien durch die Variation einzelner Parameter und bieten damit die Möglichkeit, die Einflussgröße dieser Parameter einzuschätzen. Das Szenario A steht dabei für eine weitgehende Umsetzung von best available technologies (BAT), das Szenario B für eine ergänzende Einbeziehung von „low carbon“-Technologien“ (LC) und das Szenario C für eine mit B vergleichbare Entwicklung jedoch bei einer gegenüber B geringeren Annahme für die Entwicklung der industriellen Bruttowertschöpfung. Das Szenario C entspricht dabei in weiten Teilen den Annahmen aus dem Energiekonzept der Bundesregierung⁷.



⁷ Die Akteure haben im Rahmen des Beratungsprozesses gegenüber dem Ursprungsszenario aus dem Energiekonzept der Bundesregierung allerdings Anpassungen in den Annahmen vorgenommen, insbesondere bezüglich der Produktionsmengen in der Industrie (z.B. Stahl, Aluminium), die zu einer Erhöhung der Treibhausgasmissionen führen.

Abbildung 2: Szenarienübersicht (auf der Basis der Kombination von Vorgaben aus den Arbeitsgruppen)

Über die zuvor genannten Variablen bzw. Entwicklungspfade hinaus wurden von den AG-Mitgliedern auch unterschiedliche Vorstellungen über die Entwicklung der Stromnachfrage geäußert. Hierbei handelt es sich allerdings 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.

2.2.2 Storylines der Szenarien

Szenario A

Das Szenario A setzt auf den niedrigen Ausbaupfad der erneuerbaren Energien in Deutschland und in NRW. Das Produktionswachstum im Sektor Industrie⁸ beträgt getrieben durch eine europäische Re-Industrialisierungsstrategie bezogen auf den Zeitraum 2010 bis 2050 durchschnittlich 1,2 %/a und liegt damit deutlich über dem Wachstum der vergangenen Jahre⁹. Bei Ersatz und Neubau von Industrieanlagen wird grundsätzlich auf die Best Available Technology (BAT) zurückgegriffen. Die energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand steigt gegenüber dem heutigen Niveau im Zeitverlauf auf 1,4 %/a an. Im Verkehr sinkt wie in allen anderen Szenarien die PKW-Zahl durch den Bevölkerungsrückgang, die Effizienz der Antriebssysteme steigt und die starke Steigerung der Güterverkehrsleistung wird sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene und durch die Binnenschifffahrt bewältigt. Der Modal Split der im Personenverkehr zurückgelegten Wege verschiebt sich in NRW zu Lasten des Pkw hin zu mehr Radverkehr und öffentlichem Verkehr. Im Ergebnis führen die getroffenen Annahmen zu einer weitgehend konstanten Stromnachfrage.

Variante A1

In dieser Variante ist mit 0,7 %/a eine geringere durchschnittliche energetische Sanierungsrate für den Zeitverlauf angenommen worden. Aufgrund der Annahme von Hemmnissen in der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen über einen Zeitraum von fast vier Dekaden wird im Mittel eine Größenordnung erreicht, die leicht unterhalb des heutigen Niveaus liegt. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante A1 dem Szenario A.

⁸ Industrie in der Abgrenzung der Energiebilanzen, d.h. Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes und des Bergbaus (ohne Kohlebergbau) mit 20 und mehr Beschäftigten.

⁹ Die Industrie wuchs in Deutschland in der verwendeten Abgrenzung (s. Fn. 9) zwischen 1995 und 2010 durchschnittlich um 0,9%/a (inflationsbereinigt), in NRW war im gleichen Zeitraum ein durchschnittlicher Rückgang der Wertschöpfung um 0,7%/a zu verzeichnen (eigene Berechnung des Wuppertal Institut auf Basis von Zahlen des Statistischen Bundesamtes sowie von IT.NRW; eine Bruttowertschöpfung für die Industriebranchen in NRW wird in der Produktionsstatistik nicht ausgewiesen, diese wurde branchenweise über den jeweiligen Anteil der NRW-Industrie am Umsatz der Branche in Deutschland ermittelt).

Variante A2

In dieser Variante wird gegenüber der Hauptvariante ein höherer Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland angenommen (hoher Ausbaupfad). Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante A2 dem Szenario A.

Szenario B

Das Szenario B setzt auf den hohen Ausbaupfad der erneuerbaren Energien in Deutschland (und NRW). Das Wirtschaftswachstum im Sektor Industrie ist wie im Szenario A mit 1,2% angenommen (s.o.). Bei Ersatz und Neubau von Industrieanlagen wird grundsätzlich auf die Best Available Technology (BAT) zurückgegriffen. Ergänzend dazu kommen Low-Carbon-Technologien im Bereich der Industrie zum Einsatz. Die energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand steigt im Rahmen einer Sanierungsoffensive auf eine durchschnittliche Rate von 2% im Jahr bis 2050. Im Verkehr sind die gleichen Annahmen getroffen wie im Szenario A (s.o.). Im Ergebnis führen die getroffenen Annahmen zu einer weitgehend konstanten Stromnachfrage (bis 2050 ergibt sich eine gegenüber 2008 um ca. 5% niedrigere Stromnachfrage).

Variante B1¹⁰

In dieser Variante ist im Vergleich zu B mit 1,4 % eine geringere durchschnittliche energetische Sanierungsrate bis 2050 angenommen. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante B1 dem Szenario B.

Variante B2¹¹

In dieser Variante ist angenommen, dass die Stromerzeugung bis 2050 vollständig durch erneuerbare Energien erfolgt. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante B2 dem Szenario B.

Variante B CCS

In dieser Variante wird von dem Einsatz von CCS in der Stromerzeugung und dem niedrigen Wachstumspfad für die erneuerbaren Energien ausgegangen. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante B CCS dem Szenario B.

Szenario C

Das Szenario C setzt wie das Szenario B auf einen hohen Ausbaupfad der erneuerbaren Energien in Deutschland. Das Wirtschaftswachstum im Sektor Industrie beträgt, wie auch im Energiekonzept der Bundesregierung unterstellt, konstant 0,6 %/a¹². Bei Ersatz und Neubau von Industrieanlagen wird wie im Szenario B in verschiedenen Branchen auf Low-Carbon-Technologien zurückgegriffen (s.o.). Die energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand

¹⁰ Für diese Variante wurde keine vollständige Modellrechnung durchgeführt, sondern erfolgte lediglich eine Grobabschätzung der resultierenden Veränderungen gegenüber der Hauptvariante durch das Wuppertal Institut.

¹¹ Für diese Variante wurde keine vollständige Modellrechnung durchgeführt, sondern erfolgte lediglich eine Grobabschätzung der resultierenden Veränderungen gegenüber der Hauptvariante durch das Wuppertal Institut.

¹² Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Akteure der AG 2 gegenüber dem Energiekonzept der Bundesregierung von einer deutlich höheren Produktnachfrage im Bereich der energieintensiven Industrie ausgehen, die sich auch emissionsseitig in signifikanter Weise bemerkbar macht (vgl. Kapitel 4).

steigt wie im Szenario B auf eine durchschnittliche Rate von 2 % im Jahr bis 2050 (s.o.). Im Verkehr sind die gleichen Annahmen getroffen wie im Szenario A und B (s.o.). Im Ergebnis führen die getroffenen Annahmen zu einer gegenüber heute deutlich (ca. 11,3 %) rückläufigen Stromnachfrage bis 2050.

Variante C1

In dieser Variante wird ein niedriger Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland angenommen. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante C1 dem Szenario C.

Variante C2¹³

In dieser Variante ist angenommen, dass die Stromerzeugung bis 2050 vollständig durch erneuerbare Energien erfolgt. Alle anderen Parameter entsprechen in der Variante C2 dem Szenario C.

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

Abbildung 3: Übersicht über die berechneten Szenarien und Szenariovarianten

¹³ Für diese Variante wurde keine vollständige Modellrechnung durchgeführt, sondern erfolgte lediglich eine Grobabschätzung der resultierenden Veränderungen gegenüber der Hauptvariante durch das Wuppertal Institut.

3 Zentrale Ergebnisse

3.1 Die Szenarien A, B und C

Wird die insgesamt, d.h. die über alle Sektoren hinweg erzielbare Treibhausgasminderung für die drei Szenarien A, B und C betrachtet, zeigt Tabelle 7: Das von der Landesregierung für das Jahr 2020 gesetzte Klimaschutzziel der Minderung der THG-Emissionen von 25% gegenüber 1990 kann in zwei der drei Hauptszenarien erreicht werden. Die für das Jahr 2050 im Klimaschutzgesetz formulierte Zielmarke für die Minderung der THG-Emissionen von mindestens 80% wird rein rechnerisch nicht in den Hauptszenarien, jedoch mit einer bestimmten Kombination von Parametern erreicht (vgl. Tabelle 7 und Kapitel 4).

Die sektorspezifischen Beiträge zur jeweiligen Minderung werden in Kapitel 3.3 sowie Tabelle A2 im Anhang erläutert.

Tabelle 2: Entwicklung der gesamten THG Emissionen in NRW bis 2050 in den Szenarien A, B und C (in 1000 t CO_{2eq}); 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 1990/2020	Minderung 1990/2050
Szenario A	344.244	310.017	273.136	243.048	171.115	146.610	-21%	-57%
Szenario B	344.244	310.017	253.618	211.213	149.742	121.438	-26%	-65%
Szenario C	344.244	310.017	244.752	196.083	138.967	106.050	-29%	-69%

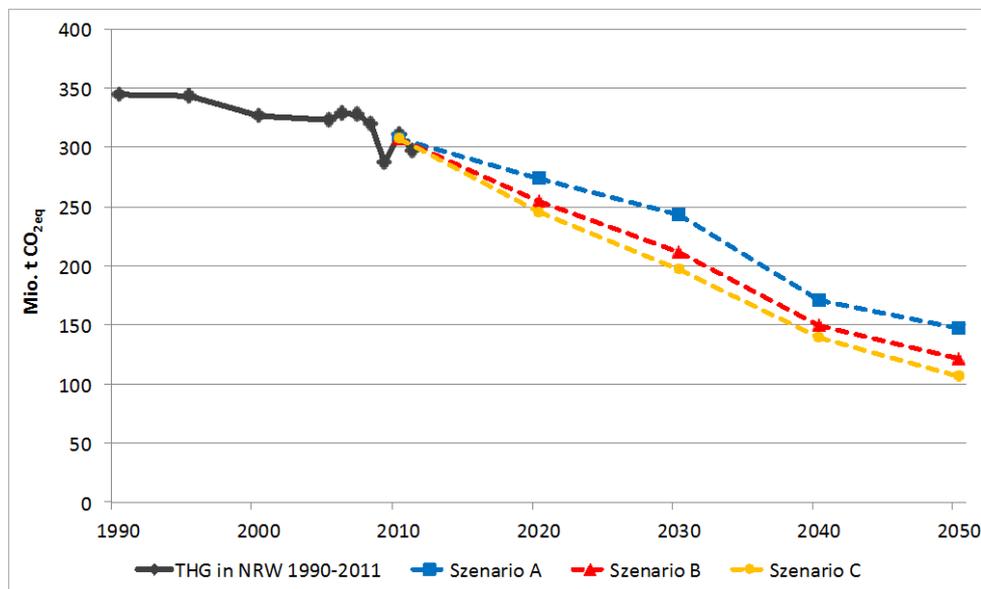


Abbildung 4: Entwicklung der THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) ohne flüchtige energiebedingte THG in NRW bis 2050 der Szenarien A, B und C (1990 - 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV)

3.2 Varianten zu den Szenarien

3.2.1 Varianten zu Szenario A

Die Szenariovariante A1 unterscheidet sich vom Szenario A lediglich durch die Annahme einer geringeren energetischen Sanierungsrate im Gebäudebestand (0,7% statt 1,4%) was zu einer nur sehr leicht geringeren Emissionsminderung im Vergleich zum Hauptszenario führt (Abbildung 5 und Tabelle 3). Für das Jahr 2020 und 2050 ermittelt sich bei A1 jeweils eine um weniger als einen Prozentpunkt geringere Minderung gegenüber 1990 wie im Hauptszenario A. Der Grund für diesen geringen Unterschied liegt einerseits in der relativen quantitativen Dominanz der Emissionen aus den Sektoren Umwandlung und Industrie in NRW, aber auch daran, dass ein Teil der gegenüber dem Hauptszenario entfallenden gebäudeseitigen Maßnahmen durch den Einsatz effizienter Heizungstechnologien im Rahmen des Erneuerungszyklus kompensiert werden kann.

Die Szenariovariante A2, die von einem höheren Ausbaupfad der erneuerbaren Energien gegenüber dem Szenario A ausgeht, zeigt dagegen eine signifikant höhere Emissionsminderung. Im Jahr 2050 ermittelt sich hierdurch eine THG-Minderung von knapp 60% ggü. 1990 im Vergleich zu 57% im Szenario A.

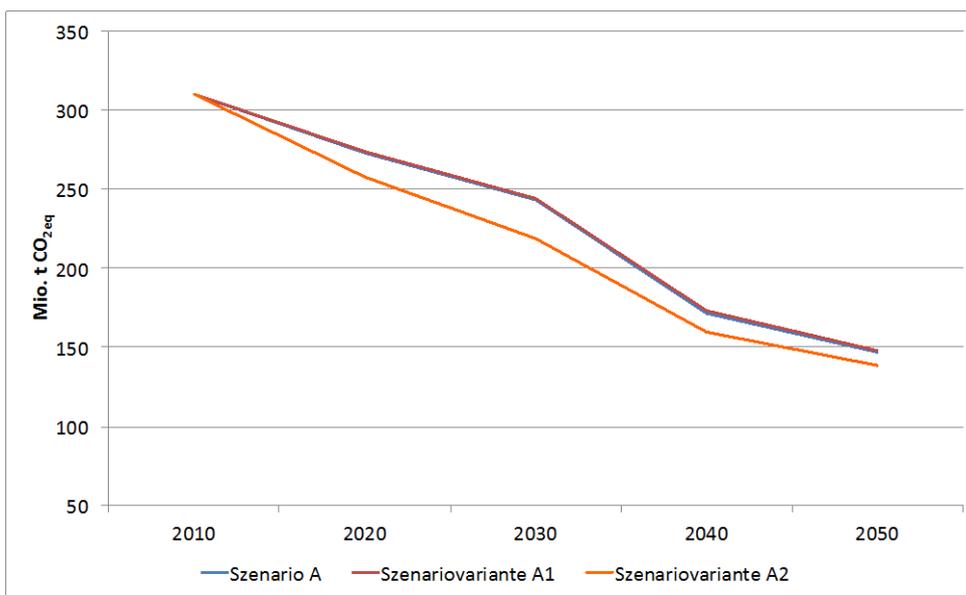


Abbildung 5: Entwicklung der THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) der gesamten THG Emission in NRW bis 2050 im Szenario A und den Szenariovarianten A1 und A2

Tabelle 3: Entwicklung der gesamten THG Emissionen in NRW bis 2050 in den Szenarien A, A1 und A2 (in 1000 t CO_{2eq}); 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 1990/ 2020	Minderung 1990/ 2050
Szenario A	344.244	310.017	273.136	243.048	171.115	146.610	-21%	-57%
Szenario-variante A1	344.244	310.017	273.856	244.250	172.863	147.939	-20%	-57%
Szenario-variante A2	344.244	310.017	257.674	218.974	159.560	138.312	-25%	-60%

3.2.2 Varianten zu Szenario B

Die Szenariovariante B1 unterscheidet sich von dem Szenario B durch eine geringere energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand (1,4% statt 2,0%). Entsprechend der Variation der Szenariovariable im Szenario A ergibt sich wegen der gegenseitig zumindest teilweise kompensierenden Effekte hierdurch nur eine sehr geringfügige Auswirkung auf die THG-Emissionen: für das Jahr 2020 und 2050 ermittelt sich bei B1 jeweils eine um weniger als einen Prozentpunkt geringere Minderung gegenüber 1990 wie im Hauptszenario B.

Die Szenariovariante B2 unterscheidet sich vom Szenario B dadurch, dass eine 100% Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in 2050 auf nationaler Ebene angenommen wurde. Die Emissionsminderungen liegen aufgrund des hohen Einsatzes der erneuerbaren Energien deutlich höher als im Szenario B, was einerseits auf direkte Effekte im Bereich des Umwandlungssektors zurückzuführen ist (d.h. Substitution der Stromerzeugung in fossilen Kraftwerken durch erneuerbare Energien), andererseits aber auch durch die Möglichkeit, verstärkt Überschussstrom in Endenergiesektoren in direkter oder indirekter Form (d.h. z.B. in Form von Wasserstoff) einzusetzen. Diese Szenariovariante ergibt bis zum Jahr 2050 eine Minderung der THG-Emissionen von 79% ggü. 1990.

Die Szenariovariante BCCS geht perspektivisch (d.h. ab 2025) vom Einsatz der CCS-Technologie im Umwandlungssektor aus, ein Einsatz im Industriesektor ist nach den von den Akteuren getroffenen Annahmen weiterhin nicht vorgesehen. Darüber hinaus unterscheidet sich die Variante durch einen niedrigeren Ausbaupfad der erneuerbaren Energien vom Szenario B.

Die Emissionsminderungen liegen in der Szenariovariante BCCS höher als im Szenario B, da der geringere Ausbau der erneuerbaren Energien durch die Minderungen durch CCS überkompensiert werden. Insgesamt liegen bei der Variante BCCS die THG-Emissionen im Jahr 2050 von 67 % unterhalb des Niveaus des Jahres 1990.

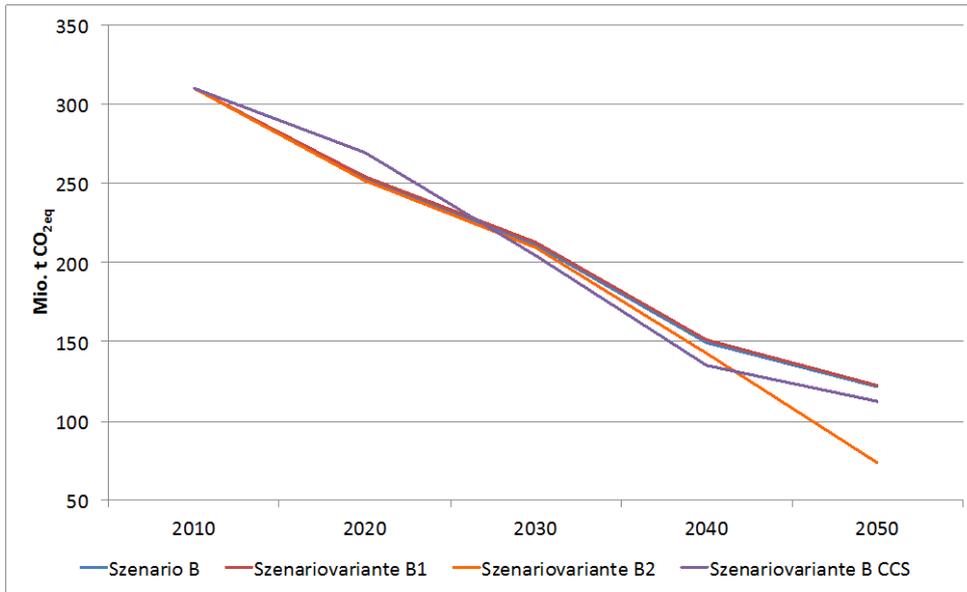


Abbildung 6: Entwicklung der THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) der gesamten THG Emission in NRW bis 2050 des Szenarios B und der Szenariovarianten B1, B2 und BCCS

Tabelle 4: Entwicklung der gesamten THG Emissionen in NRW bis 2050 in den Szenarien B, B1, B2 und B CCS (in 1000 t CO_{2eq}); 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 1990/2020	Minderung 1990/2050
Szenario B	344.244	310.017	253.618	211.312	149.742	121.438	-26%	-65%
Szenariovariante B1	344.244	310.017	254.439	212.566	150.855	122.207	-26%	-64%
Szenariovariante B2	344.244	310.017	251.927	209.780	142.408	73.726	-27%	-79%
Szenariovariante B CCS	344.244	310.017	269.200	204.101	134.853	112.468	-22%	-67%

3.2.3 Varianten zu Szenario C

Die Szenariovariante C1 unterscheidet sich von dem Szenario C durch einen niedrigeren Ausbaupfad der erneuerbaren Energien (Abbildung 7) und hat daher eine geringere Emissionsminderung zufolge. Im Jahr 2020 ergeben sich bei C1 um rund 4,5 Prozentpunkte und im Jahr 2050 um einen Prozentpunkt weniger Minderung gegenüber dem Hauptszenario C bezogen auf das Jahr 1990.

Die Szenariovariante C2, in der eine 100% Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in 2050 in Deutschland angenommen wurde, zeigt aufgrund dieser Annahme dagegen eine deutlich höhere Emissionsminderung. Mit einer Minderung der THG-Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts von 82% ggü. 1990 wird das von der Landesregierung angestrebte Minderungsziel erreicht.

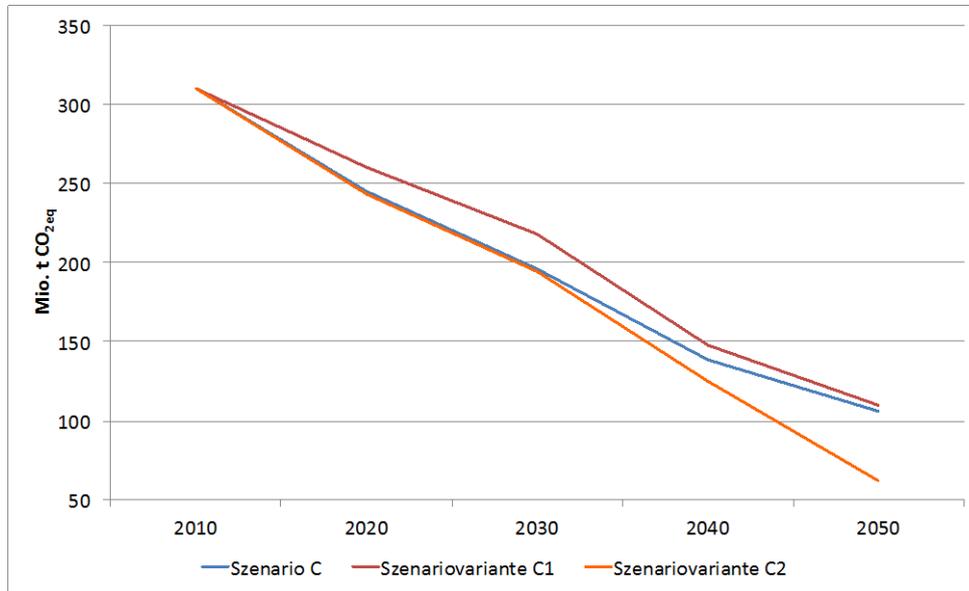


Abbildung 7: Entwicklung der THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) der gesamten THG Emission in NRW bis 2050 des Szenarios C und der Szenariovarianten C1 und C2

Tabelle 5: Entwicklung der gesamten THG Emissionen in NRW bis 2050 in den Szenarien C, C1 und C2 (in 1000 t CO_{2eq}); 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minde- rung 1990/ 2020	Minde- rung 1990/ 2050
Szena- rio C	344.244	310.017	244.752	196.083	138.967	106.050	-29%	-69%
Szena- rio- varian- te C1	344.244	310.017	259.952	218.345	148.152	109.537	-24%	-68%
Szena- rio- varian- te C2	344.244	310.017	242.952	194.360	125.170	62.112	-29%	-82%

Tabelle 6 zeigt ergänzend in einer Übersicht die absoluten THG-Emissionen in den Bezugsjahren und die korrespondierenden prozentualen Minderungen (2020/2050 ggü. 1990) aller Szenarien, die im Dialog- und Beteiligungsprozess betrachtet wurden.

Tabelle 6: Entwicklung der absoluten THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) und korrespondierenden prozentualen Minderungsszenarien (2020/2050) für alle betrachteten Szenarien für NRW; 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV¹⁴

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 2020/1990	Minderung 2050/1990
Szenario A	344.244	310.017	273.136	243.048	171.115	146.610	-21%	-57%
Szenario-variante A 1	344.244	310.017	273.856	244.250	172.863	147.939	-20%	-57%
Szenario-variante A 2	344.244	310.017	257.674	218.974	159.560	138.312	-25%	-60%
Szenario B	344.244	310.017	253.618	211.312	149.742	121.438	-26%	-65%
Szenario-variante B 1	344.244	310.017	254.439	212.566	150.855	122.207	-26%	-64%
Szenario-variante B 2	344.244	310.017	251.927	209.780	142.408	73.726	-27%	-79%
Szenario-variante B CCS	344.244	310.017	269.200	204.101	134.853	112.468	-22%	-67%
Szenario C	344.244	310.017	244.752	196.083	138.967	106.050	-29%	-69%
Szenario-variante C 1	344.244	310.017	259.952	218.345	148.152	109.537	-24%	-68%
Szenario-variante C 2	344.244	310.017	242.952	194.360	125.170	62.112	-29%	-82%

Die Aufstellung in Tabelle 6 macht noch einmal deutlich, dass in vielen Szenarien und Szenariovarianten eine Reduktion der THG-Emissionen bis 2020 um 25% oder sogar mehr ermittelt wurde. Nur bei einer Kombination aus niedrigem Ausbau erneuerbarer Energien und Fokussierung auf den Einsatz von Best Available Technologies (BAT) bei einem zugleich hohen Zuwachs der Bruttowertschöpfung in der Industrie (Szenario A, A1) sowie bei einer Kombination aus niedrigem Ausbau erneuerbarer Energien und CCS (Szenario BCCS; die CCS-Technologie steht annahmegemäß erst nach dem Jahr 2025 zur Verfügung) resultieren für 2020 THG-Minderungen von 20 % bis 22 %. Für den Zeithorizont bis zum Jahr 2050 ergibt sich eine andere Spannweite: Die Berechnungen der Szenariovariante C2 führen zu einem Minderungswert von 82% gegenüber 1990, während die anderen Szenarien Werte zwischen 57 % und 79 % zeigen.

¹⁴ Bei der Diskussion der AG-spezifischen Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass in den Szenarioberechnungen aus Modellierungsgründen von einer leicht anderen Abgrenzung zwischen AG 1 und AG 2 ausgegangen wird als in den empirischen Werten des LANUV. Dies betrifft vor allem die Zuordnung der Kuppelgas gefeuerten Industriekraftwerke, die in den Modellrechnungen der AG 2 zugeordnet werden.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass Aussagen über einen derart langen Zeithorizont grundsätzlich mit Unsicherheiten verbunden sind (z.B. hinsichtlich des technischen Fortschritts, der weit dynamischer ausfallen kann als hier unterstellt), und zahlreiche potentielle Minderungsbeiträge (z.B. Verhaltensänderungen) in die Ergebnisse nicht eingehen, da sie bisher quantitativ noch nicht mit wissenschaftlicher Exaktheit zu berechnen sind und entsprechend nur qualitativ beschrieben werden konnten (s. dazu das Fazit auf S. 27).

3.3 Übersicht über die Ergebnisse der Szenarien und Varianten für NRW nach Sektoren und Vergleich der Szenarien

In den einzelnen Sektoren (respektive Arbeitsgruppen im Dialog- und Beteiligungsprozess) stellen sich in den Szenarien den Annahmen der Akteure folgend voneinander abweichende Minderungspfade ein.¹⁵ Am Beispiel des Szenarios C zeigt Abbildung 8, dass der Sektor *Umwandlung* und der Sektor *Produzierendes Gewerbe / Industrie* die höchsten **absoluten** Anteile an den Emissionen über den gesamten Betrachtungszeitraum haben und dass bis auf die AG 5 *-Landwirtschaft/ Forst/ Boden* alle Sektoren eine deutliche Emissionsminderung aufweisen (Abbildung 8 und Tabelle 7 sowie Tabelle A2 im Anhang für andere ausgewählte Szenarien).

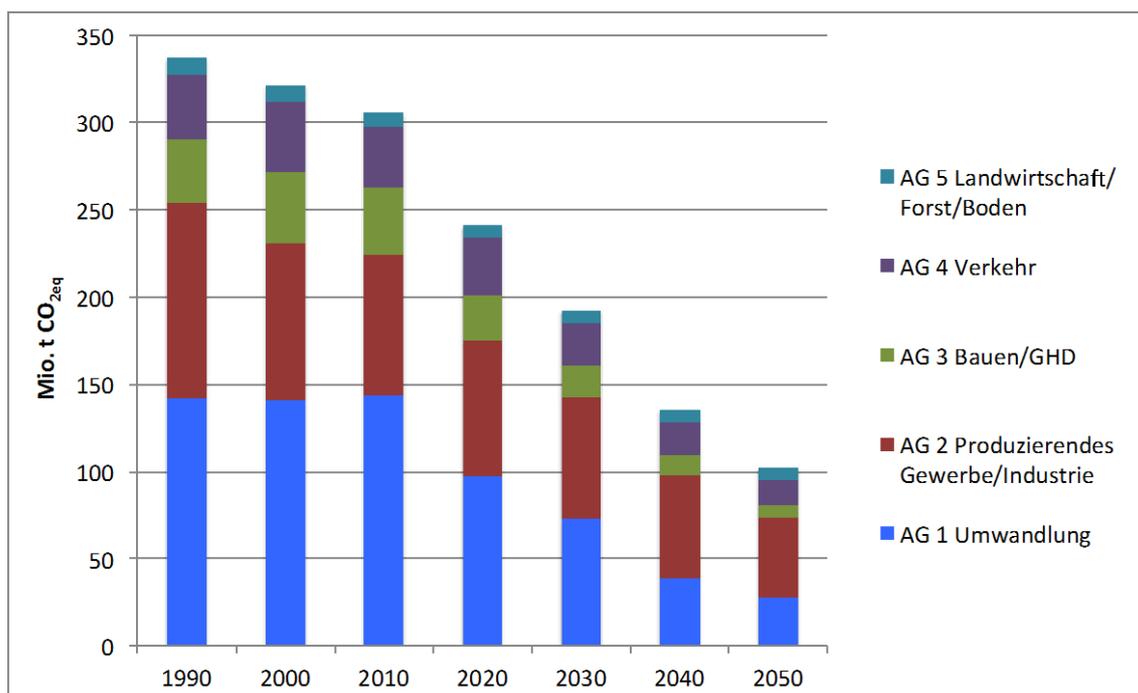


Abbildung 8: Entwicklung der THG Emissionen nach AG in NRW bis 2050 am Beispiel des Szenarios C nach Arbeitsgruppen (Emissionssektoren)

¹⁵ Die AG 6 - *Private Haushalte* wird hier nicht betrachtet, da dort keine direkten Emissionen entstehen. Die indirekten Emissionen dieses Bereichs (d.h. in erster Linie die induzierte Stromnachfrage der elektrischen Haushaltsgeräte) werden in der AG 1 - *Umwandlung* erfasst.

Tabelle 7: Entwicklung der absoluten THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) und korrespondierenden prozentualen Minderungsszenarien (2020/2050) für NRW am Beispiel des Szenarios C nach Arbeitsgruppen (Emissionssektoren); 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV (ohne flüchtige energiebedingte Emissionen)

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 2020/1990	Minderung 2050/1990
Szenario C								
AG 1	141.694	143.213	96.651	72.388	38.779	28.232	-32%	-80%
AG 2	111.654	81.373	78.027	69.956	59.296	45.354	-30%	-59%
AG 3	37.261	38.160	25.987	17.905	11.732	7.058	-30%	-81%
AG 4	36.208	35.025	33.227	24.913	18.239	14.485	-8%	-60%
AG 5	9.924	7.590	7.170	7.231	7.231	7.231	-28%	-27%
AG 6	THG-Emissionen werden für die AG 6 nicht betrachtet, da keine direkten Emissionen entstehen (die indirekten Emissionen dieses Bereichs sind Bestandteil der AG1)							
restliche Emissionen (Produktnutzung, Deponien)	7.504	4.656	3.689	3.689	3.689	3.689	-51%	-51%

Es wird darüber hinaus deutlich, dass es in den Sektoren Umwandlung und Gebäude im Vergleich zu den Sektoren Industrie und Verkehr zu deutlich höheren Minderungs**raten** kommt. Während es in den beiden erstgenannten Bereichen zu einer Minderung im Bereich von jeweils ca. 80% in 2050 gegenüber 1990 kommt, liegen die THG-Minderungs**raten** in den beiden letztgenannten Bereichen bei jeweils rund 60%.

3.4 Ergebnisse der Szenarien für die Treibhausgasemissionen in Deutschland

Berechnet man die Szenarien A, B und C für Deutschland, zeigt sich über den Zeitverlauf für alle Szenarien eine deutliche Verringerung der verbrennungsbedingten¹⁶ THG-Emissionen (Tabelle 8 respektive Tabelle A1 im Anhang für die anderen Szenarien). Die bundesweite Minderung liegt im Szenario A mit -68% in 2050 deutlich unter den Minderungen des Szenarios B mit 72 % und C mit 74% (jeweils gegenüber 1990). Zentrale Treiber sind in den Szenarien B und C der höhere Ausbaupfad der erneuerbaren Energien und in C zusätzlich die geringere Stromnachfrage, die maßgeblich auf die hier getroffene Annahme eines gegenüber dem Szenario A und B geringeren Wirtschaftswachstums zurückzuführen ist.

¹⁶ Es werden an dieser Stelle explizit nur die verbrennungsbedingten Emissionen betrachtet, um einen Vergleich mit den Energieszenarien des Bundes zu ermöglichen, die ebenfalls nur auf die verbrennungsbedingten Emissionen abzielen.

Die Bandbreite der für das Jahr 2020 erreichten Minderungsquote ggü. 1990 liegt zwischen 28 und 33%. Damit wird - ausgehend von den im Rahmen des Dialog- und Beteiligungsprozesses von den Akteuren getroffenen Annahmen - das von der Bundesregierung für 2020 angestrebte Minderungsziel von 40% in keinem der Szenarien erreicht. Maßgeblich hierfür sind einerseits die Annahme eines gegenüber den Energieszenarien der Bundesregierung deutlich höheren Wirtschaftswachstums (Szenario A und B) respektive abweichende Vorgaben für die industrielle Produktion (d.h. z.B. gegenüber anderen Energieszenarien der Bundesregierung höhere Erzeugung von Primärstahl und -aluminium im Szenario C) sowie zur Entwicklung der Energieeffizienz im Industriebereich, die insgesamt weniger stark zunimmt als in den Energieszenarien der Bundesregierung angenommen. In den Szenarien führt dies zu einer signifikanten Zunahme der THG-Emissionen im Bereich der Industrie zwischen 2010 und 2020, die erst nach 2020 je nach Szenario durch den verstärkten Einsatz von Effizienz- respektive Low Carbon-Technologien wieder umgekehrt werden kann. Ebenso wie der Industriesektor trägt der Verkehr unterproportional zum Rückgang der THG Emissionen (gegenüber dem Bundesziel von 40%) bei. Dagegen reduzieren sich die THG-Emissionen im Umwandlungsbereich sowie im Gebäudesektor überproportional, d.h. unter anderem, dass der Ausstieg aus der Kernenergie sowie aus der Kohleverstromung durch vor allem einen weiteren signifikanten Ausbau der erneuerbaren Energien klimaverträglich kompensiert werden kann.

Tabelle 8: Entwicklung der verbrennungsbedingten THG Emissionen in Deutschland bis 2050 in den Szenarien A, B und C (in 1000 t CO_{2eq})

Jahr	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 1990/2020	Minderung 1990/2050
Szenario A	786.833	710.462	587.709	444.128	316.086	-28%	-68%
Szenario B	786.833	663.072	521.245	391.170	275.528	-33%	-72%
Szenario C	786.833	666.608	507.176	379.882	261.609	-33%	-74%

Der Unterschied zu den in NRW erzielbaren Minderungen beruht vor allem darauf, dass NRW einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Industrie und fossiler Stromerzeugung im Umwandlungsbereich im Vergleich zu anderen Bundesländern hat. Hier gilt es sowohl im Sinne eines ambitionierten Klimaschutzes als auch zur Vermeidung der Abwanderungen der Kraftwerksstrukturen (Wind, Sonne und Biomasse) im Zuge der Energiewende in andere Bundesländer stärker auf den Ausbau erneuerbarer Energien zu setzen. Dafür muss es gelingen, den Strukturwandel aktiv zu gestalten, Arbeitsplätze im EE-Sektor zu schaffen, die regenerative Eigenstromversorgung der Industrie zu fördern und kommunale Wertschöpfungseffekte zu heben.

4 Interpretation der Ergebnisse

Die Arbeitsgruppen im Dialog- und Beteiligungsprozess haben insgesamt eine große Bandbreite von Strategien zur Minderung der THG-Emissionen erarbeitet. Die darauf aufbauend durchgeführten Szenarienrechnungen zeigen, dass das von der Landesregierung für das Jahr 2020 angestrebte Klimaschutzziel einer Minderung der Treibhausgasemissionen von 25% gegenüber 1990 voraussichtlich gut erreicht werden kann. Bezüglich des langfristigen Klimaschutzziels zeigen die Rechnungen einen Korridor von 57% bis 82%.

Für die Erreichung hoher langfristiger Minderungsraten erscheint vor allem ein hoher bis sehr hoher Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien relevant sowie der Einsatz von Low Carbon Technologien im Bereich der Industrie. Bilanziell kann aber auch über den Zukauf von Emissionszertifikaten die Lücke zu den politischen Zielen geschlossen werden und damit auch ein Ausgleich der strukturellen Unterschiede (d.h. insbesondere sehr hoher Industrieanteil und hohe Exportquote) von NRW im nationalen oder europäischen Vergleich herbeigeführt werden und damit der Emissionshandel wie im Klimaschutzgesetz angelegt berücksichtigt werden:

Wirkungsbeitrag des Emissionshandels:

- In den Szenarienrechnungen des Klimaschutzplans wird die Systematik des Emissionshandels berücksichtigt: Bei einem bestimmten CO₂-Preis werden jeweils diejenigen Minderungsstrategien umgesetzt, die sich bei einem solchen Preis lohnen. Damit wird berücksichtigt, dass es für Unternehmen vorteilhafter sein kann, Emissionsrechte zuzukaufen als zusätzliche Minderungen vor Ort durchzuführen. Damit zeigen die Rechnungen, welche physischen CO₂-Minderungen sich in NRW bei dem angenommenen CO₂-Preis in der Modellbetrachtung ergeben würden¹⁷. Für alle verbleibenden Emissionen erwerben die Unternehmen CO₂-Zertifikate. Da im Rahmen des Europäischen Emissionshandelssystems eine europaweite Obergrenze für CO₂-Emissionen festgelegt worden ist, werden die Emissionen systemimmanent dann an anderer Stelle physisch eingespart, da dies dort zu geringeren Kosten möglich ist.
- Für die laufende Verpflichtungsperiode (2013 bis 2020) ist ein linearer Reduktionsfaktor festgeschrieben worden, der eine Vorgabe für die jährliche Verringerung der Emissionsobergrenze macht. Derzeit liegt dieser lineare Reduktionsfaktor bei 1,74%. Er bezieht sich auf den Durchschnitt der THG-Emissionen der letzten Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012, woraus sich für die laufende Verpflichtungsperiode für die EU ein Minderungsziel (für die dem Emissionshandel unterliegenden Sektoren) von jährlich 36,1 Mio. t/a ableitet. Nach den gültigen EU-Regelungen gibt es kein fixiertes zeitliches Ende für diese konstante Verringerung der Emissionsobergrenze. Setzt man die Minderungsvorgabe entsprechend bis 2050 fort, resultiert daraus eine Verringerung des Emissionsbudgets von 71% gegenüber dem Jahr 2005 (dem Bezugs- und Startjahr für den Europäischen Emissionshandel).
- Im Rahmen der EU Low Carbon Economy Road Map ist ähnlich wie im Dialog- und Beteiligungsprozess in NRW diskutiert worden, wie die langfristigen Klimaschutzziele der EU (Minderung der THG-Emissionen um mindestens 80% bis 2050 im Vergleich zu 1990) erreicht werden können und welchen Beitrag dazu die einzelnen Sektoren leisten können bzw. müssten. Im Rahmen dieser Diskussion ist deutlich geworden, dass die dem Emissionshandel unterliegenden Sektoren aufgrund der zu erwartenden eher nur unterproportionalen Beiträge einzelner Sektoren (insbesondere Verkehr) vermutlich auch langfristig einen überproportionalen Minderungsbeitrag werden leisten müssen um das Gesamtziel erreichen zu können. Die EU Low Carbon Economy Road Map geht dementsprechend davon aus, dass die verpflichteten Sektoren einen Minderungsbeitrag zwischen 90 und 95% bis 2050 im Vergleich zu 2005 erbringen müssten, was einem linearen Reduktionsfaktor zwischen 2,2 und 2,4%/a entspricht.
- Geht man zunächst vom derzeitigen Minderungspfad für die dem Emissionshandel unterliegenden Sektoren von 1,74 % pro Jahr und der damit verbundenen rechnerischen Abnahme der europaweiten Emissionen um 71 % bis zum Jahr 2050 bezogen auf das

¹⁷ Im Rahmen der bisher durchgeführten Szenariorechnungen wurde dabei jeweils von dem unteren Preispfad (vgl. Tabelle 1) ausgegangen.

Jahr 2005 aus, bedeutet dies: Wenn in NRW die dem ETS unterliegenden Emissionen bis zum Jahr 2050 z.B. nur um 60 % abnehmen, wird die Differenz zum europaweiten Zielwert (d.h. hier 11%-Punkte) im „Rest Europa“ erbracht werden. Gleichzeitig kaufen die Unternehmen in NRW für ihre gesamten Emissionen Zertifikate ein. Rein rechnerisch lässt sich dieser Systematik folgend die Differenz zwischen der physischen Minderung der Emissionen in NRW (d.h. in dem hier betrachteten Beispiel 60%) und dem europaweit erreichten Minderungsbeitrag (d.h. hier 71%) entsprechend über die zusätzlich gekauften Emissionszertifikate als Wirkungsbeitrag des Emissionshandels zu den Emissionsreduktionszielen in NRW anrechnen.

- Die Größenordnung dieses Wirkungsbeitrags für NRW ist in Abbildung 9 und Abbildung 10 für die zwei unterschiedlichen, langfristigen Entwicklungslinien des ETS und die verschiedenen für NRW analysierten Szenarien verdeutlicht (eine detaillierte Aufbereitung der Zahlen findet sich in Tabelle A3 im Anhang). Je nach Szenario ist der Wirkungsbeitrag des Emissionshandels unterschiedlich hoch. In den Szenariovarianten mit 100% Ausbau erneuerbarer Energien im Bereich der Stromerzeugung ist dabei zu berücksichtigen, dass die resultierende physische Minderung in NRW zumindest unter Zugrundelegung eines linearen Reduktionsfaktor von 1,74%/a oberhalb der hier unterstellten europäischen Zielwerte liegt.
- Addiert man diesen Wirkungsbeitrag zu den (physischen) Emissionsminderungen in NRW, resultiert unter Zugrundelegung der heutigen Vorgaben für den linearen Reduktionsfaktor von 1,74%/a über alle betrachteten Szenarien hinweg für den gesamten Betrachtungszeitraum 1990 bis 2050 (rechnerisch) eine THG-Minderung in NRW zwischen 68% und 70% (s. Anhang Tabelle A3).
- Unter Zugrundelegung von ambitionierteren Vorgaben für den linearen Reduktionsfaktor (in Abbildung 9 und Abbildung 10), wie er sich aus der EU Low Carbon Economy Road Map ableitet, resultiert unter Berücksichtigung des Emissionshandels über alle betrachteten Szenarien hinweg für den gesamten Betrachtungszeitraum 1990 bis 2050 (rechnerisch) eine THG-Minderung zwischen 80% und 82%. Die langfristigen THG-Minderungsziele würden damit in jedem der Szenarien erreicht werden können.

