Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Klimaschutz NRW 2020+ (2050)

Handlungsoptionen und Handlungsnotwendigkeiten

Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen

Endbericht

Dipl.-Biol. Christoph Zeiss (Projektleitung)

Dr. Daniel Vallentin

Dr. Claus Barthel

Dipl.-Geogr. Carmen Dienst

Prof. Dr.-Ing. Manfred Fischedick

Dipl.-Geogr. Ulrich Jansen

Dipl.-Geogr. Dr. Stefan Lechtenböhmer

Dr. Hans-Jochen Luhmann

Dipl. Soz.-Wiss. Andreas Pastowski

Clemens Schneider, M.A.

Unter Mitarbeit von:

Aleksandra Arcipowska

Wuppertal, 21.3.2011

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Fischedick
Dr. Daniel Vallentin
Forschungsgruppe 1 „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen"

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Postfach 10 04 80
42004 Wuppertal

Tel.: *(0202) 2492 - 121 (MF) - 309 (DV)*
Fax: *(0202) 2492 - 198*
E-Mail: *manfred.fischedick@wupperinst.org*
daniel.vallentin@wupperinst.org
Internet: *www.wupperinst.org*

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 1

1 Einleitung 6

2 Ausgangsbedingungen 7

2.1 Status Quo der Emissionsbilanz des Landes NRW 7

2.2 Status Quo der internationalen Klimaverhandlungen und Ableitung langfristiger Klimaschutzziele 18

3 Darstellung der langfristigen Trends in der Energiestruktur 33

3.1 Kurze Vorbemerkung zum Umgang mit Szenarien 33

3.2 Übersicht über die betrachteten Studien 34

3.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der betrachteten Szenarien 48

4 Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes und des aktuellen Koalitionsvertrages in NRW bis 2050 56

4.1 Grundsätzliches Vorgehen bei der Modellierung 56

4.2 Basisdaten zu Soziodemografie und wirtschaftlicher Entwicklung 58

4.3 Entwicklung der Treibergrößen für die Endenergienachfrage 60

4.4 Modellierung des Umwandlungssektors 61

4.5 Zentrale Ergebnisse der Modellierung auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms 63

4.6 Erweiterung der Projektion auf Basis des rot/grünen Koalitionsvertrages 66

5 Die Methode der multi-kriteriellen Analyse 76

6 Wesentliche Klimaschutzbausteine für NRW 81

6.1 Baustein: Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung 82

6.2 Baustein: Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark 84

6.3 Baustein: Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur 85

6.4 Baustein: Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie 85

6.5 Baustein: Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich 86

6.6 Baustein: Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums 87

6.7 Baustein: Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie 87

6.8 Baustein: Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung 90

7 Kriterien zur Bewertung der Maßnahmen 91

7.1 Klimaschutz und Energiepolitik 91

7.2 Ökonomie und Strukturentwicklung 93

7.3 Umsetzung in NRW 96

8 Ergebnisse der MCA 100

8.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen (ungewichtet) 101

8.2 Sektoraler Vergleich der Bewertungen von Einzelmaßnahmen (ungewichtet) 117
8.3 Sektoraler Vergleich der Einzelmaßnahmen bei unterschiedlicher politischer Gewichtung 142

9 Schlussfolgerungen aus der MCA 151

Literatur- und Quellenverzeichnis 153

Anhang 156
Anhang 1: MCA-Matrix 156
Anhang 2: Inhaltliche Bewertung der einzelnen Maßnahmen 157

Tabellen

Tabelle 2-1: Treibhausgasemissionen NRWs im Vergleich zu Deutschland (2007) ____ *17*
Tabelle 3-1: Vergleich der CO_2-Minderungen bis 2050 von zentralen Strategien im Leitszenario 2009 ___ *35*
Tabelle 3-2: Szenarienüberblick Energiezukunft 2050 ____ *41*
Tabelle 4-1: Demografische Entwicklung in NRW und Deutschland bis 2050 gemäß der 12. KBV des Statistischen Bundesamtes ____ *59*
Tabelle 4-2: Vergleich der Wirtschaftsstruktur Nordrhein-Westfalens im Jahr 2005 mit der Deutschlands (Bruttowertschöpfung in Preisen von 2000) ____ *60*
Tabelle 4-3: Anteile von Kohle und Kernenergie an der Bruttostromerzeugung in NRW und Deutschland sowie Import von Strom aus Erneuerbaren Energien; Fortschreibung bis 2050 gemäß BMU-Leitszenario; vorläufige Berechnung für NRW ____ *62*
Tabelle 8-1 Varianten der politischen Gewichtung der Bewertungskriterien ____ *144*

Abbildungen

Abbildung 2-1: THG-Emissionen NRWs nach Sektoren (in %), 2007 Datenquelle 10
Abbildung 2-2: Energiebedingte THG-Emissionen NRWs 2007 Datenquelle 11
Abbildung 2-3: Verbrennungsbedingte Emissionen der Industrie Datenquelle 13
Abbildung 2-4: Nicht-energiebedingte THG-Emissionen aus Industrieprozessen, nach Sektoren und Treibhausgasen unterteilt Datenquelle 15
Abbildung 2-5: THG-Emissionen NRWs, aufgeteilt nach den Kyoto-Gasen (in Mio. t CO2-Äquiv.) 16
Abbildung 2-6: Gesamte THG-Emissionen NRWs 2005 (in kt CO_2-Äquiv. und in %) 16
Abbildung 2-7: Entwicklung der ‚best guess'-Klimasensitivität 23
Abbildung 2-8: Im Bali Action Plan angezogene Tabelle aus IPCC AR4 WGIII zur näheren Bestimmung von ‚urgency' 25
Abbildung 2-9: Im Bali Action Plan angezogene Tabelle mit (Zwei-Grad-Ziel äquivalenten) Emissionsminderungszielen 28
Abbildung 2-10: Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO2 aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz. 30
Abbildung 2-11: Die Komplementarität von (Klima-)Mitigations- und Erneuerbaren-Aufwuchs-Zielen, am Beispiel EU 31
Abbildung 3-1: CO_2-Emissionen der drei Szenarien der Energiezukunft 2050-Studie 42
Abbildung 3-2: Betrachtete Szenarien in der ADAM 2-Grad-Studie 43
Abbildung 3-3: Globale CO_2-Preise und CO_2-Emissionen im 450 ppm und 400 ppm Szenario 44
Abbildung 3-4: Änderung der EU-Primärenergienachfrage 2050 im Vergleich zu 2000 44
Abbildung 3-5: Beiträge verschiedener Technologien zur THG-Minderung in der EU27 + Norwegen+ Schweiz (450 ppm-Szenario) 45
Abbildung 3-6: Beiträge verschiedener Technologien zur THG-Minderung in der EU27 + Norwegen + Schweiz (400 ppm-Szenario) 46
Abbildung 3-7: Vergleich des Gesamtprimärenergiebedarfs der untersuchten Studien mit Systemgrenze Deutschland 49
Abbildung 3-8: Vergleich der Primärenergiebereitstellung nach Energieträgern in den untersuchten Studien im Jahr 2030 mit Systemgrenze Deutschland 50
Abbildung 3-9: Vergleich der Primärenergiebereitstellung nach Energieträgern in den untersuchten Studien im Jahr 2050 mit Systemgrenze Deutschland 51
Abbildung 3-10: Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen der untersuchten Studien mit Systemgrenze Deutschland 52
Abbildung 3-11: Entwicklung des globalen Primärenergiebedarfs nach ADAM 2-degree scenario 53
Abbildung 4-1: Skizze der Modellierungsschritte zur Darstellung vom Emissionsprojektionen der NRW-Sektoren 58
Abbildung 4-2: Nettostromerzeugung und -nachfrage 63
Abbildung 4-3: Bruttostromerzeugung nach Kraftwerksarten 64
Abbildung 4-4: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung 64
*Abbildung 4-5: Fernwärmebedarf (*bei GHD und Privaten Haushalten Werte für 2007) 65*
Abbildung 4-6: Brennstoffe und Energiebedarf 65
Abbildung 4-7: Treibhausgasemissionen in NRW bis 2050 auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms von 2008 66
Abbildung 4-8: Installierte Bruttoleistung von Großkraftwerken in NRW 68
Abbildung 4-9: Nettostromerzeugung und -nachfrage im Szenario Koalitionsvertrag (Stromerzeugung kumuliert dargestellt) 70
Abbildung 4-10: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern 71
Abbildung 4-11: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung; Szenario Koalitionsvertrag (Berechnung der Emissionen des netto exportierten Stroms mit dem durchschnittlichen NRW-

Erzeugungsmix) ____ *71*
Abbildung 4-12: *CO_2-Emissionen der Stromerzeugung, Variante CCS ab 2020 marktreif (exportierte Strom s.o.)* ____ *72*
Abbildung 4-13: *Endenergiebedarf nach Sektoren* ____ *73*
Abbildung 4-14: *THG-Emissionen in NRW im Szenario Koalitionsvertrag* ____ *74*
Abbildung 4-15: *Entwicklung der Pro-Kopf-THG in NRW* ____ *75*
Abbildung 5-1: *Grundlegende Struktur einer Multi-kriteriellen Analyse* ____ *76*
Abbildung 5-2: *Liste der untersuchten Klimaschutzmaßnahmen in NRW bis 2050* ____ *77*
Abbildung 5-3: *Kriterien zur Unterscheidung von Klimaschutzmaßnahmen für NRW bis 2050* ____ *78*
Abbildung 8-1: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung über die Referenz hinaus“* ____ *102*
Abbildung 8-2: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Kraftwerkspark“* ____ *104*
Abbildung 8-3: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur“* ____ *106*
Abbildung 8-4: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie“* ____ *108*
Abbildung 8-5: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich“* ____ *110*
Abbildung 8-6: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“* ____ *112*
Abbildung 8-7: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie“* ____ *114*
Abbildung 8-8: *Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung“* ____ *116*
Abbildung 8-9: *Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Strom und Wärme mit CCS* ____ *118*
Abbildung 8-10: *Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Strom und Wärme ohne CCS* ____ *119*
Abbildung 8-11: *Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Industrie* ____ *127*
Abbildung 8-12: *Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Gebäude und elektrische Anwendungen* ____ *133*
Abbildung 8-13: *Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Verkehr* ____ *139*
Abbildung 8-14: *Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Strom und Wärme* ____ *145*
Abbildung 8-15: *Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Industrie* ____ *146*
Abbildung 8-16: *Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Bereich Gebäude und elektrische Anwendungen* ____ *148*
Abbildung 8-17: *Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Verkehr* ____ *149*

Zusammenfassung

Um ein hohes Maß an Effizienz und Effektivität einer klimapolitischen Strategie zu gewährleisten, ist ein langfristig angelegter Planungshorizont erforderlich. Ausgehend von dieser Prämisse soll die vorliegende Studie wichtige langfristige Trends und Strategieelemente für eine nordrhein-westfälische Klimaschutzstrategie untersuchen. Hierfür werden, beginnend mit einer Analyse der Ausgangsposition in NRW, zentrale klimapolitische Strategieelemente auf Basis einer Untersuchung vorliegender bundesweiter Szenarioanalysen und einer Fortschreibung klimapolitischer Kernpunkte des aktuellen nordrhein-westfälischen Koalitionsvertrages identifiziert. Anschließend werden wesentliche Klimaschutzbausteine für NRW definiert und multi-kriteriell bewertet. Nachfolgend erfolgt eine Zusammenfassung zentraler Ergebnisse.

Ausgangsposition:

Nordrhein-Westfalen ist als wichtigste Industrie- und Stromerzeugungsregion Deutschlands klima- und energiepolitisch von entscheidender Bedeutung. Im Jahre 2007 entfielen 56 % der nordrhein-westfälischen Treibhausgas (THG)-Emissionen auf die Energiewirtschaft. Bundesweit stammten 48 % der THG-Emissionen der deutschen Energiewirtschaft aus dem Energieland NRW. Energiebedingte Emissionen der Industrie stellten mit 15 % den zweitgrößten Anteil an den nordrhein-westfälischen Emissionen, gefolgt vom Verkehrssektor (11 %) und dem Bereich Haushalte und Kleinverbraucher (9 %). Industrielle Prozesse repräsentierten etwa 5% der nordrhein-westfälischen Emissionen.

Langfristige Trends der Energiestruktur:

Ein Vergleich vorliegender Szenariostudien für das deutsche Energiesystem zeigt, dass die Mehrzahl der Studien mit dem Zeitraum 2020/2030 arbeitet und demnach nur einen mittelfristigen Zeithorizont in den Blick nimmt. Nur wenige Untersuchungen enthalten eine Langfristperspektive bis 2050. Gerade für den Bereich der Energie- und Klimapolitik ist jedoch eine Betrachtung von mehr als ein oder zwei Jahrzehnten notwendig, da insbesondere Kraftwerke und Energienetze eine Lebensdauer von bis zu 50 Jahren aufweisen und so Entscheidungen, die in den nächsten 10 Jahren getroffen werden, auch Auswirkungen auf den Zeitraum bis 2050 oder sogar darüber hinaus haben. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass schon heute eine Vorstellung für das Jahr 2050 entwickelt werden muss.

Der Vergleich zentraler Szenariostudien für das deutsche Energiesystem zeigt, dass einzelne Strategien und Strukturänderungen in allen betrachteten Studie zu den zentralen angenommenen Klimaschutzmaßnahmen zählen. Diese Maßnahmen sind:

- *Emissionshandel:* Dieser bleibt in allen Szenarien das zentrale Instrument für den Klimaschutz. Dabei wird einhellige davon ausgegangen, dass die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate nicht länger aufrecht erhalten wird.
- *Kraft-Wärme-Kopplung (KWK):* Alle Szenarien gehen von steigenden Anteilen der KWK an der Stromerzeugung aus, wie es auch der politischen Beschlusslage entspricht. Dies spiegelt die Ansicht wider, dass der Ausbau der KWK ein zentraler Treiber für Effizienzsteigerungen im Bereich der Stromerzeugung ist.

- *CO_2-Abscheidung und –Lagerung (CCS):* Bis 2020 spielt CCS in keinem Szenario eine relevante Rolle. In welchem Maße CCS genutzt wird, ist in den Szenarien sehr unterschiedlich. Nach 2020 wird CCS in einigen Szenarien ein deutlicher Beitrag zur Treibhausgasminderung zugeschrieben, in anderen Szenarien ist CCS von nachrangiger Bedeutung.
- *Steigerung der Energieeffizienz:* Die Erhöhung der Primärenergieproduktivität von ca. 1 % pro Jahr wird sich in Zukunft deutlich erhöhen müssen, um die Klimaschutzziele zu erreichen.
- *Erneuerbare Energien:* In allen Szenarien wird von einer deutlichen Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energieerzeugung ausgegangen. Erneuerbare Energien leisten in allen Szenarien einen zentralen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen.

Fortschreibung energie- und klimapolitischer Kernpunkte des aktuellen Koalitionsvertrages in NRW bis 2050

Im nächsten Schritt der Studie wurden die energie- und klimapolitischen Festlegungen im Koalitionsvertrag der derzeitigen rot-grünen Landesregierung zur Entwicklung eines langfristigen Szenarios „Koalitionsvertrag“ herangezogen. Dabei wurden folgende energiepolitische Kernpunkte des Koalitionsvertrages berücksichtigt:

- Erhöhter Anteil der Windenergie von 15 % der Stromversorgung in 2020;
- Erhöhter Anteil der KWK an der Stromerzeugung von über 25 % in 2020;
- Neue fossile Kraftwerke dürfen nicht im Widerspruch zu erneuerbaren Energien stehen, sondern sollen diese ergänzen;
- Die Emissionen bestehender fossiler Kraftwerke müssen gemindert werden, der Ersatz bestehender Anlagen muss mit den Klimaschutzzielen kompatibel sein;
- CO_2-freie Stromerzeugung im rheinischen Braunkohlerevier: bis 2050 minus 80 – 95%;
- Minderung der Stromnachfrage um 11% bis 2020.

In dem Szenario wird ein Ersatz von Großkraftwerken wurde nicht angenommen, da dieser die Erreichung des Zieles der Landesregierung einer CO_2-freien Stromerzeugung gefährden würde.

Das Szenario zeigt, dass die nordrhein-westfälischen CO_2-Emissionen in der Stromerzeugung im Zeitverlauf deutlich zurückgehen, obwohl NRW bis 2040 weiter Netto-Stromexporteur bleibt.

Sollten die bestehenden konventionellen Kraftwerke nach Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer vom Netz gehen, würde das Klimaschutzziel einer Senkung der CO_2-Emissionen um 25% bis 2020 gegenüber 1990 erreicht werden. Bis zum Jahr 2050 gehen die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung in dem Szenario jedoch nur um 73,5 % zurück, womit das Ziel des Koalitionsvertrages (minus 80 bis minus 95%) für diesen Sektor deutlich verfehlt würde.

Eine Zielerreichung wäre zwar grundsätzlich möglich, wenn die nach 2010 errichteten fossilen Kraftwerke nachträglich mit einer CO_2-Abtrennung ausgerüstet würden und das CO_2

anschließend sicher eingelagert würde (CCS). Allerdings widerspräche diese Maßnahme nicht nur den Vorgaben des Koalitionsvertrags, der in Bezug auf CCS eine Fokussierung auf den industriellen Bereich und die CO_2-Nutzung vorsieht, sondern wäre auch aus ökonomischen Gesichtspunkten aufgrund der nur geringen Restlaufzeit der fossil befeuerten Anlagen nur schwer darstellbar.

Würden ungeachtet ökonomischer Einschränkungen bestehende Großkraftwerke in NRW ab 2020 mit einer CO_2-Abscheidetechnik nachgerüstet, gingen die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung um 86 % zurück.

Ohne die Nutzung von CCS wären möglicherweise über die im Koalitionsvertrag vorgesehenen Maßnahmen hinaus weitere flexible Maßnahmen über den bereits bestehenden Emissionshandel hinaus erforderlich, um das Klimaschutzziel zu erreichen.

Multi-kriterielle Bewertung wesentlicher Klimaschutzbausteine für NRW

Basierend auf den vorherigen Kapiteln der Studie wurden zentrale Klimaschutzbausteine für NRW identifiziert und multi-kriteriell bewertet. Zu den untersuchten Maßnahmen zählen:

- Eine deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung (heimische Erzeugung von Strom und Wärme aus Erneuerbaren, Import von Strom aus erneuerbaren Energien, Speichertechnologien);
- Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Kraftwerkspark (Kraftwerksmodernisierung, Brennstoffwechsel, CCS);
- Ein forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur;
- Die Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie (alternative Stahlerzeugung, Effizienzsteigerungen in der Verfahrens- und Fertigungstechnik, Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen);
- Eine Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich (Erhöhung der Sanierungsrate im Bestand, Umsetzung von Null- und Plusenergiehäusern);
- Deutliche Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums;
- Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie (verkehrsvermeidende Siedungsstrukturen, Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe, Verkehrsverlagerung und Effizienz im Güterverkehr);
- Eine stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung.

Die Maßnahmen werden anhand von Einzelkriterien bewertet, welche den Kriterienblöcken Klimaschutz und Energiepolitik (CO_2-Minderungspotential, Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen, Beiträge zur Versorgungssicherheit etc.), Ökonomie und Strukturentwicklung (Wirtschaftlichkeit, Bildung neuer Industriestrukturen etc.) sowie Umsetzung in NRW (Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen, gesellschaftliche Akzeptanz etc.) zugeordnet sind. Bei der Bewertung werden unterschiedliche politische Prioritäten anhand variierender Gewichtungen der Einzelkriterien berücksichtigt (z.B. Fokus Energie- und Klimapolitik vs. Fokus Ökonomie).

Im Sektor Strom und Wärme wird die heimische Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien am positivsten bewertet. Dies ist insbesondere auf die Kombination eines hohen CO_2-Minderungspotentials und eines starken Beitrags zur Energieversorgungssicherheit einerseits sowie eines hohes Innovationspotentials andererseits zurückzuführen. Aus letzterem resultieren stark positive Effekte auf die Beschäftigung und ein hohes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen. Beide Kriterien sind im Block „Ökonomie und Strukturentwicklung“ mit einer hohen Gewichtung versehen.

Im Gegensatz dazu erhält der Maßnahmenblock zum fossilen Kraftwerkspark eher eine geringe multi-kriterielle Bewertung. Dies gilt insbesondere für die Modernisierung von Kohlekraftwerken, deren langfristiges ökonomisches CO_2-Minderungspotential und deren Kompatibilität mit erneuerbaren Energieerzeugungsstrukturen limitiert sind. Die Nutzung von CCS und der Ausbau von KWK werden dagegen höher eingestuft. Dies impliziert, dass innerhalb einer langfristigen Klimaschutzstrategie die Ausrüstung verbleibender fossil gefeuerter Stromerzeugungskapazitäten mit CCS und die Forcierung der Kraft-Wärme-Kopplung sehr relevant sind.

Eine Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand zählt neben der heimischen Erzeugung erneuerbarer Energien zu den höchstbewerteten Maßnahmen in der Multi-Kriterien-Analyse. Die positive Einstufung ist vorrangig auf das hohe Energieeinsparpotential im Gebäudebestand und die hohe Investitionsintensität der Maßnahme zurückzuführen, welche positive Effekte auf die Arbeitsplatzsituation und bestehende Branchen impliziert.

Die Realisierung von Null- und Plusenergiehäusern erhält wegen der langfristigeren Umsetzungsperspektiven und der daher geringeren kumulativen Minderungswirkung eine etwas niedrigere Einstufung, ist jedoch ebenfalls als wichtiger Klimaschutzbaustein einzustufen, der forciert werden sollte.

Im Industriesektor wird dem Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen ein hohes Potential zugesprochen. Überdies implizieren Prozessoptimierungen und daraus resultierende Effizienzsteigerungen gute klimapolitische und ökonomische Potentiale. Derartige Maßnahmen im Industriesektor sind einer Nutzung von CCS an Industrieanlagen vorzuziehen. Grundsätzlich stellt der Industriesektor wegen des limitierten Portfolios an Optionen für eine substantielle CO_2-Reduktion jedoch ein wichtiges und gegenüber dem Kraftwerkssektor zu präferierendes Anwendungsgebiet für CCS dar.

Das Bewertungsniveau im Verkehrssektor ist im Vergleich zu den anderen Maßnahmen eher niedrig. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die betrachteten Maßnahmen mit hohen Infrastrukturanforderungen einhergehen und daher eine niedrige Wirtschaftlichkeit aufweisen. Dies gilt insbesondere für die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen und die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene. Diese Maßnahmen sind daher als Langfristmaßnahmen einzustufen.

Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass ein effektives und effizientes Klimaschutzkonzept die Angebotsseite und die Nachfrageseite gleichermaßen adressieren sollte. Es wird überdies deutlich, dass Klimaschutzmaßnahmen, welche ein hohes CO_2-Minderungspotential mit einem hohen Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen kombinieren, stark positiv einzustufen sind und in vielen Fällen durch positive Struktureffekte (Beschäftigung) belohnt werden. Oft handelt es sich dabei jedoch um eher langfristig ausgerichtete Maßnahmen.

Es ist demnach ein breiter Mix an politischen Instrumenten erforderlich, der a) nachfrage- und angebotsorientierte Elemente enthalten, b) Sektor spezifisch ausgerichtet sein und c) zwischen kurz-, mittel- und langfristig orientierten Maßnahmen differenzieren und entsprechende Meilensteine enthalten sollte.

1 Einleitung

Um ein hohes Maß an Effizienz und Effektivität einer klimapolitischen Strategie zu gewährleisten, ist ein langfristig angelegter Planungshorizont erforderlich. Ausgehend von dieser Prämisse soll die vorliegende Studie wichtige langfristige Trends und Strategieelemente für eine nordrhein-westfälische Klimaschutzstrategie untersuchen.

Für diesen Zweck nimmt die Studie zunächst eine Bewertung des Status Quo der Emissionsbilanz des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) sowie der internationalen Klimaverhandlungen, welche die Grundlage für weltweites klimapolitisches Handeln bilden, vor (Abschnitt 2).

Anschließend werden anhand eines Vergleichs von Szenarien, die vornehmlich auf das deutsche Energiesystem bezogen sind, langfristige Trends in der deutschen Energiestruktur identifiziert (Abschnitt 3).

Im nächsten Schritt geht die Studie auf vorliegende klimapolitische Strategieelemente in NRW ein und projiziert deren Auswirkungen auf einen Zeitraum bis zum Jahr 2050 (Abschnitt 4). Hier werden sowohl das Energie- und Klimaschutzprogramm der früheren nordrhein-westfälischen Landesregierung, insbesondere aber die Klimaschutzziele und –vorhaben des Koalitionsvertrages der aktuellen Landesregierung untersucht.

Aus den genannten Analysen werden schließlich zentrale Bausteine für eine langfristige Klimaschutzstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen herausgearbeitet (Abschnitt 6), die multi-kriteriell bewertet und analysiert werden (Abschnitte 7 und 8). Die Multi-Kriterien-Analyse bezieht dabei verschiedene Politikziele wie Klimaschutz, Energiepolitik, Wirtschaftlichkeit und Struktureffekte mit ein und berücksichtigt überdies die Umsetzbarkeit der Maßnahmen vor dem Hintergrund der Handlungsmöglichkeiten der nordrhein-westfälischen Landesregierung. Abschließend werden aus den Ergebnissen der Multi-Kriterien-Analyse Schlussfolgerungen für eine nordrhein-westfälische Klimaschutzstrategie abgeleitet (Abschnitt 9).

2 Ausgangsbedingungen

2.1 Status Quo der Emissionsbilanz des Landes NRW

Den Fragen, wo verbesserter Klimaschutz ansetzen sollte und welche Minderungen notwendig sind, geht die Betrachtung des aktuellen Emissionsstandes voraus. Die Kenntnis aller Emissionsquellen und deren Gewichtung ermöglicht eine Schwerpunktsetzung in den Maßnahmen und die Projektion der zukünftigen Emissionsentwicklung.

Die Bilanzierung der wichtigsten Treibhausgase, der so genannten Kyoto-Gase[1], ist für die Industrieländer seit 1994 verpflichtend. Jährlich müssen sie dem UN-Klimasekretariat in Bonn (http://unfccc.int) ihr nationales Inventar der Treibhausgase übermitteln (bis zwei Jahre vor dem Berichtsjahr, d.h. am 15. April 2010 werden die Daten für 2008 fällig). Dabei müssen neben den aktuellen Emissionen auch die Emissionen der Basisjahre[2] im Vergleich aufgeführt werden. Im Kyoto-Protokoll wurde darüber hinaus die Erstellung der Nationalen Inventarberichte (*NIR – national inventory reports)* verpflichtend für die Annex I Staaten[3] festgelegt. Die methodischen Vorgaben sind in den Richtlinien des IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change)* (IPCC 1996; 2006) festgeschrieben. Grundsätzlich gilt hier das Prinzip der Zuordnung nach der Emissionsquelle, d.h. dort wo die Emissionen entstehen werden sie bilanziert. Demzufolge spiegeln die Inventare nicht die globalen Handelsströme wider. Energieintensive Produktionsprozesse werden dem Produktionsland zugeschrieben, obwohl das Endprodukt evtl. nur für den Export produziert wurde. D.h. Exportländer wie China oder Deutschland müssen die Emissionen, die mit dem auf ihrem Territorium verorteten Teil der Prozesskette der Exportgüter verknüpft sind, in ihrem Inventar aufführen. Ein gleichzeitiger Export der Emissionen ist nicht möglich.

Die oben genannte Berichtspflicht gilt nicht für die einzelnen Bundesländer. Dennoch ist NRW bemüht, den Stand der gesamten Emissionen NRWs genau zu ermitteln und transparent darzulegen. Seit Ende der 90er Jahre gibt es Bestrebungen ein Gesamtinventar NRWs aufzustellen, das vergleichbar ist zum nationalen Inventar. Das Wuppertal Institut hatte im Auftrag des MUNLV und in Kooperation mit dem Landesumweltamt NRW (heute Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW) ein Konzept für ein an den internationalen Vorgaben orientiertem Monitoring klimarelevanter Emissionen für NRW zu entwickeln. Für das Basisjahr und die Jahre 1995 und 2000 wurden erste Berechnungen der Gesamtemissionen entsprechend der Konventionen des IPCC erstellt (Wuppertal Institut 2005). In einem Folgeprojekt wurden auch die Emissionen für 2005 abgeschätzt. Aufbauend auf diesen Arbeiten entwickelt das LANUV ein verbessertes Inventar, das gerade aktualisiert wird. Die aktuellsten Daten beziehen sich auf das Jahr 2007 (LANUV 2010).

Im Umweltbericht 2009 des MUNLV (MUNLV 2009), heute Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV), sind vorläufige Mengen-

---

1 Hierzu zählen die sechs Gase: Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), Perfluorkohlenwasserstoffe (PFKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6) (IPCC 1996)

2 Basisjahr für CO_2, CH_4, N_2O ist 1990; Basisjahr für HFKW, PFKW und SF_6 ist 1995

3 Industriestaaten; die genaue Auflistung ist beim Klimasekretariat zu finden unter: http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php

angaben dieses Inventars, aufgeteilt nach Sektoren, für den Zeitraum 1990 bis 2005 enthalten (Kap. 2.1, S. 110).

Im gleichen Bericht finden sich auch Angaben zu den CO_2-Emissionen laut Energiebilanz (IT.NRW 2009), die das IT NRW (Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen, vormals LDS) jährlich vorlegt. Entsprechend des Fokus der Energiebilanz konzentriert sich diese CO_2-Bilanzierung auf die direkten energiebedingten CO_2-Emissionen.

Die Güte der Daten und die Unterschiede der verschiedenen Quellen werden im folgenden Unterkapitel 2.1.1 diskutiert. Das für diese Studie zugrunde gelegte Emissionsinventar, aufgeteilt nach Sektoren bzw. nach Treibhausgasen, wird in dem darauf folgenden Unterkapitel 2.1.2 dargestellt.

2.1.1 Datengrundlage in NRW

Das „Zählen“ der Emissionen ist im Detail betrachtet eine nicht nur umfangreiche, sondern auch z.T. schwer lösbare Aufgabe. Die Emissionsermittlung hängt ab von der Güte der zur Verfügung stehenden Basisdaten, dem Datenzugang, aber auch von der Qualität der anzuwendenden Emissionsfaktoren. Bei allen drei Punkten treten Unsicherheiten auf, die es abzuschätzen gilt.

Emissionsinventar NRW

Das vom LANUV aufgestellte Emissionsinventar NRW orientiert sich an den Vorgaben der IPCC-Richtlinien und an den Emissionsberechnungen des Nationalen Inventarberichts des Umweltbundesamtes (2009a).

Die IPCC-Richtlinien (IPCC 1996; 2006) strukturieren die Vielzahl der Emissionsquellen nach sechs[4] bzw. vier[5] Hauptgruppen. Der allgemeine Teil gibt einen Überblick darüber, wie der Prozess der Inventarerstellung durchgeführt werden kann, inkl. Vorgaben zur Datenerhebung, Qualitätssicherung, Quantifizierung der Unsicherheiten etc. Für die einzelnen Sektoren werden die potentiellen Emissionsquellen beschrieben, sowie Berechnungsmethoden und Richtwerte für jede Quelle angegeben. Die Richtlinien sollen somit ermöglichen, dass jedes Land seine Emissionen ermitteln kann und die Inventare weltweit vergleichbar werden (inkl. Angaben zur Unsicherheitsbandbreite).

Grundsätzlich gilt, je mehr eigene Datenerhebungen und Emissionsmessungen des Landes vorliegen, desto genauer kann das Inventar die realen Gegebenheiten wiedergeben. National ermittelte Emissionsfaktoren sind, nach einem Qualitäts- und Plausibilitätscheck, den globalen IPCC-Richtwerten vorzuziehen.

Je nach Sektor ist die Güte der für NRW vorliegenden Daten unterschiedlich. Für den relevantesten Bereich, den *Energiesektor*, liegen in NRW detaillierte Statistiken vor. Für die

---

[4] Bisherige Unterteilung (IPCC 1996), die für nationalen Inventare noch gültig ist: 1. Energie, 2. Industrie (nicht-energiebedingt), 3. Landwirtschaft, 4. Produktion und Anwendung von Lösungsmitteln, 5. Landnutzungsänderungen und Waldwirtschaft, 6. Abfall- und Abwasserwirtschaft.

[5] Neue Unterteilung nach IPCC 2006: 1. Energie, 2. Industrieprozesse und Produktanwendungen, 3. Landwirtschaft, 4. Abfall; die neuen Richtlinien werden aktuell von den Staaten getestet und sollen nach einem Reviewprozess regulär ab 2015 zur Inventarerstellung angewendet werden (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change 2009).

Berechnung der Treibhausgas-Inventare 1990 – 2000 wurde auf die Statistiken der Energiebilanz NRW zurückgegriffen[6]. Probleme waren hier die Unterschiede in der Zuordnung verschiedener Emissionssektoren zwischen der Energiebilanz (EB) und den Richtlinien des IPCC, sowie die Änderungen innerhalb der Energiebilanz seit 1990 (z.B. durch Änderung des Energiestatistikgesetzes 2002), welche die Konsistenz der Datenreihe mindern.

Seit Einführung des europäischen Emissionshandels (2005), berichtet das LANUV NRW zusätzlich die Emissionsmengen aller berichtspflichtigen Anlagen NRWs an die deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt). Somit liegen genauere und – laut IPCC – vorzuziehende Daten vor als sie nach der Energiebilanz berechnet werden können. Allerdings kann keine durchgehende Datenreihe seit 1990 aus den Daten der DEHSt erhoben werden, was zu Brüchen in der Gesamtdarstellung führen wird.

Auf die Probleme und Besonderheiten der Datenermittlung anderer Untersektoren wird z.T. in den jeweiligen Abschnitten eingegangen. Allerdings würden die Details den Rahmen dieser einleitenden Betrachtung sprengen.

Energiebilanz

Seit 1994 werden die energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen für das Land NRW vom LDS bzw. IT NRW bilanziert und gemeinsam mit der Energiebilanz veröffentlicht (jeweils für das zwei Jahre zurückliegende Bilanzjahr). Diese Bilanzierung wurde eingeführt um, ebenso wie auf Bundesebene, die Emissionsänderungen im Energiesektor quantifizieren zu können. Die Berechnungsmethodik wird seit 1998 im Länderarbeitskreis Energiebilanzen abgestimmt (IT.NRW 2009).

Die berechneten Kohlendioxid-Emissionen stellen nur die direkten Emissionen der Verbrennung fossiler Energieträger dar, nicht die prozessbedingten Emissionen.

Unterschieden wird bei der CO_2-Berechnung der EB zwischen der Quellenbilanz und der Verursacherbilanz. Bei der Quellenbilanz werden die energiebedingten Emissionen bezogen auf den Umwandlungsbereich und den Endverbrauch dargestellt. D.h. alle in NRW zur Energieerzeugung verbrannten fossilen Brennstoffe werden hier bilanziert, unbenommen ob sie für den Verbrauch in NRW bestimmt sind oder nicht.

Die Verursacherbilanz gibt Auskunft über die CO_2-Emissionen des tatsächlichen Verbrauchs in NRW, aufgeteilt nach einzelnen Verbrauchergruppen (z.B. Verarbeitendes Gewerbe). Die brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren sind den Angaben des UBA entnommen.

Im Umweltbericht wird auf die Unterschiede zwischen der Energiebilanz und dem Inventar hingewiesen. Dort wird auch vermerkt, dass es beabsichtigt ist *„den Indikator [CO_2-Äquivalent] nach erfolgter Aktualisierung des THG-Inventars durch das LANUV von CO_2 auf die gesamten Treibhausgasemissionen umzustellen."* (MUNLV 2009).

In dieser Studie greifen wir v.a. auf die jüngsten Daten des Inventars zurück, da nur über sie die gesamten Treibhausgasemissionen dargelegt werden können.

[6] Berechnung über: fossile Brennstoffmenge pro Untersektor * spezifischem Emissionsfaktor pro Energieeinheit

2.1.2 Treibhausgas-Emissionen NRWs nach Sektoren

Betrachtet man die Emissionen nach IPCC-Sektoren (Abbildung 2-1), wird klar, dass der Sektor Energie, also die Verbrennung fossiler Brennstoffe, mit über 92% die Emissionen NRWs bestimmt. Alle anderen Sektoren sind von untergeordneter Rolle. Die Industrieprozesse tragen mit 5%, die Landwirtschaft mit 2% und die Abfallwirtschaft mit weniger als 1% zu den Gesamtemissionen bei. Aufgrund der Dominanz des Energiesektors werden hier auch die einzelnen Untersektoren näher betrachtet.

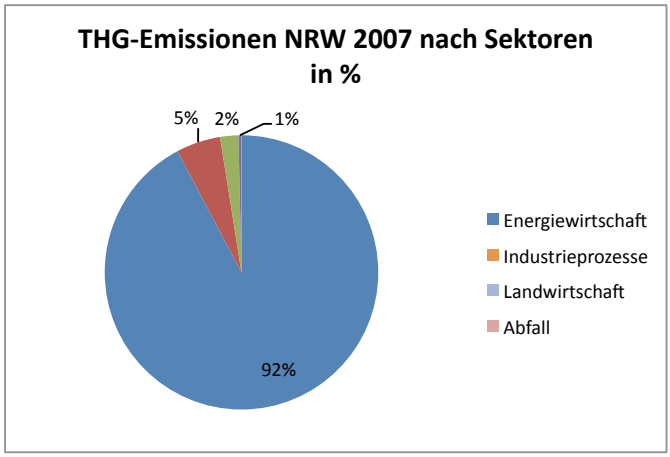


Abbildung 2-1: THG-Emissionen NRWs nach Sektoren (in %), 2007 Datenquelle Quelle: (LANUV 2010)

2.1.2.1 Energie (IPCC Sektor 1A)

Die Emissionen des Sektors Energie werden unterteilt nach den Produktions- und Anwendungsbereichen. Neben dem wichtigsten Bereich, der eigentlichen Energiewirtschaft, werden energiebedingte Emissionen der Industrie betrachtet, die einen Anteil von 17% an den Emissionen des Energiesektors (15% an Gesamtemissionen) einnehmen. Die Emissionen des Brennstoffverbrauchs im Verkehr und der Haushalte und Kleinverbraucher haben in etwa gleich hohe Anteile am Energiesektor mit 11% bzw. 10%. Dabei emittiert der Verkehr rund 35 Mio. t CO_2-Äquiv. und Haushalte & Kleinverbraucher knapp 32 Mio. t. Im Vergleich dazu nehmen die flüchtigen Emissionen der Energiewirtschaft mit nur 2% eine untergeordnete Rolle ein. Hier sind allein die flüchtigen CH_4-Emissionen aufgeführt, die in den anderen Energiesektoren nur einen marginalen Beitrag an den Emissionen haben.

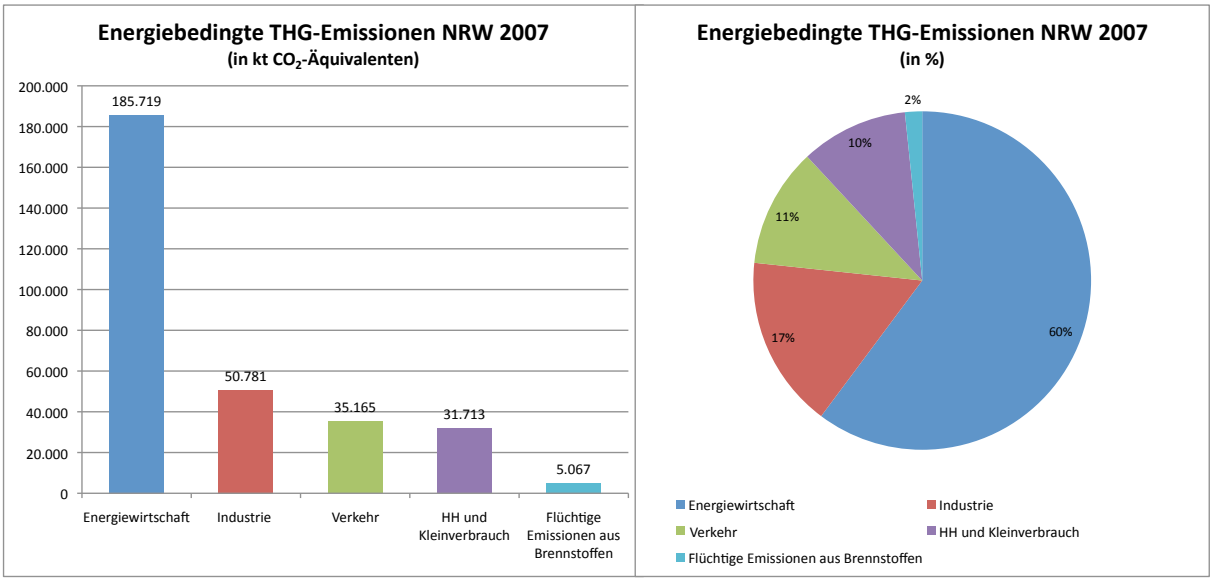


Abbildung 2-2: Energiebedingte THG-Emissionen NRWs 2007 Datenquelle

Quelle: (LANUV 2010)

Verbrennungsbedingte Emissionen der Energiewirtschaft (1A1)

Die Emissionen der Energiewirtschaft tragen mit 55,5% zu mehr als der Hälfte der Gesamtemissionen NRWs bei bzw. 60% zu den Emissionen des Energiesektors. Dabei fallen 50,4% (168,5 Mio. t CO_2-Äquiv.) der gesamten Emissionen NRWs in den öffentlichen Kraftwerken an. Die Raffinerien tragen 2,7% der Emissionen bei und die restlichen 2,4% fallen auf die Produktion von Brennstoffen und sonstige Anlagen der Energiewirtschaft (z.B. Kokereien, Grubenkraftwerke etc.).

Insgesamt stammen 48% der THG-Emissionen der deutschen Energiewirtschaft aus dem Energieland NRW[7].

Bei Betrachtung der Aufteilung der CO_2-Emissionen[8] öffentlicher Kraftwerke auf die fossilen Brennstoffe wird deutlich, dass Braunkohle mit über 57% einen Großanteil an den Emissionen hat, gefolgt von Steinkohle mit 31,5%. Erdgas und Gichtgas tragen jeweils mit 4-5% zu den Emissionen bei[9].

Interessant zu erwähnen ist, dass durch die anlagenscharfen Detaildaten, auf die das LANUV in diesem Sektor zurückgreifen kann, die Emissionsmengen über denen liegen, die sich aus der Emissionsbilanz des IT NRW berechnen lassen (2005 betrug der Unterschied 7%). Das kann u.a. daran liegen, dass in den Emissionsberichten (für die DEHSt) Einsatzmengen der Ersatzbrennstoffe aufgeführt sind, die in der Energiebilanz nicht berichtet werden. Sollte auf diese Daten im Inventar zurückgegriffen werden, wird es in der Datenreihe seit 1990 einen Sprung nach oben geben, der allein auf die bessere Datenlage zurückzuführen ist.

---

7 Dabei ist zu erwähnen, dass das nationale Inventar (NIR) auf der Energiebilanz Deutschlands beruht und nicht die Emissionsberichte der DEHSt verwendet werden. Daher sind Differenzen möglich.

8 98% der gesamten THG-Emissionen der öffentlichen Kraftwerke. CH_4- und N_2O-Emissionen sind in diesem Sektor marginal.

9 Die Prozentwerte sind den Daten von 2005 entnommen, da sie uns noch nicht aufgeschlüsselt für 2007 vorlagen.

Auch die Raffinerien sind im Emissionshandel berichtspflichtig, was die Datengrundlage im Vergleich zur Emissionsbilanz verbessert. Die CO_2-Emissionen der Raffinerien, inkl. der Raffineriekraftwerke, liegen bei 9 Mio. t CO_2-Äquiv. In NRW, laut EB bei 8 Mio. t CO_2-Äquiv.[10]. Die Differenz kann hier auf verschiedene Zuordnungen der Raffineriekraftwerke und die nicht gemeldeten Ersatzbrennstoffmengen zurückgeführt werden.

Exkurs Handhabung CO_2-Emissionen des Stromexports bzw. –imports

Nordrhein-Westfalen ist ein „Energieland“, was u.a. bedeutet, dass hier in Kraftwerken produzierter Strom in andere Bundesländer (bzw. ins Ausland) geliefert wird. Andererseits benötigen auch die energieintensiven Industrieprozesse große Mengen an Strom (siehe folgendes Unterkapitel). Insgesamt liegt der Anteil NRWs am bundesweit produzierten Strom bei knapp 31,8% (IT.NRW 2009), somit über dem Bevölkerungsanteil NRWs. Andererseits sind die verknüpften Emissionen aus den Kraftwerken mit 48% am Bundesanteil erheblich höher (siehe Tabelle 2-1). Das ist auf die Dominanz der Braun- und Steinkohleverbrennung zurückzuführen, die beide hohe CO_2-Emissionswerte pro Energieeinheit aufweisen. Ca. 50% der bundesweit verwendeten Mengen an Braun- und Steinkohle für die Stromerzeugung sind NRW zuzuschreiben.

Die quellenbezogene Systematik der international festgelegten Inventarberechnung wurde bereits in Kapitel 2.1 dargelegt. Eine Bereinigung der Zahlen über die Subtraktion des exportierten Stroms ist somit nicht möglich und wäre auch zu kurz gefasst. Im Gegenzug müssten dann auch der importierte Strom sowie die Emissionen der Produktionskette importierter Güter einbezogen werden. Gerade weil ein Großteil der Warenproduktion in den letzten beiden Dekaden in die so genannten Schwellenländer verschoben wurde, ist auch die Frage ob diese Gesamtbilanz letztlich positiv oder negativ für NRW ausfallen würde.

Theoretisch kann man aber aus den Zahlen der Energiebilanz NRW die in NRW genutzte Menge an Strom mit den Emissionen verknüpfen und die Stromexporte herausrechnen. Nach Quellenbilanz sind der Stromproduktion im Lande (Umwandlungssektor ohne Fernwärmeerzeugung oder sonstigen Energieverbrauch) 172,9 Mio. t CO_2[11] zuzuschreiben (IT.NRW 2009). Bei einer Bruttostromerzeugung[12] von 183,3 Mrd. kWh (IT.NRW 2009, S. 13) entspricht das einem durchschnittlichen Emissionswert von 0,943 kg CO_2/kWh. Bei einem Export von 18,9 Mrd. kWh (Seite 21, Zeile 5 Lieferung), entspricht das einem Verbleib von 164,4 Mrd. kWh in NRW (ohne Stromimporte). Nimmt man den obigen Durchschnittswert, unabhängig davon wo und mit welchem Brennstoff der exportierte Strom produziert wurde, sind dem Export 17,8 Mio. t CO_2 zuzuschreiben. In NRW verbleiben somit 155 Mio. t CO_2 aus der Stromerzeugung[13].

Verbrennungsbedingte Emissionen der Industrie (1A2)

[10] CH_4 und N_2O zusätzlich berechnet aus Angaben der EB

[11] Dabei ist zu beachten, dass diese Zahlen nicht mit den Zahlen des Emissionsinventars übereinstimmen, da Letztere aus den Detaildaten der Emissionsberichte stammen.

[12] Anlagen mit einer Brutto-Engpassleistung (elektrisch) von 1 MW und mehr, ohne Einspeisung von privaten Betreibern in das öffentliche Netz; Fotovoltaik, Klärgas, Deponiegas, Biomasse, Sonstige

[13] Die in der Energiebilanz angegebenen (Netto-)Exporte sind lediglich das Saldo aus Importen und (höheren) Exporten. Eine theoretisch denkbare Zuordnung von Emissionen zu beiden Austauschströmen ist auf der Basis der vorhandenen Daten nicht möglich.

Im Verarbeitenden Gewerbe wird viel Energie benötigt, was sich in dem hohen Anteil an den Gesamtemissionen des Energiesektors widerspiegelt (50,8 Mio. t CO_2-Äquiv. bzw. 15%). Hauptemittenten sind die Eisen- und Stahlerzeugung und die chemische Industrie mit zusammen 76% an dem gesamten Untersektor (siehe Abbildung 2-3).

In diesem Sektor sind starke Differenzen zu den Emissionsberechnungen aus der Energiebilanz gegenüber den neuen Zahlen des LANUV festzustellen, was an den bereits genannten Punkten, der Zuordnung und dem Einsatz von Ersatzbrennstoffen liegt, der gerade in der Industrie praktiziert wird. Nicht alle Emissionen der Subsektoren können den Emissionsberichten (DEHSt) entnommen werden, weshalb auch auf andere Quellen (Energiebilanz und Emissionserklärungen) zurückgegriffen wird.

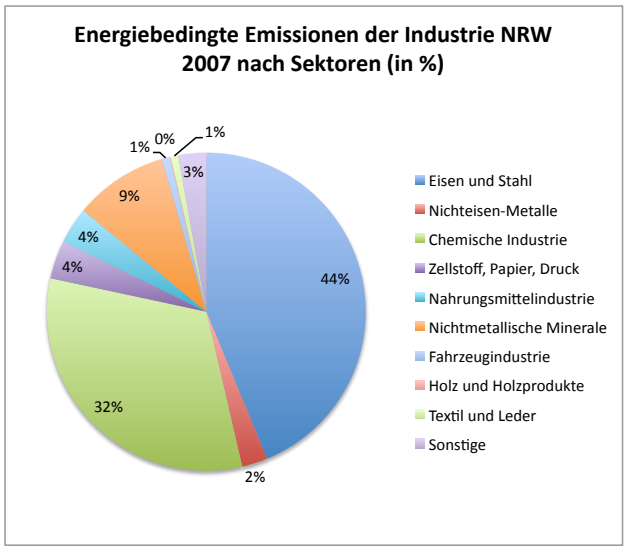


Abbildung 2-3: Verbrennungsbedingte Emissionen der Industrie Datenquelle

Quelle: (LANUV 2010)

In den meist großen Anlagen der Industrie laufen die Feuerungsprozesse überwiegend optimiert ab, so dass CH_4- und N_2O-Emissionen hier nicht ins Gewicht fallen. Durch technische Optimierungen und Anlagenerneuerungen sind die Emissionen in den letzten 15 Jahren in diesem Sektor stark gesunken.

Verbrennungsbedingte Emissionen des Verkehrs (1A3)

Die Emissionen des Verkehrssektors sind auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe, also Benzin, Diesel, Kerosin etc. zurückzuführen. Der Straßenverkehr ist mit 91% der relevanteste Untersektor und trägt 10,5% zu den Gesamtemissionen NRWs bei. Die Daten des Flugverkehrs geben – gemäß der aktuellen Vorgaben für die Inventare - allein die Emissionen aus der in NRW getankten Kerosinmenge wieder, nicht die Emissionen der Flüge über NRW. Somit wird nur ein Teil der klimarelevanten Emissionen des Flugverkehrs berücksichtigt.

Im Vergleich zu den anderen Untersektoren waren beim Verkehr die Emissionen laut Inventar steigend, insbesondere im Straßen- und im Luftverkehr. Für die Berechnung werden die Daten des Emissionskatasters Verkehr des LANUV verwendet.

Verbrennungsbedingte Emissionen der Haushalte und Kleinverbraucher (1A4+1A5)

Unter dem IPCC-Sektor „Haushalte und Kleinverbraucher“ sind neben den Emissionen der Haushalte auch die des Handels, der Dienstleistungsbranche und des Militärs summiert.

Grundlage für die Emissionsermittlung sind die Daten der Energiebilanz. Über 60% der Emissionen sind auf den Einsatz von Erdgas (z.B. in Heizungsanlagen) zurückzuführen, gefolgt von 31% durch den Einsatz von Heizöl[14]. Entsprechend des Anteils an der Bevölkerung nehmen die Emissionen ca. 24% an den Gesamtemissionen Deutschlands in diesem Sektor ein. Die Mitte der 90er Jahre gestiegenen Emissionen befanden sich 2007 auf einem Abwärtstrend im Vergleich zu 1990 und 2005.

Flüchtige Emissionen der Energiewirtschaft

Flüchtige Emissionen der Energiewirtschaft sind Freisetzungen von Methan, die aus nicht verbrennungsbedingten Prozessen stammen. Sie summieren sich auf 5,1 Mio. t CO_2-Äquiv. Hauptemissionsquelle ist mit ca. 77% die aktive bzw. stillgelegte Steinkohlenförderung, also die aus der Förderung freigesetzten Emissionen, Koksverarbeitung und Ausgasungen bereits stillgelegter Kohlebergwerke. Ca. 22% der Emissionen stammen aus der Gaswirtschaft. Sowohl bei der Produktion, Aufbereitung und der Gasverteilung als auch bei der Gasverwendung im Haushalt gibt es geringfügige Gasverluste, die sich auf insgesamt 53kt CH_4 bzw. 1,1 Mio. t CO_2-Äquiv. summieren.

Durch den Rückgang der Steinkohlenförderung verringern sich die Emissionen dieses Bereichs stetig. Allerdings sollte hier darauf hingewiesen werden, dass die Berechnungen der Emissionen aus stillgelegten Bergwerken große Unsicherheiten in sich bergen. Gemäß der Vorgehensweise im NIR wird auch hier von einem groben seit Jahren gleichbleibenden Schätzwert der Gesamtemissionen aus stillgelegten Bergwerken die genutzte Menge an Grubengas abgezogen. Theoretisch könnten bei noch stärkerer Grubengasnutzung aus stillgelegten Bergwerken die Emissionen negativ werden, was de facto nicht der realen Situation entsprechen würde. Die konservativeren Schätzungen des Wuppertal Instituts für 2005 gingen von 35% höheren Emissionen aus dem Bergbau aus. Es gilt abzuwarten wie das UBA im NIR mit dieser Unsicherheit zukünftig umgehen wird.

2.1.2.2 Nicht Energie bedingte Emissionen aus der Industrie und Produktnutzung

Die Emissionen aus der Industrie und Produktnutzung, die nicht durch die Energienutzung sondern durch die Prozesse bedingt sind, stammen in NRW zu 75% aus der Mineralproduktion. Dabei sind 55% der Zementherstellung und 40% der Kalkherstellung zuzuordnen. In diesem Sektor entstehen nur prozessbedingte CO_2-Emissionen und keine anderen Treibhausgase. Der Anteil NRWs an den bundesweiten Emissionen liegt bei 34%.

Die restlichen THG-Emissionen stammen zu 15% aus der Metallproduktion, 4% aus der chemischen Industrie und weiteren 5% von Produktanwendungen bzw. sonstigen Emissionen.

Bei der Metallproduktion ist die Hälfte der CO_2-Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion zuzuordnen, die andere Hälfte den Emissionen aus der Aluminiumherstellung. Bei letzterem entfallen 70% auf die Treibhausgase SF_6 und PFC.

[14] Die Prozentwerte sind den Daten von 2005 entnommen, da sie uns noch nicht aufgeschlüsselt für 2007 vorlagen.

Die Treibhausgase mit dem höchsten Erwärmungspotential (GWP – Global warming potential), namentlich Fluorkohlenwasserstoff[15], Perfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid nehmen 23% der Emissionen dieses Sektors ein. Ihr Anteil ist seit 1995, dem Beginn der offiziellen Erfassung, in Deutschland gestiegen. Insbesondere der Einsatz der Kältemittel in stationären oder mobilen Klimaanlagen ist hierfür verantwortlich.
Mit insgesamt 17,5 Mio. t CO_2-Äquiv. bzw. einem Anteil von 15% sind die prozessbedingten THG-Emissionen im Vergleich zu den Emissionen Deutschlands in diesem Sektor gering und liegen unter dem Bevölkerungsanteil.

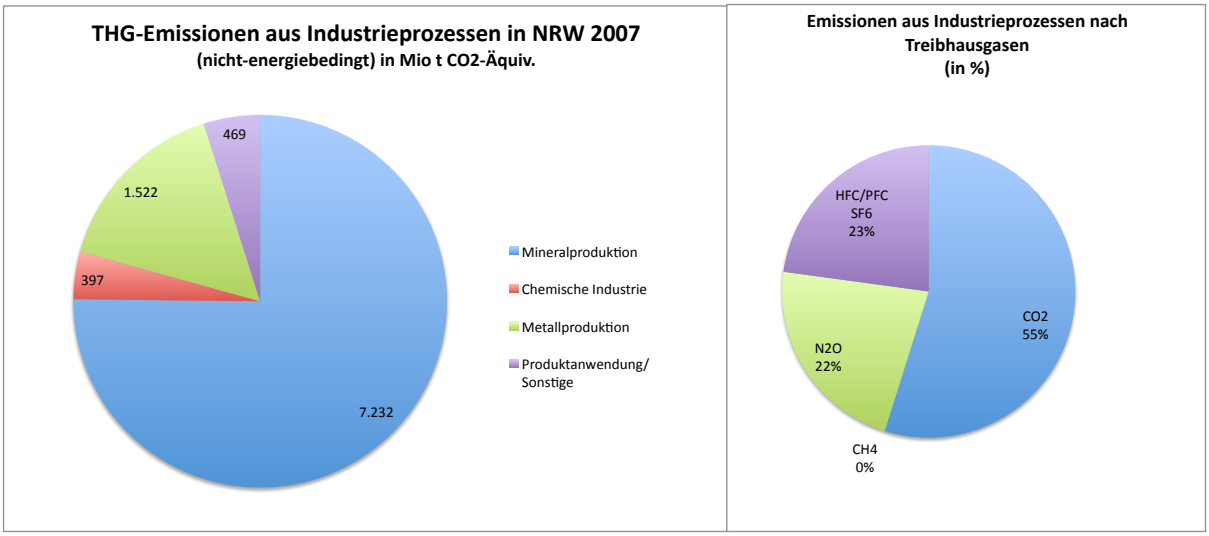


Abbildung 2-4: Nicht-energiebedingte THG-Emissionen aus Industrieprozessen, nach Sektoren und Treibhausgasen unterteilt Datenquelle

Quelle: (LANUV 2010)

2.1.2.3 Landwirtschaft und Landnutzungsänderungen

Die Emissionen der Landwirtschaft werden den Daten des nationalen Inventars entnommen, die von der ehemaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) bzw. vom Johann Heinrich von Thünen-Institut aufgestellt wurden. Mit 57% nehmen die Emissionen aus der Bodennutzung den größten Teil ein. Dabei fallen 53% auf N_2O und 4% auf CO_2. Die restlichen 43% sind Methanemissionen aus der Tierhaltung. Emissionen der Landnutzungsänderungen sind nur schwer zu ermitteln und werden aktuell im Inventar nicht erfasst. Insgesamt summieren sich die Emissionen auf 7,2 Mio. t CO_2-Äquiv. bzw. 2,2% der Gesamtemissionen NRWs.

1.1.1.1 Abfall- und Abwasserwirtschaft

Mit nur 0,4% an den Gesamtemissionen von NRW ist der Abfall- und Abwassersektor am wenigsten relevant bzgl. der klimarelevanten THG-Emissionen. Grund für die starke Verringerung der Emissionen seit den 90er Jahren, ist die Umsetzung der TA Siedlungsabfall bzw. Deponieverordnung, welche die unbehandelte Ablagerung der organischen Abfälle unter-

[15] Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs, GWP bis zu 11.700 CO_2-Äquiv.), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs, GWP zwischen 6.400 und 9.200 CO_2-Äquiv.) und Schwefelhexafluorid (SF_6, GWP = 23.900 CO_2-Äquiv.)

sagt. Dadurch konnte die ungeordnete Deponiegasbildung stark verringert werden. Insgesamt ist die Emissionsermittlung in diesem Sektor recht schwierig und die Mengen sind eher als Schätzwerte mit hohen Unsicherheitsbandbreiten zu bezeichnen.

2.1.3 Zusammenfassende Darstellung

Die THG-Emissionen NRWs stammen zu 56% aus der Energiewirtschaft (2007). Die Aufteilung auf die weiteren Sektoren wird in *Abbildung 2-6* deutlich. Wie schon in Kapitel 2.1.2 dargestellt, ist auch der Großteil der restlichen Emissionen energiebedingt, was auch die Dominanz des Treibhausgases CO_2 mit 310 Mio. bzw. 93% an den gesamten Emissionen verdeutlicht (siehe Abbildung 2-5). Jeweils ca. 3% Anteil nehmen Methan- und Distickstoffoxid-Emissionen ein und 1% die restlichen drei Gase. Die Detaildaten, aufgeteilt nach Sektoren, sind der Tabelle 2-1 abzulesen.

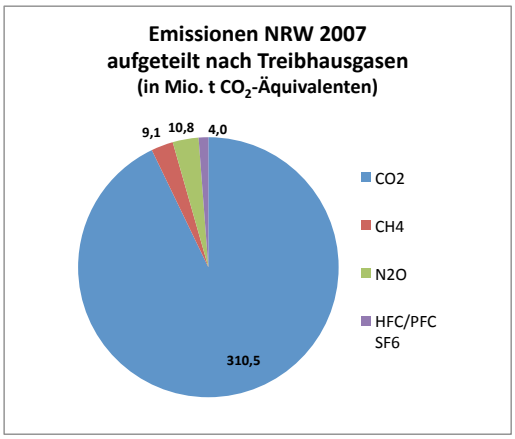


Abbildung 2-5: THG-Emissionen NRWs, aufgeteilt nach den Kyoto-Gasen (in Mio. t CO2-Äquiv.)
Datenquelle (LANUV 2010), eigene Darstellung

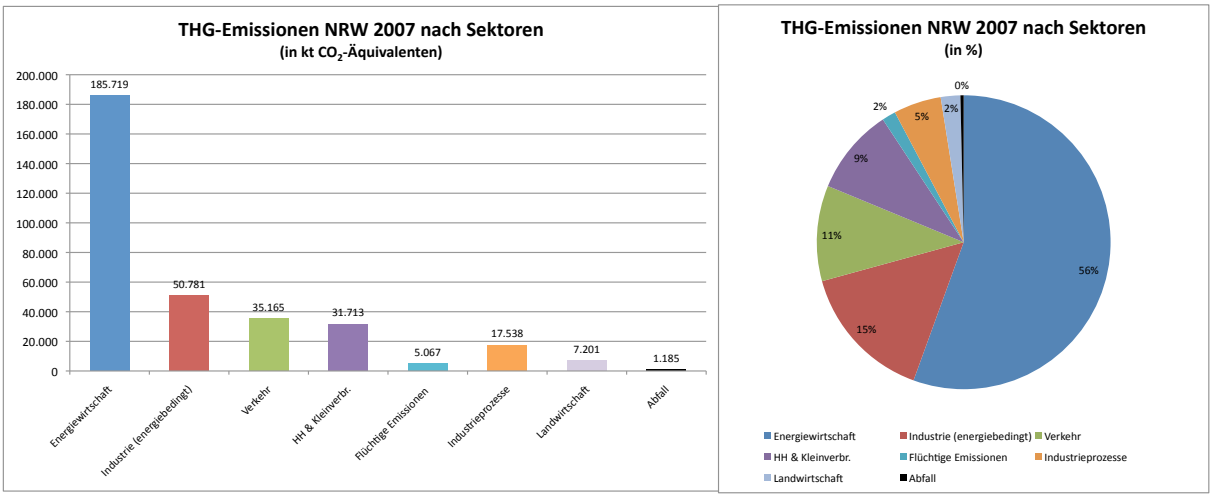


Abbildung 2-6: Gesamte THG-Emissionen NRWs 2007 (in kt CO_2-Äquiv. und in %)
Datenquelle (LANUV 2010), eigene Darstellung

Tabelle 2-1: Treibhausgasemissionen NRWs im Vergleich zu Deutschland (2007)

Emissionen NRW 2007								
IPCC-Sektor	Bezeichnung	CO2	CH4	N2O	HFC/PFC SF6	Gesamt	D 2007	Anteil NRW
		in Gg (1000 t) CO2-Äquiv.						
	Gesamtemission NRW	**310.478**	**9.128**	**10.756**	**4.007**	**334.369**	**952.797**	**35%**
1	**Energie**	**300.597**	**5.236**	**2.612**	**-**	**308.445**	**773.675**	**40%**
1A	**Einsatz von Brennstoffen**	**300.597**	**168**	**2.612**	**-**	**303.377**	**762.843**	**40%**
1A1	**Energiewirtschaft**	**183.834**	**59**	**1.826**	**-**	**185.719**	**389.716**	**48%**
1A1a	Öffentliche Strom- und Wärmeversorgung	166.760	54	1.713	-	168.526		43%
1A1b	Raffinerien	9.049	3	31	-	9.084		
1A1c	Herstellung fester Brennstoffe/sonstige Energieindustrie	8.025	2	82	-	8.109		
1A2	**Industrie**	**50.486**	**19**	**276**	**-**	**50.781**	**90.061**	**56%**
1A2a	Eisen und Stahl	22.205	3	25	-	22.233		
1A2b	Nichteisen-Metalle	1.304	2	14	-	1.320		
1A2c	Chemische Industrie	16.113	5	125	-	16.244		
1A2d	Zellstoff, Papier, Druck	1.952	1	30	-	1.983		
1A2e	Nahrungsmittelindustrie	1.866	1	11	-	1.878		
1A2f	Nichtmetallische Minerale	4.767	4	56	-	4.826		
1A2g	Fahrzeugindustrie	416	0	2	-	418		
1A2j	Holz und Holzprodukte	57	0	2	-	59		
1A2l	Textil und Leder	377	0	2	-	379		
1A2m	Sonstige	1.431	1	8	-	1.440		
1A3	**Verkehr**	**34.696**	**34**	**435**	**-**	**35.165**	**153.176**	**23%**
1A3a	Flugverkehr	687	2	10	-	698		
1A3b	Straßenverkehr	31.630	30	222	-	31.881		
1A3c	Schienenverkehr	155	0	19	-	174		
1A3d	Schiffsverkehr	1.430	2	180	-	1.611		
1A3e	Sonstiger Verkehr	795	1	4	-	801		
1A4-5	**Haushalte und Kleinverbrauch/Sonstige**	**31.581**	**56**	**76**	**-**	**31.713**	**129.890**	**24%**
1B	**Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen**	**-**	**5.067**	**-**	**-**	**5.067**	**10.832**	**47%**
1B1	**Feste Brennstoffe**	**-**	**3.924**	**-**	**-**	**3.924**	**4.065**	**97%**
1B2	**Öl und Erdgas**	**-**	**1.143**	**-**	**-**	**1.143**	**6.768**	**17%**
1B2a	Ölwirtschaft	-	25	-	-	25		
1B2b	Gaswirtschaft	-	1.119	-	-	1.119		
1C	**CO2-Transport und Speicherung**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
2	**Industrieprozesse**	**9.621**	**-**	**3.910**	**4.007**	**17.538**	**116.123**	**15%**
2A	**Mineralproduktion**	**7.232**	**-**	**-**	**-**	**7.232**	**21.128**	**34%**
2A1	**Zementherstellung**	**3.984**	**-**	**-**	**-**	**3.984**		
2A2	**Kalkherstellung**	**2.862**	**-**	**-**	**-**	**2.862**		
2A3	**Glasherstellung**	**292**	**-**	**-**	**-**	**292**		
2A4-5	**Sonstige**	**94**	**-**	**-**	**-**	**94**		
2B	**Chemische Industrie**	**397**	**-**	**3.653**	**-**	**4.050**	**30.797**	**13%**
2B1	**Ammoniakproduktion**	**397**	**-**	**-**	**-**	**397**		
2B2	**Salpetersäureproduktion**	**-**	**-**	**3.582**	**-**	**3.582**		
2B3	**Adipinsäureproduktion**	**-**	**-**	**71**	**-**	**71**		
2B4-10	**Sonstige**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
2C	**Metallproduktion**	**1.522**	**-**	**-**	**896**	**2.418**	**49.561**	**5%**
2C1-2	**Eisen- und Stahlherstellung**	**1.143**	**-**	**-**	**-**	**1.143**		
2C3	**Aluminiumherstellung**	**379**	**-**	**-**	**896**	**1.275**		
2C4-7	**Sonstige**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
2D-H	**Produktanwendung/Sonstige**	**469**	**-**	**257**	**3.111**	**3.837**	**14.637**	**26%**
3	**Landwirtschaft**	**260**	**3.103**	**3.838**	**-**	**7.201**	**51.479**	**14%**
3A	**Tierhaltung**	**-**	**3.103**	**-**	**-**	**3.103**	**24.874**	**12%**
3A1	**Darmgärung**	**-**	**2.121**	**-**	**-**	**2.121**	**16.995**	**12%**
3A2	**Güllemanagement**	**-**	**982**	**-**	**-**	**982**	**7.879**	**12%**
3B	**Landnutzungsänderung**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
3C	**Bodennutzung**	**260**	**0**	**3.838**	**-**	**4.098**	**26.606**	**15%**
3C1	**Biomasseverbrennung**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
3C2	**Kalken**	**207**	**-**	**-**	**-**	**207**		
3C3	**Harnstoffanwendung**	**53**	**-**	**-**	**-**	**53**		
3C4	**Direkte N2O-Emissionen aus Böden**	**-**	**-**	**2.683**	**-**	**2.683**		
3C5	**Indirekte N2O-Emissionen aus Böden**	**-**	**-**	**896**	**-**	**896**		
3C6	**N2O-Emissionen aus Güllemanagement**	**-**	**-**	**259**	**-**	**259**		
3C7-8	**Sonstige**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0**		
4	**Abfall**	**-**	**789**	**396**	**-**	**1.185**	**11.519**	**10%**
4A	**Abfalldeponien**	**-**	**640**	**-**	**-**	**640**	**8.211**	**8%**
4B	**Biologische Abfallbehandlung**	**-**	**117**	**55**	**-**	**172**	**861**	**20%**
4C	**Abfallverbrennung**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
4D	**Abwasserreinigung**	**-**	**31**	**341**	**-**	**372**	**2.447**	**15%**
4E	**Sonstige**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		
5	**Sonstige**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**		

Quelle: LANUV 2010 und D-Daten aus dem NIR (Umweltbundesamt 2009a)

2.2 Status Quo der internationalen Klimaverhandlungen und Ableitung langfristiger Klimaschutzziele

2.2.1 Die Struktur des menschgemachten Klimawandels und der durch ihn ausgelösten gesellschaftlichen Herausforderung

2.2.1.1 Historische Sicht der Herausforderung

Beginnend in Europa im 19. Jahrhundert, ist die menschliche Gesellschaft inzwischen beinahe vollständig in das Gesellschaftsmodell der fossil basierten Industriegesellschaft ein- bzw. umgestiegen. Großbritannien und Preußen waren dabei führend, also auch das Ruhrgebiet, das Wirtschaftszentrum des heutigen Bundeslandes Nordrhein-Westfalen. Das Gesellschaftsmodell der fossil basierten Industriegesellschaft beruht auf einem Übergang:

Weg von einem Angebot erneuerbarer und deshalb (noch) prekär begrenzten Energieträger. Zu der Zeit waren dies, mit Ausnahme der Nutzung von ‚physikalischen' Quellen wie Wasserkraft und vereinzelter Nutzung von Windkraft, im wesentlichen Biomasse, die damit mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz stand. Aus Gründen der Flächenproportionalität war das Angebot erneuerbarer Energieträger knapp.

Hin ging es bei dem Übergang zur Nutzung eines in Jahrmillionen der Erdgeschichte aus dem Kreislauf ausgeschleusten und daraus gebildeten Depots von Kohlenstoff. Der wurde nun in wenigen Jahrhunderten zur zusätzlichen Nutzung freigegeben. Der Vorgang stellte somit einen Übergang in eine nicht nachhaltige Form der Energienutzung dar. Dass daraus über kurz oder lang wieder auszusteigen war, war zeitgenössisch im 19. Jahrhundert auch völlig präsent. Das aber ist nur die input-seitige Sicht auf den historischen Vorgang.

Komplementär dazu gibt es eine zweite Sicht auf denselben Vorgang. Die Nutzung ‚fossiler Energieträger' ergibt als einen ihrer Outputs das Verbrennungsprodukt CO_2 [16]. CO_2 ist das zwangsläufige Abprodukt des Zeitalters der fossilen Industriegesellschaft. Das erwähnte zeitliche „Unmaß" auf der Input-Seite – erreicht ist heute ein Verhältnis von etwa 1 zu 1 Mio. – kann nicht anders als einen Ausdruck finden in einem „Unmaß" auch auf der korrespondierenden Output-Seite. Der erste und nächstliegende Ausdruck ist der Anstieg von CO_2 im geringsten aller Depots im globalen Kohlenstoffkreislauf, in der Erdatmosphäre.

Der Anstieg der Konzentration von CO_2 und anderen langlebigen Treibhausgasen (THG) in der Erdatmosphäre hat zwischenzeitlich ein Niveau erreicht, von dem seit zwei Jahrzehnten klar ist, dass wir knapp vor der Schwelle zur „Gefahr" (im Sinne von Art. 2 UNFCCC) stehen. Also folgt das Gebot: Der anthropogene Klimawandel ist umgehend zu stoppen. Das Besondere an der Herausforderung anthropogener Klimawandel ist, dass der sowieso anstehende Aufbruch in das nächste Gesellschaftsmodell, das der fossilen Industriegesellschaft zu folgen hat, nur zeitversetzt früher ansteht. Das Spezifische der Klima-Herausforderung liegt nicht in der Sache, sondern allein in dem Zeitdruck des Umstiegs in ein neues Wirtschafts- und Gesellschaftskonzept.

[16] Verbrennen ist chemisch definiert als Anlagerung von Sauerstoff, O, an das Brennmaterial auf Kohlenstoffbasis, C.

2.2.1.2 Physikalische Struktur des Klimawandels

Der menschengemachte Klimawandel ist wesentlich Effekt einer massiven ‚Störung' des Kohlenstoffkreislaufs der Erde – hinzu kommt die mindestens ebenso große Störung des Stickstoff-Kreislaufs, die ebenfalls zum Klimawandel beiträgt. Der einmal ausgelöste Klimawandel manifestiert sich erst mit erheblicher zeitlicher Verzögerung in einer ganzen Reihe von atmosphärischen Effekten. Der erste wird deutlich in dem Indikator ‚gemittelte atmosphärische Temperatur', in zwei Metern über der Erdoberfläche gemessen. „Globale Erwärmung" ist deshalb der (verengende) Name für ‚menschgemachter Klimawandel'.

Dass der leicht erklärliche bzw. zu erwartende Anstieg der Konzentration von CO_2 und anderen langlebigen Treibhausgasen in der Erdatmosphäre nicht ohne Wirkung bleiben würde, war seit John Tyndalls Experimenten zur Mitte des 19. Jahrhunderts klar. Er hatte erwiesen, dass CO_2 (und andere Spurengase) einen sog. ‚Treibhauseffekt' aufweisen, d.h. der Atmosphäre die Eigenschaft einer unterschiedlichen Opakheit für eingehende und reflektierte Sonnenstrahlung geben. Es brauchte mehr als 100 Jahre, bis dies innerhalb der Wissenschaft und 10 weitere Jahre, bis dies seitens Politik und Gesellschaft akzeptiert wurde. Dokument der Akzeptanz ist die Klimarahmenkonvention (UNFCCC), ihr Art. 2, verabschiedet in völligem Konsens der Völkergemeinschaft 1992 in Rio de Janeiro. Er fordert, (a) den menschgemachten Klimawandel, operational definiert als Anstieg der Konzentration von langlebigen Treibhausgasen, zu stoppen, und das (b), bevor die Grenze zur Gefahr erreicht wird.

Der Begriff ‚Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen' ist als ein Netto-Anstieg gemeint, gedacht in einem Bassin-Konzept. Eine Ursache des anthropogenen Klima*wandels* wird in diesem Konzept gesetzt, wenn der Zufluss größer ist als der (natürliche) Abfluss. Der Klimawandel wird diesem Konzept gemäß gestoppt, wenn das Zufluss-Niveau der THG-Emissionen auf die ‚natürliche' Ablaufkapazität heruntergeführt wird; bzw. genauer gesagt: auf die erdsystemische Ablaufkapazität, denn auch sie ist inzwischen nicht mehr natürlich, auch sie ist inzwischen anthropogen gestört. Aus der Differenz beider Terme ergibt sich der Anstieg des Pegels. Der Stopp des anthropogenen Klimawandels wird somit erreicht, wenn die Emissionen von Treibhausgasen (THG) von heute etwa 50 Gt/a heruntergefahren werden auf das Fließgleichgewichtsniveau – das liegt deutlich unter 10 Gt/a; wo genau, ist nicht bekannt. Das Niveau heutiger bionaher Emissionen (Änderungen der Landnutzung; Landwirtschaft) liegt weit oberhalb dieses Gleichgewichtsniveau – diese Emissionen bzw. Änderungen sind nicht vollständig mit ‚Regierungstechniken' beherrschbar. Die Beherrschbarkeit ist bei der Verbrennung fossiler Energieträger weit günstiger einzuschätzen.

2.2.1.3 Struktur der Herausforderung, im Spiegel der UNFCCC

Daraus folgt: Terminus (a) aus Art. 2 UNFCCC, ‚Stopp des Klimawandels', bedeutet somit: Die Verbrennung fossiler Energieträger ist auf Null herunterzufahren. Die Ziel-Formel, die in den Jahren 1988 bis 1992 wieder und wieder vertreten wurde, ‚Halbierung bis 2050', also auf 20 Gt/a in 2050, war als Angabe eines Stützpunktes auf dem Weg zum (Beinahe-) Totalausstieg gedacht.

Zu einer Verständigung zu Punkt (b) aus dem Mandat in Art. 2 UNFCCC ist es in der ersten Phase der multilateralen Klimapolitik hingegen nicht gekommen. Da in dieser Phase allein

die Industriestaaten gefordert waren, mit ihrem Ausstieg ‚voranzugehen', war das für die Operationalisierung des Ziels in Art. 2 auch nicht zwingend erforderlich. Für die Vorbereitung der zweiten Phase dieser Politik (‚Post 2012') aber war sie nötig. Deshalb stand exakt eine solche Verständigung im Zentrum der frühen Bemühungen der Europäischen Union.

Mit einer Verständigung der Staatengemeinschaft über die Gefahr-Formel in Art. 2 UNFCCC ist ergänzend der Zeitpunkt definiert, zu dem der allseits akzeptierte Stopp des Klimawandels zu erreichen ist. Mit einer solchen Verständigung wird über eine Begrenzung des Budgets noch zulässiger THG-Emissionen entschieden – und damit zugleich über die Pfade noch möglicher Nutzungen fossiler Brennstoffe; der Rest hat unter der Erde zu bleiben (Ausnahme: CCS). Entsprechend strittig war der Verhandlungsprozess zur quantitativen Auslegung der Gefahr-Formel in Art. 2. Mit dem Copenhagen Accord (CoP 15, Dezember 2010) aber hat sich die Einsicht durchgesetzt, dass man an einer Festlegung zur Gefahren-Formel nicht länger vorbeikam. Der Beschluss selbst, die Einigung auf das ‚maximal Zwei Grad'-Ziel, ist kategorial bemerkenswert und quantitativ äußerst anspruchsvoll.

Im Folgenden wird zusätzlich zu diesem Ergebnis auch der Verhandlungsverlauf mit skizziert. Das Motiv dafür ist in der Beobachtung begründet, dass vielfach auf Basis von Fehlwahrnehmungen des (nicht immer friktionsfreien) Zusammenspiels von Wissenschaft und Politik, aber auch der politischen Ebenen untereinander, die Größenordnung der Implikationen der Beschlusslage nicht gesehen und damit unterschätzt wird.

2.2.2 Die EU proklamiert im März 2005 das Begrenzungsziel um maximal zwei Grad: Form und Bedeutung

2.2.2.1 Der EU-Beschluss vom 23. März 2005

Vor dem Hintergrund dieses Ausweichens vor der Ernsthaftigkeit der anstehenden Herausforderung auf globaler bzw. kollektiver Ebene wuchs innerhalb der EU die Einsicht: Die Post-2012-Verhandlungen dürfen an der zentralen Stelle, bei der quantitativen Schärfung des Ziels der Klimapolitik, nicht erneut so ausweichen, wie es zum Zulauf auf die Verhandlungen zum Kyoto-Protokoll in den frühen 1990er Jahren der Fall gewesen war. Sollte es diesmal anders laufen und anders ausgehen, so müssten die Post-2012-Verhandlungen, so die Einsicht, den Begriff „Gefahr" in Art. 2 UNFCCC genauer definieren. Also hat die EU-Kommission einen entsprechenden Vorbereitungsprozess veranlasst – im Ergebnis hat die Europäische Union sich im März 2005 für die Verhandlungen für die Zeit nach 2012 wie folgt positioniert. In einem Beschluss des Europäischen Rates heißt es:

„It confirms that, with a view to achieving the ultimate objective of the UN Framework Convention on Climate Change, the global annual mean surface temperature increase should not exceed 2ºC above pre-industrial levels." (EU Council, 22-23-March 2005)

Damit hat das damals einflussreichste Gremium im Triumvirat der EU, zugleich eine der beiden Doppelspitzen der EU-Legislative, eine Auslegung von Art. 2 Klimarahmenkonvention („ultimate objective") vorgenommen, von der sie will, dass sie für die multilateralen Verhandlungen leitend ist – der andere Teil der Doppelspitze, das Europäische Parlament, hat dies später bestätigt.

Der Wortlaut zeigt Dreierlei:

(i) Die EU hat ihr Begrenzungsziel um maximal zwei Grad als Auslegung von Art. 2 UNFCCC konzipiert.

(ii) Sie hat diese Begrenzung nicht als eine Begrenzung der Ursachen sondern als Begrenzung eines Effekts des anthropogenen Klimawandels definiert – der seinerseits als Bündel von Effekten des Anstiegs der atmosphärischen Konzentration von langlebigen Treibhausgasen definiert ist.

(iii) Das Ziel ist zeitlich unbestimmt, es ist explizit nicht als Begrenzung des Temperaturanstiegs bis Ende des 21. Jahrhunderts formuliert.

Für Europäer und ihre Wissenschaft jedenfalls gilt seitdem: Die Politik hat die Wertentscheidung, zu der sich die Wissenschaft gemäß ihrem Selbstverständnis in aller Regel nicht in der Lage sieht, mit diesem Positionsbezug des Europäischen Rates gefällt. Sie hat sich zu einer Auslegung dieses Schlüsselbegriffs durchgerungen, und das zentrale Werturteil für die Wissenschaft vorgegeben. Der Beschluss ist überzeugend und verpflichtend zugleich.

2.2.2.2 Zielform ‚Begrenzung des Temperaturanstiegs' und Autonomie der Politik

Ein Temperaturbegrenzungsziel impliziert, wann und auf welchem Niveau es zum Stopp für die THG-Konzentration kommen muss. Das Ziel bestimmt zudem, wenn auch nur in einem ungefähren Sinne, den Minderungs-Pfad der globalen Emissionen auf diesen Wert. Präzise gesprochen ‚determiniert' es lediglich (und auch das nur ungefähr) das Volumen unter dem Pfad, nicht wirklich dessen Gestalt in der Zeit. Sieht man von solchen Feinheiten ab, so determiniert das Temperaturbegrenzungsziel mit pragmatisch hinreichender Genauigkeit das Gesamtbudget verbliebener Emissionsrechte und daraus abgeleitet auch den Zwischenschritt im Jahre 2050.

Um die Implikation einer Temperaturbegrenzung, einen Minderungs-Pfad, zu bestimmen bedarf es Klimamodelle, die für diesen Zweck rückwärts zu laufen haben. Emissionsszenarien, üblicherweise Input der Modelle, sind in dieser Verwendungsform kein Input sondern Output. Mit dieser Form der Zielbestimmung begibt die Politik sich in ein Abhängigkeitsverhältnis zur (Klima-)Wissenschaft. Sie geht das ‚Risiko' ein, in ihrem Bereich, also mit dem Begrenzungs-Handeln, nachziehen zu müssen, wenn die Wissenschaft eingestünde, die Zusammenhänge bislang zu ‚optimistisch' bzw. zu stark ‚konservativ' modelliert zu haben. Unabhängig bliebe die Politik nur, wenn sie sich nicht an ‚Umweltqualitätszielen' sondern an Emissionsbegrenzungszielen orientierte.

Die Entscheidung der EU bedeutet somit: Sie hat sich von Klimamodellen abhängig gemacht, insbesondere von ihrem zentralen Parameter, der Klimasensitivität α. Die gibt an, mit welcher Temperaturerhöhung (in ºC) das Klimasystem auf eine Verdoppelung (allein) der Kohlendioxid-Konzentration in der Erdatmosphäre reagiert – der Mensch emittiert aber neben CO_2 weitere langlebige Treibhausgase, ihr Anteil an den aktuellen Emissionen liegt bei etwa 20 %. Die Umrechnung erfordert also die Berücksichtigung aller (sechs regulierten) Treibhausgase, nicht nur die von CO_2. Auch ohne die Hilfe von Klimamodellen ist es möglich, das seitens des EU-Rates formulierte Temperaturziel umzurechnen in maximal erlaubte THG-Konzentrationswerte (ggfls. über die Zeit, also mit ‚überschießenden' Zwischenphasen), sofern das Ziel komparativ-statisch zu verstehen ist, also als asymptotischer Gleichge-

wichtswert, wie er von Klimamodellen ermittelt wird. Die in ihrem Zeitbezug auffällig asymmetrische Formulierung des Zwei-Grad-Ziels: Hinsichtlich des Bezugswertes in der Vergangenheit ist sie relativ präzise determiniert, hinsichtlich der Zukunft aber nicht – hat somit erhebliche praktische Bedeutung.

2.2.2.3 Globale Emissionsminderungsziele, die mit dem EU-Temperaturziel konsistent sind

Die EU hatte sich in ihrem Beschluss vom März 2005 nicht nur zu einer Definition der Grenze für alle bekannt, hinsichtlich der Integrität der kollektiven Lebensgrundlage. Sie hatte überdies, in der Konsequenz einer Logik der Selbstbeschränkung, eine selbstbegrenzende Verpflichtung für die Gruppe der Industriestaaten formuliert, die ‚voranzugehen' sich verpflichtet hat und der sie selbst angehört – in Form eines (maximalen) Emissionspfades.

Hinsichtlich des global noch zulässigen Emissionsbudgets als Ganzem hingegen, hatte der Europäische Rat (auf der Ebene der Staatschefs) sich im März 2005 aber noch gescheut, ein solches anzugeben. Stattdessen galt der Beschluss, den der Rat (der Umweltminister) zwei Wochen zuvor gefasst hatte. Dieser lautete

„… substantial reductions in the order of at least 15% and perhaps by as much as 50% by 2050 compared to 1990 levels;" (EU Environment Council, 8 March 2005)

Zu unterstellen ist, dass diese (erstaunlich große) Spannbreite globaler Reduktionspfade aus dem globalen Zwei-Grad-Ziel auf Basis einer *best guess*-Klimasensitivität[17] abgeleitet worden war, wie sie zur Zeit der Vorbereitung dieses Beschlusses, in 2004 sowie im Frühjahr des Jahres 2005, der aktuellen Beschlusslage des IPCC entsprach – also mit 2,5 °C.

2.2.3 IPCC-Bericht von 2007 impliziert verschärfte globale Emissionszielpfade der EU (AR4 und Heiligendamm)

2.2.3.1 Die neue Sicht des IPCC in 2007

Dies wurde mit AR4, also im Januar 2007, offenbar, als der 4. Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I des IPCC erschien. In ihm wurde der Parameter ‚*best guess*-Klimasensitivität' von bislang 2,5 auf 3,0 °C heraufgesetzt – vgl. Abbildung 2-7. Es handelte sich um eine Änderung des Werts der Klimasensitivität um 20 %. Das war eine der beiden sensationell neuen Aussagen des IPCC in AR4. Die zweite bestand darin, dass im Bericht der WG III die faktischen Emissionen für die Jahre 1998 bis 2004 als weit über den IPCC-Szenarien liegend ausgewiesen wurden. Beides zusammengenommen bedeutete: Das (perzipierte) Problem war um etwa 40 Prozent gegenüber der Diagnose im 3. IPCC-Bericht aus dem Jahre 2001 angestiegen.

[17] Die Klimasensitivität gibt an, in welchem Maße sich die Erdatmosphäre bei Verdoppelung der CO_2-Konzentration gegenüber dem vorindustriellen Wert erwärmt

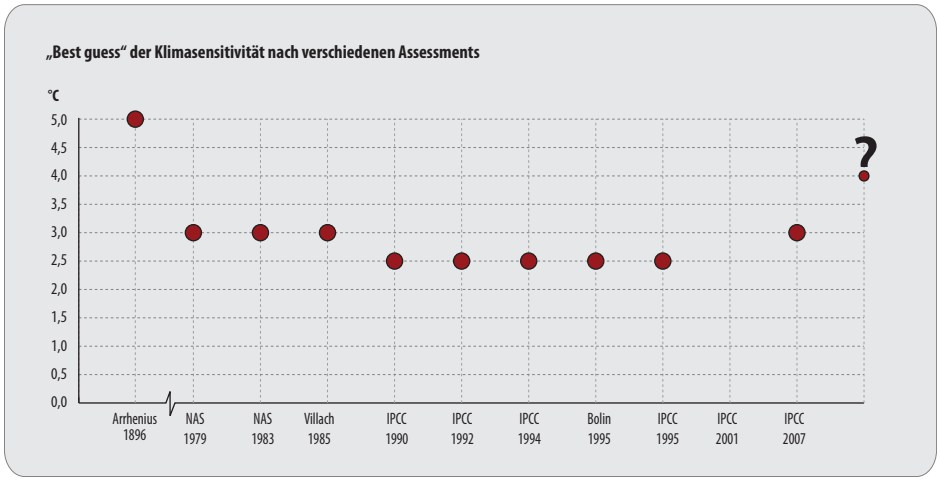


Abbildung 2-7: Entwicklung der ‚best guess'-Klimasensitivität

Quelle: Eigene Darstellung

Damit war eingetreten, was der Struktur wegen zu erwarten gewesen war: Es stand die Notwendigkeit im Raume, eine Korrektur einer politischen Festlegung, in der Dimension ‚Handlungsziele', vorzunehmen, aufgrund einer Änderung der wissenschaftlichen Einschätzungen der Zusammenhänge von Umweltqualität und menschlichem Handeln. Als Konsequenz war die Umrechnung des EU-Positionsbezugs in globale Minderungsziele vom März 2005 notwendig.

Dafür hat die EU kein Verfahren etabliert; also hat sie die Korrektur auf verschlungenen Wegen lediglich vorgenommen und nicht offen als Korrektur ausgewiesen. Die Konsequenz der fehlenden Vorkehrung ist eine (mögliche) Ambivalenz in den EU-Positionen, denen zum Temperaturziel und denen zum globalen Emissionsminderungsbedarf. Für die Interpretation dieser Positionen bedeutet das die methodische Maxime, dass die zum globalen Emissionsminderungsbedarf nicht zum Nennwert genommen werden dürfen; sie sind vielmehr (ggfls.) im Lichte des fachlich erkennbaren Änderungsbedarfs als bereits überholte Positionen zu interpretieren, als Positionen, die lediglich aus legitimitatorischen Gründen noch nicht geräumt wurden sondern perpetuiert werden. Folglich werden sich die Klimaschutzziele der EU in Zukunft weiter verschärfen und sich somit an den aktuellen Stand der Forschung anpassen.

2.2.3.2 Entwicklung der EU-Position zu mit max. + 2 °C äquivalenten Minderungspfaden (global und für Industriestaaten)

Globaler Minderungspfad

Die EU hat ihre Position im Rahmen des Verhandlungsprozesses des G8-Gipfels von Heiligendamm im Juni 2007 von ihrer Ausgangsposition auf zunächst „reductions of around 50% by 2050" (im Beschlussvorschlag) und im Ergebnis auf "at least a halving of global emissions by 2050" hochgeschraubt. Letztere Formulierungen war offensichtlich bewusst vage, so fehlt bei der Minderung bis 2050 das Bezugsjahr. Seitdem aber gilt als EU-Beschlusslage die „mehr als 50%"-Formel.

Im Hintergrund ist offenbar kalkuliert worden, und aus diesen Rechnungen wurde, wie hier unter Kapitel 2.2.3.1 dargestellt, deutlich, dass eine globale Minderung um lediglich 50

Prozent bis 2050 relativ zu 1990 die 2-Grad-Obergrenze nicht mehr erreichbar werden lässt. Deswegen ist das „mehr als“ in der G8-Beschlussformel wichtig.

Allen Beteiligten ist klar, dass die „mehr als 50%“-Formel eine nach oben offene Formulierung darstellt, die signalisiert: Wir haben uns nicht einigen können anzugeben, wo der Wert präzise liegt, aber es ist jedem Partner und Beobachter anheimgestellt, sich dazu selbst ein Urteil zu bilden. Die Beschlusslage auf „minus 50%“ zu verkürzen, wie es regelmäßig geschieht, ist offensichtlich irrig, nicht nur als Zitat, sondern auch naturwissenschaftlich, und das um Größenordnungen.

Dass die offene Formulierung gefüllt werden muss, wurde selbstverständlich auch wahrgenommen. Die wohl prominenteste und kompetenteste Gruppe, die zur unabhängigen Beratung der multilateralen Klimapolitik zur Verfügung steht, die von der UN-Stiftung (und vom Club de Madrid) eingesetzte Gruppe ehemaliger Staatsoberhäupter und Personen vergleichbarer Reputation, hat unter dem Titel „Global Leadership for Climate Action“ in ihrem Vorschlag für ein „Framework for a Post-2012-Agreement“ (vom 10. September 2007) formuliert:

„Scientific experts believe that a temperature rise above 2.0 – 2.5 ºC (450-550 ppm CO_2-equivalent) risks serious impacts. Avoiding such a future requires global greenhouse emissions to peak in the next 10-15 years, followed by substantial reductions of at least 60% by 2050 compared to 1990.“ (p. 1)

Der zweite Satz entspricht beinahe wörtlich dem, was die G8-Präsidentschaft ursprünglich zur Beschlussfassung in Heiligendamm vorgeschlagen hatte – mit dem allein sprachlichen, nicht substanziellen Unterschied nur, der Ersetzung von „around 50%“ durch „at least 60%“.

Minderungspfad für Industriestaaten

Hinsichtlich der Implikationen aus dem Zwei-Grad-Ziel für sich selbst, für die Gruppe der Industriestaaten, kam es in Heiligendamm nicht zu einer Klärung und auch die EU war da lang Zeit zögerlich. Erst im Zulauf zu Posen (CoP 14) hat die EU die „80 to 95 % by 2050 compared to 1990 levels”-Formel beschlossen. Das ist aus der in ‚ranges’-Tabelle des IPCC (WGIII) entnommen (vgl. Abbildung 2-8).

Ein Jahr später, mit dem Beschluss zum Verhandlungsmandat der EU für die Konferenz in Kopenhagen im Dezember 2009, gibt es eine leichte Verschärfung des Beschlusses. Da ist von „emission reductions of at least 80-95% by 2050 compared to 1990 levels” die Rede.

In diesem Beschluss ist der differenzierte Umgang mit der ‚at least’-Formel für die Industriestaaten auffällig. Für diese im Kollektiv wird nun über die IPCC-AR4-Formel “minus 80-95% by 2050” hinausgegangen (und dafür, völlig korrekt, auch der Bezug auf den IPCC vermieden); für den Selbstbezug hingegen, für die EU, wird die ‚at least’-Formel nicht verwendet – die EU zeigt somit auch in diesem Indikator Verabschiedungstendenzen von ihrem einstmals vertretenen Vorreiter-Anspruch. CoP 15 in Kopenhagen hat gezeigt, dass die Verhandlungspartner das auch wahrgenommen haben.

2.2.4 Bali- (CoP 13-) Verhandlungsmandat für ein Post-2012-Abkommen

2.2.4.1 Beschlüsse in Bali (2007, CoP13)

LCA-Verhandlungsstrang (Bali Action Plan)

Der Beschluss von Bali zu den globalen Zielen ist an zwei Stellen zu finden. Erstens unter dem Verhandlungsstrang der Long-Term Cooperative Action (LCA), im Bali Action Plan (BAP). In der dortigen Formulierung des einschlägigen Elements, der ‚Vision', heißt es zunächst einmal nur:

"Recognizing that deep cuts in global emissions will be required to achieve the ultimate objective of the Convention and emphasizing the urgency[1] to address climate change as indicated in the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" (Decision -/CP.13)

Der erste Teil des Satzes stellt inhaltlich lediglich eine Trivialität dar; doch wird da immerhin, wenn auch indirekt, qua Zitat („ultimate objective"), Art. 2 UNFCCC als Kontext des dann Folgenden eingeführt: *urgency.* Die quantitative Substanz zu *urgency* und damit zur Auslegung von Art. 2 UNFCCC steckt in der Fußnote, die einen Hinweis auf Stellen im Beitrag der Working Group III (WG III: Mitigation of Climate Change) zum IPCC-AR4-Bericht enthält. Entscheidend unter diesen Stellen sind zwei Tabellen. Die eine geht zu den globalen Emissions-(Minderungs-) Zielen (in TS Table TS2 (p. 39), wiedergegeben in Abbildung 2-8), die andere zu der Aufteilung dieser kollektiven Ziele auf die beiden Staatenblöcke, also zu den (globalziel-äquivalenten) Minderungszielen der Industriestaaten insbesondere.

Table TS.2*: Classification of recent (Post-Third Assessment Report) stabilization scenarios according to different stabilization targets and alternative stabilization metrics [Table 3.5].*

Category	Additional radiative forcing (W/m^2)	CO_2 concentration (ppm)	CO_2-eq concentration (ppm)	Global mean temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity[a], [b] (°C)	Peaking year for CO_2 emissions[c]	Change in global CO_2 emissions in 2050 (% of 2000 emissions)[c]	No. of assessed scenarios
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000 - 2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000 - 2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010 - 2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020 - 2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050 - 2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060 - 2090	+90 to +140	5
						Total	177

Notes:
a) Note that global mean temperature at equilibrium is different from expected global mean temperatures in 2100 due to the inertia of the climate system.
b) The simple relationships $T_{eq} = T_{2\times CO2} \times \ln([CO_2]/278)/\ln(2)$ and $\Delta Q = 5.35 \times \ln([CO_2]/278)$ are used. Non-linearities in the feedbacks (including e.g., ice cover and carbon cycle) may cause time dependence of the effective climate sensitivity, as well as leading to larger uncertainties for greater warming levels. The best-estimate climate sensitivity (3 °C) refers to the most likely value, that is, the mode of the climate sensitivity PDF consistent with the WGI assessment of climate sensitivity and drawn from additional consideration of Box 10.2, Figure 2, in the WGI AR4.
c) Ranges correspond to the 15th to 85th percentile of the Post-Third Assessment Report (TAR) scenario distribution. CO_2emissions are shown, so multi-gas scenarios can be compared with CO_2-only scenarios.
Note that the classification needs to be used with care. Each category includes a range of studies going from the upper to the lower boundary. The classification of studies was done on the basis of the reported targets (thus including modelling uncertainties). In addition, the relationship that was used to relate different stabilization metrics is also subject to uncertainty (see Figure 3.16).

Abbildung 2-8: Im Bali Action Plan angezogene Tabelle aus IPCC AR4 WGIII zur näheren Bestimmung von ‚urgency'

Quelle: IPCC 2007

Der IPCC sieht sich seinem Mandat gemäß verpflichtet, keine Werturteile zu fällen, sondern nur ‚wenn-dann'-Angaben zu machen. Also kann dort, im Bericht der Working Group III des IPCC, keine Konkretisierung von *urgency* aus dem ‚Menü' von „Kategorien" (‚*ranges*' in dem im Folgenden zitierten Text) abzulesen sein. Anders gesagt: Der (an dieser Stelle im BAP)

erweckte Anschein, die Wissenschaft *in Form des IPCC* für die Quali- bzw. Quantifizierung von Art. 2 UNFCCC in Anspruch zu nehmen, kann nicht der Realität entsprechen, weil das IPCC dazu die Hand nicht reicht.

KP (Kyoto Protocol)-Verhandlungsstrang

Die erforderliche Konkretisierung von *urgency* ergibt sich erst an der zweiten Stelle, aus dem Beschluss im Kyoto Protokoll-Strang der Verhandlungen. Im Original zitiert:

"It noted the usefulness of the ranges referred to in the contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the IPCC and that this report indicates that global emissions of greenhouse gases (GHGs) need to peak in the next 10–15 years and be reduced to very low levels, well below half of levels in 2000 by the middle of the twenty-first century in order to stabilize their concentrations in the atmosphere at the lowest levels assessed by the IPCC to date in its scenarios. Hence the urgency to address climate change." (Hervorhebung H.-J.L.)

Der zitierte Beschluss wählt aus den in Tabelle TS2 (in Abbildung 2-8) gezeigten Kategorien bzw. Zeilen die oberste (Category I) aus und erklärt sie für diejenige, die ‚*urgency*' auslegt. Damit findet sich in dieser Passage zwar keine explizite Erwähnung eines Temperaturziels; mit dem Hinweis aber auf „*at the lowest levels assessed by the IPCC*" ist aus der Menü-('wenn-dann')-Tabelle, welche IPCC in AR4 bietet, die Zeile mit dem niedrigsten zusätzlichen Treibhauseffekt ausgewählt worden. Insofern ist in dem KP-Strang der Verhandlungen Bezug genommen auf ein Temperaturziel, welches zumindest Anklang hat an das Zwei-Grad-Ziel: Anklang lediglich, denn „2.0 – 2.4" ist offenbar nur eine Spannbreite. An ihrem unteren Rand aber immerhin liegt +2,0 Grad. Zugleich ist festzuhalten: Sofern sich die Politik auf das Zwei-Grad-Ziel festlegt und auf die Frage nach den äquivalenten Zielen in Form von maximaler THG-Konzentration, nach dem ‚peak' der Emissionen und nach Minderungszwischenzielen in 2020 und 2050 eine Antwort sucht, ist es nicht wirklich naheliegend, einfach diese Zeile als vom IPCC gleichsam vorfabrizierte Antwort zu nehmen.

Dass beim globalen Emissionsminderungsziel mit der Formel „well below half of levels in 2000" ein Vergleich relativ nur zum Jahr 2000 angestellt worden ist, ist deutlich. Diese Formel ist unschärfer und ist vermutlich auch weniger anspruchsvoll gemeint als die 'at least minus 50% versus 1990'-Formel von Heiligendamm.

Asymmetrische Unsicherheit in der IPCC-Umrechnung von Temperaturzielen in THG-Minderungsziele

Die in Abbildung 2-8 gezeigte Tabelle ist gut bekannt, da sie häufig dahingehend (falsch) 'zitiert' wird, als hier dem IPCC eine Forderung unterstellt wird im Hinblick auf das max. 2 ºC Ziel. Die Tabelle findet sich im Original in IPCC AR4 WGIII im Hauptbericht als Table 3.10, zudem in der Zusammenfassung für Entscheidungsträger als Table SPM.5. In allen drei Stellen ist der Inhalt der Tabelle gleich, die Erläuterungen in den Fußnoten aber sind unterschiedlich. Der zentrale Punkt ist nur in Table SPM.5 angelegt, dort in FN a). Um den Punkt zu verstehen, muss man sehen, dass es sich bei dieser Tabelle insofern um etwas Besonderes handelt, als sie von den Autoren der WG III (nicht etwa der Working Group 1 – The Physical Science Basis - wie man vermuten würde) konstruiert wurde – lediglich auf Basis von Angaben in der Literatur. Es handelt sich um eine Tabelle, die zentral handlungsrelevant ist (wie ihre Zitierung in den politischen Beschlüssen zeigt) und (ii) in der Literatur nicht

vorfindbar sein konnte, weil in ihr die Konsequenz aus dem Beschluss der WGI gezogen ist, die *best estimate of climate sensitivity* auf 3 ºC anzuheben (Hinweis in FN b)). Der Text in der Fußnote lautet:

"The understanding of the climate system response to radiative forcing as well as feedbacks is assessed in detail in the AR4 WGI Report. Feedbacks between the carbon cycle and climate change affect the required mitigation for a particular stabilization level of atmospheric carbon dioxide concentration. These feedbacks are expected to increase the fraction of anthropogenic emissions that remains in the atmosphere as the climate system warms. Therefore, the emission reductions to meet a particular stabilization level reported in the mitigation studies assessed here might[5] be underestimated."

Der ‚disclaimer' sagt also, dass die Werte in der Tabelle möglicherweise eine Unterschätzung der Minderungsnotwendigkeit für ein gegebenes *radiative forcing* oder CO_2-eq-Konzentrationsziel darstelle – und damit auch für ein Temperaturziel. D.i. ein sehr bemerkenswerter Hinweis auf eine vorliegende asymmetrische Unsicherheit. Der Hinweis, dass die Ergebnisse der Klimamodellierung die äquivalente Minderungsnotwenigkeit, wegen des positivistischen Verständnisses der Community, unterschätzend angeben, ist im IPCC-Bericht selbst zu finden. Hinzu kommt nun, dass im Synthesis Report (SYR), der im Dezember 2007, als letzter in der Reihe, herauskam, diese Unterschätzung auch noch quantifiziert zu finden ist.

Auch der SYR druckt die Tabelle wieder ab, als Table 5.1 (p. 67). Im erläuternden Text auf der Seite (nicht in der FN zur Tabelle) findet sich die quantitative Angabe: Bei Berücksichtigung von Rückkopplungen des Kohlenstoffkreislaufs zur Erreichung desselben Temperaturziels (sci: die nicht berücksichtigt sind, wohl aber bestehen) sei die Minderungsnotwendigkeit um 27 % höher als in der Tabelle ausgewiesen. Wörtlich heißt es:

"Feedbacks between the carbon cycle and climate change affect the required mitigation and adaptation response to climate change. Climate-carbon cycle coupling is expected to increase the fraction of anthropogenic emissions that remains in the atmosphere as the climate system warms (see Topics 2.3 and 3.2.1), but mitigation studies have not yet incorporated the full range of these feedbacks. As a consequence, the emission reductions to meet a particular stabilisation level reported in the mitigation studies assessed in Table 5.1 might be underestimated. Based on current understanding of climate-carbon cycle feedbacks, model studies suggest that stabilising CO_2 concentrations at, for example, 450ppm[31] could require cumulative emissions over the 21st century to be less than 1800 [1370 to 2200] $GtCO_2$, which is about 27% less than the 2460 [2310 to 2600] $GtCO_2$ determined without consideration of carbon cycle feedbacks. {SYR 2.3, 3.2.1; WGI 7.3, 10.4, SPM}." (p. 67) (Hervorhebung H.-J.L.)

Angegeben wird, nach Ausweis der Tabelle in Abbildung 2-8, ein zu etwa 2,8 Grad äquivalentes Budget in Höhe von 2.460 $GtCO_2$ (ohne *carbon cycle feedbacks*) bzw. 1.800 (mit *carbon cycle feedbacks*, also tendenziell realistisch) für 2000-2100. Diese Zahlen werden hier hervorgehoben, um sie unten in Beziehung zu setzen zu den Budget-Werten, die der WBGU (WBGU 2009) im Sommer 2009 publiziert hat.

Politisch, im KP-Strang des Bali-Mandats für ein Post-2012-Abkommen unter der UNFCCC, wurde entschieden, Bezug zu nehmen auf den IPCC mit seiner Tabelle, welche (äquivalente)

THG-Konzentrationsziele und -Minderungspfade verbindet. Für die Einschätzung der Bedeutung dieser Entscheidung ist festzustellen: Die Politik hat sich auf eine (vermeintliche) Äquivalenzbeziehung festgelegt. Von ihr wird im IPCC-Bericht selbst – allerdings erst im Dezember 2007, somit zeitgleich zur Konferenz in Bali – mitgeteilt, dass es sich nicht um eine wirkliche Äquivalenz handelt sondern um eine Unterschätzung der äquivalenten Mitigationsambition. Damit ist der Politik somit vom IPCC noch in letzter Minute der Zwang zur Nachjustierung gleichsam ‚untergeschoben' worden. Die globale Klimapolitik steht nun vor einem ähnlichen Problem, wie es die EU mit ihren Zielen nach der Publikation des AR4-Berichts des IPCC hatte.

Mitigationsziele für Annex I Parties als Gruppe

Die äquivalenten Mitigationsziele für die Gruppe der Industriestaaten, die unter dem KP-Strang des Verhandlungsmandats von Bali beschlossen worden sind, finden sich in der folgenden Textpassage:

"… the AWG recognized that the contribution of Working Group III to the AR4 indicates that achieving the lowest levels assessed by the IPCC to date … would require Annex I Parties as a group to reduce emissions in a range of 25–40 per cent below 1990 levels by 2020 ..." (FCCC/KP/AWG/2007/5)

Box 13.7 The range of the difference between emissions in 1990 and emission allowances in 2020/2050 for various GHG concentration levels for Annex I and non-Annex I countries as a group[a]

Scenario category	Region	2020	2050
A-450 ppm CO_2-eq[b]	Annex I	–25% to –40%	–80% to –95%
	Non-Annex I	Substantial deviation from baseline in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally-Planned Asia	Substantial deviation from baseline in all regions
B-550 ppm CO_2-eq	Annex I	-10% to -30%	-40% to -90%
	Non-Annex I	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia	Deviation from baseline in most regions, especially in Latin America and Middle East
C-650 ppm CO_2-eq	Annex I	0% to -25%	-30% to -80%
	Non-Annex I	Baseline	Deviation from baseline in Latin America and MIddle East, East Asia

Abbildung 2-9: Im Bali Action Plan angezogene Tabelle mit (Zwei-Grad-Ziel äquivalenten) Emissionsminderungszielen

Quelle: IPCC AR4 WGIII Chap. 13, p. 776

Das heißt: Beim (äquivalenten) Emissionsminderungsziel (für Industriestaaten) fehlt (im KP-Strang) die Formel für ein Minderungsziel bis 2050. Es fehlt, was in der Fußnote im Bali Action Plan, also im LCA-Verhandlungsstrang, qua Verweis angegeben ist. Dort ist nämlich auf die Tabelle bzw. die Box, die hier in Abbildung 2-9 wiedergegeben ist, verwiesen worden, und die gibt nicht allein Werte für 2020 sondern auch die Werte für 2050 an.

2.2.5 Akzeptanz des Zwei-Grad-Ziels

Die Formulierung im Copenhagen Accord gilt als die globale Anerkenntnis des Zwei-Grad-Ziels – die deutsche Bundesregierung betont das sogar als ‚mindestens'-Beschluss. Die entsprechende Passage (No. 1) lautet:

"To achieve the ultimate objective of the Convention to stabilize greenhouse gas concentration in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system, we shall, recognizing the scientific view that the increase in global temperature should be below 2 degrees Celsius, on the basis of equity and in the context of sustainable development, enhance our long-term cooperative action to combat climate change."

Vorbereitet wurde die Einigung auf das Zwei-Grad-Ziel beim G8-Treffen in L'Aquila 2009, dem ersten nach Ablauf der Ära Bush in den USA. Die nun mögliche Einigung wurde dort wiederum vorbereitet durch das Major Economies Forum on Energy and Climate (MEF). Der G8-Beschluss von L'Aquila folgt dem mit überwiegend demselben Wortlaut. Lediglich an einer Stelle gab es eine Verschärfung: Die G8-Staatschefs sahen einen „broad scientific view"; das „broad" aber fand keinen Eingang in den Copenhagen Accord.

Diese ‚Abmagerung' ist kein Zufall. Sie deutet vielmehr an, dass es um den Konsens von L'Aquila und also dem im Copenhagen Accord nicht so einmütig bestellt ist, wie von der PR der Industriestaaten uni sono verkündet. Einen Eindruck davon, was führende Entwicklungsländer zu dem angeblichen Konsens denken, vermag das Statement des indischen Chef-Unterhändlers bei den Klimaverhandlungen, Shyam Saran, direkt im Anschluss an das Treffen in L'Aquila zu vermitteln:

"What the Declaration recognizes is a prevalent scientific assessment, uncertain as that might be, and says it should be taken into account in our negotiations. There is no acceptance of any definitive cap on temperatures ..." (The Economic Time (Indian Newspaper), 17. 7. 2009)

2.2.6 Bewegung in der Wissenschaft (außerhalb IPCC): WBGU-Budgetansatz und Meinshausen-Nature-Paper

2.2.6.1 WBGU

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat im Sommer 2009 einen neuartigen Ansatz zur Bewältigung des Klimaproblems vorgestellt: den Budgetansatz. Darin wird das verbliebene Budget (lediglich von CO_2 aus fossilen Quellen) wie folgt bestimmt:

„Zur Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C muss die Menge an weltweit ausgestoßenem CO_2 aus fossilen Brennstoffen limitiert werden. Die CO_2-Emissionen müssen wegen ihrer gewaltigen Menge und ihrer langen Verweildauer in der Atmosphäre im Zentrum des Klimaschutzes stehen. Der WBGU schlägt deshalb eine verbindliche Obergrenze in Form eines CO_2-Budgets vor, das global bis 2050 emittiert werden darf. Je höher die Wahrscheinlichkeit sein soll, die Erwärmung auf 2°C zu beschränken, desto kleiner ist das globale Budget. Der WBGU schlägt für den Zeitraum 2010–2050 ein Globalbudget von 750 Mrd. t CO_2 vor. Damit ließe sich die Klimaerwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Dritteln auf 2°C begrenzen." (WBGU 2009)

Der Ansatz zeichnet sich durch einige Stilisierungen aus. Er fokussiert allein CO_2-Emissionen – mittels einer Annahme über einen recht anspruchsvollen Rückführungspfad der (LULUCF-)Emissionen aus Entwaldung ergibt sich daraus ein verbleibendes Budget für CO_2 aus fossilen Quellen. Die Budgets von CH_4, N_2O sowie für die Gruppe der technischen

Gase (HFCs, PFC, SF_6) sind zwar nicht (quantitativ) integriert sind, sind aber zuvor (sachgerecht) auf rund ein Drittel abgeschätzt und vom THG-Budget abgezogen worden.[18]

Das so bestimmte Restbudget an CO_2 aus fossilen Quellen ist aufgeteilt auf drei Ländergruppen, gemäß einer Gerechtigkeitsformel pro Kopf – bezogen auf die Bevölkerung im Jahr 2010. Das Ergebnis im Zeitablauf ist in Abbildung 2-10 gezeigt.

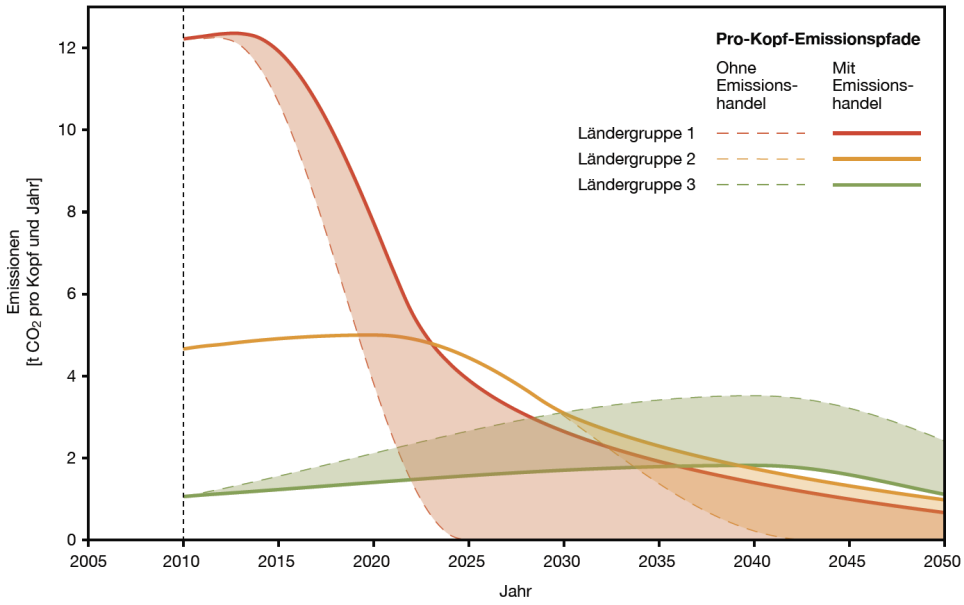


Abbildung 2-10: Beispiele für Pro-Kopf-Emissionsverläufe von CO2 aus fossilen Quellen für drei Ländergruppen nach dem Budgetansatz.

Quelle: WBGU 2009

Die Pointe des in Abbildung 2-10 Gezeigten ist nun, dass die Erbringung von Emissionsreduktionsverpflichtungen seitens der Industriestaaten qua ‚offsetting', qua Emissionshandel, eine Option lediglich für eine (Übergangs-) Zeitperiode ist. ‚In the long run', d.h. ab etwa 2050, haben sämtliche Reduktionen territorialstaatlich vollzogen zu sein – der interterritoriale Ausgleich qua Emissionshandel hat dann im wesentlichen seine Schuldigkeit getan zu haben.

2.2.7 Die mehrdimensionale Struktur der gesellschaftlichen Herausforderung: Wettlauf in die post-fossile Industriegesellschaft

Mit dem Ziel „Beendigung des Klimawandels" sowie dem Zwei-Grad-Ziel ist Viererlei gesetzt. Direkt gilt,

(i) dass die Emissionen langlebiger Treibhausgase (THG) bis 2050 auf (nahe) Null herunterzufahren sind. Von den 50 Gt/a an Emissionen stammen etwa 60 % aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Das langfristig noch zur Verfügung stehende geringe THG-Kontingent wird man für die Erzeugung von Lebensmitteln für knapp 9 Mrd. Menschen benötigen. Also werden insbesondere die fossilen Brennstoffe ihre heutige Funktion verlieren. Sie werden zu einem guten Teil unter der Erde bleiben müssen. Was heute den Status von Reserven

[18] Die Budget-Ableitung basiert auf dem Beitrag von Meinshausen et al.: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 ºC. In: Nature, (Vol 458) 30. April 2009, pp. 1158-1162 (Meinshausen et al. 2009)

fossiler Energieträger hat, wird den Status zum Teil dadurch verlieren, dass es nicht, wie bislang, zu Tage gefördert wird.

Hinzu kommen aber die für das Klimaproblem so charakteristischen Komplementaritäten. Weitergehend gilt Folgendes.

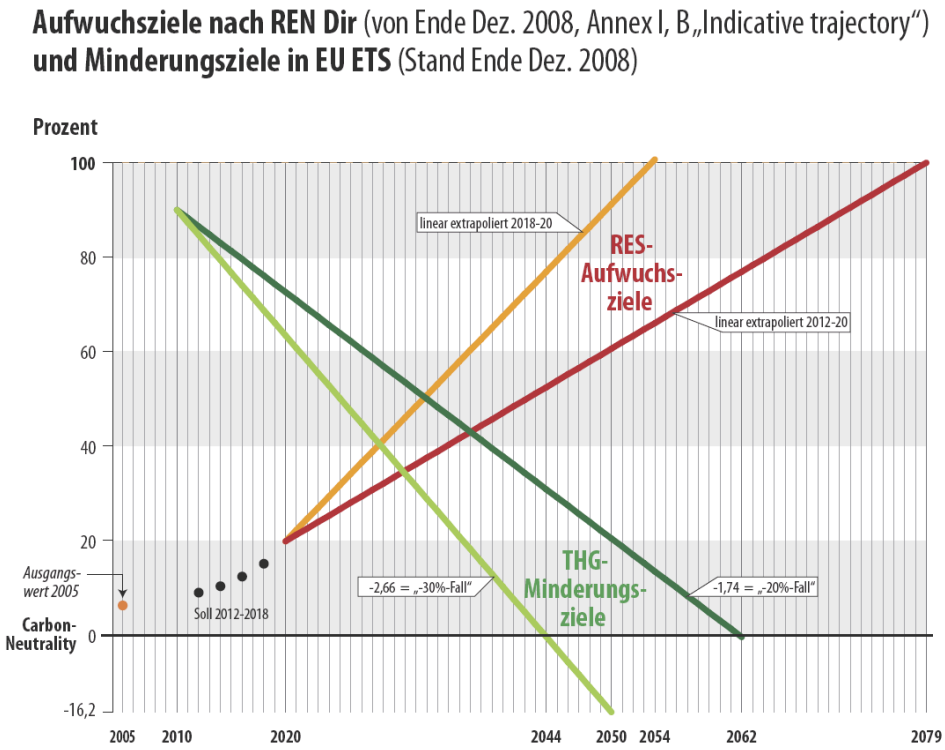


Abbildung 2-11: Die Komplementarität von (Klima-)Mitigations- und Erneuerbaren-Aufwuchs-Zielen, am Beispiel EU

Quelle: Eigene Darstellung

(ii) Technologisch: Zu dem Heraus aus den Treibhausgasen gibt es ein Hinein in X und für X stehen im Wesentlichen erneuerbare Energien. Zugleich zeigt dies, dass das Heraus aus den Treibhausgasen wesentlich steht für die Trias (a) Heraus aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, (b) Heraus aus den zu deren Nutzung erforderlichen Technologien sowie (c) Heraus aus den Standorten und Regionen, die aus ihren fossilen Brennstoffen Wertschöpfung generieren. Das ‚Hinein' in die Technologien zur Herstellung von „Endenergieträgern aus erneuerbaren Quellen" wird umgesetzt in einem eigenen, zur (Klima-)Mitigationspolitik komplementären Politikzug, in der EU gestaltet in der ‚Erneuerbare Energien'-Richtlinie.[19] Die komplementäre Struktur ist in Abbildung 2-11 anschaulich gemacht. Vergleichbares findet sich in der Gesetzgebung in den USA auf Bundesebene, die dort im Kongress ansteht.

(iii) Wirtschaftlich: Der Umfang an fossilen Brennstoffen, der unter der Erde zu bleiben hat, stellt für deren Eigner hohe Opportunitätskosten dar. Diese Vorkommen werden definitiv entwertet. Doch ihrer Entwertung steht eine Wertschöpfung gegenüber, nämlich die aus der Hinwendung zu den erneuerbaren Energien. Es geht um die Neuschaffung der Industriegesellschaft, nun in zweiter Auflage, des post-fossilen Typs. Für die Realisierung des ersten Typs haben die Industriegesellschaften etwa 160 Jahre gebraucht und schon dieses Tempo

[19] Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

hat etliche Überhitzungen und also Blasen und Wirtschaftskrisen mit sich gebracht. Die Tempo-Ambition des zweiten Anlaufs macht deutlich, dass es im zweiten Anlauf nicht anders sein wird, eher noch prononcierter. Dies wird daran deutlich, dass der Wandel nun in 40 Jahren vollbracht sein soll, also rund viermal so schnell wie im Fall des historischen Vorbilds.

(iv) Finanziell: Der Entwertung der Vermögen investierter Interessen steht aber nicht nur der prospektive Vermögensaufbau derjenigen Investoren gegenüber, die neu und in die Zukunft zu investieren die Freiheit haben. Gegenüber steht zudem die Finanzmittelbeschaffung, die mit dem Zentralinstrument der Klimapolitik verbunden ist. Das Heraus aus den Treibhausgasen soll, der Breite des Problems wegen, wesentlich mit Hilfe eines recht abstrakten Instruments erreicht werden, nämlich dadurch, dass die bislang kostenlos zur Verfügung gestellte Deponie Erdatmosphäre in Zukunft nur noch gegen Entgelt zur Verfügung steht. Sie soll von den Territorialstaaten bzw. ihrer Gemeinschaft angeeignet werden, damit die wirkliche Knappheit in den Kalkülen der (potentiellen) Nutzer qua Preis auch ankommt. Sie haben Entgelte zu zahlen und für die Erträge daraus gibt es nur ein einziges Subjekt, das legitimiert ist, diese in Empfang zu nehmen: Die Staaten bzw. ihre Fisci als Vertreter der Allgemeinheit.