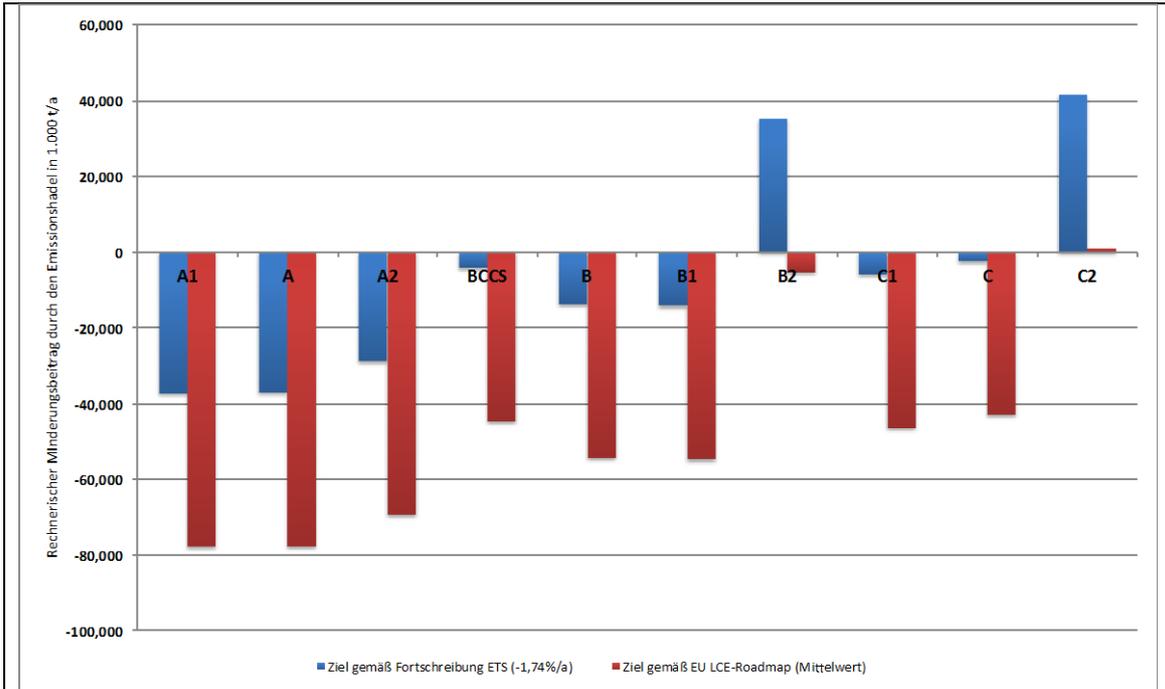


Abbildung 9: Wirkungsbeitrag des Emissionshandels in NRW im Jahr 2050 (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map)

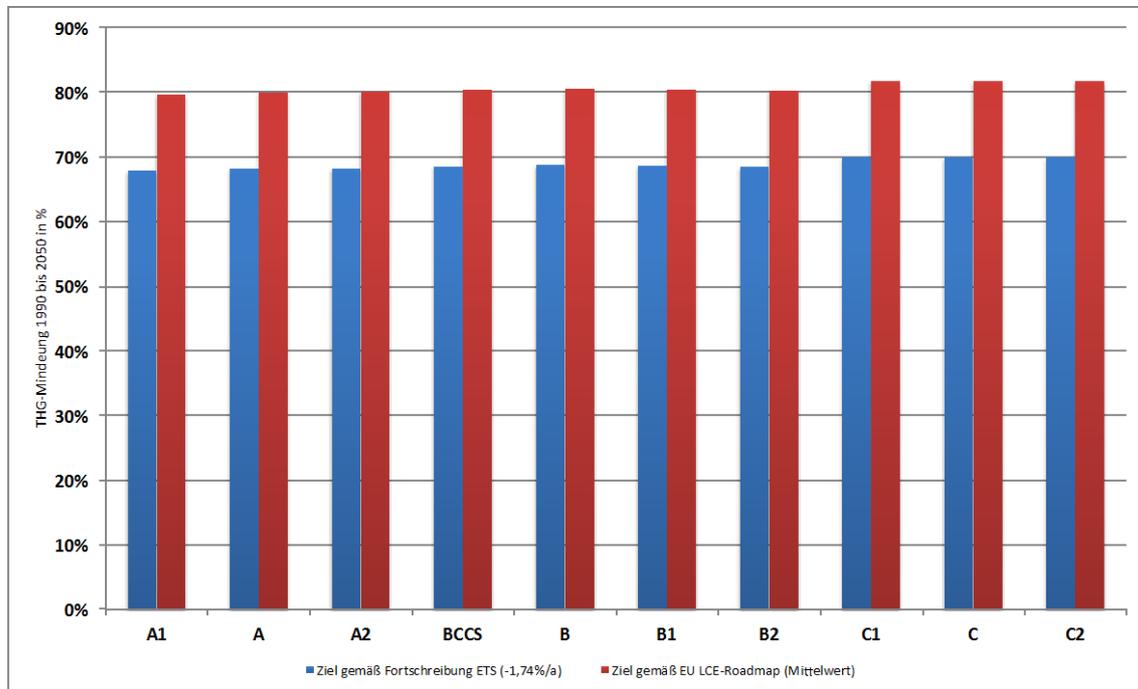


Abbildung 10: Resultierende THG-Minderung 2050 (im Vergleich zu 1990) in NRW in Abhängigkeit der Vorgaben für die Entwicklung des Europäischen Emissionshandelsystem (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map)

Der Vergleich der Szenarioergebnisse für NRW mit der nationalen Ebene zeigt: Legt man die von den Akteuren getroffenen Annahmen zugrunde, wird auch in Deutschland mit einem im Vergleich zu NRW geringeren relativen Beitrag der Industrie die von der Bundesregierung angestrebte Zielsetzung kaum erreicht, obwohl sich die C-Szenarien sehr stark an den Vorgaben des Energiekonzeptes der Bundesregierung orientieren. Hintergrund hierfür sind u.a. die von den Akteuren veränderten Vorgaben für die industrielle Produktion (d.h. z.B. gegenüber den Energieszenarien der Bundesregierung höhere Erzeugung von Primärstahl und -aluminium) sowie die geringer angenommene Steigerung der Energieeffizienz im Industriebereich (vgl. Kapitel 3.4).

Im Vergleich zur nationalen Ebene sind in NRW in allen Szenarien etwas höhere Anstrengungen notwendig, um vergleichbare Minderungsraten zu erreichen. Dies ist sowohl auf die höhere Bedeutung des Industriesektors in NRW zurückzuführen als auch auf die branchenstrukturellen und technologischen Unterschiede. Hinzu kommen beispielsweise Unterschiede im fossilen Kraftwerkspark: Durch die von den Akteuren getroffenen Annahmen zu Retrofit von Kohlekraftwerken (20 Jahre Laufzeitverlängerung) ist deren installierte Leistung in den hier vorliegenden Szenarien höher als in den Energieszenarien des Bundes angenommen. Um auch in Zukunft maßgebliche klimafreundliche Erzeugungskapazitäten in NRW zu halten, bedarf es einer neuen Ausrichtung des Kraftwerksparks und verstärkter Investitionen in Erneuerbare Energien und Speicher.

Bei der Analyse der Ergebnisse ist ferner zu berücksichtigen, dass auch Bereiche mit bisher vergleichbar geringen absoluten THG-Emissionen wie etwa die Landwirtschaft oder auch die unter „restliche Emissionen“ subsummierten Emissionen (d.h. Emissionen aus der Produktnutzung) im Jahr 2050 stärker ins Gewicht fallen, da hier vermutlich nur unterproportionale Minderungen zu erreichen sein werden. Bezogen auf die Gesamtemissionen des Jahres 1990 betragen die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft ca. 2 % und die des Bereichs „restliche Emissionen“ ca. 1%. In Bezug auf die Restemissionen im Jahr 2050 (bei Umsetzung des Minderungsziels von 80%) ergeben sich 10% respektive 5%.

Fazit:

Nach den Szenarienrechnungen kann das von der Landesregierung für 2020 gesetzte Klimaschutzziel einer THG-Minderung von 25% gegenüber 1990 voraussichtlich erreicht werden. In der Betrachtung des Zeitraumes bis zum Jahr 2050 zeigen die Rechnungen einen Korridor von 57% bis 82%. Auch die unter 80 % liegenden Szenariovarianten bedeuten nicht, dass die Klimaschutzziele nicht erreicht werden können. Bei der Einordnung und Bewertung dieser rechnerischen Werte sind nämlich folgende Aspekte zu berücksichtigen, die das Ergebnis tendenziell verbessern.

- **Der technische Fortschritt wird sich über vier Dekaden bis 2050 weiter entwickeln**
Signifikante technologische Entwicklungen oder Kostensenkungseffekte bei heute noch nicht wirtschaftlichen Klimaschutztechnologien sind zukünftig keineswegs auszuschließen

ßen und könnten sich (auch in Abhängigkeit der internationalen Entwicklung) ggf. deutlich schneller realisieren als bisher vorherzusehen und in der Low-Carbon-Variante unterstellt. Annahmen über darüber hinausgehende, heute noch nicht absehbare Technologiesprünge (im Sinne von technologischen Durchbrüchen) sind in den Szenariorechnungen aufgrund der damit verbundenen Unsicherheiten bisher bewusst nicht getroffen worden.

- Eine **Vielzahl von potentiellen Klimaschutzoptionen kann aus heutiger Sicht nicht oder nicht vollständig quantifiziert werden** (wie z.B. Änderung des Konsumverhaltens mit direkten und indirekten Wirkungen auf die THG-Emissionen wie die Verringerung des Fleischkonsums und der Lebensmittelverschwendung, Intensivierung der Produktnutzung durch Ansätze der „shared economy“).
- Es **gibt weitere Effekte, die aufgrund der systemimmanenten Grenzen der Methodik bisher nicht oder nur unvollständig in den Minderungsstrategien abgebildet werden können**. Dazu zählen Emissionsminderungen außerhalb der Landesgrenzen, z.B. durch den Emissionshandel, durch in NRW hergestellte Produkte, des Weiteren die mit dem Produkt- und Dienstleistungsaustausch über die Landesgrenzen hinweg verbundenen indirekten Importe oder Exporte von THG-Emissionen sowie die mögliche Minderung durch Senken- und Speicherfunktionen der Wälder. Zum Stand der Diskussion um Minderungen durch Produktnutzen hat sich im Prozess des Klimaschutzplanes eine eigene ad hoc-Arbeitsgruppe zusammengefunden, deren Ergebnisse ebenfalls dokumentiert werden. Die grundsätzliche Senken- und Speicherleistung von Wald und Boden hat die *Arbeitsgruppe 5 - Landwirtschaft* in einem eigenen Textbaustein herausgearbeitet, der Bestandteil der AG-spezifischen Dokumentation ist.
- Darüber hinaus bestehen **weitergehende THG-Minderungsmöglichkeiten**, die bisher im Dialog- und Beteiligungsprozess entweder nicht im Fokus standen oder die über die betrachteten Optionen hinausgehen bzw. diese vertiefen (z.B. eine stärkere Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Transportaufwand oder die Anwendung von CCS in der Industrie). Die Umsetzung dieser Optionen bieten weitere Möglichkeiten für Treibhausgas-minderungen an.

Vor diesem Hintergrund lässt sich folgendermaßen zusammenfassen, was die Szenarien für den Dialog- und Beteiligungsprozess leisten können:

- Szenarien für das Jahr 2050 sind zwar grundsätzlich mit größeren Unsicherheiten verbunden als vergleichbare Rechnungen für das Jahr 2020 (z.B. hinsichtlich technologischer Entwicklungen, Wirtschaftswachstum). Gleichwohl haben die erstellten Langfristszenarien für den Dialog- und Beteiligungsprozess ihre wesentliche Bedeutung aus folgenden Gründen:
 - sie geben einen orientierenden Rahmen vor und zeigen mögliche Entwicklungskorridore auf
 - sie zeigen Optionen auf, die grundsätzlich einen weitergehenden Beitrag zum Klimaschutz leisten können auch wenn sich manche Optionen unter heutigen Rahmenbedingungen ggf. noch nicht realisieren lassen.

- sie machen damit auch deutlich in welchen Bereichen zukünftige politische wie auch FuE Anstrengungen notwendig und sinnvoll sind.
- Die Szenarioentwicklung ist als dynamischer Prozess zu verstehen. Die in der Zukunft zu erwartenden neuen Erkenntnisse müssen und werden in eine Überarbeitung der Szenarien einfließen und so eine künftig jeweils angepasste fachliche und politische Diskussion ermöglichen.
- Durch das beteiligungsorientierte Verfahren wurde unter Einbeziehung aller relevanten Akteure eine sehr fundierte Grundlage geschaffen, verschiedene Entwicklungsperspektiven für die einzelnen Sektoren aufzuzeigen und wichtige Einflussfaktoren bzw. Stellgrößen in einem transparenten Prozess zu identifizieren. Diese Szenarienrechnungen sind damit nicht nur von wissenschaftlicher Seite fundiert, sondern sie spiegeln durch die Beteiligung der Akteure und den intensiven Dialog auch die Sichtweise der Praxis wider und gehen damit weit über bisherige Ansätze der Szenarioerstellung hinaus.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse wird nun eine Impactanalyse (Wirkungsanalyse) durchgeführt, die aufzeigen soll, welche weiteren Auswirkungen die Szenarien neben der Treibhausgasminderung haben können (z.B. Auswirkungen auf Natur und Umwelt, gesamtwirtschaftliche Wechselwirkungen oder soziale und beschäftigungspolitische Effekte). Im Anschluss soll diskutiert werden, ob vor diesem Hintergrund Anpassungen der Szenarien notwendig sind.

5 Arbeitsgruppenspezifische Ergebnisse

5.1 Arbeitsgruppe 1 - Umwandlung

Der Umwandlungssektor in NRW interagiert in vielfältiger Weise mit der nationalen und europäischen Ebene. Die Entwicklung dieses Sektors in NRW ist daher immer im Gesamtzusammenhang mit den Entwicklungen auf nationaler und europäischer Ebene zu sehen, das heißt Betrieb, Zubau respektive Stilllegung von Kraftwerken in NRW werden maßgeblich auch von Aktivitäten auf der Bundesebene (z.B. Fortentwicklung des Erneuerbaren Energien Gesetzes, Ausgestaltung eines zukünftigen Energie-/Strommarktdesigns) oder politischen Vorgaben seitens der Europäischen Union (z.B. Europäisches Emissionshandelssystem) bestimmt. Darüber hinaus führen die im Energiekonzept der Bundesregierung für die Bundesebene formulierten Ziele zu erheblichen Anforderungen an den Umwandlungsbereich in NRW. Insgesamt sind aus heutiger Sicht u.a. folgende Faktoren von besonderer Bedeutung für die zukünftige Ausgestaltung des Umwandlungssektors in NRW¹⁸:

- der zukünftige Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland und NRW,
- die Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in Deutschland und NRW (inkl. industrieller KWK und Objektversorgung),
- die Entwicklung der Stromnachfrage in Deutschland und NRW (inkl. indirekter Nachfrage nach Strom z.B. für die Wasserstoffelektrolyse zur Abdeckung der endenergieseitigen Wasserstoffnachfrage z.B. aus dem Bereich des Verkehrs; vgl. AG 4) die Entwicklung der Brennstoffpreise,
- die Entwicklung des CO₂-Zertifikatepreises und der damit verbundenen Lenkungswirkung,
- die Entwicklung von Stromnetzinfrastruktur und damit der Stromtransport- und Stromverteiloptionen innerhalb des Landes,
- die Entwicklung der Kuppelstellen zum benachbarten Ausland und damit die Möglichkeit des Stromaustausches über die Landesgrenzen hinweg,
- die Entwicklung von Stromnachfrage und Stromerzeugungsmix im Ausland (inkl. Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien) und damit die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (das heißt Wettbewerbssituation) für den Stromimport und Stromexport zwischen Deutschland und den Nachbarländern,
- die Regelfähigkeit der fossilen Kraftwerke (das heißt insbesondere Laständerungsgeschwindigkeit im Betrieb und An- und Abfahrzeiten/-dynamik),

¹⁸ Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Faktoren unterschiedlich sensitiv auf das Ergebnis wirken. So hat die Entwicklung der Energieträgerpreise beispielsweise deutlich stärkere Auswirkungen als Veränderungen in der Einsatzdynamik einzelner Kraftwerke.

- die über den Einsatz von Kraftwerken hinausgehenden Möglichkeiten der Gewährleistung einer jederzeit ausreichend sicher verfügbaren Leistung (z.B. Einsatzmöglichkeiten von Lastmanagement und Speichern),
- die Möglichkeiten der Ertüchtigung und Laufzeitverlängerung bestehender Kraftwerke und die damit verbundenen Kosten,
- die Technologieverfügbarkeit (insbesondere die Verfügbarkeit der Technologie der CO₂-Abtrennung und Speicherung) sowie
- die mit Neuanlagen verbundenen Investitionskosten.

Nachfolgend sind vor diesem Hintergrund und unter Betrachtung der unterschiedlichen im vorherigen Kapitel abgeleiteten Szenarien die wesentlichen Modellergebnisse zunächst für die nationale Ebene und anschließend spezifisch für NRW dargestellt.

5.1.1 Beschreibung der AG-spezifischen Szenarien und deren Varianten

Ausbau der Erneuerbaren Energien

Für den Ausbau der erneuerbarer Energien auf Bundesebene wird im Rahmen der modellierten Szenarien nach den Vorgaben der Akteure der AG 1 von vier unterschiedlichen Ausbaupfaden für erneuerbare Energien ausgegangen:

Zum einen ein hoher Ausbau, welcher weitestgehend auf Szenario 2011 A der Leitstudie des BMU basiert. Die Anteile zwischen Wind on- und offshore sind in der Variante hoher Ausbau der erneuerbaren Energien im Gegensatz zur Leitstudie zugunsten von Wind onshore verschoben worden. Das Szenario 2011 A der Leitstudie dient heute bereits verschiedenen Planungsprozessen als Grundlage (u.a. Netzentwicklungsplan) und eignet sich daher sehr gut als Referenzrahmen. Im hohen Ausbauszenario wird für das Jahr 2050 von einer potentiellen heimischen Nettostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien von 496 TWh ausgegangen.

Im Gegensatz dazu basiert die Variante des niedrigen Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den Angaben des Energiekonzepts der Bundesregierung (BMW 2011). Im Jahr 2050 wird in der niedrigen Variante nur von einer potentiellen Nettostromerzeugung von 368 TWh ausgegangen. Gegenüber der hohen Variante ist die Nettostromerzeugung der Windenergie sowie der Solarenergie deutlich reduziert. Beide Varianten sind nach den Vorgaben der Akteure aus dem Klimaschutzplanprozess in NRW (AG 1) entwickelt worden.

Mit der dargestellten Variation der Szenarioannahmen wird die aktuelle Diskussion über die notwendige und erreichbare Dynamik des Ausbaus der offshore Windenergie in Deutschland aufgegriffen. Darüber hinaus wird die vereinfachende Annahme getroffen, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf heimischen Quellen basieren soll. Dies ist im Zuge der absehbar fortschreitenden europäischen Einbindung eine signifikante Einschränkung, zumal spezifische Importoptionen eine günstigere Erzeugungscharakteristik aufweisen können (z.B. Mittel- bis Grundlastfähigkeit von Strom aus solarthermischen Kraftwerken mit Wärmespeicher in Südeuropa oder Nordafrika), ihre Verwirklichung allerdings mit signifikanten infrastrukturellen Herausforderungen verbunden ist.

Für die Entwicklung der erneuerbaren Energien in NRW bedeuten diese beiden Varianten, dass das in der Koalitionsvereinbarung vorgegebene Ausbauziel für die erneuerbaren Energien von 30% bezogen auf den Strombedarf in der hohen Variante erreicht wird (gleichermaßen gilt dies für die Zielvorgabe von 15% bezogen auf die Windenergie für das Jahr 2020), in der niedrigen Variante jedoch verfehlt wird. Bei der Variante des niedrigen Ausbaus der erneuerbaren Energien liegt der Anteil der Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Nettostromverbrauch je nach Nachfrageszenario zwischen 21% und 23%. In der hohen Variante liegt der Anteil der Nettostromproduktion aus erneuerbaren Energien im Jahre 2025 zwischen 31% und 34%.

Während der Zubaupfad für die erneuerbaren Energien für den Zeitraum bis zum Jahr 2025 für die hohe Variante direkt von den Akteuren vorgegeben wurde, war für den Zeitraum danach eine Fortschreibung durch das Wuppertal Institut notwendig. Die Fortschreibung basiert dabei auf der Annahme, dass die erneuerbaren Energien aufgrund der im Zeitverlauf entstandenen Dynamik auch nach 2025 in signifikanter Größenordnung weiter ausgebaut werden (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12). Getrieben wird der Ausbau durch weiter sinkende Kosten der Photovoltaik (inkl. partielle Zunahme von Eigenerzeugungsstrategien) und einer zweiten Repoweringwelle im Verbund mit einer maßvollen zusätzlichen Flächennutzung bei der Windenergie. Hierdurch kann sich der Stromerzeugungsbeitrag der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050 auf rund 48 TWh (niedrige Variante) bzw. 79 TWh (hohe Variante) erhöhen.

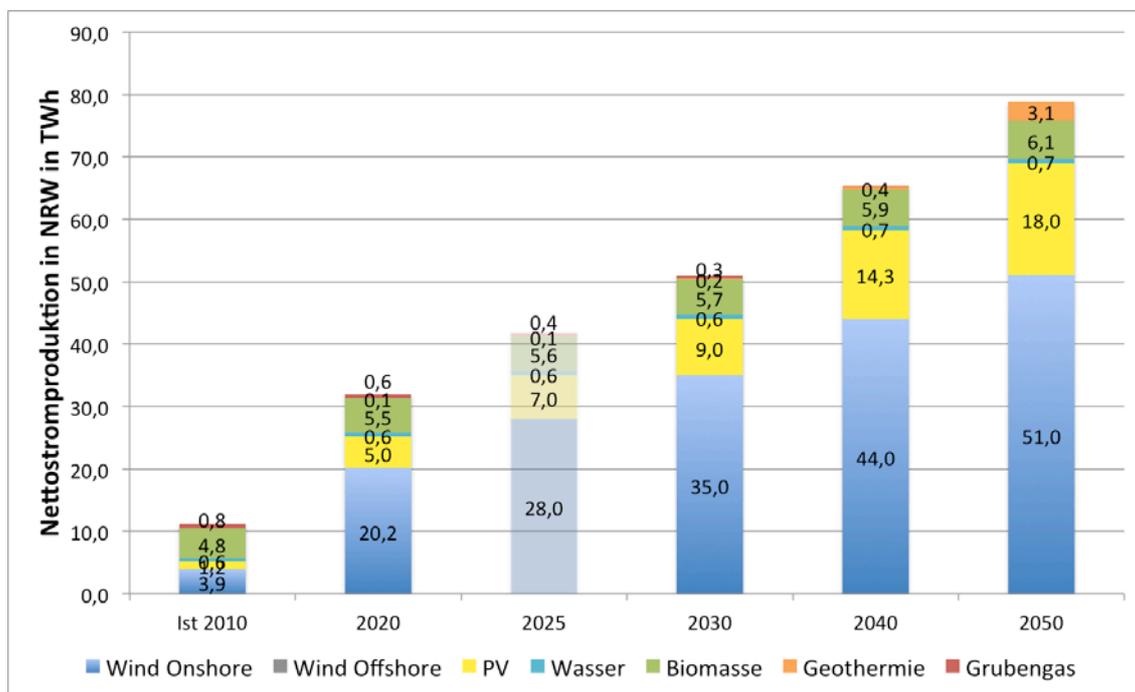


Abbildung 11: Unterstellte Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen in NRW in der hohen Variante (Quelle: bis 2025 nach Vorgabe der Akteure der AG 1, nach 2025 Fortschreibung durch das Wuppertal Institut).

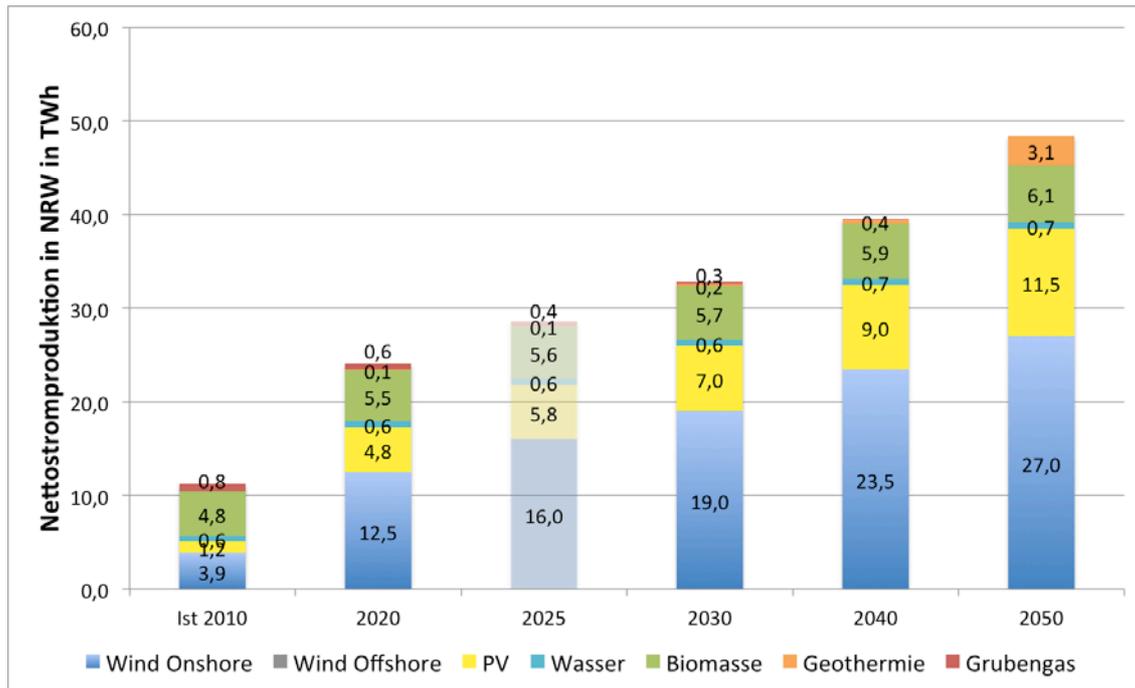


Abbildung 12: Unterstellte Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen in NRW in der niedrigen Variante (Quelle: aus der hohen Variante abgeleitete Entwicklung durch das Wuppertal Institut).

Der Ausbau erneuerbarer Energien in NRW passt sich dabei in den bundesdeutschen Ausbau erneuerbarer Energien ein. Um die dargestellten Ausbauziele der Akteure im hohen Ausbaupfad zu erreichen muss der Anteil von NRW an den im gesamten Bundesgebiet zugebauten Wind- und Solaranlagen bis 2025 deutlich zunehmen. In der Vergangenheit lag der NRW-Anteil am bundesweiten Photovoltaik- und Windausbau jeweils bei etwa 11,5 %. Die dargestellten Annahmen implizieren eine Erhöhung des Anteils an der Stromerzeugung aus Windkraftanlagen in Deutschland auf eine Größenordnung von etwa 20%. Es ist leicht absehbar, dass eine derartige Entwicklung nicht von allein zu erwarten ist, sondern nur mit der Umsetzung zusätzlicher flankierender Maßnahmen auf Landesebene zu erreichen sein wird.

Neben dem hohen und niedrigen Ausbaupfad ist ein mittlerer Ausbaupfad definiert worden, der auf dem Szenario A aus der BMU Leitstudie 2011 basiert, jedoch von einer deutlich reduzierten Windenergieleistung ausgeht und unterstellt, dass nur 50 % des im Szenario A der BMU Leitstudie angenommenen Wind-Offshore Ausbaus umgesetzt wird. Während sich die Ausbaudynamik bis 2020 sehr deutlich von dem niedrigen Ausbaupfad unterscheidet, nähern sich mittlerer und niedriger Ausbaupfad bis zum Ende des Betrachtungszeitraums deutlich an. Schließlich wurde ein Pfad mit dem Ziel einer 100%igen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050 für Deutschland betrachtet.

Einordnung der 100% EE-Strom-Szenarien

Auf Wunsch der AG 1 sind basierend auf den Grundszenarien B und C jeweils mit diesen korrespondierende 100% EE-Strom-Szenarien (B2 und C2) entwickelt worden. Diese Szenariobe-

trachtung ist als Exkurs zu verstehen, um mögliche Zukunftspfade aufzuzeigen, die eine vollständige Abdeckung der Stromnachfrage des Landes auf der Basis von erneuerbaren Energien ermöglichen.

Aufgrund der hohen Komplexität von Zukunftspfaden mit sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung und vielfältigen inter- und intrasektoralen Wechselwirkungen war im laufenden Prozess nur eine beispielhafte Annäherung an derartige Entwicklungen möglich. Die hier skizzierten Szenarien stellen in diesem Sinne keine optimierten Entwicklungspfade dar. Dies bleibt zukünftigen Arbeitsschritten vorbehalten. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte detaillierter zu betrachten, die in den vorliegenden Szenarien nur ansatzweise berücksichtigt werden konnten:

- Wie kann ein EE-Ausbaupfad aussehen, der zu möglichst geringen Netzausbaukosten führt? Stellgrößen sind hier z.B. der EE-Erzeugungsmix aus dezentralen/zentralen Anlagen, die Einbindung von Demand Side Management Maßnahmen (inkl. zukünftige flexible Lasten) und die partielle Abregelung von EE-Erzeugungsanlagen.
- Welche Möglichkeiten ergeben sich durch eine stärkere Kopplung von Strom- und Wärmenachfrage durch Maßnahmen wie „Power to Heat“ oder eine optimierte Steuerung von Wärmespeichern in KWK-Anlagen.
- Welche Speichermöglichkeiten für Strom ergeben sich mittel- bis langfristig und unterstützen den EE-Ausbau und in wie weit können alternative ggf. indirekte Speicheroptionen (z.B. indirekte Speicherung in Form von synthetischem Erdgas in den bestehenden Erdgasspeichern) zur Anwendung kommen?
- Welche Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich für den „überschüssigen“ Strom aus erneuerbaren Energien über „Power to X“-Ansätze (d.h. Umwandlung von Strom in Wasserstoff bzw. zusätzliche Umwandlungsschritte in Erdgas oder synthetische flüssige Kraftstoffe).
- Welche Wechselwirkungen mit anderen Sektoren gibt es auf der Zeitachse respektive welche Anforderungen werden an die Stromerzeugung von diesen gestellt (Beitrag zur langfristigen Dekarbonisierung der Endenergiesektoren durch die Bereitstellung klimaverträglicher auf Strom aus erneuerbaren Energien basierende Energieträger)

Im Rahmen des laufenden Prozesses ist aus Gründen der Kompatibilität mit den Hauptszenarien B und C die Umwandlung eines Teils des überschüssigen Stroms in Wasserstoff unterstellt worden. Das heißt, es wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der Wasserstoffnachfrage in den Sektoren Industrie und Verkehr (vgl. Annahmen der AG 2 und AG 4) ohnehin eine Wasserstoffinfrastruktur aufgebaut werden muss, auf die in den 100%-EE-Szenarien aufgebaut werden kann. In den Szenarien erfolgt dies u.a. durch eine anteilige Rückverstromung des Wasserstoffs in Gaskraftwerken. Diese Vorgabe stellt ebenso eine Setzung im Szenario dar (und ist nicht Ergebnis von detaillierten Optimierungsüberlegungen) wie die Annahme, dass die Wasserstoffherzeugung auf der Basis von Elektrolyseuren in NRW erfolgt (mit entsprechenden Wertschöpfungseffekten) und entsprechend der Überschussstrom über adäquate Leitungssysteme nach NRW transportiert werden muss.

Die im Rahmen der Impactanalyse für die Szenarien B2 und C2 resultierenden Ergebnisse sind vor diesem Hintergrund entsprechend einzuordnen, d.h. es ist davon auszugehen, dass für eine optimale Gestaltung eines 100%-EE-Ausbaus im Bereich der Stromerzeugung z.B. geringere Zusatzkosten (z.B. für den Netzausbau) entstehen können und auch vermutlich positivere gesamtwirtschaftliche Impulse (inkl. Beschäftigungswirkung) zu erzielen sind.

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Nach den Vorgaben der Akteure erhöht sich der Beitrag der KWK an der Stromerzeugung in NRW von heute knapp 18,8 TWh (Stand 2010) auf rund 28,5 TWh in 2020. Zubaupotentiale ergeben sich dabei vor allem im Bereich der dezentralen KWK sowie bei der industriellen KWK. Der Anstieg der KWK-Stromerzeugung ist dabei maßgeblich auch auf eine Erhöhung der Stromkennzahl durch Ertüchtigung oder Neubaumaßnahmen zurückzuführen, die den rückläufigen Raumwärmebedarf aufgrund zeitgleich durchgeführter Sanierungsmaßnahmen bzw. Verbesserungen im industriellen Prozessablauf teilweise überkompensieren kann. Bis 2050 wird im Rahmen der Fortschreibung der Entwicklung durch das Wuppertal Institut ein KWK-Stromerzeugungsbeitrag von etwa 42 TWh erwartet. Dabei setzt sich der Zuwachs noch bis zum Jahr 2030 in signifikanter Weise fort. Zwischen 2020 und 2030 wirken sich dabei auch die derzeitigen Planungen des Ausbaus zentraler Fernwärmeschienen (z.B. Fernwärmeschiene Ruhr) aus. Langfristig steigt der Stromerzeugungsbeitrag aufgrund des zeitgleich rückläufigen Wärmebedarfs den getroffenen Annahmen zufolge dann nicht mehr stark an (siehe Abbildung 13) Das Ausbauziel für die KWK mit einem Anteil an der Deckung der Stromnachfrage von 25% wird unter Zugrundelegung der Annahmen der Akteure (die im Wesentlichen von den heutigen Marktbedingungen ausgehen) je nach Szenario und Entwicklung der Stromnachfrage erst in den Jahren 2025 bis 2030 und damit etwas zeitversetzt erfüllt. Im Jahr 2020 wird ein Anteil von knapp über 20% erreicht werden können.

Ebenso wie im Bereich der erneuerbaren Energien ist davon auszugehen, dass die von den Akteuren antizipierte Entwicklung der Umsetzung flankierender Maßnahmen auf Landesebene bedarf und durch die heutigen Marktbedingungen nicht abgedeckt sind.

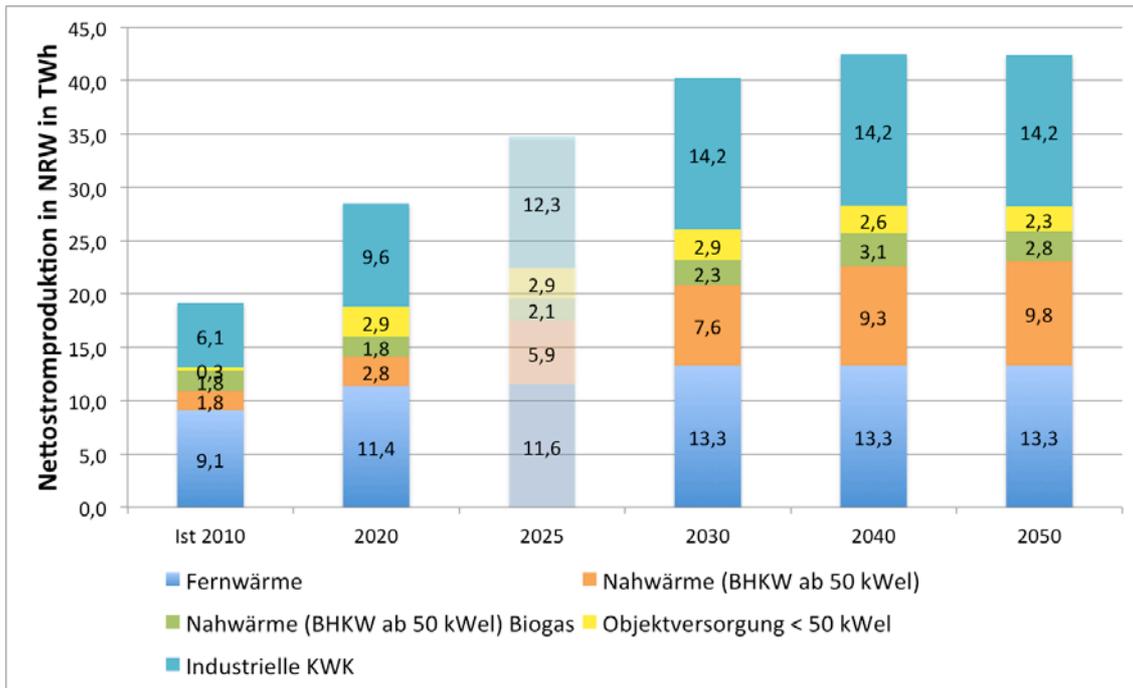


Abbildung 13: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung in NRW (Quelle: bis 2020 nach Vorgabe der Akteure der AG 1, nach 2025 Fortschreibung durch das Wuppertal Institut).

Kraftwerke

Im Kraftwerksbereich wird davon ausgegangen, dass es im Zuge wirtschaftlicher Überlegungen zu der Umsetzung einer Retrofitstrategie bei bestehenden Kraftwerksanlagen kommt und sich dadurch der Wirkungsgrad vor allem aber die Lebensdauer der Kraftwerke erhöhen. Die Umsetzung dieser Option erfordert entsprechende Anreizmechanismen, die über eine adäquate Gestaltung des Energie-/Strommarktdesigns implementiert werden müssen. Eine Retrofitmaßnahme verlängert nach den hier getroffenen Annahmen dabei die technische Lebensdauer einer Anlage um 20 Jahre und erhöht ihren Wirkungsgrad. Die nachgerüsteten Anlagen können dann auch maßgeblich dazu beitragen, dass eine zu jederzeit hinreichend hohe gesicherte Leistung zur Aufrechterhaltung von Versorgungssicherheit/-qualität zur Verfügung steht.

Die CO₂-Abtrennung und Speicherung (Carbon Capture and Storage: CCS) wird als Klimaschutzoption nur im Rahmen der Szenariovariante BCCS berücksichtigt. In Anlehnung an das nationale Energiekonzept und die aktuell fehlende gesellschaftliche und in weiten Teilen auch fehlende politische Unterstützung¹⁹ steht diese Option in allen anderen Szenarien nicht zur Verfügung. In der Szenariovariante BCCS wird von dieser Vorgabe abgewichen und unterstellt,

¹⁹ Das in 2012 verabschiedete CCS Gesetz erlaubt in Deutschland zunächst nur die Abscheidung und Lagerung vergleichsweise geringer Mengen an CO₂ und kann daher allenfalls als Grundlage für Forschungs- und Demonstrationsvorhaben gelten. Der überwiegende Anteil der Bundesländer hat sich in Deutschland bis dato deutlich gegen CCS ausgesprochen. Die rot-grüne Landesregierung NRW sieht für die CCS-Technologie keine praktische Relevanz zur Reduktion der CO₂-Emissionen aus der Energiewirtschaft in NRW.

dass ab 2025 CCS als Technologie zum Einsatz kommen kann. Jenseits des Neubaus von Kraftwerken mit CCS ist auch bei entsprechenden wirtschaftlichen Voraussetzungen und einer hinreichend langen Restlaufzeit der Anlagen eine CCS-Nachrüstung möglich.

In den Berechnungen wird ferner davon ausgegangen, dass die heute in Bau befindlichen Kraftwerke bis 2020 in Betrieb sind, dass weitere Kraftwerke nur nach rein ökonomischen Gesichtspunkten zugebaut werden, dass es zu keinen netzseitigen Restriktionen für Transport und Verteilung von Strom in Deutschland und NRW kommt, dass die Kuppelstellen zum Ausland entsprechend der Vorgaben des aktuellen Netzentwicklungsplanes ausgebaut werden und dass auch im benachbarten Ausland signifikante Anstrengungen für den Klimaschutz und insbesondere den Ausbau erneuerbarer Energien unternommen werden.

Die Nettostromnachfrage ist innerhalb der Szenarien keine Vorgabe, sondern ein Modellergebnis. Je nach Szenario steigt oder sinkt diese in den nachfolgenden Jahrzehnten. Für das Jahr 2050 liegt die resultierende Nettostromnachfrage in jedem Szenario über der heutigen Nettostromnachfrage. Dies ist durch Wirtschaftswachstumseffekte und die hohen Anteile von Elektrolysewasserstoff in späteren Jahrzehnten zu erklären. Die resultierende Nettostromnachfrage exklusive Stromeinsatz für die Elektrolyse ist dagegen im Szenario A in etwa konstant, sinkt im Szenario B bis 2050 leicht ggü. dem heutigen Niveau (-5%) und im Szenario C deutlicher (-11,3%).

5.1.2 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse für Deutschland

Die Nettostromproduktion der drei Szenarien (vgl. Abbildung 14, Abbildung 17 und Abbildung 20) unterscheidet sich signifikant voneinander. Dies liegt zum einen an unterschiedlichen Entwicklungen der Stromnachfrage als auch an unterschiedlichen Varianten des Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Szenario A

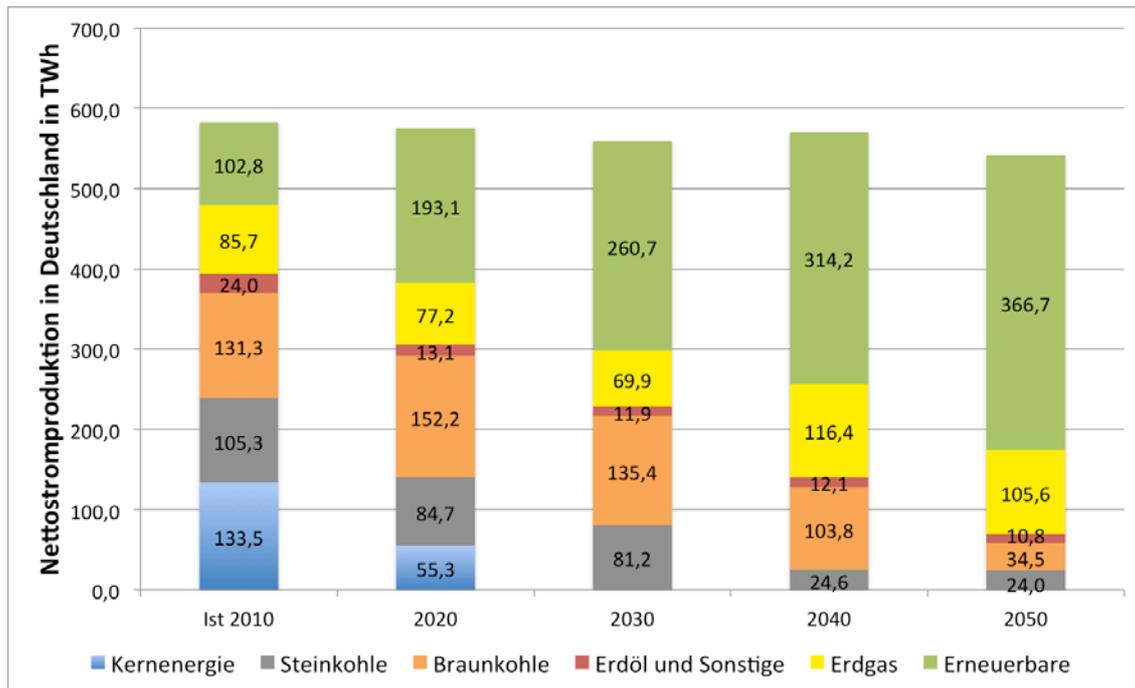


Abbildung 14: Nettostromproduktion in Deutschland (Szenario A)

Für Deutschland führen die im Szenario A getroffenen Annahmen dazu, dass der rückläufige Anteil der Kernenergie bis 2020 von rd. 80 TWh und die steigende Stromnachfrage von 10 TWh durch einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien (+90 TWh) und eine Umkehrung der Außenhandelsbeziehungen (Differenz von rund 28 TWh gg. 2010) deutlich überkompensiert wird. Nach den durchgeführten Modellrechnungen gehen die Veränderungen im Stromsystem vor allem zu Lasten der Stromerzeugung in Steinkohle- und Gaskraftwerken, die auf der merit order hinter Braunkohlekraftwerken angesiedelt sind.

Der niedrige Ausbaupfad der erneuerbaren Energien führt zusammen mit der mittelfristig weiter steigenden Nettostromnachfrage (und damit einer guten Auslastung der kostengünstigen Bestandskraftwerke) zu einem Kraftwerkspark, welcher im Szenario A gegenüber dem europäischen Ausland bei durchschnittlicher Last im Mittel höhere kurzfristige Grenzkosten aufweist, wenn wie den Annahmen der AG 1 folgend unterstellt wird, dass die erneuerbaren Energien im benachbarten Ausland im signifikanten Umfang ausgebaut werden²⁰ und die Kuppelstellkapazität weiter erhöht wird. Aus diesem Grund ist die Austauschbilanz von Deutschland im Szenario A ab 2020 durchgängig positiv, es wird also in erheblichem Umfang Strom importiert. Abbildung 15 stellt den Stromaustauschsaldo für den Betrachtungszeitraum in der Übersicht dar.

²⁰ Im Rahmen der Szenariorechnungen wurde für die Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im benachbarten Ausland ein Ausbau gemäß des Szenarios B der EWI Studie „Roadmap 2050 – a closer look“ zugrunde gelegt, die einen in sich konsistenten Entwicklungspfad im europäischen Kontext skizziert (EWI 2011).

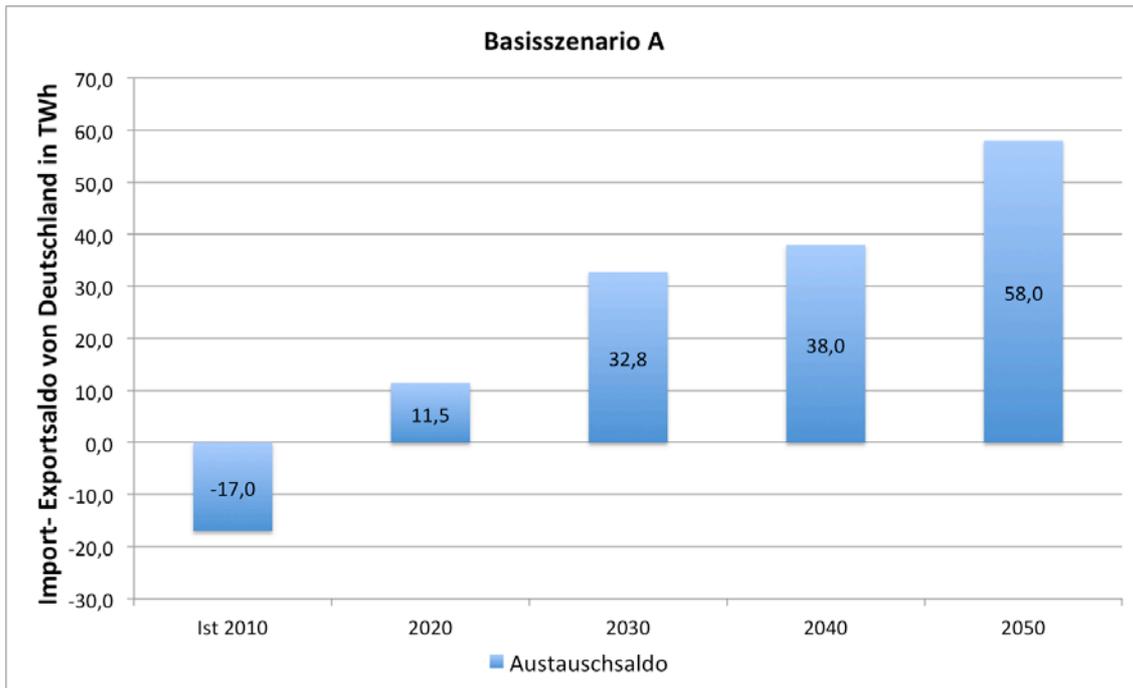


Abbildung 15: Austauschsaldo für Deutschland im Szenario A

Der zunehmende in das Netz eingespeiste Strom aus erneuerbaren Energien kann trotz unterstellter netzseitiger Ausbaumaßnahmen auch im Szenario A mit einem niedrigen Ausbaupfad langfristig nicht zu jeder Zeit vollständig von den Verbrauchern abgenommen werden. Dies führt im Zeitverlauf zu einer minimalen Überschussstromerzeugung und damit zu der Notwendigkeit der Abregelung von etwa 1 TWh Strom aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050.