Aufgrund dieser Vorgaben gibt es bereits zahlreiche Aktivitäten zur Formulierung ambitionierter langfristiger Klimaschutzziele und damit korrespondierender Aktivitäten, z.B. das Low Carbon Society Research Network (G 8-Ebene). Für Nordrhein-Westfalen liegen Langfristbetrachtungen bisher nicht vor.

3 Darstellung der langfristigen Trends in der Energiestruktur

In diesem Kapitel werden auf Basis vorliegender Studien die heute diskutierten langfristigen Entwicklungstrends in der Energiestruktur Deutschlands dargestellt. Dabei gilt das besondere Augenmerk der Übertragbarkeit auf Nordrhein-Westfalen. Ziel ist es, durch einen Literaturüberblick und -vergleich verschiedene Klimaschutzstrategien innerhalb des Energiesystems zu identifizieren, die aus heutiger Sicht für die Sichtweise bis 2050 relevant sind. Dabei sollen vor allem auch solche Strategieelemente herauskristallisiert werden, die bei allen Unterschiedlichkeiten der Szenarien als robust gelten können. Diese Betrachtung baut auf einer Kurzstudie des Wuppertal Instituts im Auftrag des damaligen Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen aus dem Jahr 2009 auf (Wuppertal Institut 2009a). Die Ergebnisse dieser Studie wurden für dieses Kapitel aktualisiert und auf Grundlage zusätzlicher Studien ergänzt.

3.1 Kurze Vorbemerkung zum Umgang mit Szenarien

In fast allen im Rahmen dieses Berichtes untersuchten Studien werden Szenarien mit Langfristhorizonten entwickelt. Szenarien sind Werkzeuge, die auf einer definierten Grundlage verschiedene Zukünfte miteinander vergleichen, um die Auswirkungen heutiger Entscheidungen und Entwicklungstendenzen auf der Basis einer in sich konsistenten Datengrundlage sichtbar zu machen. Im Gegensatz zu Prognosen streben sie nicht an, die wahrscheinlichste Zukunftsentwicklung zu beschreiben sondern stellen bewusst unterschiedliche mögliche Zukunftsentwicklungen dar. Szenarien ermöglichen es, für spezifische Fragestellungen Antworten zu finden und Entwicklungs- und Handlungskorridore darzustellen. In einem Szenario werden jeweils bestimmte Rahmenbedingungen angenommen, die in der Realität eintreffen können, aber nicht müssen. Diese Rahmenbedingungen (z. B. Wirtschaftswachstum, Ölpreis, CO_2 -Zertifikatspreis) spielen eine zentrale Rolle und sind häufig ausschlaggebend für die Ergebnisse. Deswegen werden in dieser Studie die wichtigsten Rahmenbedingungen der betrachteten Szenarien zum Vergleich dokumentiert. So wird sich zum Beispiel ein höherer Anteil von erneuerbaren Energien in der Zukunft auf die CO_2 -Zertifikatspreise und auf den Anteil anderer Energieerzeugungsarten auswirken.

Die Vorgehensweise bei einer Szenarienerstellung beginnt häufig mit der Ableitung eines Basisszenarios, das eine bestimmte Entwicklung für die Zukunft beschreibt. In diesem Basisszenario[20] werden häufig historische Trends in die Zukunft fortgeschrieben und die Implementierung der schon beschlossenen politischen Maßnahmen angenommen, aber darüber hinaus keine weiteren Maßnahmen unterstellt.

Auf Grundlage dieser Basisszenarien werden alternative Szenarien erstellt, in denen zur Beschreibung der Handlungsmöglichkeiten einzelne Parameter geändert und deren Aus- und Rückwirkungen auf die Zukunft untersucht oder ganz konkrete Ziele vorgegeben werden (z.B. Klimaschutzziele). Bilden die den Szenarien zugrunde liegenden Modelle das gesamte Energiesystem ab, so liegt die Stärke der Methode vor allem in der Erfassung von Systeminterpendenzen.

[20] Häufig werden Basisszenarien auch als Business-as-Usual (BAU)-Szenarien oder Baseline-Szenarien bezeichnet.

Von diesen „alternativen“ Szenarien sind in den betrachteten Studien jeweils mehrere enthalten. In der vorliegenden Analyse wurden jeweils die Szenarien einer Studie betrachtet, die zu dem Erkenntnisziel der Analyse den größten Beitrag zu leisten vermögen.

Das Ziel der hier vorliegenden Analyse ist es, aus den Szenarioergebnissen die wichtigsten Treiber der zukünftigen Entwicklung zu identifizieren, die robusten Entwicklungspfade abzuleiten (unter Berücksichtigung von Klimaschutzvorgaben) und Auswirkungen auf die heutigen politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen darzustellen.

3.2 Übersicht über die betrachteten Studien

Es wurden die wichtigsten nationalen Szenariostudien der vergangenen zwei Jahre in die Untersuchung einbezogen. Darüber hinaus wurden weitere aktuelle Studien betrachtet, um ein möglichst umfassendes Bild zu erhalten. Der Fokus liegt auf Studien, welche die nationale Ebene betrachten. Zur Abrundung des Bildes wurde zusätzlich eine Studie mit globalem/EU27-Rahmen betrachtet. Bei der Studienanalyse fällt auf, dass sich die Mehrzahl der Studien mit dem Zeitraum bis 2020/2030 befasst, während es nur wenige Untersuchungen bis 2050 gibt. Diese langfristigen Studien haben als zentrale Fragestellung das Erreichen von Klimaschutzzielen, die zu den wenigen Zielen gehören, die über einen solch langen Zeitraum definiert sind. Gerade für den Bereich der Energie- und Klimapolitik ist jedoch eine Betrachtung von mehr als ein oder zwei Jahrzehnten notwendig, da insbesondere Kraftwerke und Energienetze eine Lebensdauer von bis zu 50 Jahren haben und so Entscheidungen, die in den nächsten 10 Jahren getroffen werden, auch Auswirkungen auf den Zeitraum bis 2050 oder sogar darüber hinaus haben. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass heute schon eine Vorstellung für das Jahr 2050 entwickelt werden muss, damit nicht jetzt schon Entscheidungen getroffen werden, die das Erreichen von Zielen in 2050 unmöglich machen bzw. erschweren.

Folgende Studien wurden zur Betrachtung herangezogen:

- Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009 (BMU 2009a)
- Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken (WWF 2009)
- Energiezukunft 2050: Teil II – Szenarien (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (Ffe) 2009)
- ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts (Fraunhofer-ISI 2009)
- Politikszenarien für den Klimaschutz V – Auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030 (Umweltbundesamt 2009b)

Darüber hinaus wurde eine weitere Studie für Einzelaspekte herangezogen:

- Greenpeace: Klimaschutz: Plan B 2050 – Energiekonzept für Deutschland (Greenpeace 2009)

3.2.1 Leitszenario 2009

Bearbeiter: Dr. Joachim Nitsch, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)

Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Erschienen: August 2009

Betrachteter Zeitraum: 2005 bis 2050

Betrachtetes Energiesystem: Deutschland

Ziel der Studie: Darstellung, unter welchen Rahmenbedingungen das Ziel erreicht werden kann, bis 2050 die CO_2-Emissionen in Deutschland gegenüber 1990 um 80 % zu senken.

Anzahl der Szenarien: 1

Szenariobeschreibung

Zentrale Gestaltungselemente sind

- Substantieller Ausbau der erneuerbaren Energien
- Deutlich erhöhte Endenergieeffizienz in allen Sektoren
- Erhöhte Umwandlungseffizienz durch einen verstärkten Ausbau der KWK und Ersatz von Altkraftwerken
- Ausstieg aus der Kernenergienutzung

Zentrale Ergebnisse

Die wichtigsten Bereiche zur CO_2-Minderung sind der Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich und die Effizienzsteigerung im Wärmebereich, insbesondere im Gebäudebestand. Die Effizienzsteigerung im Strombereich folgt an dritter Stelle vor dem Ausbau der KWK. Erst dann kommt die Effizienzsteigerung im Verkehr und der Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmebereich. Insgesamt haben Effizienzsteigerungen bis 2020 eine höhere Bedeutung für die CO_2-Minderung als der Ausbau der erneuerbare Energien. Bis 2050 nähert sich die CO_2-Minderung beider Bereiche einander an (Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Vergleich der CO_2-Minderungen bis 2050 von zentralen Strategien im Leitszenario 2009

Maßnahme	CO_2-Minderung bis 2050
Ausbau der EE im Strombereich	75 - 80 Mio. t
Effizienzsteigerung im Wärmebereich (80 % Maßnahmen im Gebäudebereich)	75 - 80 Mio. t
Effizienzsteigerung im Strombereich	60 Mio. t
KWK-Ausbau (inkl. Brennstoffwechsel und höhere Wirkungsgrade von Neukraftwerken)	45 Mio. t
Effizienzsteigerung im Verkehr	20 - 25 Mio. t
EE-Ausbau im Wärmebereich	20 - 25 Mio. t

Quelle: BMU 2009a

Zusätzlich zu der Erreichung der gesetzlichen Klimaschutzziele verringert sich die Menge an importierten Energieträgern durch den verstärkten Einsatz heimischer Energie und die sinkende Nachfrage. Im Jahr 2020 werden 1700 PJ/a weniger fossile Energieträge benötigt, als dies ohne den Ausbau der erneuerbaren Energien seit 1995 der Fall wäre. Dieser Wert steigt bis 2050 auf nahezu 3 500 PJ/a[21].

Aussagen zu strukturellen Änderungen im Energiesystem

Das Leitszenario geht von einer deutlichen strukturellen Umstellung insbesondere der Stromversorgung und des Energiesystems aus, um den steigenden Anteil der erneuerbaren Energien in das System integrieren zu können. Es bleiben weiterhin zentrale Komponenten im System vorhanden, insbesondere große Offshore-Windenergie-Parks in der Nord- und Ostsee sowie eine Anbindung an Stromerzeugung durch zentrale Solarwärmekraftwerke (CSP – Concentrated Solar Power) in Nordafrika. Der Anteil des Stromimportes aus erneuerbaren Energien beträgt langfristig etwa 20 %.

CCS spielt in dem Szenario ansatzgemäß keine Rolle.

Es wird von einem Anteil elektrobetriebener PKW von 2,2 % an der Gesamtfahrleistung des Individualverkehrs in 2020 ausgegangen, was etwa 1 Mio. Elektrofahrzeuge entspricht. Bis 2050 steigt ihr Beitrag auf 12 % bzw. rund 5,5 Mio. Fahrzeuge. Auch Wasserstoff spielt im Verkehr im Leitszenario in 2050 eine Rolle, 11 % der Energie im Verkehrssektor wird dann durch diesen Energieträger bereitgestellt. Der Anteil von Biokraftstoffen liegt dann bei 16,2 %, von Strom für Elektromobilität im Straßenverkehr bei 2,1 %.

3.2.2 Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050

Bearbeiter: Dr. Felix Matthes (Öko-Institut) und Dr. Almut Kirchner (prognos)

Auftraggeber: WWF Deutschland

Erschienen: Oktober 2009

Betrachteter Zeitraum: 2005 - 2050

Betrachtetes Energiesystem: Deutschland

Ziel der Studie: Untersucht wird, was technisch passieren kann und muss, um bis 2050 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 95 % gegenüber 1990 zu erreichen. Dafür werden in der Studie Pfade für die Emissionsentwicklung technisch/wirtschaftlich und politisch/strategisch untersucht.

Anzahl der Szenarien: 2 plus Varianten

Szenarienbeschreibung

Referenzszenario:

- Ambitionierte Fortsetzung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik

[21] Stand 2008: 750 PJ/a

- Vorhandene energiepolitische Instrumente im Bereich der Energieeinsparung, der erneuerbaren Energien sowie der Kraft-Wärme-Kopplung werden weitergeführt.
- Die Gebäudestandards werden sukzessive verschärft, erneuerbare Energien zur Erzeugung von Raumwärme werden im Neubau und im Bestand verstärkt eingesetzt.
- Effizienztechnologien werden konsequent und effektiv weiterentwickelt und verbreiten sich schnell im Markt.
- Der spezifische Verbrauch von Fahrzeugen wird weiter abgesenkt. Im PKW-Bereich werden Hybridfahrzeuge, Plug-in-Hybride und Elektroautos allmählich in den Markt eingeführt. Die Beimischung von Biokraftstoffen wird vorgeschrieben.
- Wesentliche Weiterentwicklungen gibt es bei den erneuerbaren Energien: die Solarstromerzeugung aus Dünnschichtzellen wird weiterhin billiger; Windkraftanlagen werden aufgrund besserer kurzfristiger Prognostik ertragssicherer
- Biomasseprozesse werden moderat effizienter, die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz wird weiter ausgebaut.
- Bis 2050 wird eine THG-Reduktion um 45 bis 50 % erreicht (je nach Variante)

Innovationsszenario:

- Umbau hin zu einer emissionsarmen Gesellschaft (Reduktion der THG-Emissionen gegenüber 1990 um 86 bis 87 % bis 2050)
- Der Raumwärmebedarf wird sukzessive auf nahezu Null reduziert. Der Energiebedarf von Neubauten sinkt fast auf Null, die energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand verdoppelt sich, verbunden mit ambitionierten Zielwerten für Sanierungen
- Ein großer Teil der wachsenden Güterverkehrsleistungen wird auf die Schiene verlagert. Im motorisierten Personenverkehr wird eine konsequente Elektrifizierung angenommen; diese erfolgt zunächst über Hybridfahrzeuge, dann Plug-in-Hybride und schließlich reine Elektrofahrzeuge.
- Sowohl im motorisierten Güterverkehr, im Personenverkehr als auch im Flugverkehr werden am Ende des Betrachtungszeitraums bis auf Restmengen an Erdgas und Flüssiggas keine fossilen Kraftstoffe mehr eingesetzt, sondern hocheffizient produzierte Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation.
- Er erfolgt eine Innovationsoffensive bei der Technologieentwicklung, besonders bei Werkstoffen und Prozessen. Die technischen Umstellungen führen zu strukturellen Veränderungen der Märkte, zu einer Verstärkung der Dienstleistungstendenz und zu leicht veränderten Branchenstrukturen. Hierdurch wird parallel eine weitere CO_2-Minderung induziert.

Varianten:

Beide Szenarien wurden sowohl „mit CCS“ als auch „ohne CCS“ im Kraftwerksbereich betrachtet. Dabei ist zu beachten, dass CCS-Technologien in beiden Varianten des Innovati-

onsszenarios (also auch im „Innovationsszenario ohne CCS“) für Industrieprozesse zum Einsatz kommen, was als grundsätzliche Notwendigkeit betrachtet wird.

Zusätzliche Variante des Innovationsszenarios: „Modell Deutschland“, hier wird im Jahr 2050 die gewünschte Emissionsreduktion um 94 bis 95 % gegenüber 1990 durch zusätzliche Maßnahmen (über das Innovationsszenario hinaus, siehe unten) erreicht. Pro Kopf belaufen sich die gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 in dieser Szenariovariante auf 0,9 t, wobei sich dieser Wert aus den verbleibenden Treibhausgasemissionen und der Schaffung von zusätzlichen Netto-Senken für CO_2 durch CCS im Bereich der Biomasse (-0,4 t CO_2 je Einwohner) saldiert.

Zentrale Ergebnisse:
Im *Referenzszenario* werden die größten Emissionsminderungen durch die verschiedenen Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz erbracht. Bis 2050 sind darauf etwa 46 % der gesamten Emissionsminderung zurückzuführen, wobei vor allem die Effizienzverbesserungen im Gebäudesektor und in der Industrie entscheidende Beiträge leisten. Ein Anteil von 29 % entfällt auf den Einsatz erneuerbarer Energien.

Im *Innovationsszenario* ergibt sich aus der nochmals verstärkten Energieeffizienz ein Beitrag von 27 % an zusätzlich erbrachten Emissionsminderungen. Entscheidend ist dabei vor allem die massiv erhöhte Effizienz bei Stromanwendungen, die etwa die Hälfte der gesamten zusätzlichen Minderungsbeiträge im Bereich der Energieeffizienz repräsentiert.

Entscheidende Emissionsminderungen sind vor allem durch die massive Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Energien geprägt, die einen Anteil von 37 % der gesamten zusätzlichen Emissionsminderung abdeckt. Dabei entfallen 7 Prozentpunkte auf die indirekten Effekte aus der Elektrifizierung des Verkehrs. Zusätzlich sind die Emissionsminderungen durch die Substitution im Bereich der fossilen Energieträger mit einem Anteil von 13 % der zusätzlichen Emissionsminderungen noch einmal erheblich.

Schlussendlich tragen Maßnahmen im Bereich der CO_2-Senken (CCS in der Industrie) mit etwa 4 % zur zusätzlichen Emissionsminderung bei.

Im *Modell Deutschland* kann der erhebliche Sockel verbleibender industrieller CO_2-Emissionen durch den flächendeckenden Einsatz von CCS für die einschlägigen Industrieprozesse (Roheisenerzeugung, Zementherstellung) noch einmal deutlich zurückgeführt werden. Der verbleibende Prozesswärmebedarf der Industrie sowie die verbliebenen Erdgas- und Heizölanwendungen im Dienstleistungssektor können durch den Einsatz von Biomethan abgedeckt werden. Dies würde eine signifikante zusätzliche Emissionsminderung erbringen, erfordert aber – angesichts der Verfügbarkeitsgrenzen – eine Integration in eine übergeordnete Biomassestrategie bzw. entsprechende Komplementärmaßnahmen im Verkehrssektor, etwa durch einen weitgehenden Ersatz von konventionellen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe im Flugverkehr und einen Import von Biomasse. Zusätzlich müsste mit der Verbringung von CO_2 aus der Biokraftstoffproduktion in geologische Formationen (Biomasse-CCS) eine zusätzliche CO_2-Senke erschlossen werden.

Aussagen zu strukturellen Änderungen im Energiesystem

Die Einführung neuer Stromerzeugungsoptionen wie auch die Schaffung der Kapazitäten für Verkehrsverlagerungen und ggf. CCS bedingen einen langfristigen Vorlauf der jeweiligen

Infrastrukturentwicklung (Transport- und Verteilnetz, CCS-Infrastruktur, Schienennetz). Die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien im „Sonnengürtel“ der Erde und der Import dieses Stroms nach Europa wird ernsthaft verfolgt. Im Innovationsszenario wird nicht prioritär auf diese Option gesetzt, sie ist aber vorhanden. CCS ist eine „Fallback“-Option in der Stromerzeugung, falls der Ausbau der erneuerbaren Energien oder der Fortschritt bei der Steigerung der Effizienz nicht schnell genug voran kommt. Dazu kommt die Entwicklung hoch- und höchsteffizienter Stromspeicher, die den gesamten Größenklassenbereich von portablen Anwendungen über Fahrzeugbatterien bis zu Leistungen von mehreren GW umfassen.

Die individuelle Mobilität wird konsequent und strategisch auf (teilweise, mit Ziel einer vollen) Elektromobilität umgestellt. Dies wird durch Technologieeinführung mit den Zwischenstufen Hybrid und Plug-in-Hybrid umgesetzt. Im Straßengüterverkehr werden 2050 ausschließlich Biokraftstoffe eingesetzt, keine fossilen Kraftstoffe mehr.

Gebäude: Die Standards werden allmählich soweit verschärft, dass Neubauten und Sanierungen bereits ab 2020 auf Passivhausstandard erfolgen und der Heizenergiebedarf bis 2050 auf nahezu Null absinkt (Durchschnitt 5 kWh/m^2/a). Der gesamte Gebäudepark muss bis 2050 auf diese Standards gebracht werden.

3.2.3 Energiezukunft 2050

Bearbeiter: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Auftraggeber: EnBW, E.On Energie, RWE Power, Vattenfall Europe

Erschienen: Oktober 2009

Betrachteter Zeitraum: 2005 - 2050

Betrachtetes Energiesystem: Deutschland

Ziel der Studie: Um eine möglichst fundierte Datenbasis für mögliche Entwicklungen einer nachhaltigen Energieversorgung zu erhalten, sollen ausgehend vom Stand der Technik potenzielle Entwicklungslinien für eine CO_2-arme und nachhaltige Energieversorgung unter Berücksichtigung verschiedener Technologien entwickelt werden.

Anzahl der Szenarien: 3

Szenarienbeschreibung

Referenzszenario: Alle Rahmenbedingungen entwickeln sich den langfristigen Trends und Erwartungen entsprechend. Dieses Szenario entspricht der Referenzentwicklung, aus der die anderen beiden Szenarien abgeleitet werden.

Erhöhte Technikeffizienz: Landesweit werden die vorhandenen Techniken sukzessiv gegen die beste verfügbare Technik ausgetauscht, dadurch wiederum steigt der Innovationsdruck im Bereich energiesparender Geräte, so dass schon nach wenigen Jahren deutlich bessere Techniken verfügbar sind und eingesetzt werden als es im Referenzszenario der Fall wäre. Das Verhalten der Anwender bleibt gegenüber dem Verhalten im Referenzszenario gleich. Die Rahmenbedingungen im Umwandlungssektor sehen folgendermaßen aus:

- Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der KWK beschleunigt sich.
- Die Ziele des IEKP[22] für 2020 werden im Umwandlungssektor erreicht.
- 700 °C-Technologie in Kohlekraftwerken ist bereits ab 2020 einsetzbar.
- CO_2-Abtrennung und Speicherung ist ab 2025 verfügbar.
- Der Ausstiegsbeschluss aus der Kernenergie wird aufgehoben und die Laufzeiten werden auf 40 Jahre erhöht.
- Ab 2020 werden zudem Kernkraftwerke des Typs EPR neu gebaut.

Umweltbewusstes Handeln: Neben dem sukzessiven Austausch der Techniken ändert sich auch das Anwenderverhalten hin zu einem energetisch umsichtigen Verhalten. Neben einer geringen Senkung des Komfortanspruchs wird aktiv über Energieverbrauch nachgedacht und unnötiger Energieverbrauch weitestgehend vermieden.

Im Umwandlungssektor werden für das Szenario die gleichen Randbedingungen wie im Szenario „Erhöhte Technikeffizienz“ angesetzt. Lediglich die Laufzeiten der Kernkraftwerke werden durch Retrofit-Maßnahmen auf 60 Jahre erhöht.

[22] Integriertes Energie und Klimaprogramm der Bundesregierung (Bundesregierung 2008)

Tabelle 3-2: Szenarienüberblick Energiezukunft 2050

	SZ1: Referenz	SZ2: Erhöhte Technikeffizienz	SZ3: Umweltbewusstes Handeln
Zugrunde gelegte Bedarfsdeterminanten	Bevölkerungsentwicklung und -struktur Beschäftigtenanzahl in Gewerbe-Handel-Dienstleistung Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und der Produktionsindizes Anzahl und Struktur der Wohngebäude Verkehrsleistungen für Personen- und Güterverkehr Energieträger- und CO_2-Zertifikatepreise		
Änderung gegenüber Szenario 1		Technikentwicklung: - Höhere Technikeffizienz - geringere CO_2-Emissionen - IEKP-Ziele für Regenerative und KWK werden erreicht - Laufzeit der Kernenergie 40 a, Neubau möglich	
Änderung gegenüber Szenario 1 und 2			Verhaltensänderung: - energiebewusstes Handeln - Senkung des Bedarfs Laufzeit der Kernenergie 60 a

Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2009)

Zentrale Ergebnisse

Erhöhte Technikeffizienz: Große Einsparmöglichkeiten ergeben sich insbesondere im Verkehr und in den Haushalten. Die Raumwärme, in 2005 noch für ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs verantwortlich, reduziert sich bis 2050 auf ein Viertel des gesamten Verbrauchs. Die größte Reduzierung wird in den Sektoren GHD und Haushalte erzielt. Aber auch der Verkehr profitiert von effizienterer Technik. Lediglich die Industrie legt in allen Bereichen der Energieanwendung aufgrund steigender Wirtschaftsleistung zu. Die Minderung der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 beträgt im Jahr 2050 58 %.

Umweltbewusstes Handeln: Insbesondere im Verkehr kann die Energienachfrage durch eine Verhaltensänderung massiv reduziert werden. In der Industrie ergibt sich in Szenario 3 kaum ein anderer Energieverbrauch als in Szenario 2. Die übrigen Sektoren können den Verbrauch jedoch weiter reduzieren. Die CO_2-Minderung gegenüber 2005 beträgt im Jahr 2050 gegenüber 1990 68 %.

Die CO_2-Emissionen der drei untersuchten Szenarien unterschieden sich deutlich. Auch im ambitioniertesten Szenario 3 wird das 80 % Ziel der Bundesregierung für das Jahr 2050 nicht erreicht.

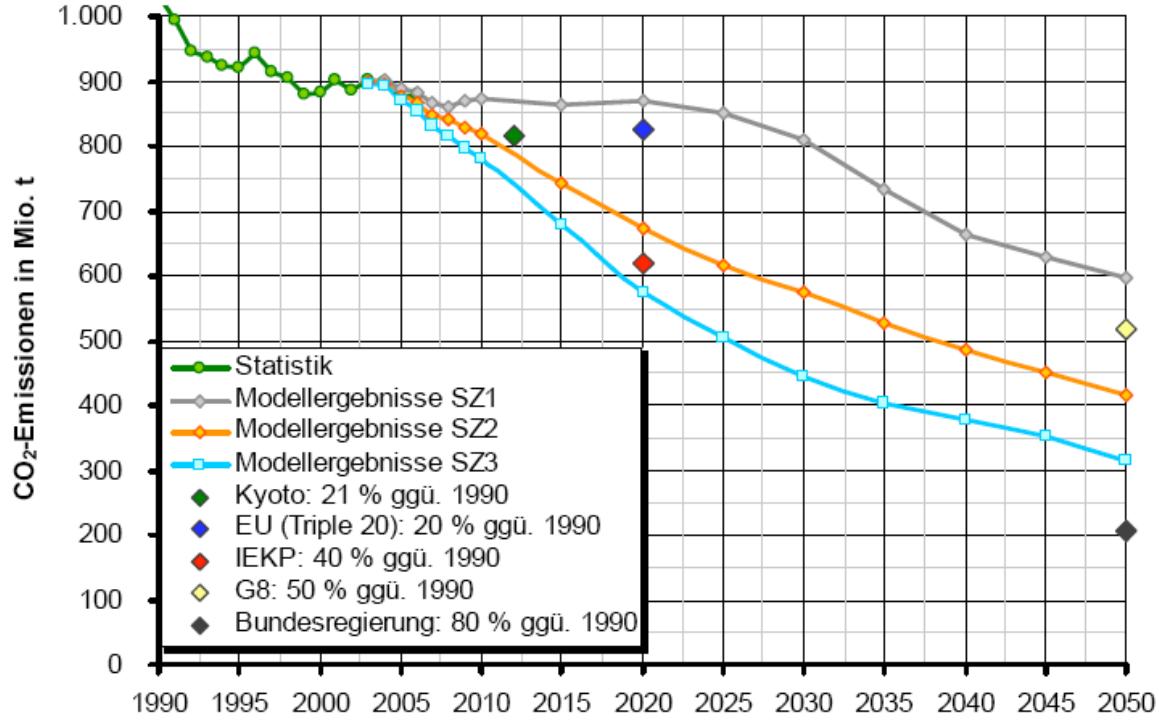


Abbildung 3-1: CO_2-Emissionen der drei Szenarien der Energiezukunft 2050-Studie

Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2009)

Aussagen zu strukturellen Änderungen im Energiesystem

Durch Laufzeitverlängerungen der bestehenden und Zubau von neuen Kernkraftwerken ist CCS in den beiden Szenarien nicht wirtschaftlich und kommt daher auch nicht bzw. nur in sehr geringem Maße zum Einsatz. Es wird ein KWK-Anschlusszwang eingeführt, durch den Strom aus KWK-Anlagen einen Anteil von ca. 40 % an der gesamten Stromerzeugung im Jahr 2050 erreicht.

Im Verkehr wird langfristig Wasserstoff eine bedeutende Rolle spielen, CNG[23] wird als Brückentechnologie dafür angesehen. Ab 2030 werden Brennstoffzellenfahrzeuge in größerer Menge zur Verfügung stehen. Auch Elektrofahrzeuge werden eine wichtige Rolle spielen.

Der Zertifikatehandel wird auf alle Energieträger ausgeweitet.

[23] compressed natural gas (komprimiertes Erdgas)

3.2.4 ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts

Bearbeiter: Fraunhofer ISI; Eberhard Jochem, Wolfgang Schade

Auftraggeber: Europäische Kommission

Erschienen: Juli 2009

Betrachteter Zeitraum: 2005 - 2050

Betrachtetes Energiesystem: Global sowie EU-27 + Norwegen und Schweiz

Ziel der Studie: Identifikation und Untersuchung von Politikinstrumenten zur Treibhausgasemissionsminderung auf Basis einer technisch/ökonomischen Analyse

Anzahl der Szenarien: 3

Szenarienbeschreibung

Referenz-Szenario: Die Politikmaßnahmen des Jahres 2007 werden fortgeführt. Es gibt keine definierten Emissionsminderungsziele für die Jahre 2020 und 2050. Bis 2100 wird eine globale Temperaturerhöhung um 4 Grad angenommen.

450ppm- –Szenario: Einführung eines CO_2-Preises (214€$_{2005}$/t in 2050) als Entsprechung unterschiedlicher Klimaschutzmaßnahmen. Globale Emissionen erreichen ihren Höhepunkt vor 2020, erreichen den heutigen Stand 2030 und sinken auf ein Drittel gegenüber heute bis 2050.

400ppm-Szenario: Wie das vorherige Szenario, CO_2-Preis in 2050 aber bei 405€$_{2005}$/t in 2050. Das Szenario-Ziel ist die Einhaltung des 2-Grad-Zieles.

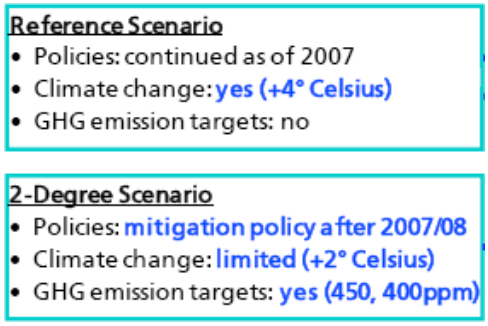


Abbildung 3-2: Betrachtete Szenarien in der ADAM 2-Grad-Studie

Quelle: Fraunhofer-ISI (2009)

Zentrale Ergebnisse

In den beiden Reduktionsszenarien stabilisiert sich Mitte des Jahrhunderts der globale Primärenergieverbrauch auf einem Niveau, das im Vergleich zum Primärenergieverbrauch im Jahr 2000 um 61 % (450 ppm) beziehungsweise um 42 % (400 ppm) höher liegt. Aufgrund der hohen CO_2-Preise verringert sich der Anteil der fossilen Brennstoffe auf etwa die Hälfte am gesamten Primärenergieverbrauch in 2050, erneuerbare Energien und Kernenergie erhöhen ihren Anteil. Die Energienachfrage in den Industrieländern steigt in den Minderungsszenarien leicht bis 2020 und stabilisiert sich dann auf der Höhe des Jahres 2000. Die Energienachfrage in den Entwicklungsländern steigt weiterhin an (Verdreifachung bis 2050), allerdings deutlich geringer als im Referenzszenario.

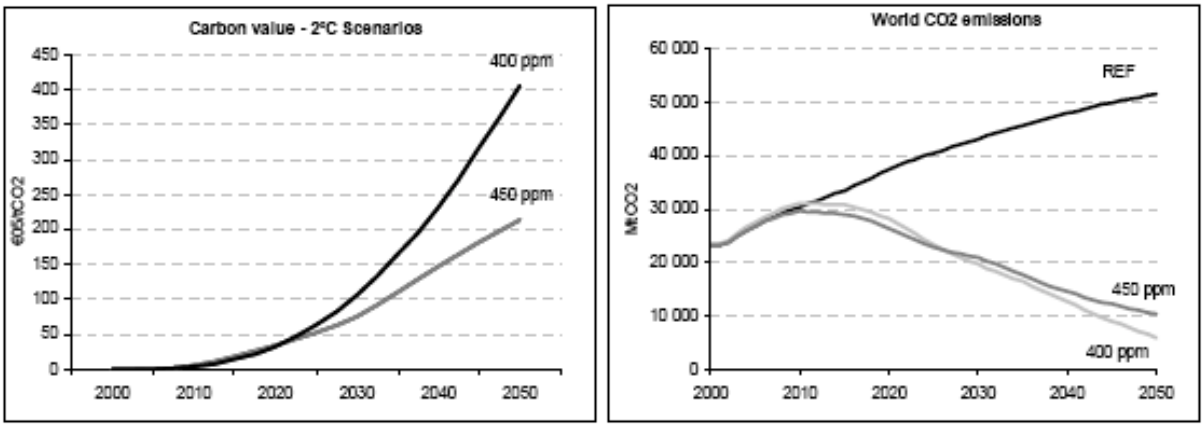


Abbildung 3-3: Globale CO_2-Preise und CO_2-Emissionen im 450 ppm und 400 ppm Szenario

Quelle: Fraunhofer-ISI (2009)

Für Deutschland kommt das Modell in den Klimaschutzszenarien zu dem Ergebnis, dass die Minderung der Primärenergienachfrage bis 2050 im europäischen Vergleich sehr hoch ist (Abbildung 3-4).

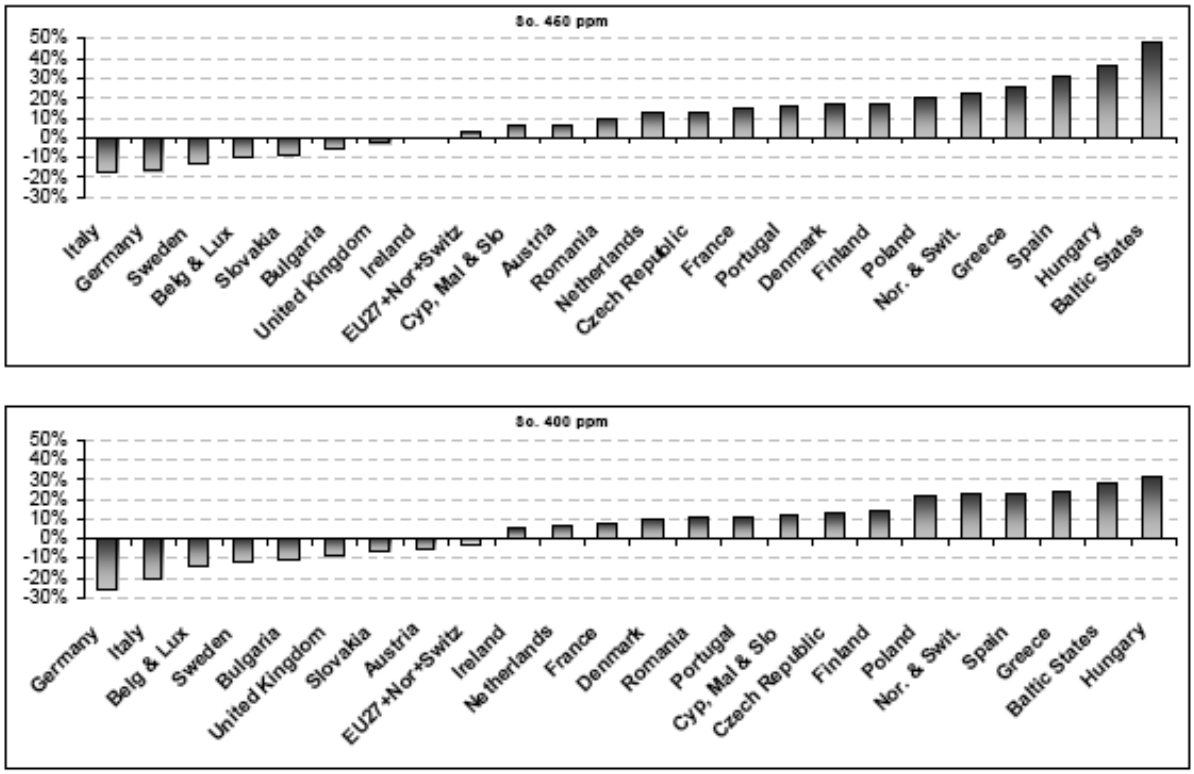


Abbildung 3-4: Änderung der EU-Primärenergienachfrage 2050 im Vergleich zu 2000

Quelle: Fraunhofer-ISI (2009)

Aussagen zu strukturellen Änderungen im Energiesystem

Global gesehen werden neben der deutlich verbesserten Endenergieeffizienz in den Szenarien vier verschiedene Optionen zur Dekarbonisierung des Energiesektors gesehen:

- Ersatz von Öl und Kohle durch Erdgas
- Erneuerbare Energien

- Kernenergie
- CCS

Alle diese Optionen sind in den Szenarien vertreten. Allerdings ändern sich ihre jeweiligen Beiträge deutlich im Zeitverlauf bis 2050. Zu Beginn werden die größten Emissionsminderungen durch den Brennstoffwechsel zu Erdgas ereicht, insbesondere in der Stromerzeugung. Danach tragen die Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien, der Kernenergie und CCS bis 2040 wesentlich zur Emissionsminderung bei. Zum Ende des betrachteten Zeitraumes spielt die Durchdringung der Passiv- und Plusenergiehäuser im Gebäudebestand eine maßgebliche Rolle.

Erneuerbare Energien und Kernenergie tragen in den Szenarien einen steigenden Anteil zur Emissionsminderung bei, während der Einsatz von CCS zum Ende der Betrachtungsperiode zurückgeht. Der Grund liegt in steigenden Preisen für Lagerstätten und der Sequestrierung, was sich bei den hohen CO_2-Preisen gegen Ende der Betrachtungsperiode besonders nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit von CCS auswirkt.

Diese Grundüberlegungen gelten ebenfalls im Groben für die Betrachtung der EU-27 (mit Norwegen und der Schweiz). Ein wichtiger Unterschied besteht in der Nutzung von CCS, die in der EU langfristig den höchsten Beitrag zur Emissionsminderung beisteuert (Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6).

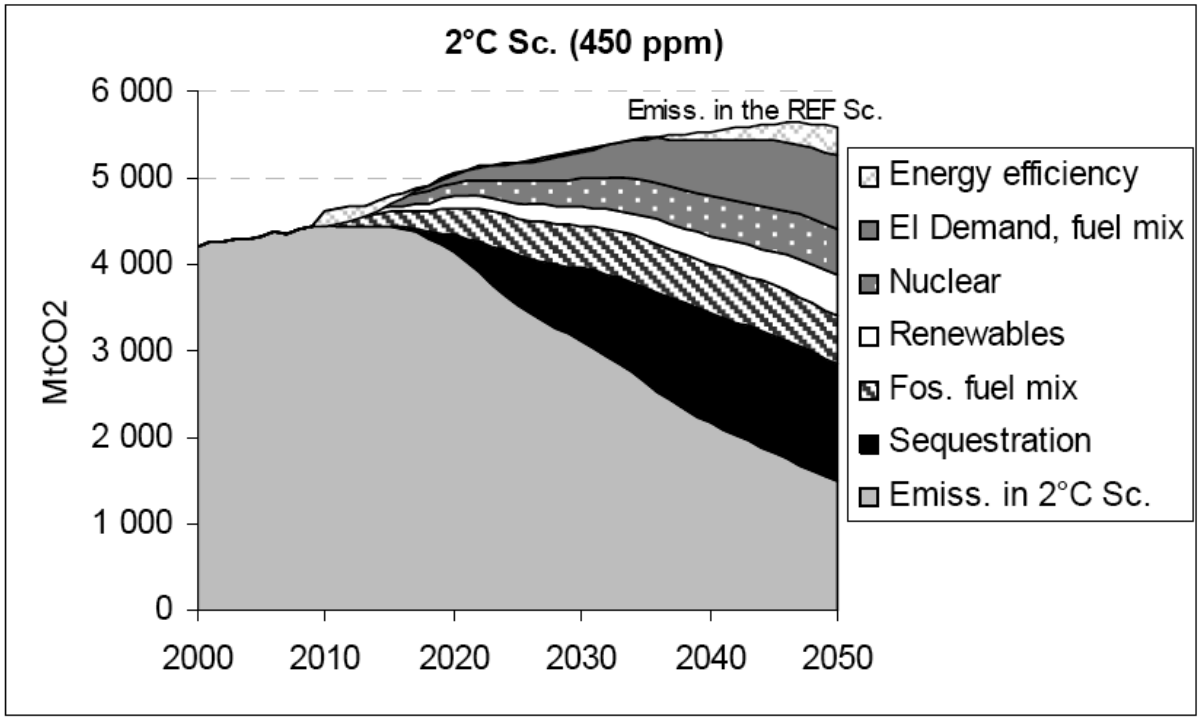


Abbildung 3-5: Beiträge verschiedener Technologien zur THG-Minderung in der EU27 + Norwegen + Schweiz (450 ppm-Szenario)

Quelle: Fraunhofer-ISI (2009)

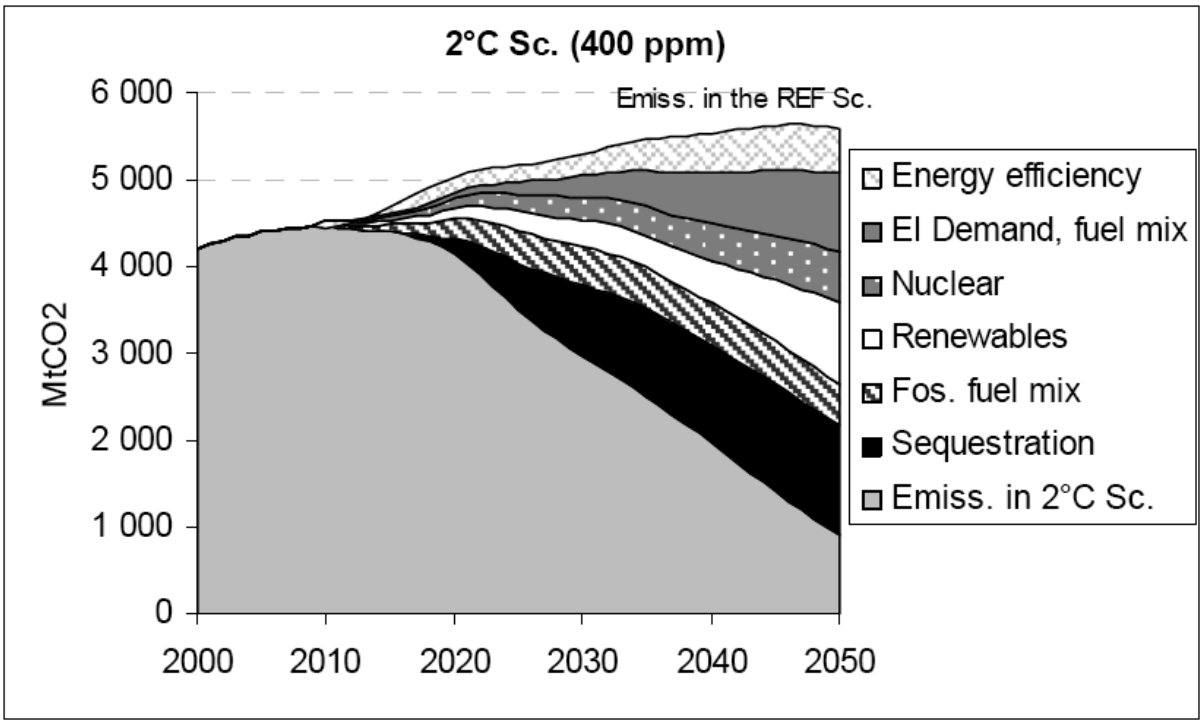


Abbildung 3-6: Beiträge verschiedener Technologien zur THG-Minderung in der EU27 + Norwegen + Schweiz (400 ppm-Szenario)

Quelle: Fraunhofer-ISI (2009)

3.2.5 Politikszenarien für den Klimaschutz V

Bearbeiter: Öko-Institut; IEF-STE Jülich; DIW; FHG-ISI

Auftraggeber: Umweltbundesamt

Erschienen: Oktober 2009

Betrachteter Zeitraum: 2005 - 2030

Betrachtetes Energiesystem: Deutschland

Ziel der Studie: Es werden Szenarien für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen erstellt. Diese erfassen die Endverbrauchssektoren (Haushalte, GHD, Verkehr, Industrie) sowie die Umwandlungssektoren (Strom- und Fernwärmeerzeugung, andere Energiesektoren). Die Szenarien wurden über die Modellierungen sektorspezifischer politischer Maßnahmen und Ziele entwickelt.

Anzahl der Szenarien: 2

Szenarienbeschreibung

Mit-Maßnahmen-Szenario: Dieses Szenario beinhaltet die in dem Zeitraum 2000 bis 2007 (in Einzelfällen auch 2008) neu eingeführten oder maßgeblich geänderten klima- und energiepolitischen Maßnahmen.

Strukturwandel-Szenario: In diesem Szenario werden weitere klima- und energiepolitische Instrumente betrachtet. Dazu gehören:

- Ausdehnung der LKW-Maut

- Verschärfung der EnEV ab 2010 um 30 %
- Stärkere KWK-Förderung
- Stärkere Förderung der Offshore-Windenergie nach 2015
- Ausbau der Stromnetze

Zentrale Ergebnisse

Im *Mit-Maßnahmen-Szenario* geht der Primärenergiebedarf von 2005 bis 2030 um 0,6 % zurück. Hinsichtlich der Struktur des Primärenergieaufkommens ergeben sich jedoch zwei unterschiedliche Trends. Die Nutzung von Kernenergie, Braun- und Steinkohle, Mineralöl und Erdgas geht zurück, während der Einsatz erneuerbarer Energien zunimmt. Die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien steigt im Zeitraum 2005 bis 2030 etwa um den Faktor 2,7. Die wichtigsten Beiträge entfallen hier auf Biomasse (im Jahr 2030 ca. 16 % des Primärenergieaufkommens) sowie Wind (3 %). Der Einsatz von Steinkohle geht von 2005 bis 2030 um etwa 13 %, der Verbrauch von Mineralöl um ca. 10 %, der Bedarf an Braunkohle um 34 % sowie der Beitrag der Kernenergie (ausstiegsbedingt) um 100 % zurück. Trotzdem bleibt Mineralöl im Jahr 2030 mit 32 % immer noch der wichtigste Primärenergieträger, gefolgt von Erdgas (27 %).

Der Primärenergiebedarf im *Strukturwandel-Szenario* geht zwischen 2005 und 2030 deutlich zurück (um ca. 23 %). Neben dieser Reduzierung des gesamten Primärenergiebedarfs ist die Struktur des Primärenergieaufkommens durch drei unterschiedliche Trends geprägt:

- einen vergleichsweise leichten Rückgang des Erdgasverbrauchs auf einen Wert, der rund 11 % unter dem Niveau von 2005 liegt
- einen massiven Rückgang des Mineralöl-, Kohlen- und Kernenergieeinsatzes
- sowie einen deutlich stärkeren Anstieg des Primärenergiebeitrags der erneuerbaren Energien

Die erneuerbaren Energien werden im Jahr 2030 mit einem Aufkommensanteil von 35 % die wichtigste Energieträgergruppe. Gleichwohl bleiben Mineralöl und Erdgas mit Aufkommensanteilen von ca. 30 % bzw. 26 % von erheblicher Bedeutung für das Primärenergieaufkommen, wenn auch die absoluten Beiträge um 36 % bzw. 11 % zurückgehen. Der Beitrag von Steinkohle zum gesamten Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2030 bei etwa 6 %, der Beitrag von Braunkohle geht bis 2030 auf etwa 2 % und der von Kernenergie auf Null zurück.

Aussagen zu strukturellen Änderungen im Energiesystem

Im Strukturwandelszenario wird von einer vollständigen Auktionierung der Emissionszertifikate für Kondensationskraftwerke ab 2013 ausgegangen. Weiterhin wird eine umfangreiche Förderung der KWK-Stromerzeugung angenommen. CCS spielt ebenfalls eine Rolle, insbesondere wird von einer CCS-Pflicht für Kohle-Kondensationskraftwerke ausgegangen, die mit anderen fossilen Kraftwerken (Erdgas und KWK-Anlagen) konkurrieren. Bei den erneuerbaren Energien wird von einem deutlichen Ausbau der Offshore-Windenergieerzeugung nach 2015 ausgegangen. Unter anderem aus diesem Grund ist ein Ausbau der Stromnetze vorgesehen. Es wird davon ausgegangen, dass die Bundesregierung begleitende Maßnah-

men zum Ausbau der Infrastruktur ergreift. Dies betrifft insbesondere den Netzausbau zur Einspeisung und Übertragung der aus erneuerbaren Energien produzierten Strommengen.

3.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der betrachteten Szenarien

3.3.1 Gegenüberstellung der Szenarien

Aus den untersuchten Studien wurden zur besseren Vergleichbarkeit diejenigen Szenarien ausgewählt, die jeweils die ambitionierteste Klimaschutzstrategie verfolgen. Dies ist auch hinsichtlich des Projektziels sinnvoll, da ja die Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen untersucht werden. Diese Szenarien werden nachfolgend analysiert:

- Politikszenarien V: Strukturwandel-Szenario
- Energiezukunft 2050: Umweltbewusstes Handeln
- BMU-Leitstudie 2009: Leitszenario 2009
- WWF Modell Deutschland: Innovationsszenario ohne CCS[24]
- Greenpeace Plan B: Greenpeace-Szenario

Die Betrachtung der verschiedenen Studien ergab in einigen Bereichen ein hohes Maß an Übereinstimmung, in anderen auch deutlich unterschiedliche Sichtweisen. Die betrachteten Studien mit dem Fokus auf Deutschland werden nachfolgend gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Aussagen zur Entwicklung der Primärenergieversorgung und der Treibhausgasemissionen verglichen. Anschließend werden die Ergebnisse mit der Studie mit europäischer/globaler Perspektive (ADAM) verglichen.

[24] In der Studie ist auch noch das Szenario „Modell Deutschland“ enthalten, dass über das betrachtete Szenario hinausgeht. Das Szenario „Innovation ohne CCS“ ist allerdings besser dokumentiert und wurde daher aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Studien betrachtet.

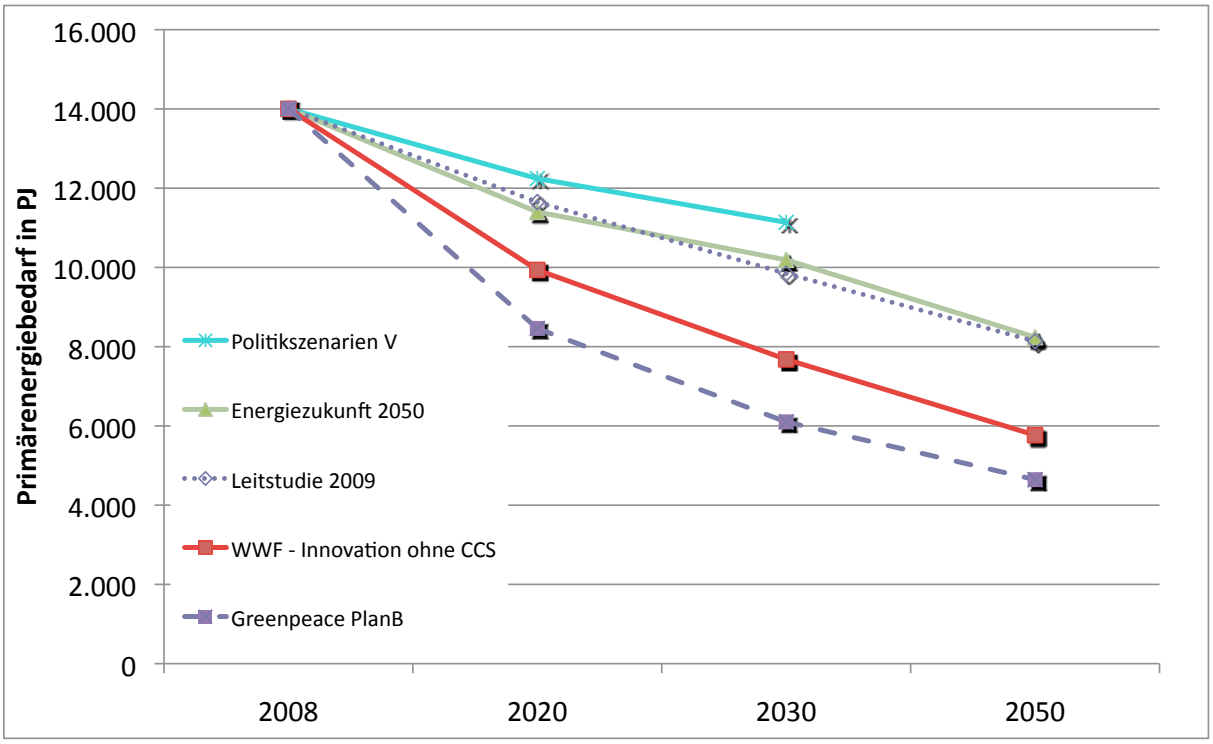


Abbildung 3-7: Vergleich des Gesamtprimärenergiebedarfs der untersuchten Studien mit Systemgrenze Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung

Die Darstellung des Primärenergiebedarfs der vier untersuchten nationalen Studien (mit Ergänzung durch Greenpeace Plan B[25]) bis 2050 zeigt, dass alle Studien von einer deutlichen Verringerung des Primärenergiebedarfes ausgehen (Abbildung 3-7). Von heute 14.000 PJ geht der Bedarf auf eine Bandbreite zwischen 4.500 PJ und 8.100 PJ im Jahr 2050 zurück. Es fällt auf, dass die Minderungen in der Leitstudie 2009 und in Energiezukunft 2050 annähernd parallel laufen, während der Primärenergiebedarf in den ambitionierten Szenarien der WWF-Studie und der Greenpeace-Studie deutlich darunter liegt. Um einen genaueren Vergleich der einzelnen Studien durchzuführen, ist der Blick auf die entsprechende Aufteilung der einzelnen Primärenergieträger notwendig. Hier lassen sich aus allen Studien gemeinsame Trends darstellen.

[25] Greenpeace Plan B ist eine Studie der EUtech Energie und Management GmbH im Auftrag von Greenpeace mit Fokus auf 2050. Das Szenario fußt auf drei Säulen, der Reduzierung des Energiebedarfs durch Effizienzerschließung, dem Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern und der bestmöglichen Brennstoff-Ausnutzung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen in der Übergangszeit, in der auf fossile Brennstoffe nicht vollständig verzichtet werden kann. Im Ergebnis zeigt das Greenpeace-Szenario, wie bis 2050 unter den gewählten Rahmenbedingungen und Annahmen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um etwa 90 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 1990 möglich ist (Barzantny et al. 2009).

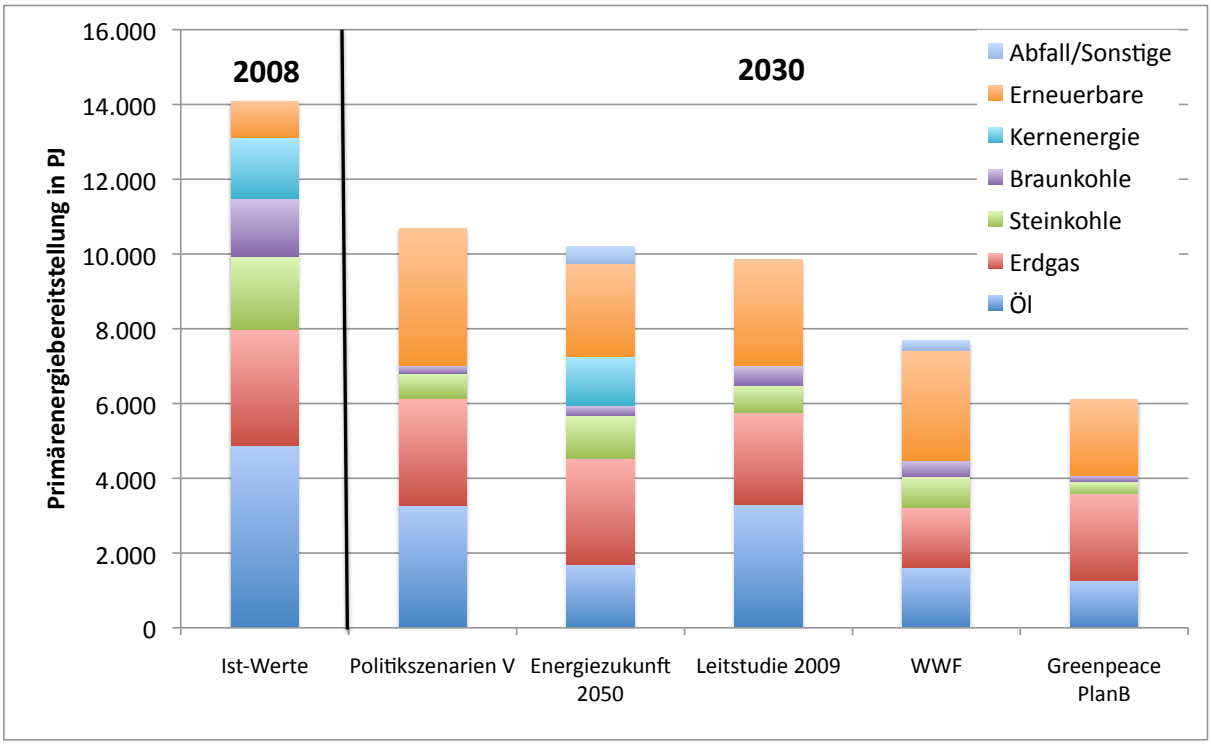


Abbildung 3-8: Vergleich der Primärenergiebereitstellung nach Energieträgern in den untersuchten Studien im Jahr 2030 mit Systemgrenze Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung

In der Betrachtung der in den Szenarien eingesetzten Primärenergie bis 2030 (Abbildung 3-8) zeigen sich einige Übereinstimmungen. Der Einsatz von Kohle geht in allen Szenarien deutlich zurück. Besonders deutlich ist der Rückgang der Braunkohle auf ein Drittel (Leitstudie) bis ca. ein Sechstel (Greenpeace PlanB). Dies geht vor allem auf die steigenden CO_2-Zertifikatskosten für die Verbrennung von Braunkohle in der Stromerzeugung zurück. Auch der Einsatz von Steinkohle geht deutlich zurück, die Werte liegen bei einem Rückgang auf die Hälfte (Energiezukunft 2050) bis ca. ein Sechstel (Greenpeace PlanB). Auch wenn die Steinkohle ebenfalls von steigenden CO_2-Zertifikatskosten beeinflusst wird, verliert Steinkohle mittelfristig in den Szenarien aufgrund des Einsatzes in KWK-Anlagen dennoch weniger stark an Bedeutung als die Braunkohle. Dieser Trend ändert sich auch nicht grundlegend durch Betrachtung von CCS-Szenarien, da ökonomisch betrachtet die Zertifikatskosten durch die CCS-Kosten ersetzt werden. Der Einsatz von Mineralöl geht ebenfalls in allen Szenarien deutlich zurück. Einsparungen im Verkehrsbereich, in dem Mineralöl hauptsächlich verwendet wird, sind in allen Szenarien vorhanden. In den betrachteten Langfristszenarien spielt zusätzlich auch die Frage nach der Verfügbarkeit von Erdöl eine Rolle. Der Einsatz von Erdgas sinkt ebenfalls. Gleichwohl bleibt Erdgas aber in allen Szenarien ein wichtiger Energieträger. Grund dafür sind einerseits die geringeren spezifischen CO_2-Emissionen im Vergleich zu Kohle, andererseits aber auch die vergleichsweise gute Regelbarkeit von Erdgaskraftwerken, was ein Vorteil in den zukünftigen, deutlich stärker durch fluktuierende Stromeinspeisung gekennzeichneten Netzen darstellt. Der Beitrag erneuerbarer Energieträger an der Primärenergieversorgung steigt in allen Szenarien bis 2030 deutlich an. Die Nutzung der Kernenergie wird von den Studienautoren unterschiedlich betrachtet. Während die Leitstudie und das WWF-Szenario von dem Atomausstieg nach dem geltenden Atomausstiegsgesetz ausgehen, wird in dem Szenario Energiezukunft 2050 von Laufzeitverlänge-

rungen auf 60 Jahre Gesamtlaufzeiten und auch von einem Neubau von Kernkraftwerken ausgegangen. Das Greenpeace-Szenario geht sogar von einem vorgezogenem Ausstieg bis 2015 aus.