Im Szenario A werden essentielle energiepolitische Ziele der Bundesregierung (BMWI 2011) für das Jahr 2050 klar verfehlt. Der Bruttostrombedarf 2050 sinkt nicht wie im Energiekonzept vorgesehen um 25% sondern steigt gegenüber 2008 sogar leicht an (die Nettostromnachfrage steigt mittelfristig ebenfalls leicht an und liegt in 2050 in etwa wieder auf dem Niveau des Jahres 2010). Die im Zeitverlauf zu erreichenden Effizienzsteigerungen bei den Stromanwendungen werden in diesem Szenario durch die deutlich steigende Wirtschaftsleistung und zusätzliche Stromanwendungen kompensiert. Wie Abbildung 16 zeigt, liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 2050 nicht bei den angestrebten 80% sondern lediglich bei 61%.

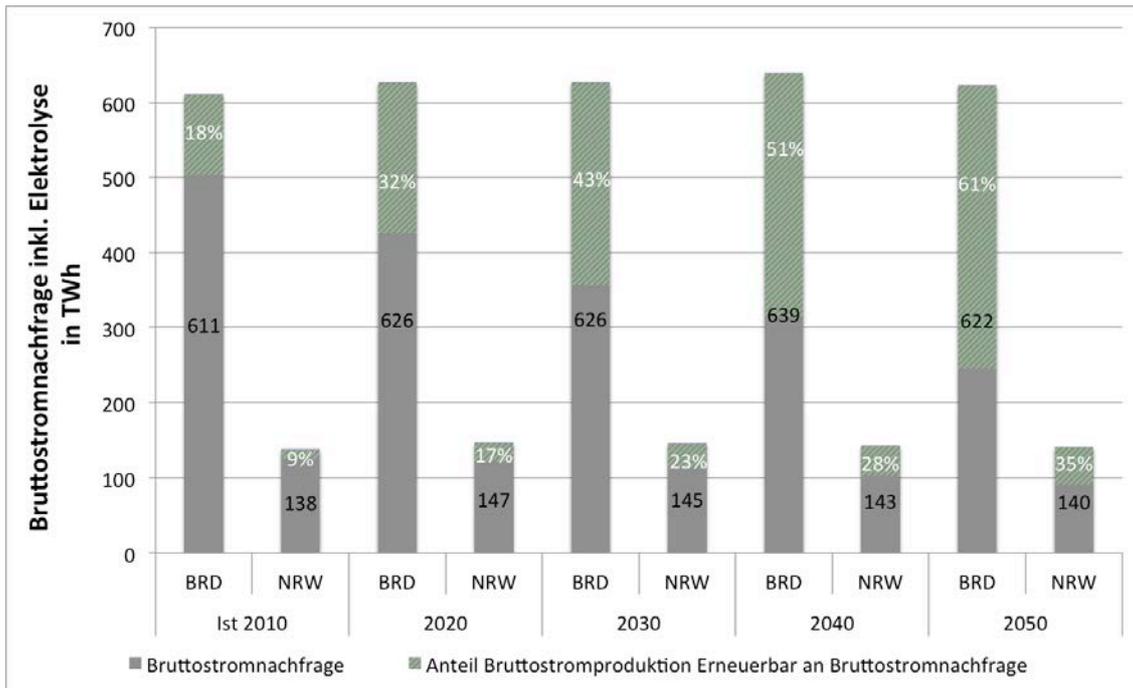


Abbildung 16: Bruttostromnachfrage²¹ und der Anteil der erneuerbaren Energien an dieser für das Szenario A

Die Szenariovariante A1 unterscheidet sich gegenüber dem Szenario A in der Annahme einer geringeren energetischen Sanierungsrate der Gebäude. Diese Annahme hat über einen veränderten Wärme- und Strombedarf zwar einen Einfluss auf die Nettostromerzeugung, dieser führt jedoch in keinem Falle zu signifikanten Veränderungen der Ergebnisse.

Die Szenariovariante A2 basiert auf der hohen Ausbauvariante für die erneuerbaren Energien. Dies führt im Gegensatz zum Szenario A über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg zu einem bilanziellen Stromexport. Gleichzeitig steigen auch die abgeregelten Energiemengen auf etwa 26 TWh im Jahre 2050 an. Das Ziel, 80% des Bruttostrombedarfes im Jahre 2050 durch erneuerbare Energien zu decken wird mit 78% in der Szenariovariante A2 fast erreicht.

Szenario B

Das Szenario B unterscheidet sich gegenüber dem Szenario A vor allem in der Ausbaudynamik der erneuerbaren Energien und in dem Einsatz von low carbon Technologien in der Industrie.

²¹ Die Bruttostromnachfrage entspricht der Nettostromnachfrage (inkl. Netz- und Speicherverluste) zuzüglich des Stromeigenverbrauchs der Kraftwerke.

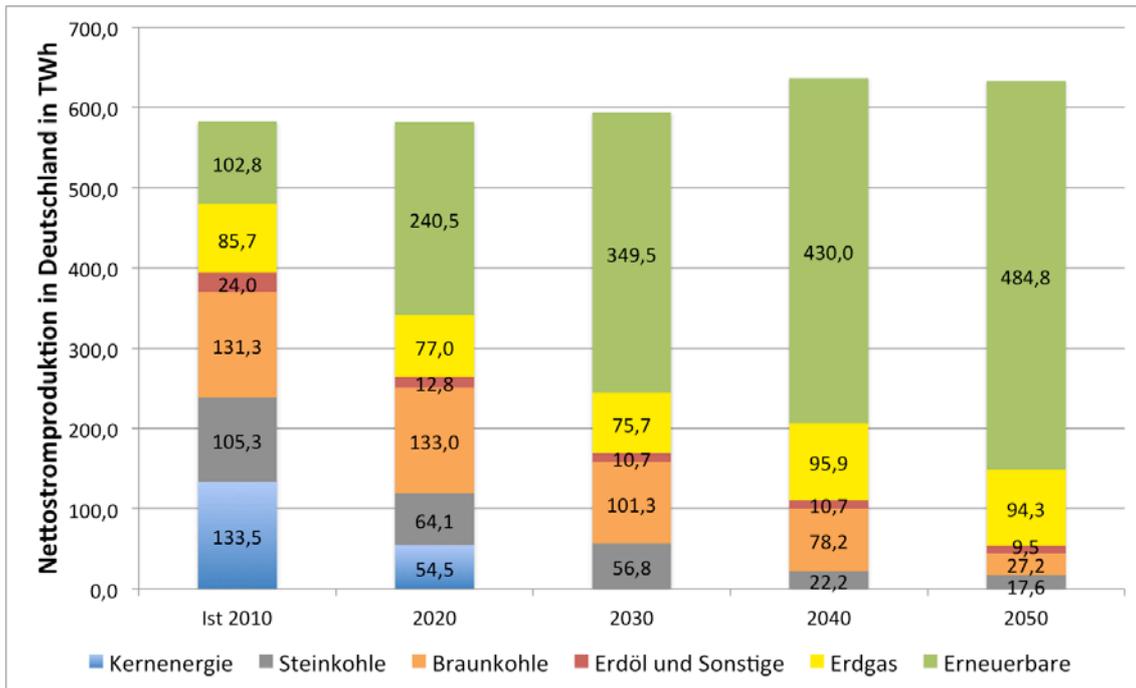


Abbildung 17: Nettostromproduktion in Deutschland (Szenario B)

Durch die gegenüber Szenario A veränderten Annahmen sinkt der Anteil der konventionellen Stromerzeugung im Szenario B stärker ab. Dies trifft in den Jahren 2020 und 2030 vor allem die Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle. Die Verstromung von Erdgas ist in diesen Jahren stark durch die KWK Anforderungen getrieben, d.h. viele der Gaskraftwerke sind in Betrieb weil sie zeitgleich für die Abdeckung der Fernwärmeversorgung erforderlich sind. Gleichzeitig ist die Laständerungsgeschwindigkeit der Gaskraftwerke groß genug, um auch kurzfristige Nachfragespitzen abfahren zu können.

Das Austauschsaldo bleibt im Szenario B bis einschließlich 2040 negativ, das heißt Deutschland bleibt in diesem Szenario Nettostromexporteur. Im Jahre 2050 wird in der Bilanz etwas mehr Strom importiert (vgl. Abbildung 18). Dies ist mit dem hohen zusätzlichen Strombedarf für Elektrolysewasserstoff im Jahr 2050 zu erklären. Wasserstoff wird in diesem Szenario nicht nur im Verkehrsbereich als klimaverträglicher Endenergieträger genutzt, sondern auch im Bereich der Industrie. Die zunehmende Nachfrage nach Wasserstoff bis zur Mitte des Jahrhunderts erhöht die Stromnachfrage gegenüber 2040 noch einmal und sorgt durch die intermittierende Betriebsweise der Elektrolyseure für eine Verringerung der Anzahl an Stunden, in welchen ein Kraftwerk mit niedrigen Grenzkosten das preissetzende Kraftwerk war. Da die Elektrolyseure in einem flexiblen Betrieb gefahren werden, wird der Wasserstoff bevorzugt in Zeiten niedriger Grenzstrompreise erzeugt. Dadurch verringern sich die Stunden, in welchen Strom exportiert wird.

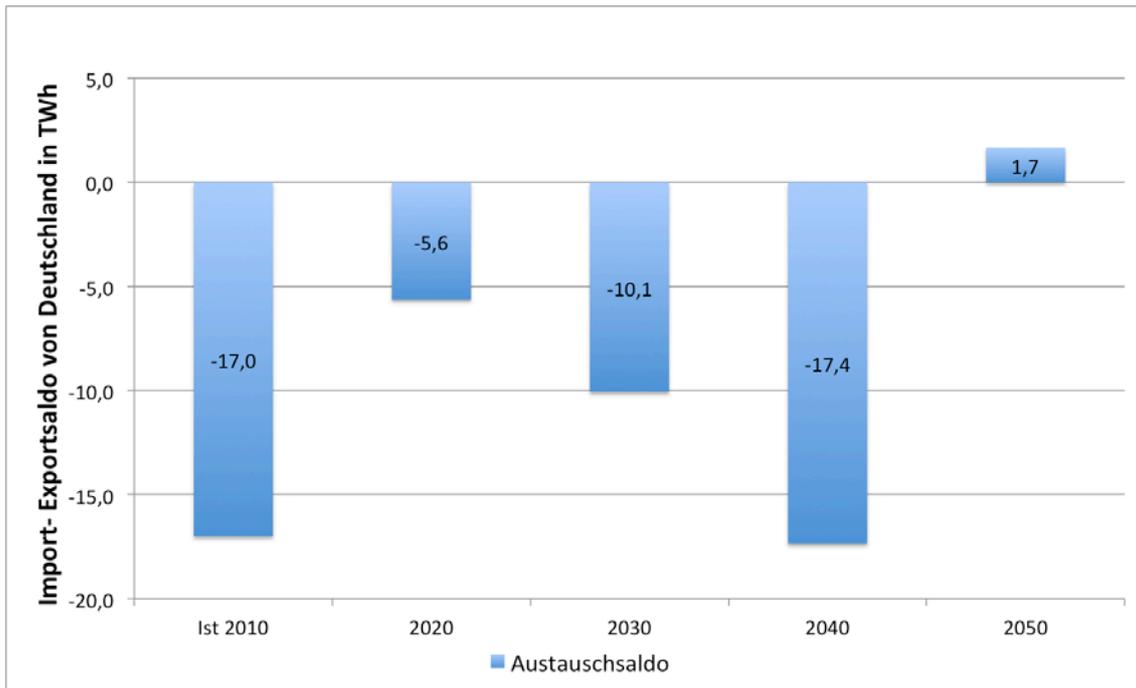


Abbildung 18: Austauschsaldo für Deutschland im Szenario B

Trotz des hohen Strombedarfs für das Jahr 2050 und einem variablen Einsatz von Wasserstoffelektrolyseuren bleiben noch 11,5 TWh an Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie ungeutzt und müssen abgeregelt werden.

Auch im Szenario B werden die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung (BMWI 2011) für das Jahr 2050 verfehlt. Der Bruttostrombedarf 2050 sinkt nicht um 25% sondern steigt gegenüber 2008 um fast 7% an. Die Nettostromnachfrage ist ohne Berücksichtigung der Elektrolyse gegenüber heute leicht (ca. 5%) rückläufig. Wie Abbildung 19 zeigt, liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 2050 nicht bei den angestrebten 80% sondern bei 74%.

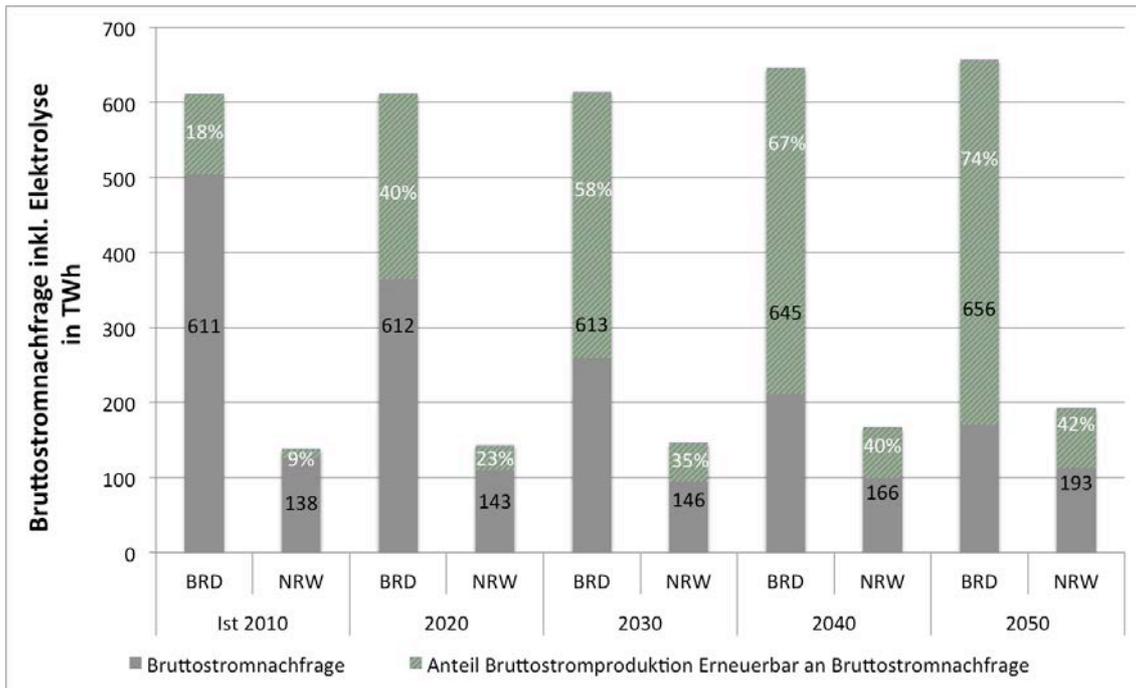


Abbildung 19: Bruttostromnachfrage und Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromnachfrage für das Szenario B

Die Szenariovariante BCCS unterscheidet sich vom Szenario B insofern, als dass der niedrige Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien gewählt wurde und CCS als Technologieoption zugelassen wurde. In dieser Szenariovariante wird CCS-Nachrüstung ab 2025 für alle Braunkohlekraftwerke angewendet, welche noch eine hinreichende Restlaufzeit haben. Gleichzeitig werden ab 2025 vom Netz gehende Braunkohlekapazitäten durch den Neubau von CCS-Braunkohlekraftwerken ersetzt. Der niedrige Ausbau der erneuerbaren Energien führt zunächst wieder dazu, dass die Stromexporte aus Deutschland sinken. Deutschland wird aus diesem Grund Stromimporteur, wenn auch im geringeren Maße als im Szenario A. Gleichzeitig bleibt die Braunkohleverstromung über den gesamten Zeitraum bis 2050 auf konstant hohem Niveau von etwa 130 bis 150 TWh. Dabei lösen CCS-Braunkohlekraftwerke ab dem Jahr 2030 die klassischen Braunkohlekraftwerke sukzessive ab. Im Jahr 2050 spielen Braunkohlekraftwerke ohne CCS keine Rolle mehr, die fossile Stromerzeugung wird durch CCS-Braunkohlekraftwerke dominiert. Diese laufen dann im Grundlastbetrieb mit über 7.500 Volllaststunden. Steinkohlekraftwerke spielen zur Mitte des Jahrhunderts keine Rolle mehr für die Stromerzeugung, Gaskraftwerke kommen weiter im KWK-Betrieb zum Einsatz, mit knapp 74 TWh in 2050 stellen sie aber rund 20 TWh weniger Strom zur Verfügung als im Szenario B.

Szenario C

Das Szenario C unterscheidet sich gegenüber dem Szenario B vor allem in der Annahme des Wirtschaftswachstums. Gleichzeitig gibt es in diesem Szenario ein höheres Potential zur Erzeugung von CO₂-armem Elektrolysewasserstoff als im Szenario B, da die Nettostromnachfrage

(ohne Stromnachfrage der Elektrolyse) bei gleichem Umfang der regenerativen Stromerzeugung niedriger ist und entsprechend auch eine höhere Stromüberschussproduktion anfällt, die für die Elektrolyse genutzt werden kann. Insofern können im Szenario C höhere Mengen Wasserstoff in der Industrie eingesetzt werden, Koks und Kohle werden dort als Energieträger verdrängt.

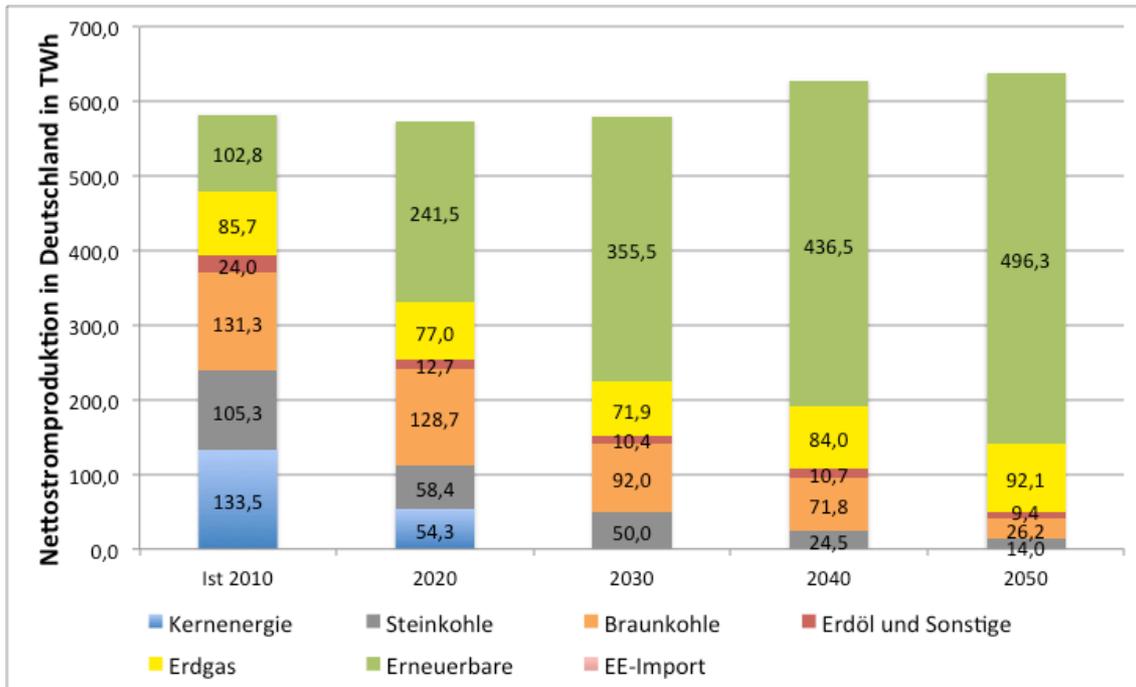


Abbildung 20: Nettostromproduktion in Deutschland (Szenario C)

Die Nettostromproduktion in Szenario C (Abbildung 20) unterscheidet sich nicht grundlegend von Szenario B. Das moderatere Wirtschaftswachstum führt zu einer geringeren Nettostromnachfrage (die Nettostromnachfrage ohne Einsatz von Strom für die Elektrolyse liegt in 2050 um etwa 11,3% unterhalb des Niveaus des Jahres 2010). Dieser Effekt übt einen zusätzlichen Druck auf die konventionelle Stromerzeugung aus. Sowohl Braun-, als auch Stein- und Gaskraftwerke werden aus diesem Grund weniger häufig eingesetzt.

Wie in Abbildung 21 erkennbar, führt der verminderte Stromverbrauch gegenüber Szenario B auch zu einem höheren Stromexport. Auch im Jahr 2050 ist Deutschland Nettostromexporteur, allerdings nimmt der Betrag wegen der im Zeitverlauf deutlich zunehmenden Elektrolysewasserstoffnachfrage ab. Die Abregelung von erneuerbaren Energien bleibt 2050 mit 10,6 TWh auf einem Niveau mit Szenario B. Der leichte Rückgang der Abregelung liegt in einer höheren Wasserstoffnachfrage und damit auch einer verstärkten Ausnutzung der intermittierenden Betriebsweise der Elektrolyseure begründet.

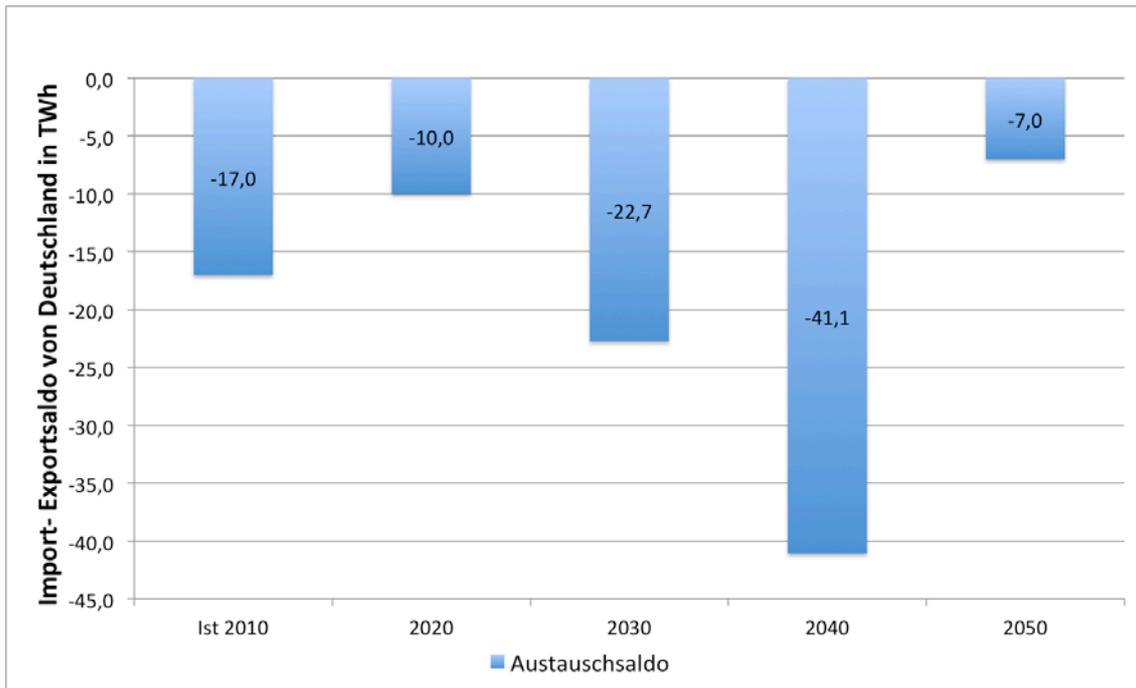


Abbildung 21: Austauschsaldo für Deutschland im Szenario C

Das Szenario C verfehlt, wie die beiden anderen Szenarien die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung (BMWI 2011) für das Jahr 2050. Der Bruttostrombedarf steigt für 2050 gegenüber 2008 um etwa 4% an. Wie Abbildung 22 zeigt, liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 2050 nicht bei den angestrebten 80% sondern bei 76%.

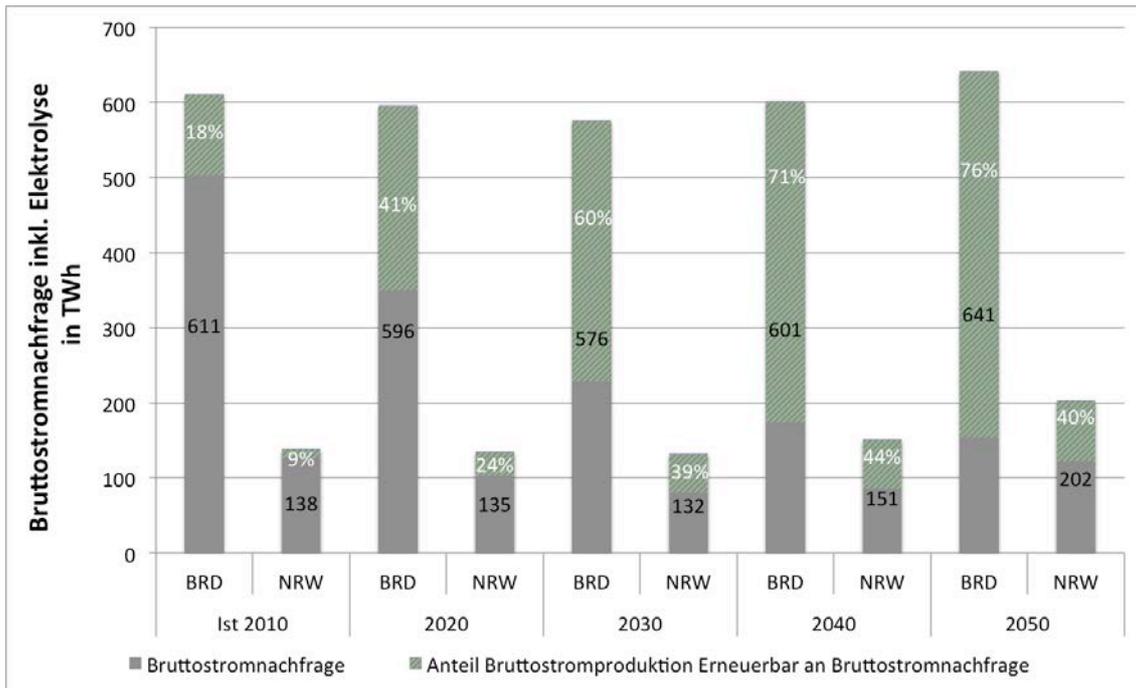


Abbildung 22: Bruttostromnachfrage und der Anteil der erneuerbaren Energien an dieser für das Szenario C

Die Szenariovariante C1 ist mit dem niedrigen Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien modelliert. Der Austauschsaldo – hält man an dem starken Einsatz von Elektrolysewasserstoff fest - verschiebt sich aufgrund der Grenzkostenrelationen dadurch erwartungsgemäß hin zu einem Nettostromimport aus dem Ausland. Im Jahr 2050 werden in der Jahresbilanz rund 84 TWh nach Deutschland importiert. Gleichzeitig muss im Grunde keine erneuerbare Leistung mehr abgeregelt werden. Die verminderte Einspeisung aus erneuerbaren Energien wird zum Großteil durch die erhöhten Importe ausgeglichen, zum Teil aber auch über eine erhöhte Einspeisung aus konventionellen Kraftwerken. Gerade die Braunkohleverstromung und im geringen Umfang auch die Steinkohle können auf Grund ihrer Position in der Merit Order von einem niedrigen Ausbaupfad von erneuerbaren Energien profitieren. Allerdings ergeben sich zur Mitte des Jahrhunderts keine hinreichend günstigen Rahmenbedingungen (keine hinreichenden Auslastungserwartungen, weiter steigende CO₂-Zertifikatepreise), um zusätzliche kohlebetriebene Kraftwerke zu bauen.

5.1.3 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse für NRW

Die Entwicklungen auf der nationalen Ebene wirken sich in sehr deutlichem Umfang auch in NRW aus und führen hier zu signifikanten Veränderungen des Stromerzeugungsmixes. Gegenüber der bundesdeutschen Entwicklung geht aufgrund der spezifischen Altersstruktur und Einbindung in den KWK-Verbund des Landes die Steinkohlestromerzeugung im Vergleich zur nationalen Ebene etwas stärker zurück, demgegenüber weist die Braunkohleverstromung in NRW einen der Bundesebene sehr vergleichbaren Verlauf auf (vgl. Abbildung 23 bis 15 für die drei Szenarien A, B und C).

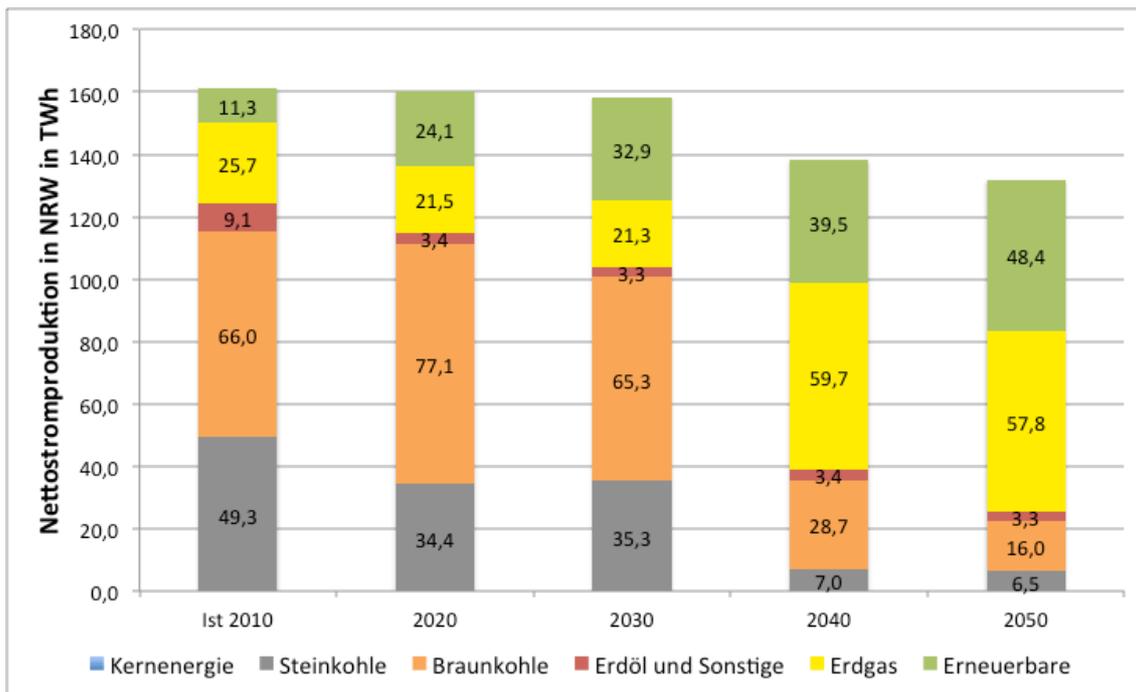


Abbildung 23: Nettostromproduktion in NRW im Szenario A

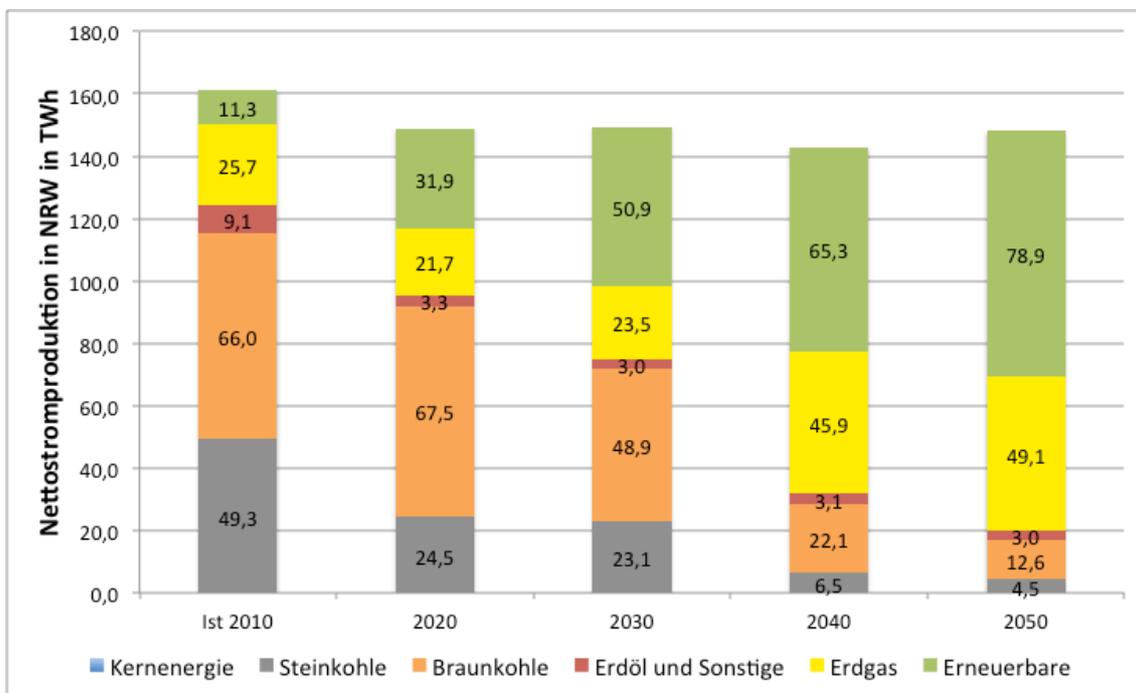


Abbildung 24: Nettostromproduktion in NRW im Szenario B

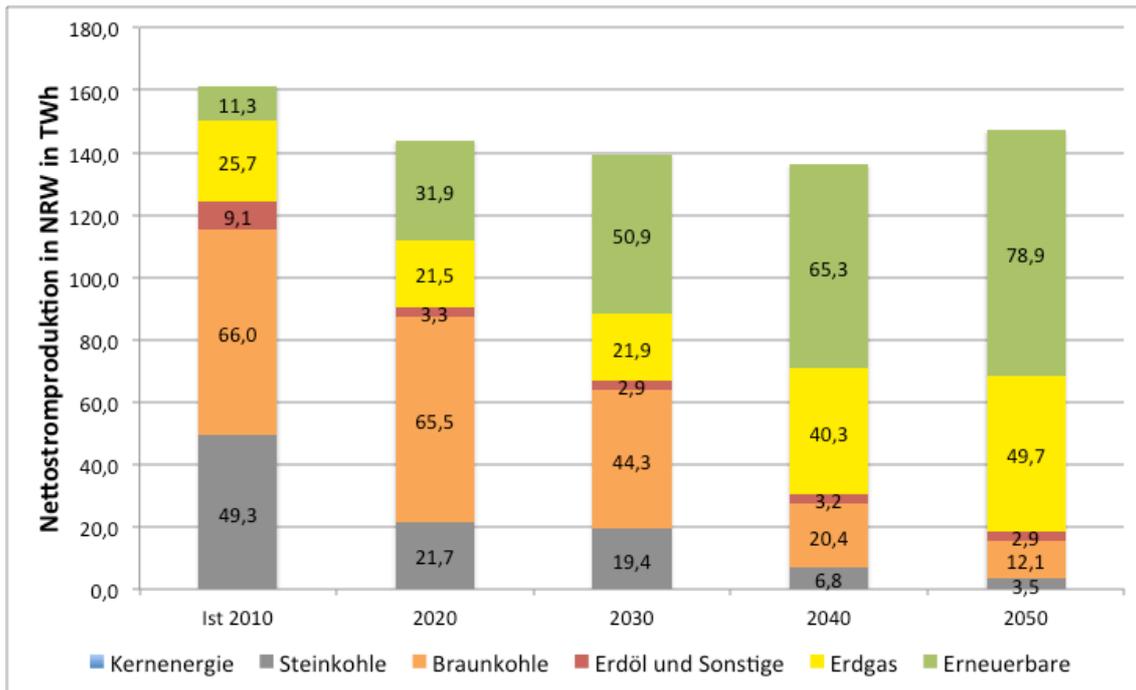


Abbildung 25: Nettostromproduktion in NRW im Szenario C

Die konventionelle Stromerzeugung reduziert sich in NRW insgesamt deutlich, wird aber zumindest teilweise durch den parallelen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und der leichten Zuwächse bei der KWK kompensiert.

Durch die deutlichen Veränderungen im Bereich der Kohleverstromung sinkt auch der Deckungsanteil der heimischen Stromerzeugung kontinuierlich ab. Zumindest für einige Dekaden wird NRW unter diesen Voraussetzungen sogar zum Stromimportland. Der Deckungsanteil der heimischen Stromerzeugung liegt in 2020 im Szenario A beispielsweise noch bei rd. 120%, während in 2050 nur noch 98% des in NRW verbrauchten Stromes auch in NRW produziert wird. In den Szenarien B und C werden 2050 nur noch 79% bzw. 75% Deckungsanteil erreicht. Letzteres gilt aber vor allem unter der Annahme, dass ein signifikanter Anteil der elektrolytischen Wasserstoffproduktion in NRW stattfinden wird und auf die Stromnachfrage im Land angerechnet wird. Insgesamt sinkt die Nettostromerzeugung in NRW zwar ab, liegt aber auch in den Szenarien B und C noch oberhalb der heutigen Nettostromnachfrage.

Ein Vergleich der Szenarien A, B und C zeigt, dass sich das Szenario A in Bezug auf die Braunkohleverstromung deutlich anders entwickelt. Im Unterschied zu den beiden anderen Szenarien bleibt der Braunkohlebeitrag an der deutschen Stromerzeugung bis 2030 fast stabil und verringert sich gegenüber dem Jahr 2010 erst in den beiden Folgedekaden hinweg signifikant. Dies gilt auch gerade für das Bundesland NRW (siehe Abbildung 23). Als eine der maßgeblichen Konsequenzen führt dies dazu, dass der Deckungsanteil an der heimischen Stromnachfrage gegenüber den anderen beiden Szenarien höher liegt. Eine sehr günstige Entwicklung für die Braunkohleverstromung zeigt sich zudem in der Szenariovariante BCCS. Mit 80,5

TWh in 2050 liegt der Stromerzeugungsbeitrag der Braunkohle in dieser Szenariovariante sogar höher als in den drei Szenarien A, B und C.

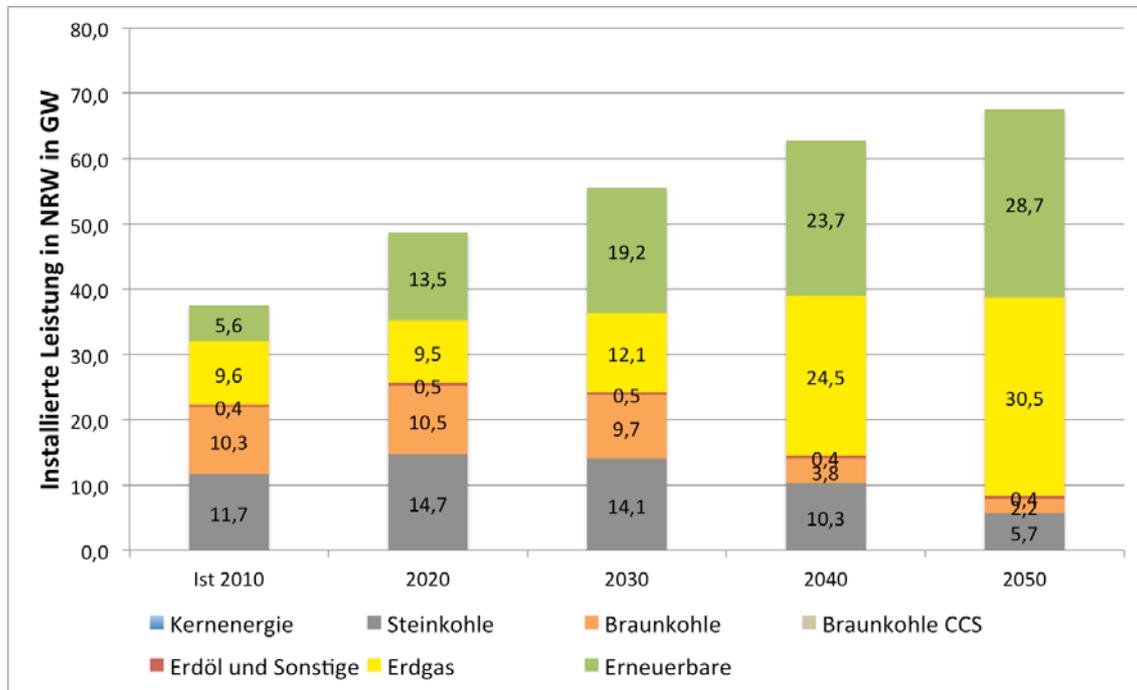


Abbildung 26: Installierte Nettokraftwerksleistung in NRW im Szenario A

Wie Abbildung 26 beispielhaft für das Szenario A zeigt, ist der starke Einbruch der Braunkohle-verstromung nach 2030 auch der Außerbetriebnahme von vielen Braunkohlekraftwerkskapazitäten in NRW zwischen 2030 und 2040 geschuldet. Ab dem Jahr 2040 werden aufgrund der geringeren Fixkosten vermehrt Gaskraftwerke gebaut um die Höchstlast abzusichern.

Tabelle 9 zeigt abschließend für alle Szenarien die Entwicklung der absoluten Treibhausgasemissionen spezifisch für den Umwandlungsbereich in NRW. Hierbei wird deutlich, dass die Bandbreite der langfristig in den Szenarien resultierenden Minderung der Treibhausgasemissionen zwischen 74% und 98% liegt (Minderung von 1990 bis 2050). Die höchsten Minderungsbeiträge werden dabei naturgemäß in den Szenarien mit vollständiger Abdeckung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreicht (die in diesen Szenarien verbleibenden Emissionen sind dabei primär auf Emissionen aus Heizwerken für die Fernwärmeversorgung zurückzuführen). Insgesamt zeigt der Vergleich der Szenarien (Szenariovarianten), dass vor allem der gewählte Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien stark sensitiv wirkt, während sich die Veränderung der energetischen Sanierungsrate nicht maßgeblich auswirkt.

Tabelle 9: Entwicklung der absoluten THG-Emissionen der AG 1 Umwandlung (in 1000 t CO_{2eq}) und korrespondierenden prozentualen Minderungsszenarien (2020/2050) für alle betrachteten Szenarien für NRW; 1990 und 2010 Ist-Daten auf der Basis von Werten des LANUV

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minderung 2020/1990	Minderung 2050/1990
Szenario A	141.694	143.213	120.604	109.525	53.820	37.688	-15%	-73%
Szenario-variante A 1	141.694	143.213	121.088	109.727	53.936	37.773	-15%	-73%
Szenario-variante A 2	141.694	143.213	105.205	85.526	42.397	29.421	-26%	-79%
Szenario B	141.694	143.213	101.396	80.638	41.491	29.581	-28%	-79%
Szenario-variante B 1	141.694	143.213	101.948	81.323	42.166	30.039	-28%	-79%
Szenario-variante B 2	141.694	143.213	101.075	80.331	43.560	5.373	-29%	-96%
Szenario-variante B CCS	141.694	143.213	116.802	74.401	27.068	21.084	-18%	-85%
Szenario C	141.694	143.213	96.651	72.388	38.779	28.232	-32%	-80%
Szenario-variante C 1	141.694	143.213	111.812	94.739	48.470	35.760	-21%	-75%
Szenario-variante C 2	141.694	143.213	96.319	72.013	35.537	3.841	-32%	-97%

5.2 Arbeitsgruppe 2 – Produzierendes Gewerbe/Industrie

In der Arbeitsgruppe 2 (produzierendes Gewerbe/Industrie) wurde intensiv über die Ausgestaltung möglicher Szenarien diskutiert. Als zentrale Einflussgrößen auf den künftigen Energieeinsatz und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen wurden zum einen die künftige Entwicklung der industriellen Wertschöpfung in NRW und hier insbesondere die zu erwartenden Produktionsmengen wichtiger energieintensiver Produkte (z.B. Stahl, Aluminium, Zement) und zum anderen die Entwicklung und der Einsatz ressourcen- und energieeffizienterer und/oder emissionsmindernder Technologien in allen Branchen und Anwendungsfeldern identifiziert. Eine Betrachtung, ausgehend vom zu erreichenden Emissions-Zielniveau im Jahr 2050 – sogenanntes „Back-Casting“ – ist dagegen nicht vorgenommen worden.

Aus der Bandbreite von drei möglichen Wachstumspfaden und zwei beispielhaften Technologiepfaden ergibt sich ein Szenariofächer aus sechs Zukunftspfaden (vier Szenarien und zwei Varianten). Im Folgenden werden die Basisannahmen sowie die wesentlichen Ergebnisse der Pfade dargestellt.

5.2.1 Wachstumspfade

In allen in der Arbeitsgruppe 2 diskutierten Szenarien wird davon ausgegangen, dass sich die nordrhein-westfälische energieintensive Industrie dauerhaft im Weltmarkt behaupten kann. Der gesamtwirtschaftliche Strukturwandel verläuft moderat. Dabei orientieren sich die konkreten Annahmen zur Wirtschaftsentwicklung zum einen an den auch in anderen Bereichen als Referenz zugrunde gelegten Szenarien zum Energiekonzept 2010²² sowie zum anderen an einer Studie des Verbandes der chemischen Industrie²³ die einen Ausblick bis zum Jahr 2030²⁴ bietet.

Auf dieser Grundlage wurden in der AG2 drei mögliche Wachstumspfade der Industrie in NRW diskutiert, die zu unterschiedlichen Niveaus der industriellen Wertschöpfung im Jahr 2050 führen und auf den beiden erwähnten Studien von VCI und Prognos 2013 sowie dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi 2010) beruhen:

- Wachstum nach VCI und Prognos (2013), ab 2030 linear fortgeschrieben (Ø 2010-50: 1,6%/a)
- Wachstum nach VCI und Prognos (2013), ab 2030 mit BMWi (2010) Raten fortgeschrieben (Ø 2010-50: 1,2%/a)
- Wachstum nach BMWi (2010) (Ø 2010-50: 0,6%/a)

²² BMWi (2010). Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung (No. 12/10) (267 S.). Basel/Köln/Osnabrück: ewi, gws, prognos.

²³ VCI und Prognos (2013). Die deutsche chemische Industrie 2030 (62 S.). Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie.

²⁴ Die verwendeten Szenarien projizieren das Wirtschaftswachstum für die gesamtdeutsche Industrie. Die Übertragung auf NRW wurde gemäß der derzeitigen Wirtschaftsstruktur durchgeführt.

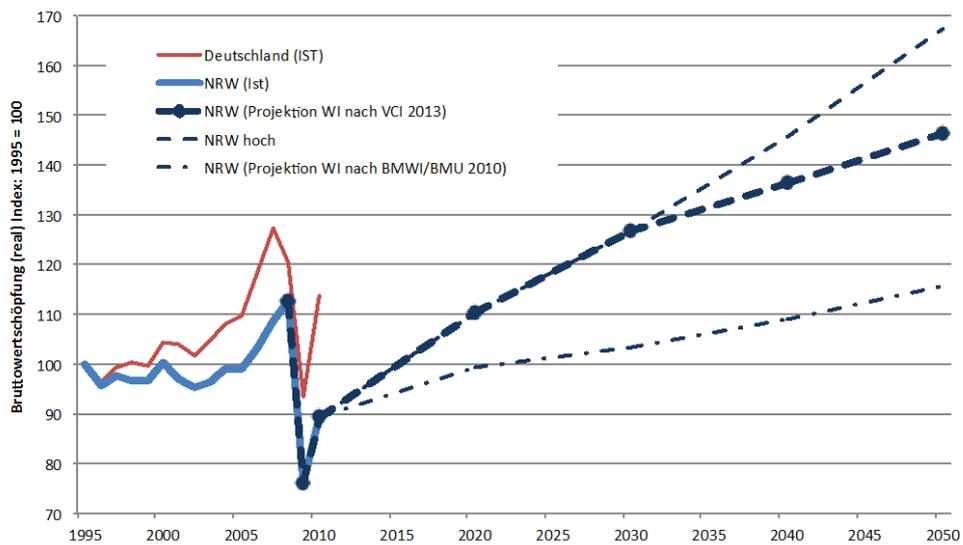


Abbildung 27: Drei Varianten des Wachstums der Bruttowertschöpfung der Industrie in NRW nach VCI und Prognos 2013 und BMWi 2010.

Die Abbildung 27 gibt eine Übersicht über die mögliche Bandbreite der Entwicklung der Wertschöpfung der Industrie in NRW bis zum Jahr 2050, die im gesamten Szenariozeitraum einen Anteil von etwa 18% an der gesamten deutschen industriellen Bruttowertschöpfung hält.

Tabelle 10: Übersicht über Anteile der Industrie an der gesamten Bruttowertschöpfung des Landes NRW.

Wachstumspfad	2010	2020	2030	2040	2050
0,6%/a	18.8%	19.3%	18.4%	18.2%	17.9%
1,2%/a	18.8%	21.0%	21.7%	21.7%	21.6%
1,6%/a	18.8%	21.0%	21.7%	22.9%	24.0%

Quelle: Berechnungen des Wuppertal Instituts

Tabelle 10 zeigt die entsprechende Entwicklung der Anteile der Industrie an der gesamten Bruttowertschöpfung des Landes Nordrhein-Westfalen. Im niedrigen Wachstumspfad wird der Anteil der Industrie an der Wertschöpfung weiter leicht sinken, von 2010 von fast 19% auf knapp 18% im Jahr 2050. In den beiden anderen Szenarien kommt es dagegen zu einem Bedeutungsgewinn der Industrie an der nordrhein-westfälischen Wertschöpfung. Er steigt bis 2050 auf knapp 22 bzw. 24%.

5.2.2 Technologiepfade

Auf der Basis der Diskussionen der AG2 wurden zwei zentrale Technologiepfade für die Industrie in NRW entwickelt.

- Der erste Technologiepfad (BAT) wurde mit den Industrie-Akteuren und hier insbesondere mit denen der energieintensiven Branchen intensiv diskutiert. Die diesem Pfad zugrunde liegenden technisch/wirtschaftlichen Annahmen werden von den Akteuren der jeweiligen Branchen geteilt. Technologiesprünge und größere Strukturänderungen in den Branchen werden nicht betrachtet. Vielmehr wird angenommen, dass im Zeitraum bis 2050 keine neuen Technologien zur Implementierungsreife kommen.
- Der zweite Pfad (LC) stellt eine Weiterentwicklung und Ergänzung des BAT-Pfades um ausgewählte weitere Emissionsminderungstechnologien durch das Wuppertal Institut dar. Es wird ein definierter Einsatz dieser Technologien angenommen. Diese Ergänzungen sind auf der Basis aktueller Literatur und umfangreicher Gespräche mit den jeweiligen Branchen entstanden und beruhen zum Teil auf Annahmen und Hypothesen. Ihr THG-Minderungspotential ist allerdings essentiell, um signifikante emissionsminderungspotenziale in der Industrie in NRW zu erzielen. Die Schlussfolgerungen werden aber ausschließlich durch das Wuppertal Institut verantwortet.

Die beiden Technologiepfade werden im Folgenden näher erläutert und in Tabelle 11 noch einmal zusammengefasst. Dabei berücksichtigen die weiteren Ausführungen im Wesentlichen keine ökonomischen oder wirtschaftspolitischen Aspekte sondern beschränken sich ausschließlich auf die technische Umsetzung. Voraussetzung für die Umsetzbarkeit beider Technologiepfade sind verlässliche wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen sowie auch die Akzeptanz in der Öffentlichkeit.

„Beste verfügbare Technologien“ (best available technologies, BAT)

Der erste Pfad (BAT) sieht eine fortgesetzte und ggf. verstärkte „operational excellence“ und den Einsatz der besten verfügbaren Technologien²⁵ im Rahmen der Reinvestitionszyklen, sowohl für energie- bzw. emissionsintensive Prozesse in den energieintensiven Industriezweigen als auch bei den verschiedenen Querschnittstechnologien (z.B. Motoren, Beleuchtung, Öfen und Brenner) in allen Branchen vor. Darüber hinaus wird der Anteil der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung an der Wärmeerzeugung leicht ausgebaut, bei gleichzeitiger Steigerung der damit verbundenen Stromerzeugung aufgrund modernerer Kraftwerke. Ein Wechsel von z.B. Kohle zu Erdgas oder Biomasse als Brennstoff wird in einzelnen Bereichen angenommen, besitzt aber bezogen auf die gesamte Industrie nur ein relativ begrenztes Potenzial. In allen Bran-

²⁵ Hierbei handelt es sich um den heute bzw. absehbar am Markt verfügbaren Stand der Technik in Bezug auf den Energieeinsatz und die Treibhausgasemissionen energieintensiver Prozesse, der hier basierend auf entsprechender Literatur abgeschätzt wurde und so weit möglich im Dialog mit den einzelnen Branchen geprüft wurde. Es handelt sich dabei also nicht zwingend nur um die in der IPPC-Richtlinie normierten BATs.

chen wird in den BAT-Pfaden auf neue, heute bzw. absehbar verfügbare technische Lösungen gesetzt.

Darüber hinaus gelten für nachfolgende Sektoren unter Berücksichtigung der spezifischen regionalen Bedingungen folgende Annahmen:

- In der Eisen- und Stahlindustrie (Stahlerzeugung) werden bestehende integrierte Stahlstandorte ausgebaut und weiterhin, entsprechend den bestehenden Strukturen, schwerpunktmäßig auf die Hochofenroute gesetzt. Die Stahlproduktion über Lichtbogenöfen (aus Stahlschrott) bleibt dagegen konstant, ihr Anteil an der gesamten Produktion in NRW sinkt hierdurch.
- In der chemischen Industrie wird die Chlorproduktion im Rahmen von Re-Investitionen auf Sauerstoffverzehrkathoden oder Technologien mit vergleichbarer Energieeffizienz umgestellt. Die integrierten (Chemie-) Standorte mit KWK-Wärme Versorgung bleiben erhalten.
- Die Primäraluminiumproduktion wird bis 2030 in den bestehenden Kapazitäten ausgeweitet und danach mit der heute besten verfügbaren Technik neu errichtet, wobei es zu Standortkonzentrationen kommen kann. Das Aluminiumrecycling nimmt kontinuierlich zu und die Kapazitäten zur Halbzeugherstellung werden schrittweise ausgeweitet.
- In der Zementherstellung steigt im BAT-Pfad der Anteil der Ersatzbrennstoffe auf 80% in 2050 durch den Einsatz von Biomasse, Abfällen oder Klärschlamm.
- In der Papierherstellung wird durch den konsequenten Einsatz von verbesserten Technologien u.a. zur Trocknung eine pauschale Verbesserung der Energieeffizienz um 25% von 2010 bis 2050 angenommen.
- In der Glasproduktion wird der Einsatz von verbesserten Brennern mit Vorwärmung der Scherben für alle großen Anlagen-Neubauten angenommen.

Low-Carbon Technologien für die Industrie (LC)

Im zweiten Pfad bleiben die Annahmen des BAT-Pfades enthalten, jedoch werden darüber hinaus weitergehende Minderungen des spezifischen Energiebedarfs bei Querschnittstechnologien (vor allem im Bereich mechanischer Energie) angenommen sowie optimistischere Annahmen über heute noch nicht marktfähige aber potenziell ggf. einsetzbare Technologien angesetzt. Unter der Prämisse einer CO₂-freien Strombereitstellung durch erneuerbare Energien wird eine begrenzte Umstellung auf strombasierte Technologien angenommen, wodurch es zu indirekten Emissionsminderungen kommt. Weiterhin wird von einem moderaten Einsatz neuer, alternativer und z.T. disruptiver, derzeit aber nicht sicher verfügbarer, Technologien ausgegangen.

Im Low-Carbon-Pfad wird zudem angenommen, dass Unternehmen ggf. längere Amortisationszeiten sowie ggf. höhere Investitionen akzeptieren können, so dass Effizienztechnologien schneller implementiert werden (bisher häufig <1Jahr). Auf der Basis der Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte wird auch angenommen, dass sich die technische Weiterentwicklung – die entsprechenden Rahmenbedingungen vorausgesetzt - in der Zukunft fortsetzt.

Auf die CCS-Technologie wird im Rahmen des Low-Carbon-Technologiepfades verzichtet. Es wird die Idee einer Wasserstoffinfrastruktur für NRW entworfen, die vor allem in der Eisen- und Stahlindustrie sowie in der Chemischen Industrie positive Auswirkungen auf die Emissionen haben könnte. Die Elektrolyseure zur H₂-Produktion aus Überschussstrom würden ggf. in NRW errichtet.

Hypothetisch wird in den Low-Carbon-Szenarien beispielsweise eine Stahlherstellung mit Wasserstoff angenommen, welche unter anderem zwingend die Verfügbarkeit von Wasserstoff zu im globalen Wettbewerb der Stahlindustrie konkurrenzfähigen Konditionen voraussetzt. Dabei wird unterstellt, dass unter den vorgenannten Rahmenbedingungen eine Einpassung dieses Pfades in die in NRW ansässigen und bestehenden Standorte und Strukturen möglich sein könnte.

Für die Eisen und Stahlindustrie wird dazu der Einsatz der Direktreduktion mit Wasserstoff zur Stahlerzeugung ab 2030 für Neuanlagen vorgesehen, die dann mit zunehmender Kapazität in Elektro-Lichtbogenöfen gekoppelt würden. Allerdings sieht der Low-Carbon-Pfad auch noch vereinzelte Neubauten der Hochofenroute vor, um den sich aus der Szenariodefinition ergebenden starken Produktionsanstieg aufgrund der global weiterhin steigenden Stahlnachfrage und einer beschränkten Verfügbarkeit von Schrott zu bedienen. In 2050 spielt die Direktreduktion mit angeschlossener Elektro-Route in der Primärstahlerzeugung nach dieser Annahme eine gewichtige Rolle. Je nach Verfügbarkeit von Wasserstoff aus Stromüberschüssen aus fluktuierenden Energien und dem Umfang der Stahlerzeugung würden zwischen 30% und 70% des Primärstahls aus Direktreduktion gewonnen.²⁶ Der verbleibende Anteil würde weiterhin über die Hochofenroute erzeugt. Andere emissionsfreie Technologieansätze wie die Reduktion per Elektrolyse, die heute Laborstadium haben, werden nicht analysiert.

In der chemischen und pharmazeutischen Industrie würde ab 2030 ebenfalls regenerativer Wasserstoff eingesetzt, hauptsächlich in der Ammoniakherstellung. Hierdurch würde insbesondere Erdgas substituiert. Zusätzlich wird im Low-Carbon-Pfad eine weitergehende Effizienzverbesserung der Steam Cracker in der Petrochemie angenommen.

In der Aluminiumindustrie (Nichteisenmetalle) werden im Low-Carbon-Pfad unter Annahme technischer Weiterentwicklungen entsprechend den Erfahrungen vergangener Jahrzehnte ab 2030 neue Techniken eingesetzt, wodurch die prozessbedingten Emissionen weitgehend entfallen würden. Bis 2030 werden die bestehenden Kapazitäten ausgeschöpft, um den prognostizierten Produktionsanstieg zu bedienen.

Bei der Verarbeitung von Steinen und Erden wird in der Zementherstellung ein steigender Produktionsanteil von „Low-Carbon“ Zementen angenommen, der im Jahr 2050 14% erreicht. Die in der Stahlproduktion weiterhin anfallende Hochofenschlacke wird zur Klinker-Substitution eingesetzt. Allerdings stünde aufgrund sinkender Anteile der Hochofen an der Stahlerzeugung nur eine rückläufige Menge zur Substitution zur Verfügung. Beide Effekte zusammengenommen führen beispielsweise im Szenario I-LC-1,2 bis zum Jahr 2050 zu einer Verringerung des Klinker-

²⁶ In dem im folgenden Abschnitt 4.3 detailliert beschriebenen Szenario I-LC-1,2 stammen 32% der Primärstahlerzeugung aus der (Wasserstoff-)DRI-Route.

Zement-Verhältnis von heute rd. 72 t Klinker auf 61 t Klinker bezogen auf 100 t Zement. Unberücksichtigt bleibt, in wie weit ggf. auch Schlacke aus einer wasserstoffbasierten Stahlproduktion in der Zementherstellung Verwendung finden könnte.

Die Papierherstellung in NRW wird auch langfristig keine Möglichkeiten zur Energieerzeugung in Verbindung mit einer Zellstoffproduktion besitzen, da der Bau solcher Anlagen in NRW als unwahrscheinlich angenommen wird. Im Low-Carbon-Pfad verzeichnet sie eine leichte Verbesserung der Energieeffizienz u.a. durch eine Energieträger-Verschiebung hin zum Einsatz von Strom. Dadurch ginge u.a. der Brennstoffeinsatz in den Papierfabriken zurück. Zusätzlich wird die Herstellung und Nutzung von leichteren Papieren schrittweise zum Standard bis 2050 angenommen (Büropapiere: 70 statt 80 g/m², Zeitungspapier: 42 statt 45 g/m²). Darüber hinaus wird die Ausweitung der KWK-Stromproduktion in Industriekraftwerken angenommen.

In der Glasindustrie werden drei Möglichkeiten angenommen, die jedoch insgesamt nur zu geringfügigen Emissionsminderungen führen: Für kleinere Produktionsanlagen bis 75t/Tag wird der Einsatz von elektrischen Öfen vorgesehen, die somit in den Trend zur Elektrifizierung der Industrie passen. Eine weitere Erhöhung des Recyclinganteils reduziert ggf. die prozessbedingten Emissionen. Im Low-Carbon-Pfad erhöht sich nach Annahmen des Wuppertal Instituts der Recyclinganteil beim Behälterglas auf 80% in 2050 (gegenüber 70 % im BAT-Pfad). Beim Flachglas, das erheblich aufwändiger und reiner der Wiederverwertung zugeführt werden muss, wird bis 2050 eine Recyclingquote von 10% angenommen. Eine weitere Möglichkeit zur Minderung des spezifischen Energieeinsatzes und der Emissionen böte die Gewichtsreduktion von Behälterglas oder Flachglas durch dünnere Wandstärke (einstufiges Formen, Einsatz neuer Beschichtungsverfahren). Dadurch ergäbe sich eine geringere Produktionsmenge in Tonnen Glas für den Low-Carbon-Pfad gegenüber dem BAT-Pfad, bei gleichbleibender Anzahl der Behälterverhältnisse sowie gleicher Bruttowertschöpfung.

Tabelle 11 Vergleich der technikbezogenen Annahmen zwischen den BAT und den Low-Carbon-Pfaden

	BAT-Pfad	zusätzliche Annahmen des Wuppertal Instituts im Low-Carbon-Pfad
Allgemein	<p>Beste heute verfügbare Technologien werden sukzessive eingesetzt</p> <p>Verfügbare branchenspezifische Minderungstechnologien werden eingesetzt</p> <p>Minderung des spezifischen Energiebedarfs bei Querschnittstechnologien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beleuchtung (-45% spezifisch in 2050 ggü. 2010) - Mechanische Energie: Druckluft, Pumpen, Motoren (-20% spezifisch in 2050 ggü. 2010) <p>Leichter Ausbau der durch die Industriekraftwerke produzierten Anteile des Wärmebedarfs (Stromerzeugung entsprechend Einsatz im Strommarktmodell)</p>	<p>Beste verfügbare Prozess- und Querschnittstechnologien werden zügig und industrieweit eingesetzt</p> <p>Umstieg auf strombasierte Technologien, soweit möglich</p> <p>Weitergehende Minderung des spezifischen Energiebedarfs bei mechanischer Energie: Druckluft, Pumpen, Motoren (-30% spezifisch in 2050 ggü. 2010)</p> <p>Wärmelieferung durch Industriekraftwerke wie in den BAT-Szenarien; Stromerzeugung z.T. reduziert durch verändertes Stromnachfrageprofil am Markt (ggf. reine Wärmeerzeugung)</p> <p>Einsatz von regenerativem Wasserstoff in Verkehr, chemischer Industrie (Ammoniak) und zur Direktreduktion von Stahl (ab 2030). Elektrolyseure zur H₂-Produktion aus Überschussstrom würden ggf. in NRW errichtet</p> <p>Wirtschaftliche Rahmenbedingungen erlauben umfangreiche Neu-Investitionen mit teils vollständiger Restrukturierung bestehender Standorte und Infrastrukturen. Akzeptanz und Unterstützung durch Politik und Öffentlichkeit bei der Umsetzung werden vorausgesetzt.</p>
Stahlerzeugung	<p>Beibehaltung Hochofenroute, Anstieg der Produktion</p> <p>Entwicklung bestehender Standorte</p> <p>Produktion über Elektro-Stahl Route konstant, Anteil sinkt</p>	<p>Bis 2030 Neuzustellungen konventioneller Hochöfen;</p> <p>Neubauten Hochofenroute bis 2050 vereinzelt möglich</p> <p>Umstieg auf Direktreduktion mit H₂ ab 2030 für Neuanlagen bei ausreichend und wirtschaftlich verfügbarem regenerativem H₂</p> <p>Starker Anstieg der Elektro-Stahlroute über Lichtbogenöfen (mit Eisen aus Direktreduktion)</p>

... Tabelle 11 (Fortsetzung)

Chemie und pharmazeutische Industrie	<p>Einsatz der Sauerstoffverzehrkathode in der Chlorchemie</p> <p>Kontinuierlicher Einsatz der operational excellence</p> <p>Integrierte Standorte mit KWK-Wärme Versorgung bleiben erhalten</p>	<p>Ammoniakproduktion mit regenerativ hergestelltem H₂ ab 2030</p> <p>weitergehende Effizienzverbesserung im Steam Cracker</p>
NE-Metalle	<p>Neubau für Primäraluminium in 2030; Produktion an einem konzentrierten Standort mit heute bester verfügbarer Technologie</p> <p>Zunahme von Recycling (Sekundäraluminium Route)</p> <p>Ausbau bestehender Kapazitäten der Halbzeugherstellung mit heute bester verfügbarer Technologie</p>	<p>bis 2030, Ausschöpfung der bestehenden Produktionskapazitäten</p> <p>Einsatz neuer Technologien ab 2030 an konzentriertem Standort</p>
Verarbeitung von Steinen und Erden	<p>Anstieg des Anteils der Ersatzbrennstoffe auf 80% in 2050 (Biomasse, Abfälle, Klärschlamm)</p>	<p>Einsatz von Low-Carbon Zementen zu 14% in 2050</p> <p>Hochofenschlacke weiterhin zur Klinkersubstitution</p> <p>--> Klinker-Zement-Verhältnis reduziert sich bis 2050 durch Kombination beider Strategien</p>
Papiergewerbe	<p>Einsatz von BAT und dadurch sukzessive Verbesserung um 25% von 2010 bis 2050</p> <p>Keine Zellstoffproduktion in NRW: Möglichkeiten zur Energieproduktion mit Schwarzlauge als biogenem Energieträger sind deshalb stark begrenzt</p> <p>Ausweitung KWK in Industriekraftwerken</p>	<p>Leichte Verbesserung der Energieeffizienz und Energieträger-Verschiebung zum Einsatz von Strom</p> <p>Weiter keine Zellstoffproduktion</p> <p>Herstellung von leichteren grafischen Papieren wird schrittweise Standard (Büro: 70 statt 80 g/m², Zeitungspapier: 42 statt 45 g/m²)</p> <p>Ausweitung KWK in Industriekraftwerken</p>
Glas und Keramik Industrie	<p>Einsatz von verbesserten Brennern mit Vorwärmung der Scherben für alle großen Neubauten (Energieeffizienz der oxyfuel-Technologie angenommen)</p>	<p>Einsatz von elektrischen Öfen für kleinere Produktionsanlagen bis 75t/Tag</p> <p>Recycling von Flachglas mit 10%, Erhöhung Scherbenanteil Behälterglas auf 80% in 2050</p> <p>Gewichtsreduktion von Behälterglas oder Flachglas durch dünnere Wandstärke (einstufiges Formen, Einsatz neuer Beschichtungsverfahren)</p>

Stellungnahmen der Umweltverbände und der Wirtschaft

a) Akteure der Umweltverbände

Die Umweltverbände begrüßen ausdrücklich die konsultative Vorgehensweise bei der Erstellung der Szenarien. Letztlich kann nur durch Einbindung und Transparenz Akzeptanz geschaffen werden. Im Verlauf des Prozesses sind leider Tiefe, Detail und Begründung der Szenarien für die Umweltverbände nicht immer in der notwendigen Weise nachvollziehbar gewesen.

Alle vorliegenden Szenario-Varianten zeigen von 2010 bis 2020 eine Stagnation oder Steigerung der Emissionen. Festzustellen bleibt in diesem Zusammenhang, dass ein Zielniveau von -25% bis 2020 ggü. 1990 keinen Anreiz zur Fortsetzung von Emissionsminderungen in der Industrie setzt. Ein Szenario bildet bis 2050 einen Anstieg der Emissionen der Industrie im Vergleich zu heute ab, die anderen fünf Szenarien sehen eine deutliche Abschwächung der in den letzten Jahren gemessenen Minderungsrate vor. Für effektiven und erfolgreichen Klimaschutz ist eine Erhöhung der Minderungsrate auch und gerade in der Industrie notwendig. Besonders erstrebenswert ist eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Emissionen.

Diesen Erfordernissen des Klimaschutzes tragen insbesondere die BAT-Szenarien nicht Rechnung. Die BAT-Varianten lassen offen, wie die landesweiten Klimaschutzziele (mind. -80 % bis 2050 gegenüber 1990) bei einem so geringen Beitrag der Industrie erreicht werden können. Es werden heute technische Lösungsansätze diskutiert, die zu einer wesentlich stärkeren Emissionsminderung führen können. Teilweise sind diese in den LC-Varianten aufgenommen. Weitere Optionen werden durch die AG2 in den branchenübergreifenden Strategien beschrieben. Darüberhinausgehende Optionen werden derzeit in keiner der AG2 Unterlagen diskutiert. Die Verbände fordern dazu auf, diese zusätzlichen Lösungsansätze als Erweiterungen des verfügbaren Lösungsspektrums aufzunehmen. Im Vergleich zu den vorliegenden LC-Varianten können so weitere Potentiale für THG-Minderungen dargestellt und so sowohl der unternehmerische als auch der politische Handlungsspielraum erweitert werden.

Selbstverständlich ist zum heutigen Zeitpunkt die Sicherheit mit Blick auf den Verlauf technologischer Entwicklungen nicht umfassend. Es ist aus Sicht der Verbände jedoch Ziel und Aufgabe des Klimaschutzplans auch im Sinne der politischen Handlungsfähigkeit die notwendigen Lösungsmöglichkeiten zu identifizieren und deren Weiterentwicklung gezielt anzureizen.

b) Akteure der Wirtschaft

Die Wirtschaft begrüßt die umfangreiche Recherche des Wuppertal Instituts im Vorfeld und die differenzierte Darstellung verschiedener potentieller Entwicklungspfade. Die Wirtschaft hat hierzu in vielen Branchengesprächen sowie in den Sitzungen der AG 2 selbst Anregungen und Hinweise gegeben. Die Erstellung der Szenarien selbst erfolgte dagegen in alleiniger Verantwortung des Wuppertal Instituts.

Angesichts eines zu betrachtenden Zeitraums von über 30 Jahren ist es sachdienlich, mit einer Abbildung verschiedener Entwicklungspfade die Bandbreite der verschiedenen denkbaren technischen Entwicklungen wiederzugeben.

Allerdings ist aus Sicht der Wirtschaft das Grundverständnis von zentraler Bedeutung, dass es sich letztlich allein um „Was wäre wenn...“-Szenarien handeln kann, deren ökonomische Realisierung nicht überprüft wurde. Angesichts der Vielzahl unbekannter Faktoren für die zukünftige Entwicklung sind diese nur eingeschränkt als Grundlage für Handlungsstrategien und Maßnahmen geeignet. Konkrete Strategien und Maßnahmen sollten daher in erster Linie auch unabhängig von ihrer Verbindung mit den Szenarien als zielführend eingestuft werden können, vor allem im Hinblick auf ihre Effektivität und eine angemessene Kosten-Nutzen-Bilanz.

Dabei ist vom Grundverständnis, die Technologiepfade „BAT“ und „Low-Carbon“ betreffend, folgendes wichtig: Schon die dem BAT-Szenario zugrunde liegende Annahme der Weiterführung der BAT ist als sehr ambitioniert zu bewerten. Ein noch weitergehendes „Low-Carbon“-Szenario enthält zwangsläufig in weiten Teilen spekulative Elemente und muss daher mit entsprechend großer Vorsicht betrachtet werden. Die hierauf basierenden möglichen Entwicklungspfade können keinesfalls als „in hohem Maße wahrscheinlich“ oder auf belastbaren Grundannahmen beruhend eingestuft werden. Sie stellen vielmehr denkbare Entwicklungsmöglichkeiten dar, zu deren Umsetzung aber noch wenig bis keine substantiierten Hintergrunddaten verfügbar sind.

Es sollte daher keine Vorfestlegung auf bestimmte Prozesse erfolgen, sondern der Innovationsstärke der Unternehmen vertraut werden, um die notwendigen Technologiesprünge technologieneutral zu ermöglichen, die bis 2050 weiterhin direkt über Emissionsreduktion und indirekt über klimaschonende Produkte zur Zielerreichung signifikant beitragen.

Alle Szenarien zeigen bereits heute eine sinkende Brennstoff- und Stromintensität auf und belegen damit die kontinuierliche Verringerung der spezifischen THG-Emissionen der NRW-Industrie. Wegen der klimarelevanten Reduktion der absoluten Emissionen durch den vorgegebenen Minderungspfad des EU-Emissionshandels (nach jetzigem Stand bereits 71% bis 2050), ist eine Ausweitung der Produktion in NRW insgesamt nicht klimaschädlich; volkswirtschaftlich ist sie zu begrüßen. Trotz dieser Produktionsausweitung setzt die NRW Industrie ihre Anstrengungen zur absoluten Minderung ihrer eigenen Emissionen aber ebenfalls unvermindert fort.

5.2.3 Ergebnisse für die Industrie

Die Kombination der drei Wirtschaftswachstumspfade mit den beiden Technologiepfaden ergibt einen Fächer von sechs möglichen Szenarien bzw. Varianten (I-BAT-1,6 bis I-LC-0,6).

Hier werden im Folgenden insbesondere die Szenarien I-BAT-1,2 und I-LC-1,2 verglichen. Diese beiden Szenarien bieten – bei gleicher Entwicklung der Bruttowertschöpfung – einen guten Überblick über die Unterschiede zwischen dem BAT-Pfad und dem Low-Carbon-Pfad.

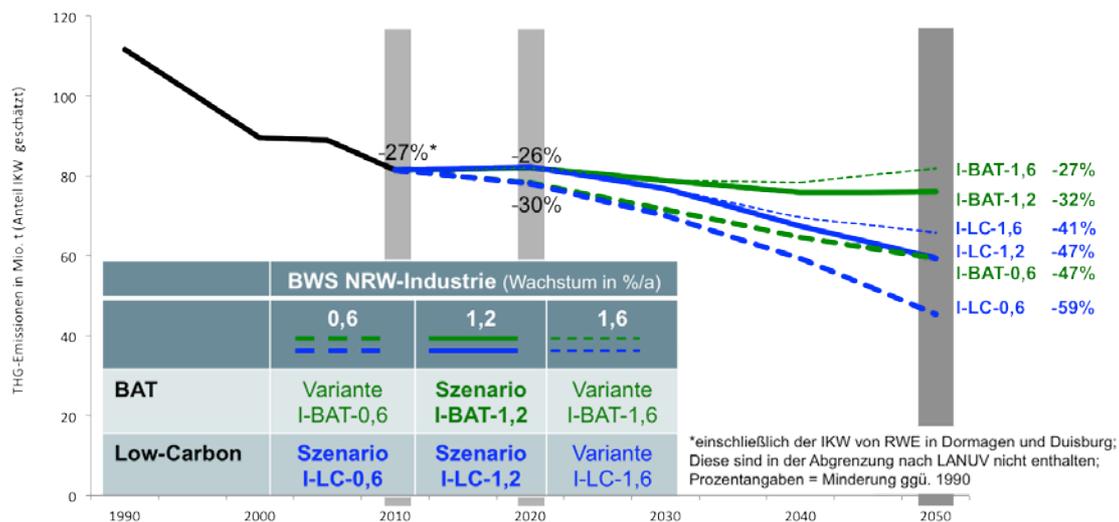


Abbildung 28: Direkte Treibhausgasemissionen des produzierenden Gewerbes/Industrie (AG2) in NRW in Mio. t CO₂-Äquivalent in drei Szenarien und drei Varianten (Prozentangaben = Minderung ggü. 1990; Emissionen der Industriekraftwerke in den Varianten geschätzt)²⁷.

Abbildung 28 zeigt die große Bandbreite der möglichen Entwicklungen, je nach Szenario. Ein Szenario (I-BAT-1,6) bildet bis 2050 einen leichten Anstieg der Emissionen der Industrie im Vergleich zu heute ab, die anderen fünf sehen eine deutliche Abschwächung der in den letzten Jahren gemessenen Minderungsrate vor. Im Vergleich zu 1990 ergeben sich bis 2050 Emissionsminderungen zwischen 27 % und 59 %. Bei einem Vergleich der beiden zentralen Szenarien I-BAT-1,2 und I-LC-1,2, für die ein signifikantes Produktionswachstum von durchschnittlich 1,2% pro Jahr angenommen wird, zeichnet der jeweilige Technologiepfad für unterschiedliche Minderungsergebnisse bis ins Jahr 2050 verantwortlich:

²⁷ Die Darstellung hier weicht von den Zahlen des LANUV NRW für das Jahr 2010 ab, da dort die von RWE betriebenen Industriekraftwerke in Dormagen und Duisburg dem Sektor "Energiewirtschaft" zugeordnet sind. Für den Vergleich zwischen 1990 und 2010 muss beachtet werden, dass das LANUV in seiner THG-Berichterstattung außerdem Raffinerien sowie diejenigen Kokereien, die nicht von den Stahlproduzenten selbst betrieben werden, unter dem Sektor Energiewirtschaft führt. Auf Basis dieser Abgrenzung zwischen Industrie und Energiewirtschaft läge die hier abgebildete erzielte THG-Minderung für die Industrie im Jahr 2010 bei 39% ggü. 1990. Die Gesamtmenge der berichteten Emissionsmengen bleibt von der unterschiedlichen Verbuchung unberührt. Hier ergibt sich für Energiewirtschaft und Industrie zusammen eine Minderung von 11% (2010 ggü. 1990).

- Bei einer Technikentwicklung entsprechend dem BAT-Szenario und einem signifikanten Wachstum der Wertschöpfung um 1,2% pro Jahr (Szenario I-BAT-1,2) ist nur ein leichter Rückgang der direkten Treibhausgasemissionen der Industrie in 2050 im Vergleich zum Jahr 2010 zu erkennen. Im Vergleich zu 1990 bedeutet das einen absoluten Rückgang der Treibhausgasemissionen der Industrie um 32%.
- Können zusätzlich ausgewählte Low-Carbon-Technologien in verschiedenen Branchen wie der Stahlindustrie, der Aluminiumindustrie, der chemischen Industrie oder der Zementindustrie genutzt werden (Szenario I-LC-1,2), kann ein stärkerer Rückgang gegenüber 2010 erreicht werden. Bis 2050 beträgt die Minderung der direkten Treibhausgasemissionen im LC-Szenario 47% gegenüber 1990.

Der Endenergieeinsatz der Industrie in NRW nach Energieträgern ist in Abbildung 29 dargestellt. Es wird die Energieträgerzusammensetzung des Jahres 2010 mit allen Szenarien bzw. Varianten für das Jahr 2050 verglichen. Alle zeigen eine recht konstante Struktur und einen leicht ansteigenden Stromanteil. In den Low-Carbon-Pfaden wird zudem ein signifikanter Anteil der Festbrennstoffe durch regenerativ erzeugten Wasserstoff substituiert. Außerdem steigt der Stromanteil durch den Ersatz von Brennstoffen etwas stärker als in den BAT-Pfaden. Dieser Effekt wird aber zum Teil (bzw. in Variante I-LC-1,6 voll) durch zusätzliche Stromeinsparungen in Querschnittsanwendungen und -prozessen kompensiert.

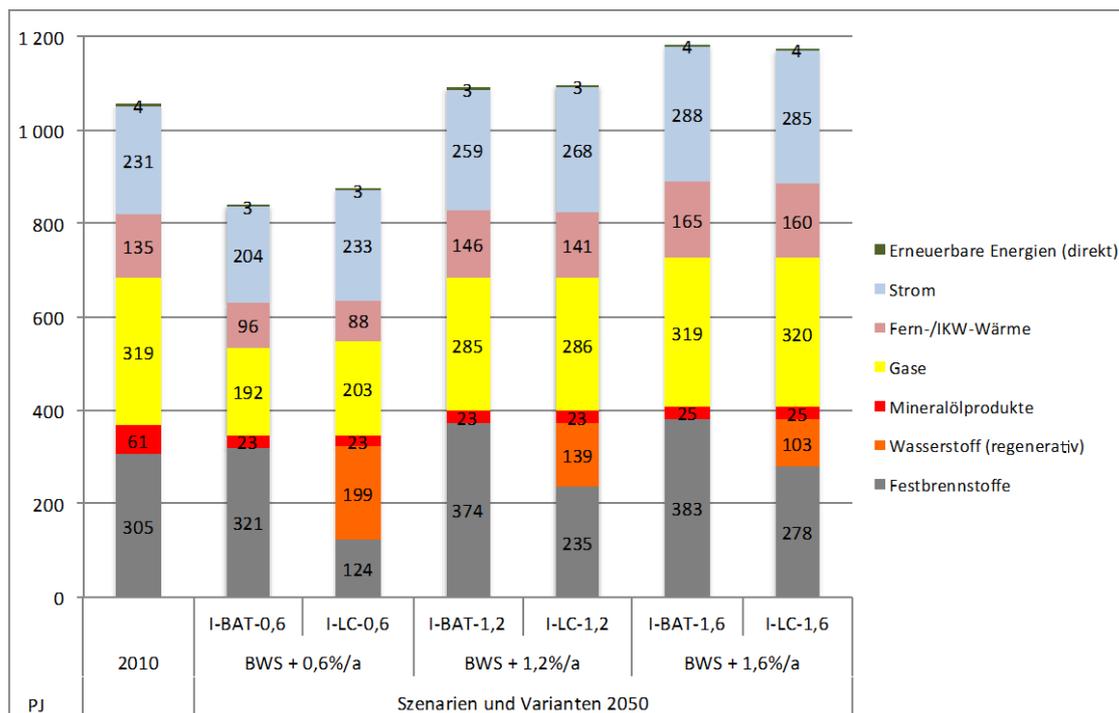


Abbildung 29: Endenergieeinsatz der Industrie in NRW nach Energieträgern, 2010 und 2050 in verschiedenen Szenarien bzw. Varianten

Die Endenergieintensität, d.h. die Energiemenge, die benötigt wird um einen Euro Bruttowertschöpfung zu erzeugen, geht in allen Szenarien kontinuierlich um ca. 1,1%/a zurück (siehe Abbildung 30). In den Szenarien I-BAT-1,2 und I-LC-1,2 werden die durch das Wachstum der

Bruttowertschöpfung verursachten THG-Emissionen dadurch fast vollständig kompensiert, so dass der Endenergieeinsatz nahezu konstant bleibt (vgl. Abb. 3). Die Stromintensität geht ebenfalls in allen Szenarien und Varianten kontinuierlich um ca. 0,9%/a zurück. Bis 2030 ist im Low-Carbon-Pfad (Szenario I-LC-1,2) eine stärkere Effizienzverbesserung um 1,2%/a zu verzeichnen als im BAT-Pfad. Ab 2030 verlangsamt sich hier jedoch der Rückgang der Stromintensität und halbiert sich auf ca. 0,6%/a aufgrund zusätzlicher Stromnutzung für den Ersatz von Brennstoffen durch Strom. Im Jahr 2050 liegt die Stromintensität im Low-Carbon-Pfad schließlich leicht oberhalb des BAT-Pfades.

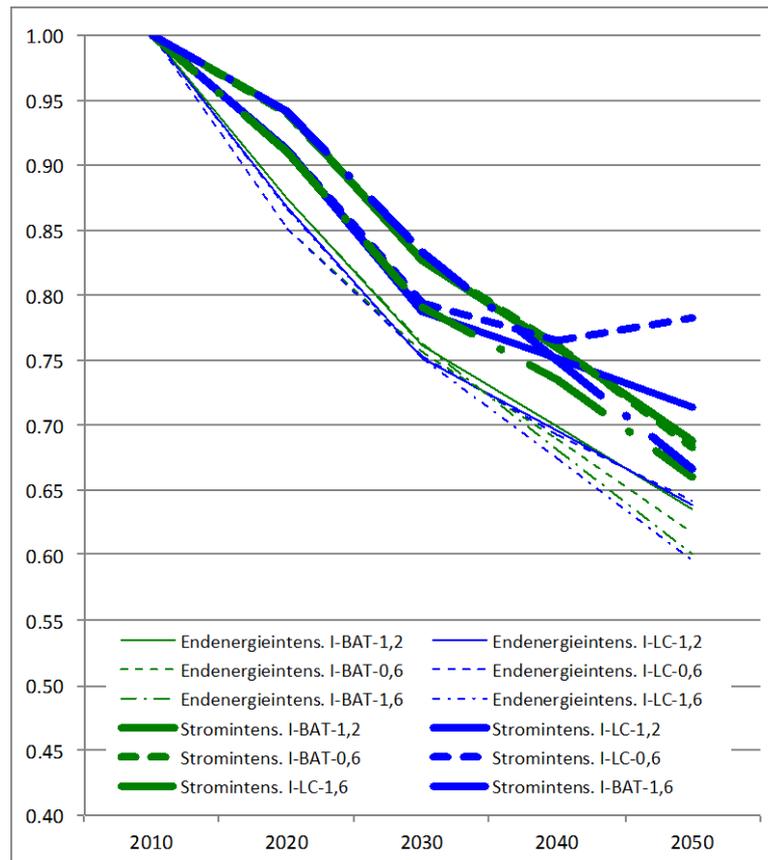


Abbildung 30: Entwicklung der Brennstoff- und Stromintensität der Industrie zwischen 2010 und 2050 in verschiedenen Szenarien bzw. Varianten (Index: 2010 = 1)

Rund 16 bis 18% des industriellen Wärmebedarfs wird in Form von Dampf bzw. Heißwasser in Kraft Wärme-Kopplung in Industriekraftwerken vor allem der Stahlindustrie und der Chemischen Industrie sowie der Papierherstellung und der Raffinerien erzeugt. Dieser Anteil bleibt in den Szenarien weitgehend stabil (vgl. Abbildung 29). Gleichzeitig werden Prozessgase in der Stahlindustrie sowie zum Teil in der chemischen Industrie und den Raffinerien in den Kraftwerken energetisch genutzt. Der dabei erzeugte Strom deckt zudem gut ein Viertel des Stromeinsatzes der gesamten Industrie ab.

In den Szenarien wird davon ausgegangen, dass bei (je nach Szenario) leicht rückläufiger Wärmeabgabe insgesamt mehr Strom in den Industriekraftwerken erzeugt wird (vgl. Abbildung 31). Dies ist zunächst auf eine Modernisierung der Kraftwerke zurückzuführen, wodurch typischerweise die Stromkennzahlen steigen. Insbesondere wenn dies, wie zumeist angenommen

gleichzeitig mit einem Brennstoffwechsel von Kohle zu Erdgas verbunden ist. Bis 2050 wirken sich aber zunehmend auch die Veränderungen im Strommarkt aus, die z.T. zu einer höheren (ggf. auch ungekoppelten) Stromerzeugung führen. Während Kohle als Energieträger sowohl im BAT-Pfad als auch im Low-Carbon-Pfad bis 2050 bedeutungslos wird, unterscheiden sich die Pfade bei den Kuppelgasen aus der Stahlindustrie. Im BAT-Pfad nimmt ihr Anteil an der Stromerzeugung bis 2050 zu, während er im Low-Carbon-Pfad nach 2020 aufgrund einer hypothetisch rückläufigen Nutzung der Oxygenstahlroute abnimmt. Dies wirkt sich auch in den Treibhausgasemissionen aus, die im BAT-Pfad ansteigen, im Low-Carbon-Pfad dagegen nach 2020 rückläufig sind.