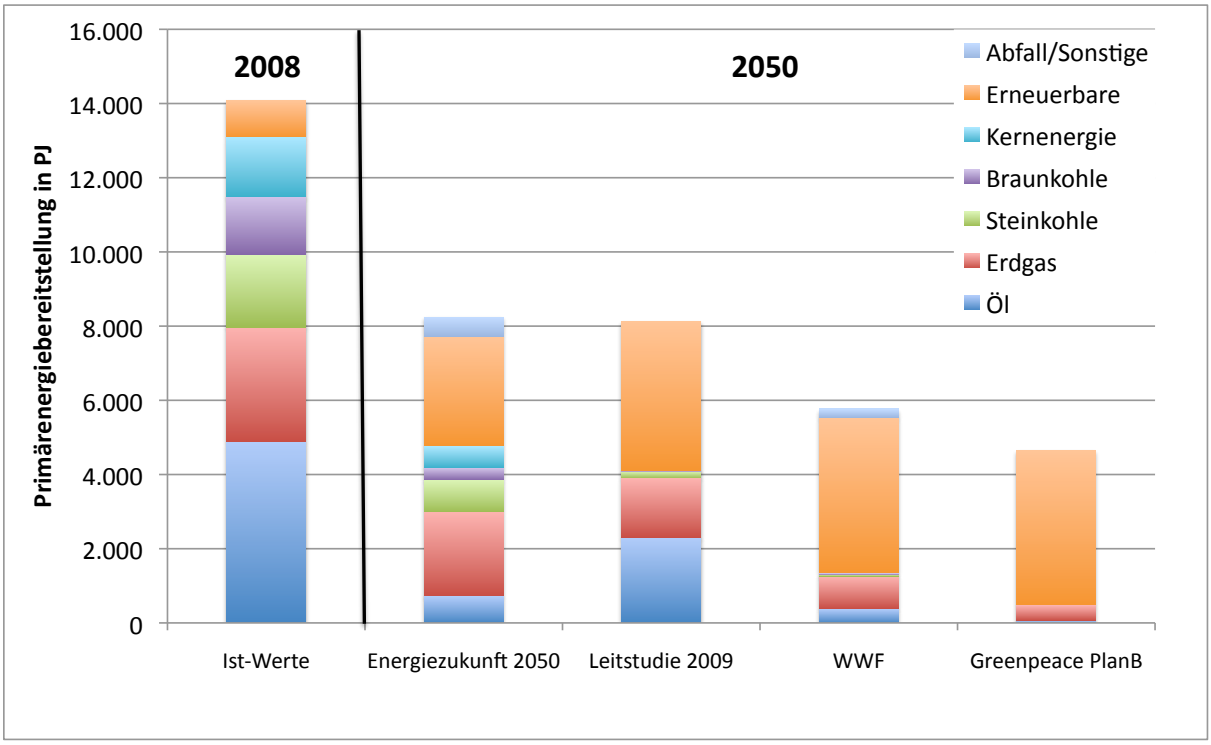


Abbildung 3-9: Vergleich der Primärenergiebereitstellung nach Energieträgern in den untersuchten Studien im Jahr 2050 mit Systemgrenze Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung

Für 2050 zeigen die Studien eine ähnliche Grundstruktur. Steinkohle und Braunkohle spielen in 2050 keine Rolle mehr. Die Nutzung von Öl spielt nur noch in der Leitstudie eine wichtige Rolle, in den anderen Szenarien wird die Verkehrsleistung vor allem durch Biokraftstoffe, Wasserstoff und Strom abgedeckt. Erdgas bleibt ein wichtiger Energieträger, lediglich im Greenpeace-Szenario spielt er keine große Rolle mehr. Die erneuerbaren Energien sind in allen Szenarien deutlich gewachsen. In der Leitstudie decken sie nahezu die Hälfte des Primärenergiebedarfs, in der WWF- und der Greenpeace-Studie jeweils mehr als 70 bzw. knapp 90 %

In der Abbildung 3-10 zeigt der Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen der Szenarien, dass in allen hier besprochenen Klimaschutzszenarien von einer deutlichen Verringerung der Emissionen ausgegangen wird. In den Entwicklungen der Emissionen bis 2030 sind sich alle betrachteten Studien im Wesentlichen ähnlich, trotz der vorher beschriebenen Unterschiede in der Primärenergiebilanz und der verwendeten Energieträger. Mit Blick auf das Jahr 2050 fällt jedoch eine Spreizung der Ergebnisse auf. Während WWF und Greenpeace von Emissionen von ca. 100 Mio. t im Jahr 2050 ausgehen, liegt die Emissionsmenge im Leitszenario doppelt so hoch und im Szenario Energiezukunft 2050 sogar mehr als drei mal so hoch. Hier spiegelt sich der höhere Primärenergiebedarf sowie der höhere Anteil an fossilen Energieträgern wie Öl und Erdgas wider (Abbildung 3-9).

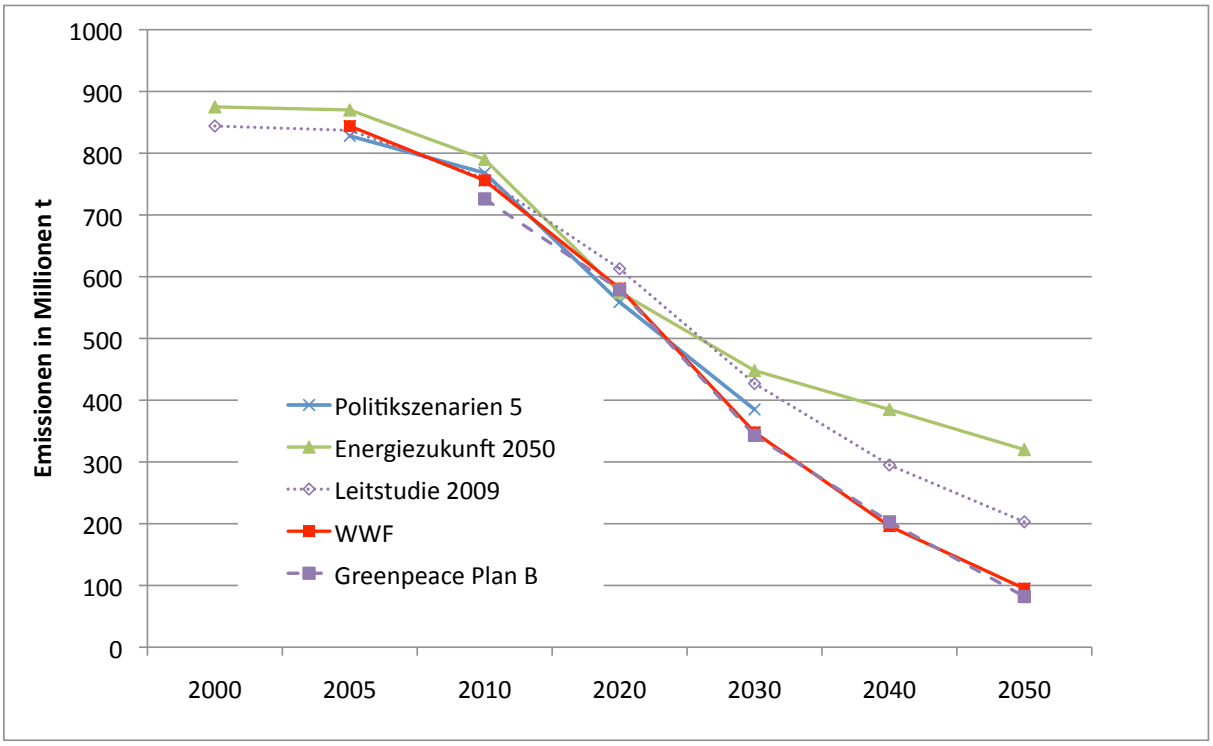


Abbildung 3-10: Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen der untersuchten Studien mit Systemgrenze Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung

Aus den unterschiedlichen Studien lassen sich also im Hinblick auf die Primärenergieversorgung eine Reihe von gemeinsamen Trends herauslesen. Sie beruhen auf der gemeinsamen Ansicht der beteiligten Experten, wie aus heutiger Sicht und unter den dargestellten Rahmenparametern (u. a. ambitionierter Klimaschutz) die Entwicklung des deutschen Energiesystems verlaufen kann. Auch wenn es sich nicht um Prognosen handelt, ist aus der Gesamtheit der untersuchten Szenarien dennoch eine gewisse Zukunftssicht und robuste Entwicklungspfade abzuleiten. Dies wird dadurch verstärkt, dass die betrachteten Szenarien durchaus die unterschiedlichen Sichtweisen der heutigen Diskussion berücksichtigen. Die grundlegenden gezeigten Trends, die in allen diesen Szenarien beschrieben werden, kann man daher aus heutiger Sicht als robust betrachten und als Grundlage für die Betrachtung des Energiesystems bis 2050 nutzen. Dabei ist zu beachten, dass für die Betrachtung diejenigen Szenarien betrachtet wurden, die den jeweils höchsten Beitrag zum Klimaschutz erbringen.

Auf globaler Ebene wird eine andere Entwicklung des Primärenergiebedarfs angenommen (Abbildung 3-11). Anstelle einer deutlichen Verringerung wie in den nationalen Szenarien ist hier im Klimaschutzszenario (Fraunhofer-ISI 2009) ein weiteres Ansteigen des Primärenergiebedarfs dargestellt. Dieser Anstieg liegt allerdings deutlich unter dem Anstieg im Referenzszenario der gleichen Studie. Dort steigt der Primärenergieverbrauch von ca. 400 EJ im Jahr 2000 auf ca. 900 EJ im Jahr 2050. Der Grund für den Anstieg im Klimaschutzszenario liegt in dem Nachholbedarf der Entwicklungsländer. Der Zugang zu modernen Energieträgern bleibt nach Meinung der Autoren grundlegend für die Armutsbekämpfung und die Entwicklung. Für den Primärenergieverbrauch der Industrieländer wird allerdings in diesem Klimaschutzszenario eine ähnliche Entwicklung unterstellt wie in den zuvor diskutierten nationalen Szenarien. In der EU 27 (+ Norwegen und Schweiz) geht die Studie von einer

Verringerung des Primärenergieverbrauches aus, die allerdings deutlich weniger stark ausfällt als in den nationalen Studien für Deutschland. Der Grund dafür liegt in der breiten Spreizung innerhalb der EU. Wie in Abbildung 3-4 zu sehen ist, hat Deutschland den prozentual höchsten Rückgang am Primärenergiebedarf, während andere Länder wie Polen und Spanien sogar noch zulegen.

Für Deutschland und die EU bedeutet das, dass die eigenen Klimaschutzanstrengungen auch im Kontext mit der globalen Situation gesehen werden müssen. Zum Beispiel ist die Abwanderung von energieintensiven Prozessen in Länder ohne Klimaschutzgesetzgebung möglich. Daraus einen Verzicht auf Klimaschutzgesetzgebung in Deutschland und der EU herzuleiten ist jedoch deutlich zu kurz gegriffen, da z. B. die Entwicklung von energieeffizienteren Produktionsprozessen einen deutlichen Wettbewerbsvorteil nach sich zieht.

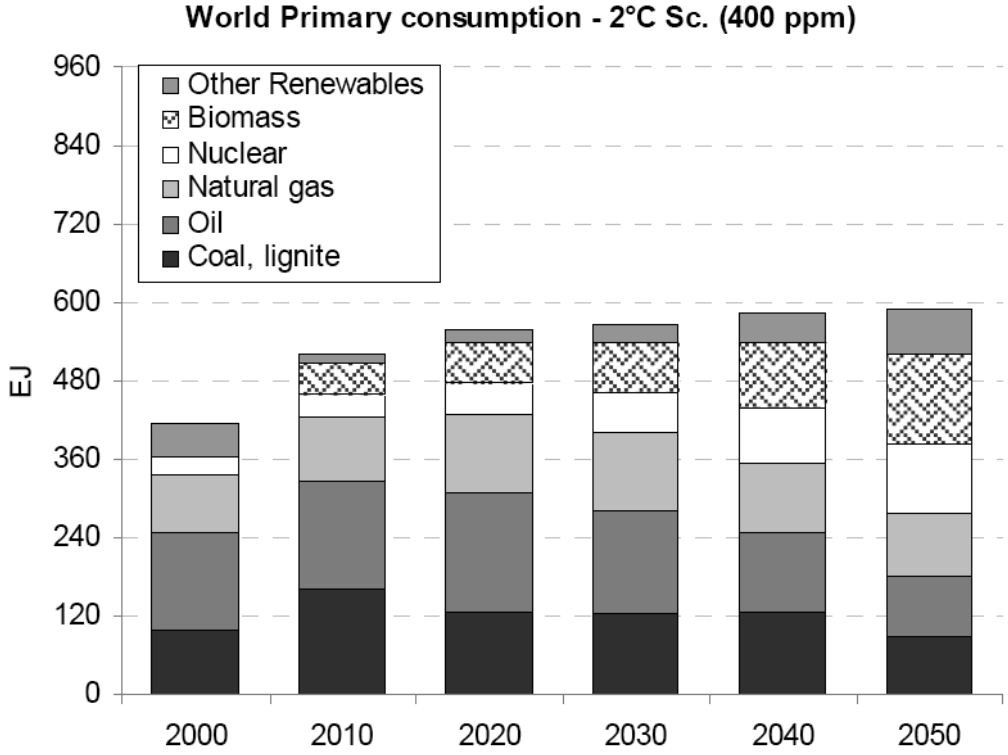


Abbildung 3-11: Entwicklung des globalen Primärenergiebedarfs nach ADAM 2-degree scenario
Quelle: Fraunhofer-ISI

3.3.2 Ausgewählte gemeinsame Aussagen

Der Primärenergieverbrauch verringert sich deutlich. Alle analysierten Szenarien gehen von einem absolutem Rückgang des Primärenergiebedarfs bis 2050 zwischen 40 und 60 % aus. Dies ist das Ergebnis der in den Szenarien unterstellten Effizienzbemühungen.

Die Verstromung von Kohle wird in Zukunft zurückgehen. Durch das Verfolgen der beschlossenen Klimaschutzziele kommt es in allen Szenarien zu einem deutlichen Rückgang der Kohleverstromung. Haupttreiber dieser Entwicklung sind die steigenden Stromgestehungskosten als Folge eines verschärften Emissionshandels oder durch die „Einpreisung“ der Kosten der Abscheidung und Speicherung von CO_2 (CCS). Dieser Trend wird in den

Szenarien bereits für 2030 als relevant angenommen und setzt sich in verstärkter Form in den Betrachtungen bis 2050 fort. Je nach Klimaschutzziel und Annahmen über die zukünftige Verfügbarkeit von CCS gehen einige Studien sogar im Extremfall von einem vollständigen Ausstieg aus der Kohleverstromung aus

Erdgas bleibt ein wichtiger Energieträger. Wesentlich hierfür sind die im Vergleich zur Kohle günstigeren Emissionseigenschaften des Erdgases. Zusätzlich können Erdgaskraftwerke in ein von fluktuierender Einspeisung dominiertes Stromnetz besser integriert werden. Auch global werden Steinkohle und Braunkohle zunehmend durch Erdgas ersetzt.

Der Mineralölverbrauch verringert sich deutlich. Der Verkehrssektor wird durch Effizienzmaßnahmen und Nutzung alternativer Energieträger (Biokraftstoffe, Wasserstoff, Strom) unabhängiger von Rohöl. Die Nutzung in den Sektoren Haushalte und GHD geht zurück.

Der Anteil der erneuerbaren Energien wird auch in Zukunft deutlich steigen. Alle Szenarien gehen von steigenden Anteilen der erneuerbaren Energien bei der Energiebereitstellung aus. Insbesondere der erwartete starke Rückgang der Kosten bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bringt mittel- bis langfristig wichtige Impulse. Die Höhe der in den Szenarien für Deutschland erwarteten Anteile erneuerbarer Energien hängt stark von dem angenommenen Ausbau der Offshore-Windenergie ab.

Die künftige Bedeutung der Kernenergie wird in den analysierten Szenarien unterschiedlich gesehen. In einer Studie wird von einer Verkürzung der Laufzeiten der Kernkraftwerke ausgegangen, in zwei der Studien von einem Auslaufen der Kernenergienutzung gemäß des aktuellen Atomausstiegsgesetzes. In der Studie Energiezukunft 2050 werden, je nach Szenario, Laufzeitverlängerungen auf 40 – 60 Jahre angenommen. Auch der Neubau von Kernkraftwerken wird in den Szenarien dieser Studie berücksichtigt und findet dort ab 2040 statt. In den hier berücksichtigten globalen Szenarien steigt der Anteil der Kernenergie am Primärenergiebedarf bis 2050 (Fraunhofer-ISI 2009).

Global betrachtet sind die Trends im Primärenergiebedarf laut (Fraunhofer-ISI 2009) ähnlich (Abbildung 3-11). Die Nutzung der erneuerbaren Energien steigt stark an, Stein- und Braunkohle verlieren an Bedeutung. Der Erdgasanteil steigt bis 2030 leicht an und verliert anschließend an Bedeutung. Lediglich der in diesem globalen Energieszenario angenommene absolute und relative Anstieg der Kernenergienutzung folgt einem deutlich anderen Trend.

3.3.3 Robuste Strategien der Klimaschutzszenarien

Es gibt einzelne Strategien und Strukturänderungen, die in allen Studien zu den zentralen angenommenen Klimaschutzmaßnahmen zählen. Das deutet auf einen Konsens in der Wissenschaft hin, welche Maßnahmen für die Erreichung der Klimaschutzziele unbedingt nötig sind und welche aus heutiger Sicht bis 2050 eine wichtige Rolle spielen werden. Die weitere Arbeit innerhalb der vorliegenden Studie wird daher diese Ansätze und ihre potentielle Rolle in verschiedenen Energieszenarien vertieft analysieren.

Der Emissionshandel bleibt wichtiges Instrument und wird weiter verschärft werden

In allen Szenarien bleibt der Emissionshandel in der Energiewirtschaft und der Industrie das zentrale Instrument für den Klimaschutz. Dabei wird einhellig davon ausgegangen, dass die kostenlose Zuteilung der Emissionszertifikate der Vergangenheit angehört. Die Bandbreite der Vorstellungen reicht von einem steigenden Anteil an Auktionierung (Fraunhofer-ISI 2009) bis zur vollständigen Auktionierung (WWF 2009; BMU 2009a) wie sie für den Kraftwerksbereich für die Zeit ab 2013 mittlerweile – von Ausnahmen abgesehen – auch europaweit beschlossen wurde.

Die KWK wird in Zukunft eine wichtigere Rolle spielen

Alle Szenarien gehen von steigenden Anteilen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an der Stromerzeugung aus, wie es auch der politischen Beschlusslage entspricht. Dies spiegelt die Ansicht wider, dass der Ausbau der KWK ein zentraler Treiber der Energieeffizienzsteigerungen im Bereich der Stromerzeugung ist. So geht die Studie Energiezukunft 2050 (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. 2009) von einem KWK-Anschlusszwang, einer Verdopplung der KWK-Stromerzeugung bis 2020 und einem Anteil an der Stromerzeugung im Jahr 2050 von ca. 40 % aus. Insgesamt spielt die KWK um 2030 eine sehr wichtige Rolle, während die Ausbaudynamik bis 2050 abnimmt, da durch die steigende Effizienz im Gebäudebereich der Wärmebedarf abnimmt.

CCS ist als Klimaschutzinstrument erst ab 2020 denkbar

Bis 2020 spielt CCS in keinem Szenario eine relevante Rolle. In welchen Maße CCS genutzt wird, ist in den Szenarien sehr unterschiedlich. Nach 2020 wird CCS in einigen Szenarien ein deutlicher Beitrag zur Treibhausgasminderung zugetraut (Fraunhofer-ISI 2009; BMU 2009a), in anderen Szenarien ist CCS entweder durch Laufzeitverlängerungen und Neubau von Kernkraftwerken nicht wirtschaftlich (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. 2009) oder dient nur als Fallback-Option, falls der Ausbau erneuerbarer Energien und Effizienzsteigerungen nicht schnell genug vorankommt (WWF 2009). Technologien und Optionen zur CO_2 -Nutzung sind in keinem der Szenarien vorgesehen.

Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein zentraler Baustein im Energiesystem

Die derzeitige Steigerung der Primärenergieproduktivität von ca. 1 % pro Jahr wird sich in Zukunft deutlich erhöhen müssen um die Klimaschutzziele zu erreichen. Sie steigt in (WWF 2009) von anfangs 1 % auf 6 % pro Jahr, im Durchschnitt liegt sie in diesem Szenario bei 4,3 %. (BMU 2009a) gehen von einer durchschnittlichen Steigerung von 3 % pro Jahr aus. Zentrale Handlungsfelder zur Steigerung der Energieeffizienz, die in fast allen Studien genannt werden, sind bessere Gebäudedämmung, effizientere Energiewandlung, Ausbau der KWK und verbesserte Antriebseffizienz im Verkehr.

Deutlicher Ausbau der erneuerbare Energien

In allen Szenarien wird von einer deutlichen Steigerung des Anteils der erneuerbare Energien an der Energieerzeugung ausgegangen. Dieser Trend ist in allen Szenarien vorhanden und zentral zur Minderung der Treibhausgasemissionen.

4 Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes und des aktuellen Koalitionsvertrages in NRW bis 2050

Die Betrachtung der Wirkungen verschiedener Klimaschutzmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen bis 2050 setzt voraus, dass eine Vorstellung der Entwicklung der Treibhausgasemissionen existiert. Grundlage dieser Betrachtung ist die Fortführung der heutigen sektoralen Treibhausgasemissionen in Nordrhein-Westfalen (siehe Kapitel 2.1). Die Rahmenbedingungen dieser Fortführung basieren im Wesentlichen auf dem Referenzszenario der Studie Modell Deutschland des Öko-Institutes und Prognos (WWF 2009). In einem zweiten Schritt werden die Besonderheiten der Energie- und Klimapolitik von Nordrhein-Westfalen berücksichtigt. Grundlage dieser Betrachtung sind die Maßnahmen aus der Energie- und Klimaschutzstrategie der früheren nordrhein-westfälischen Landesregierung aus CDU und FDP (MWME 2008).

Im Anschluss an diese Betrachtung wurden zum Vergleich die Vorgaben und Ziele aus dem Koalitionsvertrag der derzeitigen rot-grünen Landesregierung (NRW-SPD und Bündnis'90/Die Grünen NRW 2010) auf die Projektion angewandt.

Die einzelnen Sektoren von NRW werden in diesem Arbeitspaket als unabhängige Projektionen betrachtet. Das bedeutet, dass für die einzelnen Sektoren die Entwicklung bis 2050 skizziert wird. Energienachfrage- und Angebotsseite sind zwar miteinander verknüpft, eine Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den Sektoren findet jedoch nicht statt.

Für die genauere Betrachtung der Wechselwirkungen müssten die Sektoren in einem integrierten Energie- und Treibhausgasmodell für Nordrhein-Westfalen implementiert werden. Dies kann allerdings im Rahmen des vorgegebenen Bearbeitungsumfanges an dieser Stelle nicht erstellt werden. Für die weitere Bearbeitung der Fragestellungen innerhalb dieses Projektes ist dies allerdings auch nicht notwendig. Durch die Projektion der Treibhausgasemissionen der einzelnen Sektoren wird sichtbar, wo Anpassungen notwendig und wo entsprechende Strategien und Maßnahmen zur Emissionsminderung für NRW möglich sind.

Für weiterführende Arbeiten wäre es allerdings sehr sinnvoll, ein Energie- und Emissionsmodell zu erarbeiten.

Es wird nachfolgend beschrieben, wie die Auswirkungen der Energie- und Klimaschutzstrategie modelltechnisch umgesetzt werden sollen. Soweit nicht anders angegeben gelten die Modellannahmen sowohl für die Betrachtung auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms der früheren schwarz-gelben Landesregierung (MWME 2008) als auch für die Betrachtung auf Basis des Koalitionsvertrages von SPD und Bündnis’90/Die Grünen (2010).

4.1 Grundsätzliches Vorgehen bei der Modellierung

In der Energie- und Klimaschutzstrategie Nordrhein-Westfalen (MWME 2008) werden folgende Maßnahmenblöcke als zentrale Bausteine zur CO_2-Reduktion bis 2020 herausgestellt:

- Die Wirkungen des Meseberg-Programms der Bundesregierung (BMU 2007),
- Die Erneuerung des Kraftwerksparks in NRW,
- NRW-spezifische Maßnahmen.

Die Wirkungen der im Energie- und Klimaschutzkonzept aufgeführten NRW-spezifischen Maßnahmen werden im Klimaschutzkonzept NRW mit einer Reduktion von 1 Mio. Tonne pro Jahr angegeben und mit einer Aufrechterhaltung der bisherigen Förderung des Klimaschutzes begründet. Es ist davon auszugehen, dass diese Wirkung im Rahmen aktueller Szenarien wie etwa dem WWF-Referenzszenario (WWF 2009), das ausdrücklich die weitere Verfolgung einer ambitionierten Klimapolitik über die bereits beschlossenen Maßnahmen annimmt, bereits erfasst ist. Gleiches trifft auf die Meseberg-Beschlüsse zu, deren Umsetzung seit der Verabschiedung der Energie- und Klimaschutzstrategie eine weitere Konkretisierung erfahren hat, die in den aktuellen Szenarien berücksichtigt ist.

Gleiches gilt für die Projektion auf Basis der Vorgaben des rot-grünen Koalitionsvertrages.

Die Fortschreibung der Wirkungen des Energie- und Klimakonzeptes und des Koalitionsvertrages der aktuellen Landesregierung kann deshalb auf nur einem Szenario, nämlich dem WWF-Referenzszenario aufbauen: Die wirtschaftlichen und soziodemografischen Rahmendaten als Treibergrößen für die Nachfrage nach Energiedienstleistungen werden ebenso daraus abgeleitet wie die Energieintensitäten und Emissionsintensitäten bei Industrieprozessen, also die Endenergienachfrage bzw. die Emissionen in Bezug auf die Treibergrößen, wie etwa die Bruttowertschöpfung.

Die Erneuerung des Kraftwerksparks, der Ausbau der erneuerbaren Energien in NRW sowie der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung werden bei der Fortschreibung aber mit der in der Energie- und Klimaschutzstrategie und der im Koalitionsvertrag genannten Schwerpunktsetzung berücksichtigt. Insofern werden hier von den genannten Szenarien abweichende Annahmen getroffen.

Daneben wird das Umfeld der Maßnahmen dynamisch entwickelt, insbesondere zentrale Treibergrößen für die Energienachfrage wie Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftsentwicklung und eine NRW-spezifische Branchenstruktur.

Die eigentliche Erstellung der Sektor spezifischen Szenarien für NRW erfolgt in drei Schritten (Abbildung 4-1). Zuerst werden auf Grundlage des Referenzszenarios der WWF-Studie (WWF 2009) die Sektor spezifischen Emissionen in Deutschland bis 2050 dargestellt (THG-Emissionen Deutschland Referenz). In einem zweiten Schritt werden diese Entwicklungen auf die Entwicklung in Nordrhein-Westfalen heruntergebrochen und mit NRW-spezifischen Faktoren versehen (THG-Emissionen NRW Referenz). Dies dient dazu, Unterschiede in den Sektoren zwischen Deutschland und NRW zu berücksichtigen. Im dritten Schritt werden diejenigen Maßnahmen der Energie- und Klimastrategie der NRW-Landesregierung in die sektoralen Emissionen integriert, die von der Referenzstrategie abweichen (THG-Emissionen NRW + E&K 2020). Ab 2020 werden die Maßnahmen der Energie- und Klimastrategie bis 2050 weiterberechnet.

Der dritte Schritt wird zusätzlich auf Basis der Ziele und Vorgaben des rot-grünen Koalitionsvertrages durchgeführt.

Das Ergebnis der Modellierung zeigt für jeden Sektor eine Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Basis der Klimaschutzmaßnahmen des Referenzszenarios des WWF inklusive der Maßnahmen aus der Energie- und Klimaschutzstrategie. In der Addition der einzelnen Sektoren ergibt sich ein Trend der gesamten NRW-Emissionen.

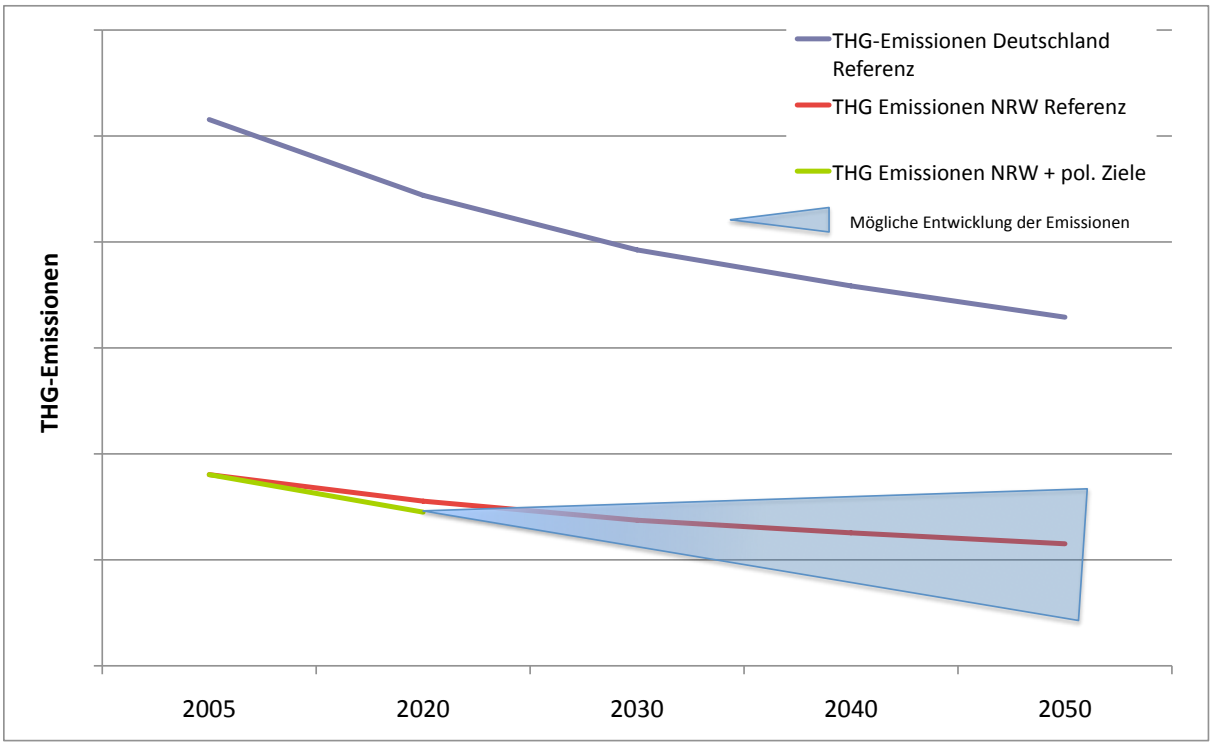


Abbildung 4-1: Skizze der Modellierungsschritte zur Darstellung vom Emissionsprojektionen der NRW-Sektoren

Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Basisdaten zu Soziodemografie und wirtschaftlicher Entwicklung

Um die Basisenergienachfrageparameter für NRW zu entwickeln, werden zunächst zentrale Rahmendaten für NRW entwickelt. Dies ist die Entwicklung der Bevölkerung und des Erwerbspersonenpotentials, der Anzahl der Haushalte, der Beschäftigten in den verschiedenen Branchen sowie der Industrieproduktion.

4.2.1 Soziodemografie

Zur Entwicklung der Bevölkerungszahlen wird auf die aktuelle Prognose zur Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bzw. NRW aus der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausschätzung (Statistisches Bundesamt 2009) zurückgegriffen. Die Einwohnerzahlen in NRW werden in etwa genau so stark zurückgehen wie im Bundesschnitt. Die Altersstruktur ist demnach etwas günstiger als der Bundesschnitt, d.h. dass das Erwerbspersonenpotential entwickelt sich leicht überdurchschnittlich.

Tabelle 4-1: Demografische Entwicklung in NRW und Deutschland bis 2050 gemäß der 12. KBV des Statistischen Bundesamtes

		2005	2008	2010	2020	2030	2050
Bevölkerung NRW (1.000)		18.058	17.933	17.818	17.470	17.175	16.079
Anteil NRW an der Bevölkerung Deutschlands		21,9%	21,9%	21,9%	21,7%	21,7%	21,9%
Jugendquotient: auf 100 20 bis 65 Jährige kommen unter 20 Jährige...	in NRW	34,9	33,6	32,2	29,0	31,1	29,7
	in Deutschland	32,9	31,5	30,2	28,8	30,8	29,7
Altenquotient: auf 100 20 bis 65 Jährige kommen über 65 Jährige...	in NRW	32,2	33,7	33,6	37,2	48,9	57,1
	in Deutschland	31,7	33,7	33,8	37,3	49,3	58,7

Quelle: Destatis, IT.NRW

Die Ausschöpfungsquote des Erwerbspersonenpotentials entwickelt sich analog zum Bundesschnitt, wie im WWF-Referenzszenario (WWF 2009) angenommen.

4.2.2 Wirtschaftliche Entwicklung

Für die Modellierung der wirtschaftlichen Entwicklung wird ebenfalls auf das WWF-Referenzszenario zurückgegriffen: Die historischen Daten zur Beschäftigung in den Wirtschaftszweigen in NRW werden bis einschließlich 2007 berücksichtigt und gemäß der im Referenzszenario dargestellten branchenspezifischen Entwicklungen bis 2050 fortgeschrieben. Dabei erfolgt eine Niveauanpassung an das errechnete Erwerbspersonenpotential. Da die für NRW prognostizierte demografische Entwicklung in etwa dem Bundesdurchschnitt entspricht, sind die zu erwartenden landesspezifischen Effekte auf die Beschäftigung in Demografie sensiblen Zweigen wie Gesundheit oder Erziehung nicht sehr ausgeprägt.

Die Daten zur Produktivitätsentwicklung in den Wirtschaftszweigen (inkl. Industrieproduktion) werden analog generiert.

Tabelle 4-2: Vergleich der Wirtschaftsstruktur Nordrhein-Westfalens im Jahr 2005 mit der Deutschlands (Bruttowertschöpfung in Preisen von 2000)

	Deutsch-land	NRW		Deutsch-land	NRW
	Mrd. EUR	Mrd. EUR		%	%
Land- und Forstwirtschaft; Fischerei	23	3		1,2%	0,6%
Bergbau u. Gew. v. Steinen u. Erden	3	0		0,2%	0,1%
Verarbeitendes Gewerbe	457	95		23,7%	22,4%
Energie- und Wasserversorgung	40	11		2,1%	2,7%
Baugewerbe	76	19		3,9%	4,4%
Handel; Reparatur v. Kfz u. Gebrauchsgütern	215	49		11,1%	11,6%
Gastgewerbe	29	7		1,5%	1,6%
Verkehr und Nachrichtenübermittlung	114	19		5,9%	4,6%
Kredit- und Versicherungsgewerbe	69	25		3,6%	5,9%
Grundstückswesen, Verm., Dienstl. f. Untern.	474	96		24,5%	22,7%
Öff. Verw. Verteidigung, Sozialversicherung	116	26		6,0%	6,1%
Erziehung und Unterricht	84	20		4,3%	4,8%
Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen	141	28		7,3%	6,7%
Sonstige öff. u. priv. Dienstleister	95	22		4,9%	5,7%
		2			
Alle Wirtschaftszweige	1.934	424		100%	100%

Quelle: Destatis, IT.NRW

4.3 Entwicklung der Treibergrößen für die Endenergienachfrage

4.3.1 Industrie

Für die Industrie werden Strom- und Brennstoffintensität bezogen auf die Industrieproduktion (s.o.) gebildet. Die Kennwerte sowie die Brennstoffstruktur werden gemäß dem Referenzszenario der Studie „Modell Deutschland“ (WWF 2009) bis 2050 entwickelt. Eine solche Entwicklung setzt weitere politische Maßnahmen durch EU oder Bund voraus und trägt dem Umstand Rechnung, dass Deutschland weiterhin Klimapolitik betreibt.

Die Prozessemissionen werden über Intensitäten bezogen auf Produktionsmengen oder der Bruttowertschöpfung bestimmter Wirtschaftszweige entwickelt.

Darüber hinaus wird ein Ausbau der industriellen KWK berücksichtigt.

4.3.2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Hier wird analog zu Kapitel 4.3.1 verfahren: Als Treibergrößen fungiert die Bruttowertschöpfung der Wirtschaftszweige; die Entwicklung der Strom- und Brennstoffintensität sowie des Energieträger-Splits erfolgt gemäß WWF-Referenzszenario.

4.3.3 Haushalte

Der Raumwärmebedarf im Basisjahr wird dem Software-Modell HEAT (Household Energy and Appliances Modelling Tool) des Wuppertal Instituts entnommen.

Die Entwicklung der Nachfrage nach beheizter Wohnfläche wird aus der demografischen Entwicklung abgeleitet. Die spezifischen Energiebedarfe (durchschnittlicher Gebäudekenn-

wert) sowie Heizungs- und Energieträgerstruktur werden wiederum aus dem WWF-„Referenzszenario“ entnommen.

Gleiches gilt für die Ausstattungsraten der Haushalte mit Haushaltsgeräten, deren Nutzungsintensität und Effizienzentwicklung.

4.3.4 Verkehr

Die Ausstattung der Einwohner mit Pkw und deren Fahrleistung wird gemäß den Shell-Szenarien (Shell Deutschland Oil GmbH 2009) bis 2030 mit Bezug auf die demografische Entwicklung entwickelt und bis 2050 fortgeschrieben.[26] Die Pkw-Flottenstruktur wird, ebenso wie die übrigen Mobilitätsraten (für ÖPNV, SPFV und Flugverkehr), aus dem WWF-Referenzszenario abgeleitet.

Aufgrund der besonderen Voraussetzungen in NRW zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur wird die Nische für Brennstoffzellenantriebe allerdings als etwas größer als im WWF-Referenzszenario angenommen und damit auch den besonderen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Land NRW Rechnung getragen. Wasserstoff findet Anwendung in den Flotten des Öffentlichen Nahverkehrs und bei Spezialflotten (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge).

Die Endenergienachfrage des Güterverkehrs wird als Intensität in Bezug auf die Bruttowertschöpfung Nordrhein-Westfalens gemäß der Entwicklung im „WWF-Referenzszenario“ entwickelt. Der Transitverkehr kann als Treiber vernachlässigt werden. Die Bruttowertschöpfung Deutschlands wird sich annahmegemäß weitgehend analog entwickeln und der internationale Transitverkehr ist als Treibergröße vernachlässigbar, da er keinen großen Einfluss auf die Kraftstoffabgabe in NRW hat.

4.3.5 Sonstige emissionsrelevante Sektoren

Die Emissionen der Bereiche Abfallwirtschaft und Landwirtschaft werden sehr vereinfacht analog zum Referenzszenario des WWF (WWF 2009) fortgeschrieben, d.h. die Veränderungsrate der Emissionsmengen über die Zeit wird übernommen und auf die im Basisjahr durch die Statistik ausgewiesenen Werte appliziert.

4.4 Modellierung des Umwandlungssektors

4.4.1 Energie- und Klimakonzept von 2008

Für den Umwandlungssektor wird für die Betrachtung des Energie- und Klimakonzeptes dargestellt, dass Nordrhein-Westfalen Standort für Wärmekraftwerke bleibt, die mit Braun- oder Steinkohle betrieben werden.

Erdgaskraftwerke behalten demnach eine bedeutende Nischenrolle, der Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung wird gemäß der Bioenergie-Strategie der Landesregierung bis 2020 entwickelt und vorsichtig fortgeschrieben. Ein Import von Biomasse wird nicht vorgesehen.

[26] Sowohl Shell-Szenarien als auch der Verkehrssektor im „Innovationsszenario“ wurden von der prognos AG, Basel bearbeitet.

Die Entwicklung des Zubaus an Kapazitäten zur Laufwasser, Onshore-Wind- und Photovoltaik- und Geothermiestromerzeugung erfolgt davon unabhängig gemäß aktuellen Ausbaupfaden in Anlehnung an das Leitszenario des BMU (BMU 2009a) unter Berücksichtigung der NRW-spezifischen Potentiale. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass NRW Offshore-Windenergie importiert.[27]

Ein Neubau von Kernkraftwerken wird nicht angenommen.

Vom Import von Offshore-Windenergie abgesehen, wird das Land zumindest virtuell als ein Stromselbstversorger angenommen.

Der Reststrombedarf wird demnach in dieser Fortschreibung über Wärmekraftwerke unter Verfeuerung von Stein- und Braunkohle gedeckt, wobei die bestehenden Kraftwerke nach und nach durch effizientere Kraftwerke mit einem Wirkungsgrad um 50% ersetzt werden. Die ab 2010 errichteten Kraftwerke können nachträglich mit CCS ausgerüstet werden („capture ready"). Die Wirkung eines Einsatzes von CCS ab 2030 auf Energiebedarf und CO_2-Emissionen wird im Rahmen einer Sensitivitätsuntersuchung dargestellt.

Besondere Berücksichtigung finden die KWK-Potentiale in NRW: Der Anteil der KWK wird gemäß den Zielen im Meseberger Programm bis 2020 gegenüber 2005 verdoppelt, in NRW betrifft dies insbesondere auch die KWK in der Industrie.

Die maßgeblichen Unterschiede in der Struktur der Stromerzeugung zwischen NRW und Deutschland sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-3: Anteile von Kohle und Kernenergie an der Bruttostromerzeugung in NRW und Deutschland sowie Import von Strom aus Erneuerbaren Energien; Fortschreibung bis 2050 gemäß BMU-Leitszenario; *vorläufige Berechnung für NRW*

	NRW	**Deutschland**		
	2005		**2020**	**2050**
Steinkohle/Sonst. Feste Brennstoffe	33%	24%	19%	3%
Braunkohle	43%	25%	20%	0%
Kernenergie	0%	27%	6%	0%
Import von Strom aus Erneuerbaren Energien	0%	0%	0%	21%

Quelle: BMU (2009), IT.NRW (2006)

Nach der Fortschreibung der Energie- und Klimaschutzstrategie bis 2050 werden die erneuerbaren Energien in NRW einen geringeren Anteil an der Bruttostromerzeugung haben als in der Leitstudie für Deutschland im Jahr 2050 dargestellt.

Der rot-grüne Koalitionsvertrag (NRW-SPD; Bündnis'90/Die Grünen NRW 2010) setzt deutlich andere Schwerpunkte im Bereich der Umwandlung und Energieerzeugung als das Energie- und Klimaschutzprogramm der schwarz-gelben Landesregierung von 2008. Die wichtigsten Änderungen werden in Abschnitt 4.6 in eine Erweiterung der Projektion integriert.

[27] Der Ausbau von Kapazitäten zur Offshore-Wind-Stromerzeugung erfolgt wiederum gemäß BMU-Leitszenario, der Import des Landes entspricht dem Anteil des Landes an der Bevölkerung Deutschlands.

4.5 Zentrale Ergebnisse der Modellierung auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms

Die Nettostromerzeugung sinkt zwischen 2005 und 2020 und verbleibt dann in etwa auf diesem Niveau bis 2050 (Abbildung 4-2) . Darin spiegelt sich im Wesentlichen die Strategie der Kraftwerkserneuerung bis 2020 wieder. Die bis dahin modernisierten Kohlekraftwerke laufen über den gesamten Betrachtungszeitraum und bestimmen die Höhe der Stromerzeugung. Die Stromnachfrage verhält sich auf etwas niedrigerem Niveau ähnlich, wobei der Anteil des Sektors GHD leicht zunimmt. Insgesamt bleibt NRW in dieser Betrachtung Stromexportland, da die Stromerzeugung über der Nachfrage liegt.

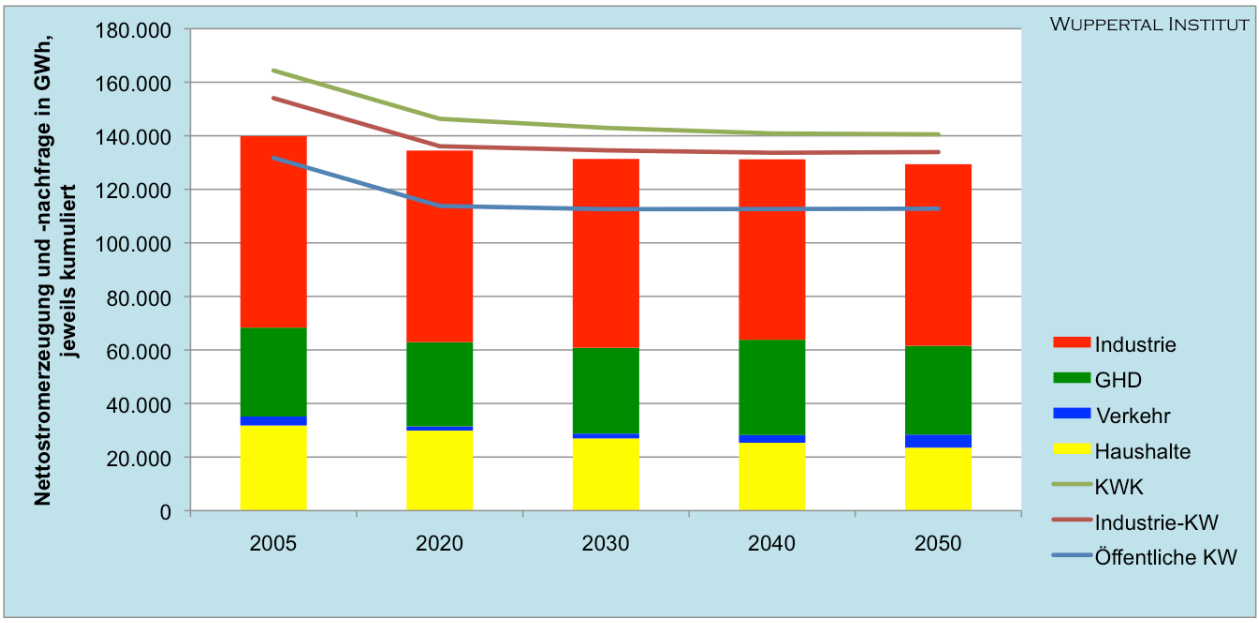


Abbildung 4-2: Nettostromerzeugung und -nachfrage

Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Bruttostromerzeugung auf Basis der eingesetzten Primärenergieträger (Abbildung 4-3) wird deutlich, dass Braunkohle und Steinkohle bei dieser Betrachtung das Rückgrat der Stromerzeugung in Nordrhein-Westfalen bis 2050 bilden. Der Anteil von Erdgas an der Stromerzeugung ändert sich auf Grundlage der Ziele und Vorgaben aus dem Energie- und Klimaschutzprogramm nicht. Die Anteile von Strom aus Windenergie, Biomasse und Photovoltaik steigen, erlangen aber keinen bestimmenden Einfluss auf die Struktur der Stromerzeugung.

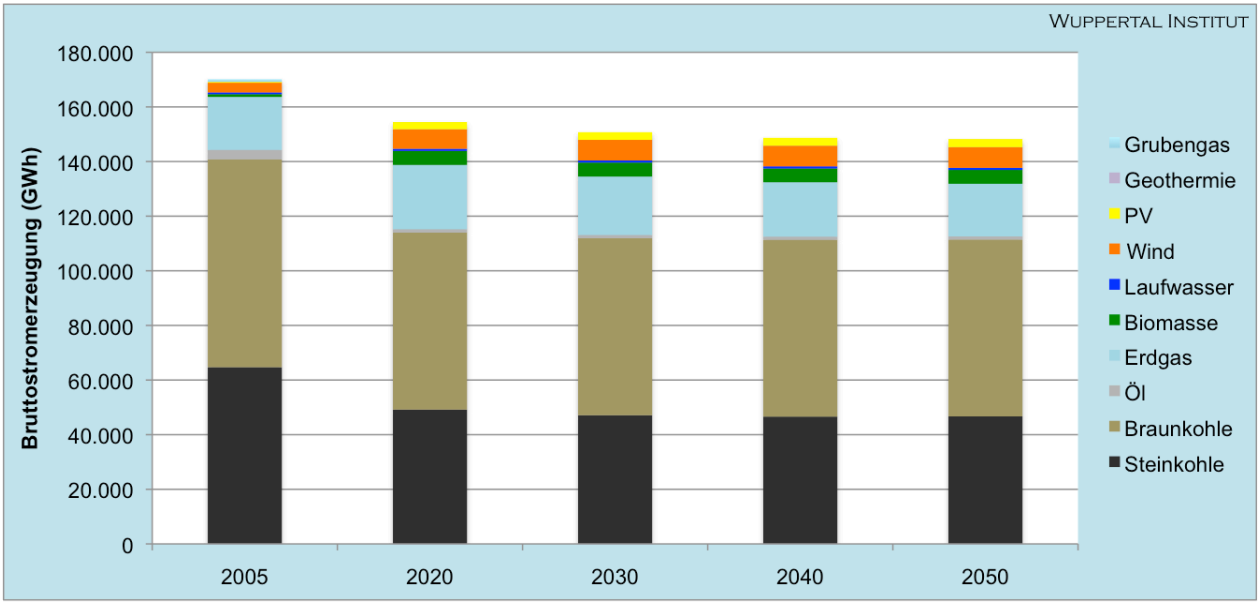


Abbildung 4-3: Bruttostromerzeugung nach Kraftwerksarten

Quelle: Eigene Darstellung

Die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung spiegeln die Struktur der Primärenergiequellen wider. Braunkohle und Steinkohle behalten ihren zentralen Platz als Emittenten. Die größten Einsparungen an CO_2-Emissionen werden in dem Zeitraum bis 2020 erzielt, da bis dahin die Kraftwerke in Nordrhein-Westfalen modernisiert wurden. Als Ergebnis der langen Laufzeit von Kohlekraftwerken bleiben diese Emissionen allerdings bis 2050 konstant und lassen nur geringe Effizienzfortschritte zu (Abbildung 4-4).

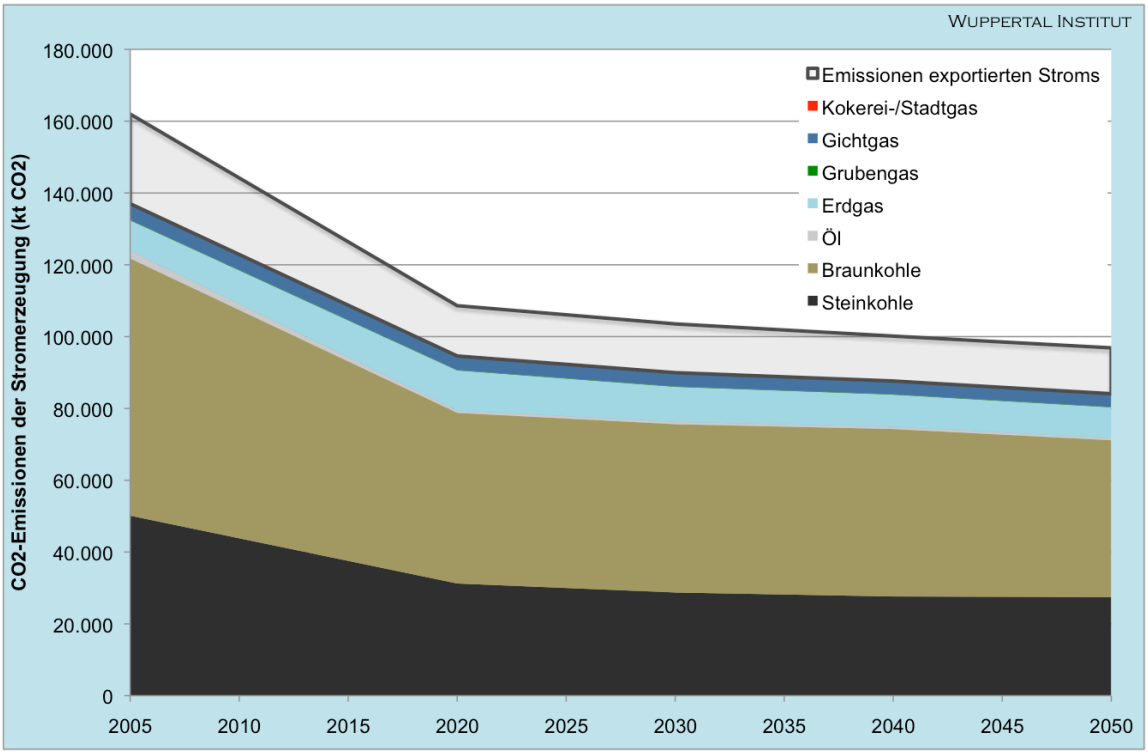


Abbildung 4-4: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung

Quelle: Eigene Darstellung

Der Fernwärmebedarf sinkt bis 2050 deutlich, insbesondere der Sektor GHD vermindert seine Nachfrage signifikant (Abbildung 4-5). Darin zeigt sich der starke Einfluss der Wärmedämmung der Gebäude im GHD-Sektor. Ein Vergleich des Endenergiebedarfs der verschiedenen Sektoren (Abbildung 4-6) zeigt, dass bis 2050 der Brennstoffbedarf bestimmend bleibt, während der Strom- und Fernwärmebedarf verhältnismäßig gering bleibt.

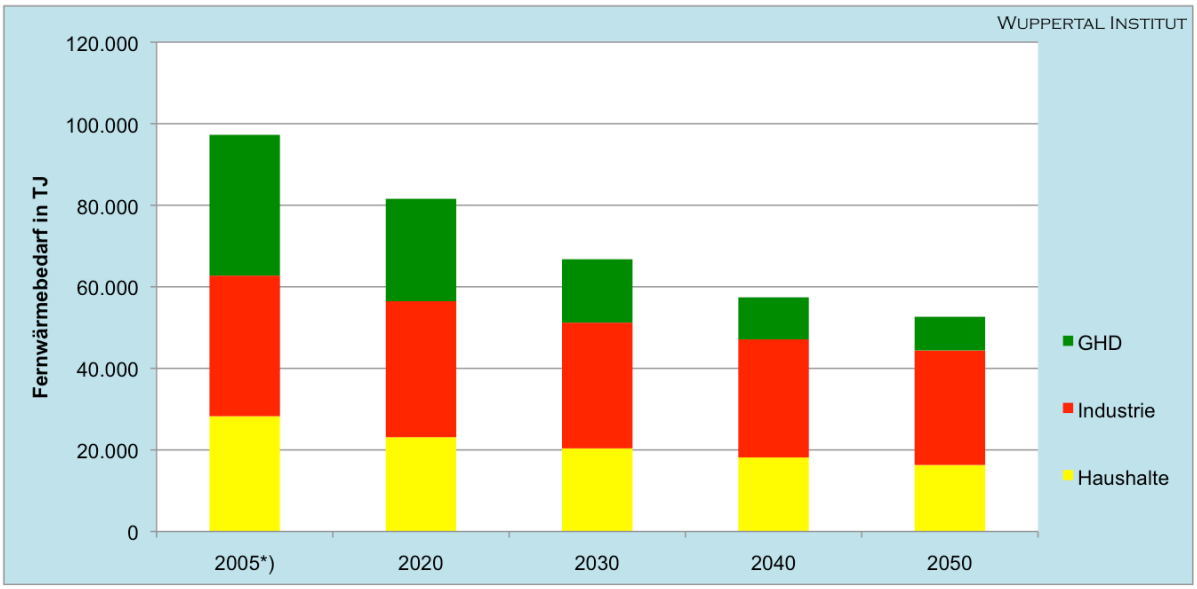


Abbildung 4-5: Fernwärmebedarf (*bei GHD und Privaten Haushalten Werte für 2007)

Quelle: Eigene Darstellung

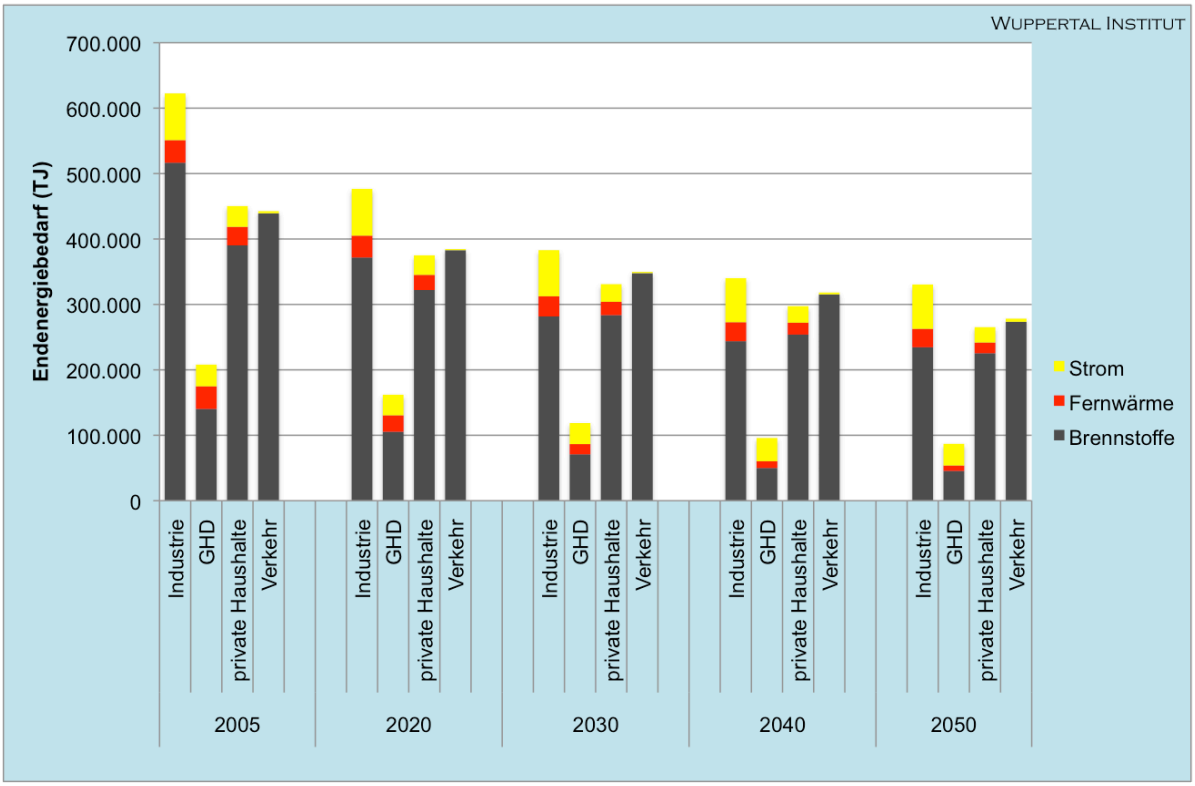


Abbildung 4-6: Brennstoffe und Energiebedarf

Quelle: Eigene Darstellung

Die Gesamtdarstellung der THG-Emissionen in NRW bis 2050 auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms von 2008 (MWME 2008) zeigt, dass die Gesamtemissionen bis 2020 deutlich abnehmen, dass sich aber die Minderung ab 2020 deutlich abflacht. Dies liegt zentral an dem Minderungseffekt, der sich aus der Modernisierung der vorhandenen Kohlekraftwerke ergibt, die bis 2020 zu großen Teilen erneuert werden. Aufgrund der langen Laufzeit der Kraftwerke senken sich nach der Modernisierung die THG-Emissionen des Kraftwerkssektors nur gering. Dieser Effekt kann nicht von den THG-Minderungen der anderen Sektoren wie GHD oder der nicht verbrennungsbedingten Emissionen abgefangen werden.

Durch die Vorgaben des Energie- und Klimaschutzprogramms von 2008 (MWME 2008) können bis 2020 so viel Emissionen gemindert werden, dass die Gesamtemissionen in die Größenordnungen des Klimaschutzziels der Bundesregierung (rechnerisch heruntergebrochen auf NRW) erreicht werden. Allerdings wird durch die Modernisierung der Kohlekraftwerke eine Struktur aufgebaut, die das Erreichen der langfristigen Klimaschutzziele bis 2050 verhindert (Abbildung 4-7).

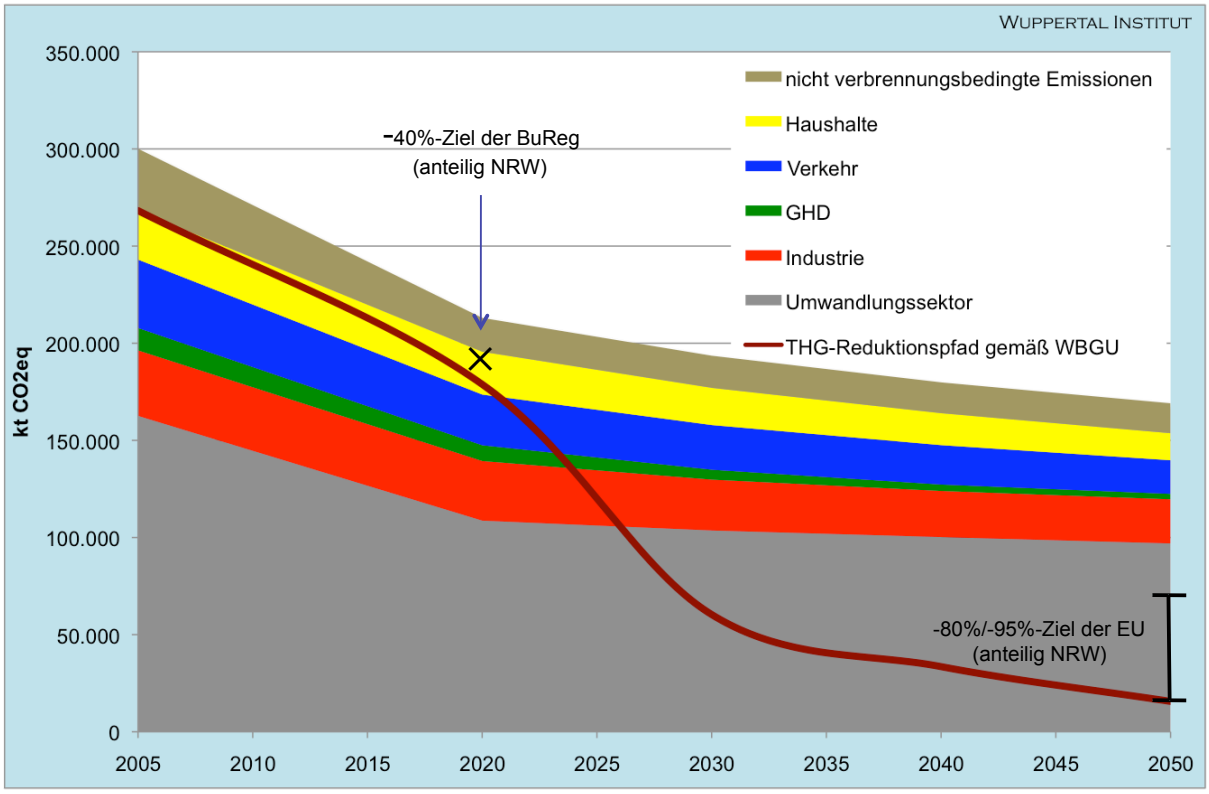


Abbildung 4-7: Treibhausgasemissionen in NRW bis 2050 auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms von 2008

Quelle: Eigene Darstellung

4.6 Erweiterung der Projektion auf Basis des rot/grünen Koalitionsvertrages

Die Festlegungen im Koalitionsvertrag der derzeitigen rot-grünen Landesregierung (NRW-SPD; Bündnis' 90/Die Grünen NRW 2010) wurden zur Bildung eines eigenen Szenarios

„Koalitionsvertrag“ herangezogen. Dabei wurden folgende energiepolitische Kernpunkte des Koalitionsvertrages berücksichtigt:

- Erhöhter Anteil der Windenergie von 15 % der Stromversorgung in 2020.
- Erhöhter Anteil der KWK an der Stromerzeugung von über 25 % in 2020.
- Neue fossile Kraftwerke dürfen nicht im Widerspruch zu erneuerbaren Energien stehen, sondern sollen diese ergänzen.
- Die Emissionen bestehender fossiler Kraftwerke müssen gemindert werden, der Ersatz bestehender Anlagen muss mit den Klimaschutzzielen kompatibel sein.
- CO_2-freie Stromerzeugung im rheinischen Braunkohlerevier: bis 2050 minus 80 – 95%.
- Minderung der Stromnachfrage um 11% bis 2020.

Für das Szenario „Koalitionsvertrag“ wurde das zuvor dargestellte Energie- und Emissionsmodell mit einem Kraftwerk-Bestandsmodell gekoppelt, das Aussagen darüber erlaubt, wann einzelne Großkraftwerke nach Ablauf ihrer technischen Lebensdauer (von 40 Jahren) vom Netz gehen würden. Durch dieses Kriterium gingen schon bis 2020 relativ viele Anlagen vom Netz (vgl. Abbildung 4-8). Ein Ersatz von Großkraftwerken wurde nicht angenommen, da dieser die Erreichung des Zieles der Landesregierung einer CO_2-freien Stromerzeugung gefährden würde.

Folgende bedeutendere Kraftwerksneu- bzw. -ersatzbauten, die in der Zukunft voraussichtlich an das öffentliche Netz gehen werden, wurden berücksichtigt:

- Bocholt (Advanced Power AG)
- Duisburg-Walsum (Evonik)
- Düsseldorf-Lausward (Stadtwerke Düsseldorf)
- Lünen, Stummhafen (Trianel Power)
- Neurath (RWE Power)
- Westfalen/Hamm Block D+E (RWE Power)
- Krefeld-Uerdingen (Trianel Power; laufendes Genehmigungsverfahren)

Diese Kraftwerke bzw. Kraftwerksblöcke bleiben Annahme gemäß bis mindestens 2050 am Netz. Die installierte Leistung nach einzelnen öffentlichen Großkraftwerken in NRW zeigt die folgende Abbildung 4-8 auf.

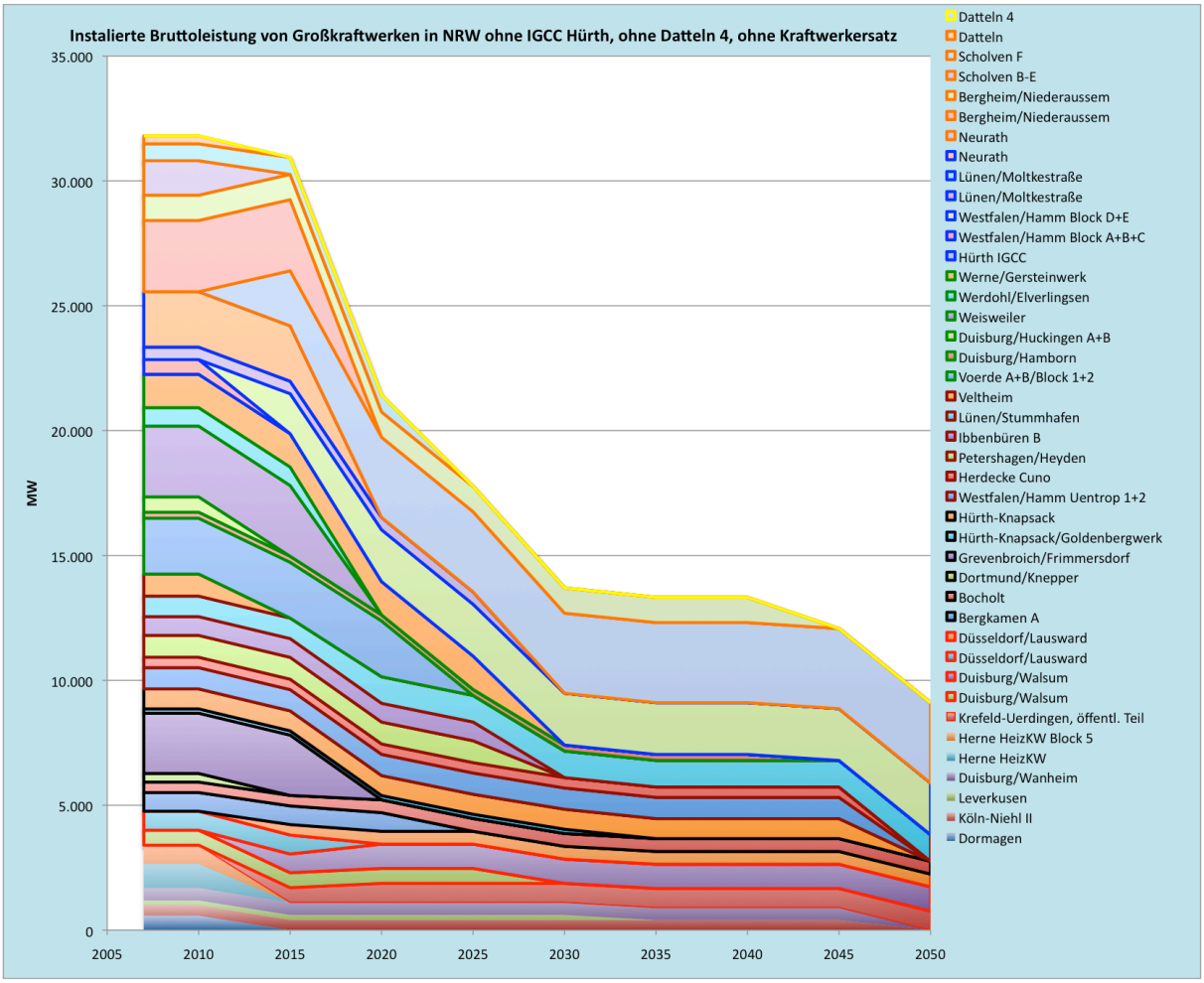


Abbildung 4-8: Installierte Bruttoleistung von Großkraftwerken in NRW

Quelle: Eigene Darstellung

Hinsichtlich der Entwicklung der Endenergienachfrage wurde weitgehend dem Szenario auf Basis des Energie- und Klimaschutzprogramms der Vorgängerregierung (und damit dem WWF-Referenzszenario) gefolgt.

Abweichend davon wurden die folgenden Punkte berücksichtigt:

- Damit die zusätzliche Nachfrage nach KWK-Wärme bis 2020 erschlossen werden kann, wurden die Potentiale des EUtech-Gutachtens im Auftrag der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen im Landtag NRW (EUtech 2008) berücksichtigt. Entsprechend wird direkter Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung in allen Sektoren verdrängt. Nach 2020 folgt kein weiterer Ausbau der KWK-Wärmeversorgung. Die Nachfrage nach KWK-Wärme sinkt dann entsprechend der angenommenen Sanierungstätigkeit bzw. der Effizienzverbesserungen der industriellen Anlagen (gemäß WWF Referenzszenario).

- Obwohl der Koalitionsvertrag nur wenige konkrete Instrumente vorsieht, wurde angenommen, dass das Ziel einer Minderung des Strombedarfs um 11% bis 2020 erreicht wird. Diese Minderung wurde vereinfachend proportional auf die Sektoren Haushalte, GHD und Industrie verteilt. Nach 2020 folgt die Entwicklung der spezifischen Stromnachfrage wiederum dem WWF-Referenzszenario.

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Szenarios dargestellt.

Folgt man den Vorgaben des Koalitionsvertrag sinkt die Nettostromerzeugung in NRW in Folge des Ausscheidens konventioneller Kraftwerke bis 2020 um 5%, während die Stromnachfrage den Zielen des Koalitionsvertrages folgend gleichzeitig um 11% gegenüber 2005 zurückgeht. Entscheidenden Anteil daran, dass das Angebot unterproportional steigt, hat die Zunahme der KWK-Stromerzeugung, deren Beitrag sich von heute 18 TWh (brutto) auf den Maximalwert im Jahre 2020 von 43 TWh erhöht (entsprechend 25% der gesamten Stromerzeugung im Lande). Die Zunahme der KWK-Stromerzeugung wird, dem Gutachten von EUtech (2008) folgend, durch eine Erhöhung der Stromkennzahl (z.B. durch Retrofit respektive Ersatz von Bestandsanlagen), eine Ausweitung der Fernwärmeversorgung (Verdichtung und vor allem auch Erweiterung) sowie dem Ausbau der industriellen KWK erreicht. Die Fernwärmenachfrage geht allerdings von 2020 bis 2050 selbst unter den Bedingungen des WWF-Referenzszenarios (mit nur moderaten Sanierungsraten im Wohnungsbestand) so weit zurück, dass fraglich ist, inwiefern die bis 2020 neu errichteten Kapazitäten allein (alte Anlagen gehen alle vom Netz) die größere Zahl an Fernwärme-Netzen mit ihren sinkenden Dichten sinnvoll versorgen können.

Dies zeigt deutlich, dass gerade der Ausbau der KWK mit einem langfristigen Planungshorizont erfolgen muss. Eine detaillierte Planungs-/Szenariorechnung bis 2050 kann im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden, insofern ist für die Grobabschätzung der erreichbaren Minderungswirkung vereinfacht unterstellt worden, dass der KWK-Stromerzeugungsbeitrag proportional zur sinkenden Wärmenachfrage zurückgeht. Würde man dem in der Realität folgen wollen, würde dies bedeuten, den Fokus eher auf weniger Fixkosten intensive und flexiblere dezentrale KWK-Strukturen zu lenken als auf zentrale Fernwärmeversorgungssysteme.

Abbildung 4-9 verdeutlicht, dass die in Linienform dargestellte Nettostromerzeugung die anhand von Balken illustrierte Nettostromnachfrage in NRW (gegliedert nach Sektoren) deutlich übertrifft. Dies ist insbesondere auf das im Koalitionsvertrag verankerte Ziel, den Anteil von KWK-Anlagen an der nordrhein-westfälischen Stromerzeugung auf mehr als 25% bis 2020 zu steigern, zurückzuführen. In den Folgejahren sinkt die Nettostromerzeugung ab und liegt 2050 knapp unter dem Nettobedarf NRW's. Der Status Nordrhein-Westfalens als Stromexportland bliebe folglich bis 2040 bestehen.

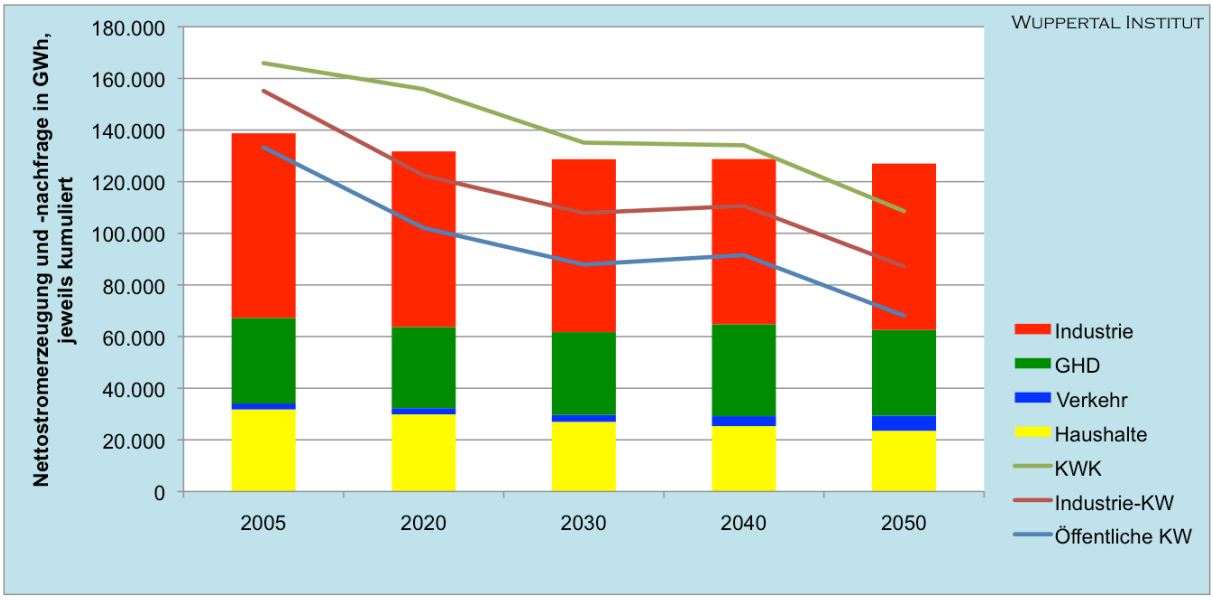


Abbildung 4-9: Nettostromerzeugung und -nachfrage im Szenario Koalitionsvertrag (Stromerzeugung kumuliert dargestellt[28])

Quelle: Eigene Darstellung

Die Struktur der Stromerzeugung nach Energieträgern zeigt Abbildung 4-10 auf. Deutlich wird auch hier der KWK-Ausbau auf Erdgas-Basis sowie der Ausbau von Windstrom-Erzeugungskapazitäten. Laut Koalitionsvertrag sollen Windkraftanlagen im Jahr 2020 15% der Stromversorgung NRWs (also der Nachfrage) abdecken. In dem hier vorliegenden „Szenario Koalitionsvertrag“ liefert die Windkraft im Jahr 2020 20,5 TWh und im Jahr 2040 41 TWh Strom. Darin sind sowohl Potentiale zum ‚Repowering’ als auch Ausbaumöglichkeiten durch eine zusätzliche Flächenausweisung (gemäß Koalitionsvertrag auf 2% der Landesfläche) berücksichtigt (vgl. auch EUtech 2008). Ein weiterer Ausbau findet nach 2040 nicht statt, da zu diesem Zeitpunkt die angenommen Flächenpotentiale ausgeschöpft sind.

Im Gegensatz zur KWK-Stromerzeugung und zu den erneuerbaren Energien ist die konventionelle Stromerzeugung rückläufig. Im Szenario Koalitionsvertrag wird unterstellt, dass die konventionellen Kraftwerke nach Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer (von 40 Jahren) nicht ersetzt werden, so dass die Bruttostromerzeugung sinkt. Da einige Kraftwerksvorhaben erst nach 2010 an das Netz gehen werden (s.o.), bleibt 2050 noch ein „Restbestand“ an fossiler Stromerzeugung ohne KWK.

[28] Die industrielle Stromerzeugung entspricht dem Unterschied zwischen der roten und blauen Linie, die KWK-Stromerzeugung dem Unterschied zwischen der grünen und roten Linie.

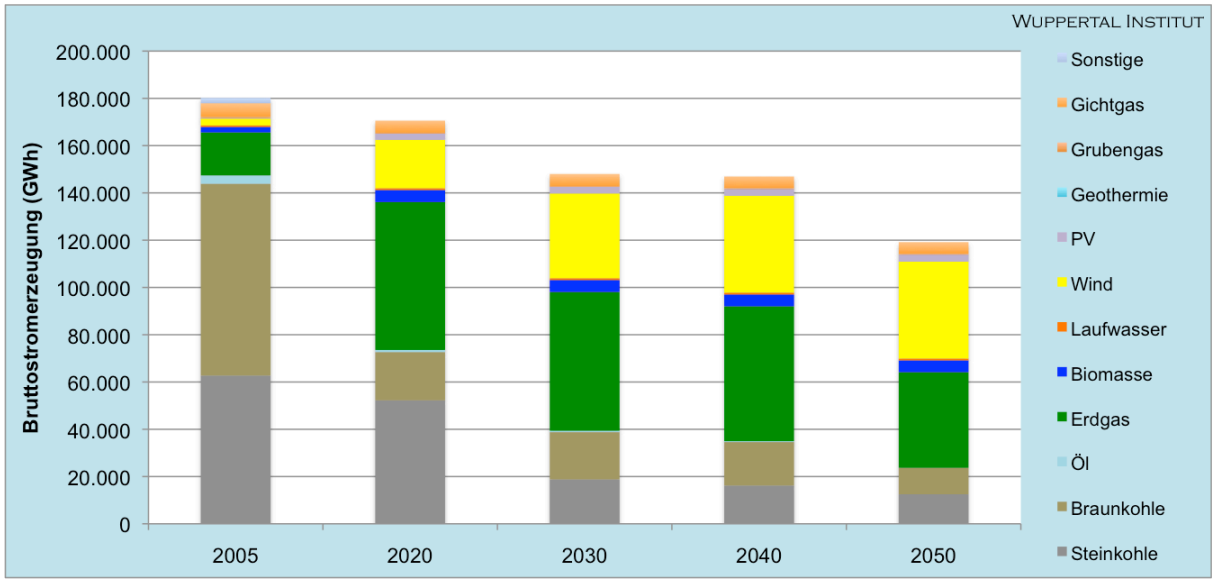


Abbildung 4-10: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern

Quelle: Eigene Darstellung

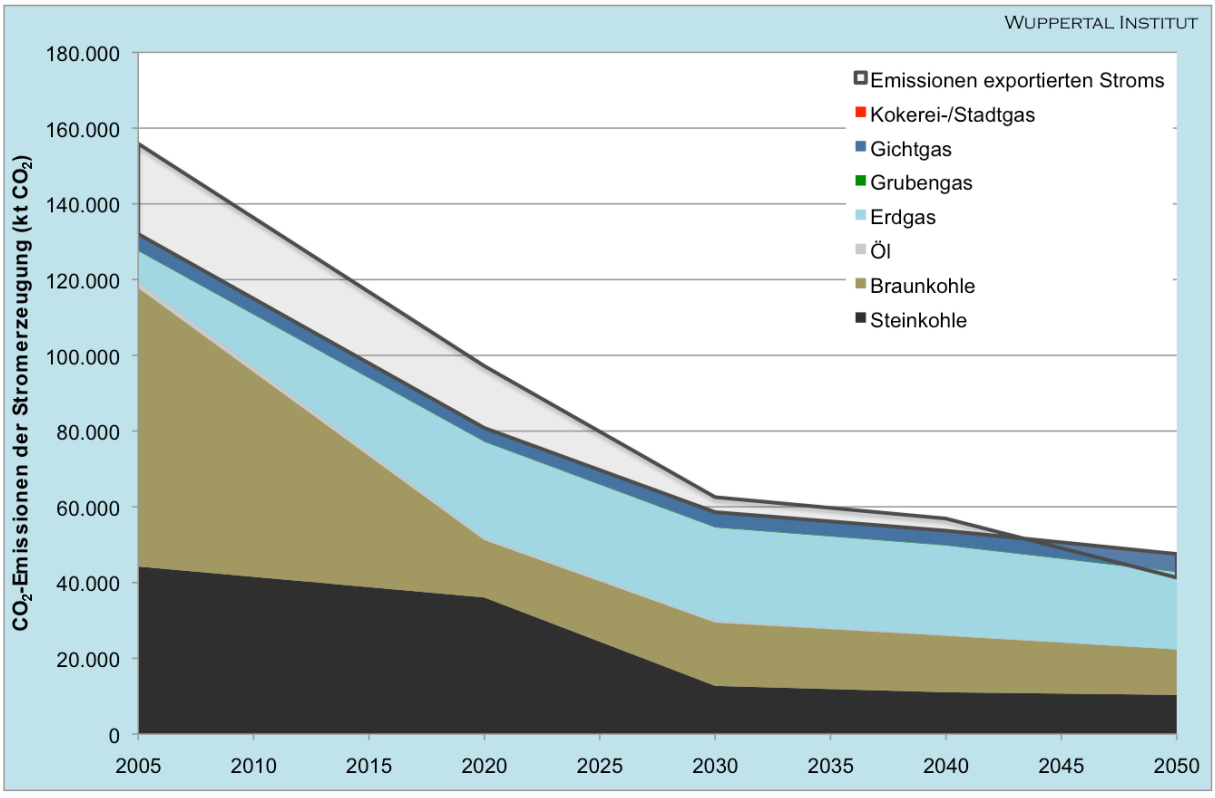


Abbildung 4-11: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung; Szenario Koalitionsvertrag (Berechnung der Emissionen des netto exportierten Stroms mit dem durchschnittlichen NRW-Erzeugungsmix)

Quelle: Eigene Darstellung

Die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung gehen im Zeitverlauf deutlich zurück, obwohl NRW bis 2040 weiter Netto-Stromexporteur bleibt. In Abbildung 4-11 ist die Emissionsentwicklung dargestellt. Obwohl nach 2015 keine konventionellen Kohlekraftwerke neu errichtet werden, gehen die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung bis 2050 nur um 73,5% zurück, womit das Ziel des Koalitionsvertrages (minus 80 bis minus 95%) für diesen Sektor deutlich verfehlt würde. Eine Zielerreichung wäre zwar grundsätzlich möglich, wenn die nach 2010

errichteten fossilen Kraftwerke nachträglich mit einer CO_2-Abtrennung ausgerüstet würden und das CO_2 anschließend sicher eingelagert würde (CCS). Allerdings widerspräche diese Maßnahme nicht nur den Vorgaben des Koalitionsvertrags, der in Bezug auf CCS eine Fokussierung auf den industriellen Bereich und die CO_2-Nutzung vorsieht, sondern wäre auch aus ökonomischen Gesichtspunkten heraus aufgrund der nur geringen Restlaufzeit der fossil befeuerten Anlagen nicht zielführend

In der folgenden Abbildung 4-12 ist daher eher als theoretische Variante die Emissionsentwicklung dargestellt für den Fall, dass bestehende Groß-Kraftwerke ab 2020 mit einer CO_2-Abscheidungstechnik nachgerüstet werden können, wodurch die Emissionen um etwa die Hälfte sinken könnten.[29] In diesem, als optimistisch einzustufenden Fall, gehen die CO_2-Emissionen der Stromerzeugung um 86% zurück.

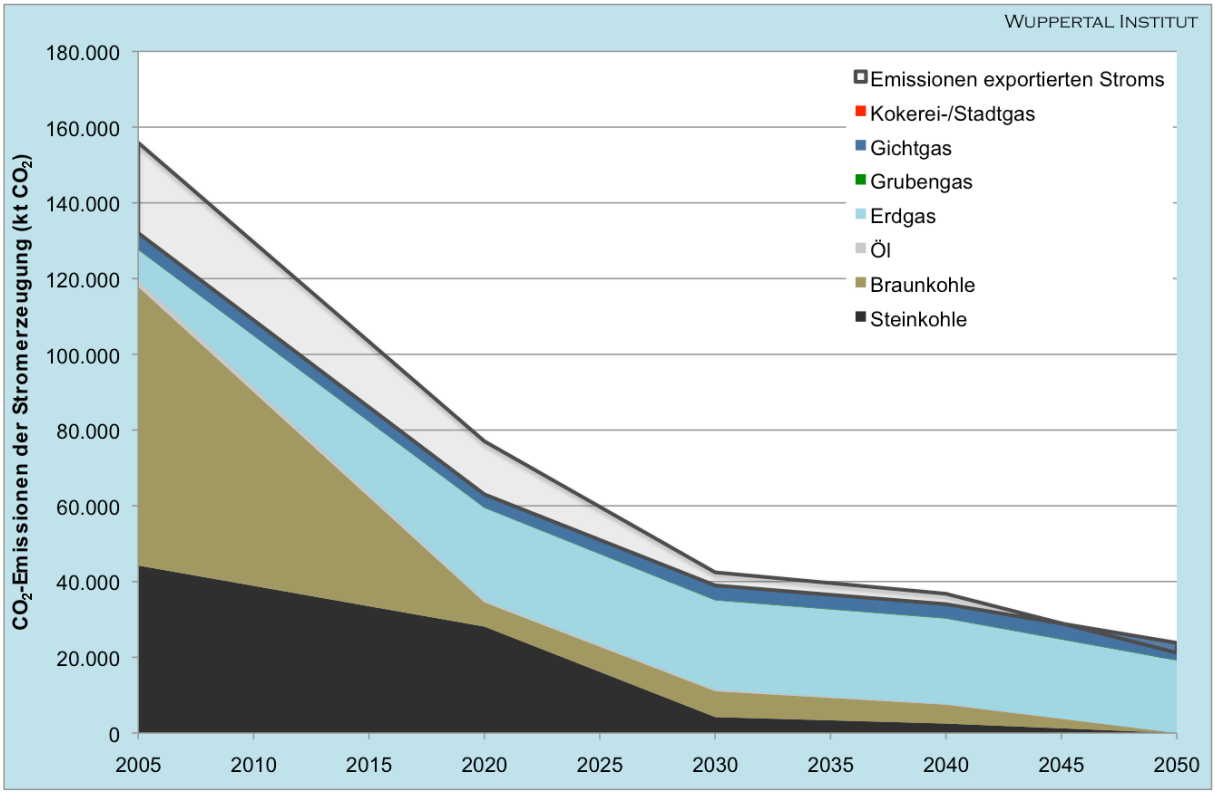


Abbildung 4-12: CO_2-Emissionen der Stromerzeugung, Variante CCS ab 2020 marktreif (exportierte Strom s.o.)

Quelle: Eigene Darstellung

Der gesamte Endenergiebedarf geht im Szenario „Koalitionsvertrag“ stärker zurück als im Szenario „Energie- und Klimaschutzkonzept“ der Vorgängerregierung (vgl. Abbildung 4-13). Dies hängt mit dem angenommenen Rückgang des Strombedarfs um 11% gegenüber 2005 zusammen. Direkt emissionswirksam wird dieser Rückgang im gewählten Bilanzierungskonzept nach dem Territorialprinzip nicht, da die Stromerzeugung nicht direkt mit der Binnen-Nachfrage gekoppelt ist. Nach 2020 sorgt das Sinken der Stromnachfrage nach den hier getroffenen Annahmen dafür, dass NRW Netto-Stromexporteur bleibt. Strukturell verschiebt

[29] Für die Abscheiderate wurden die Annahmen der CCS-NRW-Studie des Wuppertal Instituts übernommen (Wuppertal Institut 2009b).

sich der Endenergiebedarf im Szenario „Koalitionsvertrag“ im Zuge der deutlichen Ausweitung der KWK vom direkten Brennstoffeinsatz hin zur Fernwärme.

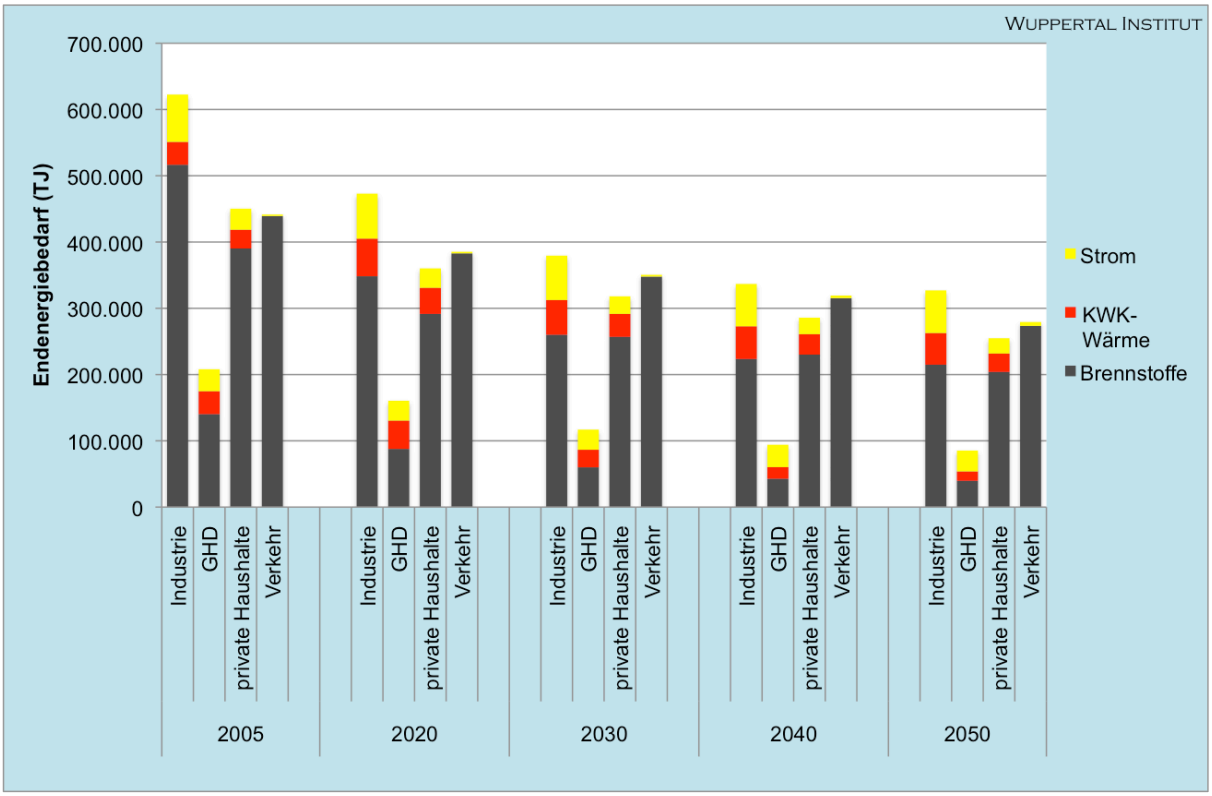


Abbildung 4-13: Endenergiebedarf nach Sektoren

Quelle: Eigene Darstellung

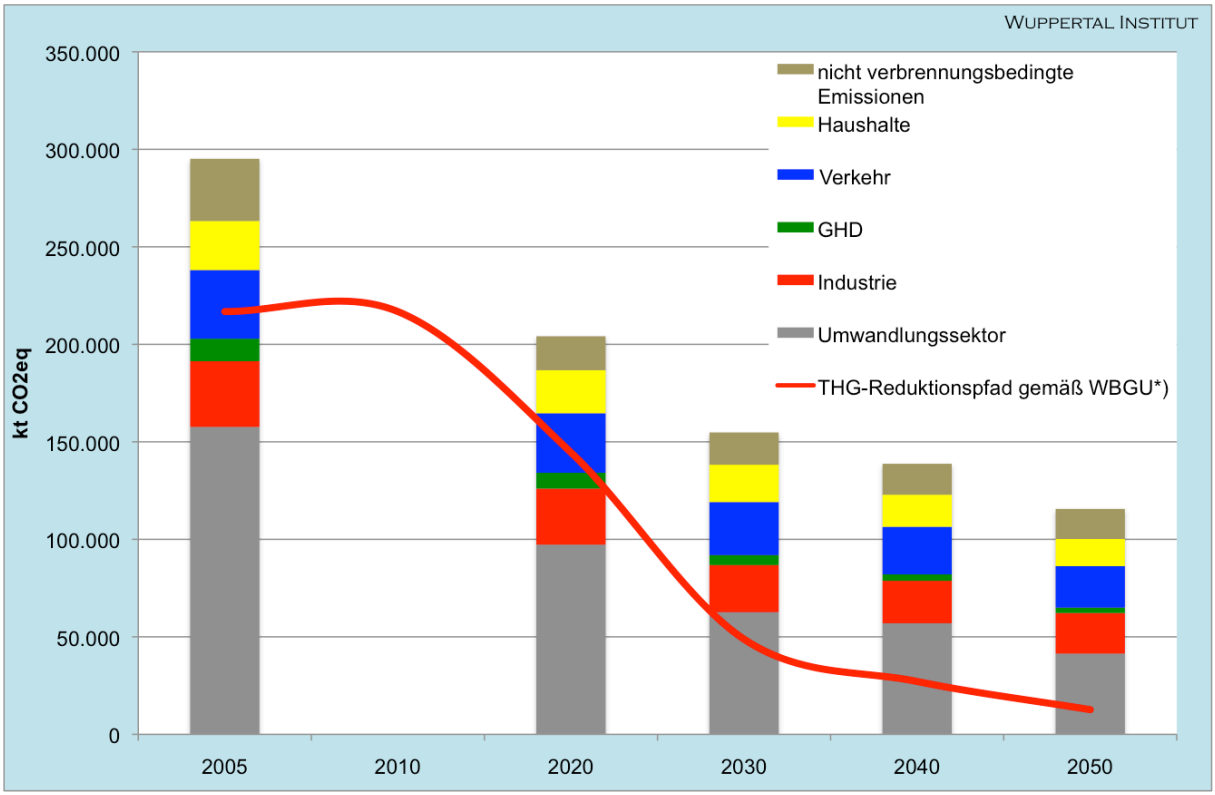
Die Treibhausgasemissionen sinken bezogen auf das Territorium von NRW um insgesamt 61%. Nachfrageseitig, d.h. wenn man die Emissionen exportierten Stroms im Basisjahr unberücksichtigt lässt[30], sinken die Emissionen nur um 49%. Ohne zusätzliche Maßnahmen (jenseits der klaren Vorgaben des Koalitionsvertrages ist hier eine Entwicklung gemäß des Referenzszenarios der WWF-Studie unterstellt worden) wird das langfristige Reduktionsziel von 80% bis 95% deutlich verfehlt (s. Abbildung 4-14).

Wenn der vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) vorgeschlagene Budgetansatz als Maßstab angewendet wird, könnte NRW unter den hier getroffenen Annahmen zumindest seinen relativen THG-Minderungsbeitrag bis 2020 erbringen. Nach dem Ziel der rot-grünen Landesregierung einer Minderung der CO_2-Emissionen von 25% im Jahre 2020 gegenüber 1990 müssten die Energie bedingten CO_2-Emissionen bis 2020 um 25% sinken und damit etwa bei 225.000 kt CO_2 pro Jahr liegen. Dieses Ziel würde unter den für dieses Szenario getroffenen Annahmen erfüllt.

Nach 2020 müssten jedoch weitere Maßnahmen greifen. Ein Zukauf von Emissionsrechten ist im dargestellten WBGU-Pfad bereits vorgesehen, d.h. es sind weitere Minderungen auf dem Territorium NRWs notwendig.

Um diese zu erreichen, sind weitere Maßnahmen für alle Sektoren zu entwickeln.

[30] Der 2050 importierte Strom wurde hier vereinfachend als CO_2-neutral angenommen.



*) Dargestellt ist eine stilisierte Entwicklung des WBGU-Pfades „Zukunftsverantwortung“ für die Ländergruppe 1 unter Berücksichtigung von Emissionshandel zwischen den Ländergruppen. Das Emissionsbudget NRWs ergibt sich aus der Zahl seiner Einwohner, multipliziert mit der durchschnittlichen Pro-Kopf-Emission in der Ländergruppe 1 von 12t CO_2 pro Jahr. WBGU berücksichtigt nur die verbrennungsbedingten Emissionen.

Abbildung 4-14: THG-Emissionen in NRW im Szenario Koalitionsvertrag

Quelle: Eigene Darstellung

Gegenüber dem Referenzszenario für NRW und auch im Vergleich mit dem Szenario zum Energie- und Klimaschutzkonzept der Vorgängerregierung weist das Szenario „Koalitionsvertrag“ einen deutlichen Beitrag des Landes NRW zum Klimaschutz aus. Dies betrifft insbesondere auch den Zeitraum nach dem Jahr 2020, in dem sich die im Energie- und Klimaschutzkonzept der Vorgängerregierung verankerte weitgehende Kraftwerksersatzstrategie strukturbildend auswirkt und weitere Emissionsminderungen behindert. Besonders deutlich wird der höhere klimapolitische Anspruch des Szenarios Koalitionsvertrag bei einem Vergleich zwischen den beiden Szenarien hinsichtlich der Pro-Kopf-Emissionen: Während NRW im Jahr 2005 deutlich überdurchschnittliche THG-Emissionen von mehr als 16 Tonnen pro Kopf (gegenüber bundesweit etwas mehr als 12 Tonnen pro Kopf) aufwies, sinkt dieser Wert im Szenario „Koalitionsvertrag“ im Zeitablauf deutlicher als der im WWF-Referenzszenario projizierte Bundeswert und liegt ab 2030 unter diesem. Das weitere Absinken nach 2030 ist insbesondere dem Auslaufen der Kohlekraftwerke zuzuschreiben.

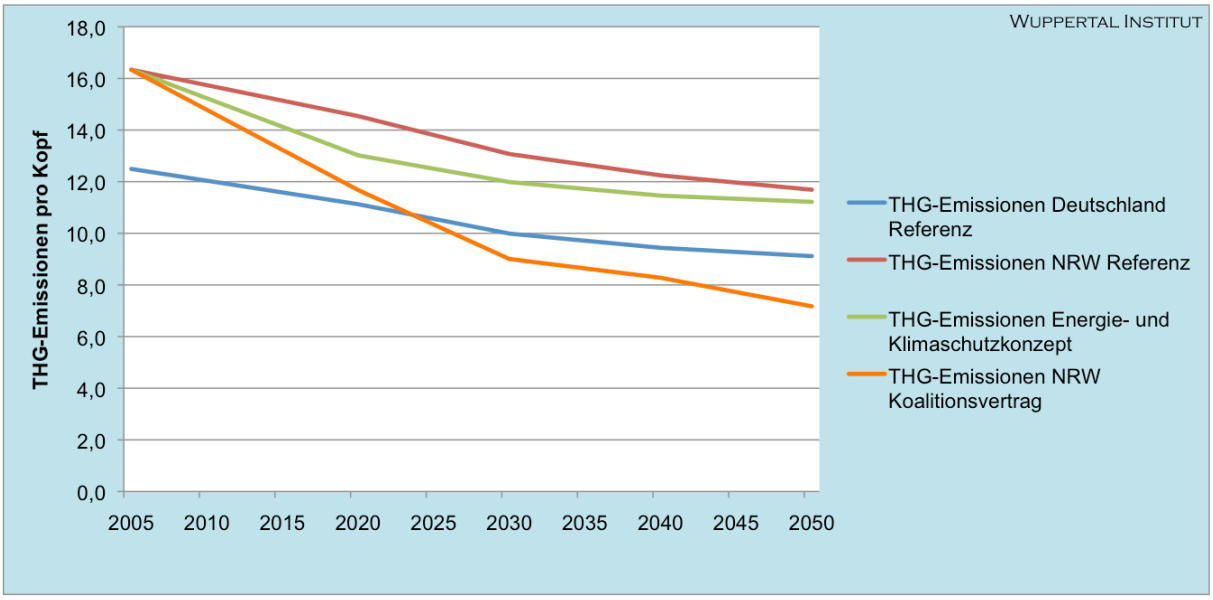


Abbildung 4-15: Entwicklung der Pro-Kopf-THG in NRW

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen:

- Sollten die bestehenden konventionellen Kraftwerke nach Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer vom Netz gehen, kann das Klimaschutzziel einer Senkung der CO_2-Emissionen um 25% bis 2020 gegenüber 1990 erreicht werden.
- 2050 bleibt NRW weit hinter dem Ziel von 1 bis 2 Tonnen CO_2 pro Kopf und Jahr zurück. Ohne zusätzliche Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene können die Potentiale insbesondere im Bereich der Energieeffizienz und im Bereich der Verminderung der Klimalasten des Verkehrs nicht gehoben werden.
- Gegebenenfalls benötigt NRW über die dargestellten Maßnahmen hinaus auch weitere flexible Mechanismen zusätzlich zum bereits bestehenden Emissionshandelssystem.
- Das heißt aber auch, dass NRW entsprechende Kosten für den Bezug von CO_2-Rechten tragen und daher auch entsprechend an den Erlösen beteiligt werden müsste.
- Die wirtschaftliche Tragfähigkeit einer KWK-Ausbaustrategie im Kontext eines langfristig angelegten Klimaschutzplanes konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht werden. Bei einer Potentialabschätzung für NRW müsste auch die Sanierungstätigkeit nach 2020 adäquat berücksichtigt werden.

5 Die Methode der multi-kriteriellen Analyse

Eine multi-kriterielle Analyse (Multi Criteria Analysis/MCA) ist eine Methode zur Vorbereitung politischer Entscheidungsprozesse in hochkomplexen Bereichen. Ziel ist es, eine Entscheidungsfindung zu unterstützen bei gleichzeitiger Beibehaltung der strukturellen Unterschiede der möglichen Alternativen. Dazu werden im ersten Schritt Alternativen definiert, die bewertet werden sollen. Zum Vergleich der gewählten Alternativen werden Kriterien definiert, welche eine Unterscheidung ermöglichen und sich an den gewählten Politikzielen ausrichten. Aus der Bearbeitung dieser Punkte ergibt sich eine Matrix, in der sich die wesentlichen Unterschiede der Alternativen herauslesen lassen. In dem nächsten Schritt werden die inhaltlichen Aussagen der Matrix zu einzelnen Bewertungen zusammengefasst und in einem Modell miteinander verglichen. In das Modell können z.B. Gewichtungen der einzelnen Kriterien einfließen.

In der hier vorliegenden MCA werden die Maßnahmen nach der Bewertung in Sektoren aggregiert, um die Vergleichsebene aufgrund der hohen Unterschiedlichkeit der Maßnahme zu begrenzen.

Als Ergebnis der Untersuchung ergeben sich Schlussfolgerungen, wie die verschiedenen Strategien/Maßnahmen nach den vorgegebenen Parametern zu bewerten sind (siehe z.B. Department for Communities and Local Government 2009; Pohekar und Ramachandran 2004).

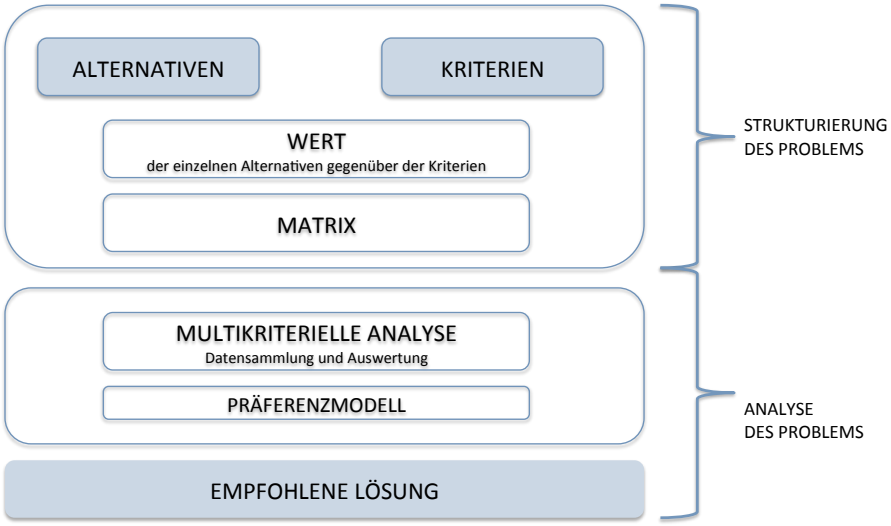


Abbildung 5-1: Grundlegende Struktur einer Multi-kriteriellen Analyse

Quelle: Eigene Darstellung

1. Schritt: Festlegung der Alternativen

Als erster Schritt ist die Festlegung der zu vergleichenden Alternativen notwendig. In diesem Projekt werden langfristig wirkende Klimaschutzmaßnahmen für NRW verglichen. Eine Beschreibung der Maßnahmen findet sich in Kapitel 6. Dabei handelt es sich um technologische und strukturelle Maßnahmen, die in Zusammenhang mit den zu erwartenden Herausforderungen im Klimaschutz stehen. Die Auswahl der Alternativen erfolgte in enger Abspra-

che mit dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

1 Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung über die Referenz hinaus
   a. Heimische (NRW-) Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien
   b. Import von Strom aus erneuerbarer Energie
   c. Speichertechnologien zur systemischen Ergänzung regenerativer Erzeugung

2. Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark
   a. Fortgesetzte Modernisierung und 700-Grad-Kraftwerk
   b. Brennstoffwechsel durch Umrüstung und Neubau
   c. CCS im Verbund mit der Kraftwerkserneuerung und Nachrüstung

3. Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur

4. Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie
   a. Alternative Stahlerzeugung
   b. Forcierte Energieeffizienz in der Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik
   c. CCS in der Industrie
   d. Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen

5. Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich
   a. Umsetzung Nullenergie-/Plusenergiehäuser und –siedlungen
   b. Deutliche dauerhafte Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand

6. Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums

7. Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie
   a. Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen
   b. Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe für Fahrzeuge
   c. Verkehrsverlagerung und Effizienz im Güterverkehr

8. Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung

Abbildung 5-2: Liste der untersuchten Klimaschutzmaßnahmen in NRW bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung

2. Schritt: Festlegung der Kriterien

Die Grundlage für die Wahl der Kriterien ist, eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Alternativen herzustellen. Die Qualität der Ergebnisse basiert zu einem großen Anteil auf der Qualität der Kriterien zur Unterscheidung der Alternativen. Grundlegend müssen die Kriterien folgenden Ansprüchen genügen:

- Vollständigkeit. Alle wichtigen Unterscheidungsmerkmale müssen angesprochen werden.
- Benutzbarkeit. Alle Kriterien müssen qualitativ oder quantitativ beschreibbar sein und für die Zielbetrachtung relevant sein.
- Einzigartigkeit. Es ist wichtig, dass nicht zwei Kriterien die gleiche Tatsache beschreiben.
- Einfachheit. Die Darstellung des Problems sollte sich auf die unbedingt nötigen Kriterien zur Unterscheidung beschränken.
- Beschreibbarkeit. Jedes Kriterium muss so aufgelöst werden können, dass für die Alternativen auf einer Skala von 1 – 10 gewertet werden kann.

Die Kriterien werden in Gruppen geordnet, um die Bewertung in den nachfolgenden Schritten zu vereinfachen.

Die Kriterien wurden in drei Blöcke aufgeteilt, Klimaschutz und Energiepolitik, Ökonomie und Strukturentwicklung sowie Umsetzung in NRW. In jedem dieser drei Blöcke wurden zusätzlich Unterkriterien definiert (Abbildung 5-3). Eine Beschreibung der Kriterien findet sich Abschnitt 7.

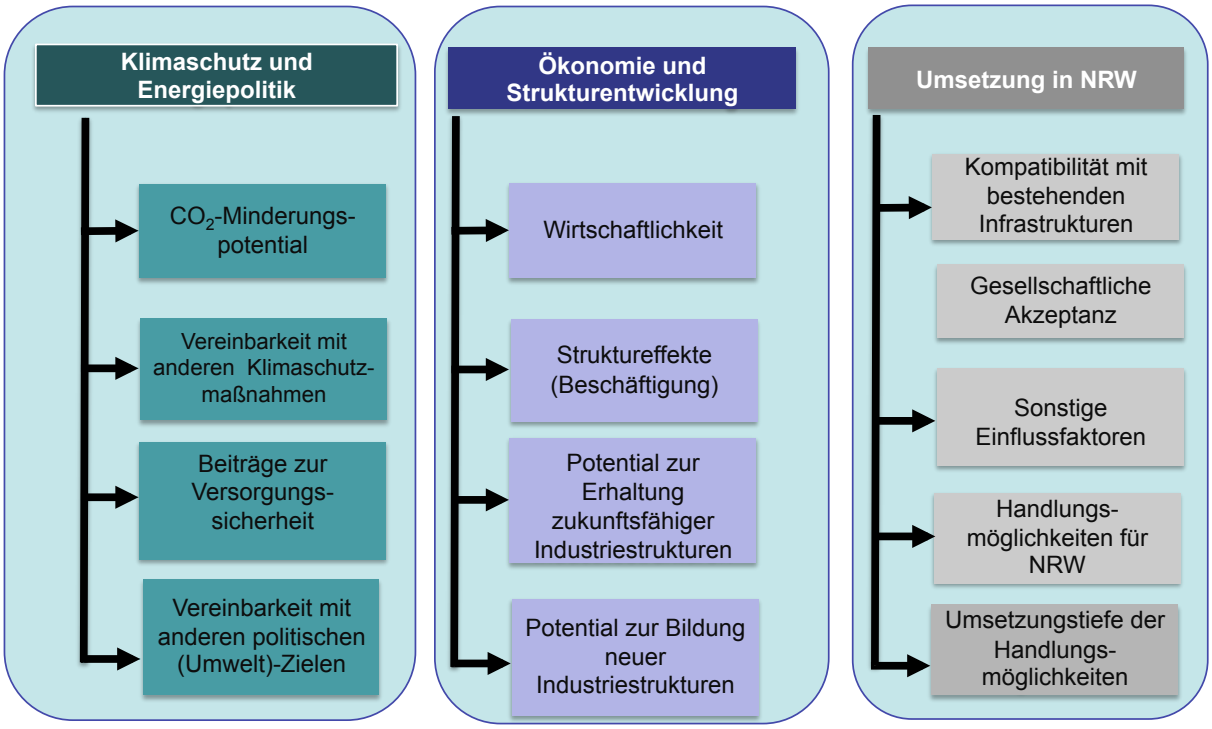


Abbildung 5-3: Kriterien zur Unterscheidung von Klimaschutzmaßnahmen für NRW bis 2050

Quelle: Eigene Darstellung

3. Schritt: Bewertung der Maßnahmen und Erstellung der Matrix

Die einzelnen Maßnahmen werden anhand der Kriterien bewertet. Dazu wird zu jedem Kriterium eine kurze Übersicht über den aktuellen Stand des Wissens hinsichtlich der Entwicklung bis 2050 dargestellt. Ziel ist es, dass die anschließende Bewertung in einer Matrix transparent und nachvollziehbar erfolgt. Die Betrachtung der langfristigen Strukturänderungen erfolgt in diesem Schritt im Wesentlichen qualitativ, um das vorhandene Wissen transparent zu bündeln. Die inhaltliche Bewertung der einzelnen Maßnahmen findet sich in Anhang 2.

Die Anwendung der eigentlichen multi-kriteriellen Analyse setzt voraus, dass die Einträge in der Matrix miteinander vergleichbar und verrechenbar gestaltet werden. Um dies zu erreichen wird jedem Kriterium eine Skala von 1 – 10 zugeordnet und die jeweilige Bedeutung definiert. Zum Beispiel bei CO_2-Minderung bedeutet „1“ kein CO_2-Minderungspotential und „10“ ein hohes CO_2-Minderungspotential. Auf diese Weise werden die qualitativen Informationen in Zahlenwerte übersetzt. Es entsteht eine Matrix, die sich aus den einzelnen Zahlenwerten zusammensetzt. Die Matrix findet sich in Anhang 1.

4. Die Gewichtung der Kriterien

In der eigentlichen multi-kriteriellen Analyse werden die vergebenen Zahlenwerte miteinander in Beziehung gesetzt und als Grundlage für die Bewertung der Alternativen genutzt. In diesem Fall müssen die einzelnen Kriterien jedoch noch gewichtet werden. So wird sichergestellt, dass sich die Ergebnisse an den politischen Prioritäten orientieren und sich keine praxisfernen Abweichungen einstellen. Diese Gewichtung gibt auch die Möglichkeit, unterschiedliche Prioritätensetzungen gegeneinander zu vergleichen.

Für die Gewichtung werden auf die Kriterien insgesamt 100 Punkte verteilt. Im ersten Schritt werden die 100 Punkte auf die verschiedenen Gruppen aufgeteilt, so dass sich eine grobe Vorgewichtung ergibt. Die auf die einzelnen Gruppen verteilten Punkte werden dann innerhalb des Kriterienblocks auf die Einzelkriterien aufgeteilt. Diese Punkte werden dann mit den erarbeiteten Skalen multipliziert, so dass sich daraus das gewichtete Ergebnis der multikriteriellen Analyse ergibt.

Um aus der Maßnahmenliste und den Kriterien eine Bewertung der Klimaschutzmaßnahmen zu erarbeiten sind folgende Schritte notwendig:

1. Ausfüllen der Matrix mit dem aktuellen Stand des Wissens
2. Einordnung der Relevanz der Kriterien für die Maßnahme auf einer Skala von 1 – 10.
3. Festlegung der Gewichtung der einzelnen Kriterien.

Schritt 1 und 2 wurden vom Wuppertal Institut durchgeführt, für Schritt 3 wird nach der Theorie der MCA ein Stakeholder benötigt, der seine Präferenzen angibt. In diesem Fall handelt es sich dabei um das MKULNV, welches die einzelnen Kriterien gewichtet. Die Gewichtung gibt an, mit welchem Faktor die Ergebnisse der Bewertung aus Schritt 2 in die Gesamtbewertung eingehen. Basierend auf der Gewichtung des MKULNV werden alternative Gewichtungen abgeleitet, um die Robustheit der Einordnung der einzelnen Maßnahmen zu prüfen.

Verteilung der Gewichtung:

Es werden 100 Punkte vergeben. Im **ersten Schritt** werden die 100 Punkte auf die Blöcke verteilt.

Beispiel zur Punkteverteilung in den Blöcken

Block	Klimaschutz und Energiepolitik	Ökonomie und Strukturentwicklung	Umsetzung in NRW
Punkteverteilung	40	35	25

Im **zweiten Schritt** wird die Summe der Punkte der einzelnen Blöcke auf die Kriterien verteilt:

Beispiel zur Punkteverteilung im Block Klimaschutz und Energiepolitik

Kriteri-	CO_2-	Vereinbarkeit mit	Beiträge zur Ver-	Vereinbar-	**Sum-**

um	Minde-rungs-Potential	anderen Klima-schutzmaßnahmen	sorgungssicherheit	keit mit anderen politischen (Umwelt-) Zielen	**me**
Punkte-verteilung	20	10	5	5	40

Nachdem die Verteilung der 100 Punkte erfolgt ist, kann aus den Gewichtungen und den Bewertungen eine Reihenfolge der Klimaschutzmaßnahmen ermittelt werden.

6 Wesentliche Klimaschutzbausteine für NRW

Die wichtigsten Strategien zur Erlangung klimafreundlicher Strukturen sind die Absenkung der Energieintensität von Produktion und Konsum durch die Steigerung der Energieeffizienz, der Übergang zu weniger CO_2-intensiven oder CO_2-neutralen erneuerbaren Energieträgern und die Abscheidung und dauerhafte Einlagerung von CO_2 als potentielle Brückentechnologie in eine CO_2-freie Zukunft. Auf den genannten Feldern sind seitens der EU und der Bundesregierung sowie des Landes Nordrhein-Westfalen in der Vergangenheit bereits Anstrengungen unternommen worden, um zukünftigen klimapolitischen Anforderungen zu genügen. Allerdings deuten die neueren klimawissenschaftlichen Erkenntnisse (siehe Kapitel 3) darauf hin, dass der Übergang in eine CO_2-freie Zukunft eher schneller vonstatten gehen muss.

Dabei ist zu beachten, dass es einerseits um den Einsatz von heute verfügbaren Technologien geht. Dabei handelt es sich je nach der Nutzungsdauer der jeweiligen Konsum- und Investitionsgüter sowie Infrastrukturen aber um unterschiedlich lange Umsetzungszeiträume. Manche Konsumgüter können relativ schnell gegen im Hinblick auf Energieverbrauch und Klimaschutz bereits entwickelte modernere Güter bzw. Produkte ausgetauscht werden. Bereits bei Fahrzeugen kann ein kompletter Umschlag des Bestandes (ohne Oldtimer) aber mehr als 15 Jahre in Anspruch nehmen, was den Zeitraum bis 2050 im Falle noch zu entwickelnder Fahrzeugtechniken (z.B. Elektroauto) bereits als nicht mehr sonderlich lang erscheinen lässt. Im Falle des Gebäudebestandes sind für einen erheblichen Umschlag des Bestandes bereits mehr als hundert Jahren anzusetzen. Die Änderung von Siedlungsstrukturen erfordert noch längere Zeiträume. Der aus dem Blickwinkel eines einzelnen Menschen lang erscheinende Zeitraum bis 2050 könnte daher fälschlicherweise zu der Vermutung Anlass geben, dass für die Umsetzung der das Klima schützenden Maßnahmen noch viel Zeit zur Verfügung stehe, wohingegen manche Änderungen im Trend nur sehr langsam vonstatten gehen und diese ohne eine Beschleunigung des Tempos auch bis 2050 nur relativ überschaubare Zielbeiträge liefern können.

Andererseits sind für den Zeitraum bis 2050 auch grundsätzliche technische Durchbrüche denkbar, deren Verläufe aus heutiger Sicht nicht absehbar sind und welche die Zielerreichung maßgeblich erleichtern könnten. Allerdings ist deren Eintritt unsicher und je später dieser bis 2050 erfolgte, umso geringer wäre die Chance, dass davon bis 2050 noch wesentliche Wirkungen zu erwarten sind.

Die Begrenzung des bereits stattfindenden Klimawandels auf ein einigermaßen erträgliches Niveau erfordert also ein höheres Restrukturierungs- und Innovationstempo. Es stellt sich somit die Frage, wie ein Bundesland wie NRW durch eigenständige Initiativen dazu beitragen kann, diesen Anforderungen zu entsprechen. Beiträge hierzu können dabei grundsätzlicher Art sein, bei denen etwa durch Grundlagenforschung und Anwendungsforschung zusätzliche technische Innovationen generiert und marktfähig gemacht werden. Dies bietet dann über die Problemlösung in NRW hinaus wirtschaftliche Chancen, sofern hiermit auf den Klimaschutz orientierte technologische Spitzenpositionen bei Investitions- und Konsumgütern erlangt werden. Zudem können auch graduell durch ein erhöhtes Tempo bei der Diffusion vorhandener Technologien und damit verbundene Lerneffekte in Industrie und Handwerk zusätzliche positive Effekte bezüglich Wettbewerbsfähigkeit und Problemlösungskompetenz erzielt werden, die etwaige wirtschaftliche Anpassungslasten mildern oder sogar überkompensieren können.

Die Umsetzung einer solchen Strategie trifft je nach der Ausgangslage und den konkreten Bedingungen einer Region auf unterschiedliche Rahmenbedingungen, verursacht Anpassungslasten und eröffnet Potenziale. NRW hat aufgrund seiner traditionellen Rolle als „Energieland Nr. 1“ und als industrielle Kernregion eine besondere Verantwortung und entsprechende Herausforderungen zu bestehen. NRW verfügt aber aufgrund seiner wirtschaftlichen Struktur auch über erhebliche Problemlösungskompetenzen im Kraftwerkssektor, der Grundstoffindustrie, in der Investitionsgüter- und Konsumgüterindustrie sowie in der Bauindustrie und dem jeweils verbundenen Handwerk. Da die klimapolitisch induzierte Restrukturierung dieser Industriezweige in vielen Industrie- und Schwellenländern eine enorme Nachfrage nach entsprechenden Technologien erzeugen wird, bergen Pionierleistungen die Chance, wirtschaftlich gestärkt aus der erforderlichen Anpassung hervorzugehen. Die große klimapolitische Herausforderung kann also durch geeignete Strategien in zukünftige Chancen umgemünzt werden.

Aufgrund der Industriestruktur sind die Energieerzeugung und die industrielle Energienutzung Kernbereiche der Restrukturierung. Neben der historisch gewachsenen Industriestruktur ist NRW durch relativ geringe Potenziale bei der bislang im Bereich der erneuerbaren Energien dominierenden Windenergie geprägt, woraus die Notwendigkeit zur Diversifikation und Innovation im Bereich der erneuerbaren Energien erwächst. Überdies zeichnet sich NRW durch seine teilweise flächig hohe Siedlungsdichte aus, was auf die Bedeutung der energetischen Modernisierung im Wohnungsbestand sowie im Bereich der kommunalen Infrastrukturen verweist. Zudem bietet die Siedlungsdichte Potenziale für die Entwicklung neuer Quellen CO_2-neutraler Energie im Bereich der Aufbereitung von Abfällen und Abwässern. Die Entwicklung klimafreundlicher Konzepte der Raum- und Stadtplanung einer Region im demografischen Wandel stellt sich in NRW relativ früh, wird aber mittel- bis langfristig auch Länder wie China und Indien betreffen. Schließlich ist NRW aufgrund seiner wirtschaftsgeografischen Lage ein Knotenpunkt des europäischen Güterverkehrs, was die Chance bietet, bei der Entwicklung und Umsetzung energieeffizienter Logistikkonzepte Pionierleistungen zu erbringen.

Im Folgenden werden die Klimaschutzbausteine dargestellt, die aus der Sicht des Wuppertal Instituts einer genaueren Betrachtung bedürfen und perspektivisch bis 2050 relevant sein können. Dabei handelt es sich um robuste Klimaschutzstrategien, die in der wissenschaftlichen Sicht breit verankert sind (Kapitel 3), aber auch um Einzelaspekte, die aus heutiger Sicht besonders für Nordrhein-Westfalen interessant sind. Die Liste der Klimaschutzbausteine in diesem Kapitel ist die Grundlage für die Multikriterielle Analyse des Arbeitspaketes 6. Dort werden die einzelnen Bausteine explizit und tiefgehend untersucht.