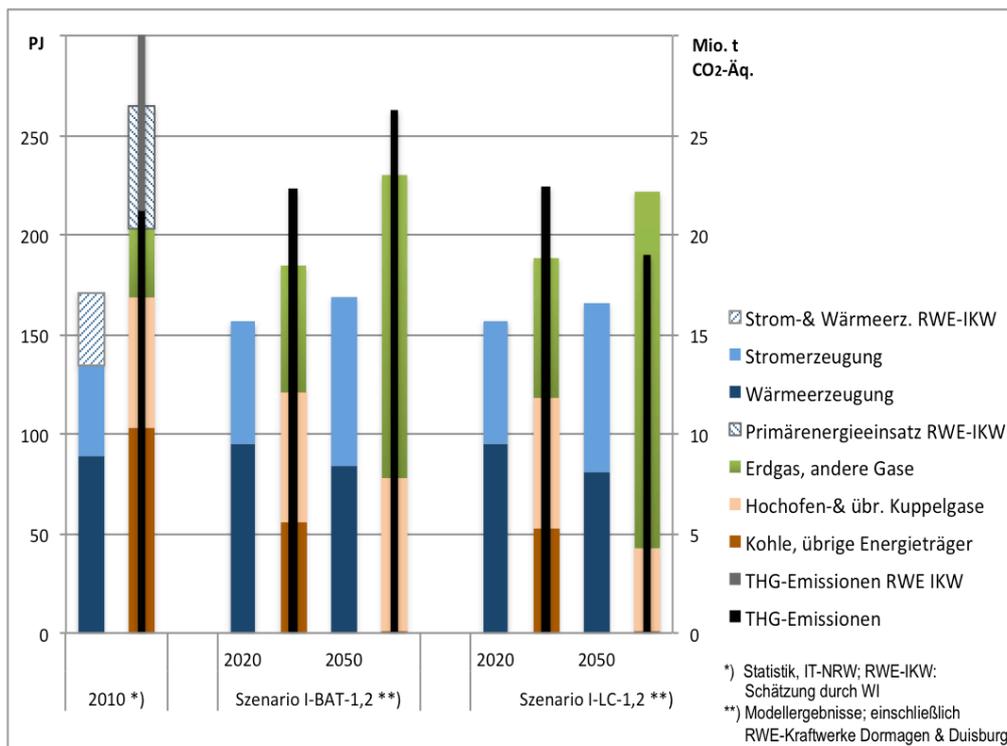


Abbildung 31: Brennstoffeinsatz, Output und Treibhausgasemissionen der Industriekraftwerke im Jahr 2010 sowie Szenarien für 2020 und 2050

5.2.4 Fazit zu den Szenarioergebnissen der AG Industrie

Als Ergebnis der beschriebenen Szenarien und Varianten für den Industriesektor in Nordrhein-Westfalen können einige zentrale Ergebnisse identifiziert werden:

1. Durch die Weiterentwicklung der bestehenden Technologien, dem verbreiteten Einsatz von Energieeffizienzstrategien und aufgrund des Strukturwandels konnten in den letzten Jahren erhebliche Energie und THG-Minderungsbeiträge in der Industrie erzielt werden. Im Jahr 2010 betrug die THG-Minderung gegenüber 1990 bereits 27%²⁸. Somit

²⁸ Die Darstellung hier weicht von den Zahlen des LANUV NRW für das Jahr 2010 ab, da dort die von RWE betriebenen Industriekraftwerke in Dormagen und Duisburg dem Sektor "Energiewirtschaft" zugeordnet sind. Für den Vergleich zwischen 1990 und 2010 muss beachtet werden, dass das LANUV in seiner THG-Berichterstattung außerdem Raffinerien sowie diejenigen

kann die Industrie bis zum Jahr 2020 selbst bei – den hier als Folge des Aufholeffekts nach der Wirtschaftskrise 2008/2009 bis 2020 angenommenen – starken Produktionszuwächsen das THG-Minderungsziel des Landes NRW von -25% gegenüber 1990 in allen Pfaden erreichen bzw. bei Annahme eines etwas langsameren Produktionswachstums auch übererfüllen.

2. In Abbildung 28 (s.o.) ist erkennbar, dass sich je nach eingeschlagenem Wachstums- und Technologiepfad eine Minderung der direkten Treibhausgasemissionen der Industrie bis 2050 um 27% bis 59% ggü.1990 ergibt. Damit weicht der eingeschlagene Minderungspfad in der Industrie langfristig vom für das gesamte Land vorgegebenen Zielpfad ab, der – im Mittel aller Sektoren – einen Rückgang der Emissionen um mindestens 80% gegenüber 1990 vorsieht.
3. Selbst bei einer Kombination aus geringem Wirtschaftswachstum von 0,6%/a und dem Einsatz ausgewählter technologischer Optionen im Low-Carbon-Pfad wird eine 80%ige Minderung der direkten Treibhausgasemissionen in der Industrie nicht erreicht. Vor diesem Hintergrund ist anzunehmen, dass die Industrie (AG2) alleine unter den gegebenen Annahmen einen geringeren Beitrag zum landesweiten Klimaschutzziel des Landes leisten wird und dass andere Sektoren (v.a. der Umwandlungssektor) einen höheren Minderungsbeitrag beisteuern. Dies könnte aber auch ein Anreiz sein, den Entwicklungsstand der im Low-Carbon-Pfad beschriebenen Emissionsminderungstechnologien voranzutreiben bzw. andere, z.Zt. noch nicht bekannte Lösungsansätze zu erforschen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen im Rahmen des Klimaschutzplans können dazu einen Beitrag leisten. Dabei sind branchenübergreifende Strategien von großer Bedeutung.
4. Dazu ist es notwendig, die bereits erfolgreichen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in NRW weiter auszubauen und zu intensivieren, um neue Innovationen und Technologien für die heimische Anwendung sowie für den Export zu entwickeln. Dadurch könnten nicht nur THG-Emissionsminderungsbeiträge zumindest in Höhe des beschriebenen Low-Carbon-Pfades erreicht werden sondern auch wichtige Impulse für die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie gesetzt werden, welche besonders bei Annahme einer europa- wie weltweit voranschreitenden aktiven Klimapolitik und entsprechender auch die Industrie betreffender Maßnahmen die führende Position der heimischen Industrie stärken und ausbauen könnten.
5. Aus dieser Analyse ergeben sich konkrete Handlungsanforderungen an die Maßnahmendiskussion, die neben der Ausschöpfung zahlreicher, häufig auch kurzfristig wirtschaftlicher Maßnahmen, insbesondere langfristige und innovative Technologieentwicklung fördern sollte.

Kokereien, die nicht von den Stahlproduzenten selbst betrieben werden, unter dem Sektor Energiewirtschaft führt. Auf Basis dieser Abgrenzung zwischen Industrie und Energiewirtschaft läge die hier abgebildete erzielte THG-Minderung für die Industrie im Jahr 2010 bei 39% ggü. 1990. Die Gesamtmenge der berichteten Emissionsmengen bleibt von der unterschiedlichen Verbuchung unberührt. Hier ergibt sich für Energiewirtschaft und Industrie zusammen eine Minderung von 11% (2010 ggü. 1990).

5.3 Arbeitsgruppe 3 Bauen/GHD

Um den unterschiedlichen Sichtweisen der Akteure in der Arbeitsgruppe Rechnung zu tragen, werden in den Modellierungen drei unterschiedliche Rechengrößen für die Sanierungsrate eingegeben. Das Ergebnis ist somit ein Korridor, der bezogen auf die Sanierungsrate einen unteren und einen oberen Wert für die CO₂-Reduktion jeweils für die Jahre 2020 bzw. 2050 wiedergibt. Durch die Ergebnisdarstellung als Korridor sollen sich alle Akteure im Ergebnisspektrum wiederfinden und besser abschätzen können, welche Rahmenbedingungen erforderlich sind, um die gesetzlich festgeschriebenen Klimaschutzziele für die Jahre 2020 und 2050 zu erreichen.

Für das AG-3 Szenario sind folgende Annahmen als Rechengröße eingeflossen:

1.	Sanierungsrate	Sanierungsraten 0,7%, 1,4% und 2,0%
2.	Sanierungstiefe	Modellierung der Gebäudestruktur bis 2050
3.	Einsatz erneuerbare Energien	Anlehnung an Annahmen des Bundes bis 2050
4.	Verbesserte Energieeffizienz in Gewerbe, Handel und Dienstleistung	Ersatz der vorhandenen Technik durch „Best Available Technology“ (BAT) bei der Wiederbeschaffung

Wie bereits ausgeführt, handelt es sich bei den Parametern „Sanierungsrate, Sanierungstiefe und Einsatz erneuerbarer Energien“ zunächst um Rechengrößen, für die Annahmen getroffen werden, um eine Modellierung und eine Veranschaulichung der zukünftigen Entwicklung zu erreichen. Es soll hier weder eine Wertung noch eine Priorisierung der getroffenen Annahmen vorgenommen werden. Ferner soll damit keine Verpflichtung für die Akteure präjudiziert werden.

In der Praxis entscheiden die Akteure technologieoffen über die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen unter Zugrundelegung der für sie spezifischen Rahmenbedingungen (Technologieverfügbarkeit, Umsetzungseffizienz, Wirtschaftlichkeit etc.). Die Bewertungsgrundlage kann sich aufgrund zukünftiger Entwicklungen verändern. Dabei wird für die Zukunft der technische Fortschritt eine besondere Rolle spielen. Die Photovoltaiktechnik ist hier ein hervorragendes Beispiel dafür, wie sich eine neue Technik durch Innovation und Serienherstellung aus einem Nischendasein zu einem Massenprodukt entwickeln kann. Analoge Entwicklungen sind sowohl auf dem Gebiete anderer regenerativer Energietechniken als auch bei den Techniken zur Verbesserungen der Energieeffizienz für die kommenden Jahre denkbar, aber mit Unsicherheiten verbunden. Auch kann eine veränderte, quartiersbezogene Betrachtungsweise in einigen Fällen sinnvoll sein. Im Ergebnis kann dies dazu führen, dass gegenüber den getroffenen Annahmen auch andere Technologiekombinationen zur Umsetzung kommen.

5.3.1 Beschreibung der AG-spezifischen Szenarienvarianten im Bereich Wohngebäude

In der Arbeitsgruppe 3 (Bauen/GHD) sind im Rahmen der Szenarienerstellung zum Klimaschutzplan NRW drei Szenario-Varianten erstellt worden, die sich im Wesentlichen durch die Variation der **Sanierungsrate** im privaten Wohnungsbestand unterscheiden. Die Sanierungsrate in Prozent pro Jahr beschreibt die jährliche wärmetechnische Sanierung²⁹ von Gebäuden und bezieht sich mengenmäßig auf den Wohnungsbestand vor dem Bilanzjahr 2010. Im vorliegenden Modell wird die Sanierungsrate differenziert und nach dem zugrunde liegenden Gebäudebestand nach Bautypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, großes Mehrfamilienhaus und Hochhäuser) sowie nach Baualtersklassen unterschieden. Dies schafft die Möglichkeit, Sanierungsmaßnahmen nach ökonomischen und bauphysikalischen Gegebenheiten direkt anzusprechen³⁰. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden eine gemittelte, den gesamten Gebäudebestand betreffende Sanierungsrate dargestellt.

Folgende Szenarien-Varianten im Bereich der privaten Wohngebäude (G) sind zu unterscheiden:

1. Szenario **G-0,7%** mit einer jährlichen Sanierungsrate von 0,7 % m²-Wohnfläche.
2. Szenario **G-1,4%** mit einer Sanierungsrate von 1,4 % m² p.a.. Bei ihr greifen im zunehmende Maße Sanierungsanstrengungen, die von einem erweiterten Portfolio von Sanierungsmaßnahmen geprägt sind (Beratungs- /Förderprogramme).
3. Szenario **G-2,0%** mit einer Sanierungsrate von 2 % m² p.a.. Hier wird im Wesentlichen die Umsetzung des Ziels aus dem Energiekonzept 2010 der Bundesregierung angenommen, die derzeitige Sanierungsrate zu verdoppeln.

Eine weitere wichtige Einflussgröße ist der jeweilige **Sanierungsstandard** (Raumwärmeklassen RWK). Sie wird mit den über die jeweilige Sanierungsrate ermittelten sanierten Wohnflächen verrechnet, wodurch sich die energetischen Einsparungen der Einzelgebäude ergeben. Innerhalb der Gebäude-Szenarien sind vier Raumwärmeklassen unterschieden worden, welche die Zielwerte der geltenden Verordnung bzw. repräsentative Klassen der dominanten Förderlandschaft (EnEV 2009, KfW) sowie die technischen Innovationen bei der Gebäudesanierung berücksichtigen³¹. Die Tabelle 13 zeigt die Wohnflächenentwicklung der Szenarien im Überblick

²⁹ Unter dem Begriff „Sanierung“ sind hier modelltechnisch sowohl energetische Vollsanierungen als auch über die Zeit gestreckte Teilsanierungen (Einzelmaßnahmen), die in Summe einer Vollsanierung entsprechen, gemeint.

³⁰ Der entsprechende Neubau wird teils durch die demographische Entwicklung bestimmt, im großen Maße aber auch durch den Anteil der sanierten Gebäude im Bestand. Daher variieren die Neubauraten in den jeweiligen Szenarien.

³¹ Die gewählten Werte der Raumwärmeklassen sind dabei als Klassendurchschnitt (ähnlich einem Flottenverbrauch bei PKW) zu verstehen und bezeichnen *nicht* eine einzuhaltende Obergrenze.

und in Tabelle 12 sind die jeweiligen Raumwärmeklassen als Zielwerte für Neubau und Sanierung des Gebäudebestandes dargestellt.

Tabelle 12: Annahmen von Raumwärmeklassen als mittlere Zielwerte für Neubau und Sanierungsstandards des Gebäudebestandes in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0%

Name	Zielwert (Nutzenergie)	Angelehnt an KfW-Klasse der EnEV 2009
Raumwärmeklasse 67 (RWK 67)	67 kWh/m ² a	KfW 100
Raumwärmeklasse 47 (RWK 47)	47 kWh/m ² a	KfW 70 (KfW 100 minus 30%)
Raumwärmeklasse 37 (RWK 37)	37 kWh/m ² a	KfW 55 (KfW 100 minus 45%)
Passivhaus (PH)	15 kWh/m ² a	

Tabelle 13: Entwicklung der Wohnflächen im Gebäudebestand sowie im Neubau im Vergleich der Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0% (in Mio. m²)

Wohnfläche in Mio. m ²						Index (2010 = 100%)		
	2010	2020	2030	2040	2050	2010-20	2020-50	2010-50
SZENARIO G-0,7%								
Entwicklung der Wohnflächen hinsichtlich Sanierungsstatus und Neubau								
Bestand unsaniert	694,3	643,0	574,3	473,7	321,3	93%	50%	46%
Bestand saniert	14,9	64,3	113,8	163,2	212,6	433%	330%	1431%
davon: Bestand saniert, "RWK 67**)	14,1	55,2	83,8	98,5	102,1	391%	185%	724%
davon: Bestand saniert, "RWK 47**)	0,6	5,5	13,8	26,9	43,9	922%	803%	7399%
davon: Bestand saniert, "RWK 37**)	0,1	2,6	11,0	25,5	44,8	1739%	1742%	30303%
davon: Bestand saniert, Passivhaus*)	0,0	1,1	5,1	12,2	21,7	-	1970%	-
Neubau (kumuliert seit 2007)	10,5	69,1	133,5	220,4	344,5	658%	498%	3280%
davon Neubau "RWK 67**)	8,4	15,7	15,7	15,7	15,7	187%	100%	187%
davon Neubau "RWK 47**)	1,6	36,3	42,3	42,3	42,3	2303%	117%	2687%
davon Neubau "RWK 37**)	0,5	14,6	54,1	114,9	189,3	2783%	1296%	36062%
davon Neubau Passivhaus [†])	0,0	2,6	21,5	47,4	97,1	-	3783%	-
Gesamt	719,6	776,5	821,6	857,3	878,4	108%	113%	122%
SZENARIO G-1,4%								
Entwicklung der Wohnflächen hinsichtlich Sanierungsstatus und Neubau								
Bestand unsaniert	694,3	615,5	495,5	339,2	154,1	89%	25%	22%
Bestand saniert	14,9	91,3	188,4	290,0	395,8	614%	434%	2664%
davon: Bestand saniert, "RWK 67**)	14,1	74,1	130,4	160,7	169,0	525%	228%	1197%
davon: Bestand saniert, "RWK 47**)	0,6	8,2	24,6	51,6	91,0	1389%	1103%	15324%
davon: Bestand saniert, "RWK 37**)	0,1	6,7	23,3	53,1	98,0	4502%	1472%	66254%
davon: Bestand saniert, Passivhaus*)	0,0	2,2	10,1	24,7	37,8	-	1697%	-
Neubau (kumuliert seit 2007)	10,5	69,7	137,7	228,1	328,5	664%	471%	3128%
davon Neubau "RWK 67**)	8,4	15,7	15,7	15,7	15,7	187%	100%	187%
davon Neubau "RWK 47**)	1,6	36,6	39,5	39,5	39,5	2321%	108%	2509%
davon Neubau "RWK 37**)	0,5	14,8	48,8	89,5	129,6	2818%	876%	24690%
davon Neubau Passivhaus [†])	0,0	2,6	33,7	83,4	143,6	-	5500%	-
Gesamt	719,6	776,5	821,6	857,3	878,4	108%	113%	122%
SZENARIO G-2,0%								
Entwicklung der Wohnflächen hinsichtlich Sanierungsstatus und Neubau								
Bestand unsaniert	694,3	594,2	428,7	227,5	9,5	86%	2%	1%
Bestand saniert	14,9	112,5	256,7	410,2	567,8	757%	505%	3822%
davon: Bestand saniert, "RWK 67**)	14,1	90,0	173,5	219,1	229,8	638%	255%	1628%
davon: Bestand saniert, "RWK 47**)	0,6	10,6	34,8	75,6	130,3	1784%	1231%	21960%
davon: Bestand saniert, "RWK 37**)	0,1	8,7	33,4	78,5	140,1	5911%	1602%	94692%
davon: Bestand saniert, Passivhaus*)	0,0	3,2	15,0	37,0	67,6	-	2127%	-
Neubau (kumuliert seit 2007)	10,5	69,7	136,3	219,7	301,0	664%	432%	2867%
davon Neubau "RWK 67**)	8,4	15,7	15,7	15,7	15,7	187%	100%	187%
davon Neubau "RWK 47**)	1,6	36,6	39,5	39,5	39,5	2322%	108%	2509%
davon Neubau "RWK 37**)	0,5	14,8	48,1	85,6	118,1	2820%	797%	22487%
davon Neubau Passivhaus [†])	0,0	2,6	33,0	78,8	127,7	-	4878%	-
Gesamt	719,6	776,5	821,6	857,3	878,4	108%	113%	122%

*) RWK = Raumwärmeklasse = Energiestandard (Klassendurchschnitt) für Raumwärmebedarf auf Nutzenergie-Basis (Sanierung+Neubau):

67 kWh/(m2a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 100 nach EnEV2009

46,9 kWh/(m2a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 70 nach EnEV2009 (KfW 100 minus 30%)

36,85 kWh/(m2a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 55 nach EnEV2009 (KfW 100 minus 45%)

15 kWh/(m2a) entspricht Passivhaus-Standard

5.3.2 Vergleich ausgewählter Szenarienergebnisse

Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Szenarienergebnisse sowie zentrale Treiber dargestellt. Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, sind die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der drei Szenarien die angenommene Sanierungsrate sowie die Zuordnung der sanierten Flächen zu Raumwärmeklassen. Weitere Treiber, die für die Szenarien eine zentrale Rolle spielen, sind die Substitution bzw. die Erneuerung des Heizungsanlagen-Bestandes sowie die Heizungsanlagen-Entwicklung im Neubau-Sektor. Ihre Entwicklungen können durch die Zahlen zu den Erneuerbaren Energien sowie der daraus resultierenden Rückgänge der konventionellen, fossilen Energieträger abgelesen werden. Dabei wurden von den Akteuren der AG 3 innerhalb des Ab-

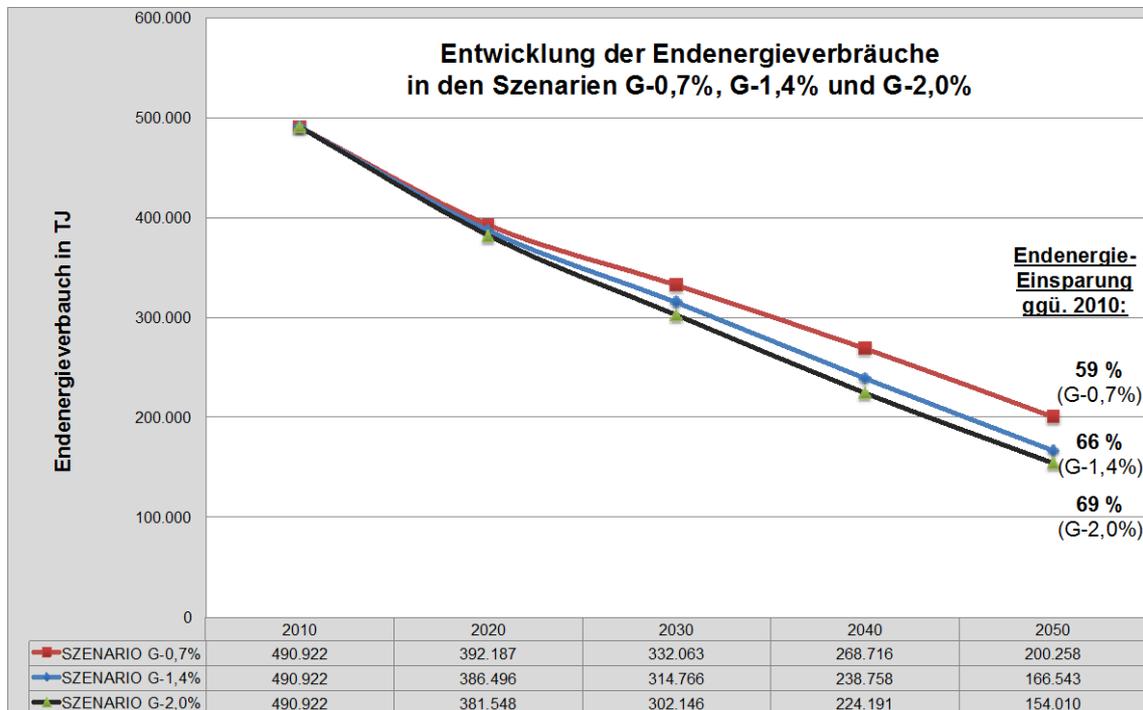
stimmungsprozesses die Potenziale der Energieträger der Erneuerbaren Energien festgelegt und mengenmäßig für alle drei Szenarien identisch übernommen. Die Endenergieverbräuche sind daraufhin angepasst worden sowie die übrigen Heizungsanlagen residual verteilt worden. Zu den betrachteten festgesetzten Energieträgern zählen die Solarenergie, Holz / feste Biomasse, die BHKW-Wärme sowie mittels Wärmepumpen genutzte Geothermie- bzw. Umgebungswärme. Ihre jeweiligen Werte sowie die der übrigen Energieträger lassen sich aus der folgenden Tabelle 14 entnehmen.

Tabelle 14: Entwicklung der Energieträger und der Endenergie in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0% (in TJ/a)

Endenergiebedarf in Terajoule (TJ)	2010					Index (2010 = 100%)		
	2010	2020	2030	2040	2050	2010-20	2020-50	2010-50
SZENARIO G-0,7%								
Endenergiebedarf nach Energieträgern								
Kohlen	4.086	2.738	1.838	877	391	67%	14%	10%
leichtes Heizöl	110.792	69.994	47.113	25.844	8.123	63%	12%	7%
Gase	283.712	198.370	147.015	104.771	62.994	70%	32%	22%
Holz/feste Biomasse	14.403	17.773	20.595	19.853	16.732	123%	94%	116%
Solare Energie	3.322	16.171	23.795	26.731	24.260	487%	150%	730%
Umgebungswärme und oberflächennahe Geothermie	6.602	15.497	20.836	26.559	28.049	235%	181%	425%
BHKW-Wärme	450	10.085	15.771	18.291	16.368	2242%	162%	3639%
Fern- und Nahwärme (Wärmenetze)	29.351	26.736	26.422	24.824	21.594	91%	81%	74%
Strom	38.204	34.822	28.678	20.967	21.746	91%	62%	57%
<i>davon: Nachspeicherheizung</i>	33.505	19.948	11.127	4.321	0	60%	0%	0%
<i>davon: Wärmepumpen</i>	4.235	8.095	9.372	10.341	9.583	191%	118%	226%
<i>davon: Sonderform (z.B. Heizstab im PH)</i>	55	6.779	8.180	6.305	12.163	-	179%	-
Gesamt	490.922	392.187	332.063	268.716	200.258	80%	51%	41%
SZENARIO G-1,4%								
Endenergiebedarf nach Energieträgern								
Kohlen	4.086	2.705	1.757	983	439	66%	16%	11%
leichtes Heizöl	110.792	69.162	41.366	19.555	5.593	62%	8%	5%
Gase	283.712	199.243	139.868	87.097	46.211	70%	23%	16%
Holz/feste Biomasse	14.403	18.201	20.504	19.744	16.321	126%	90%	113%
Solare Energie	3.322	16.150	22.691	26.702	24.809	486%	154%	747%
Umgebungswärme und oberflächennahe Geothermie	6.602	14.905	20.731	24.614	24.858	226%	167%	377%
BHKW-Wärme	450	10.359	16.547	18.559	16.141	-	156%	-
Fern- und Nahwärme (Wärmenetze)	29.351	26.900	26.000	23.141	18.794	92%	70%	64%
Strom	38.204	28.872	25.302	18.363	13.378	76%	46%	35%
<i>davon: Nachspeicherheizung</i>	33.505	19.813	10.789	4.093	157	59%	1%	0%
<i>davon: Wärmepumpen</i>	4.235	7.826	9.291	9.602	8.588	185%	110%	203%
<i>davon: Sonderform (z.B. Heizstab im PH)</i>	55	1.232	5.222	4.668	4.632	-	376%	-
Gesamt	490.922	386.496	314.766	238.758	166.543	79%	43%	34%
SZENARIO G-2,0%								
Endenergiebedarf nach Energieträgern								
Kohlen	4.086	2.645	1.610	615	245	65%	9%	6%
leichtes Heizöl	110.792	66.851	36.865	15.643	4.330	60%	6%	4%
Gase	283.712	196.220	129.374	83.296	38.980	69%	20%	14%
Holz/feste Biomasse	14.403	17.987	20.549	19.799	16.527	125%	92%	115%
Solare Energie	3.322	16.212	23.915	26.406	25.011	488%	154%	753%
Umgebungswärme und oberflächennahe Geothermie	6.602	15.367	20.746	23.558	23.921	233%	156%	362%
BHKW-Wärme	450	10.032	17.870	18.596	16.843	-	168%	-
Fern- und Nahwärme (Wärmenetze)	29.351	25.633	22.695	18.462	15.005	87%	59%	51%
Strom	38.204	30.602	28.522	17.816	13.148	80%	43%	34%
<i>davon: Nachspeicherheizung</i>	33.505	19.050	9.355	3.023	0	57%	0%	0%
<i>davon: Wärmepumpen</i>	4.235	8.012	9.327	9.262	8.214	189%	103%	194%
<i>davon: Sonderform (z.B. Heizstab im PH)</i>	55	3.539	9.840	5.531	4.935	-	139%	-
Gesamt	490.922	381.548	302.146	224.191	154.010	78%	40%	31%

Korrespondierend zu Tabelle 14 ist die Entwicklung der Endenergieverbräuche in der folgenden Abbildung 32 dargestellt. Hier führen die Maßnahmen in den Szenarien jeweils zu einer Endenergie-Einsparung bis zum Jahr 2050 von 59 % im Szenario G-0,7%, von 66 % im Szenario G-1,4% und 69 % im Szenario G-2,0%.

Abbildung 32: Entwicklung der Endenergieverbräuche in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0%



Dabei muss berücksichtigt werden, dass die für alle dargestellten Szenarien identisch angenommenen Erneuerbare-Energien-Potenziale (inkl. Wärmepumpen) dazu führen, dass sich die Entwicklungen der Endenergieverbräuche in den einzelnen Szenarien aneinander stark angleichen. Wie aus der nachfolgenden Tabelle 15 ersichtlich, bewegen sich die Nutzenergieeinsparungen, die durch Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle realisiert werden, deutlich unterhalb der erzielten Einsparungen durch die Wahl des Heizungs-Mixes. So werden im Szenario G-0,7% durch wärmetechnische Maßnahmen an der Gebäudehülle bis zum Jahr 2050 lediglich 27 % der Nutzenergie gegenüber 59 % der Endenergie eingespart; im Szenario G-1,4% betragen die gebäudeseitigen Einsparungen ca. 43 % gegenüber 66 % Endenergieeinsparung. Das Szenario G-2,0% erreicht dagegen eine nutzenergetische Einsparung von ca. 49 % (69 % Endenergie im Jahre 2050).

Tabelle 15: Gegenüberstellung der Einsparungen im Nutzenergiebereich (ohne Warmwasser) durch wärmetechnische Sanierungen sowie darauf aufbauend Einsparungen im Endenergiebereich (mit Warmwasser) durch Heizungsaustausch und Heizungsmodernisierungen in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0%

	2010	2020	2030	2040	2050
SZENARIO G-0,7%					
Nutzenergiebedarf (Bestand und Neubau) TJ	249.648	250.559	240.895	220.116	182.190
Index (2010 = 100%) %	100%	100%	96%	88%	73%
Endenergiebedarf (alle Energieträger) TJ	490.922	392.187	332.063	268.716	200.258
Index (2010 = 100%) %	100%	80%	68%	55%	41%
SZENARIO G-1,4%					
Nutzenergiebedarf (Bestand und Neubau) TJ	249.648	245.661	224.803	188.847	143.144
Index (2010 = 100%) %	100%	98%	90%	76%	57%
Endenergiebedarf (alle Energieträger) TJ	490.922	386.496	314.766	238.758	166.543
Index (2010 = 100%) %	100%	79%	64%	49%	34%
SZENARIO G-2,0%					
Nutzenergiebedarf (Bestand und Neubau) TJ	249.648	241.895	214.498	174.884	128.251
Index (2010 = 100%) %	100%	97%	86%	70%	51%
Endenergiebedarf (alle Energieträger) TJ	490.922	381.548	302.146	224.191	154.010
Index (2010 = 100%) %	100%	78%	62%	46%	31%

Die durch Maßnahmen an der Gebäudehülle und Veränderungen am Heizungs-Mix resultierenden CO₂-Emissionen sind in der folgenden Tabelle 16 für alle Szenarien dargestellt. Dabei ist der angesprochene Effekt der überlagernden Effekte im Heizungsanlagen-Bereich zu beobachten. Dadurch, dass die mengenmäßigen Zielwerte der Erneuerbaren Energien sowie der Wärmepumpen in allen drei Szenarien identisch sind, verläuft die Entwicklung des Endenergiebedarfs und der Emissionen sehr ähnlich. Wie in der Tabelle 16 dargelegt, führen die Einsparungen auf der Endenergie-Seite zu ähnlichen Einsparungen wie auf der Emissionsseite.

Tabelle 16: Gegenüberstellung der direkten Emissionen (in Kilotonnen CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung) in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0%

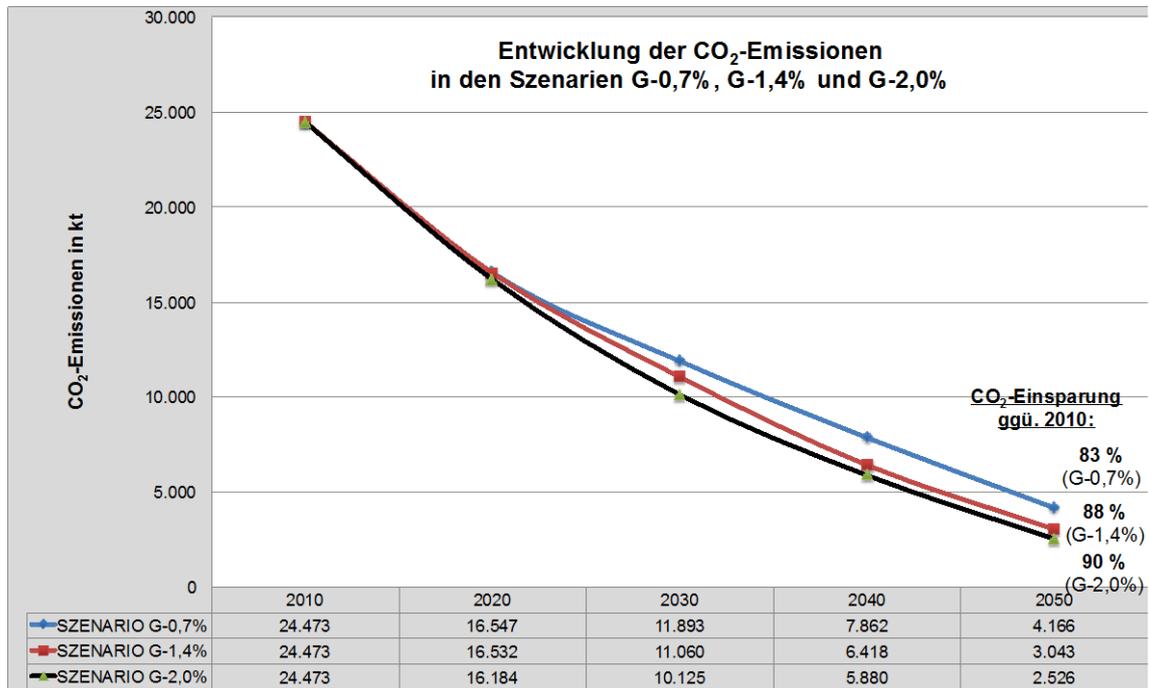
CO₂-Emissionen Wohngebäude* in kt CO ₂	2010	2020	2030	2040	2050
SZENARIO G-0,7%					
CO₂-Emissionen nach Bestand & Neubau					
Bestand	24.348	16.026	11.290	7.291	3.750
Neubau	125	521	603	571	416
Gesamt	24.473	16.547	11.893	7.862	4.166
Index (2010 = 100%)	100%	68%	49%	32%	17%
SZENARIO G-1,4%					
CO₂-Emissionen nach Bestand & Neubau					
Bestand	24.348	16.007	10.457	5.866	2.677
Neubau	125	525	603	552	366
Gesamt	24.473	16.532	11.060	6.418	3.043
Index (2010 = 100%)	100%	68%	45%	26%	12%
SZENARIO G-2,0%					
CO₂-Emissionen nach Bestand & Neubau					
Bestand	24.348	15.659	9.528	5.352	2.201
Neubau	125	525	596	528	325
Gesamt	24.473	16.184	10.125	5.880	2.526
Index (2010 = 100%)	100%	66%	41%	24%	10%

* Emissionen ohne BHKW der Objektversorgung

Ausgehend vom Bilanzwert im Jahre 2010 von rund 24.500 kt CO₂ belaufen sich die direkten CO₂-emissionsseitigen Einsparungen³² im Jahr 2050 für das G-0,7%-Szenario auf ca. 83%. Die Reduktion im Szenario G-1,4% beträgt rund 88% und die Einsparung im G-2,0%-Szenario rund 90%.

³² An dieser Stelle werden modelltechnisch nur die direkten, unmittelbar in räumlicher Nähe zum Haushalt entstehenden Emissionen bilanziert. Dies bedeutet, dass die Emissionen aus Sekundärenergieträgern wie Strom oder Fern- und Nahwärme nicht der AG 3, sondern der AG 1 (Energieumwandlung) zugeordnet werden. Dies erklärt auch z.T. den Effekt, dass eine niedrige Sanierungsrate scheinbar einen nur geringen Einfluss auf den Endenergieverbrauch bzw. die daraus resultierenden CO₂-Emissionen innerhalb des AG 3-Sektors hat. Umgekehrt sind Emissionsminderungen aufgrund von Gebäude-PV-Anlagen und Gebäude-BHKWs ebenfalls in der AG 1 bilanziert. Zur Beurteilung der Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen in den Sektoren Haushalte und GHD ist daher eine Gesamtbetrachtung *inklusive der Ergebnisse aus der AG1* erforderlich.

Abbildung 33: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen in den Szenarien G-0,7%, G-1,4% und G-2,0% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)



5.3.3 Darstellung der Szenarienergebnisse im Sektor GHD

Im Unterschied zu den Wohngebäuden wird bei den Nichtwohngebäuden zusätzlich zum Wärmebedarf auch der Energiebedarf für Lüftung, Klimatisierung, Prozesskälte, Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Kraft (Antriebe) modelliert. Bei den Gewerbeflächen wurde, ausgehend von 476 Mio.m² im Jahre 2010, ein jährlicher Rückgang von 0,4 bis 0,5 %/p.a. angenommen, so dass es zu einer konsolidierten Fläche im Jahre 2050 von 394 Mio. m² kommt. In den anderen Nutzungszwecken wurde eine durchschnittliche Effizienzsteigerung von 1% p.a. zwischen 2010 und 2050 angenommen. Lediglich bei der Beleuchtung und Beleuchtungssystemen wurden - angesichts der bereits heute marktreifen neuen effizienten Technologien - eine Effizienzsteigerung von 2% p.a. angenommen. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Modellierung für die Endenergiebedarfe nach Nutzungszweck und Energieträgern dargestellt.

Tabelle 17: Entwicklung der Endenergie nach Nutzungszweck und Energieträgern im GHD-Sektor (in TJ/a)

		2010	2020	2030	2040	2050	Index in %		
SZENARIO GHD-Effizienz							2010-20	2020-50	2010-50
Endenergiebedarf nach Nutzungszweck									
Wärmebereitstellung	TJ	188.159	165.852	150.508	132.343	120.252	88%	73%	64%
Prozesskälte	TJ	8.203	8.749	9.501	9.846	10.460	107%	120%	128%
Klimatisierung	TJ	2.559	2.160	1.815	1.398	1.065	84%	49%	42%
Lüftung	TJ	13.702	14.560	15.613	15.818	16.288	106%	112%	119%
Kraft	TJ	27.933	24.746	21.811	18.420	15.435	89%	62%	55%
Beleuchtung	TJ	42.349	38.972	35.875	30.861	26.288	92%	67%	62%
IKT	TJ	6.261	6.291	6.597	6.461	6.212	100%	99%	99%
Gesamt	TJ	289.166	261.331	241.720	215.146	196.000	90%	75%	68%
Endenergiebedarf nach Energieträgern									
Kohlen	TJ	2.540	0	0	0	0	-100%	-	-100%
Mineralölprodukte	TJ	49.604	31.245	22.002	14.011	8.959	63%	29%	18%
Gase	TJ	102.709	86.999	67.454	48.597	28.008	85%	32%	27%
Holz/feste Biomasse	TJ	4.416	7.573	10.402	12.431	14.627	171%	193%	331%
Solare Energie	TJ	2.673	4.904	7.037	8.749	10.696	183%	218%	400%
Umgebungswärme & oberflächennahe Geothermie	TJ	4.251	11.248	16.956	20.220	26.604	265%	237%	626%
BHKW-Wärme	TJ	2.961	5.204	7.547	9.632	12.145	176%	233%	410%
Fern- und Nahwärme (Wärmenetze)	TJ	30.892	24.532	19.850	15.450	12.630	79%	51%	41%
Strom	TJ	89.118	89.626	90.473	86.057	82.332	101%	92%	92%
Gesamt	TJ	289.166	261.331	241.720	215.146	196.000	90%	75%	68%

Der gesamte Endenergiebedarf im GHD-Sektor reduziert sich gegenüber 2010 (289 PJ) um 10% auf ca. 261.3 PJ in 2020 und um 32% auf 196 PJ in 2050. Auch in 2050 wird mit 61% Anteil die meiste Endenergie für die Bereitstellung von Wärme aufgewendet (2010: 65 %). Während im Bereich Klimatisierung (-58 %), Kraft (-45 %) und Beleuchtung (-38 %) überdurchschnittlich große Einsparungen erzielt werden, gibt es bei IKT eine Stagnation und bei der Prozesskälte einen Zuwachs um 27,5 %.

Im Jahr 2010 wird rund ein Drittel (31 %) des Endenergiebedarfs im GHD-Sektor durch Strom gedeckt. Die relative Bedeutung des Energieträgers Strom nimmt in den kommenden Jahrzehnten noch weiter zu: In 2020 beträgt der Anteil 34 %, in 2050 42 %.

Wie bei den Wohngebäuden verlieren auch bei den Nichtwohngebäuden die fossilen Energieträger langfristig massiv an Bedeutung: der absolute Verbrauch an Mineralölprodukten³³ und Gasen³⁴ reduziert sich gegenüber 2010 um 82 % bzw. 73 % bis 2050. Der relative Anteil fällt zwischen 2010 und 2050 beim Mineralöl von 17 % auf 5 % und bei den Gasen von 36 % auf 15 %.

Im Unterschied zu den Wohngebäuden (Verdopplung von 6 % auf 12 %) sinkt der Versorgungsbeitrag des Energieträgers Fernwärme von 11 % in 2010 auf 6,4 % in 2050. Die absolute Fernwärmefachfrage sinkt daher von 31,0 PJ in 2010 auf 24,5 PJ in 2020 und schließlich auf 12,6 PJ in 2050. Im Gegensatz dazu steigt der Versorgungsbeitrag durch BHKW-Wärme sehr

³³ Unter „Mineralölprodukte“ sind vorwiegend schweres und leichtes Heizöl zu verstehen, daneben noch geringere Mengen an Diesel, Benzin und LPG. Bioöle spielen in den Szenarien im GHD-Sektor keine Rolle.

³⁴ In 2010 bestehen die „Gase“ fast ausschließlich aus fossilem Erdgas, während in den folgenden Dekaden sukzessive erneuerbare Gase (insbesondere Biogas, Wasserstoff und EE-Methan) hinzugemischt werden.

stark an und gewinnt die gleiche Bedeutung wie die konventionelle Fern-/Nahwärme. Hier findet mehr als eine Vervielfachung von 3,0 PJ in 2010 auf 12,1 PJ in 2050 statt.

Die erneuerbaren Energien (Solarenergie, Biomasse-Festbrennstoffe und Umgebungswärme / oberflächennahe Geothermie) erhöhen ihre Anteile von 4 % (11,4 PJ) in 2010 auf 9,1 % (24 PJ) in 2020 und 27 % (52,9 PJ) in 2050. Im Vergleich zu der Nutzung erneuerbarer Energien im Wohnbereich (5,1 %, 13 % und 40 % in den drei Stützjahren) fällt das Wachstum also deutlich gebremster aus³⁵.

Wie in der Tabelle 18 dargestellt, reduzieren sich die direkten CO₂-Emissionen für Nichtwohngebäude gegenüber 2010 (10.333 Kilotonnen) um rund 25 % auf 7.783 kt in 2020 und um 74 % auf 2.710 kt im Jahr 2050.³⁶

Tabelle 18: Entwicklung der CO₂-Emissionen im GHD-Sektor (in kt CO₂)

		2010	2020	2030	2040	2050
SZENARIO GHD-Effizienz						
direkte CO₂-Emissionen						
GHD	kt CO ₂	10.333	7.783	5.749	4.073	2.710
	Index (100% = 2010)	100%	75,3%	55,6%	39,4%	26,2%

³⁵ Wie bei den Wohngebäuden finden sich auch beim GHD-Sektor weitere hier nicht explizit ausgewiesene EE-Anteile in den Energieträgern Gase (Biogas, Biomethan, EE-Wasserstoff, EE-Methan etc.) und Fernwärme / Nahwärme (Tiefen-Geothermie und Biomasse) sowie Strom.

³⁶ Wie auch bei der Bilanzierung der gesamten CO₂-Emissionen im Sektor Haushalte müssen im Sektor GHD die Ergebnisse der AG 1 hinzugezogen werden, da auch hier die Emissionen aus Sekundärenergieträgern wie Strom oder Fern- und Nahwärme nicht der AG 3, sondern der AG 1 (Energieumwandlung) zugeordnet werden. Zur Beurteilung der Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen in den Sektoren Haushalte und GHD ist daher eine Gesamtbetrachtung inklusive der Ergebnisse aus der AG 1 erforderlich.

5.3.4 Anhang zur Arbeitsgruppe 3

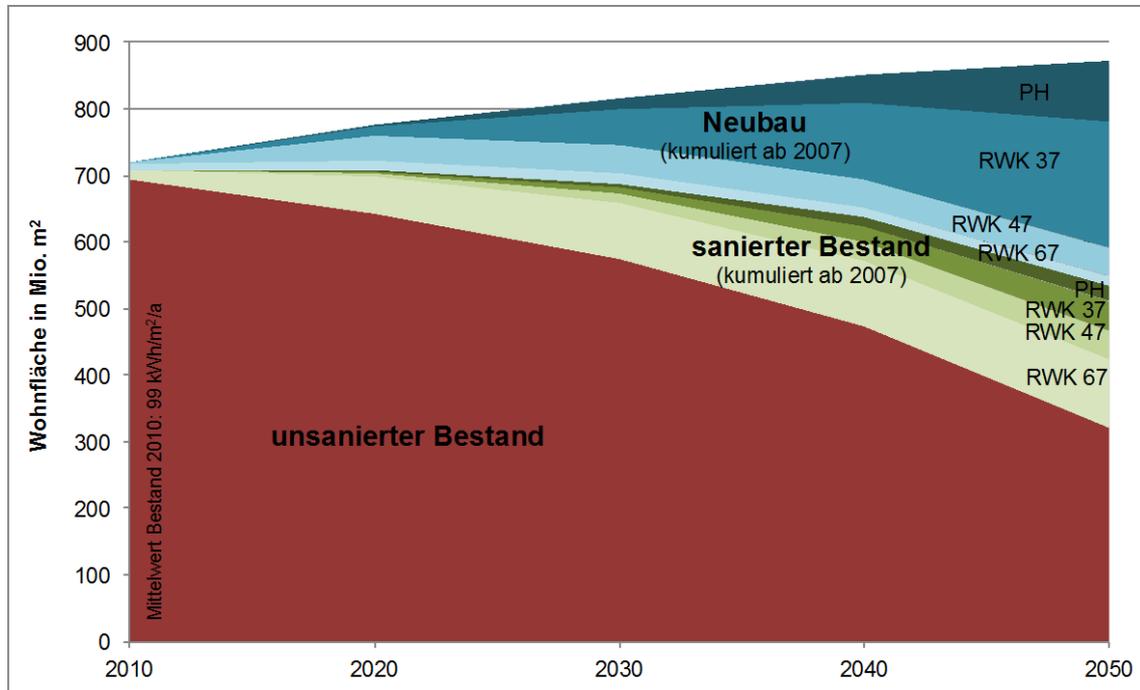
Allgemeine Szenario-Annahmen

Tabelle 19: Wohnflächenentwicklung privater Haushalte und Flächenentwicklung im Bereich der Nicht-Wohngebäude (in Mio. m²) für alle drei Szenarien sowie spezifische Entwicklungen je Personen (in m²/Person) und nach beheizter Fläche pro Beschäftigte (in m²/Beschäftigte)

		Wohnflächenentwicklung und Flächenentwicklung im Bereich der Nicht-Wohngebäude (GHD)					Index (%)		
		2010	2020	2030	2040	2050	2010-20	2020-50	2010-50
Wohngebäude, private Haushalte	Mio. m ²	719,6	776,5	821,6	857,3	878,4	107,9%	113,1%	122,1%
Wohnfläche pro Person	m ² /Person	40,4	44,4	47,8	51,2	54,6	110,0%	122,9%	135,2%
Nicht-Wohngebäude	Mio. m ²	476,5	456,7	446,0	414,8	394,8	95,8%	86,4%	82,8%
beheizte Fläche pro Beschäftigte im Sektor GHD	m ² /Beschäftigte	64,7	63,7	62,9	62,4	62,1	98,4%	97,6%	96,1%

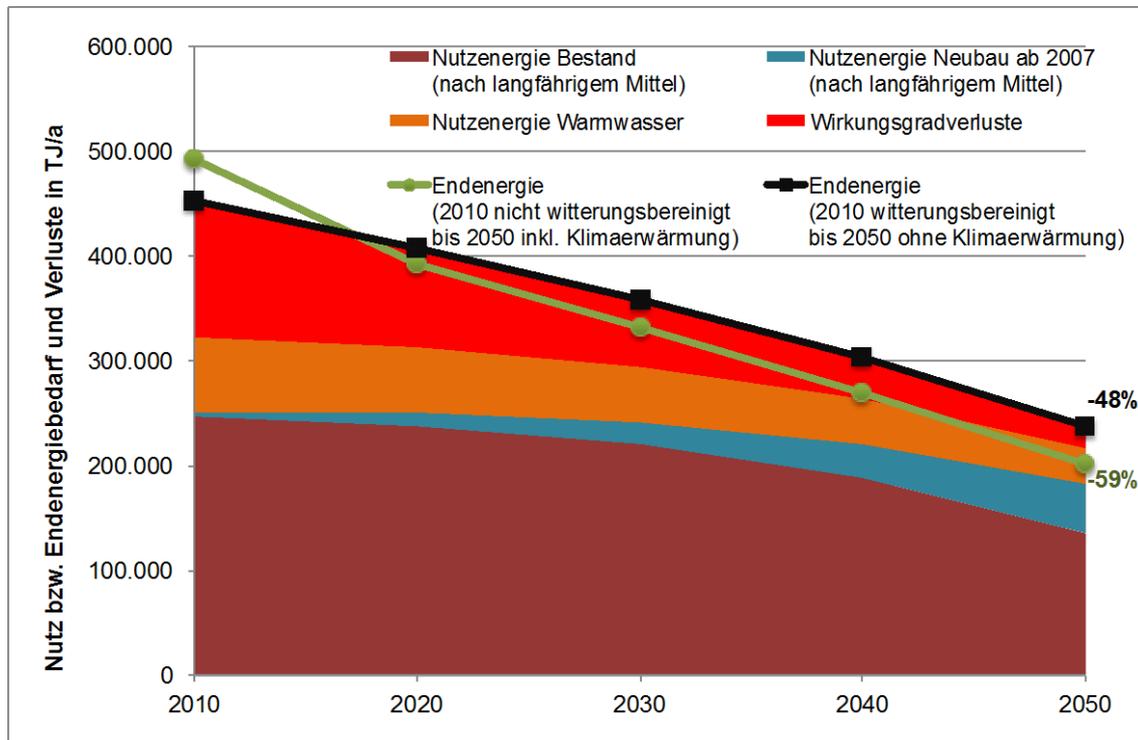
Zusammenstellung der Teilergebnisse für das Szenario G-0,7%

Abbildung 34: Entwicklung der Anteile der Raumwärmeklassen (Sanierungs-/Neubaustandards) im Gebäudebestand nach unsaniertem und saniertem Bestand sowie im Neubau im Szenario G-0,7% (in Mio. m²)



Quellen: Werte für 2010 aus: it.NRW: Statistischen Berichte - Energiebilanz und CO₂-Bilanz in Nordrhein-Westfalen; it.NRW: Wohnungsbestand in den Gemeinden Nordrhein-Westfalens

Abbildung 35: Entwicklung der Nutzenergiebedarfe für Raumwärme (Gebäudebestand und Neubau) und Warmwasser sowie der Verluste im Heizungssystem für das Szenario G-0,7% (in TJ/a)



Hier wird deutlich, dass die CO₂-Minderung um 83% im G-0,7%-Szenario dadurch „überschätzt“ wird, dass klimatische Effekte das Basisjahr 2010 schlechter und das Zieljahr 2050 besser aussehen lassen. Zu sehen ist das an dem Gap zwischen grüner Linie (Endenergie 2010 NICHT witterungsbereinigt, bis 2050 INKLUSIVE Effekte der Klimaerwärmung) und der Summenkurve aus den Flächen (entspricht Endenergie 2010 witterungsbereinigt, bis 2050 OHNE Effekte der Klimaerwärmung). Bei der grünen Linie sinkt im G-0,7%-Szenario der Verbrauch um 59%, bei der Summenkurve nur um 48%.

Die grüne Linie ist relevant für die Bestimmung der CO₂-Emissionen, die Summenkurve für die klimaunabhängige Darstellung der technischen Verbesserungen am Gebäude.

Abbildung 36: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-0,7% (in %) im Gebäudebestand (Gebäude bis 2007)

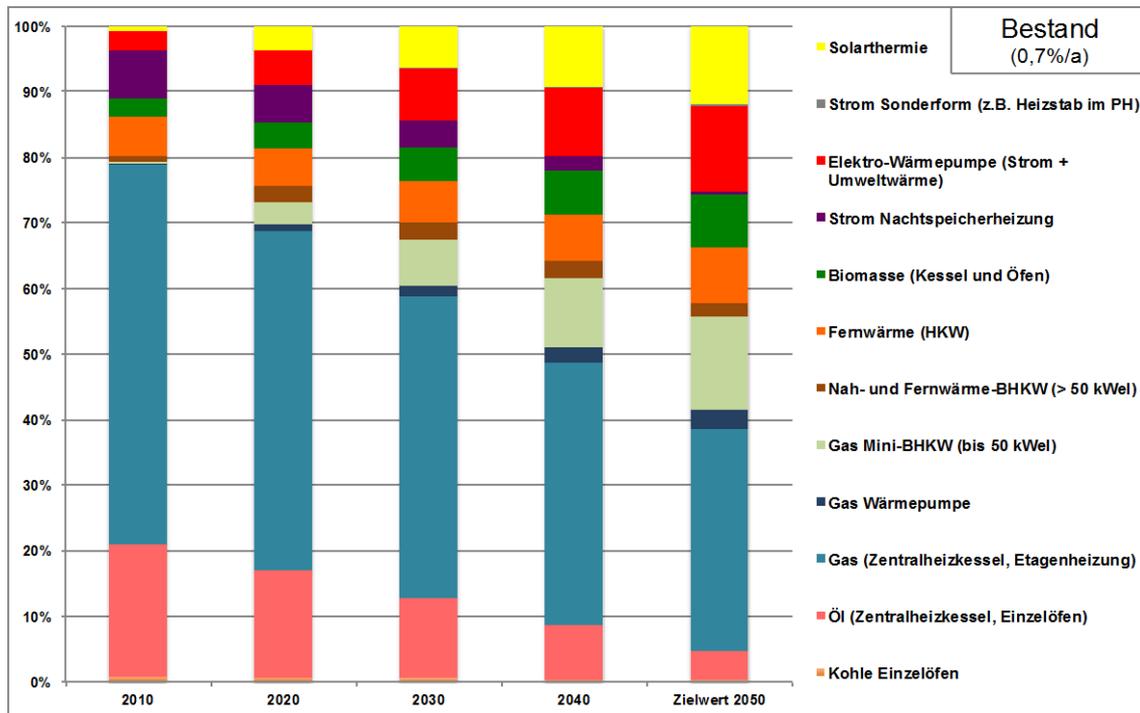


Abbildung 37: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-0,7% (in %) im Neubau (Gebäude ab 2008)

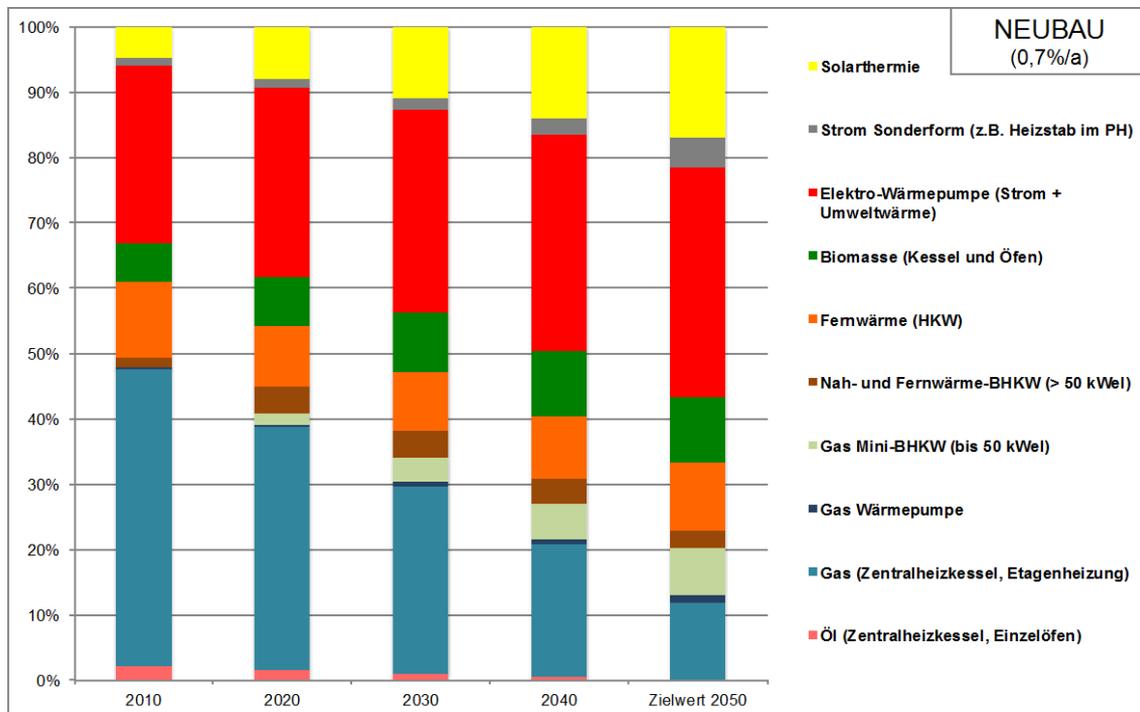


Abbildung 38: Entwicklung der Endenergie im Raumwärmebereich privater Haushalte (incl. Warmwasser) nach Energieträgern im Szenario G-0,7% (in TJ/a)

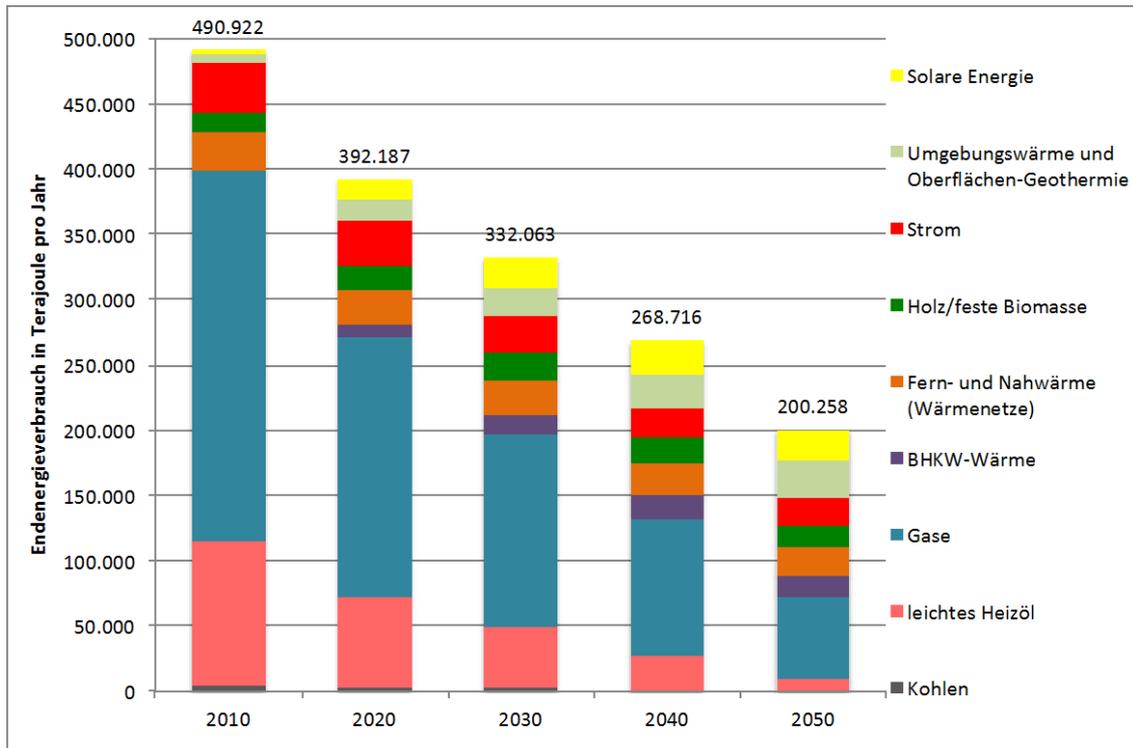


Abbildung 39: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich nach Bestand und Neubaubereich im Szenario G-0,7% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)

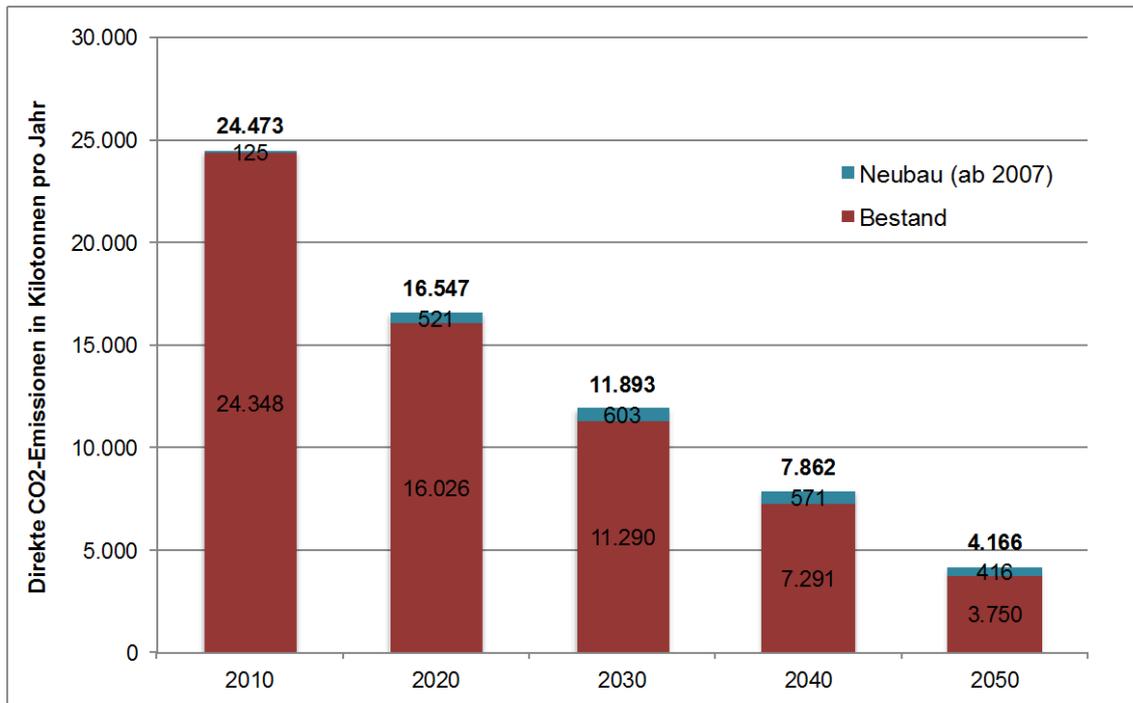
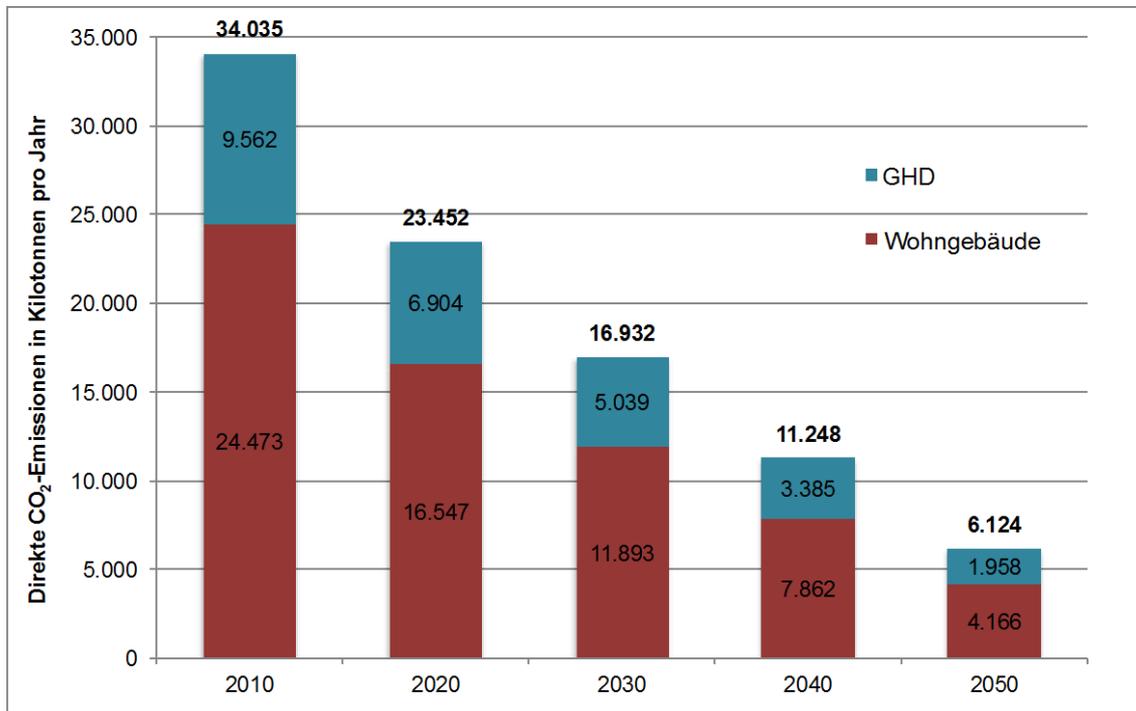


Abbildung 40: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich privater Haushalte (incl. Warmwasser) und den Sektor GHD im Szenario G-0,7% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)



Zusammenstellung der Teilergebnisse für das Szenario G-1,4%

Abbildung 41: Entwicklung der Anteile der Raumwärmeklassen (Sanierungs-/Neubaustandards) im Gebäudebestand nach unsaniertem und saniertem Bestand sowie im Neubau im Szenario G-1,4% (in Mio. m²)

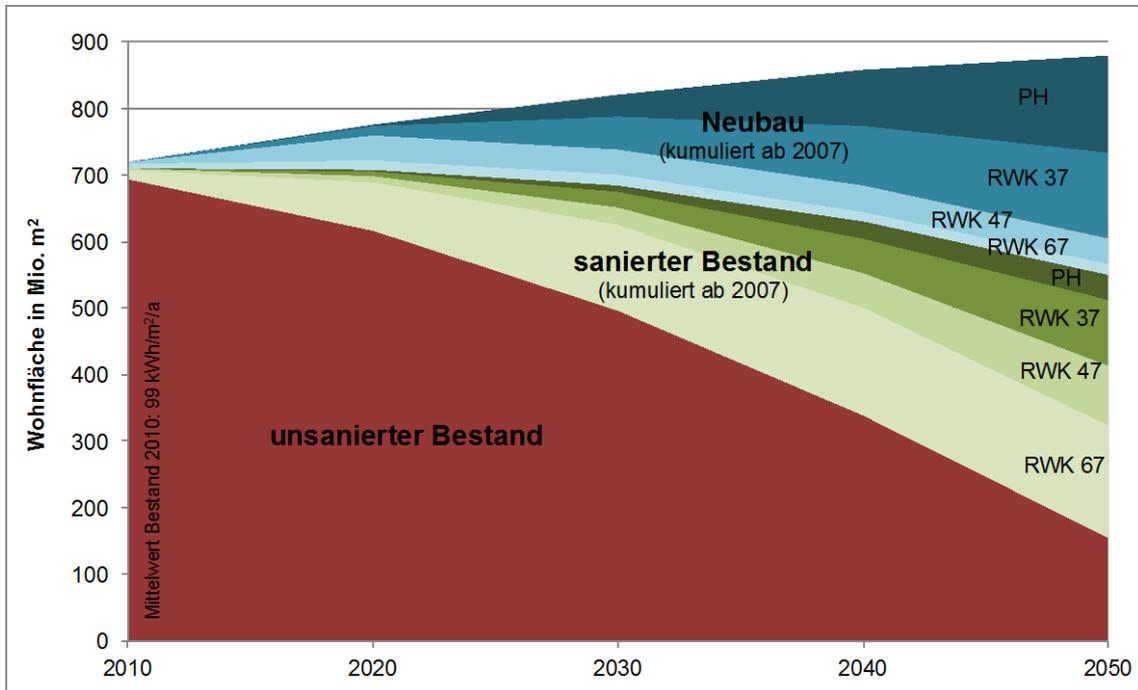
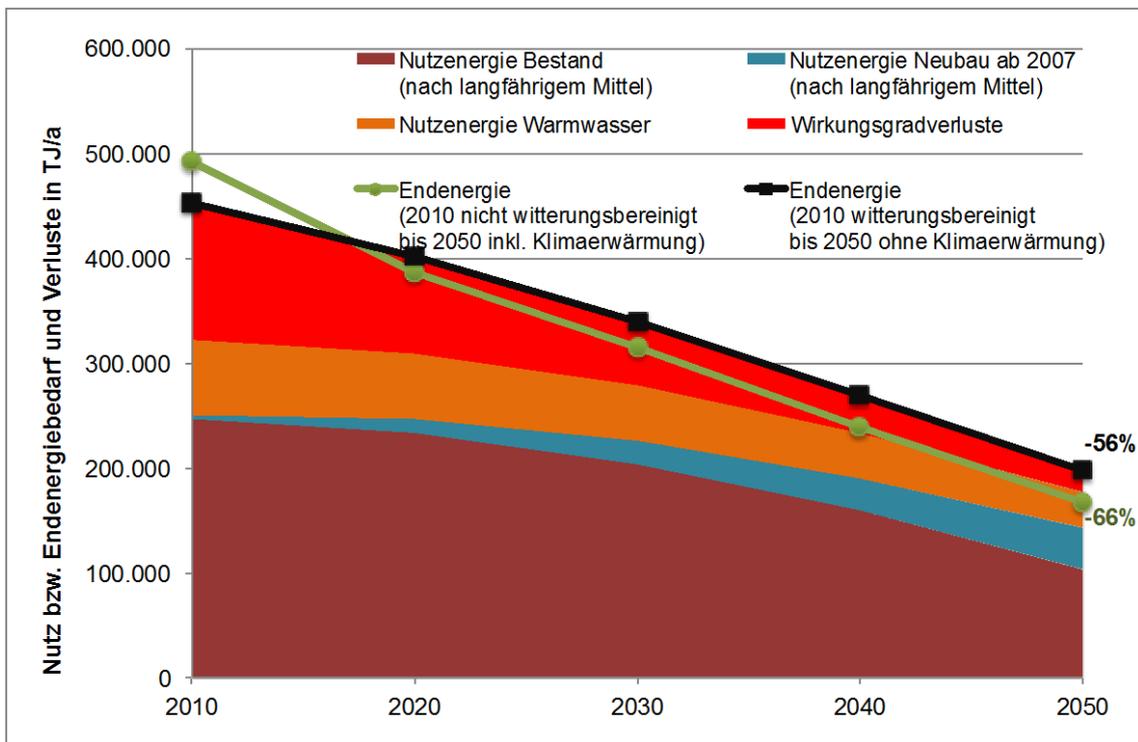


Abbildung 42: Entwicklung der Nutzenergiebedarfe für Raumwärme (Gebäudebestand und Neubau) und Warmwasser sowie der Verluste im Heizungssystem für das Szenario G-1,4% (in TJ/a)



Hier wird deutlich, dass die CO₂-Minderung um 88% im G-1,4%-Szenario dadurch „überschätzt“ wird, dass klimatische Effekte das Basisjahr 2010 schlechter und das Zieljahr 2050 besser aussehen lassen. Zu sehen ist das an dem Gap zwischen grüner Linie (Endenergie 2010 NICHT witterungsbereinigt, bis 2050 INKLUSIVE Effekte der Klimaerwärmung) und der Summenkurve aus den Flächen (entspricht Endenergie 2010 witterungsbereinigt, bis 2050 OHNE Effekte der Klimaerwärmung). Bei der grünen Linie sinkt im G-1,4%-Szenario der Verbrauch um 66%, bei der Summenkurve nur um 56%.

Die grüne Linie ist relevant für die Bestimmung der CO₂-Emissionen, die Summenkurve für die klimaunabhängige Darstellung der technischen Verbesserungen am Gebäude.

Abbildung 43: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-1,4% (in %) im Gebäudebestand (Gebäude bis 2007)

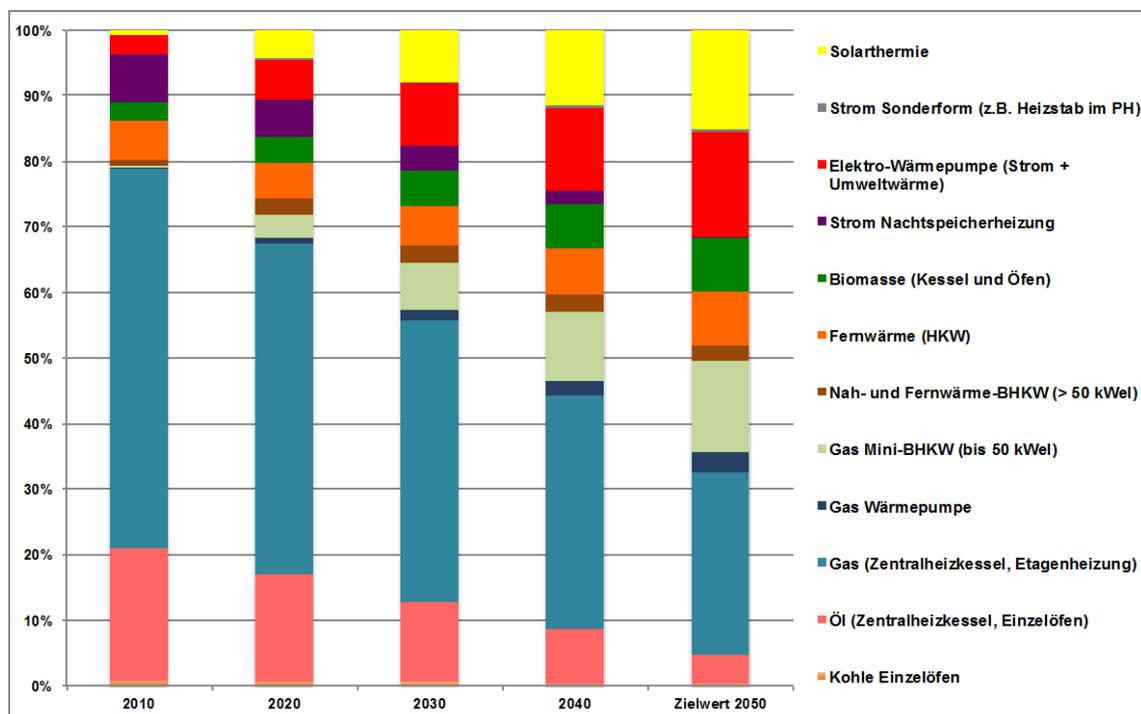


Abbildung 44: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-1,4 % (in %) im Neubau (Gebäude ab 2008)

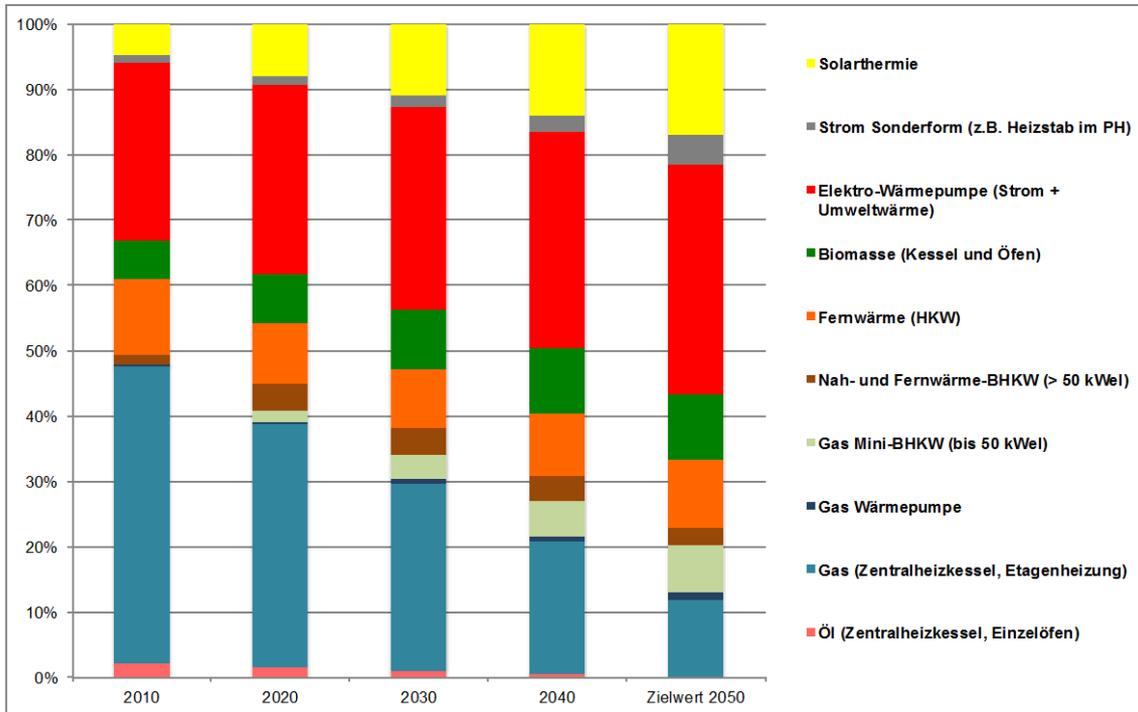


Abbildung 45: Entwicklung der Endenergie privater Haushalte im Raumwärmebereich (incl. Warmwasser) nach Energieträgern im Szenario G-1,4% (in TJ/a)

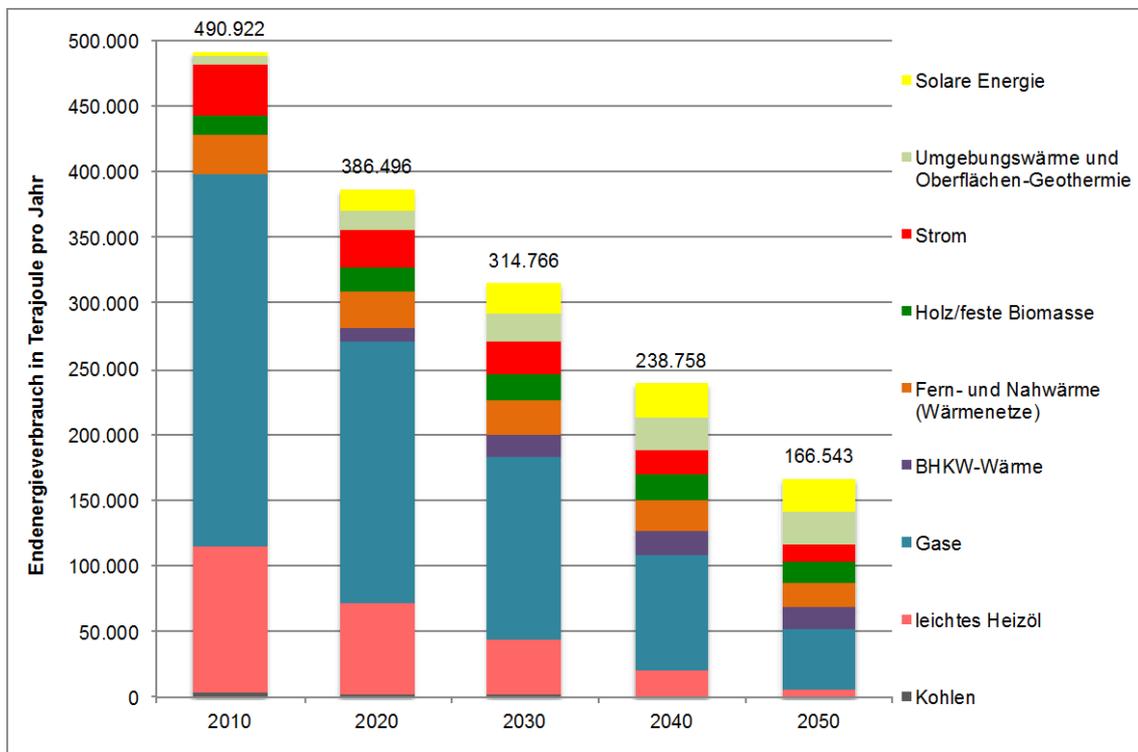


Abbildung 46: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich nach Gebäudebestand und Neubaubereich im Szenario G-1,4% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)

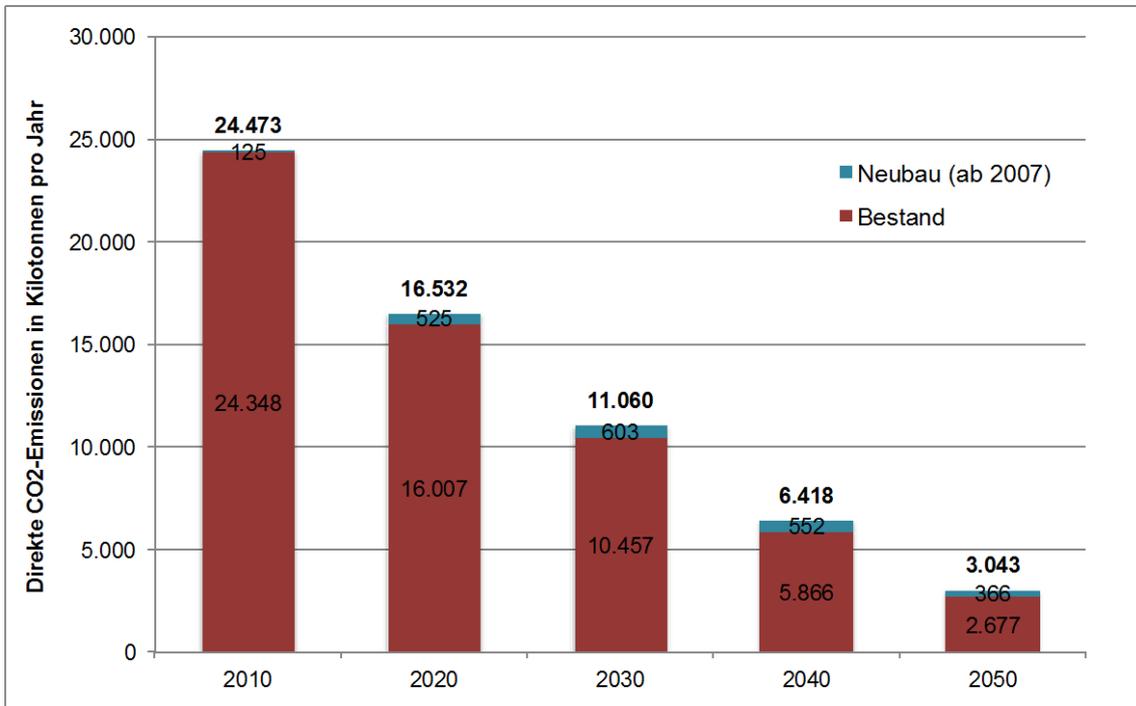
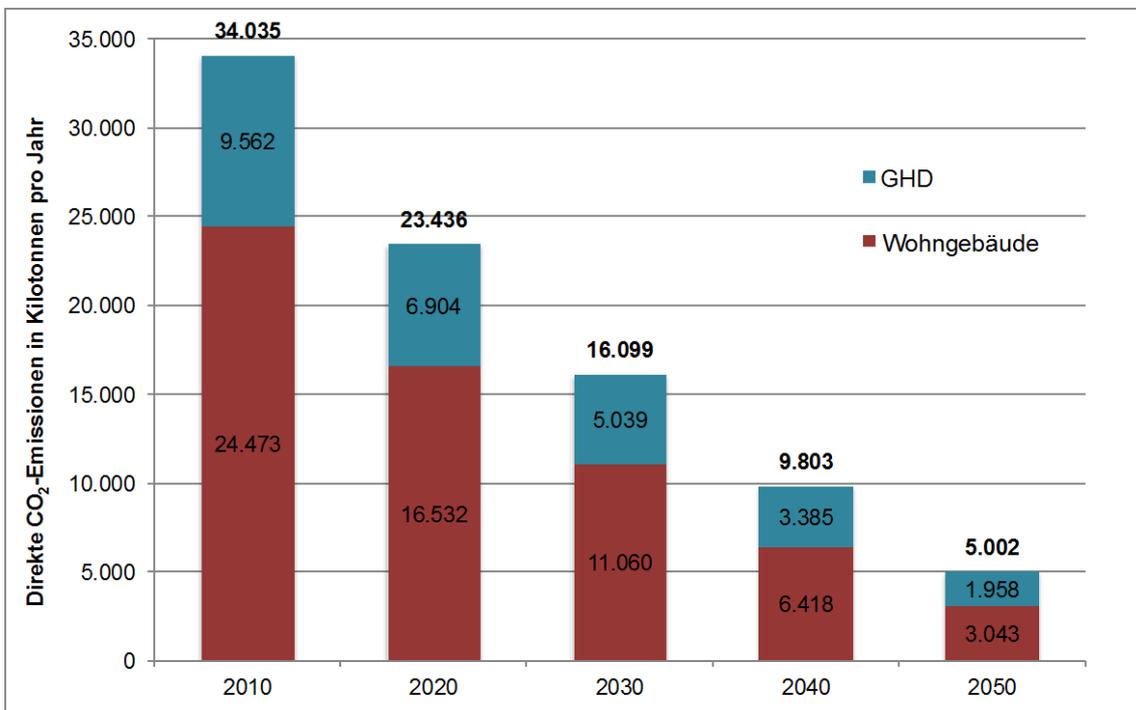


Abbildung 47: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich privater Haushalte (incl. Warmwasser) und den Sektor GHD im Szenario G-1,4% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)



Zusammenstellung der Teilergebnisse für das Szenario G-2,0%

Abbildung 48: Entwicklung der Anteile der Raumwärmeklassen (Sanierungs-/Neubaustandards) im Gebäudebestand nach saniertem und unsaniertem Bestand sowie im Neubau im Szenario G-2,0% (in Mio. m²)

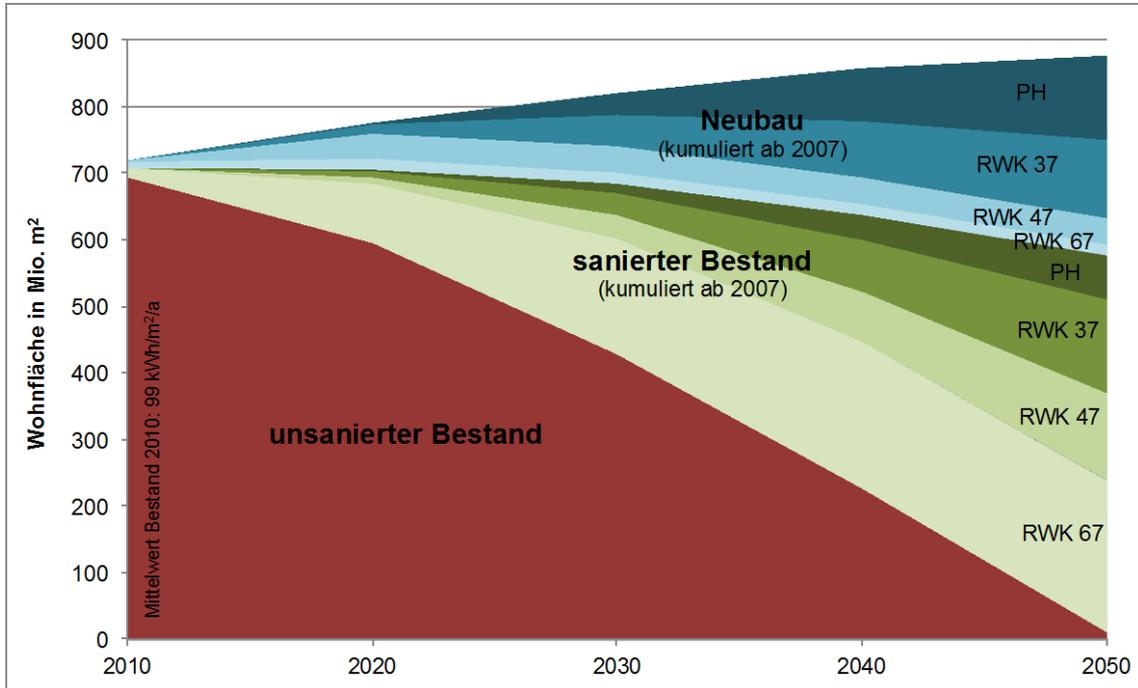
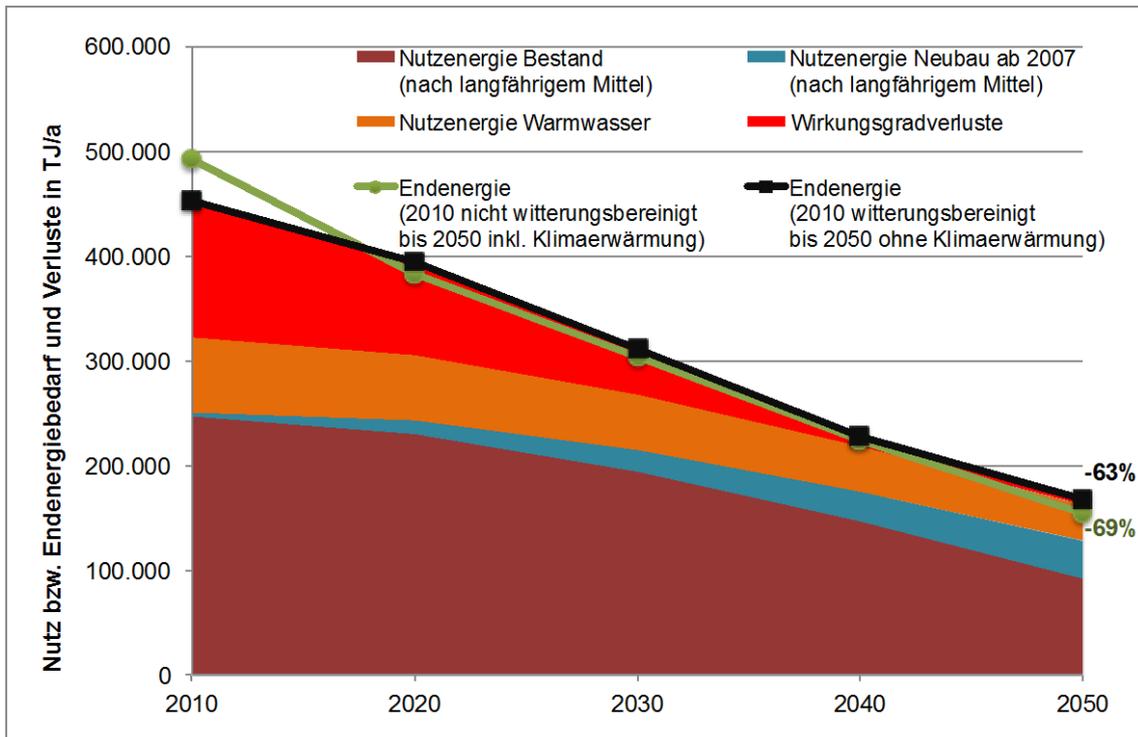


Abbildung 49: Entwicklung der Nutzenergiebedarfe für Raumwärme (Gebäudebestand und Neubau) und Warmwasser sowie der Verluste im Heizungssystem für das Szenario G-2,0% (in TJ/a)



Hier wird deutlich, dass die CO₂-Minderung um 90% im G-2,0%-Szenario dadurch „überschätzt“ wird, dass klimatische Effekte das Basisjahr 2010 schlechter und das Zieljahr 2050 besser aussehen lassen. Zu sehen ist das an dem Gap zwischen grüner Linie (Endenergie 2010 NICHT witterungsbereinigt, bis 2050 INKLUSIVE Effekte der Klimaerwärmung) und der Summenkurve aus den Flächen (entspricht Endenergie 2010 witterungsbereinigt, bis 2050 OHNE Effekte der Klimaerwärmung). Bei der grünen Linie sinkt im G-2,0%-Szenario der Verbrauch um 69%, bei der Summenkurve nur um 63%.

Die grüne Linie ist relevant für die Bestimmung der CO₂-Emissionen, die Summenkurve für die klimaunabhängige Darstellung der technischen Verbesserungen am Gebäude.