6.1 Baustein: Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung

Die Erhöhung des Anteils der erneuerbare Energien an der Strom- und Wärmeerzeugung ist bisher überwiegend von der Politik und der Förderung auf Bundesebene getrieben. Hier besteht durch konsequente Maßnahmen innerhalb von NRW die Möglichkeit einer über den Bundestrend hinausgehenden Erhöhung.

6.1.1 Heimische Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien

In dieser Maßnahme wird durch eine konsequente Förderpolitik und durch den Abbau von Hemmnissen innerhalb NRWs die Steigerung des Anteils von erneuerbare Energien deutlich über den Bundestrend erhöht.

Aus der Vielzahl der heimischen Potentiale zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Energien ergeben sich vielfältige Nutzungsmöglichkeiten für die Nutzung Erneuerbarer in der Stromerzeugung und der Wärmeerzeugung. Die Nutzung der Sonnenenergie, der Anbau von Biomasse und auch die Abfallnutzung bieten hier ein breites Anwendungsfeld. In Nordrhein-Westfalen eröffnen in Gebäude integrierte Konzepte der Nutzung von Fotovoltaik schon vor der Netzparität wirtschaftliche Potenziale und werden im Bereich des Neubaus von Wohn und Gewerbeimmobilien und der Renovierung des Bestandes eine wachsende Bedeutung erlangen. Davon kann insbesondere die Anwendungstechnik und das betroffene Handwerk (Fassadenbau, Dacheindeckungen) profitieren. Zudem sind in dicht besiedelten Räumen neue energetische Nutzungen im Bereich der Behandlung von Abfällen und Abwässern bedeutsame Innovationsfelder.

6.1.2 Import von Strom aus erneuerbarer Energie

In dieser Maßnahme wird durch eine starke Beteiligung der Wirtschaft in NRW an Projekten zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und an dem notwendigen Netzausbau die Grundlage für einen hohen Importanteil aus erneuerbaren Energien gelegt.

Ein dicht besiedelter und industriell geprägter Raum wie NRW wird seinen Energiebedarf auch zukünftig vermutlich nicht vollständig aus heimischen Quellen sichern können, sondern in einem gewissen Umfang regenerativ erzeugte Energie importieren müssen. Gezielte Beteiligungen an entsprechenden Projekten zur Erzeugung von Windstrom sowie solarthermisch erzeugtem Strom oder auch Wasserstoff in entsprechend energiereichen Regionen sind daher von strategischem Interesse für die Versorgungssicherheit und bieten überdies Potenziale für die heimische Industrie. Dazu gehört auch die Beteiligung an dem Aufbau einer Netzinfrastruktur zur Verbindung der zukünftigen Zentren der Stromerzeugung (Offshore-Windenergie; Solarthermie in Südeuropa/Nordafrika) mit den industriellen Verbrauchszentren.

6.1.3 Speichertechnologien zur systemischen Ergänzung regenerativer Erzeugung

In dieser Maßnahme werden zur Integration der Energie aus erneuerbaren Quellen starke Anstrengungen und hohe Investitionen in Speichersysteme vorausgesetzt.

Wegen des intermittierenden Angebotes vieler regenerativer Energieträger (Sonne, Wind) ist für eine den zeitlichen Nachfragemustern stets ausreichende Versorgung ein höheres Maß an Energiespeicherung erforderlich. Das umfasst so unterschiedliche Bereiche wie die Stromspeicherung, die Wärmespeicherung, aber auch die Speicherung von Energieträgern wie Biomethan und Wasserstoff. Während Speicherstrukturen für fossile Energieträger bereits vorhanden sind, müssen in einem weitgehend auf regenerativer Energie basierenden Energiesystem neue Speichertechnologien als Infrastruktur verfügbar sein und entsprechend dem jeweils aktuellen Niveau von Angebot und Nachfrage im nötigen Umfang zur Aufnahme überschüssiger und zur Abgabe zusätzlich benötigter Energie eingesetzt werden. Beispiele

sind neben der vorhandenen Technologie der Pumpspeicherkraftwerke auch Wärmespeicher.

6.2 Baustein: Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark

6.2.1 Fortgesetzte Modernisierung und 700-Grad-Kraftwerk

In dieser Maßnahme wird die Modernisierung des Kraftwerksparks mittels Nachrüstungen vorhandener Kraftwerke oder durch Neubauten als 700-Grad-Kraftwerk mit einer deutlich gesteigerten Effizienz bei der Stromerzeugung vorangetrieben. Dabei gilt es zu beachten, dass Großkraftwerke gegenüber der hinsichtlich der Gesamteffizienz einschließlich Wärmenutzung überlegenen KWK und ihrer typischerweise sehr langen Nutzungsdauer in einem zukünftigen Energiesystem nicht automatisch die beste Lösung darstellen werden.

6.2.2 Brennstoffwechsel durch Umrüstung und Neubau

In dieser Maßnahmen werden große Mengen von Erzeugungskapazitäten aus Braun- und Steinkohle durch erdgasgefeuerte Anlagen ersetzt.

Neben der gesteigerten Erzeugungseffizienz bietet der Umstieg auf weniger CO_2-intensive Brennstoffe die Möglichkeit, die mit der Strom- und Wärmeerzeugung verbundenen Emissionen abzusenken. Hierzu bieten sich vor allem Erdgas und Biogas aus agrarischen Abfällen sowie aus Abwässern und aus Feldfrüchten an, wobei sich die Bewertung dieses Handlungsbausteins auf Erdgas konzentriert.

6.2.3 CCS im Verbund mit der Kraftwerkserneuerung und Nachrüstung

In dieser Maßnahme werden die fossilen Großkraftwerke modernisiert, durch einen CO_2-Abscheidemechanismus ergänzt und das aufgefangene CO_2 über Pipelines zu Lagerstätten in Norddeutschland geleitet.

Wegen der traditionell starken Rolle der Stein- und Braunkohle in NRW konzentrieren sich die auf diesen Energieträgern basierenden Kraftwerke in Deutschland zu einem wesentlichen Anteil auf NRW. Dies dient teilweise der Stromversorgung von Industrieprozessen, aber auch dem Export in andere Bundesländer. Soweit für die Stromerzeugung in Deutschland zukünftig weiterhin auf diese Energieträger gesetzt wird, bedarf es der Abtrennung und unterirdischen Einlagerung von CO_2 (CCS) (Wuppertal Institut 2008). Da CCS zulasten der Effizienz geht und die Dauerhaftigkeit der Einlagerung durch weitere wissenschaftliche Erkenntnisse untermauert werden muss, können hierzu gegenwärtig keine abgesicherten Aussagen getroffen werden. Eine Möglichkeit, mit dieser Unsicherheit umzugehen, könnte neben Erprobungsversuchen von CCS die planerische Berücksichtigung einer möglichen Nachrüstung von CCS bei neuen Kraftwerken sein.

6.3 Baustein: Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur

In dieser Maßnahme wird davon ausgegangen, dass die Stromerzeugung in NRW zu einem wesentlichen Teil in KWK-Anlagen erfolgt und die dafür notwendige Wärmeleitungsinfrastruktur gebaut wird.

Bei der gesamtheitlichen Betrachtung der Energieeffizienz hinsichtlich der kombinierten Strom- und Wärmenutzung schneiden Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung für die flächige Versorgung besser ab als Großkraftwerke. Der Ausbau von KWK-Anlagen und der erforderlichen Verteilnetze für die ausgekoppelte Wärme sind daher ein wesentliches Element zur Steigerung der Energieeffizienz. Infolge von Maßnahmen beim Neubau und der Sanierung von Altbauten könnte jedoch der Wärmebedarf von Gebäuden in den kommenden Jahrzehnten deutlich reduziert werden und sich entsprechend auf den Anteil von Kraft-Wärme-Kopplung auswirken. Derartige Wechselwirkungen gilt es bei der Bewertung dieses Klimaschutzbausteins zu berücksichtigen.

6.4 Baustein: Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie

6.4.1 Alternative Stahlerzeugung (Nutzung von Gichtgas als Reduktionsmittel, Schmelzreduktion, Elektrolyse, Stromerzeugung aus Abwärme, vgl. ULCOS Projekt)

In dieser Maßnahme werden die CO_2-Emissionen durch einen Verbund der fortschrittlichsten Technologien in der Stahlerzeugung signifikant gesenkt.

Bei der Herstellung von Stahl besteht eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Prozessoptimierung, die zu substanziell geringeren CO_2-Emissionen des Systems führen können. Dabei handelt es sich z.B. um die Nutzung von Gichtgas als Reduktionsmittel, Schmelzreduktion, Elektrolyse, Stromerzeugung aus Abwärme und andere Maßnahmen. Diese Methoden werden im ULCOS- Projekt (Ultra–Low Carbon Dioxide (CO_2) Steelmaking) untersucht, in dem sich Unternehmen und Organisationen aus 15 EU-Staaten zusammengeschlossen haben.

6.4.2 Forcierte Energieeffizienz in der Verfahrens- und Fertigungstechnik

In dieser Maßnahme wird eine deutlich höhere Energieeffizienz in der Verfahrens- und Fertigungstechnik vorausgesetzt.

Der Steigerung der Energieeffizienz innerhalb der Industrie kommt in NRW wegen des relativ hohen Industrieanteils an der Wertschöpfung eine hohe Bedeutung zu. Dies bezieht sich gleichermaßen auf Verfahrens- und Fertigungstechniken. Hierzu können Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiiert oder gestärkt werden, deren Ergebnisse in marktreife Produkte und Dienstleistungen einfließen.

6.4.3 CCS in der Industrie

In dieser Maßnahme werden die Prozessemissionen energieintensiver Industriezweige anhand von CCS deutlich verringert. Neben der Stromerzeugung auf fossiler Basis sind weitere Industrien mit spezifisch hohen CO_2-Emissionen wie etwa die Herstellung von Ze-

ment, Aluminium und Stahl sowie die Produktion bestimmter Chemieprodukte bei entsprechenden Anlagengrößen als potenzielle Anwendungsfelder von CCS identifiziert werden. Neben den erforderlichen Abscheidetechniken setzen erhebliche Zielbeiträge durch CCS vor allem voraus, dass die Einlagerung langzeitstabil ist und zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten umgesetzt werden kann.

6.4.4 Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen

In dieser Maßnahme werden auf breiter Basis Produkte der Industrie in Nordrhein-Westfalen aus Biomasse hergestellt und so der Einsatz fossiler Grundstoffe wie Rohöl verringert.

Der für das Klima schädliche Einsatz fossiler Energieträger dient nicht nur energetischen Nutzungen. Vielmehr basieren viele Gebrauchsgüter ebenfalls auf den darin enthaltenen Kohlenwasserstoffen (insbesondere Kunststoffe). Sowohl die Vorketten zu deren Produktion als auch deren Letztverwendung (Verbrennung) geht mit Emissionen von CO_2 einher. Ein Übergang zur Produktion dieser Gebrauchsgüter aus nachwachsenden Rohstoffe bietet somit ein Potential, weniger CO_2-intensive Produkte zu erzeugen und die davon ausgehenden CO_2-Emissionen abzusenken. Dabei sind vor allem solche nachwachsenden Rohstoffe interessant, die auf Flächen angebaut werden können, die nicht für den Anbau von Nahrungsmitteln benötigt werden und die mit dem Schutz seltener Habitate und Arten vereinbar sind.

6.5 Baustein: Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich

6.5.1 Umsetzung Nullenergie-/Plusenergiehäuser und –siedlungen bei Neubauten

Diese Maßnahme geht davon aus, dass alle Neubauten in Zukunft als Null-oder Plusenergiehäuser ausgeführt werden.

Erfordert der Betrieb und die Nutzung von Gebäuden heute noch einen erheblichen Energieeinsatz, so wird bei Neubauten erkennbar, dass nach dem Passivhaus mit drastisch reduziertem Energieverbrauch bereits das Plusenergiehaus realisierbar ist Das Plusenergiehaus erzeugt mehr Energie als verbraucht wird und stellt diese für externe Nutzungen bereit. Der Fortentwicklung des Plusenergiehauses kommt daher auf mittlere bis lange Sicht eine erhebliche Bedeutung für den Klimaschutz zu. Aus einer Pionierrolle bei Plusenergiehäusern ergeben sich erhebliche ökonomische Chancen für die im Bausektor relevanten Wirtschaftszweige. Dies spricht für geeignete Rahmenbedingungen und Projekte zur beschleunigten Durchsetzung von Plusenergiehäusern. Neben dem Plusenergiehaus werden auch Nullenergiehäuser in die Betrachtung einbezogen.

6.5.2 Deutliche dauerhafte Erhöhung der Sanierungsrate

Diese Maßnahme geht davon aus, das sich durch konkrete Förderprogramme die Sanierungsrate im Vergleich zu heute deutlich erhöht und das Land sowie die Kommunen eine noch ambitioniertere Vorbildfunktion ausfüllen.

Die energetische Sanierung des Gebäudebestandes ist wegen der typischerweise langen Nutzungsdauer eine notwendige Ergänzung von Aktivitäten zur Effizienzsteigerung und integrierten Energieerzeugung bei Passiv- und Plusenergiehäusern im Neubausektor. Hierzu sind ambitionierte Sanierungsquoten anzustreben, was zugleich eine wirtschaftliche Belebung bei den involvierten Wirtschaftszweigen nach sich zieht. Im Falle der teilweise hoch verschuldeten NRW-Kommunen geht es nicht zuletzt darum, die hohen Anfangsauszahlungen solcher auch wirtschaftlich sinnvollen Investitionen durch geeignete Finanzierungskonzepte zu ermöglichen.

6.6 Baustein: Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums

Diese Maßnahme geht davon aus, dass sich die Effizienz bei elektrischen Anwendungen im Konsumbereich (z.B. Informations- und Kommunikationstechnik/IUk, Beleuchtung) deutlich verbessert. Grundlage dieser Entwicklung sind feste Verbrauchsvorgaben für elektrische Geräte und deren fortschreibende Verschärfung.

Klassisch bilden neben der Raumheizung die Haushaltsgeräte eine bedeutsame Klasse von Energieverbrauchern im Bereich des Konsums. Während es bei der „weißen Ware“ (Kühlschränke, Spül- und Waschmaschinen) seit einiger Zeit Fortschritte gibt, die fortgeführt werden sollten, ist bei der „braunen Ware“ (TV- und HiFi-Geräte) wegen der Verbreitung größerer Bildschirme für die TV-Nutzung trotz technischer Fortschritte eine Stagnation beobachtbar, die durch den Einzug von OLEDs (organische LEDs) aufgebrochen werden könnte. Auch für Beleuchtungszwecke bieten LED-Anwendungen deutlich höhere Effizienzlevels und bessere Umwelteigenschaften als aktuelle Energiesparlampen. Die zunehmende Markteinführung energiesparender Anwendungen, z.B. LED und OLED, könnte zur Begründung neuer Industriestrukturen führen. Überdies könnten durch geeignete Rahmenbedingungen Nutzungsvorteile für energiesparsamere Geräte geschaffen werden, um deren Diffusion zu beschleunigen.

6.7 Baustein: Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie

Eine nachhaltige Mobilitätsstrategie umfasst ein Bündel von technischen und organisatorisch-planerischen Veränderungen, die mit den Bedürfnissen der Menschen hinsichtlich Mobilität und Verkehr in Einklang gebracht werden müssen. Eine umfassende Strategie zu diesem Baustein kann von NRW allein nicht geleistet werden. Die nachfolgenden Punkte sind daher auf eine überschaubare Zahl von denkbaren Maßnahmen mit NRW-Bezug fokussiert.

6.7.1 Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen

Diese Maßnahme geht davon aus, dass in den planerischen Prozessen auf landes- und kommunaler Ebene der Klimaschutz als zentrale Handlungsvorgabe etabliert wird und sich daraus auch veränderte Siedlungs- und Verkehrsstrukturen ergeben. Dabei spielen die Reduktion und Klimaverträglichkeit innerstädtischer Verkehre sowie die Nutzung klimaschonender Verkehrsträger eine zentrale Rolle.

Die Integrierte Stadtentwicklungs- und Verkehrsplanung (ISVP), welche städtebauliche wie auch verkehrliche Aufgaben und Ansprüche gleichermaßen berücksichtigt, verfolgt das Ziel der Schaffung von Siedlungsstrukturen der kurzen Wege. Dabei soll die ISVP durch die Gestaltung stadtstruktureller Rahmenbedingungen Einflussnahme auf das Verkehrsverhalten nehmen und Kfz-Verkehre reduzieren. Die ISVP schafft die Voraussetzung für eine Nutzungsmischung und kurze Wege in Stadt und Region. Kurze Wege sind dabei die grundlegende siedlungsstrukturelle Voraussetzung für die Minderung des Verkehrsaufwandes. Um die Annahme des Angebotes kurzer Alltagswege im Personen- und im Wirtschaftsverkehr zu unterstützen, ist die Durchführung flankierender Maßnahmen aus weiteren Politikbereichen (Verkehrsmanagement, Standortmanagement u.a.) notwendig. Isoliert durchgeführte infrastrukturelle Maßnahmen bleiben weitgehend wirkungslos. Die flankierenden Maßnahmen haben die Aufgabe, die Raumdurchlässigkeit zu mindern beziehungsweise nicht weiter zu erhöhen.

Die ISVP soll die Entstehung monofunktionaler Gebiete vermeiden oder bestehende monofunktionale Gebiete umgestalten. Monofunktional geprägte Gebiete ohne ausgewogene Nutzungsmischung von Arbeiten, Wohnen, Freizeit/Erholung und Versorgung führen zu einem hohen Verkehrsaufwand. Eine fast vollständige Minderung des Gesamtverkehrsaufwandes ist allerdings auch innerhalb eines Mischgebietes nicht zu realisieren, da die Alltagsaktivitäten der Bewohner sich als zu unterschiedlich darstellen. Es bestehen jedoch beträchtliche Einsparpotentiale, beispielsweise durch Erhalt oder Ansiedlung von Versorgungseinrichtungen. Ein ausgewogener Branchenmix ist eine wesentliche Voraussetzung für kurze Wegekombinationen. Eine kleinräumig gemischte Nutzungsvielfalt vor Ort bietet die Chance, bis zu 80 % der Wegezwecke Schule, Kita, Versorgung und Freizeit zu Fuß, per Rad oder mit dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu absolvieren und so allen Bevölkerungsgruppen die Alltagsbewältigung ohne die Notwendigkeit zur Nutzung des Autos zu ermöglichen (BBR 1999). Hierzu wäre ergänzend die Bereitstellung eines attraktiven ÖPNV-Angebotes und der Infrastruktur für den Fuß und Radverkehr erforderlich.

6.7.2 Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe für Fahrzeuge (Einsatz von Erneuerbaren im Verkehr, spezielle Verbrennungsmotoren für Erdgas und Flüssiggas, Elektrofahrzeuge)

Diese Maßnahme geht von einer starken Verbesserung der Fahrzeugeffizienz und von dem Durchbruch alternativer Antriebskonzepte und –treibstoffe aus. Aufgrund seiner Verkehrsdichten und damit verbundenen Umweltprobleme und der in NRW heimischen Fahrzeugindustrie ist dieser Klimaschutzbaustein von hoher umwelt- und wirtschaftspolitischer Bedeutung. Folgende Strategieelemente werden im Rahmen der Multi-Kriterienanalyse detailliert beleuchtet:

- **Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehr:** Während die CO_2-Emissionen von 1990 bis 2009 in Deutschland insgesamt um über 20 % gesenkt werden konnten, gingen die Emissionen im Verkehrssektor in diesem Zeitraum nur um 6 % zurück. Grund hierfür ist das Wachstum der Gesamtverkehrsleistung durch welches die Einsparungen durch Verlagerung auf klimaschonendere Verkehrsträger oder den Einsatz effiziente-

rer Motoren und kohlenstoffärmerer Kraftstoffe weitestgehend kompensiert wurden. Daher ist der Verkehr zunehmend als Handlungsfeld identifiziert worden, in dem ein höherer Beitrag zur Reduktion der CO_2-Emissionen geleistet werden muss. Ein Handlungsfeld zur Reduzierung der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen ist der Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehr. Dabei sollen fossile Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Erdgas mittelfristig durch Biokraftstoffe der zweiten Generation, regenerativ erzeugten Wasserstoff und regenerativ erzeugten Strom substituiert werden.

- **Förderung Elektromobilität:** Zur Senkung der von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit konventionellen Benzin- und Dieselantrieben verursachten CO_2-Emissionen sollen diese konventionellen Antriebe verstärkt durch Elektroantriebe substituiert werden. In der aktuellen politischen und öffentlichen Diskussion nehmen elektrisch angetriebene Pkw einen hohen Rang ein. Die Klimarelevanz von Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2020 sollte jedoch deutlich differenzierter betrachtet werden.

  Die letzte Bundesregierung hat im *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* vom August 2009 (Bundesregierung 2009) die Zahl von einer Millionen Elektro-Pkw als Zielmarke für das Jahr 2020 formuliert. Damit sind sowohl rein elektrisch betriebene als auch sogenannte Plug-In Hybrid-Pkw gemeint. Bezieht man diese Fahrzeuge auf die zu erwartende Gesamtzahl von 49,7 Millionen Pkw im Jahr 2020 in Deutschland, wie sie beispielsweise in der aktuellen 25. Shell Pkw-Prognose von 2009 (Shell 2009) genannt wird, dann entspricht dies einem Anteil von Elektrofahrzeugen an der gesamten Pkw-Flotte von etwa 2 %.

- **Einsatz von Erdgasfahrzeugen:** Erdgas ist ein brennbares Naturgas. Hauptbestandteil von Erdgas ist Methan (CH_4). Je nach Qualität des Erdgases beträgt der Methananteil 85 bis 99 %. Erdgas kann als Kraftstoff in Pkw und leichten Nutzfahrzeugen verwendet werden. Im Rahmen der Verwendung von Erdgas als Kraftstoff für Fahrzeuge wird Erdgas wegen seiner komprimierten und verflüssigten Form als CNG (Compressed Natural Gas, komprimiertes Erdgas) bezeichnet. Während der Schwerpunkt der Flüssiggasnutzung derzeit noch auf der Umrüstung von Benzin betriebenen Gebrauchtfahrzeugen liegt, ist der Erdgasbetrieb weniger auf die Umrüstung (im Vergleich zum Flüssiggas hohe Umrüstkosten von 3.000 bis 5.000 €), als vielmehr auf den Neuwagenmarkt ausgerichtet. Werden Benzin oder Diesel als Kraftstoffe durch Erdgas substituiert, so lassen sich neben den Schadstoffemissionen auch die CO_2-Emissionen in beträchtlichem Maße senken.

- **Einsatz von Flüssiggas als Kraftstoff:** Flüssiggas ist ein Nebenprodukt der Erdölraffination und besteht aus einem Propan-Butan-Gemisch. Beim Einsatz als Kraftstoff für Fahrzeuge werden neben Flüssiggas auch die Bezeichnungen LPG (Liquified Petroleum Gas) oder Autogas verwendet. Das CO_2-Einsparpotenzial ergibt sich aus der Nutzung von Flüssiggas als Energieträger statt der häufig praktizierten Verbrennung als Restgas bei der Raffination und durch die Substitution des Kraftstoffs Benzin durch Flüssiggas. Die Stärken der Flüssiggasnutzung gegenüber der Nutzung von Erdgas als Kraftstoff liegen bei der finanziell und technisch günstigeren Möglichkeit zur Umrüstung von Benzin betriebenen Gebrauchtfahrzeugen.

6.7.3 Verkehrsverlagerung und Effizienz im Güterverkehr

Diese Maßnahme geht von einer Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf Schienen und Binnenschiffahrt aus. Ergänzend sind die Vermeidung von Güterverkehren sowie die technische und organisatorische Optimierung von Verkehren von Bedeutung.

Von 1990 bis 2008 stieg der CO_2-Ausstoß des Güterverkehrs als Folge eines enormen Anstiegs seiner Verkehrsleistung um etwa 50 % auf 43,9 Mio. t CO_2 (Umweltbundesamt 2009a). Einsparungen als Folge der Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und eine verbesserte Auslastung wurden dabei durch den Gesamtanstieg des Verkehrsaufkommen wieder kompensiert. Aufgrund seiner zentralen wirtschaftsgeografischen Lage, der Nähe zu den ARA-Häfen (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen) und dem Binnenhafen Duisburg ist NRW in den internationalen Güterverkehr verwoben und beheimatet eine starke Logistik-Branche. Der Güterverkehr ist daher ein für NRW wichtiger Klimaschutzfaktor.

Für eine nennenswerte Verlagerung des wachsenden Güterverkehrs auf die Schiene bedarf es der Schaffung zusätzlicher Kapazitäten im Streckennetz der Bahn. Bei der Realisierung neuer Streckenabschnitte muss frühzeitig auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwohner eingegangen und sollten Lärmschutzmaßnahmen getroffen werden, um den Ausbau der Schienkapazitäten nicht durch lokale Widerstände zu behindern. Beispielsweise sind die Probleme bei der Umsetzung des „Eisernen Rheins“ eng mit dem mangelnden aktiven und passiven Lärmschutz bei Güterzügen verbunden. Besonders im Ruhrgebiet mit der dichten Bebauung und verstreut liegenden Industriegebieten kann ein Ausbau der Strecken nicht gegen die Anwohner durchgesetzt werden.

6.8 Baustein: Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung

Diese Maßnahme geht von einem Durchbruch in der Verwendung von CO_2 als Grundlage für eine weitere stoffliche Nutzung aus.

Ergänzend zu CCS ist die Entwicklung von Verfahren und Produkten interessant, mittels derer das an Kraftwerken und anderen Industrieprozessen abgetrennte CO_2 einer weiteren wirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden könnte. Maßgeblich ist hierbei, dass es sich um solche Nutzungen handelt, die das CO_2 für lange Zeiträume sicher binden und deren Nachfrage nach den bislang verwendeten Rohstoffen deutlich absenken. In der Chemieindustrie wurde dieses Konzept vielfach erfolgreich angewendet, auch wenn dies nicht immer problemfrei war. Ein gutes Beispiel für den Erfolg einer solchen Nutzung von Nebenprodukten in der Energiewirtschaft ist die Herstellung von Gipskartonplatten mittels Gipsstein aus der Rauchgasentschwefelung. In den USA werden bereits Verfahren erprobt, bei denen mittels Meerwasser das CO_2 im Rauchgas in Kalkstein umgewandelt wird. Sollten solche Versuche Erfolg haben, so könnte dies eine Alternative sein zur Verbringung von abgetrennten CO_2 in unterirdische Lagerstätten, wie dies bei CCS vorgesehen ist. Ein grundlegendes Problem bleibt aber, dass die Nutzung von CO_2 aus thermodynamischen Gründen mit zusätzlichem Energieaufwand verbunden ist.

7 Kriterien zur Bewertung der Maßnahmen

7.1 Klimaschutz und Energiepolitik

7.1.1 CO_2-Minderungspotential

Das absolute und spezifische CO_2-Minderungspotential ist ein entscheidendes Kriterium für die Bewertung einer Klimaschutzoption. Die Angemessenheit des CO_2-Minderungspotentials einer Technologie ist in enger Verbindung zu den bestehenden politischen CO_2-Minderungszielen zu bewerten. Nordrhein-Westfalen ist aktuell an den energiebedingten CO_2-Emissionen Deutschlands zu 35% beteiligt. Die frühere Landesregierung hat eine CO_2-Reduktion um insgesamt 81 Millionen Tonnen gegenüber 2005 avisiert. Auf diese Weisen sollten 44% des von der Bundesregierung bis 2020 vorgesehenen Einsparvolumens bei den energiebedingten Emissionen erreicht werden (MWME 2008). Die neue Landesregierung plant, die CO_2-Emissionen Nordrhein-Westfalens gegenüber 1990 um 25% zu reduzieren (SPD NRW; Bündnis'90/Grüne NRW 2010). Technologische Optionen zur Reduktion des CO_2-Ausstoßes sind dahingehend zu prüfen, inwieweit sie zu den genannten politischen Zielsetzungen beitragen können. Neben den politischen Rahmenbedingungen hängt das CO_2-Minderungspotential einer Technologie in einer spezifischen Region von den dortigen Gegebenheiten ab. So sind beispielsweise in Nordrhein-Westfalen Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark oder die Substitution fossiler Stromerzeugungskapazitäten durch erneuerbare Energiequellen von besonderer Bedeutung, da das Land in Deutschland über die höchste Konzentration großer CO_2-Punktquellen verfügt.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: kein CO_2-Minderungspotential

5: eingeschränktes CO_2-Minderungspotential

10: hohes CO_2-Minderungspotential

7.1.2 Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen

Dieses Kriterium beschreibt Konflikte oder Synergien einer Klimaschutztechnologie mit anderen Klimaschutzmaßnahmen innerhalb eines Energiesystems. Dabei kann es sich sowohl um Konflikte bzw. Synergien technisch-systemischer Natur handeln als auch um Konflikte bzw. Synergien bei der Erfüllung klimapolitischer Zielsetzungen. Beispielsweise impliziert die Modernisierung des fossilen Großkraftwerksparks zweierlei Konfliktdimensionen: Im technisch-systemischen Sinne bleibt auf diese Weise ein hoher Anteil zentraler Erzeugungskapazitäten im Stromsektor erhalten. Dieser wird in absehbarer Zeit nicht durch erneuerbare Energien substituiert und entspricht teilweise nicht den steigenden Anforderungen an die Flexibilität von Erzeugungsstrukturen angesichts eines wachsenden Anteils fluktuierender erneuerbarer Energiequellen. Im politischen Sinne hingegen bedeutet die Modernisierung des fossil befeuerten Kraftwerksparks, dass durch die Senkung der CO_2-

Emissionen gegenüber der existierenden Kraftwerksflotte zwar mittelfristige Klimaschutzziele erreicht werden können, anspruchsvollere langfristige CO_2-Minderungsziele aufgrund des Fortbestands eines Sockels fossiler Erzeugungskapazitäten mit großer Wahrscheinlichkeit jedoch verfehlt werden.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: keine Vereinbarkeit

5: eingeschränkte Vereinbarkeit

10: hohe Vereinbarkeit

7.1.3 Beiträge zur Versorgungssicherheit

Der Faktor Versorgungssicherheit ist ein wichtiger Bestandteil des Zieldreiecks, an dem sich in Deutschland traditionell energiepolitische Entscheidungen ausrichten. Weitere Elemente sind Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz, die an anderen Stellen der vorliegenden Multi-Kriterien-Analyse abgefragt werden. Der Faktor Versorgungssicherheit wird insbesondere durch die Verfügbarkeit der jeweils genutzten Ressource beeinflusst. So bringt z.B. die Substitution von Kohle befeuerten Kraftwerken durch hocheffiziente Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) zwar einen Klimaschutzvorteil mit sich, jedoch geht eine verstärkte Nutzung von Erdgas wegen der sehr begrenzten inländischen Gasvorkommen mit einer Zunahme der Abhängigkeit von Gasimporten einher. Ein steigender Anteil von Windkraftanlagen im Stromsystem erfordert ausreichende Regel- und/oder Speicherkapazitäten, leistungsfähige Stromnetze und Standorte mit einem möglichst stetigen Windaufkommen, um Fluktuationen bei der Stromeinspeisung zu minimieren und ein hohes Maß an Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: kein Beitrag

5: eingeschränkter Beitrag

10: hoher Beitrag

7.1.4 Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt-)Zielen

Mit Blick auf die hier aufgeführten Handlungsbausteine können Trade-offs[31] oder Synergien zwischen dem Politikziel Klimaschutz und anderen umweltpolitischen Zielen, wie z.B. Natur- und Landschaftsschutz, Flächennutzung, Luftreinhaltung oder Biodiversität, auftreten. So hat

[31] Der Begriff Trade-Off beschreibt das Abwägen zwischen zwei gegenläufig voneinander abhängigen Aspekten. Ein Trade-Off liegt dann vor, wenn man eine Verbesserung eines Aspektes nur unter Inkaufnahme der Verschlechterung (oder des Verlustes) des anderen Aspektes erreichen kann. Ein Trade-Off kann folglich zu Zielkonflikten führen, jedoch auch deren Ausgleich oder das Erzielen eines Kompromisses bedeuten.

beispielsweise der Ausbau der Windkraft zu kontroversen Diskussionen zwischen Naturschützern und den Befürwortern eines Ausbaus erneuerbarer Energien geführt. Dies gilt insbesondere für den Bau von Offshore-Windkraftanlagen. Als Folge dessen stellen Studien zur Umwelt- und Naturverträglichkeit der Windkraft einen wichtigen Schwerpunkt der Windenergieforschung innerhalb des Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung dar (BMU 2009b). Als weiteres Beispiel für eine eingeschränkte umweltpolitische Vereinbarkeit einer Klimaschutzmaßnahme ist die verstärkte Nutzung von Biomasse für die Wärme- und Stromerzeugung sowie die Treibstoffproduktion zu nennen. Insbesondere die Herstellung von Biotreibstoffen hat zu einem starken Trade-Off mit dem Politikziel Biodiversität geführt, deren Beeinträchtigung gleichzeitig auch die Klimaschutzwirksamkeit von Biotreibstoffen negativ beeinflusst. Zur Vermeidung oder Verringerung dieses Trade-Offs werden auf politischer Ebene zunehmend rechtliche Vorkehrungen getroffen. So definiert die EU-Kommission in ihrer Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen Nachhaltigkeitskriterien für biogene Treibstoffe. Diese sehen vor, dass Biotreibstoffe eine Treibhausgasreduktion von mindestens 35% gegenüber konventionellen Treibstoffen aufweisen müssen und die verwendete Biomasse nicht von Landflächen stammen darf, die eine hohe Biodiversität aufweisen und als Kohlenstoffspeicher dienen (Europäische Kommission 2009).

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: keine Vereinbarkeit

5: eingeschränkte Vereinbarkeit

10: hohe Vereinbarkeit

7.2 Ökonomie und Strukturentwicklung

7.2.1 Wirtschaftlichkeit

Das Verhältnis von Kosten und Nutzen einer Klimaschutzoption ist von entscheidender Relevanz für ihre Umsetzung und Marktverbreitung. Laut Harmsen (2000) wird die Marktverbreitung einer Technologie dadurch bestimmt, ob diese von den Marktakteuren im Kontext der aktuellen und zu erwartenden Marktbedingungen als wettbewerbsfähig oder perspektivisch wettbewerbsfähig angesehen wird. Die Wirtschaftlichkeit einer Technologie wird beeinflusst durch Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten und Brennstoffkosten. Beispielsweise werden Technologien mit hohen Investitionskosten und einem niedrigen Anteil an Brennstoffkosten bei hohen Energieträgerpreisen eher rentabel als im umgekehrten Falle. Überdies wird die Marktfähigkeit einer Technologie von dem Stand ihrer technischen Entwicklung, Vorabinvestitionen für erforderliche Infrastrukturen sowie möglichen Anreizsystemen beeinflusst, die der Staat zur Beschleunigung ihrer Markteinführung oder Ausweitung ihrer Nutzung geschaffen hat. Ein wichtiges Bewertungskriterium für die Wirtschaftlichkeit einer Technologie ist daher ihre Amortisationszeit, d.h. die Zeit, die vergeht, bis anfängliche Investitionen in eine Technologie durch entstehende Erträge gedeckt werden.

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der hier betrachteten Handlungsbausteine erfolgt, wie auch bei den anderen Kriterien, auf Basis vorliegender Studien und Untersuchungen. Die Qualität, Ausrichtung und Detailtiefe dieser Kostenuntersuchungen ist sehr unterschiedlich, so dass es sich primär um eine qualitative Einschätzung mit Blick auf das langfristige Potential zur Kostenreduktion handelt.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: Wirtschaftlichkeit ist nicht gegeben

5: Wirtschaftlichkeit ist eingeschränkt gegeben

10: Wirtschaftlichkeit ist gegeben

7.2.2 Struktureffekte (Beschäftigung)

Mit der Markteinführung und zunehmenden Nutzung neuer Technologien gehen Investitionen einher, welche Struktureffekte auf die jeweils betroffenen Sektoren haben. Die Art und Weise der Struktureffekte hängt stark von dem Charakter der jeweiligen technologischen Innovation ab. Handelt es sich um eine sogenannte radikale Innovation, die nicht auf bestehenden Technologien aufsetzt (Strahl 1991), werden Investitionen in andere Industriezweige umgelenkt oder können neue Industriestrukturen entstehen. D.h. ein Sektor wächst, während aus einem anderen Sektor Investitionen abfließen. Dies ist beispielsweise teilweise bei den erneuerbaren Energien im Stromsektor der Fall, die sukzessive fossile Kraftwerkskapazitäten substituieren. Handelt es sich um inkrementelle Innovationen, die eine kontinuierliche Weiterentwicklung bestehender Technologiesysteme darstellen (Strahl 1991), fließen Investitionen meist in Richtung etablierter Industriestrukturen. Beispielsweise können Effizienzerhöhungen von Kohlekraftwerken als inkrementelle Innovation bezeichnet werden.

Werden negative Beschäftigungseffekte in anderen Sektoren, wie z.B. der oben beschriebene Substitutionseffekt, als auch positive Beschäftigungseffekte in einer Analyse berücksichtigt, wird von dem Nettobeschäftigungseffekt einer Technologie gesprochen. Werden lediglich positive Effekte berücksichtigt, wird dies als Bruttobeschäftigungseffekt bezeichnet (Fraunhofer ISI 2009). In Deutschland belief sich die Bruttobeschäftigung aus den Aktivitäten der Wirtschaft im Bereich erneuerbarer Energien auf insgesamt 300.500 (O'Sullivan et al. 2010).

Positive Beschäftigungseffekte werden nicht nur dann generiert, wenn eine Technologie im Inland genutzt wird, sondern können auch aus Technologieexporten resultieren. Die Chance auf Technologieexporte ist daher ein häufig verwendetes Argument für Investitionen in Forschung und Entwicklung. Überdies können positive Beschäftigungseffekte in direkter und indirekter Form auftreten. Direkte Beschäftigungseffekte treten direkt in dem Sektor auf, in dem eine neue Technologie produziert oder angewandt werden. Indirekte Beschäftigungseffekte treten meist mit zeitlicher Verzögerung und in Sektoren auf, die der Produktion oder Nutzung einer neuen Technologie vorgelagert sind, z.B. Zulieferbetriebe für erneuerbare Energietechnologien.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: kein Bruttobeschäftigungseffekt

5: eingeschränkter Bruttobeschäftigungseffekt

10: starker Bruttobeschäftigungseffekt

7.2.3 Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen

Die Kompatibilität einer Technologie mit zukunftsfähigen industriellen Strukturen und ihre Integrierbarkeit in ein existierendes System technischer Infrastrukturen ist von hoher Relevanz für die Verbreitungschancen einer Technologie. Als „zukunftsfähig" werden Industriestrukturen verstanden, die angesichts heutiger und zukünftiger politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen voraussichtlich von Bestand bleiben oder wachsen werden.

Bei Technologien mit einer hohen Kompatibilität handelt es sich meist um inkrementelle Innovationen, die auf technischen oder politischen Pfadabhängigkeiten beruhen. Pfadabhängigkeiten bezeichnen Entwicklungen oder Ereignisse in der Vergangenheit, z.B. politische Förderprogramme oder Marktentwicklungen, die dafür sorgen, dass bestimmte Technologien bessere Marktchancen haben als andere (David 1985).

Verfügt eine Technologie über ein hohes Maß an strukturell-technischer Kompatibilität, verringert dies die Kosten für ihre Markteinführung (z.B. Vorabinvestitionen für Infrastrukturen) und erfordert einen moderateren technologischen Wandel sowie geringere Veränderungen im Verhalten der Technologienutzer. Beispielsweise ist die Markteinführung eines alternativen Kraftstoffes wahrscheinlicher, wenn dieser lediglich geringe Modifikationen etablierter Antriebstechnologien erfordert oder mit bestehenden industriellen Infrastrukturen hergestellt, verteilt und vertrieben werden kann. So wäre z.B. die Verteilung und der Vertrieb von synthetischem Diesel aus Biomasse, Erdgas oder Kohle mit geringeren Infrastrukturinvestitionen verbunden als die Markteinführung von Wasserstoff als Kraftstoff, da synthetischer Diesel mit konventionellem Diesel gemischt werden und anhand bestehender Infrastrukturen zu den Abnehmern transportiert werden kann (Vallentin 2009).

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: kein Potential zum Erhalt zukunftsfähiger Industriestrukturen

5: eingeschränktes Potential zum Erhalt zukunftsfähiger Industriestrukturen

10: hohes Potential zum Erhalt zukunftsfähiger Industriestrukturen

7.2.4 Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen

Zwar impliziert die Markteinführung inkrementeller Innovationen niedrigere Entwicklungs- und Vorabkosten und damit ein geringeres ökonomisches Risiko für Investoren und frühe Technologienutzer, jedoch generieren radikale Innovationen im Erfolgsfall stärkere positive

Struktureffekte. Hierzu zählen die Bildung neuer Industriestrukturen, wie z.B. die Entstehung neuer Produktionsstrukturen, Handels- und Zuliefernetzwerke und spezieller Aus- und Weiterbildungssysteme. Auf diese Weise werden technologische Expertise und ein Wissensvorsprung gegenüber anderen Märkten erarbeitet, die im Erfolgsfall zu positiven Beschäftigungseffekten führen können.

Märkte, in denen besonders stimulierende Bedingungen für die frühe Markteinführung einer neuen Technologie bestehen - wie z.B. eine besonders hohe Nachfrage für eine bestimmte Technologie, Preisvorteile, günstige Markstrukturen oder vorteilhafte Bedingungen für den Export und Transfer einer Technologie -, werden in der Innovationstheorie als „Lead Markets“ (Beise 2004) bezeichnet. Die Entstehung von Lead Markets kann durch politische Anreizsysteme forciert werden. Beispielsweise hat das Erneuerbare-Energien-Gesetz dazu beigetragen, dass deutsche Industrieunternehmen zu den weltweit führenden Herstellern erneuerbarer Energietechnologien wie Wind- oder Solaranlagen zählen.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: kein Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen

5: eingeschränktes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen

10: hohes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen

7.3 Umsetzung in NRW

7.3.1 Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen

Die Kompatibilität eines Handlungsbausteins zur Reduktion der CO_2-Emissionen mit bestehenden Infrastrukturen ist eng verknüpft mit der Integrierbarkeit einer technischen Innovation in ein bestehendes Energiesystem und den daraus resultierenden Vorabinvestitionen für die Schaffung einer technischen Infrastruktur. Im Rahmen dieses Kriteriums gilt es zu bewerten, inwieweit die speziell in Nordrhein-Westfalen bestehenden Rahmenbedingungen und Infrastrukturen die Verbreitung einer Technologie erleichtern könnten oder ob neue bzw. andere Infrastrukturen erforderlich sind bzw. wären. Beispielsweise ist die Nutzung von Wasserstoff (H_2) im Transportsektor grundsätzlich mit einem hohen Infrastrukturaufwand für die Erzeugung, Verteilung und den Vertrieb verbunden. NRW weist jedoch aufgrund seiner hohen Zahl an Ballungszentren wie z.B. dem Ruhrgebiet verhältnismäßig günstige Bedingungen auf, da dort wenige Produktionsanlagen und Tankstellen mit hoher Auslastung betrieben werden können und somit ein Markteinstieg erleichtert wird (Wietschel 2008).

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: hohe Infrastrukturanforderungen

5: eingeschränkte Infrastrukturanforderungen

10: keine Infrastrukturanforderungen

7.3.2 Gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz beschreibt, inwieweit die Verbreitung und Nutzung einer Technologie von der Gesellschaft befürwortet oder abgelehnt wird, d.h. die grundlegende Einstellung zu einer Technologie. Der Begriff „Akzeptanz“ ist abzugrenzen von der Akzeptabilität und der Sozialverträglichkeit einer Technologie. Die Akzeptabilität einer Technologie besagt, dass diese Technologie für potenziell akzeptierbar gehalten wird, aber nicht, dass diese Technik unter den gegebenen Umständen von den Betroffenen tatsächlich akzeptiert wird (Fritzsche 1986). Der Begriff der Sozialverträglichkeit beantwortet die Frage, ob eine Technologie in eine Sozialstruktur (z.B. ein Rechtssystem) eingeführt werden kann.

Die Akzeptanz einer Technologie kann von verschiedenen Erwägungen beeinflusst werden. Beispielsweise spielen in der Debatte zur CO_2-Abscheidung und –Speicherung (CCS) einerseits generelle Argumente für oder gegen dieTechnologie eine Rolle (z.B. Speichersicherheit, End-of-Pipe-Charakter) sowie andererseits lokale Argumente in den betroffenen Regionen, wie z.B. mögliche Wertverluste des Landes oberhalb oder nahe der Speicherformation. Die Akzeptanz großtechnischer Anlagen wird häufig durch den sogenannten NIMBY-Effekt (Not-in-my-Backyard) beeinflusst (Wuppertal et al. 2008). Dieser beschreibt lokale Widerstände gegenüber Projekten mit regionaler oder überregionaler Bedeutung.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: keine gesellschaftliche Akzeptanz

5: eingeschränkte gesellschaftliche Akzeptanz

10: hohe gesellschaftliche Akzeptanz

7.3.3 Sonstige Einflussfaktoren

Diese Kategorie bietet die Möglichkeit, stark Technologie spezifische Einflussfaktoren in die Bewertungsmatrix einzubringen, die von bedeutender Relevanz für die Marktchancen der jeweiligen Technologie sind, unter den übrigen Bewertungskriterien jedoch noch nicht thematisiert worden sind. Dies umfasst sowohl technische als auch nicht-technische Aspekte. Als Beispiele können die Verfügbarkeit ausreichend Hitze beständiger Materialien für den Betrieb von 700°C-Kraftwerken oder die Notwendigkeit einer intensiven internationalen Zusammenarbeit genannt werden, um den Import von erneuerbaren Energien zu ermöglichen und den Aufbau hierfür erforderlicher Infrastruktur zu realisieren.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: starke Behinderung/nicht durchführbar

5: eingeschränkte Behinderung

10: keine Behinderung

7.3.4 Handlungsmöglichkeiten für NRW

Dieses Bewertungskriterium beschreibt die generellen Optionen und Handlungsspielräume der Landesregierung NRW, die Markteinführung oder Verbreitung einer Klimaschutztechnologie auf Landesebene zu forcieren oder zu fördern. Die Handlungsmöglichkeiten können von Informationskampagnen oder Willenserklärungen bis zu konkreten rechtlichen Befugnissen des Landes reichen. Folglich werden an dieser Stelle insbesondere die Kompetenzen Nordrhein-Westfalens innerhalb des aus mehreren Entscheidungsebenen bestehenden politischen Systems aus Kommunen, Bundesländern, Bundesebene und Europäischer Union thematisiert. Die Entscheidungsspielräume NRWs variieren zwischen den einzelnen Klimaschutzbausteinen stark. So verfügen die Bundesländer beispielsweise bei der Umsetzung der CO_2-Speicherung über recht hohe Einflussmöglichkeiten, da die Genehmigungen für die Erkundung und Bewertung möglicher Lagerstätten von den zuständigen Landesbehörden, in Niedersachsen z.B. dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), erteilt werden. Auch Onshore-Windanlagen müssen von den jeweils staatlichen Umweltämtern innerhalb eines Bundeslandes genehmigt werden. Die Zuständigkeit für Genehmigungen zur Errichtung von Offshore-Windparks liegt hingegen hauptsächlich auf Bundesebene und entzieht sich weitgehend des Einflusses der Bundesländer. Lediglich für Anlagen im Küstenmeer (12-Seemeilen-Zone) gelten die an Land wirksamen Rechtsregime. In weiter vom Festland entfernten Gebieten wird das Genehmigungsverfahren hingegen vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrogaphie (BSH) durchgeführt (BMU 2009b).

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: keine Handlungsmöglichkeiten

5: eingeschränkte Handlungsmöglichkeiten

10: starke Handlungsmöglichkeiten

7.3.5 Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten

Aufbauend auf dem vorherigen Bewertungskriterium soll an dieser Stelle untersucht werden, welche Intensität staatlichen Eingreifens für die Verbreitung und Nutzung der aufgeführten Klimaschutzoptionen erforderlich bzw. empfehlenswert ist. Beispielsweise sind ordnungsrechtliche Instrumente, wie Ge- und Verbote, Grenzwertsetzungen oder Produktstandards, mit einem deutlich stärkeren staatlichen Eingriff verbunden als marktwirtschaftliche Instrumente (z.B. Steuervergünstigungen, Zertifikatehandel), freiwillige Maßnahmen (z.B. freiwillige Selbstverpflichtungen) oder Informationsinstrumente (z.B. Labelling, Informationskampagnen) (Jänicke et al. 2000). Damit in engem Zusammenhang stehen die Verbindlichkeit und die Sicherheit, mit der das Ziel einer politischen Maßnahme erreicht bzw. eingehalten

wird. Im Falle eines Verbotes ist das Resultat des politischen Eingriffs beispielsweise meist deutlicher vorhersehbarer als bei einer freiwilligen Selbstverpflichtung.

Bewertungsskala (1 bis 10):

1: sehr geringe Umsetzungstiefe

5: eingeschränkte Umsetzungstiefe

10: hohe Umsetzungstiefe

8 Ergebnisse der MCA

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der MCA zusammengefasst und Schlussfolgerungen abgeleitet. Die Ergebnisdarstellung ist wie folgt gegliedert:

- Im ersten Schritt (Abschnitt 8.1) wird die Bewertung der Einzelmaßnahmen mit Blick auf die prägnantesten Merkmale der Maßnahme diskutiert. Dabei werden Vor- und Nachteile sowie Besonderheiten der Maßnahme in den Blick genommen, um abschließend eine kurze Bewertung zu formulieren. Die politische Gewichtung der Bewertungskriterien wird in diesem Stadium noch nicht berücksichtigt.
- Im zweiten Schritt (Abschnitt 8.2) werden die Einzelmaßnahmen in Sektoren (Strom & Wärme, Industrie, Gebäude/elektrische Anwendungen, Verkehr) gruppiert und innerhalb der Sektoren mit Blick auf die einzelnen Bewertungskriterien miteinander verglichen. Auf diese Weise können z.B. die Nutzung erneuerbarer Energien und Maßnahmen im fossilen Kraftwerkspark vergleichend diskutiert werden.
- Anschließend werden politische Gewichtungen der Bewertungskriterien in die Bewertung der Maßnahmen einbezogen und die Maßnahmen als niedrig, mittel oder hoch multi-kriteriell bewertete Maßnahmen gekennzeichnet (Abschnitt 8.3). Ausgangspunkt ist hierbei eine Gewichtungsvorgabe des Auftraggebers MKUNLV. Hiervon werden verschiedene Gewichtungsvarianten abgeleitet, um die Robustheit der multikriteriellen Einstufung der Maßnahme zu testen.
- Die zentralen Ergebnisse werden dann in knapper Form zusammengefasst.

8.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen (ungewichtet)

Schlussfolgerungen für Maßnahme 1: Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung über die Referenz hinaus

Was spricht für die Maßnahmen

- Die heimische Nutzung von erneuerbaren Energien weist ein sehr hohes CO_2-Minderungspotential auf und ist ein zentraler Baustein einer regionalen Klimaschutzstrategie.
- Der Ausbau erneuerbarer Energien ist grundsätzlich gut mit anderen Klimaschutzmaßnahmen vereinbar (Ausnahme CCS), erhöht jedoch die Flexibilitätsanforderungen an das Stromsystem.
- Die Nutzung erneuerbarer Energien kann einen wichtigen Beitrag zur Senkung der Energieimporte und damit zur Erhöhung der Versorgungssicherheit leisten (mit Ausnahme von Stromimporten aus erneuerbaren Energiequellen).
- Die Wirtschaftlichkeit der Nutzung erneuerbarer Energien ist zwischen den einzelnen Technologien und Rohstoffen aktuell stark unterschiedlich. Langfristig trägt die Maßnahme jedoch zur Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugung bei.
- Die Maßnahme hat aufgrund eines hohen Ausbau- und Wertschöpfungspotentials das Potential, einen starken zusätzlichen Beschäftigungseffekt zu generieren.
- Die Maßnahme impliziert ein hohes Potential zur Bildung neuer zukunftsfähiger Industriestrukturen, wie z.B. die Entwicklung der Windenergiebranche bestätigt.
- Grundsätzlich besteht eine gute gesellschaftliche Akzeptanz der Nutzung erneuerbarer Energien trotz des wiederholten Auftretens lokaler Widerstände gegen Infrastrukturprojekte.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Negative Auswirkungen auf Landschaft und Biodiversität durch Ausbau der Biomassenutzung.
- Die Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energien verdrängt etablierte, traditionelle Branchen und verursacht dort eine Minderung der Beschäftigungszahlen.
- Kurz- bis mittelfristig sind viele erneuerbaren Energietechnologien noch nicht wirtschaftlich.
- Der Ausbau erneuerbarer Energien stellt das bestehende Energiesystem vor neue Anforderungen und erfordert insbesondere eine Modernisierung sowie einen Ausbau des Stromnetzes und eine Flexibilisierung zentraler Stromerzeugungskapazitäten.

Was muss besonders beachtet werden

- Beim Ausbau der erneuerbaren Energien sind Nachhaltigkeitsgebote einzuhalten, wie z.B. bei der Nutzung von Biomasse oder der Wasserkraft.
- Die Produktion erneuerbarer Energietechnologien bedarf teilweise kritischer Ressourcen, die nicht oder nur eingeschränkt zeit- bzw. mengengerecht zur Verfügung stehen (z.B. Stahl, Aluminium, Kupfer).
- Eine Ausweitung der erneuerbaren Energien erfordert insbesondere einen Ausbau der Speichertechnologie (Maßnahme 3).

Gesamtbewertung

Der Ausbau der heimischen Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien ist ein zentraler Bestandteil zur Erreichung der Klimaschutzziele und bietet vielfältige Vorteile wie eine verbesserte Versorgungssicherheit (im Falle der inländischen Erzeugung) oder ein starkes zusätzliches Beschäftigungspotential.

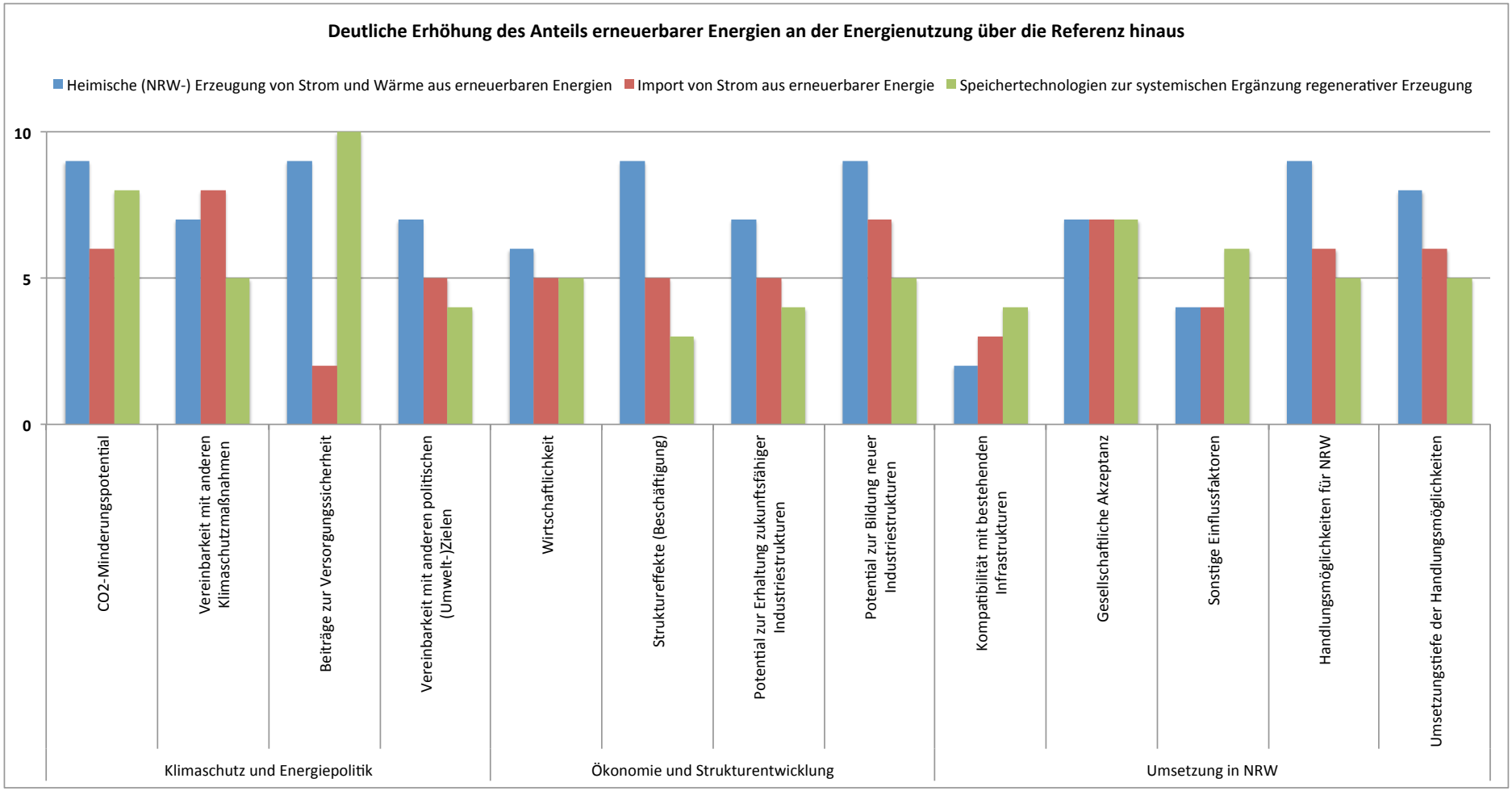


Abbildung 8-1: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Energienutzung über die Referenz hinaus“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 2: Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark

Was spricht für die Maßnahmen

- Die CO_2-Abscheidung und –Lagerung kann die CO_2-Emissionen fossiler Kraftwerke substantiell reduzieren
- Hohe Versorgungssicherheit bei Nutzung inländischer Kohle.
- Starker Beitrag zum Erhalt bestehender Industriestrukturen durch die Forcierung technischer Fortschritte bei Großkraftwerken und deren Einpassung in einen ambitionierten klimapolitischen Rahmen.
- Neubauten und Nachrüstungen fossiler Kraftwerke an bestehenden Standorten sind kompatibel mit existierenden Infrastrukturen (Einschränkungen bei Brennstoffwechsel). Neue Infrastruktursysteme für den Transport von Brennstoffen o.ä. jenseits der üblichen Erneuerungszyklen sind meist nicht erforderlich.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Der Ersatz alter durch neue fossile Kraftwerke bzw. deren Nachrüstung führt zu einem langfristig fortbestehenden Sockel an CO_2-Emissionen.
- Neubau und Nachrüstung von Kohlekraftwerken verfestigen einen hohen Anteil unflexibler Erzeugungskapazitäten im Stromsystem und sind wenig geeignet zum Ausgleich fluktuierend eingespeister, erneuerbar erzeugter Elektrizität.
- Der Abbau fossiler Energieträger zieht starke negative Umweltauswirkungen nach sich, insbesondere der heimische Braunkohletagebau.
- Die Nutzung von CCS bei fossil gefeuerten Kraftwerken kann deren CO_2-Bilanz zwar substantiell verbessern, führt jedoch zu einer deutlichen Erhöhung des spezifischen Brennstoffbedarfs und zu Verschlechterungen in anderen Umweltkategorien (Sommersmog, Eutrophierung, Partikelausstoß etc.).
- Begrenzter zusätzlicher Beschäftigungseffekt, da im wesentlichen bestehende Industriestrukturen gefestigt, jedoch keine neuen Strukturen gebildet werden.
- Geringe gesellschaftliche Akzeptanz CO_2-intensiver Energieerzeugung und insbesondere der unterirdischen CO_2-Lagerung erschweren die Umsetzung von Investitionsvorhaben.
- Das Potential von CCS wird durch begrenzte und unsichere Potentiale zur unterirdischen CO_2-Lagerung eingeschränkt.

Was muss besonders beachtet werden

- Noch ungeklärte ökologische Auswirkungen der CO_2-Lagerung.
- Geringe gesellschaftliche Akzeptanz von fossilen Kraftwerken und CCS erfordern öffentliche Beteiligungsverfahren bei der Realisierung von Investitionsvorhaben.

Gesamtbewertung

Der Modernisierung des fossilen Kraftwerksparks kann einen Beitrag zu kurz- bis mittelfristigen CO_2-Minderungszielen leisten, ist für ambitionierte Langfristziele jedoch nicht ausreichend. Die CO_2-Abscheidung und –Lagerung kann substantielle CO_2-Minderungen herbeiführen, impliziert jedoch einen hohen Infrastrukturaufwand und geringe gesellschaftliche Akzeptanz. Sie steht überdies in Konkurrenz zu erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien und kann durch ein limitiertes CO_2-Lagerpotential lediglich als Brückentechnologie fungieren.

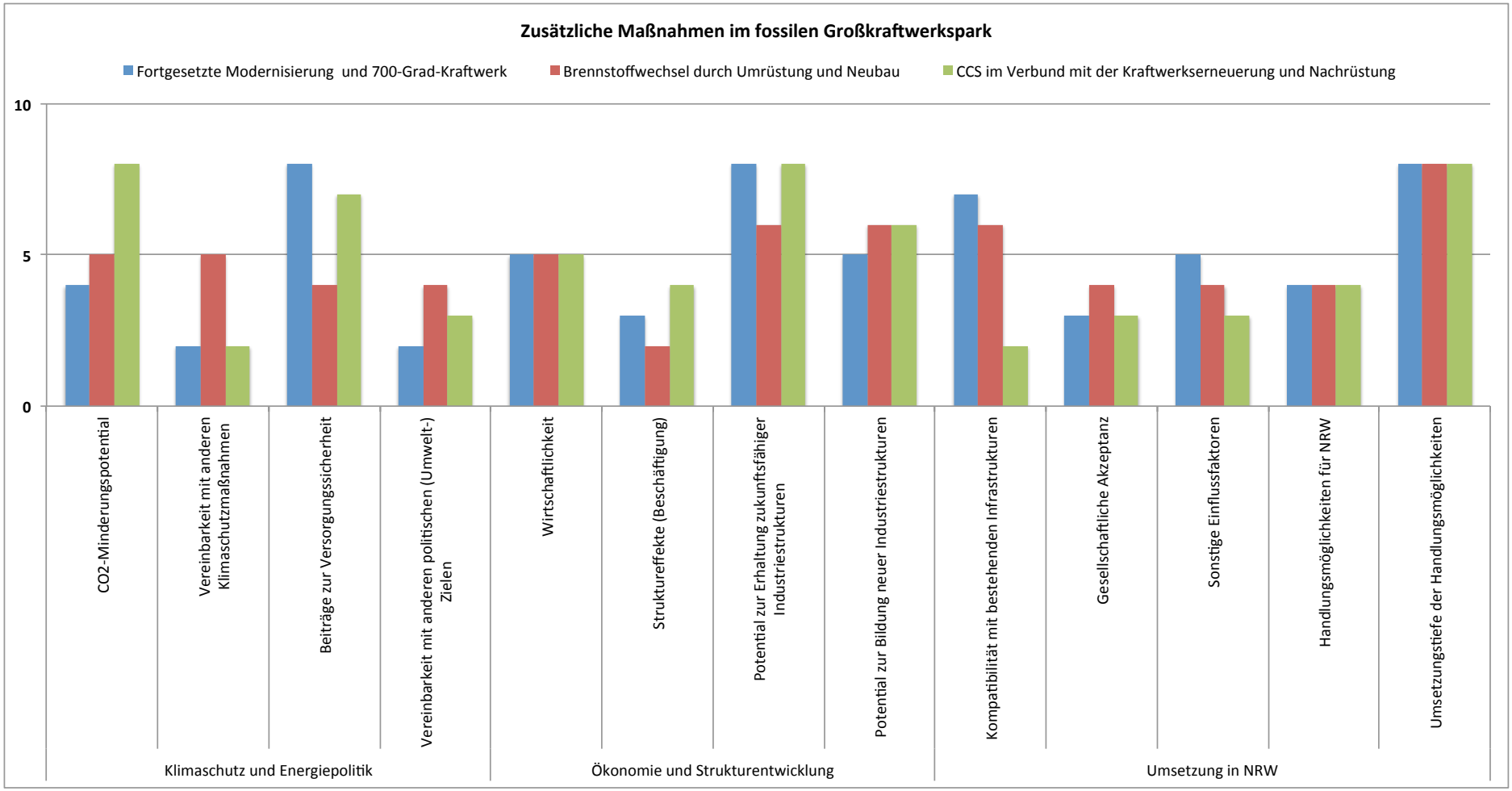


Abbildung 8-2: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Zusätzliche Maßnahmen im fossilen Kraftwerkspark“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 3: Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur

Was spricht für die Maßnahmen

- Die KWK weist ein signifikantes CO_2-Minderungspotential auf und ist ein zentraler Treiber für Effizienzsteigerungen im Stromsektor.
- KWK ist vorerst gut vereinbar mit anderen Klimaschutzmaßnahmen, da mittelfristig die bestehende Industrie- und Gebäudestruktur eine hohe Wärmenachfrage aufweist.
- KWK leistet einen Beitrag zur Versorgungssicherheit durch eine signifikante Verringerung des spezifischen Bedarfs an importierten Brennstoffen wie Steinkohle oder Erdgas.
- Grundsätzlich höhere gesellschaftliche Akzeptanz als ungekoppelte fossile Großkraftwerke. Lokal können jedoch Widerstände bei Kraftwerksneubauten oder dem Ausbau von Wärmenetzen auftreten.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Der langfristig projizierte Rückgang des Wärmebedarfs insbesondere im Gebäudebereich steht im Gegensatz zu einem Ausbau der KWK.
- Fossil gefeuerte KWK-Anlagen weisen ähnlich negative Umweltwirkungen auf wie ungekoppelte Großkraftwerke (Sommersmog, Eutrophierung, Rußpartikel etc.). Die besonders stark emittierende und im Tagebau geförderte Braunkohle kommt jedoch nicht in KWK-Anlagen zum Einsatz.
- KWK-Anlagen sind nur in wenigen Fällen ohne zusätzliche Unterstützung wettbewerbsfähig, da KWK-Neubauten mit bestehenden, meist abgeschriebenen Kondensationskraftwerken konkurrieren müssen.
- Größere KWK-Anlagen und der Bau von Wärmenetzen sind Stand der Technik und implizieren lediglich ein geringes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen. Biomasse-KWK-Anlagen weisen ein höheres Innovationspotential auf.
- Der Ausbau von Wärmenetzen impliziert einen hohen Investitionsaufwand, langfristige Amortisationszeiten und umfangreiche Bautätigkeiten.

Was muss besonders beachtet werden

- Der KWK-Ausbau trifft auf starken Widerstand konkurrierender, etablierter Energieversorger und muss durch starke politische Mechanismen flankiert werden.

Gesamtbewertung

Die KWK ist eine wichtige Maßnahme für eine effizientere Nutzung von fossilen Brennstoffen und Biomasse und eine zentrale Stellschraube für CO_2-Minderungen im Kraftwerkspark. Sie ist aufgrund des erforderlichen Ausbaus des Fernwärmenetzes jedoch infrastrukturintensiv. Überdies ist ihr Potential aufgrund des langfristig projizierten Rückgangs des Wärmebedarfs begrenzt.

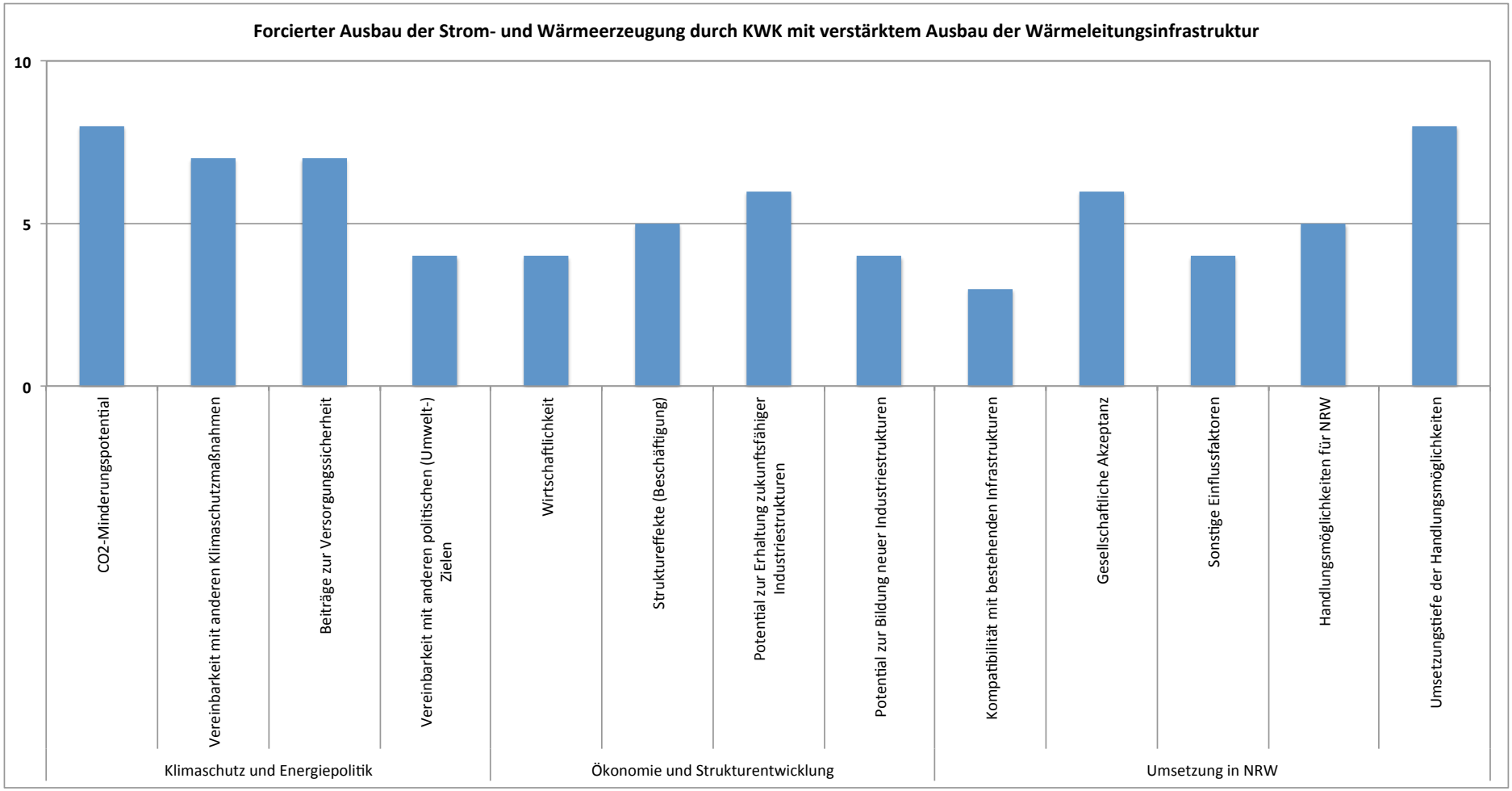


Abbildung 8-3: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 4: Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie

Was spricht für die Maßnahmen

- Die Maßnahmen (insbesondere die Nutzung von CCS und nachwachsenden Rohstoffen) können einen wichtigen Beitrag zur CO_2-Minderung leisten, der in Deutschland und NRW gegenüber dem Stromsektor kumulativ jedoch von geringerer Bedeutung ist.
- Optimierungen industrieller Prozesse und Verfahren sind in hohem Maße vereinbar mit anderen Klimaschutzmaßnahmen und verbessern teilweise die Anschlussmöglichkeiten für die CO_2-Abscheidung.
- CCS in der Industrie steht in geringerem Maße in Konkurrenz mit nachhaltigeren Klimaschutzoptionen als im Kraftwerkssektor und ist mit vielen Verfahren, die die Abtrennung von CO_2 implizieren, technisch kompatibler als Kraftwerksprozesse.
- Eine erhöhte Effizienz energieintensiver industrieller Verfahren und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe verringern den Bedarf nach importierten fossilen Rohstoffen und leisten einen Beitrag zur Versorgungssicherheit
- Optimierungen industrieller Verfahren und Prozesse erhöhen die Kompatibilität bestehender Industriestrukturen mit einem anspruchsvollen klimapolitischen Rahmen und tragen daher zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen bei.
- Die Modernisierung industrieller Anlagen an bestehenden Standorten bedarf eines geringen Infrastrukturaufwandes und dürfte kaum Akzeptanzprobleme nach sich ziehen.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Wie im Kraftwerksbereich führt die Erhöhung des Energieeigenbedarfs durch die CO_2-Abscheidung zu einer Verschlechterung in anderen Umweltkategorien (Sommersmog, Eutrophierung, Rußpartikel etc.).
- Da die Maßnahme vorrangig die Modernisierung bestehender Anlagen und Industriestrukturen umfasst, ist von einem eher geringen zusätzlichen Beschäftigungseffekt auszugehen.
- Die Nutzung von CCS führt auch in der Industrie zu einem hohen Infrastrukturaufwand und würde mit hoher Wahrscheinlichkeit gesellschaftliche Widerstände hervorrufen.
- Das Potential von CCS wird durch limitierte und unsichere geologische Lagerpotentiale begrenzt.

Was muss besonders beachtet werden

- Die Rechtslage zur unterirdischen CO_2-Lagerung ist in Deutschland nach wie vor ungeklärt, wodurch die Umsetzung von Demonstrationsprojekten erschwert wird.
- Es besteht ein hoher Forschungsbedarf bei Verfahrensoptimierungen bzw. alternativen Verfahren für industrielle Prozesse. Deren ökonomische, ökologische und technische Bewertung ist daher sehr unsicher

Gesamtbewertung

Eine erhöhte Klimaverträglichkeit industrieller Strukturen ist ein wichtiger Baustein einer Klimaschutzstrategie einer industriell geprägten Region wie Nordrhein-Westfalen. Mittel- bis langfristig könnten substantielle CO_2-Reduktionsbeiträge in der Industrie insbesondere durch die Nutzung von CCS geleistet werden. Die Anwendung von CCS in der Industrie ist wegen der besseren Kompatibilität der Abscheidung mit den industriellen Verfahren und einer geringeren Konkurrenz mit anderen Klimaschutzmaßnahmen in der Industrie gegenüber einer Nutzung im Stromsektor zu präferieren, ist jedoch ebenfalls mit ökologischen Risiken, Akzeptanzproblemen und einem unsicheren Lagerpotential konfrontiert.

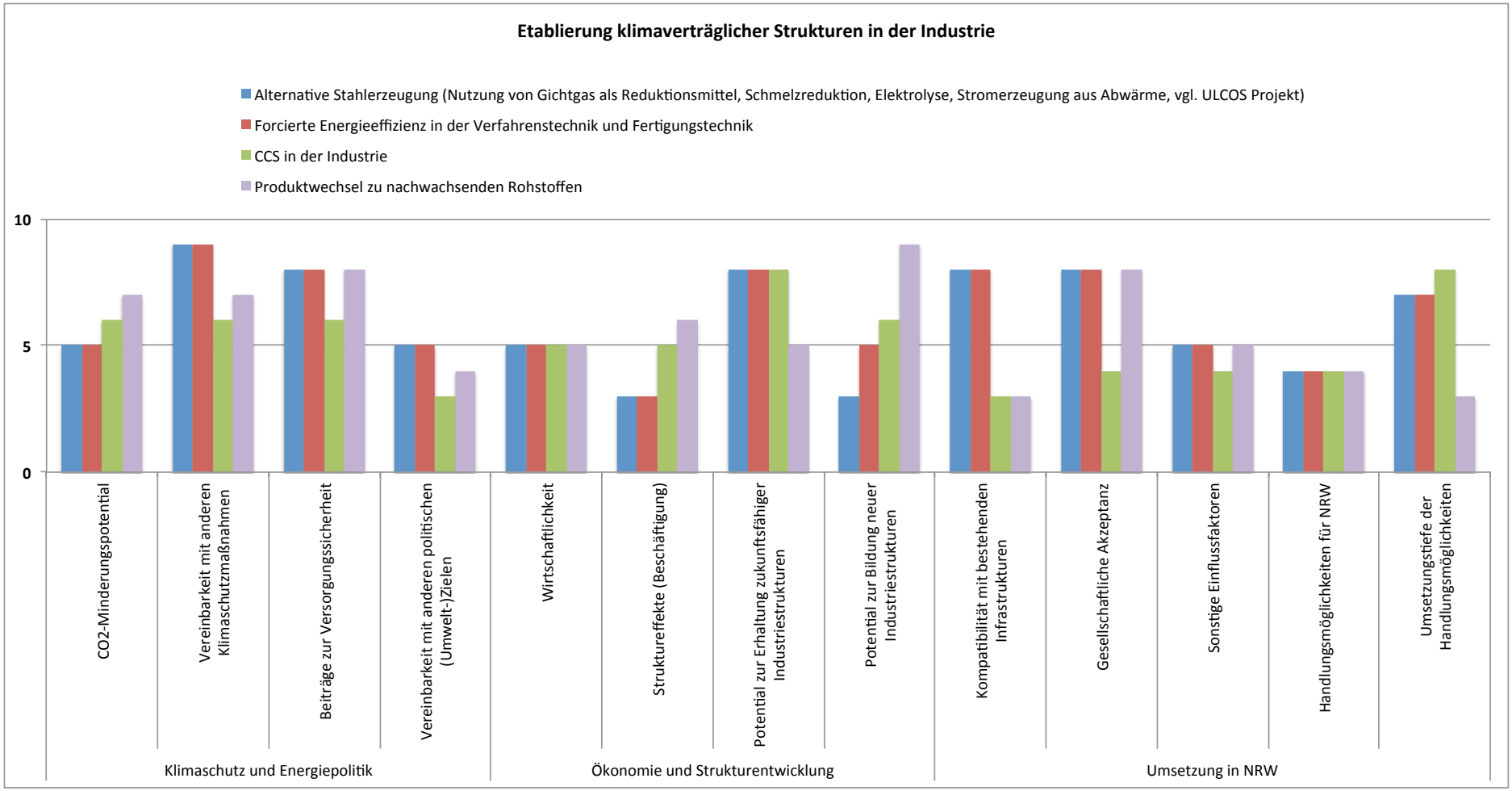


Abbildung 8-4: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Etablierung klimaverträglicher Strukturen in der Industrie“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 5: Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich

Was spricht für die Maßnahmen

- Eine Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich impliziert ein substanzielles CO_2-Minderungspotential in Deutschland und NRW, das im Vergleich mit den übrigen bewerteten Handlungsbausteinen von sehr hohe Bedeutung ist. Dies gilt insbesondere für die Sanierung des Gebäudebestands.
- Die Maßnahme ist gut mit Klimaschutzmaßnahmen auf der Angebotsseite kompatibel und schafft Synergien. Letzteres gilt insbesondere für Neubauten, in denen z.B. die Nutzung von Wärmepumpenheizungen durch niedrige Vorlauftemperaturen ermöglicht wird.
- Die Beheizung von Gebäuden ist für ca. 55% des bundesweiten Endenergiebedarfs verantwortlich und wird vorrangig aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Eine Erhöhung der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien in diesem Sektor kann demnach einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten.
- Der mit der energetischen Sanierung des Gebäudebestands und mit der Substitution von Bestandsgebäuden durch energieeffiziente Neubauten einhergehende Investitionsbedarf kann zu hohen positiven Beschäftigungseffekten im Bau- und Handwerksgewerbe und bei Zulieferbranchen führen.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Die Realisierung von Neubauten wie auch die Sanierung von Bestandsgebäuden sind mit hohen Anfangsinvestitionen für die jeweiligen Hauseigentümer verbunden und können zu höheren Kaltmieten führen. Dies kann die gesellschaftliche Akzeptanz von Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich beeinträchtigen.
- Eine Verringerung des Wärmebedarfs des Gebäudebereichs impliziert einen Konflikt mit einem Ausbau der Fernwärmeversorgung infolge einer verstärkten Nutzung von KWK.
- Die Produktion und Verwendung von Dämmstoffen kann mit negativen Umweltwirkungen verbunden sein .

Was muss besonders beachtet werden

- Insbesondere die Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand bedeutet für NRW eine enorme Herausforderung. Für die Anreizung von Investitionen müssen bestehende bundespolitische Instrumente und Förderprogramme deshalb durch landesspezifische Maßnahmen ergänzt bzw. verstärkt werden.

Gesamtbewertung

Die Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich, insbesondere ein Anheben der Sanierungsrate im Bestand, ist als zentrales Element einer nordrhein-westfälischen Klimaschutzstrategie einzustufen. Die Maßnahme impliziert ein substantielles Potential zur CO_2-Minderung sowie eine hohe Kompatibilität mit anderen Klimaschutzmaßnahmen. Überdies verspricht der Handlungsbaustein positive ökonomische Effekte. Neben finanziellen Anreizmaßnahmen ist für die Umsetzung des Handlungsbausteins insbesondere ein Informationsprogramm zu den wirtschaftlichen Vorteilen von zu erzielenden Energieeinsparungen erforderlich, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen.

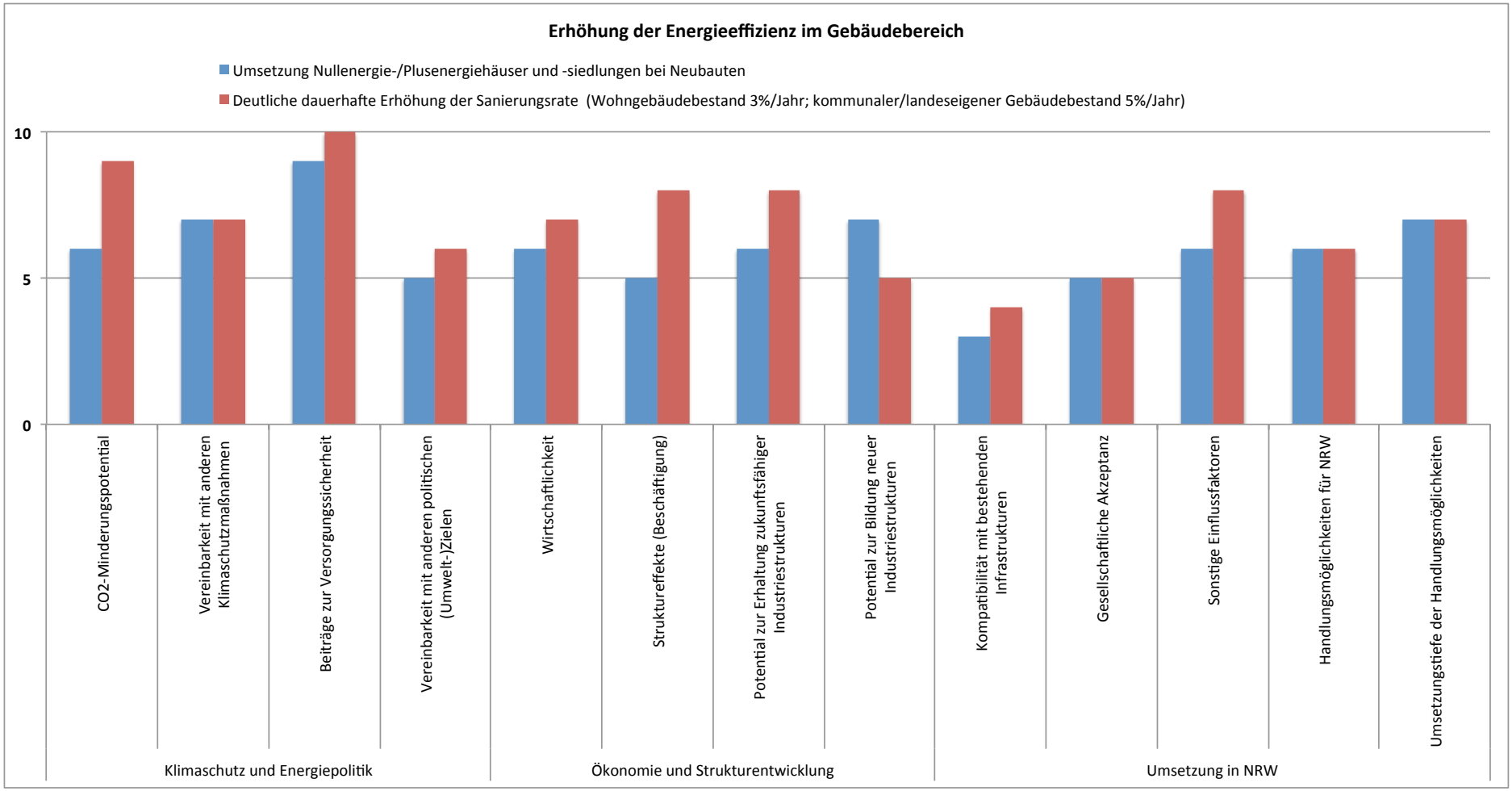


Abbildung 8-5: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 6: Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums

Was spricht für die Maßnahmen

- Die Maßnahme weist keine Zielkonflikte mit anderen Klimaschutzmaßnahmen auf und ist insbesondere mit Maßnahmen auf der Angebotsseite gut kombinierbar. Eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung wird durch Maßnahmen zur Stromeinsparung erleichtert.
- Durch die Senkung des Strombedarfs infolge einer erhöhten Effizienz bei elektrischen Anwendungen wird der Bedarf an importierten Brennstoffen für die Stromerzeugung verringert und demnach die Versorgungssicherheit erhöht.
- Die überwiegende Mehrheit von Effizienzmaßnahmen im Bereich des Konsums sind volkswirtschaftlich und aus Nutzersicht wirtschaftlich rentabel und mit geringen Investitionen verbunden.
- Die Infrastrukturanforderungen zur Umsetzung der Effizienzmaßnahmen sind weitgehend erfüllt.
- Effiziente elektrische Anwendungen weisen grundsätzlich eine sehr hohe gesellschaftliche Akzeptanz auf. Etwas höhere Anschaffungskosten effizienter Geräte werden angesichts steigender Energiekosten zunehmend in Kauf genommen.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen weisen ein signifikantes spezifisches Minderungspotential auf, das in der Gesamtsicht gegenüber anderen Klimaschutzbausteinen jedoch eher gering ausfällt.
- Substitutionsmaßnahmen, die mit Umbaumaßnahmen verbunden sind, generieren Beschäftigung im Installations- und Heizungshandwerk. Insgesamt ist aufgrund der vergleichsweise geringen Investitionsintensität der Maßnahmen jedoch eher mit einem geringen Beschäftigungseffekt zu rechnen.
- Die Handlungsmöglichkeiten auf Landesebene für eine breite Nutzung effizienter elektrischer Anwendung erfordert ist weitgehend auf Maßnahmen mit einer niedrigen Umsetzungstiefe, wie Initiativen zum Hemmnisabbau (z.B. Informations- und Weiterbildungsmaßnahmen), beschränkt.

Was muss besonders beachtet werden

- Der CO_2-Minderungseffekt von technischen Energieeinsparmaßnahmen entfaltet seine Wirkung vor allem kumulativ; einzelne Einsparmaßnahmen führen lediglich zu geringen Energie- und Kosteneinsparungen. Es sind deshalb politische Instrumente erforderlich, die eine breite Marktdurchdringung effizienter Anwendungen anreizen.

Gesamtbewertung

Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums haben im Vergleich zu anderen untersuchten Handlungsbausteinen ein eher begrenztes CO_2-Minderungspotential, sind jedoch hinsichtlich anderer Kriterien, wie ihrer Kompatibilität mit anderen Klimaschutzmaßnahmen, Vereinbarkeit mit anderen umweltpolitischen Zielen, Wirtschaftlichkeit, Infrastrukturaufwand und gesellschaftlicher Akzeptanz, sehr positiv zu bewerten. Die genannten Kriterien sind von hoher Bedeutung für die kurz- und mittelfristigen Umsetzungschancen einer Klimaschutzmaßnahme. Deshalb ist der Handlungsbaustein als wichtiges kurz- bis mittelfristiges Instrument einer Klimaschutzstrategie in Ergänzung zu anderen Maßnahmen mit einem höheren CO_2-Minderungspotential einzuordnen.

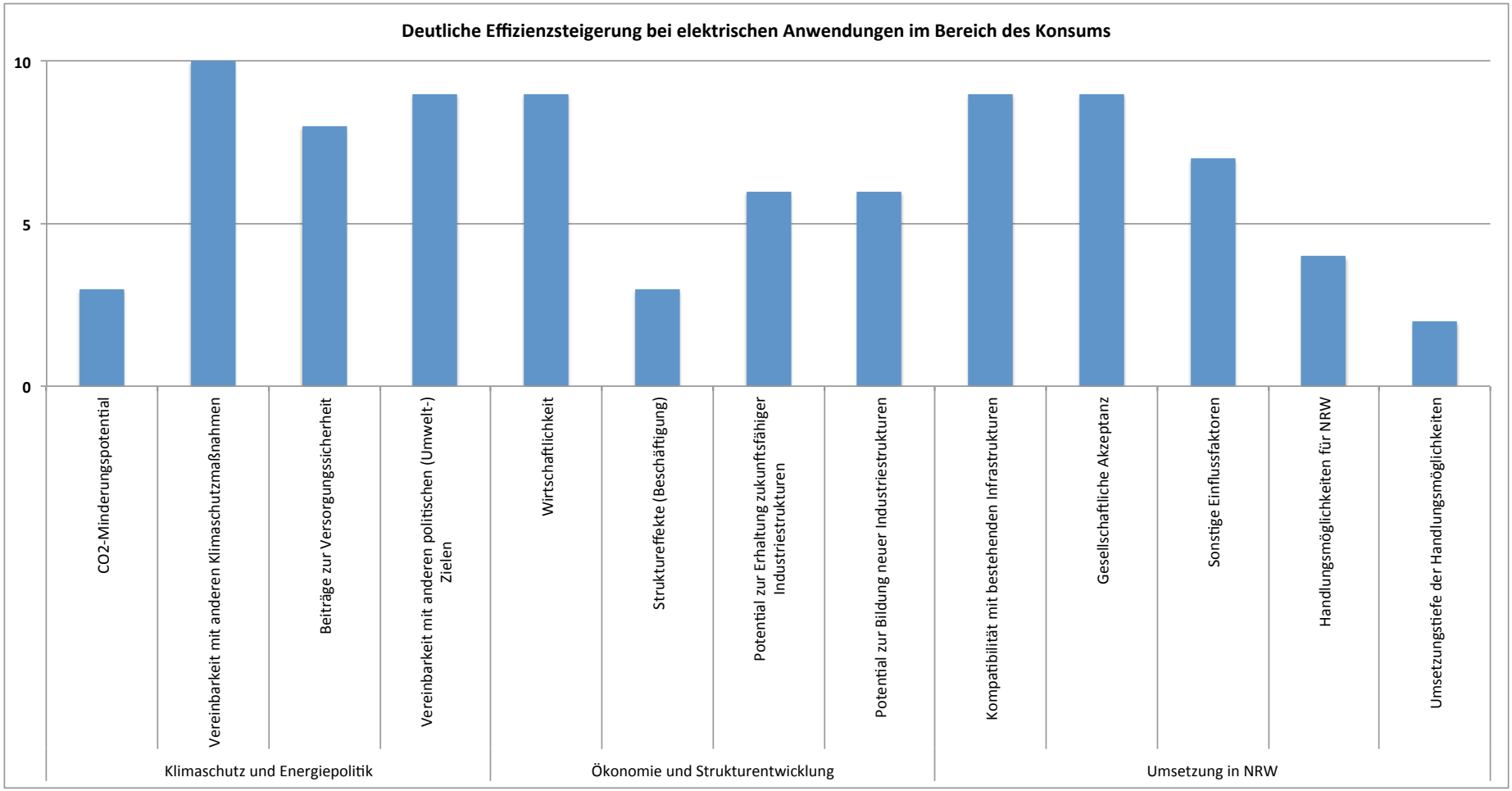


Abbildung 8-6: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 7: Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie

Was spricht für die Maßnahmen

- Die betrachteten Maßnahmen weisen teilweise ein signifikantes CO_2-Minderungspotential auf und setzen an einem Sektor an, der für die nationale und regionale Emissionsbilanz von hoher Bedeutung ist.
- Der Maßnahmenblock umfasst sowohl Maßnahmen zur Optimierung motorisierter Verkehre, Strategien zur Verkehrsvermeidung und zur Verlagerung von Verkehr auf klimafreundlichere Verkehrsträger. Diese Maßnahmen sind überwiegend gut miteinander zu kombinieren bzw. zu ergänzen.
- Im Bereich der Stadt- und Landschaftsplanung verfügt die nordrhein-westfälische Landesregierung über ein breites Tableau an Handlungsoptionen im Rahmen des Landesentwicklungsplans sowie von spezifischen städtebaulichen Förderprogrammen.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Die betrachteten Maßnahmen weisen teilweise eine lediglich eingeschränkte Vereinbarkeit mit anderen umweltpolitischen Zielen auf. So kann z.B. die breite Nutzung von Biotreibstoffen die Biodiversität oder/und Belange des Naturschutzes beeinträchtigen.
- Die betrachteten Maßnahmen weisen eine begrenzte bis stark eingeschränkte Wirtschaftlichkeit auf. So sind viele alternative Kraftstoffe und Antriebskonzepte noch in der technischen Erprobungsphase und noch nicht marktreif. Elektrofahrzeuge stellen aktuell noch keine wirtschaftliche Alternative zu vergleichbaren Modellen mit konventionellem Antrieb dar. Die Umgestaltung von Siedlungsstrukturen ist ein hochgradig kostenintensiver Prozess, der in sehr langen Investitionszyklen erfolgt und demnach eine langfristig angelegte Handlungsoption darstellt.
- Die Maßnahmen weisen überwiegend ein limitiertes bis stark eingeschränktes Potential zur Schaffung neuer Industriestrukturen auf, da die resultierende Wertschöpfung vorrangig in etablierten Branchen erfolgt.
- Die betrachteten Maßnahmen erfordern eine massive Umgestaltung etablierter Verkehrs- und Siedlungsstrukturen und sind daher mit einem hohen Infrastrukturaufwand verbunden.
- Hinsichtlich der Markteinführung alternativer Antriebskonzepte und Treibstoffe sowie der Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene verfügt die Landesregierung über begrenzte Handlungsmöglichkeiten, weil die entsprechenden politischen Rahmenbedingungen überwiegend auf europäischer und nationaler Ebene gestaltet werden.

Was muss besonders beachtet werden

- Bei der Produktion und Markteinführung von alternativen Kraftstoffen gilt es, Nachhaltigkeitskriterien aufzustellen und einzuhalten, um Trade-Offs mit anderen umweltpolitischen Zielen, wie z.B. Biodiversität im Falle von Biokraftstoffen, zu vermeiden.
- Da die betrachteten Maßnahmen eine deutliche Umgestaltung des Verkehrs- und Siedlungssystems erfordern, muss ihre Umsetzung von Beteiligungsverfahren zur Einbindung gesellschaftlicher Kräfte begleitet werden, um gesellschaftliche Akzeptanz zu schaffen.

Gesamtbewertung

Eine nachhaltige Mobilitätsstrategie kann einen wichtigen Beitrag zur CO_2-Minderung leisten, ist jedoch anspruchsvoll in der Umsetzung. Dies gilt insbesondere für die mit den Maßnahmen einhergehende Umgestaltung bestehender Infrastruktursysteme, wie das Verkehrswege- oder Tankstellennetz. Überdies ist die kurz- bis mittelfristige Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen gering. Das Maßnahmenpaket muss folglich durch starke politische Anreize und Maßnahmen flankiert werden.

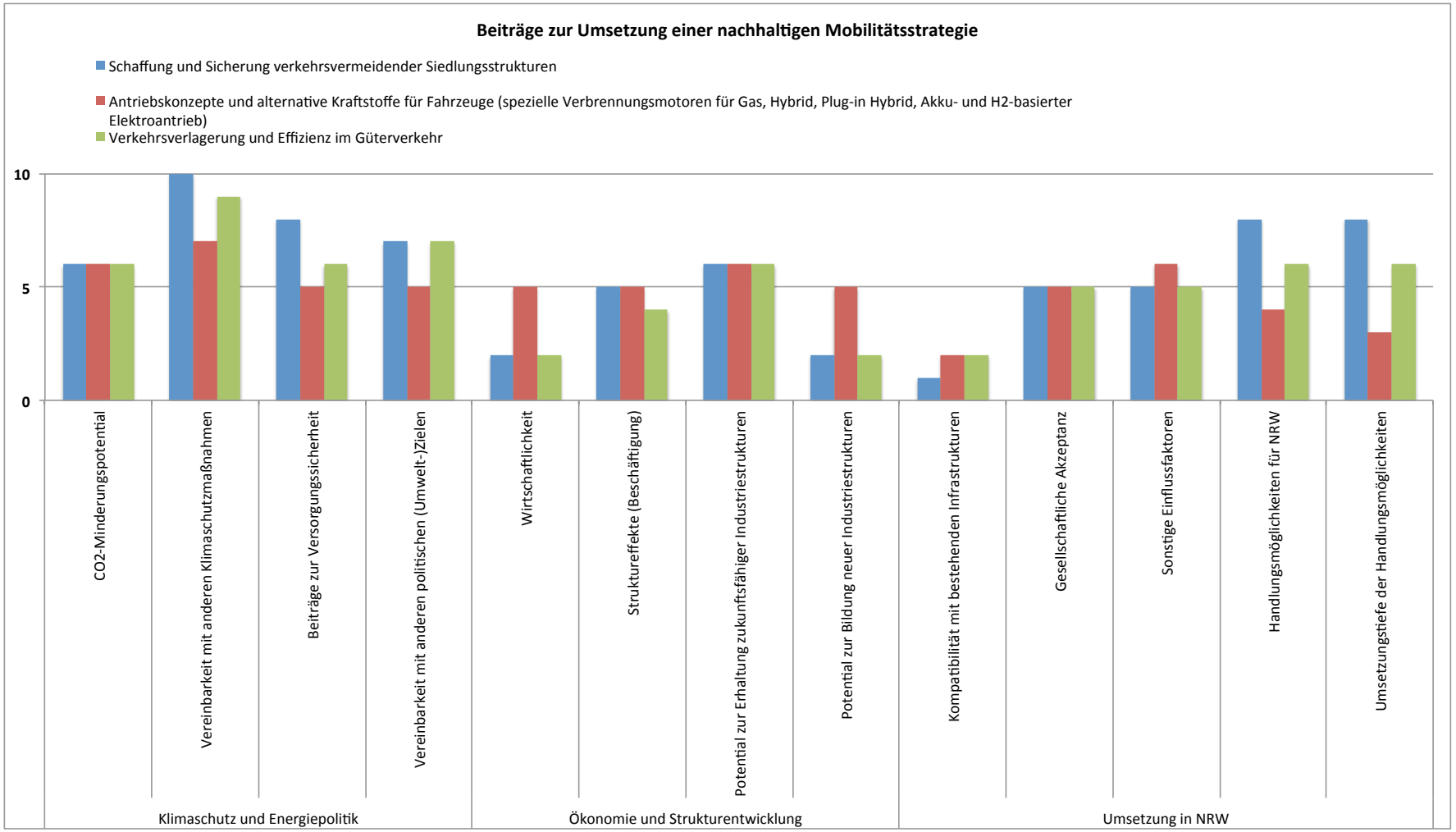


Abbildung 8-7: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Beiträge zur Umsetzung einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie“

Quelle: Eigene Darstellung

Schlussfolgerungen für Maßnahme 8: Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung

Was spricht für die Maßnahme

- Die Maßnahme impliziert ein hohes Potential zur Schaffung neuartiger Recyclingstrukturen und der Entwicklung neuartiger Technologien mit entsprechendem Exportpotential.
- Die Maßnahme leistet einen indirekten Beitrag zur Versorgungssicherheit, indem sie die Klimaverträglichkeit der Nutzung heimischer fossiler Rohstoffe erhöht.
- Der Infrastrukturaufwand für die CO_2-Nutzung ist aus heutiger Sicht gering, da voraussichtlich lediglich kleine Mengen der CO_2-Nutzung zugeführt werden. Bei der Entdeckung neuer Verwertungswege könnten sich die Infrastrukturanforderungen zwar erhöhen, würden mit hoher Wahrscheinlichkeit jedoch Synergien mit einem Infrastruktursystem für die CCS-Technologien aufweisen.

Was spricht gegen die Maßnahmen

- Das CO_2-Minderungspotential der Maßnahme ist begrenzt, da der industrielle Bedarf an CO_2 nur einen Bruchteil der erzeugten Menge an CO_2 abdeckt.
- Die thermodynamischen Eigenschaften von CO_2 machen bei der Verwertung des Gases einen hohen Energieeinsatz erforderlich.

Was muss besonders beachtet werden

- Die CO_2-Nutzung hat lediglich einen CO_2-Minderungseffekt, wenn eine langfristige Bindung des CO_2 erfolgt und der Minderungseffekt nicht durch die Energieintensität der CO_2-Nutzung kompensiert wird.
- Alternative Nutzungsformen von CO_2, z.B. die Algenzucht, befinden sich noch in einem frühen, kleinskaligen Entwicklungsstadium.

Gesamtbewertung

Insgesamt ist das Potential der CO_2-Nutzung als begrenzt zu bewerten, da der industrielle Bedarf an CO_2 lediglich einem geringen Anteil an den jährlich generierten CO_2-Emissionen entspricht. Überdies erfordert die Umwandlung von CO_2 einen hohen Energieeinsatz. Viele Nutzungsformen befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Folglich ist die CO_2-Nutzung lediglich als potentieller ergänzender Handlungsbaustein zu Maßnahmen mit einem höheren CO_2-Minderungspotential einzustufen.

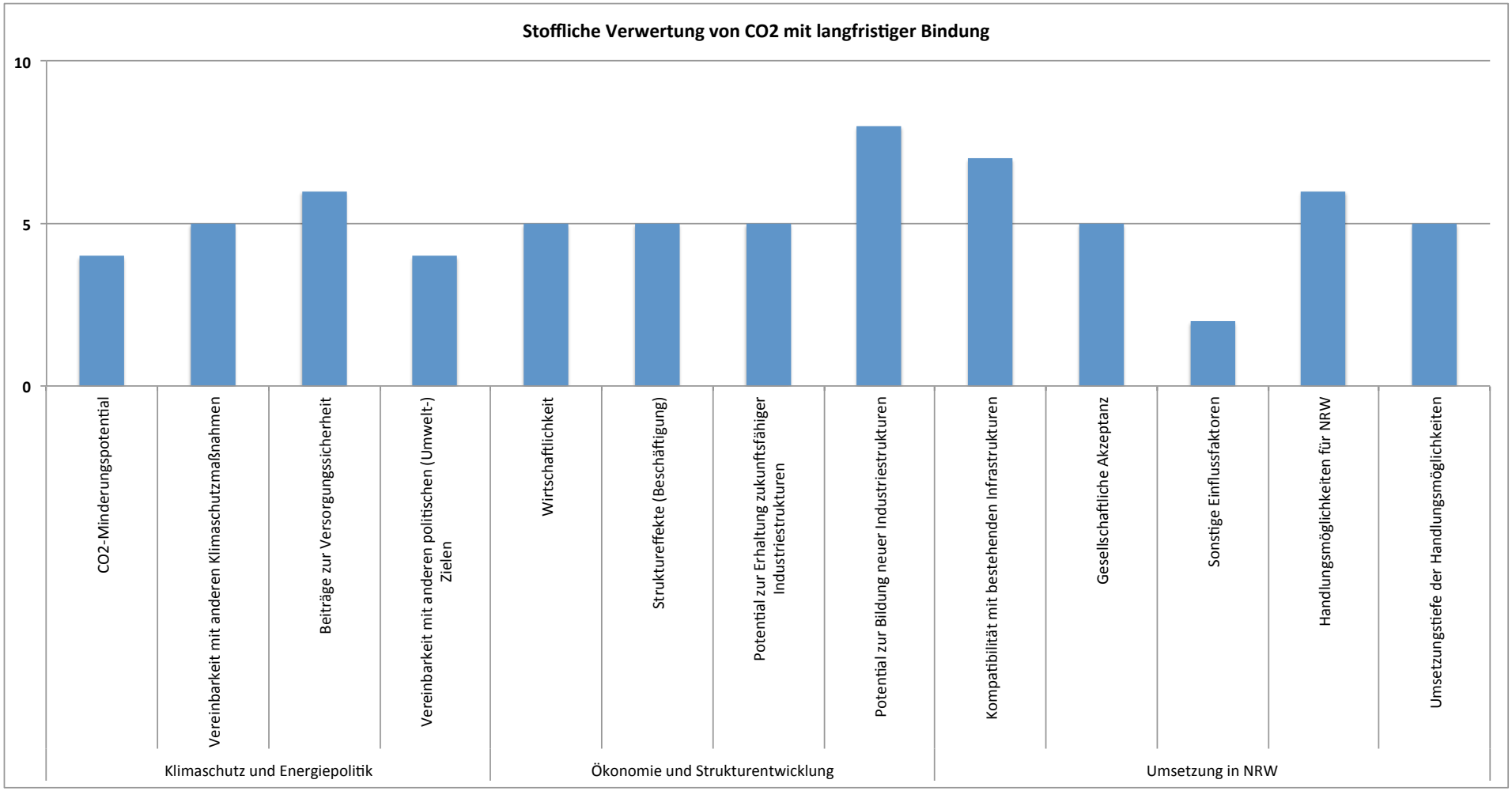


Abbildung 8-8: Ungewichtete Bewertung des Klimaschutzbausteins „Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung“

Quelle: Eigene Darstellung

8.2 Sektoraler Vergleich der Bewertungen von Einzelmaßnahmen (ungewichtet)

8.2.1 Strom- und Wärmeerzeugung

8.2.1.1 Klimaschutz und Energiepolitik

CO_2-Minderungspotential

Die heimische Nutzung von erneuerbaren Energien wird in diesem Maßnahmenblock mit „9“ sehr hoch eingestuft, da erneuerbare Energien eine weitgehend CO_2-freie Energieerzeugung ermöglichen. Wegen des limitierten inländischen Potentials der verschiedenen regenerativen Energiequellen wird nicht die Höchstbewertung vergeben.

Der Import von regenerativ erzeugtem Strom wird mit „6“ niedriger bewertet, da die CO_2-Minderung nicht in Deutschland bzw. Nordrhein-Westfalen erfolgt.

Speichertechnologien tragen selbst nicht direkt zur CO_2-Minderung bei, sind aber essentiell notwendig, um die CO_2-Minderungen der erneuerbaren Energien besser bzw. in größerem Umfang realisieren zu können. Sie werden daher mit „8“ recht hoch, jedoch niedriger als die heimische Nutzung von erneuerbaren Energien eingestuft.

Die Modernisierung von fossil befeuerten Kraftwerken wird mit „4“ niedrig eingestuft, da die Maßnahme zwar kurz- bis mittelfristig einen signifikanten Effekt generieren kann, langfristig jedoch das Erreichen ambitionierter Klimaschutzziele und den Ausbau CO_2-freier Technologien erschwert.

Ein Brennstoffwechsel von Kohle zu Erdgas wird aus dem gleichen Grund ebenfalls deutlich niedriger als die Nutzung erneuerbarer Energien bewertet, ist jedoch aufgrund der besseren Emissionsbilanz von Erdgaskraftwerken mit „5“ leicht positiver zu bewerten als die Erneuerung von Kohlekraftwerken.

Die Nutzung von CCS wird mit „8“ wegen des substantiellen spezifischen und absoluten CO_2-Minderungspotential der Technologie am höchsten innerhalb des Maßnahmenblocks zum fossilen Großkraftwerkspark eingeordnet. Die eingeschränkt positiv Bewertung ist auf die hohe Energieintensität des Verfahrens und eine teilweise Kompensation der Minderungseffekte in der Vorkette zurückzuführen.

Die Kraft-Wärme-Kopplung wird wegen ihres starken Effekts auf den Wirkungsgrad von Kraftwerken und ihre Einsatzmöglichkeit in regenerativ gespeisten Anlagen mit „8“ ebenfalls hoch eingestuft.

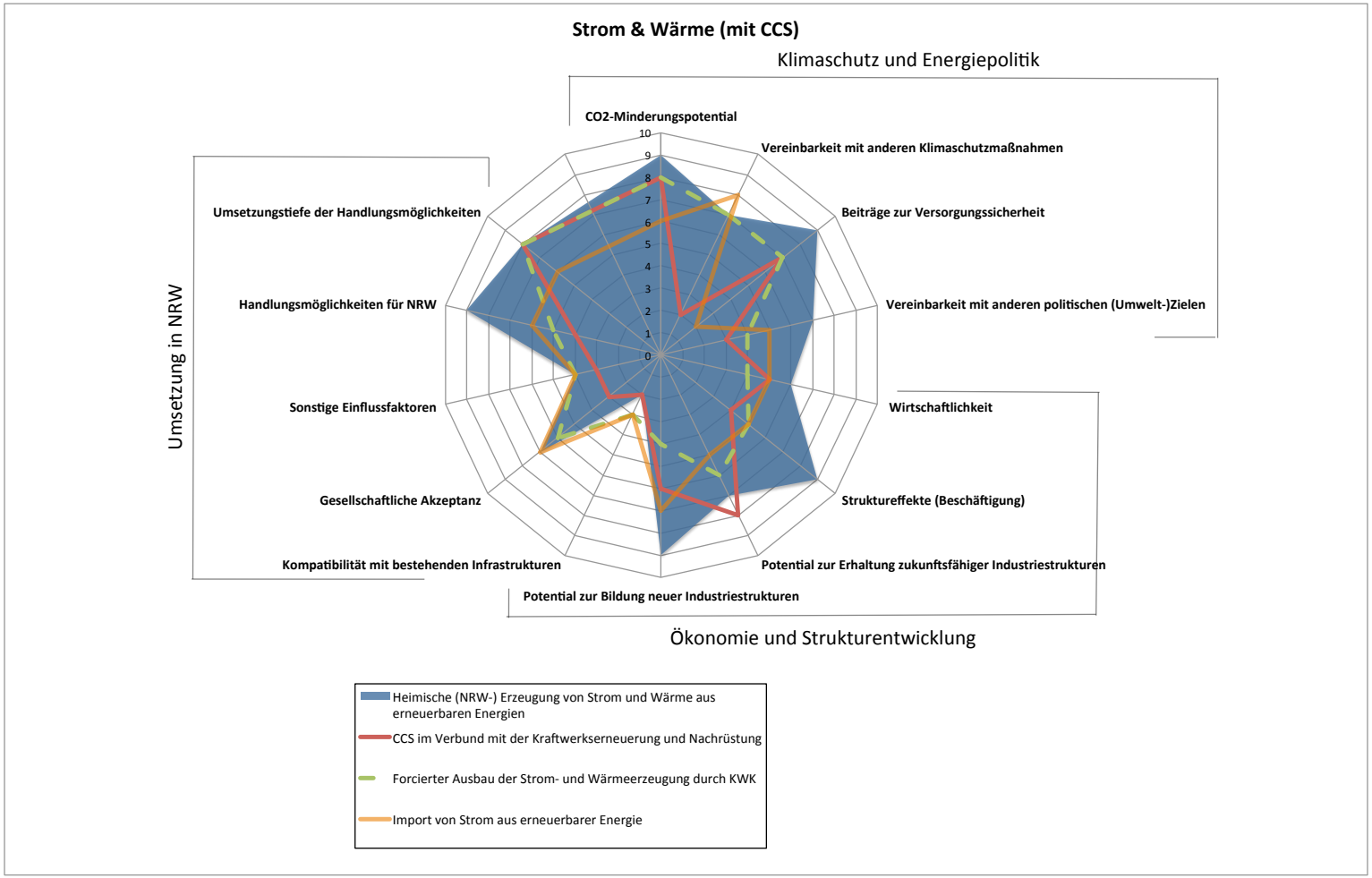


Abbildung 8-9: Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Strom und Wärme mit CCS

Quelle: Eigene Darstellung

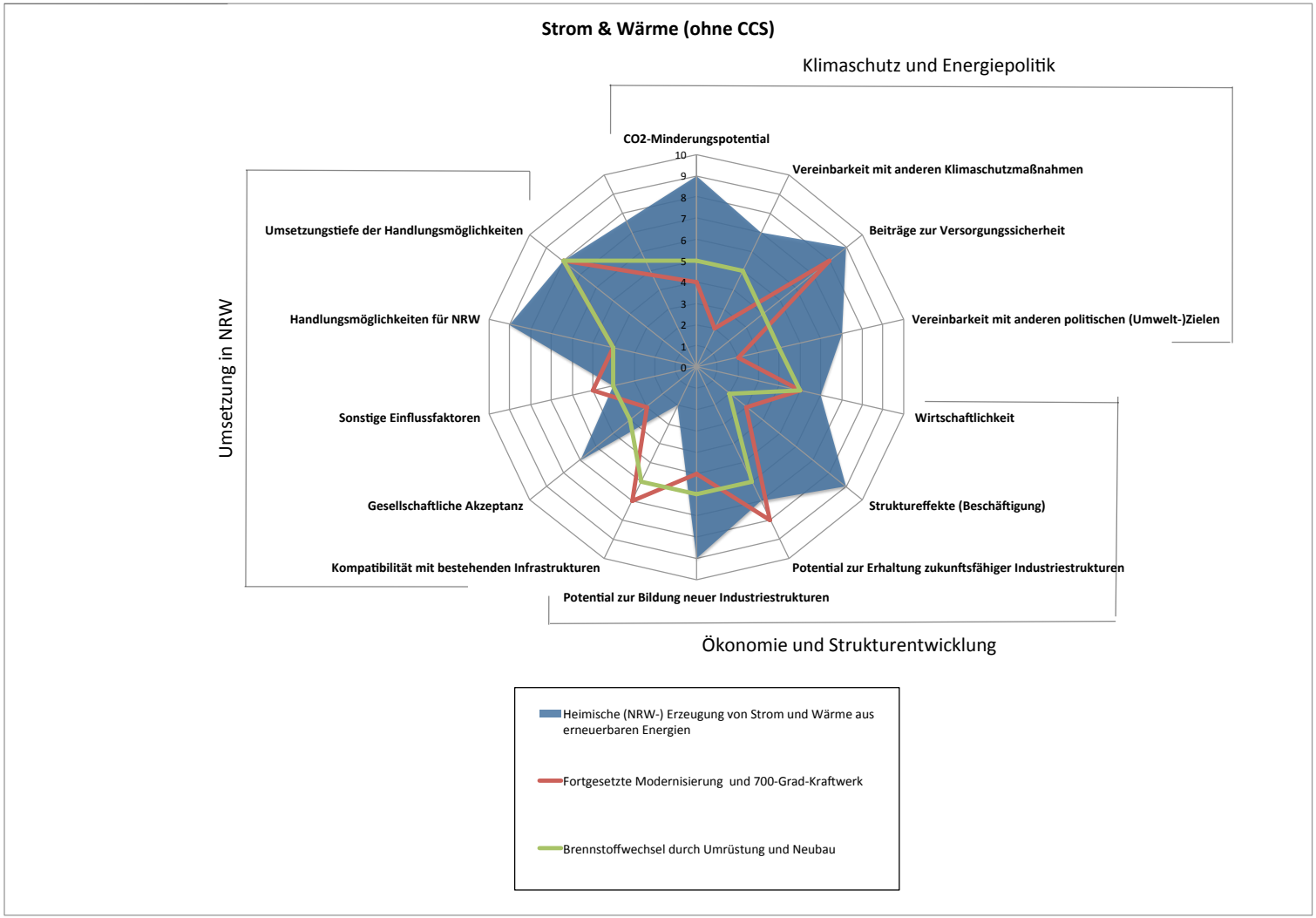


Abbildung 8-10: Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Strom und Wärme ohne CCS

Quelle: Eigene Darstellung

Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen:

Dem fossilen Großkraftwerkspark wird im Gegensatz zur Nutzung erneuerbarer Energie eine grundsätzlich eher niedrige Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen eingeräumt. Dies ist insbesondere deshalb der Fall, weil der Fortbestand zentraler, wenig flexibler fossiler Erzeugungseinheiten in Konflikt mit dem Ausbau erneuerbarer Energien treten kann.

Der Ausbau erneuerbarer Energien wird wegen des Konflikts mit der Verstromung fossiler Brennstoffe und der hohen technischen Anforderungen an die Netz- und Erzeugungsinfrastruktur ebenfalls nicht uneingeschränkt positiv bewertet.

Ein Brennstoffwechsel von Kohle zu Erdgas wird positiver eingestuft als die Modernisierung von Kohlekraftwerken, da Gaskraftwerke eine flexiblere Fahrweise erlauben als Kohlekraftwerke und damit eher mit der fluktuierenden Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen kompatibel sind.

Beiträge zur Versorgungssicherheit:

Die heimische Erzeugung auf Basis erneuerbarer Energien wird hier sehr positiv eingeordnet („9“), da sie – wenngleich teilweise nur fluktuierend verfügbar – die Abhängigkeit von importierten Rohstoffen reduziert.

Der Import von regenerativ erzeugtem Strom wird niedrig bewertet („2“), da dieser – falls er heimisch erzeugten Strom verdrängt – eine Minderung der Versorgungssicherheit nach sich zieht.

Die Modernisierung von Kohlekraftwerken wird mit „8“ ebenfalls hoch bewertet, da insbesondere die Braunkohleverstromung zur Versorgungssicherheit beiträgt. Die Einstufung ist aufgrund des geringeren Versorgungssicherheitseffekts importierter Steinkohle niedriger als im Falle der heimischen Erzeugung erneuerbarer Energie.

Eine Verdrängung der Braunkohle durch Erdgas im Zuge eines Brennstoffwechsels wird wegen der geringen inländischen Gasvorkommen eher niedrig („4“) eingestuft.

Die Nutzung von CCS an Kohlekraftwerken wird mit „7“ etwas niedriger eingestuft als die Modernisierung des fossilen Kraftwerksparks, da sich der Brennstoffbedarf durch die CO_2-Abscheidung deutlich erhöht.

Vereinbarkeit mit anderen umweltpolitischen Zielen:

Die heimische Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien wird wegen möglicher Konflikte mit Landschafts- und Naturschutz sowie der Biodiversität eingeschränkt positiv („7“) bewertet.

Der Import von regenerativ erzeugtem Strom wird im direkten Vergleich niedriger eingestuft („5“), da dieser einen massiven, transeuropäischen Ausbau des Stromnetzes erfordert und mit entsprechenden Umweltbelastungen verbunden ist.

Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark werden generell niedrig bis eingeschränkt niedrig (weniger als „5“) bewertet, da die Förderung fossiler Rohstoffe mit signifikanten Umweltauswirkungen einhergeht und der Betrieb fossiler Großanlagen ebenfalls zu negativen Einflüssen führt (Sommersmog, Eutrophierung etc.).

Der Brennstoffwechsel von Erdgas zu Kohle („4“) wird besser eingestuft als die Modernisierung von Kohlekraftwerken („2“), da Erdgaskraftwerke gegenüber Kohle gefeuerten Kraftwerken zu einer deutlichen Verbesserung in den Wirkungskategorien Sommersmog und Versauerung führen.

Im Falle von CCS wird eine etwas bessere Bewertung vorgenommen („3“) als für die Modernisierung von Kohlekraftwerken („2“). Zwar steigen einige Umweltwirkungen durch eine Erhöhung des Brennstoffbedarfs an, jedoch werden diese teilweise durch eine Verringerung in anderen Wirkungskategorien kompensiert. Zu der insgesamt recht niedrigen Bewertung tragen auch die noch weitgehend unklaren Umweltwirkungen der unterirdischen CO_2-Lagerung bei.

8.2.1.2 Ökonomie und Strukturentwicklung

Wirtschaftlichkeit:

Die Wirtschaftlichkeit der heimischen Nutzung erneuerbarer Energien ist zwischen den einzelnen Technologien und Rohstoffen sehr unterschiedlich. Während z.B. die Stromerzeugung aus Wasserkraft gegenüber der konventionellen Stromerzeugung heute konkurrenzfähig ist, sind andere Erzeugungsarten im Nachteil. Langfristig ist jedoch von einem Beitrag der erneuerbaren zum Ziel einer wirtschaftlichen Energieversorgung auszugehen. Daher wird der Baustein mit „7“ als eingeschränkt positiv eingestuft.

Die Wirtschaftlichkeit von Importstrom aus erneuerbaren Energien wird mit „5“ etwas niedriger bewertet, da insbesondere die Übertragung des Stroms über weite Distanzen einen kostenaufwendigen Ausbau des transnationalen Übertragungsnetzes erfordert.

Die Speichertechnologien werden ebenfalls bei der Punktzahl „5“ eingeordnet, da deren Wirtschaftlichkeit im Verbund mit ihrem Einsatz im Gesamtsystem zu bewerten ist und Investitionen meist politische Anreize erfordern.

Die Wirtschaftlichkeit der fossil basierten Stromerzeugung wird nahezu durchgängig mit „5“ bewertet (Ausnahme CCS: „4“). Die Wirtschaftlichkeit fossiler Kraftwerke wird ungeachtet aktueller Kostenvorteilen niedriger bewertet als die Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien, da aufgrund eines perspektivisch steigenden CO_2-Zertifikatepreises im europäischen Emissionshandelssystem mittelfristig von Kostenvorteilen bestimmter erneuerbarer Energiequellen bzw. –technologien (z.B. Wind Offshore) auszugehen ist.

Die Wirtschaftlichkeit der Nutzung von CCS im Kraftwerkspark wird ebenfalls bei „5“ eingestuft. Zwar geht die Nutzung der CCS-Technologie aufgrund ihrer hohen Investitions- und Energieintensität mit einem signifikanten Aufschlag auf die Stromgestehungskosten einher, jedoch können bei einem ausreichend hohen CO_2-Zertifikatepreis wirtschaftliche Vorteile gegenüber Kraftwerken ohne CCS entstehen.

Struktureffekte (Beschäftigung):

Die heimische Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien wird hier sehr hoch („9“) eingestuft, da sie mit einem entsprechenden Ausbau damit verbundener Produktion und Dienstleistungen einhergeht und bereits in der Vergangenheit zu einem starken Bruttobeschäftigungseffekt geführt hat.

Der Import von regenerativ erzeugtem Strom wird im direkten Vergleich deutlich niedriger eingestuft („5“), da die Wertschöpfung hier voraussichtlich wesentlich im Ausland erfolgt.

Im Vergleich zu erneuerbaren Energien wird bei den betrachteten Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark wegen des geringen industriellen Transformationspotentials von niedrigen bis eingeschränkten Struktureffekten ausgegangen.

Der Struktureffekt eines Brennstoffwechsels von Kohle zu Erdgas wird nochmals niedriger eingeschätzt („2“), da Gaskraftwerke deutlich weniger investitionsintensiv sind als Stein- oder Braunkohlekraftwerke und demnach tendenziell einen geringeren Arbeitskräftebedarf nach sich ziehen dürften. Überdies würde die Substitution heimischer Braunkohle oder Steinkohle durch importiertes Erdgas voraussichtlich zu einem Arbeitsplatzverlust in der deutschen Kohleindustrie führen.

Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen:

Hier werden die Modernisierung des fossilen Kraftwerksparks und die Nutzung von CCS bei Großkraftwerken in gleichem Maße positiv eingestuft (jeweils „8“), da sie bestehende, CO_2-intensive Strukturen an Klimaschutzanforderungen anpassen.