Abbildung 50: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-2,0% (in %) im Gebäudebestand (Gebäude bis 2007)

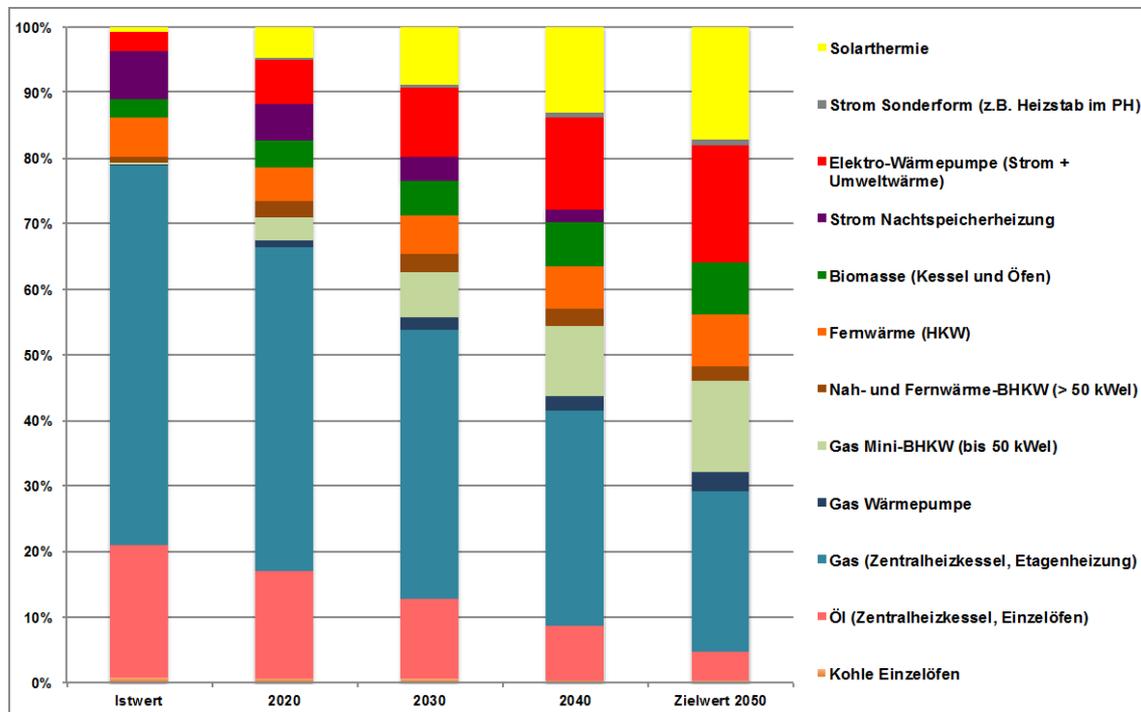


Abbildung 51: Entwicklung der Marktverteilung von Heizungsanlagen für das Szenario G-2,0 % (in %) im Neubau (Gebäude ab 2008)

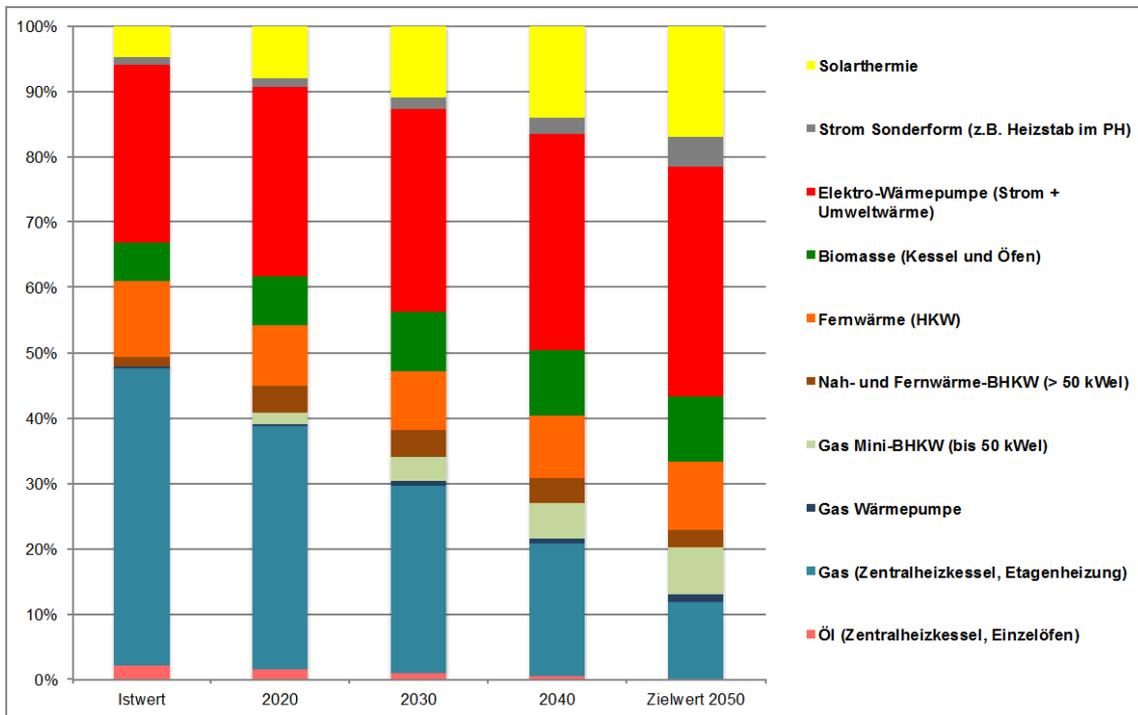


Abbildung 52: Entwicklung der Endenergie im Bereich Raumwärme privater Haushalte (incl. Warmwasser) nach Energieträgern im Szenario G-2,0% (in TJ/a)

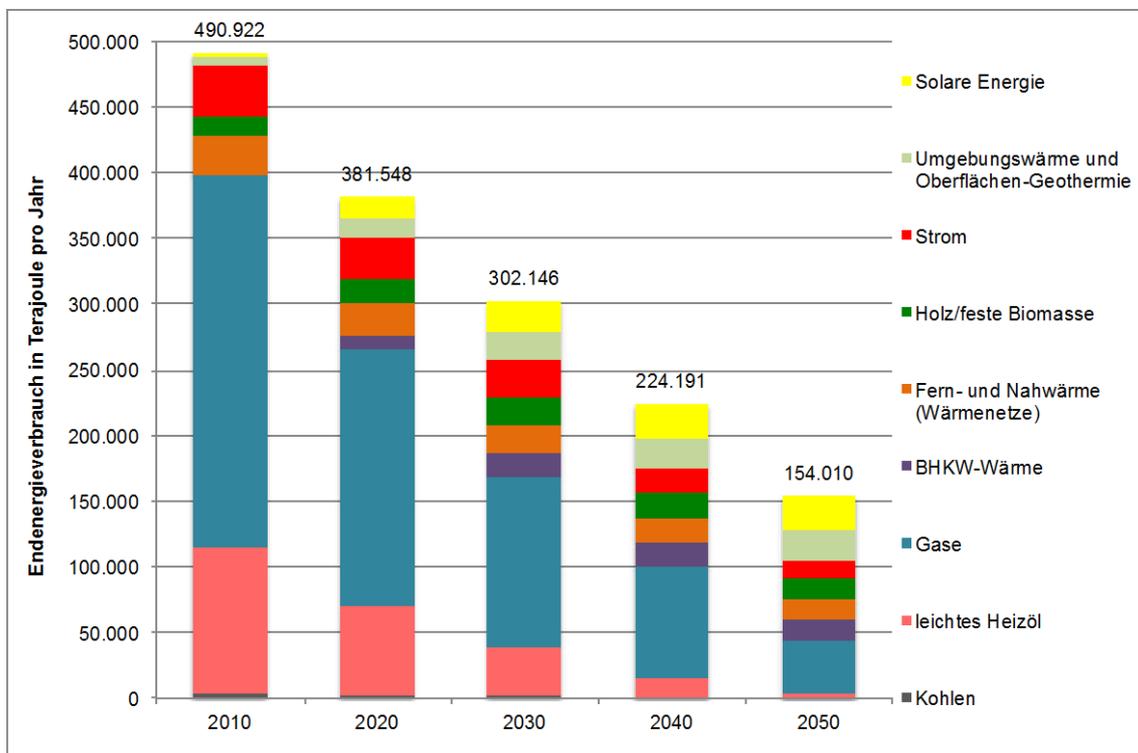


Abbildung 53: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich nach Gebäudebestand und Neubaubereich im Szenario G-2,0% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)

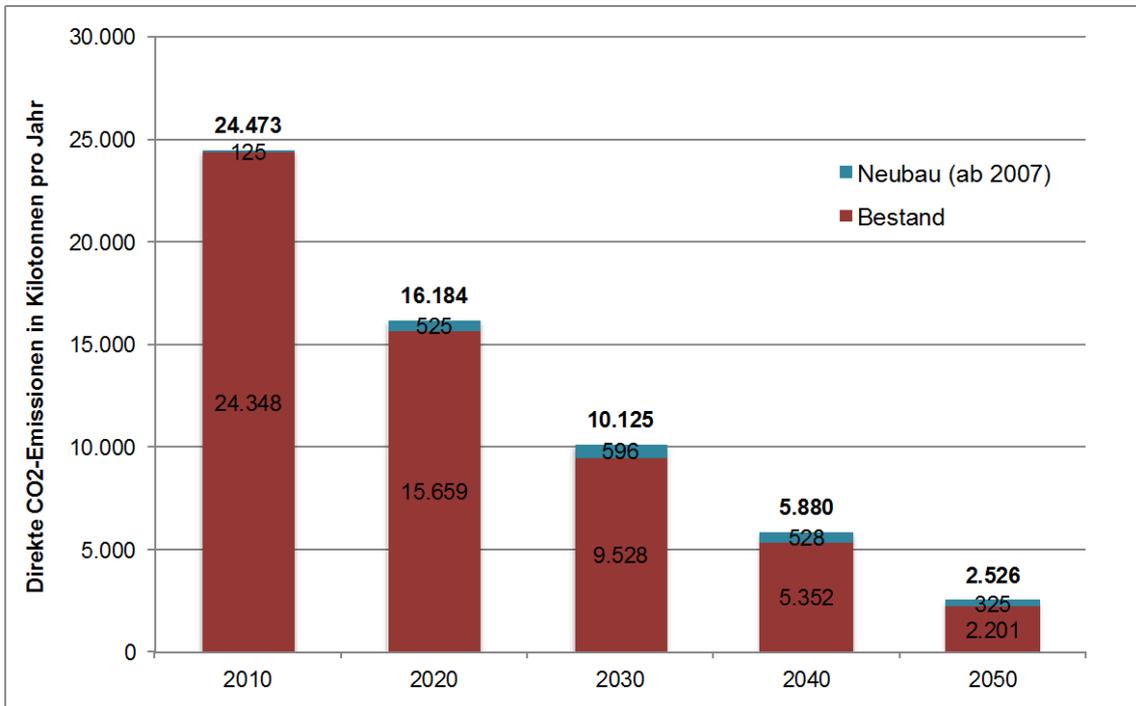
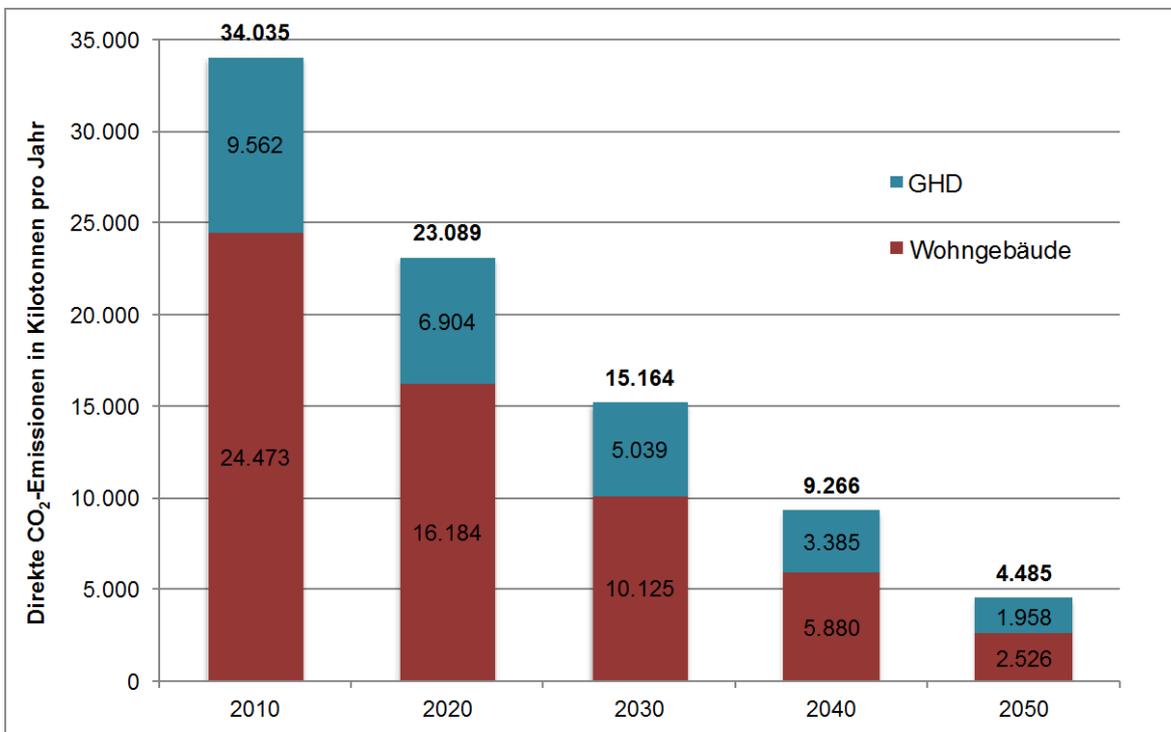


Abbildung 54: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen für den Gebäudebereich privater Haushalte (incl. Warmwasser) und den Sektor GHD im Szenario G-2,0% (in kt CO₂, ohne Emissionen der BHKW-Objektversorgung)



5.4 Arbeitsgruppe 4 - Verkehr

5.4.1 Vorgehensweise

Für den Sektor Verkehr wurden in einem ersten Schritt so genannte Variantenrechnungen durchgeführt. Zum Personenverkehr wurden zwei, zum Güterverkehr drei Varianten gerechnet. So konnte geprüft werden, wie sich - ausgehend vom derzeitigen wissenschaftlichen Stand - unterschiedlich prognostizierte beziehungsweise angenommene Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr auf die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen auswirken. Beim Personenverkehr handelt es sich um zwei verschiedene Annahmen zur zukünftigen Entwicklung des Modal Splits (Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den zurückgelegten Wegen), beim Güterverkehr um unterschiedliche Annahmen zur Entwicklung des Güterverkehrszuwachses und zu dessen Verteilung auf die Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschiff. Aus den zwei Varianten zum Personen- und drei Varianten zum Wirtschafts- und Güterverkehr ist jeweils eine Variante von der AG Verkehr ausgewählt und in einem zweiten Schritt zum Verkehrsszenario (als Baustein des Gesamtszenarios) zusammengefügt worden.

Die sich im Verkehrsszenario ergebenden Emissionen wurden zu den vom LANUV nach dem territorialen Ansatz bilanzierten THG-Emissionen für den Sektor Verkehr im Jahr 1990 ins Verhältnis gesetzt. Daraus ergibt sich das Minderungspotenzial bis zum Jahr 2020 und bis zum Jahr 2050. Um außerdem die Minderungspotenziale der einzelnen Varianten in den Teilbereichen Personen- und Güterverkehr betrachten zu können, mussten allerdings zusätzlich die THG-Emissionen mit dem im Modell verwendeten Energiebilanzprinzip rückwirkend für das Jahr 2010 berechnet und nach den Verkehrsarten aufgeschlüsselt werden. Mit dem territorialen Ansatz des LANUV ist eine solche Detailauswertung nicht möglich.

Tabelle 20: Vergleich der THG-Emissionsmengen für Verkehr in NRW der Jahre 1990 und 2010 zwischen Modell und Emissionsstatistik

Quelle	ausgewiesene THG-Emissionen im Verkehr (Mio. t CO _{2eq})	
	Für das Jahr 1990	Für das Jahr 2010
<u>LANUV</u> Treibhausgas-Emissionsinventar (<u>Territorialbilanz</u> : die Emissionen werden nach den Verkehrsströmen auf dem Territorium NRWs berechnet)	36,2	35,0
<u>WI-Modell</u> DEESY-NRW (<u>Energiebilanz</u> : die Emissionen werden aus den in NRW an die Endverbraucher abgegebenen Kraftstoffmengen berechnet)	Keine Berechnung möglich	34,4

Nachfolgend werden die beiden ausgewählten Varianten hinsichtlich der hinterlegten Annahmen und Ergebnisse erläutert.

5.4.2 Personenverkehr

Szenarioberechnung für den Personenverkehr: Zu Grunde gelegte Annahmen (Auswahl)

- Die Zahl der Pkw in Nordrhein-Westfalen wird in erster Linie durch den Rückgang der Gesamtbevölkerung in Nordrhein-Westfalen bis 2050 um zehn Prozent sinken, wobei die angenommene Bevölkerungsentwicklung auf der Bevölkerungsprognose von Prognos basiert³⁷.
- Eine fortschreitende technische Entwicklung von Antriebssystemen für Pkw wird bis zum Jahr 2050 eine Diversifizierung der Antriebssysteme bewirken, die Anteile der alternativen Antriebe an den Neuzulassungen steigen also sukzessive. Mit Hilfe eines Flottenumschlagsmodells wurde ermittelt, dass der Anteil der Benzinfahrzeuge am Pkw-Gesamtbestand des Jahres 2050 41 Prozent beträgt (heute 73 Prozent), der von Dieselfahrzeugen sechs Prozent (heute 25 Prozent), der von Elektrofahrzeugen einschließlich Plug-in-Hybrid 31 Prozent (heute 0,003 Prozent), der von Gasfahrzeugen vier Prozent (heute 1,3 Prozent) und von Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeugen 18 Prozent (heute null Prozent)³⁸.

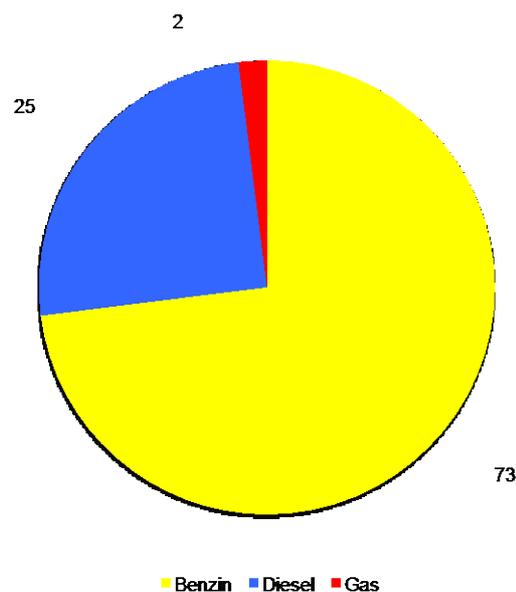


Abbildung 55: Anteil der Antriebe im Pkw-Verkehr 2010 in Prozent (Quelle Kraftfahrtbundesamt)

³⁷ Online verfügbar unter

http://www.it.nrw.de/statistik/analysen/stat_studien/2012/band_72/z089201251.pdf

³⁸ Die im Szenario angenommene Entwicklung der Flottenzusammensetzung und der Effizienzentwicklung der Antriebssysteme im Personen- **und** im Güterverkehr gilt sowohl deutschlandweit als auch für NRW.

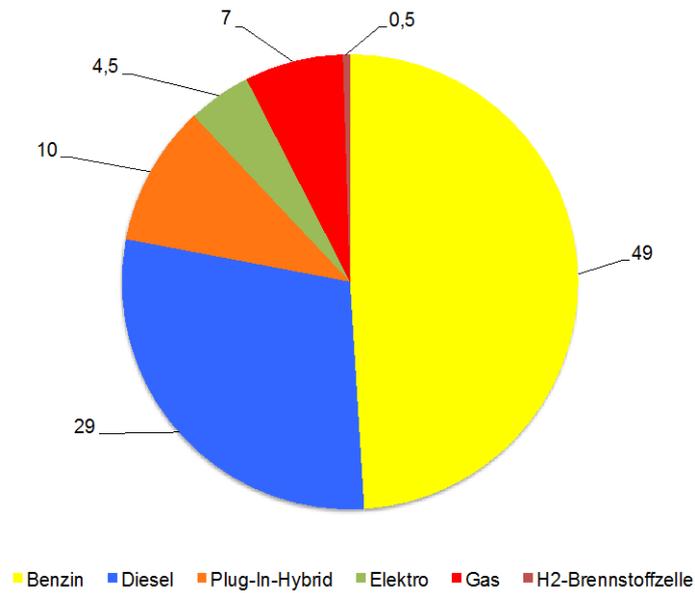


Abbildung 56: Möglicher Anteil der Antriebe im Pkw-Verkehr 2030 in Prozent (Quelle Energieszenarien)

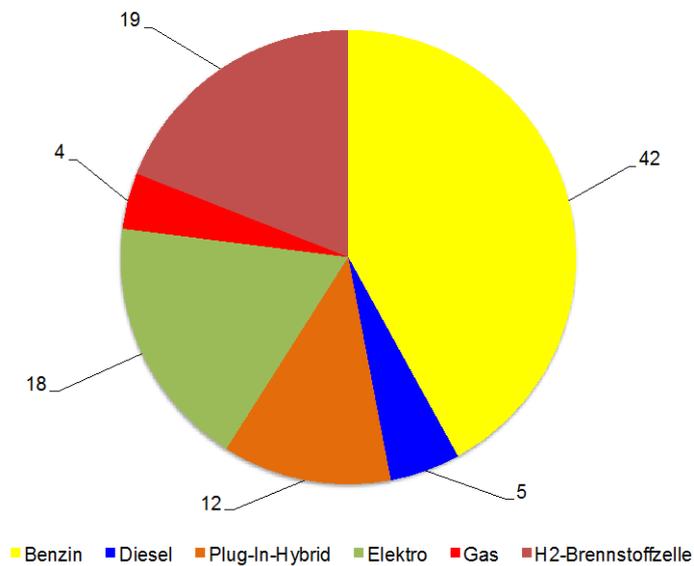


Abbildung 57: Möglicher Anteil der Antriebe im Pkw-Verkehr 2050 in Prozent (Quelle Energieszenarien)

- Für sämtliche Antriebsarten von Pkw werden Effizienzgewinne angenommen, die in erster Linie auf die Entwicklung der technischen Effizienz zurückzuführen sind. Der Energieverbrauch wird je Fahrzeugkilometer bei Benzinern gegenüber 2010 bis 2050 um 54 Prozent sinken, bei Dieselfahrzeugen um 30 Prozent, bei Elektrofahrzeugen um

14 Prozent und bei Gasfahrzeugen um 50 Prozent, Plug-in-Hybride verbrauchen 2050 23 Prozent weniger Energie als 2020.

- Auch der Personenschienenverkehr wird effizienter. Im Personennahverkehr verbrauchen dieselbetriebene Züge 2050 fünf Prozent weniger Energie je zurückgelegtem Personenkilometer (Pkm) als 2010, bei der Elektrotraktion beträgt die Verbesserung sechs Prozent.
- Im Personenschienenfernverkehr sinkt der Energieverbrauch je Pkm bis 2050 gegenüber 2010 um fast 41 Prozent.
- Durch Fördermaßnahmen insbesondere für öffentliche Verkehrsmittel, den Rad- und den Fußverkehr wird sich der Modal Split der im Personenverkehr zurückgelegten Wege bis 2030 in NRW zu Lasten des Pkw wie folgt verschieben und dann bis 2050 stabil bleiben: Fußverkehr 24 Prozent, Radverkehr 22 Prozent, Pkw 43 Prozent und öffentlicher Verkehr (ÖV) 11 Prozent³⁹.

³⁹ dies ist eine Abschätzung auf Basis der vom Umweltbundesamt 2010 erstellten Studie *CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland – Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale*, die online unter www.umweltdaten.de verfügbar ist

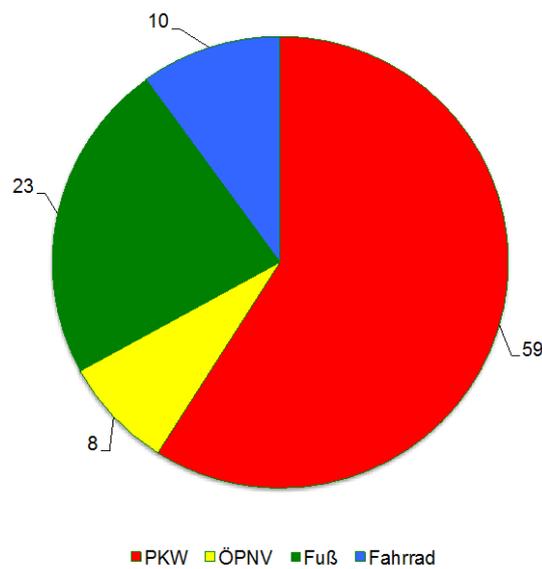


Abbildung 58: Modal Split der Wege im Personenverkehr in NRW 2008 (Quelle MiD 2008)

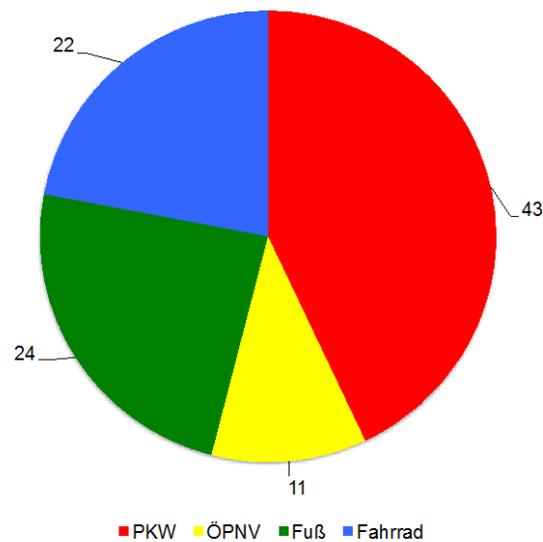


Abbildung 59: Möglicher Modal Split der Wege im Personenverkehr in NRW bis 2030 (Quelle eigene Berechnung)

Szenarioberechnung für den Personenverkehr: Ergebnisse (Auswahl)

Aus den zu Grunde gelegten Annahmen ergibt sich:

- Die im motorisierten Personenverkehr in Nordrhein-Westfalen zurückgelegten Personenkilometer würden bis 2050 gegenüber 2010 insgesamt um 7 Prozent zurückgehen, die des Pkw-Verkehrs dabei um 9 Prozent. Die im ÖPNV zurückgelegten Personenkilometer würden im gleichen Zeitraum um 11 Prozent ansteigen.
- Bis 2030 würde sich gegenüber 2010 der Energiebedarf im motorisierten Personenverkehr in Nordrhein-Westfalen um 34 Prozent und bis 2050 um 58 Prozent vermindern.

- Der Benzinbedarf für den motorisierten Pkw-Verkehr in Nordrhein-Westfalen würde bis 2030 um 61 und bis 2050 um 73 Prozent zurückgehen, der Bedarf an Diesel sänke im gleichen Zeitraum um 28 beziehungsweise 91 Prozent.
- Diese Entwicklung würde sich in Kombination mit der Verlagerung motorisierter Personenverkehre auch in der Entwicklung der im Personenverkehr verursachten CO₂-Emissionen niederschlagen. Diese würden in NRW bis 2030 gegenüber 2010 um 40 Prozent und bis 2050 um 76 Prozent zurückgehen.

5.4.3 Güterverkehr

Szenarioberechnung für den: Zu Grunde gelegte Annahmen (Auswahl)

- Für den Güterverkehr wird ein Effizienzgewinn für die eingesetzten Fahrzeuge angenommen. So wird der Energieverbrauch von schweren Lkw gegenüber 2010 bis 2050 um 23 Prozent und der von leichten Nutzfahrzeugen um rund 30 Prozent je zurückgelegtem Fahrzeugkilometer sinken. Diese Annahme gilt sowohl für ganz Deutschland als auch für Nordrhein-Westfalen. Hinsichtlich ihrer Verkehrsleistung in Tonnenkilometer (tkm) beträgt der Effizienzgewinn der schweren Lkw 38 Prozent.
- Auch die Eisenbahn und das Binnenschiff werden effizienter. Der Energieverbrauch je tkm von dieselmotortriebenen Lokomotiven sinkt bis 2050 gegenüber 2010 um 19 Prozent, der von Elektro-Lokomotiven um 12 Prozent. Das Binnenschiff verbraucht 2050 je tkm fast 21 Prozent weniger Energie als 2010.
- Bei leichten Nutzfahrzeugen verliert der Benzinantrieb bis 2050 vollständig an Bedeutung. Während Dieselfahrzeuge ihre Bedeutung weitgehend behalten, treten an die Stelle von Ottomotoren in erster Linie Wasserstoffbrennstoffzellenantriebe.
- Entsprechend der Energieszenarien der Bundesregierung wird auch hier zu Grunde gelegt, dass die Verkehrsleistung im Güterverkehr gegenüber 2010 bis 2030 um 46 und bis 2050 um 77 Prozent zunimmt⁴⁰. Rund die Hälfte dieses Zuwachs soll im Szenario gemäß den Verabredungen in der AG Verkehr auf der Straße erbracht werden, jeweils rund ein Viertel auf der Schiene beziehungsweise durch das Binnenschiff.

Szenarioberechnung für den Güterverkehr: Ergebnisse (Auswahl)

Aus diesen Annahmen ergibt sich nach der Berechnung folgende Entwicklung:

- Das **Straßengüterverkehrsaufkommen** würde gegenüber 2010 bis 2030 um 46 Prozent auf 89,9 Milliarden tkm und bis 2050 um 55 Prozent auf 95,3 Milliarden tkm pro Jahr steigen, der Gütertransport auf der **Schiene** bis 2030 gegenüber 2010 um 52 Prozent auf 18,2 Milliarden tkm und bis 2050 um 140 Prozent auf 28,8 Milliarden tkm. Der Transport mit dem **Binnenschiff** würde gemäß der Berechnungen gegenüber 2010 bis 2030 um 40 Prozent auf 21,7 Milliarden tkm und bis 2050 um 109 Prozent auf 32,3 Milliarden tkm ansteigen.

⁴⁰ online verfügbar unter <http://www.bmu.de/N46367/>

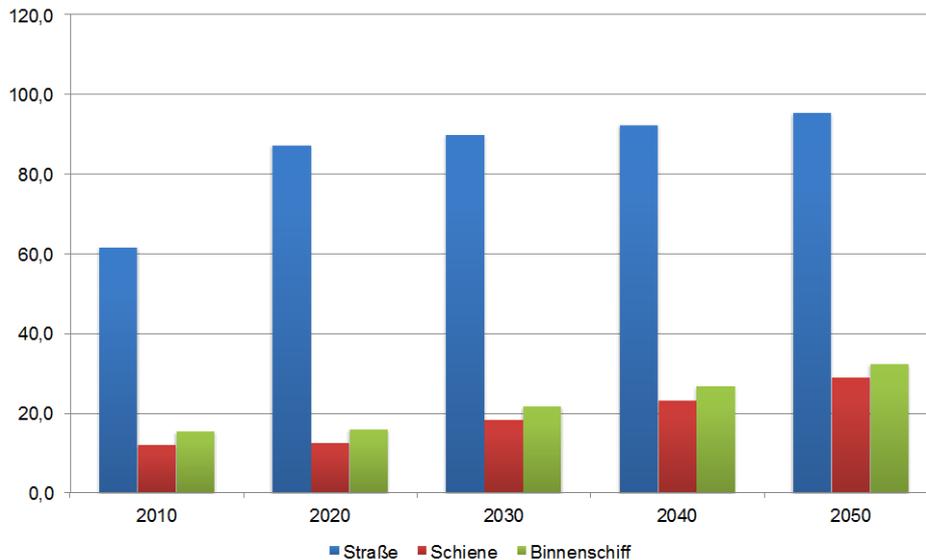


Abbildung 60: Entwicklung der sich aus den Energieszenarien ergebenden Transportleistung im Güterverkehr in kt bis 2050 bei Aufteilung auf die Verkehrsträger Straße, Schiene und Schiff gemäß den Verabredungen in der AG Verkehr

- Im Güterverkehr würden diese Entwicklung bis zum Jahr 2050 zu einem leichten Anstieg beim Energiebedarf um drei Prozent gegenüber dem Jahr 2010 führen, wobei der Anstieg bis 2030 7 Prozent beträgt, danach jedoch ein Rückgang des Energiebedarfs zu verzeichnen ist.
- Die CO₂-Minderung im Güterverkehr betrüge gegenüber dem Jahr 2010 ein Prozent bis zum Jahr 2030 und 20 Prozent bis zum Jahr 2050. Diese Minderung resultiert hauptsächlich aus der angenommenen Effizienzsteigerung der Antriebe sowie aus dem Modal Shift zu Schiene und Binnenschiff, womit der Zuwachs bei der Verkehrsleistung teilweise kompensiert werden kann.

5.4.4 Szenario für das Handlungsfeld Verkehr: Gesamtergebnisse (Auswahl)

Insgesamt ergibt sich aus der Berechnung für das Handlungsfeld Verkehr (Personen- und Wirtschafts- und Güterverkehr) unter Berücksichtigung der im Klimaschutzgesetz für die Jahre 2020 (mindestens minus 25 Prozent CO₂ gegenüber 1990) und 2050 (mindestens minus 80 Prozent) formulierten CO₂-Minderungsziele folgende Entwicklung:

- Die Emissionen im Straßenverkehr würden von 29.900 kt bezogen auf das Jahr 2010 bis 2020 um 6 Prozent auf 28.200 kt und bis 2050 um 64 Prozent auf 10.700 kt sinken.
- Im Schienenverkehr wäre ein Anstieg der CO₂-Emissionen von 105 kt bezogen auf das Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 um 86 kt (83 Prozent) auf 191 kt und bis 2050 um 84 kt (81 Prozent) auf 189 kt zu verzeichnen.
- Beim Binnenschiff würden die CO₂-Emissionen bezogen auf das Jahr 2010 (188 kt) bis 2020 um 4 Prozent auf 195 kt und bis 2050 um 88 Prozent auf 353 kt steigen, die Transportleistung würde sich dabei mehr als verdoppeln.

- Die gesamten verkehrsbedingten CO₂-Emissionen würden in Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 um 3 Prozent von rund 34.000 Kilotonnen (kt) auf 33.000 kt und bis 2050 um 58 Prozent auf etwa 14.300 kt zurückgehen⁴¹. Bezogen auf das Jahr 1990, für das 36.200 Kilotonnen CO₂ bilanziert worden waren, ergäbe sich eine Rückgang um 8 Prozent bis zum Jahr 2020 und um 60 Prozent bis zum Jahr 2050.

⁴¹ Hierbei wurde für das Jahr 2010 die mit dem WI Modell berechnete CO₂-Menge in Höhe von 34,4 Mio t CO₂ zugrunde gelegt. Wenn man die CO₂-Menge aus der LANUV-Bilanz für das Jahr 2010 in Höhe von 35,0 Mio. t zugrunde legt, ergäbe sich bis zum Jahr 2020 ein Rückgang um 6 Prozent (siehe dazu auch die Erläuterung auf der Seite 30).

5.5 Arbeitsgruppe 5 – Landwirtschaft, Forst, Boden

5.5.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zur Treibhaus-Quellgruppe Landwirtschaft vorgestellt, die nach Vorgaben der Arbeitsgruppe 5 Landwirtschaft / Forst / Boden am Thünen-Institut (Johann Heinrich von Thünen-Institut; Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei) erarbeitet worden sind.

In der Quellgruppe Landwirtschaft sind CH₄-(Methan-) und N₂O-(Lachgas-) Emissionen aus folgenden Prozessen und Bereichen relevant:

- Fermentation: verdauungsbedingte CH₄-Emissionen, vor allem der Rinder
- Düngewirtschaft: CH₄- und N₂O-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung
- Landwirtschaftliche Böden: N₂O-Emissionen aus der Stickstoffdüngung, aus der Umsetzung von Ernterückständen, aus gasförmigen N-Verlusten sowie N-Austrägen ins Grund- und Oberflächenwasser. Hinzu kommen N₂O-Emissionen aus der Mineralisierung von Moorböden.

Diese Emissionen werden durch biochemische Prozesse bei der Verdauung, Wirtschaftsdüngerlagerung und bei der Umsetzung von Stickstoffverbindungen im Boden bestimmt und lassen sich nicht vollständig vermeiden, sondern nur anteilig vermindern.

CO₂-Emissionen aus der Nutzung oder Umwandlung von Böden (z.B. Grünlandumbruch, Moorentwässerung) und CO₂-Aufnahme durch die Speicher- und Senkenleistung von Wald und Böden (z.B. Aufforstung) werden hier nicht betrachtet, da sie nicht Gegenstand der Emissionsberichterstattung NRW's sind. Ausführungen zur Speicher- und Senkenleistung von Wald und Boden als Beitrag zum Klimaschutz finden sich jedoch als Anlage zu den Ergebnissen der Arbeitsgruppe 5.⁴²

Die aufgeführten Berechnungen zu THG-Emissionen in NRW in der Quellgruppe Landwirtschaft wurden mit den gleichen Methoden durchgeführt, mit denen auch die aktuelle Emissionsberichterstattung zur Erfüllung der internationalen Verpflichtungen erfolgt (IPCC, 1997; Rösemann et al., 2013).

5.5.2 Beschreibung der AG-spezifischen Szenarioannahmen

Nachfolgend werden die in der Arbeitsgruppe auf Vorschlag des Thünen-Instituts einvernehmlich verabredeten Annahmen für die Entwicklung der wesentlichen, emissionsrelevanten Rahmendaten der nordrhein-westfälischen Landwirtschaft bis zum Jahr 2030 beschrieben. Die Ergebnisse dieses Emissionsszenarios sind in Kapitel 4.3. in den Spalten „ohne Maßnahmen“ abgebildet. Darüber hinaus wurde vom Thünen-Institut – abweichend vom Vorgehen in den Arbeitsgruppen 1-4 – die aufsummierte Emissionswirkung verschiedener Maßnahmenvorschlä-

⁴² Energiebedingte CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft werden im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen bilanziert und damit in den Berechnungen der Arbeitsgruppe 3 abgebildet.

ge aus der Arbeitsgruppe 5 abgeschätzt. Diese Abschätzung erfolgte jedoch lediglich für einzelne, durch Annahmen quantifizierbare Maßnahmen (z.B. die Steigerung des Anteils der Vergärung von Gülle in Biogasanlagen) sowie durch summarische Betrachtung der Emissionswirkung mehrerer Einzelmaßnahmen (siehe 4.2.5.). Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Kapitel 4.3. in den Spalten „mit Maßnahmen“ dargestellt. Sie stellen eine Abschätzung der Wirkung eines Maßnahmenbündels dar, da ähnlich wirkende Maßnahmen z. B. zur Stickstoffdüngung zusammengefasst wurden.

Grundsätzlich gilt, dass die in Kapitel 4.3. vorgestellten Ergebnisse analog zu den Szenarien der Arbeitsgruppen 1-4 als eine von den Szenarioannahmen abhängige „Wenn-Dann-Beziehung“ und nicht als abgesicherte Prognose verstanden werden müssen.

Berechnungen wurden nur für die Jahre 2020 und 2030 vorgenommen, bis 2050 werden die Werte von 2030 fortgeschrieben. Die Fortschreibungen erfolgen bis auf wenige Ausnahmen auf Basis des Jahres 2010.

Szenarioannahmen zur Flächennutzung

Der Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird sich auch künftig fortsetzen. Die Landwirtschaftsfläche nach Flächenstatistik ist in den letzten 16 Jahren um 17 ha pro Tag zurückgegangen, vor allem aufgrund der Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen. Es wird davon ausgegangen, dass sich dieser Flächenverlust aufgrund politischer Maßnahmen im Vergleich dazu bis 2020 um $\frac{1}{4}$ und bis 2030 um $\frac{1}{2}$ verringert. Aufforstungsflächen sind in diesen Werten bereits enthalten.

Szenarioannahmen zur Umwandlung von Grünland in Ackerland

Eine Umwandlung von Grünland in Ackerland wird ausgeschlossen. Angesichts der höheren Wettbewerbsfähigkeit von Ackernutzungen setzt diese Annahme einen dauerhaft wirksamen Schutz für ackerfähige Grünlandstandorte voraus. Aufgrund dieser Annahme werden CO₂-Freisetzungen aus dem Grünlandumbruch vermieden und in den Berechnungen nicht weiter berücksichtigt.

Szenarioannahmen zu Entwicklungen im Ackerbau

Das Anbauspektrum der Ackerkulturen wird sich nicht in relevantem Umfang verändern. Eine Ausnahme bildet die Silomaisfläche, die sich im Zuge der Ausweitung der Biogasproduktion seit 2004 fortlaufend ausgeweitet hat. Die im Jahr 2012 mit Silomais genutzte Fläche wird bis 2020 und 2030 konstant fortgeschrieben. Demgegenüber werden die Anbauflächen aller anderen Ackerkulturen entsprechend des Rückgangs der Ackerfläche um 2,9 % (2020) bzw. 4,9 % (2030) verringert. Der durchschnittliche jährliche Ertragszuwachs der verschiedenen Feldfrüchte wird annahmegemäß gegenüber den zurückliegenden Jahrzehnten geringer ausfallen. Damit wird der veränderten Ertragsentwicklung zwischen 2000 und 2010 und den künftigen, aufgrund des Klimawandels steigenden Unsicherheiten Rechnung getragen. Für Getreide, Kartoffeln und Hülsenfrüchte wird ein Ertragszuwachs zwischen 2010 und 2030 von 10 % angenommen, für Körner- und Silomais von 25 % und für Raps sowie Zuckerrüben von 30 %.

Szenarioannahmen zur Tierhaltung

In der Tierhaltung wird von einem konstanten Milchkuhbestand ausgegangen, wobei die Milchleistung pro Kuh von 7.445 kg im Jahr 2010 auf 8.300 kg im Jahr 2020 und auf 9.000 kg im Jahr 2030 steigen wird. Die Zahl der Nachzuchtfärsen wird verringert, da sich die Anzahl der Laktationen je Kuh nach den Annahmen von derzeit ca. 2,8 bis 2020 auf 3 und ab 2020 auf 3,5 erhöhen wird und dadurch weniger Kühe pro Jahr durch Jungtiere ersetzt werden müssen. Dies hat aber nur wenig Einfluss auf die Rinderbestände, da die Färsenmast entsprechend ausgeweitet wird.

Die Schweinebestände nehmen aufgrund verstärkter gesetzlicher Auflagen, z. B. zum Tiererschutz, um ca. 15 % ab. Kleinere Tierhaltungsbetriebe steigen aus der Produktion aus, und deren Produktionskapazität wird nicht in vollem Umfang durch neue, größere Anlagen ersetzt. Der statistisch erfasste Schweinebestand ist zwischen 2010 und 2012 in Nordrhein-Westfalen um 12 % gestiegen. Der Rückgang wird auf Basis dieser höheren Bestandszahlen aus dem Jahr 2012 berechnet. Auch in der Geflügelhaltung wird aus ähnlichen Gründen wie in der Schweinehaltung von einem leichten Bestandsrückgang um 5 % ausgegangen.

Annahmen zur Wirkungsabschätzung diverser Maßnahmenvorschläge

Für die Strategien „Steigerung der N-Effizienz der Düngung“ und „Verringerung der CH₄-Emissionen aus der Tierhaltung“ wird die Umsetzung der folgenden Maßnahmenvorschläge bzw. Bündel von Maßnahmenvorschlägen aus der *Arbeitsgruppe 5* angenommen: Das Wirtschaftsdüngermanagement wird weiter verbessert. So sollen alle Schweinegüllelager mindestens mit Strohschüttung abgedeckt werden. Dadurch werden gasförmige Stickstoffemissionen in Form von Ammoniak vermieden. Die Ausbringungstechnik erfolgt zu 90 % emissionsarm, z. B. durch streifenförmige Aufbringung auf den Boden mit Schleppschlauch, Schleppschuh oder Einbringung in den Boden (Injektion, Güllegrubber oder sofortige Einarbeitung). Die Gülle- nutzung in Biogasanlagen steigt von derzeit ca. 15 % des gesamten Gülleaufkommens auf 40 % im Jahr 2020 und 50 % im Jahr 2030. 90 % aller Gärrestlager sollen künftig gasdicht abgedeckt sein, wodurch Methanemissionen aus der vergorenen Gülle und pflanzlichen Gärresten minimiert werden. Diese Maßnahmen tragen gleichzeitig zu einer besseren Ausnutzung der Nährstoffe aus dem Wirtschaftsdünger bei. Dadurch kann die Stickstoff-Mineraldüngung, die im Jahr 2010 in Nordrhein-Westfalen durchschnittlich bei ca. 100 kg N pro Hektar Landwirtschaftsfläche lag, bis zum Jahr 2020 um etwa 20 kg N pro Hektar verringert werden.

5.5.3 Darstellung der Szenarioergebnisse

Die Berechnungen des Thünen-Instituts lassen erkennen, dass sich die THG-Emissionen der entsprechend den vorgenannten Szenarioannahmen veränderten Agrarproduktion in Nordrhein-Westfalen ohne Umsetzung von Maßnahmenvorschlägen aus der *Arbeitsgruppe 5* in den nächsten Jahren nur noch geringfügig verändern werden. Unter den abgebildeten Maßnahmen

ist vor allem die Reduzierung der Stickstoff-Mineraldüngung wirksam, gefolgt von der verstärkten Nutzung von Gülle in Biogasanlagen⁴³ und der gasdichten Lagerung der Gärreste. Die verbesserte Wirtschaftsdüngerausbringung hat vor allem indirekte Effekte, da sie die Einsparung von Mineraldünger ermöglicht.

Die Reduzierung der Stickstoff-Mineraldüngung trägt zusammen mit der verbesserten Wirtschaftsdüngerausbringung im Jahr 2030 zu einer Emissionsminderung von über 200 kt CO₂eq. bei. Die Nutzung von Gülle in Biogasanlagen ermöglicht eine zusätzliche Minderung um mindestens 180 kt CO₂eq. Diese Maßnahmen tragen in erheblichem Maße zu weiteren Umweltentlastungen bei, z. B. zu einer Reduzierung der Grundwasserbelastung mit Nitrat und der Luftverschmutzung durch Ammoniak und Gerüche.

Die folgende Tabelle gibt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen insgesamt und differenziert nach Teil-Quellgruppen wieder.

Tabelle 21 zeigt, dass die Emissionen mit Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen aus der AG 5 bis zum Jahr 2020 um insgesamt 25 % gegenüber 1990 sinken. Damit werden die landesweiten Klimaschutzziele auf mittelfristige Sicht im Sektor Landwirtschaft erreicht. Dabei leistet die effizientere und dadurch reduzierte Stickstoffdüngung den größten Minderungsbeitrag.

Tabelle 21: Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft (in 1.000 t CO₂eq.)

Jahr	1990	2005	2010	2020	2020	2030	2030
				ohne	mit	ohne	mit
Mit / ohne Maßnahmen				ohne	mit	ohne	mit
Insgesamt	9.236	7.557	7.377	7.306	6.958	7.422	7019
<i>Minderung gegenüber 1990 in Prozent</i>		18 %	20 %	21 %	25 %	20 %	24 %
Davon							
N ₂ O aus gedüngten Kulturen	2.405	1.740	1.652	1.584	1.447	1.593	1458
N ₂ O aus Ernteresten, Weidegang, Leguminosen und indirekten Quellen	2.790	2.382	2.246	2.293	2.186	2.376	2269
N ₂ O aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	259	280	299	346	326	350	321
N₂O-Emissionen insgesamt	5.453	4.402	4.197	4.223	3.959	4.318	4048
CH ₄ aus der Tierhaltung (Verdauung)	2.817	2.230	2.287	2.342	2.342	2.359	2359
CH ₄ aus der Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)	966	924	894	742	657	745	611
CH₄-Emissionen insgesamt	3.783	3.155	3.180	3.083	2.998	3.104	2.971

Abweichungen ggü. der Übersichtstabelle sind darauf zurückzuführen, dass Emissionen aus der Kalkung berücksichtigt werden. Diese sind in Quellgruppe 5 enthalten und daher nicht Bestandteil dieser Darstellung. Die Kalkung dient der Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und lässt sich daher nicht reduzieren.

Quelle: Rösemann et al., 2013 sowie eigene Berechnungen am Thünen-Institut.

⁴³ Darüber hinaus werden die energiebedingten CO₂-Einsparungen aus der Güllennutzung in Biogasanlagen in der AG 1 Umwandlung verbucht

5.5.4 Ausblick

Möglicherweise kann künftig noch eine weitere Erhöhung der Stickstoffausnutzung erreicht werden. Eine Reduzierung der Düngung unter Inkaufnahme reduzierter Erntemengen ist dagegen keine wirksame Klimaschutzmaßnahme. Die dann nicht mehr produzierten Erntemengen können durch Intensivierung und Landnutzungsänderung außerhalb von Nordrhein-Westfalen ersetzt werden. Solche Verlagerungseffekte führen zu andernorts steigenden Treibhausgasemissionen, so dass die globale Wirkung verringert wird oder sogar negativ ausfallen kann.

Die hier beschriebenen Ergebnisse zu CH₄-Emissionen aus der Verdauung beruhen auf der Annahme, dass es für diese Quelle außer der Reduktion der Tierzahlen auch künftig keine Maßnahmen mit abgesicherter THG-Wirkung gibt. Im abgebildeten Szenario der *Arbeitsgruppe 5* wird die Reduzierung der Tierzahlen nicht betrachtet, da sie ohne Veränderungen im Verbraucherverhalten vor allem zu einer Verschiebung von Emissionen in andere Regionen führen würde. Bezüglich einer Änderung des Verbraucherverhaltens wurden von *Arbeitsgruppe 6 - Private Haushalte* entsprechende Maßnahmenvorschläge erarbeitet.

Durch die Ausweitung der Güllebehandlung in Biogasanlagen sind langfristig noch weitere Emissionsminderungen möglich. Eine weitere Reduzierung unter ein Niveau von 70 % der Emissionen von 1990 wird in der Quellgruppe Landwirtschaft ohne Einschränkungen der Produktion aber kaum erreicht werden können. Bezüglich der künftigen Höhe der Stickstoffdüngung, die unter anderem von der Preisentwicklung bei Mineraldüngern abhängt, und der künftigen Tierbestände bestehen Unsicherheiten.

5.5.5 Literatur

Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Bauer B, Osterburg B (2013) Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2011. Report zu Methoden und Daten (RMD). Berichterstattung 2013. Thünen Rep 1.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1997) Greenhouse Gas Inventories. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3, module 4: agriculture.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006) Greenhouse Gas Inventories. Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

5.6 Arbeitsgruppe 6 – Private Haushalte

In der AG 6 werden aus Szenariensicht lediglich die elektrischen Anwendungen betrachtet. Die Emissionsminderungen aus den ebenfalls in dieser Arbeitsgruppe adressierten Bereichen Wohnen, Konsum und Mobilität werden in den entsprechenden anderen Arbeitsgruppen dargestellt., da die in dieser AG entwickelten Strategien hierzu nicht in den Szenarien dargestellt werden können.

5.6.1 Der Beitrag der elektrischen Anwendungen zu den Szenarien

Die Steigerung der Effizienz der elektrischen Anwendungen in NRW kann in den Szenarien abgebildet werden. Es wird davon ausgegangen, dass durch die in der Arbeitsgruppe entwickelten Strategien der gesamte Strombedarf der Privathaushalte gegenüber 2005 um rund 20 bis 25 % bis 2030 und um 40 bis 45 % bis 2050 reduziert werden kann. Diese Effizienzsteigerung basiert vor allem auf dem Einsatz effizienterer Elektrogeräte und deren effizienterem Einsatz. Einschränkend ist zu sagen, dass sich diese Aussage auf bestehende Anwendungen bezieht und nicht mögliche neue elektrische Anwendungen wie zum Beispiel die Elektromobilität berücksichtigt.

Um diese Ziele zu erreichen, muss die Effizienzstrategie mit einer Suffizienzstrategie verbunden werden, um Rebound-Effekte, die bei Effizienzmaßnahmen in der Größenordnung von 5 – 30 % erwartet werden können, zu verhindern oder zumindest zu verringern. Entsprechend sind in der AG 6 auch eine Reihe von Suffizienzmaßnahmen diskutiert und entwickelt worden.

Bei der Szenarienerstellung für die Entwicklung des privaten Stromverbrauchs der elektrischen Anwendungen wird zunächst der Status Quo möglichst detailscharf abgebildet. Dazu werden Statistiken über Ausstattungsraten und Stromverbräuche der betrachteten Geräte herangezogen und ausgewertet.

Zur Ermittlung der möglichen zukünftigen Entwicklung der Stromverbräuche bei der Verfolgung von Effizienzstrategien werden in einem zweiten Schritt auf Geräteebene technologische und verhaltensabhängige Einsparpotenziale ermittelt und hochgerechnet. Dazu werden unter anderem Entwicklungen aus der Vergangenheit, technologische Optionen zur Steigerung der Effizienz, gesellschaftliche Entwicklungen sowie politische Vorgaben z. B. seitens der EU berücksichtigt.

Das Ergebnis stellt also eine möglichst gut wissenschaftlich abgesicherte Vorschau auf eine mögliche Zukunft dar, die bei erfolgreicher Implementierung der in diesem Sektor identifizierten Strategien zu erwarten ist.

Im Einzelnen stellen sich die Ergebnisse wie folgt für die verschiedenen Bereiche des privaten Stromverbrauchs dar:

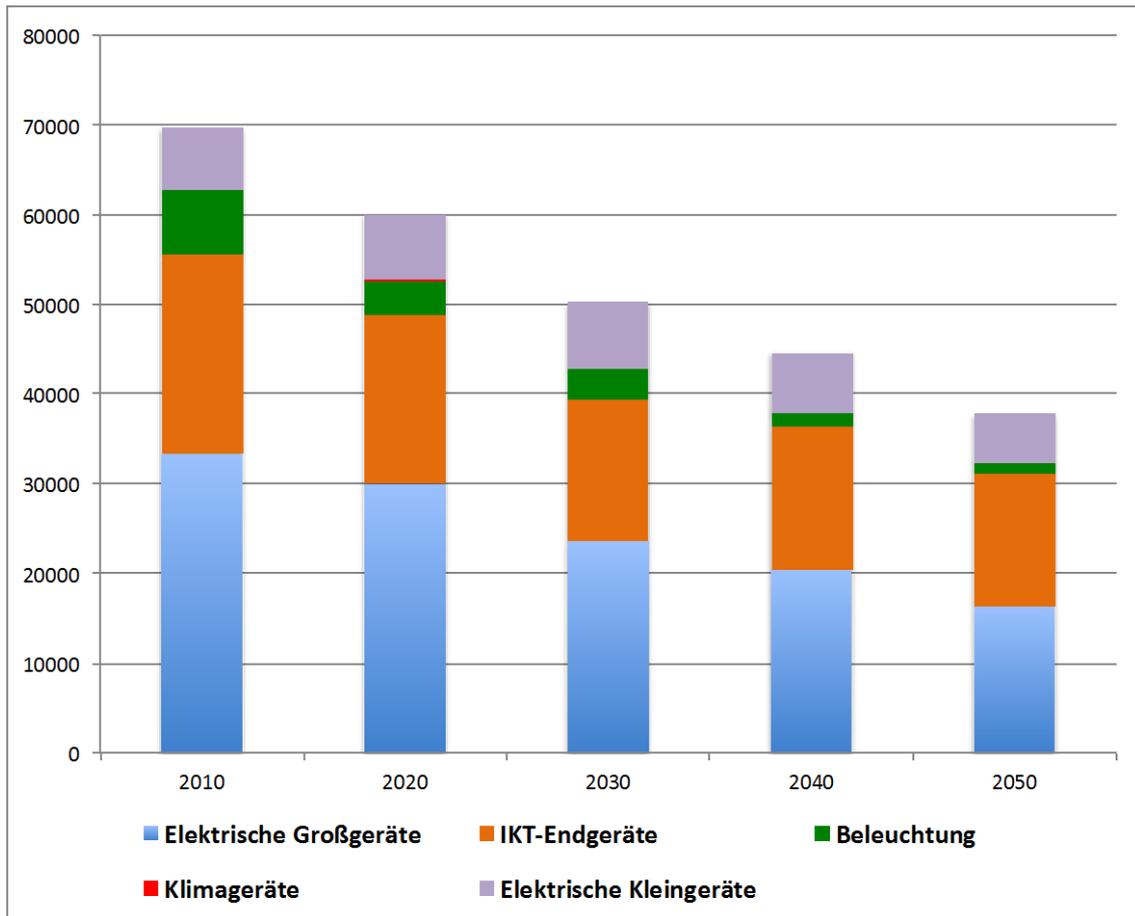


Abbildung 61: Modellierung des Stromverbrauchs von elektrischen Anwendungen in Haushalten

Die elektrischen Großgeräte wie Kühlgeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Spülmaschinen und Herde – auch Weiße Ware – genannt, verursachen derzeit etwa die Hälfte des privaten Stromverbrauchs. Es wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass die Ausstattungsrate dieser Geräte, die jetzt schon sehr hoch ist, sich nicht mehr signifikant verändert. Lediglich bei den Wäschetrocknern wird noch ein stärkerer Anstieg eingerechnet. Für diese Geräte sind bereits seit längerer Zeit Energielabel etabliert, die sukzessive verschärft werden. Dies bietet Ansatzpunkte und Anreize für zahlreiche Aktivitäten zur Effizienzverbesserung sowohl auf der Angebots- wie Nachfrageseite. So führen Förderprogramme für effiziente Geräte zu einer Stärkung nach deren Nachfrage und damit zu einer Marktransformation hin zu einer Erhöhung des Marktanteils der effizienteren Geräte. Die Modellierung aufgrund dieser Annahmen führt bis 2050 etwa zur Halbierung des Stromverbrauchs für die elektrischen Großgeräte.

Bei Geräten der Unterhaltungselektronik und privaten Computern samt Peripherie sieht das Bild etwas anders aus. Hier wird noch von einem deutlichen Anstieg der Anzahl der Geräte ausgegangen. Durch Begrenzung des Stromverbrauchs dieser Geräte, insbesondere des Stand-By-Verbrauch und durch geeignetes Energiemanagement, wird es aber möglich sein, den Gesamtverbrauch bis 2050 sogar trotz steigender Gerätezahlen und steigender Gerätegröße bei Bildschirmen und Fernsehern um ca. 30 % zu senken.

Ein weiterer großer Verbrauchanteil ist die Beleuchtung. Neue Beleuchtungstechnologien wie LED und OLED Beleuchtungsquellen werden dynamisch weiterentwickelt und bieten für die Zukunft ein enormes Potenzial zur Effizienzverbesserung von über 80 %. Im Beleuchtungsbereich sind allerdings flankierende Suffizienzprogramme notwendig, damit sogenannte Reboundeffekte durch eine Erhöhung der Anzahl der Beleuchtungsquellen und der Beleuchtungsstärke begrenzt werden.

Bei dem restlichen Stromverbrauch durch Kleingeräte wie Staubsauger, Bohrmaschine, elektrische Zahnbürste, Mikrowelle, etc. wird konservativ nur eine Stromeinsparung von 20 % durch Effizienzverbesserung und Suffizienzmaßnahmen erzielt.

In der Summe kann durch die Steigerung der Effizienz der elektrischen Geräte und durch diese Geräte betreffende Suffizienzmaßnahmen in NRW der gesamte Strombedarf der Privathaushalte für Haushaltsgeräte und Beleuchtung gegenüber 2010 um rund 20 bis 25 % bis 2030 und um 40 bis 45 % bis 2050 reduziert werden.

5.6.2 Der Beitrag der Strategien in den Bedarfsfeldern Wohnen, Konsum, Ernährung, Mobilität und von Querschnittsmaßnahmen zu den Szenarien

Die Emissionsminderungen aus den ebenfalls in dieser Arbeitsgruppe mit Strategien und Maßnahmen adressierten Bereichen Wohnen, Konsum, Ernährung und Mobilität werden in den Szenariodarstellungen der entsprechenden Arbeitsgruppen AG 3 Bauen/GHD, AG 4 Verkehr und AG 5 Landwirtschaft dargestellt.

Die in der AG 6 entwickelten Maßnahmen und Strategien flankieren die Strategien dieser AGs daher aus Verbrauchersicht und verstärken und ermöglichen sie vielleicht auch erst.

So kann möglicherweise eine ausführliche Sanierungsberatung erst die Annahme von Angeboten der Bauwirtschaft auslösen. Bei Ernährungs- und Mobilitätsgewohnheiten spielt die Bewusstseinsbildung eine wesentliche Rolle zur Veränderung und kann erst dann zur Wahrnehmung von alternativen Angeboten führen.

Darüber hinaus haben die in dieser AG entwickelten Bildungsstrategien und öffentlichkeitswirksame Kampagnen das Potenzial, langfristige und nachhaltige Impulse zu setzen, die über kurzfristig wirkende Maßnahmen hinausgehen und den Maßnahmen eine strategische Komponente geben.

Aus methodischen Gründen können jedoch die in diesen Bedarfsfeldern entwickelten Strategien nicht in dem verwendeten Modell abgebildet und damit nicht direkt in den Szenarien dargestellt werden, ihre Wirkungen fließen jedoch indirekt über die Szenarioannahmen in den anderen AGs in den Klimaschutzplan ein.

Anhang

Anhang 1: Tabellen

Tabelle A1: Entwicklung der verbrennungsbedingten THG Emissionen in Deutschland bis 2050 in den auf nationaler Ebene berechneten Szenarien (in 1000 t CO_{2eq})

Jahr	1990	2010	2020	2030	2040	2050	Minde- rung 1990/2020	Minde- rung 1990/2050
Szena- rio A	989.735	786.833	710.462	587.709	444.128	316.086	-28%	-68%
Szena- rio- variante A 1	989.735	786.833	711.718	589.177	446.182	318.033	-28%	-68%
Szena- rio- variante A 2	989.735	786.833	671.650	531.369	400.625	291.836	-32%	-71%
Szena- rio B	989.735	786.833	663.072	521.245	391.170	275.528	-33%	-72%
Szena- rio- variante B 2	989.735	786.833	662.063	519.708	348.916	192.416	-33%	-81%
Szena- rio- variante B CCS	989.735	786.833	700.752	502.184	352.607	259.810	-29%	-74%
Szena- rio C	989.735	786.833	666.608	507.176	379.882	261.609	-33%	-74%
Szena- rio- variante C 1	989.735	786.833	698.455	554.749	417.442	280.146	-30%	-72%
Szena- rio- variante C 2	989.735	786.833	658.565	499.702	325.886	176.332	-33%	-82%

Tabelle A2: Entwicklung der absoluten THG-Emissionen (in 1000 t CO_{2eq}) und korrespondierenden prozentualen Minderungsszenarien (2020/2050) für NRW für alle Szenarien nach Arbeitsgruppen (Emissionssektoren)

Szenario: A										
alle THG NRW nach AGs ¹⁾	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	120,604	109,525	53,820	37,688	-15%	-73%
AG 2 Industrie ²⁾	111,654	89,479	88,860	81,373	82,108	78,890	75,882	75,955	-26%	-32%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	26,338	18,799	12,254	7,561	-29%	-80%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktion, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	273,136	243,048	171,115	146,610	-21%	-57%
ETS AG 1			144,118	140,776	118,735	107,793	53,062	37,208		
ETS AG 2			69,256	67,959	66,841	63,755	61,120	61,800		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	185,576	171,548	114,182	99,008		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

¹⁾ ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
²⁾ inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: A1										
alle THG NRW nach AGs ¹⁾	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	121,088	109,727	53,936	37,773	-15%	-73%
AG 2 Industrie ²⁾	111,654	89,479	88,860	81,373	82,334	79,067	76,068	76,067	-26%	-32%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	26,348	19,622	13,699	8,694	-29%	-77%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktion, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	273,856	244,250	172,863	147,939	-20%	-57%
ETS AG 1			144,118	140,776	119,213	107,992	53,176	37,292		
ETS AG 2			69,256	67,959	67,066	63,932	61,306	61,912		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	186,280	171,924	114,482	99,204		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

¹⁾ ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
²⁾ inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

alle THG NRW nach AGs ¹⁾	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	105,205	85,526	42,397	29,421	-26%	-79%
AG 2 Industrie ²⁾	111,654	89,479	88,860	81,373	82,045	78,814	75,749	75,924	-27%	-32%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	26,338	18,799	12,254	7,561	-29%	-80%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktion, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	257,674	218,974	159,560	138,312	-25%	-60%
ETS AG 1			144,118	140,776	103,516	84,064	41,729	29,004		
ETS AG 2			69,256	67,959	66,778	63,679	60,987	61,768		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	170,294	147,743	102,716	90,773		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

¹⁾ ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
²⁾ inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: B

alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	101,396	80,638	41,491	29,581	-28%	-79%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	82,149	76,837	67,359	59,393	-26%	-47%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,987	17,905	11,732	7,058	-30%	-81%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	253,618	211,213	149,742	121,438	-26%	-65%
ETS AG 1			144,118	140,776	99,752	79,234	40,831	29,170		
ETS AG 2			69,256	67,959	66,879	62,615	53,647	46,522		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	166,631	141,850	94,478	75,692		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
 **) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: B1

alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	101,948	81,323	42,166	30,039	-28%	-79%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	82,149	76,837	67,359	59,393	-26%	-47%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	26,256	18,572	12,170	7,370	-30%	-80%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	254,439	212,566	150,855	122,207	-26%	-64%
ETS AG 1			144,118	140,776	100,281	79,851	41,443	29,597		
ETS AG 2			69,256	67,959	66,879	62,615	53,647	46,522		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	167,160	142,467	95,090	76,119		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
 **) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: B2

alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	101,075	80,331	43,560	5,373	-29%	-96%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	80,872	75,124	57,533	36,553	-28%	-67%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,893	18,491	12,156	6,395	-31%	-83%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	251,927	209,780	142,408	73,726	-27%	-79%
ETS AG 1			144,118	140,776	99,521	78,981	42,906	5,299		
ETS AG 2			69,256	67,959	65,517	60,876	42,734	21,482		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	165,037	139,857	85,639	26,780		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
 **) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: BCCS

alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	116,802	74,401	27,068	21,084	-18%	-85%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	82,236	75,885	66,838	58,892	-26%	-47%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,987	17,905	11,732	7,058	-30%	-81%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	269,200	204,101	134,853	112,468	-22%	-67%
ETS AG 1			144,118	140,776	114,960	72,738	25,838	20,006		
ETS AG 2			69,256	67,959	66,966	61,664	53,126	46,021		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	181,946	134,402	78,963	66,027		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
 **) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: C										
alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	96,651	72,388	38,779	28,232	-32%	-80%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	78,027	69,966	59,296	45,354	-30%	-59%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,987	17,905	11,732	7,058	-30%	-81%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	244,752	196,083	138,967	106,050	-29%	-69%
ETS AG 1			144,118	140,776	95,065	71,079	38,137	27,833		
ETS AG 2			69,256	67,959	65,519	59,649	49,630	36,563		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	160,584	130,729	87,767	64,396		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
**) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: C1										
alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	111,812	94,739	48,470	35,760	-21%	-75%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	78,066	69,868	58,790	41,314	-30%	-63%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,987	17,905	11,732	7,058	-30%	-81%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	259,952	218,345	148,152	109,537	-24%	-68%
ETS AG 1			144,118	140,776	110,055	93,187	47,738	35,284		
ETS AG 2			69,256	67,959	65,558	59,561	49,124	32,523		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	175,612	152,749	96,862	67,807		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
**) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Szenario: C2										
alle THG NRW nach AGs*)	LANUV				WI-THG-Modell D-NRW				2020/1990	2050/1990
	1990	2000	2005	2010	2020	2030	2040	2050		
AG 1 Umwandlung	141,694	140,685	148,408	143,213	96,319	72,013	35,537	3,841	-32%	-97%
AG 2 Industrie**)	111,654	89,479	88,860	81,373	76,653	68,022	48,317	26,470	-31%	-76%
AG 3 Bauen/GHD	37,261	41,698	35,724	38,160	25,893	18,491	12,156	6,395	-31%	-83%
AG 4 Verkehr	36,208	40,004	36,683	35,025	33,227	24,913	18,239	14,485	-8%	-60%
AG 5 Landwirtschaft	9,924	9,210	7,761	7,590	7,170	7,231	7,231	7,231	-28%	-27%
AG 6 private Haushalte	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	7,504	5,193	5,195	4,656	3,689	3,689	3,689	3,689	-51%	-51%
Summe	344,244	326,269	322,631	310,017	242,952	194,360	125,170	62,112	-29%	-82%
ETS AG 1			144,118	140,776	94,823	70,758	34,945	3,782		
ETS AG 2			69,256	67,959	64,058	57,690	38,112	16,534		
Summe ETS AG 1 und 2			213,374	208,736	158,881	128,448	73,056	20,316		
ETS AG 4					4,359	4,091	3,800	3,072		

*) ohne flüchtige energiebedingte Emissionen
**) inkl. Kokereien und Raffinerien sowie IKW

Tabelle A3: Wirkungsbeiträge des Emissionshandels für NRW (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map) resultierende THG-Minderung 2020

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2020 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario A1			Szenario A			Szenario A2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	20.605	-15%	29%	21.090	-15%	30%	36.489	-26%	42%
AG 2 Industrie**))	29.321	-26%	42%	29.546	-26%	42%	29.609	-27%	34%
AG 3 Bauen/GHD	10.913	-29%	16%	10.923	-29%	15%	10.923	-29%	13%
AG 4 Verkehr	2.981	-8%	4%	2.981	-8%	4%	2.981	-8%	3%
AG 5 Landwirtschaft	2.754	-28%	4%	2.754	-28%	4%	2.754	-28%	3%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	5%	3.815	-51%	5%	3.815	-51%	4%
Summe	70.388	-20%	100%	71.108	-21%	100%	86.570	-25%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	27.094	-13%	56%	27.798	-13%	56%	43.080	-20%	66%
Nicht-ETS	21.680	-20%	44%	21.696	-20%	44%	21.877	-20%	34%
Gesamt	48.774	-15%	100%	49.495	-15%	100%	64.957	-20%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2020 ggü. 2005)									
ETS AG 1	24.904	-17%		25.383	-18%		40.602	-28%	
ETS AG 2	2.190	-3%		2.415	-3%		2.478	-4%	
Summe ETS AG 1 und 2	27.094	-13%		27.798	-13%		43.080	-20%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-18.149	-9%		-17.445	-8%		-2.164	-1%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	88.537	-26%		88.554	-26%		88.734	-26%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-18.149	-9%		-17.445	-8%		-2.164	-1%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	88.537	-26%		88.554	-26%		88.734	-26%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2020 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario B CCS			Szenario B			Szenario B1			Szenario B2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	24.892	-18%	33%	40.298	-28%	44%	39.746	-28%	44%	40.618	-29%	44%
AG 2 Industrie**))	29.419	-26%	39%	29.506	-26%	33%	29.506	-26%	33%	30.783	-28%	33%
AG 3 Bauen/GHD	11.273	-30%	15%	11.273	-30%	12%	11.004	-30%	12%	11.367	-31%	12%
AG 4 Verkehr	2.981	-8%	4%	2.981	-8%	3%	2.981	-8%	3%	2.981	-8%	3%
AG 5 Landwirtschaft	2.754	-28%	4%	2.754	-28%	3%	2.754	-28%	3%	2.754	-28%	3%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	5%	3.815	-51%	4%	3.815	-51%	4%	3.815	-51%	4%
Summe	75.045	-22%	100%	90.626	-26%	100%	89.805	-26%	100%	92.318	-27%	100%
Minderungen ggü. 2005												
ETS	31.428	-15%	59%	46.743	-22%	68%	46.214	-22%	68%	48.337	-23%	68%
Nicht-ETS	22.003	-20%	41%	22.269	-20%	32%	21.977	-20%	32%	22.367	-20%	32%
Gesamt	53.431	-17%	100%	69.012	-21%	100%	68.191	-21%	100%	70.704	-22%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2020 ggü. 2005)												
ETS AG 1	29.138	-20%		44.366	-31%		43.836	-30%		44.597	-31%	
ETS AG 2	2.291	-3%		2.378	-3%		2.378	-3%		3.740	-5%	
Summe ETS AG 1 und 2	31.428	-15%		46.743	-22%		46.214	-22%		48.337	-23%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS												
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-13.815	-6%		1.500	1%		970	0%		3.093	1%	
Gesamtminderung bei Zukauf	88.860	-26%		89.126	-26%		88.834	-26%		89.225	-26%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-13.815	-6%		1.500	1%		970	0%		3.093	1%	
Gesamtminderung bei Zukauf	88.860	-26%		89.126	-26%		88.834	-26%		89.225	-26%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2020 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario C1			Szenario C			Szenario C2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	29.881	-21%	35%	45.043	-32%	45%	45.375	-32%	45%
AG 2 Industrie**)	33.588	-30%	40%	33.628	-30%	34%	35.001	-31%	35%
AG 3 Bauen/GHD	11.273	-30%	13%	11.273	-30%	11%	11.367	-31%	11%
AG 4 Verkehr	2.981	-8%	4%	2.981	-8%	3%	2.981	-8%	3%
AG 5 Landwirtschaft	2.754	-28%	3%	2.754	-28%	3%	2.754	-28%	3%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	5%	3.815	-51%	4%	3.815	-51%	4%
Summe	84.292	-24%	100%	99.493	-29%	100%	101.292	-29%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	37.762	-18%	60%	52.790	-25%	68%	54.493	-26%	68%
Nicht-ETS	24.917	-23%	40%	25.089	-23%	32%	25.186	-23%	32%
Gesamt	62.679	-19%	100%	77.879	-24%	100%	79.679	-25%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2020 ggü. 2005)									
ETS AG 1	34.063	-24%		49.052	-34%		49.295	-34%	
ETS AG 2	3.698	-5%		3.738	-5%		5.198	-8%	
Summe ETS AG 1 und 2	37.762	-18%		52.790	-25%		54.493	-26%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-7.482	-4%		7.546	4%		9.249	4%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	91.774	-27%		91.947	-27%		92.043	-27%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	45.244	-21%		45.244	-21%		45.244	-21%	
Delta	-7.482	-4%		7.546	4%		9.249	4%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	91.774	-27%		91.947	-27%		92.043	-27%	

Tabelle A4: Wirkungsbeiträge des Emissionshandels für NRW (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map) resultierende THG-Minderung 2030

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2030 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario A1			Szenario A			Szenario A2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	31.967	-23%	32%	32.168	-23%	32%	56.167	-40%	45%
AG 2 Industrie**)	32.588	-29%	33%	32.765	-29%	32%	32.840	-29%	26%
AG 3 Bauen/GHD	17.639	-47%	18%	18.461	-50%	18%	18.461	-50%	15%
AG 4 Verkehr	11.294	-31%	11%	11.294	-31%	11%	11.294	-31%	9%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	3%	2.693	-27%	3%	2.693	-27%	2%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	4%	3.815	-51%	4%	3.815	-51%	3%
Summe	99.995	-29%	100%	101.196	-29%	100%	125.271	-36%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	41.450	-19%	53%	41.826	-20%	53%	65.631	-31%	63%
Nicht-ETS	36.931	-34%	47%	37.756	-35%	47%	38.026	-35%	37%
Gesamt	78.381	-24%	100%	79.583	-25%	100%	103.657	-32%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2030 ggü. 2005)									
ETS AG 1	36.126	-25%		36.325	-25%		60.054	-42%	
ETS AG 2	5.324	-8%		5.501	-8%		5.577	-8%	
Summe ETS AG 1 und 2	41.450	-19%		41.826	-20%		65.631	-31%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	80.661	-38%		80.661	-38%		80.661	-38%	
Delta	-39.211	-18%		-38.835	-18%		-15.030	-7%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	139.205	-40%		140.031	-41%		140.301	-41%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	90.838	-43%		90.838	-43%		90.838	-43%	
Delta	-49.388	-23%		-49.012	-23%		-25.207	-12%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	149.383	-43%		150.208	-44%		150.478	-44%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2030 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario B CCS			Szenario B			Szenario B1			Szenario B2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	67.293	-47%	48%	61.056	-43%	46%	60.370	-43%	46%	61.362	-43%	46%
AG 2 Industrie**))	35.769	-32%	26%	34.818	-31%	26%	34.818	-31%	26%	36.530	-33%	27%
AG 3 Bauen/GHD	19.356	-52%	14%	19.356	-52%	15%	18.689	-50%	14%	18.770	-50%	14%
AG 4 Verkehr	11.294	-31%	8%	11.294	-31%	8%	11.294	-31%	9%	11.294	-31%	8%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	3%	3.815	-51%	3%	3.815	-51%	3%	3.815	-51%	3%
Summe	140.143	-41%	100%	133.031	-39%	100%	131.679	-38%	100%	134.464	-39%	100%
Minderungen ggü. 2005												
ETS	78.972	-37%	67%	71.524	-34%	64%	70.907	-33%	64%	73.517	-34%	65%
Nicht-ETS	39.558	-36%	33%	39.894	-37%	36%	39.158	-36%	36%	39.334	-36%	35%
Gesamt	118.529	-37%	100%	111.418	-35%	100%	110.065	-34%	100%	112.850	-35%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2030 ggü. 2005)												
ETS AG 1	71.379	-50%		64.883	-45%		64.266	-45%		65.137	-45%	
ETS AG 2	7.593	-11%		6.641	-10%		6.641	-10%		8.380	-12%	
Summe ETS AG 1 und 2	78.972	-37%		71.524	-34%		70.907	-33%		73.517	-34%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS												
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	80.661	-38%		80.661	-38%		80.661	-38%		80.661	-38%	
Delta	-1.689	-1%		-9.137	-4%		-9.754	-5%		-7.144	-3%	
Gesamtminderung bei Zukauf	141.832	-41%		142.168	-41%		141.432	-41%		141.608	-41%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	90.838	-43%		90.838	-43%		90.838	-43%		90.838	-43%	
Delta	-11.867	-6%		-19.314	-9%		-19.931	-9%		-17.322	-8%	
Gesamtminderung bei Zukauf	152.009	-44%		152.346	-44%		151.610	-44%		151.786	-44%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2030 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario C1			Szenario C			Szenario C2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	46.955	-33%	37%	69.306	-49%	47%	69.680	-49%	46%
AG 2 Industrie**))	41.786	-37%	33%	41.698	-37%	28%	43.632	-39%	29%
AG 3 Bauen/GHD	19.356	-52%	15%	19.356	-52%	13%	18.770	-50%	13%
AG 4 Verkehr	11.294	-31%	9%	11.294	-31%	8%	11.294	-31%	8%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	3%	3.815	-51%	3%	3.815	-51%	3%
Summe	125.899	-37%	100%	148.162	-43%	100%	149.885	-44%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	60.625	-28%	58%	82.645	-39%	65%	84.926	-40%	66%
Nicht-ETS	43.660	-40%	42%	43.903	-40%	35%	43.345	-40%	34%
Gesamt	104.286	-32%	100%	126.548	-39%	100%	128.271	-40%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2030 ggü. 2005)									
ETS AG 1	50.930	-35%		73.038	-51%		73.360	-51%	
ETS AG 2	9.695	-14%		9.607	-14%		11.566	-17%	
Summe ETS AG 1 und 2	60.625	-28%		82.645	-39%		84.926	-40%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	80.661	-38%		80.661	-38%		80.661	-38%	
Delta	-20.036	-9%		1.984	1%		4.265	2%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	145.935	-42%		146.177	-42%		145.620	-42%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	90.838	-43%		90.838	-43%		90.838	-43%	
Delta	-30.213	-14%		-8.193	-4%		-5.912	-3%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	156.112	-45%		156.355	-45%		155.797	-45%	

Tabelle A5: Wirkungsbeiträge des Emissionshandels für NRW (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map) resultierende THG-Minderung 2040

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2040 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario A1			Szenario A			Szenario A2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	87.758	-62%	51%	87.873	-62%	51%	99.297	-70%	54%
AG 2 Industrie**))	35.587	-32%	21%	35.773	-32%	21%	35.905	-32%	19%
AG 3 Bauen/GHD	23.561	-63%	14%	25.007	-67%	14%	25.007	-67%	14%
AG 4 Verkehr	17.968	-50%	10%	17.968	50%	10%	17.968	-50%	10%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	2%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%
Summe	171.381	-50%	100%	173.129	-50%	100%	184.685	-54%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	98.892	-46%	66%	99.192	-46%	65%	110.658	-52%	68%
Nicht-ETS	50.876	-47%	34%	52.323	-48%	35%	52.413	-48%	32%
Gesamt	149.768	-46%	100%	151.515	-47%	100%	163.071	-51%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2040 ggü. 2005)									
ETS AG 1	90.941	-63%		91.056	-63%		102.389	-71%	
ETS AG 2	7.950	-11%		8.136	-12%		8.269	-12%	
Summe ETS AG 1 und 2	98.892	-46%		99.192	-46%		110.658	-52%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	116.078	-54%		116.078	-54%		116.078	-54%	
Delta	-17.186	-8%		-16.886	-8%		-5.421	-3%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	188.568	-55%		190.015	-55%		190.105	-55%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	141.437	-66%		141.437	-66%		141.437	-66%	
Delta	-42.546	-20%		-42.245	-20%		-30.780	-14%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	213.927	-62%		215.374	-63%		215.464	-63%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2040 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario B CCS			Szenario B			Szenario B1			Szenario B2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	114.626	-81%	55%	100.202	-71%	52%	99.527	-70%	51%	98.134	-69%	49%
AG 2 Industrie**))	44.817	-40%	21%	44.296	-40%	23%	44.296	-40%	23%	54.122	-48%	27%
AG 3 Bauen/GHD	25.528	-69%	12%	25.528	-69%	13%	25.091	-67%	13%	25.105	-67%	12%
AG 4 Verkehr	17.968	-50%	9%	17.968	-50%	9%	17.968	-50%	9%	17.968	-50%	9%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%
Summe	209.391	-61%	100%	194.502	-57%	100%	193.390	-56%	100%	201.836	-59%	100%
Minderungen ggü. 2005												
ETS	134.411	-63%	72%	118.896	-56%	69%	118.284	-55%	69%	127.735	-60%	71%
Nicht-ETS	53.367	-49%	28%	53.992	-49%	31%	53.492	-49%	31%	52.488	-48%	29%
Gesamt	187.778	-58%	100%	172.888	-54%	100%	171.776	-53%	100%	180.223	-56%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2040 ggü. 2005)												
ETS AG 1	118.280	-82%		103.286	-72%		102.675	-71%		101.212	-70%	
ETS AG 2	16.131	-23%		15.610	-23%		15.610	-23%		26.523	-38%	
Summe ETS AG 1 und 2	134.411	-63%		118.896	-56%		118.284	-55%		127.735	-60%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS												
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	116.078	-54%		116.078	-54%		116.078	-54%		116.078	-54%	
Delta	18.332	9%		2.818	1%		2.206	1%		11.656	5%	
Gesamtminderung bei Zukauf	191.059	-56%		191.684	-56%		191.184	-56%		190.180	-55%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	141.437	-66%		141.437	-66%		141.437	-66%		141.437	-66%	
Delta	-7.027	-3%		-22.541	-11%		-23.153	-11%		-13.703	-6%	
Gesamtminderung bei Zukauf	216.418	-63%		217.043	-63%		216.543	-63%		215.539	-63%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2040 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario C1			Szenario C			Szenario C2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	93.223	-66%	48%	102.915	-73%	50%	106.156	-75%	48%
AG 2 Industrie**))	52.865	-47%	27%	52.359	-47%	26%	63.337	-57%	29%
AG 3 Bauen/GHD	25.528	-69%	13%	25.528	-69%	12%	25.105	-67%	11%
AG 4 Verkehr	17.968	-50%	9%	17.968	-50%	9%	17.968	-50%	8%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	0%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%
Summe	196.092	-57%	100%	205.278	-60%	100%	219.074	-64%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	116.512	-55%	67%	125.607	-59%	68%	140.318	-66%	71%
Nicht-ETS	57.966	-53%	33%	58.057	-53%	32%	57.143	-52%	29%
Gesamt	174.478	-54%	100%	183.664	-57%	100%	197.461	-61%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2040 ggü. 2005)									
ETS AG 1	96.379	-67%		105.981	-74%		109.173	-76%	
ETS AG 2	20.133	-29%		19.627	-28%		31.145	-45%	
Summe ETS AG 1 und 2	116.512	-55%		125.607	-59%		140.318	-66%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	116.078	-54%		116.078	-54%		116.078	-54%	
Delta	434	0%		9.529	4%		24.239	11%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	195.658	-57%		195.749	-57%		194.835	-57%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	141.437	-66%		141.437	-66%		141.437	-66%	
Delta	-24.926	-12%		-15.830	-7%		-1.120	-1%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	221.017	-64%		221.108	-64%		220.194	-64%	

Tabelle A6: Wirkungsbeiträge des Emissionshandels für NRW (Unterscheidung von zwei Varianten für den linearen Reduktionsfaktor a) 1,74%/a gemäß bestehender EU-Regelungen und b) 2,3%/a in Anlehnung an die EU Low Carbon Economy Road Map) resultierende THG-Minderung 2050

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2050 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario A1			Szenario A			Szenario A2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	103.921	-73%	53%	104.006	-73%	53%	112.272	-79%	55%
AG 2 Industrie**))	35.587	-32%	18%	35.699	-32%	18%	35.731	-32%	17%
AG 3 Bauen/GHD	28.567	-77%	15%	29.699	-80%	15%	29.699	-80%	14%
AG 4 Verkehr	21.723	-60%	11%	21.723	-60%	11%	21.723	-60%	11%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%
Summe	196.306	-57%	100%	197.634	-57%	100%	205.933	-60%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	114.170	-54%	65%	114.366	-54%	65%	122.601	-57%	67%
Nicht-ETS	60.522	-55%	35%	61.655	-56%	35%	61.718	-56%	33%
Gesamt	174.692	-54%	100%	176.021	-55%	100%	184.319	-57%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2050 ggü. 2005)									
ETS AG 1	106.825	-74%		106.909	-74%		115.113	-80%	
ETS AG 2	7.345	-11%		7.457	-11%		7.488	-11%	
Summe ETS AG 1 und 2	114.170	-54%		114.366	-54%		122.601	-57%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	151.496	-71%		151.496	-71%		151.496	-71%	
Delta	-37.325	-17%		-37.129	-17%		-28.894	-14%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	233.631	-68%		234.764	-68%		234.827	-68%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	192.037	-90%		192.037	-90%		192.037	-90%	
Delta	-77.866	-36%		-77.670	-36%		-69.435	-33%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	274.172	-80%		275.305	-80%		275.368	-80%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2050 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario B CCS			Szenario B			Szenario B1			Szenario B2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	120.610	-85%	52%	112.112	-79%	50%	111.655	-79%	50%	136.321	-96%	50%
AG 2 Industrie**))	52.762	-47%	23%	52.261	-47%	23%	52.261	-47%	24%	75.102	-67%	28%
AG 3 Bauen/GHD	30.203	-81%	13%	30.203	-81%	14%	29.891	-80%	13%	30.865	-83%	11%
AG 4 Verkehr	21.723	-60%	9%	21.723	-60%	10%	21.723	-60%	10%	21.723	-60%	8%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	1%
Summe	231.777	-67%	100%	222.807	-65%	100%	222.037	-64%	100%	270.518	-79%	100%
Minderungen ggü. 2005												
ETS	147.347	-69%	70%	137.682	-65%	68%	137.255	-64%	68%	186.594	-87%	75%
Nicht-ETS	62.816	-57%	30%	63.511	-58%	32%	63.169	-58%	32%	62.311	-57%	25%
Gesamt	210.163	-65%	100%	201.193	-62%	100%	200.424	-62%	100%	248.904	-77%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2050 ggü. 2005)												
ETS AG 1	124.112	-86%		114.948	-80%		114.521	-79%		138.819	-96%	
ETS AG 2	23.235	-34%		22.734	-33%		22.734	-33%		47.775	-69%	
Summe ETS AG 1 und 2	147.347	-69%		137.682	-65%		137.255	-64%		186.594	-87%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS												
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	151.496	-71%		151.496	-71%		151.496	-71%		151.496	-71%	
Delta	-4.148	-2%		-13.814	-6%		-14.241	-7%		35.098	16%	
Gesamtminderung bei Zukauf	235.925	-69%		236.620	-69%		236.278	-69%		235.420	-68%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	192.037	-90%		192.037	-90%		192.037	-90%		192.037	-90%	
Delta	-44.690	-21%		-54.355	-25%		-54.782	-26%		-5.443	-3%	
Gesamtminderung bei Zukauf	276.466	-80%		277.161	-81%		276.819	-80%		275.961	-80%	

Emissionsminderungen in NRW nach Arbeitsgruppen bis 2050 gegenüber 1990

Emissionssektoren	Szenario C1			Szenario C			Szenario C2		
	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil	in 1.000 t	in %	Anteil
AG 1 Umwandlung	105.933	-75%	45%	113.461	80%	48%	137.852	-97%	49%
AG 2 Industrie**))	70.340	-63%	30%	66.300	-59%	28%	85.185	-76%	30%
AG 3 Bauen/GHD	30.203	-81%	13%	30.203	-81%	13%	30.865	-83%	11%
AG 4 Verkehr	21.723	-60%	9%	21.723	60%	9%	21.723	-60%	8%
AG 5 Landwirtschaft	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%	2.693	-27%	1%
AG 6 private Haushalte	0	-	0%	0	-	0%	0	-	0%
restliche Emissionen (Produktnutzung, Abfall)	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	2%	3.815	-51%	1%
Summe	234.707	-68%	100%	238.195	-69%	100%	282.132	-82%	100%
Minderungen ggü. 2005									
ETS	145.567	-68%	68%	148.978	-70%	69%	193.058	-90%	74%
Nicht-ETS	67.526	-62%	32%	67.603	62%	31%	67.461	-62%	26%
Gesamt	213.093	-66%	100%	216.581	-67%	100%	260.519	-81%	100%
Minderungen der ETS-Anlagen (2050 ggü. 2005)									
ETS AG 1	108.834	-76%		116.284	81%		140.335	-97%	
ETS AG 2	36.733	-53%		32.694	47%		52.723	-76%	
Summe ETS AG 1 und 2	145.567	-68%		148.978	-70%		193.058	-90%	
Hypothesen zu einer Fortschreibung des ETS									
Ziel gemäß Fortschreibung ETS (-1,74%/a)	151.496	-71%		151.496	-71%		151.496	-71%	
Delta	-5.928	-3%		-2.518	-1%		41.562	19%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	240.635	-70%		240.713	-70%		240.570	-70%	
Ziel gemäß LCE-Roadmap (Mittelwert)	192.037	-90%		192.037	-90%		192.037	-90%	
Delta	-46.469	-22%		-43.059	-20%		1.021	0%	
Gesamtminde rung bei Zukauf	281.176	-82%		281.254	-82%		281.111	-82%	