Ein Brennstoffwechsel im Stromsektor von Kohle zu Erdgas wird lediglich eingeschränkt positiv bewertet („6“), da hier mit einer Veränderung der Akteurs- und Unternehmensstruktur im Kraftwerksbereich zu rechnen wäre.

Der heimischen Erzeugung erneuerbarer Energien wird trotz ihres hohen Potentials zur Bildung neuer Industriestrukturen eine recht hohe Bewertung zugeordnet („7“), da sie auch wesentlich auf bestehenden, vor allem mittelständischen Industriestrukturen aufbaut.

Der Effekt des Stromimports („5“) ist wegen geringerer Wertschöpfung im Inland deutlich niedriger einzuordnen.

Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen:

Der heimischen Nutzung erneuerbarer Energien wird ein sehr hohes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen zugeschlagen („9“), da die Nutzung erneuerbarer Technologien eine umfassende Umstrukturierung des Energiesystems erfordert, die bereits in der jüngeren Vergangenheit zur Entstehung neuer Industriezweige, wie z.B. der Windenergiebranche, geführt hat.

Der Import von regenerativ produziertem Strom wird mit „7“ Punkten eingeschränkt positiv bewertet, da ein Teil des ökonomischen Effekts in die Erzeugerländer abfließt.

Dem Brennstoffwechsel von Kohle zu Gas und der Nutzung von CCS im fossilen Kraftwerkssektor wird jeweils eine niedrig positive Punktzahl („6“) zugeordnet, da in beiden Fällen bestehende Industriestrukturen um neue Branchen sowie Handels – bzw. Zuliefernetzwerke ergänzt werden, wie z.B. für den Transport und die Speicherung von CO_2.

Der Bau von KWK-Anlagen und den damit verbundenen Wärmenetzen wird deutlich niedriger eingestuft („4“), da er Stand der Technik ist. Ein höheres Innovationspotenzial besteht lediglich bei kleineren KWK-Anlagen auf Biomassebasis.

8.2.1.3 Umsetzung in NRW

Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen:

Da die Maßnahme „Fortgesetzte Modernisierung und 700-Grad-Kraftwerk“ auf bestehenden Infrastrukturen (z.B. Transportsysteme für Brennstoff) basiert wird sie mit „7“ recht positiv bewertet.

Die heimische Nutzung erneuerbarer Energien wird niedrig bewertet („2“), da diese u.a. eine Substitution bestehender Stromerzeugungseinheiten sowie eine Anpassung des Stromnetzes nach sich zieht bzw. voraussetzt.

Der Import von Strom aus erneuerbaren Energien ist mit etwas geringerem Aufwand verbunden (Punktebewertung „3“). Zwar impliziert dieser hohe Anforderungen an die Übertragungsnetzstruktur, jedoch erfolgt die Transformation der Stromerzeugungsstruktur nicht in Deutschland.

Die Nutzung von CCS im Kraftwerkssektor erfordert insbesondere den Aufbau eines Infrastruktursystems für den Transport und die Speicherung von CO_2 und wurde folglich ebenfalls relativ niedrig (jeweils „3“) eingestuft. Im Vergleich zu der heimischen Erzeugung erneuerbarer Energien ist die Bewertung jedoch etwas höher ausgefallen, da die fossile Stromerzeugung den Energieszenarien der Bundesregierung zufolge in den kommenden Dekaden massiv reduziert werden wird, während ein starkes Wachstum der erneuerbaren Stromerzeugung vorgesehen ist.

Gesellschaftliche Akzeptanz:

Die Erzeugung und der Import von Strom aus erneuerbaren Energien werden mit jeweils „7“ Punkten etwas abgeschwächt positiv eingeordnet, da die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen von der Bevölkerung zwar mehrheitlich begrüßt wird, der Bau von Anlagen jedoch wiederholt zu lokalen Widerständen geführt hat (NIMBY-Phänomen). Auch der Bau von Freileitungen im Rahmen der Modernisierung des Stromnetzes könnte die gesellschaftliche Akzeptanz einschränken.

Die Modernisierung des fossilen Kraftwerkspark wird im Vergleich deutlich niedriger bewertet („3“), da die gesellschaftliche Akzeptanz einer fortgesetzten Verstromung fossiler Brennstoffe grundsätzlich eher gering ist. Der Neubau von fossilen Großkraftwerken hat wiederholt zu öffentlichen Widerständen geführt.

Die Nutzung von CCS wird mit „3“ ebenfalls niedrig eingeordnet, da mögliche Unsicherheiten der unterirdischen CO_2-Lagerung zu massiven Protesten der in den Speicherregionen ansässigen Bevölkerung und zu einem Konflikt der Bundespolitik mit den betroffenen Bundesländern geführt haben.

Sonstige Einflussfaktoren:

Die heimische Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie der Import von erneuerbaren Energien werden mit jeweils „4“ Punkten eher niedrig bewertet, da hier substantielle Hindernisse bestehen, wie z.B. die grenzüberschreitende Koordinierung des Stromnetzausbaus für Stromimporte oder Nutzungskonkurrenzen im Falle der Biomassenutzung für die Stromerzeugung.

Die Nutzung von CCS bei Kraftwerken wird wegen hoher Unsicherheiten mit Blick auf das verfügbare Potential zur CO_2-Speicherung und Nutzungskonkurrenzen bei potenziellen Lagerstätten mit „3“ Punkten ebenfalls eher niedrig bewertet.

Handlungsmöglichkeiten für NRW:

Die heimische Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien wird in diesem Kriterium sehr positiv eingestuft („9“), da dem Land eine breite Spanne an Handlungsmöglichkeiten auf diesem Feld zur Verfügung steht. Hierzu zählen u.a. die Verankerung von Ausbauzielen in der Landesplanung, die Verringerung der Hemmnisse beim Ausbau der erneuerbaren Energien und die Schaffung von Förderprogrammen zur lokalen Potentialermittlung und –ausnutzung in Ergänzung zu Bundesprogrammen.

Beim Import von regenerativ erzeugtem Strom ist die Palette möglicher Einflussnahmen etwas geringer („6“). Hier kann das Land NRW beispielsweise durch Landesplanungsinstrumente und eine akzeptanzfördernde Informationspolitik den Ausbau der Verbundnetze innerhalb der Landesgrenzen ermöglichen.

Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark werden großteils relativ niedrig mit „4“ eingestuft, da hier die wichtigste Stellschraube für der europäische Emissionshandel ist. Handlungsmöglichkeiten der Landesregierung liegen insbesondere bei der Förderung von Forschung und Entwicklung sowie der Förderung einer umweltverträglichen Energieversorgung im Landesplanungsrecht (Landesentwicklungsprogramm § 26).

Bei der CO_2-Speicherung verfügen die Bundesländer zwar über recht umfangreiche Kompetenzen bei der Genehmigung der Speicherstätten, da NRW jedoch über keine signifikanten Speicherpotentiale verfügt, wird hier ebenfalls mit „4“ bewertet.

Beim Ausbau der KWK wird mit „5“ im direkten Vergleich eine leicht höhere Einstufung vorgenommen, da das Land über vielfältige Möglichkeiten verfügt, Planungshindernisse beim Ausbau des Wärmenetzes zu beseitigen und dies durch Förder- und Informationsprogramme zu ergänzen.

Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten:

Für Maßnahmen im fossilen Großkraftwerkspark sowie den Ausbau der KWK wird eine hohe Umsetzungstiefe veranschlagt, da hier eine entsprechende Änderung bzw. Anpassung des Landesplanungsrechts möglich bzw. erforderlich ist. Diesbezüglich ist der wichtigste Ansatzpunkt der Landesregierung die Stärkung klima- und umweltpolitischer Gesichtspunkte im Landesentwicklungsprogramm. Die Umsetzungstiefe der Handlungsbausteine innerhalb dieses Maßnahmenblocks werden daher einheitlich als eingeschränkt hoch mit „8“ eingestuft.

Die Einschränkung ist v.a. auf die Möglichkeit, ergänzender, „weicher“ Handlungsoptionen zurückzuführen, wie z.B. die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten oder – im Falle von CCS – die Initiierung von Informations- und Kommunikationsforen für die Öffentlichkeit.

Die heimische Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird ebenfalls mit insgesamt „8“ Punkten und damit recht hoch bewertet. Auch hier führen Handlungsmöglichkeiten innerhalb des Landesplanungs- und Ordnungsrechts zu einer relativ hohen Umsetzungstiefe. Beispielswei-

se hat das Land beim Bau von Windkraftanlagen die Möglichkeit, die Abstände von Wohnbebauung, die maximal zulässige Höhe und die Größe der Vorranggebietszuweisungen festzulegen.

Für den Import von Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird die Umsetzungstiefe etwas niedriger eingestuft („6“). Hier verfügt das Land zwar mit Blick auf den Stromnetzausbau über vielfältige Handlungsmöglichkeiten mit hoher Umsetzungstiefe, jedoch kann auf den Ausbau der Stromerzeugungstechnologie, die die Grundlage der Stromimporte bildet, nur indirekt durch das Land Einfluss genommen werden, z.B. durch Förderung von Forschung und Entwicklung.

8.2.2 Industrie

8.2.2.1 Klimaschutz und Energiepolitik

CO_2-Minderungspotential:

Effizienzsteigerung in der Verfahrens- und Fertigungstechnik weisen ein signifikantes CO_2-Minderungspotential auf. Da die Maßnahme einen in NRW wichtigen Industriezweig adressiert, jedoch sektoral begrenzt ist, wird sie auf einem mittleren Level („5“) der Bewertungsskala eingestuft. Gleiches gilt für die alternative Stahlerzeugung.

Der Nutzung von CCS in der Industrie wird ein substantielles und insbesondere für NRW hoch relevantes CO_2-Minderungspotential zugeschrieben. Die Maßnahme wird daher mit „6“ höher eingestuft als die zuvor beschriebenen Schritte zur Prozessoptimierung. Die Bewertung fällt allerdings niedriger aus als jene der Nutzung von CCS im Kraftwerkssektor, da der Anteil der industriellen Prozessemissionen an den deutschen CO_2-Emissionen deutlich niedriger ist als die energiebedingten Emissionen des Stromsektors.

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie und die damit verbundene Substitution fossil basierter Produkte ist innerhalb des Maßnahmenblocks Industrie am höchsten eingestuft und wird mit „7“ bewertet.

Die stoffliche Verwertung von CO_2 wird innerhalb des Maßnahmenblocks hingegen am niedrigesten eingestuft („4“), da das Potential der Maßnahme durch die begrenzte Nachfrage nach CO_2 als Rohstoff limitiert ist.

Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen:

Verfahrensoptimierungen in der Stahlindustrie sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik werden sehr positiv eingestuft („9“), da hier keine wesentlichen Konflikte mit anderen Klimaschutzmaßnahmen bestehen

Die Nutzung von CCS in der Industrie wird mit „6“ deutlich niedriger eingeordnet, da die Nutzung zwar sektoral nicht direkt mit anderen Klimaschutzmaßnahmen kollidiert, es jedoch z.B. bei der CO_2-Lagerung zu Nutzungskonkurrenzen mit anderen Handlungsbausteinen kommen kann (z.B. mit der tiefen Geothermie, Druckluftspeichern o.ä.). Gegenüber der Nutzung von CCS im Kraftwerkspark fällt die Bewertung deutlich höher aus, da die CO_2-

Abscheidung eine höhere technische Kompatibilität mit verschiedenen Prozessen aufweist und eine geringere Konkurrenz zu anderen Klimaschutzoptionen besteht.

Der Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen wird gegenüber Verfahrensoptimierungen wegen möglicher Nutzungskonkurrenzen mit anderen Nutzungsfeldern für nachwachsende Rohstoffe abgeschwächt positiv bewertet („7“).

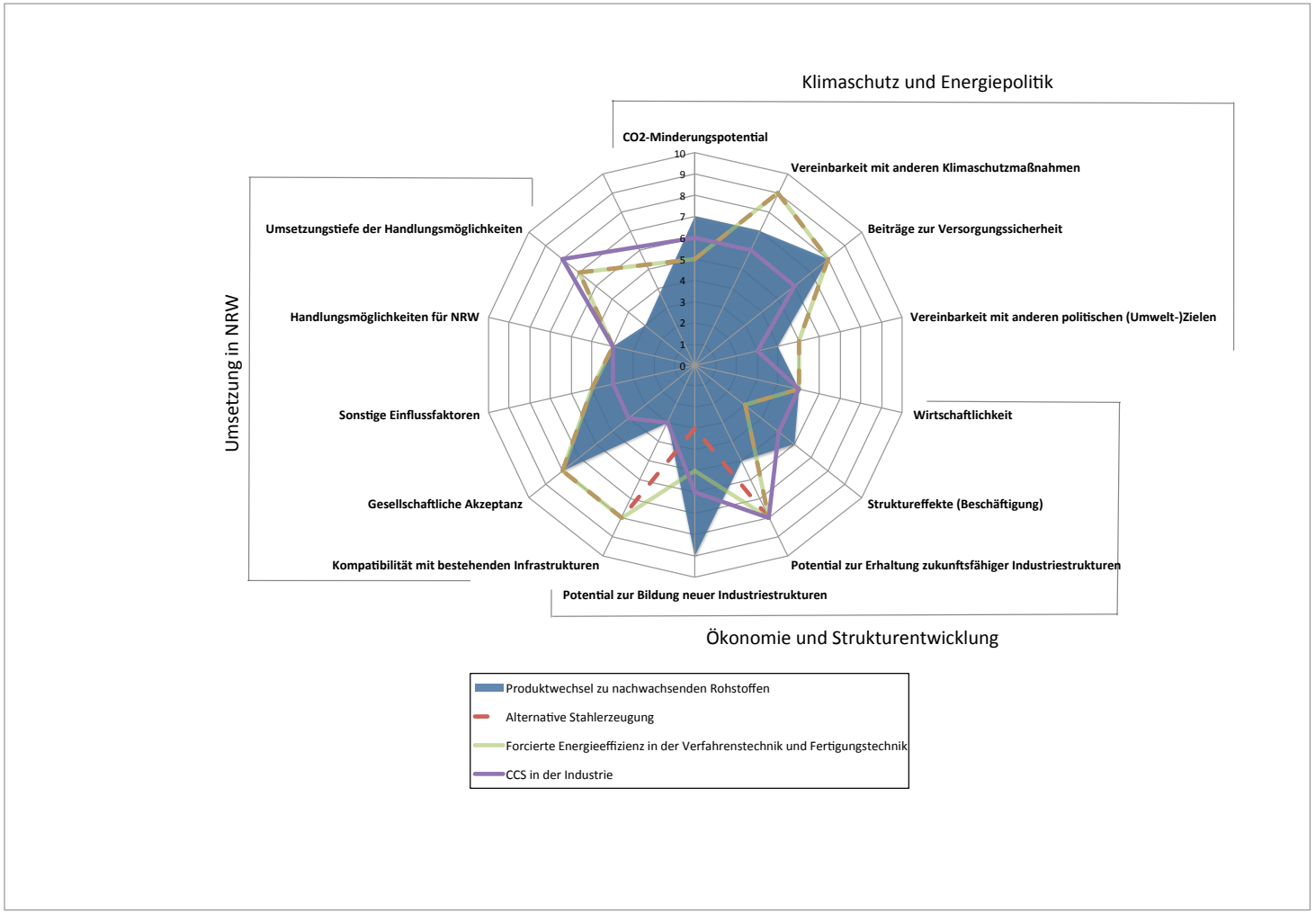


Abbildung 8-11: Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Industrie

Quelle: Eigene Darstellung

Beiträge zur Versorgungssicherheit:

Verfahrensoptimierungen in der Stahlindustrie sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik werden mit „8“ recht positiv bewertet, da auf diese Weise der Bedarf an importierten Energieträgern reduziert wird.

Die Nutzung von CCS wird wegen der hohen Energieintensität der CO2-Abscheidung lediglich mit „6“ bewertet.

Die Substitution importierter fossiler Brennstoffe durch heimische nachwachsende Rohstoffe wird ebenfalls bei „8“ eingestuft.

Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt-)Zielen:

Im Falle der alternativen Stahlerzeugung und Effizienzerhöhungen in der Verfahrens- und Fertigungstechnik wird mit „5“ eine eingeschränkte umweltpolitische Vereinbarkeit angenommen, da in beiden Fällen beim derzeitigen Entwicklungsstand der jeweiligen Technologien deren Umweltauswirkungen nicht qualifiziert bewertet werden können.

Die Nutzung von CCS in der Industrie wird niedriger („3“) bewertet, da wie im Kraftwerkspark parallel zur Erhöhung des Energieeigenbedarfs anderweitige Umweltauswirkungen verstärkt auftreten. Zu der insgesamt recht niedrigen Bewertung tragen auch die noch weitgehend unklaren Umweltwirkungen der unterirdischen CO_2-Speicherung bei.

Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen wird wegen möglicher Trade-Offs im Natur- und Landschaftsschutz und einer eventuellen Verringerung der Biodiversität mit „4“ ebenfalls niedrig“ eingestuft.

8.2.2.2 Ökonomie und Strukturentwicklung

Wirtschaftlichkeit:

Aufgrund einer sehr begrenzten Datenlage ist eine qualifizierte Bewertung der Wirtschaftlichkeit von CO_2-Minderungsmaßnahmen in der Stahlindustrie sowie in der Verfahrens- und Fertigungstechnik nur schwer möglich. In beiden Fällen stehen Kostenvorteilen infolge eines geringeren Energiebedarfs erhöhte Investitionskosten der Minderungsmaßnahmen gegenüber. Vor diesem Hintergrund werden beide Maßnahmen mit der Punktezahl „5“ auf einem mittleren Bewertungsniveau eingeordnet.

Die Nutzung der CCS-Technologie ist wie bei einer Nutzung im Kraftwerkspark stark abhängig von der Entwicklung des Zertifikatspreises sowie der Brennstoffe. Im Vergleich zum Kraftwerkssektor werden bei Industrieanlagen kleinere Mengen an CO_2 abgeschieden, so dass sich Skaleneffekte bei der Amortisation der Technologie geringer niederschlagen. Andererseits bieten industrielle Punktquellen teilweise günstigere Bedingungen für die CO_2-Abscheidung, so dass weniger Energie für die Abscheidung aufgewendet werden muss. Aufgrund dieser Ambivalenzen wird die Maßnahme mit „5“ auf dem gleichen Level wie die Wirtschaftlichkeit von CCS bei Kraftwerken eingestuft.

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie wird ebenfalls bei „5“ eingestuft, da die sich die Wirtschaftlichkeit der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sehr ambivalent zeigt. In einigen Bereichen sind bereits heute marktfähige Produkte aus Biomasse vorhanden. In anderen Bereichen ist die Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben.

Struktureffekte (Beschäftigung):

Der Struktureffekt von Verfahrensoptimierungen in der Stahlindustrie sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik wird grundsätzlich als recht gering bewertet (jeweils „3“), da im Fokus eine Modernisierung bestehender Anlagen und Industriestrukturen steht und keine grundlegende Transformation erfolgt. In einigen Bereichen sind schon heute marktfähige Produkte aus Biomasse vorhanden. In anderen Bereichen ist die Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben.

Die Nutzung von CCS wird mit „5“ etwas höher eingeordnet, da diese Maßnahme mit weiterreichenden Infrastrukturmaßnahmen und Investitionen verbunden ist. Gegenüber der Nutzung von CCS im Kraftwerkspark („4“) fällt die Bewertung etwas höher aus, da CCS mittelbis langfristig als prioritär für den Industriesektor als relevant betrachtet wird.

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie wird mit „6“ etwas positiver eingestuft, da hier mit einem höheren Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen zu rechnen ist.

Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen:

Bei diesem Kriterium werden insbesondere Maßnahmen, welche die Adaptation CO_2-intensiver Verfahren an ambitionierte Klimaschutzbedingungen ermöglichen, hohe Punktzahlen zugeordnet. Hierzu zählen auch die alternative Stahlerzeugung und Effizienzsteigerungen in der Verfahrens- und Fertigungstechnik (jeweils „8“) sowie CCS in der Industrie (ebenfalls „8“).

Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen wird mit „5“ niedriger eingestuft, da hier eine geringere Kompatibilität mit bestehenden Industriestrukturen vorliegt.

Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen:

Die Maßnahme „Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen“ wird mit „9“ sehr positiv eingeordnet, da die Europäische Kommission diesen Bereich als einen von sechs besonders aussichtsreichen Zukunftsmärkten mit einem hohen Potential für neue Akteure, Produkte und Strukturen in der Industrie einordnet.

Die stoffliche Verwertung von abgeschiedenem CO_2 wird mit „8“ ebenfalls hoch eingestuft, da hier die Chance zur Schaffung neuer Recyclingstrukturen und Technologien mit möglichem Exportpotential besteht. Das Potential der Maßnahme ist jedoch wegen der begrenzten CO_2-Nachfrage begrenzt, weshalb die Bewertung geringer ist als bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Industrie.

Der alternativen Stahlerzeugung wird ein geringes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen zugesprochen, da sie auf bestehenden Strukturen aufbaut.

Effizienzsteigerungen in der Verfahrens- und Fertigungstechnik werden wegen des Entwicklungsstrangs zur Errichtung von Bioraffinerien etwas höher bewertet („5“).

8.2.2.3 Umsetzung in NRW

Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen:

Optimierungen in der alternativen Stahlerzeugung und der Verfahrens- und Fertigungstechnik ziehen lediglich geringe Infrastrukturanforderungen nach sich und werden mit „8“ positiv eingestuft (Einschränkung aufgrund möglicher Infrastrukturmaßnahmen für eine verstärkte Biomassenutzung).

Die Nutzung von CCS im Kraftwerkssektor und in der Industrie erfordert den Aufbau eines Infrastruktursystems für den Transport und die Speicherung von CO_2 und ist folglich im direkten Vergleich niedrig („3“) einzustufen. Gegenüber der Nutzung von CCS im Kraftwerkssektor („2“) fällt die Bewertung etwa höher aus, da in der Industrie aufgrund der geringeren Menge an abgeschiedenem CO_2 theoretisch auch kleinere, näher gelegene Lagerformationen genutzt werden könnten.

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird ebenfalls als infrastrukturintensiv („3“) eingestuft, da der Biomassetransport logistisch aufwendig ist und je nach Art der genutzten Biomasse ein anderes Logistik- und Aufbereitungskonzept erfordert.

Gesellschaftliche Akzeptanz:

Mit Blick auf die gesellschaftliche Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen werden Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Effizienzerhöhung in der Stahlindustrie sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik recht positiv eingestuft (jeweils „8“), da diese zumeist mit geringeren und für die Öffentlichkeit weniger spür- und sichtbaren Eingriffen verbunden sind. Die eingeschränkt positive Einstufung ist auf mögliche Akzeptanzprobleme beim Neubau von Anlagenblöcke an neuen Standorten zurückzuführen.

Die Akzeptanz nachwachsender Rohstoffe in der Industrie wird ebenfalls positiv bewertet („8“). Die Einschränkung ist auf das zunehmende öffentliche Wissen über eine nicht nachhaltige Biomassenutzung zurückzuführen.

Die Nutzung von CCS wird aufgrund massiver Widerstände gegen die unterirdische CO_2-Lagerung in den Lagerregionen mit „4“ eingeordnet. Wegen der geringeren Menge an einzulagerndem CO_2 fällt die Bewertung leicht positiver aus als bei der Nutzung von CO_2 im Kraftwerkssektor („3“).

Sonstige Einflussfaktoren:

Die Nutzung von CCS bei Kraftwerken und Industrieanlagen wird wegen hoher Unsicherheiten mit Blick auf das verfügbare Potential zur CO_2-Speicherung und eventuellen Nutzungskonkurrenzen bei potenziellen Lagerstätten mit „4“ Punkten eingeschränkt negativ eingeordnet. Da die Summe industrieller CO_2 -Emissionen deutlich niedriger ist als die Emissionen fossil befeuerter Großkraftwerke, wird CCS-Industrie etwas positiver eingestuft als CCS im Kraftwerkssektor („3“).

Die industrielle CO_2-Nutzung wird mit „2“ Punkten sehr niedrig eingestuft, da aufgrund negativer thermodynamischer Bedingungen ein hoher Energieeinsatz für die CO_2-Nutzung erforderlich ist.

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird wegen möglicher Nutzungskonkurrenzen bei der Verwendung der verfügbaren Biomassepotentiale mit „5“ bewertet, da das Ausmaß derartiger Konkurrenzen aktuell nur schwer abzuschätzen ist.

Maßnahmen zur Optimierung in der Stahlindustrie sowie der Verfahrens- und Fertigungstechnik werden durchgehend mit „5“ bewertet aufgrund verschiedener technischer Hürden und Unsicherheiten.

Handlungsmöglichkeiten für NRW:

Die Maßnahmen zur Optimierung industrieller Verfahren und der Nutzung von CCS werden wie bei den Handlungsbausteinen zum fossilen Großkraftwerkspark relativ niedrig mit „4“ eingestuft, da die wichtigste Stellschraube der europäische Emissionshandel ist. Handlungsmöglichkeiten liegen v.a. in der regionalen Landesentwicklungsplanung und Klimaschutzpolitik.

Der Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen wird mit „4“ ebenfalls recht niedrig eingeordnet, da die Handlungsmöglichkeiten der Landesregierung hier v.a. im Bereich von Forschung und Entwicklung liegen.

Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten:

Die Induzierung einer klimafreundlichen Entwicklung in der Industrie könnte auf Landesebene neben „weichen“ Instrumenten wie Forschungs- und Entwicklungsförderung insbesondere durch die Verankerung sektorspezifischer CO_2-Minderungsziele in einem geplanten künftigen Klimaschutzgesetz erfolgen. Dies wäre mit einer relativ hohen Umsetzungstiefe verbunden und wird daher für die alternative Stahlerzeugung und Verfahrens- und Fertigungstechnik mit „7“ bewertet.

Die Nutzung von CCS-Industrie wird wegen der Notwendigkeit planungsrechtlicher Eingriffe etwas höher eingestuft („8“).

Mit Blick auf die verstärkte Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in der Industrie besteht die zentrale Aufgabe des Landes NRW hingegen auf dem Feld der Forschungsförderung und der Unterstützung der Markteinführung, beispielsweise durch Beschaffung entsprechender Produkte durch Landesinstitutionen. Die Umsetzungstiefe derartiger Maßnahmen wird mit „3“ als relativ niedrig eingestuft.

8.2.3 Gebäude und elektrische Anwendungen

8.2.3.1 Klimaschutz und Energiepolitik

CO_2-Minderungspotential:

Der Sanierung des Gebäudebestands wird hier ein sehr hohes CO_2-Minderungspotential zugeschrieben („9“), da diese Maßnahme eine zentrale Stellschraube in zahlreichen CO_2-Minderungsszenarien darstellt. Dies gilt auch für die Energieszenarien, auf denen das Energiekonzept der Bundesregierung aufbaut. Letztere gehen davon aus, dass sich die direkten Treibhausgasemissionen der Haushalte durch eine Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich um drei Viertel reduzieren.

Der CO_2-Minderungsbeitrag von Null- und Plusenergiehäusern bei Neubauten wird etwas niedriger („6“) eingestuft, da die Bestandssanierung mengenmäßig von höherer Bedeutung ist und sich die Erneuerung der Gebäudestruktur in langfristigeren Zyklen vollzieht.

Die Maßnahme „Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“ werden mit „3“ niedrig bewertet. Zwar weisen Effizienzsteigerungen in diesem Bereich ein signifikantes spezifisches Minderungspotential auf, jedoch fällt der kumulierte Minderungsbaustein der Maßnahme in der Gesamtsicht gegenüber anderen Klimaschutzmaßnahmen eher gering aus.

Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen:

Im Gebäudebereich werde sowohl die Gebäudesanierung als auch der Neubau hocheffizienter Gebäude eingeschränkt positiv beurteilt („7“), da es zu einem gewissen Zielkonflikt mit dem Einsatz von KWK durch eine Verringerung des Wärmebedarfs.

In dieser Bewertungskategorie werden Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums mit der Höchstpunktzahl („10“) bewertet, da diese keine Zielkonflikte mit anderen Klimaschutzmaßnahmen aufweisen und insbesondere mit Maßnahmen auf der Angebotsseite gut kombinierbar.

Beiträge zur Versorgungssicherheit:

Der Gebäudesanierung im Bestand wird die hier Höchstbewertung („10“) zugeteilt, da dieser Maßnahme im Energiekonzept der Bundesregierung eine sehr prominente Rolle zukommt und durch die Verringerung des Wärmebedarfs und den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien im Gebäudesektor die Abhängigkeit von importierten Rohstoffen reduziert wird.

Die Realisierung von Null- und Plusenergiehäusern /-siedlungen wird wegen ihrer geringeren mengenmäßigen Bedeutung mit „9“ etwas niedriger eingeordnet.

Der positive Beitrag des Handlungsbausteins „Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“ wird im Vergleich zu den vorgenannten Maßnahmen im Bereich Gebäude/elektrische Anwendungen etwas niedriger mit „8“ eingestuft, da der Gesamtanteil elektrischer Anwendungen am Endenergieverbrauch deutlich niedriger ist als der Anteil von Raumwärme.

Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt-)Zielen:

Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums werden in diesem Kriterium mit „9“ Punkten sehr hoch eingestuft, da sie keine wesentlichen negativen Umweltauswirkungen aufweisen, sondern teilweise durch eine Senkung des Wasserverbrauchs vielmehr positive Auswirkungen aufweisen. Die Höchstbewertung wird nicht vergeben, da sogenannte Rebound-Effekte zu einer teilweisen Kompensation der Energieeinsparungen führen können.

Die Umsetzung von Plus- und Nulleenergiehäusern /-siedlungen und die Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand werden eingeschränkt („5“) bis leicht positiv („6“) und damit deutlich niedriger bewertet. Hierbei spielen v.a. negative Umweltwirkungen von Dämmstoffen eine wichtige Rolle. Bei den Neubauten kommt die Beförderung der Zersiedelung von Landschaften als einschränkender Faktor hinzu.

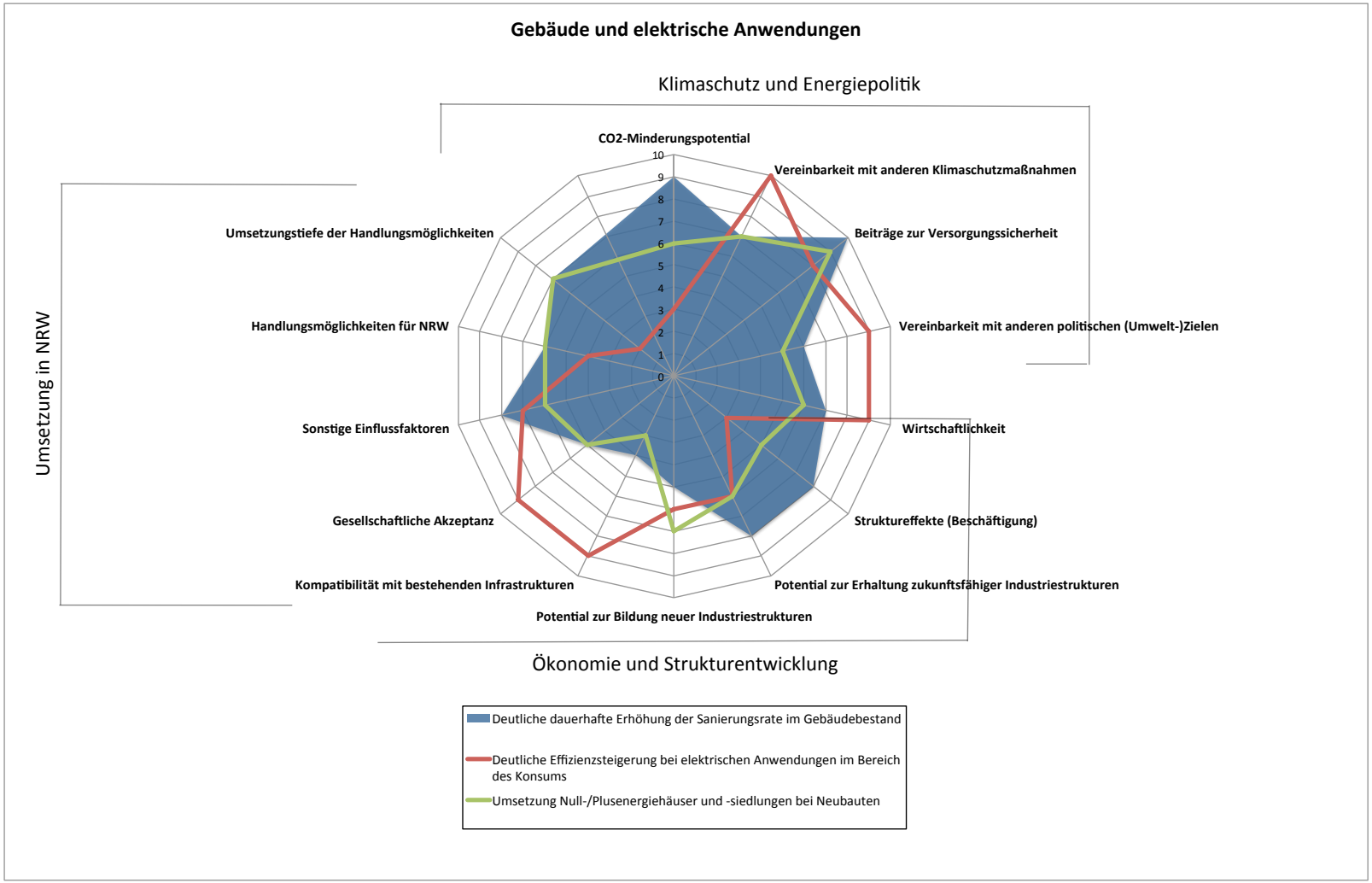


Abbildung 8-12: Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Gebäude und elektrische Anwendungen

Quelle: Eigene Darstellung

8.2.3.2 Ökonomie und Strukturentwicklung

Wirtschaftlichkeit:

Im Falle der Umsetzung von Null- und Plusenergiehäusern bei Neubauten wird die Wirtschaftlichkeit mit „6“ leicht positiv eingestuft. Zwar implizieren Null- und Plusenergiehäuser signifikant höhere Investitionskosten als Standardhäuser, jedoch ist bei einem weiteren Anstieg der Energiekosten mit einer sukzessiven Verkürzung der Amortisationszeit zu rechnen.

Die Wirtschaftlichkeit der einer Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand wird leicht positiver (“7“) bewertet als beim Neubau von Plus- und Nullenergiehäusern, da hier von geringeren spezifischen Investitionsaufwendungen und demnach kürzeren Amortisationszeiten ausgegangen wird.

Die Wirtschaftlichkeit von Effizienzerhöhungen bei elektrischen Anwendungen des Konsums wird mit einer Punktzahl von „9“ sehr positiv eingeschätzt, da viele Effizienzmaßnahmen volkswirtschaftlich gesehen wirtschaftliche und fast alle Maßnahmen aus Nutzersicht wirtschaftlich rentabel sind.

Struktureffekte (Beschäftigung):

Im Gebäudestand fällt der durch die Bestandssanierung zu erwartende Beschäftigungseffekt höher („8“) aus als beim Neubau von Plus- und Nullenergiehäusern /-siedlungen („5“), da die Zahl der zu sanierenden Altbauten im Vergleich zu den Neubauten deutlich höher ist.

Der Beschäftigungseffekt resultierend aus Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen wird niedrig eingestuft („3“), da es sich um Maßnahmen mit geringen Investitionsvolumina handelt. Eine flächendeckende Einführung ambitionierter Effizienzstandards könnte jedoch zu einem leichten Effekt führen.

Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen:

Im Gebäudebereich wird damit gerechnet, dass eine umfassende Sanierung im Bestand insbesondere in bestehenden Branchen und Industriestrukturen Wachstumseffekte generiert. Da der Gebäudesanierung im Energiekonzept der Bundesregierung eine Schlüsselrolle zukommt, wird sie hier mit „8“ hoch bewertet.

Der Neubau von Plus- und Nullenergiehäusern /-siedlungen schlägt sich hingegen stärker auf neuartige Strukturen nieder und wird daher niedriger („6“) eingestuft.

Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen werden eingeschränkt positiv bewertet („6“), da in Deutschland und NRW angesiedelte Hersteller von höheren Effizienzniveaus profitieren würden. Aufgrund der geringeren Investitionsintensität der Maßnahme wird jedoch von einem schwächeren Gesamteffekt ausgegangen.

Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen:

Im Gebäudebereich wird der Neubau von Plus- und Nullenergiehäusern /-siedlungen eingeschränkt positiv („7“) und damit höher als die Sanierung des Gebäudebestands bewertet, da insbesondere Plusenergiehäuser die durch eine zunehmende erneuerbare Stromerzeugung entstehende Dynamik verstärken.

Die Gebäudesanierung wird hingegen niedriger bewertet („5“), da sie stärker an bestehenden Industriestrukturen ansetzt.

Bei Effizienzsteigerungen elektrischer Anwendungen impliziert insbesondere die zu erwartende Nachfragensteigerung bei effizienten Beleuchtungssystemen ein gewisses Potential zur Bildung neuer Strukturen. Die Maßnahme wird schwach positiv („6“) bewertet.

8.2.3.3 Umsetzung in NRW

Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen:

Die „Umsetzung von Null- und Plusenergiehäusern /-siedlungen bei Neubauten“ sowie die Erhöhung der Gebäudesanierung im Wohngebäudebestand sind in langfristigen Zyklen erfolgende Maßnahmen und können für den jeweiligen Hauseigentümer mit hohen spezifischen Investitionen verbunden sein. Im Gegensatz zur Schaffung verkehrsvermeidener Siedlungsstrukturen (s. Sektorbewertung Verkehr) implizieren beide Bausteine jedoch keine ganzheitlichen Maßnahmen, sondern sind sektoral begrenzt und werden daher mit „3“ bzw. „4“ etwas positiver eingestuft. Der Neubau von Gebäuden wird gegenüber der Gebäudesanierung als aufwendiger eingeordnet.

Der Handlungsbaustein „Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“ wurde bei diesem Kriterium mit einer Bewertung von „9“ sehr hoch eingestuft. Dies ist darin begründet, dass es sich um Maßnahmen mit einem vergleichsweise geringen Investitionsaufwand handelt, für die im wesentlichen keine neuen Infrastrukturen erforderlich sind. Die Höchstpunktzahl wurde nicht vergeben, da die Schaffung von Gas- oder Fernwärmeanschlüssen für die Umsetzung einiger Substitionsmaßnahmen förderlich wäre.

Gesellschaftliche Akzeptanz:

Maßnahmen zur Prozessoptimierung und Effizienzerhöhung werden unter diesem Kriterium am positivsten eingestuft, da diese zumeist mit geringeren und für die Öffentlichkeit weniger spür- und sichtbaren Eingriffen verbunden sind. Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums werden mit „9“ sehr hoch bewertet, da diese mit vergleichsweise geringen Investitionen verbunden sind, sich angesichts steigender Energiepreise zügig amortisieren und keine wesentlichen umweltpolitischen Trade-Offs implizieren.

Der Neubau von Null- und Plusenergiehäusern /-siedlungen sowie eine Erhöhung der Gebäudesanierungsrate wurden mit jeweils „5“ als eingeschränkt positiv bzw. negativ eingeordnet, da ein Umwälzen der höheren Kosten energieeffizienter Gebäude auf die Kaltmieten zu anfänglichen Akzeptanzproblemen führen könnte. Dies wurde bereits bei ersten Ankündigungen der Bundesregierung zu steigenden Effizienzanforderungen im Gebäudebereich infolge des Energiekonzepts deutlich.

Sonstige Einflussfaktoren:

Die Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand wird hier mit „8“ positiv eingestuft. Zwar kann die Sanierung von Altbauten durch verschiedene Faktoren (z.B. denkmalgeschützte Fassaden) behindert werden, jedoch gilt dies nur für eine begrenzte Anzahl an Gebäuden.

Der Neubau von Plus- und Niedrigenergiehäusern /-siedlungen wird mit „6“ vergleichsweise niedriger bewertet, da innovative Neubaukonzepte von erhöhter technischer Komplexität sind und ein hohes Maß an Know-how der beteiligten Akteure erfordern.

Die Realisierung von Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen wird mit „7“ Punkten ebenfalls eingeschränkt positiv bewertet. Zwar bestehen hier keine wesentlichen technischen Barrieren, jedoch genieren derartige Maßnahmen im Einzelfall lediglich geringe absolute Energieeinsparungen. Eine signifikante kumulierte CO_2-Minderung in diesem Bereich erfordert daher eine hohe Zahl an „richtigen“ Verbraucherentscheidungen. Diese Anforderung kann ein Hemmnis darstellen und stellt eine große Herausforderung für die Schaffung wirkungsvoller politischer Instrumentarien dar.

Handlungsmöglichkeiten für NRW:

Im Gebäudebereich werden die rechtlichen Vorgaben für die Sanierung und Neubauten auf europäischer und Bundesebene gesetzt. Das Land kann Effizienzsteigerung jedoch durch regionale Förderprogramme und Beratungsangebote anreizen. Überdies besteht die Möglichkeit, in dem von der Landesregierung geplanten Klimaschutzplan Effizienzstandards zu definieren, auch und insbesondere mit Blick auf landeseigene Liegenschaften. Eine weitere Option wäre, den Verkauf von städtischen Grundstücken mit Effizienzvorgaben für die dort entstehenden oder bestehenden Gebäude zu verknüpfen. Die Handlungsmöglichkeiten der Landesregierung werden für beide Maßnahmen mit „6“ leicht positiv bewertet.

Auf dem Gebiet elektrischer Anwendungen besteht die wesentliche Handlungsmöglichkeit im Hemmnisabbau und der Information bzw. Weiterbildung. Auch Förderprogramme können auf Länderebene initiiert werden. Insgesamt ist das Tableau an Handlungsoptionen auf eher „weiche“ Maßnahmen begrenzt, weshalb es mit „4“ eher niedrig eingestuft wird.

Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten:

Die Maßnahmenpalette zur Erhöhung der Gebäudesanierungsrate sowie der beschleunigten Umsetzung von Null- und Plusenergiehäusern /-siedlungen weisen eine breite Spanne an Umsetzungstiefen von niedrig bis sehr hoch auf (Effizienzstandards im Klimaschutzgesetz /-plan) auf. Die Bewertung für beide Maßnahmen wird somit auf „7“ festgelegt.

Bei Effizienzsteigerungen elektrischer Anwendungen zeigt die Mehrzahl der möglichen Maßnahmen (z.B. Förderprogramme, Beratungsangebote für Verbraucher) hingegen eine niedrige Umsetzungstiefe („2“) auf.

8.2.4 Verkehr

8.2.4.1 Klimaschutz und Energiepolitik

CO_2-Minderungspotential:

Die Maßnahmen zum Thema Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe werden hier niedrig positiv („6“) bewertet, da das Minderungspotential jeweils stark von der Herstellung der Kraftstoffe (z.B. Art der Biomassenutzung) oder, im Fall von Elektrofahrzeugen, der für die Stromerzeugung genutzten Brennstoffe abhängt.

Letzteres gilt auch für eine verstärkte Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene, da aktuell noch mehr als 50% der im Güterverkehr eingesetzten Energie fossilen Ursprungs sind. Die Maßnahme wird daher ebenfalls mit „6“ bewertet. Die Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Strukturen wird aufgrund der Komplexität der Maßnahme auf dem gleichen Niveau angesiedelt.

Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen:

Die Schaffung/Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen wird insbesondere aufgrund des der Maßnahme zugrundeliegenden ganzheitlichen Ansatzes mit der Höchstpunktzahl („10“) bewertet. So lässt sich die Förderung der Verkehrsträger des Umweltverbundes mit Klimaschutzmaßnahmen in den Bereichen Wärme- und Stromversorgung kombinieren bzw. sind mit diesen vereinbar. Kompakte Siedlungsstrukturen bedeuten nicht nur kürzere Wege, sondern auch einen geringeren baulichen Aufwand zur Ver- und Entsorgung und zum Transport leitungsgebundender Energieträger.

Die Verkehrsverlagerung im Güterverkehr wird aufgrund des engeren Fokus' der Maßnahme mit „9“ etwas niedriger eingestuft.

Der Baustein alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe wird mit „7“ als eingeschränkt positiv bewertet. Beispielsweise könnte die Verwendung von regenerativ erzeugtem Strom in anderen Bereichen eine deutliche höhere Klimawirkung generieren als bei der Nutzung für die Elektromobilität.

Beiträge zur Versorgungssicherheit:

Der Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen wird hier eine vergleichsweise hohe Bewertung eingeräumt („8“), da durch die Vermeidung motorisierter Verkehre die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen sinkt. Alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe wirken eher ambivalent („5“), da sie teilweise auf importierten Rohstoffen basieren, wie z.B. Erdgasfahrzeuge. Eine Verlagerung des Güterverkehrs vom stark auf fossilem Dieselkraftstoff abhängigen straßengebundenen Güterverkehr auf die Schiene kann partiell zu einer Verbesserung der Versorgungssicherheit führen und wird daher etwas höher („6“) eingeordnet. Allerdings basiert auch der Energiemix der Bahn zu einem signifikanten Anteil auf importierten Rohstoffen.

Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt-)Zielen:

Die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen wird unter diesem Kriterium eingeschränkt positiv bewertet („7“). Während die Vermeidung von PKW-Verkehren oder die Verlagerung auf den Umweltverbund keine oder wenig negative Umweltauswirkungen zeigen, kann die Schaffung neuer Infrastrukturen, wie z.B. die Ausweitung des Schienennetzes, in Konflikt mit dem Natur- und Landschaftsschutz treten und zu Lärmbelastungen führen.

Gleiches führt bei der Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene zu Einschränkungen („7“).

Die Nutzung von alternativen Antriebskonzepten und Kraftstoffen wird als lediglich eingeschränkt umweltpolitisch vereinbar („5“) bewertet, da bereits heute die negativen Auswirkungen der großmaßstäblichen Produktion einiger Arten von Biotreibstoffen auf die Biodiversität

erkennbar sind. Überdies kann es zu Nutzungskonkurrenzen mit der Nahrungsproduktion kommen.

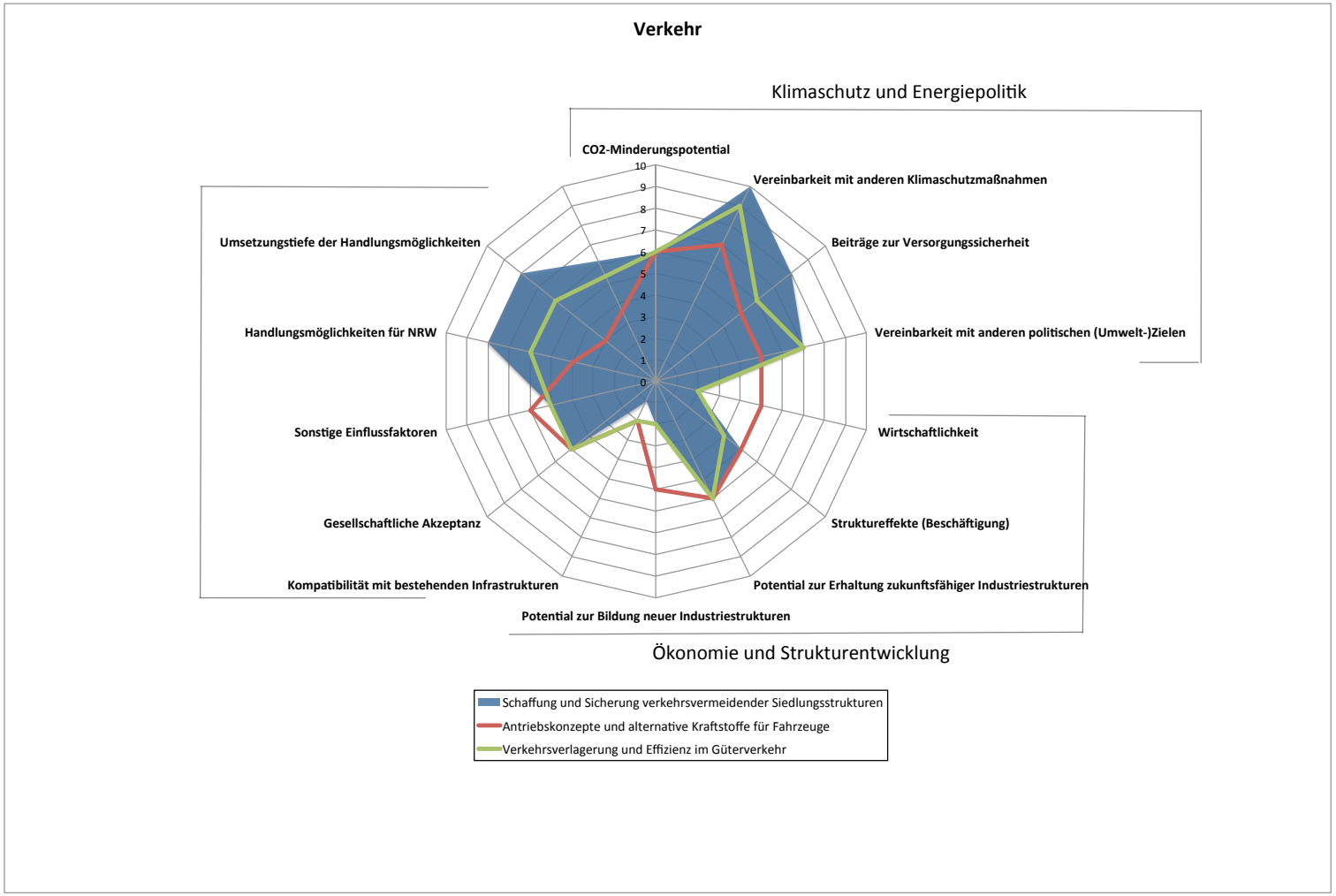


Abbildung 8-13: Vergleich der ungewichteten Bewertungen von Einzelmaßnahmen im Sektor Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung

8.2.4.2 Ökonomie und Strukturentwicklung

Wirtschaftlichkeit:

Die grundlegende Umgestaltung städtischer Infrastrukturen ist mit immensen Investitionsaufwendungen in langfristigen Zyklen verbunden. Die Maßnahme wird daher niedrig („2“) eingestuft.

Die Wirtschaftlichkeit der betrachteten alternativen Antriebskonzepte und Kraftstoffe ist großteils aufgrund eines noch frühen Entwicklungs- und Demonstrationsstadiums noch nicht gegeben. So stellen z.B. Elektrofahrzeuge noch keine wirtschaftliche Alternative zu vergleichbaren Modellen mit konventionellem Antrieb dar. Langfristig ist jedoch mit einer zunehmenden Angleichung der Anschaffungskosten zu erwarten. Die Maßnahme wird daher bei „5“ eingeordnet.

Die Wirtschaftlichkeit einer Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene wird mit „2“ niedrig eingestuft, da eine zunehmende Nutzung der Schiene mit hohen Infrastrukturaufwendungen einher gehen würde.

Struktureffekte (Beschäftigung):

Mit Blick auf eine nachhaltige Mobilitätsstrategie wird bei den einzelnen Maßnahmen von einem eingeschränkten oder leicht niedrigerem Beschäftigungseffekt ausgegangen, da alle Maßnahmen zwar ein gewisses Beschäftigungspotential implizieren, jedoch auch Verdrängungseffekte auslösen können.

Dies ist insbesondere bei einer Verlagerung von Verkehrsströmen im Güterverkehr von der Straße auf die Schiene der Fall. Diese Maßnahme wird mit „4“ etwas niedriger als die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen („5“) und die Verbreitung von innovativen Antriebskonzepten und alternativen Kraftstoffen („5“) eingeordnet, da sie auf einen Transportbereich beschränkt ist.

Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen:

Die betrachteten Maßnahmen werden unter diesem Kriterium einheitlich mit „6“ bewertet. Mit Blick auf Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe wird davon ausgegangen, dass der Modernisierungsprozess auch innerhalb bestehender Industriestrukturen erfolgt. Gleiches gilt für die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen sowie die Verkehrsverlagerung auf die Schiene im Güterverkehr.

Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen:

Im Verkehrsbereich ist bei Antriebskonzepten und alternativen Kraftstoffen mit einer Bewertung von „5“ das Innovationspotential am höchsten, da hier noch Entwicklungspotential für neue Technologien und somit Raum für neue Marktanbieter besteht.

Der Umbau von Siedlungsstrukturen und die Verlagerung der Güterverkehrsströme auf die Schiene geht hingegen nur geringfügig mit der Bildung neuer Industriestrukturen einher, da die Maßnahmen stark auf bestehenden Industriestrukturen ansetzen (jeweils „2“).

8.2.4.3 Umsetzung in NRW

Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen:

Maßnahmen, die mit der Schaffung neuartiger, nicht auf bestehenden technischen und systemischen Strukturen aufbauenden Technologien oder der grundlegenden Veränderung bestehender Strukturen verbunden sind, werden mit Blick auf dieses Kriterium generell niedrig bewertet.

Hierzu zählt insbesondere die Maßnahme „Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen“, die eine ganzheitliche und langfristige Veränderung städtischer Infrastrukturen erfordert, den Ausbau von Schienentrassen, eine Veränderung von Straßen- und Wegestrukturen sowie die Umgestaltung des Siedlungsraumes einbezieht. Sie wurde daher mit der Niedrigstpunktzahl „1“ bewertet.

Die Verkehrsverlagerung im Güterverkehr von der Straße auf die Schiene impliziert ebenfalls einen starken den Ausbau der Schieneninfrastruktur und wird daher niedrig („2“) eingestuft.

Die Markteinführung alternativer Antriebskonzepte und Kraftstoffe stellt in vielen Fällen neue Anforderungen an die Versorgungsinfrastruktur und impliziert eine Modernisierung der Fahrzeugflotte. Die Maßnahme wird daher ebenfalls niedrig bei „2“ eingestuft.

Gesellschaftliche Akzeptanz:

Die Einführung alternativer Kraftstoffe und innovativer Antriebskonzepte wird mit „5“ als eingeschränkt bewertet. Zwar wird insbesondere die Nutzung erneuerbarer Energien von der Bevölkerung mehrheitlich begrüßt. Die Einschränkung ist in möglichen Widerständen in der Bevölkerung gegenüber einer Veränderung ihres Verhaltens oder eine Umrüstungen von Fahrzeugen begründet. Überdies ist die abgeschwächt positive Bewertung auf eine zunehmend ambivalente öffentliche Wahrnehmung von Biokraftstoffen zurückzuführen.

Bei der Verkehrsverlagerung im Güterverkehr sowie der Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen wird mit „5“ von einer begrenzten Akzeptanz ausgegangen, da diese Maßnahmen mit sichtbaren Infrastrukturmaßnahmen einhergehen und teilweise zu Belastungen der betroffenen Anwohner (z.B. Schaffung neuer Schienentrassen) führen.

Gleiches gilt für die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen, die ebenfalls bei „5“ eingeordnet werden.

Sonstige Einflussfaktoren:

Im Rahmen einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie wird die Einführung von innovativen Antriebskonzepten und alternativen Kraftstoffen mit „6“ am positivsten bewertet, da hier vorrangig noch bestehender Forschungs- und Entwicklungsbedarf als Umsetzungshemmnis genannt wird.

Bei der Verkehrsverlagerung im Güterverkehr gibt es hingegen unter anderem tief greifende bürokratische Hindernisse, wie mangelnde grenzüberschreitende Abstimmung und fehlende Gleisanschlüsse, die zu einer niedrigen Bewertung („5“) führen.

Bei der Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen stellt das zersplitterte Instrumentarium innerhalb des geltenden Rechts ein wichtiges Hindernis dar. Die Erleichterung einer integrierten Stadtplanung durch die Entflechtung der Zuständigkeiten

von Bund, Ländern und Kommunen stellt eine erhebliche politische Herausforderung dar, weshalb die Maßnahme mit „5“ ebenfalls etwas niedriger als alternative Antriebs- und Kraftstoffkonzepte bewertet wird.

Handlungsmöglichkeiten für NRW:

Bei der Schaffung/Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen bestehen im Rahmen des Landesentwicklungsplans und anhand städtebaulicher Förderprogramme oder der Vergabe von Regionalisierungsmitteln für den Schienenpersonennahverkehr vielfältige Handlungsoptionen („8“). Diese könnten durch Aufklärungskampagnen in der Bevölkerung ergänzt werden.

Mit Blick auf alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe reduzieren sich die Handlungsmöglichkeiten hingegen weitgehend auf Forschungs- und Entwicklungsprogramme oder die Beschaffung entsprechender Dienstfahrzeuge. Die Bewertung fällt folglich eher niedrig („4“) aus.

Bei der Verkehrsverlagerung im Güterverkehr verfügt das Land NRW mit der integrierten Gesamtverkehrsplan über eine stärkere Stellschraube, weshalb die Maßnahme mit „6“ höher eingestuft wird als der Baustein alternative Antriebe und Kraftstoffe.

Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten:

Innerhalb des Maßnahmenblocks für eine nachhaltige Mobilitätsstrategie weist die Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen die höchste Umsetzungstiefe auf („8“), da hier wiederum Vorgaben innerhalb des Landesentwicklungsplans eine wichtige Stellschraube darstellen.

Die Maßnahmenpalette im Bereich Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe beschränkt sich weitgehend auf Forschungs- und Entwicklungsprogramme und wird daher niedrig („3“) eingeordnet.

Mit Blick auf die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene kann das Land NRW im Rahmen der Landesplanung begrenzt Einfluss auf die Strukturen des Güterverkehrs nehmen, wichtige Teile der Verkehrsinfrastruktur gehören jedoch in die Zuständigkeit des Bundes. Es wird daher eine leicht über dem Mittel liegende Bewertung („6“) vorgenommen.

8.3 Sektoraler Vergleich der Einzelmaßnahmen bei unterschiedlicher politischer Gewichtung

Nachfolgend werden die betrachteten Einzelmaßnahmen unter Beachtung einer unterschiedlichen politischen Gewichtung der Kriterienblöcke und der darin enthaltenen Einzelkriterien untersucht. Die Gewichtung erfolgt durch die Verteilung von insgesamt 100 Gewichtungspunkten auf die Kriterien. Die Gewichtungen der jeweiligen Einzelkriterien werden mit der Punktebewertung des Klimaschutzbausteins verrechnet. Bei einer Höchstbewertung unter allen Kriterien könnte ein Klimaschutzbaustein theoretisch maximal 1000 Punkte erreichen. Die Maßnahmen werden gemäß der Gesamtpunktzahl wie folgt kategorisiert:

- Niedrige multi-kriterielle Bewertung: 1-500 Punkte

- Mittlere multi-kriterielle Bewertung: 501-650 Punkte
- Hohe multi-kriterielle Bewertung: 651-1.000 Punkte

Die Kategorisierung wird in den nachfolgenden Kapitel in den jeweiligen Übersichtsgrafiken gepunktet (niedrige multi-kriterielle Bewertung), ausgefüllt (mittlere multi-kriterielle Bewertung) oder schraffiert (hohe multi-kriterielle Bewertung) dargestellt.

Die Gewichtung „Fokus Klima“ basiert auf Vorgaben des Auftraggebers dieser Studie, dem nordrhein-westfälischen Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV). Auf deren Basis wurden drei alternative Gewichtungsvarianten abgeleitet, um zu testen, inwieweit die Bewertung der Maßnahmen bei unterschiedlichen politischen Prioritäten robust ist. Die anteilige Verteilung der Gewichtungspunktzahl des Kriterienblocks (z.B. Klimaschutz/Energiepolitik) auf die Einzelkriterien (z.B. CO_2-Minderungspotential) wird in den alternativen Gewichtungsvarianten möglichst proportional übernommen. Die Gewichtung ist detailliert dargestellt in Tabelle 8-1. Insgesamt wird zwischen den folgenden Gewichtungsvarianten unterschieden:

- *Fokus Klima:* Diese Gewichtungsvariante des MKUNLV impliziert einen Schwerpunkt auf den Block „Klimaschutz/Energiepolitik“ (40 von 100 Gewichtungspunkten), wobei dem CO_2-Minderungspotential die höchste Bedeutung zukommt.
- *Fokus Klima stark:* Dieser Variante impliziert einen noch stärkeren politischen Fokus auf den Kriterienblock „Klimaschutz/Energiepolitik“ und ordnet diesem 50 von 100 zu vergebenden Gewichtungspunkten zu.
- *Fokus Ökonomie:* Hier wird ein moderater Schwerpunkt auf den Maßnahmenblock „Ökonomie und Strukturentwicklung“ (40 Punkte) gesetzt, demgegenüber das CO_2-Minderungspotential (30 Punkte) nachrangig ist.
- *Fokus Ökonomie stark:* Entgegengesetzt zur Gewichtungsvariante „Klima stark“ werden hier 50% der Gewichtungspunkte auf den Block „Ökonomie und Strukturentwicklung“ gesetzt.

Tabelle 8-1 Varianten der politischen Gewichtung der Bewertungskriterien

		Gewichtung			
		Fokus Klima (MKUNLV)	**Fokus Klima stark**	**Fokus Öko-nomie**	**Fokus Ökono-mie stark**
Klima-schutz/Energiepoli tik	CO_2-Minderungspotential	22	28	16	14
	Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutz-maßnahmen	7	9	5	4
	Beiträge zur Versorgungssicherheit	5	6	4	3
	Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt)-Zielen	6	7	5	4
	Gewichtung Kriterienblock gesamt	***40***	***50***	***30***	***25***
Ökono-mie/Struktur-entwicklung	Wirtschaftlichkeit	6	5	8	10
	Struktureffekte (Beschäftigung)	9	8	12	15
	Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen	5	4	7	9
	Potential zur Bildung neuer Industriestruk-turen	10	8	13	16
	Gewichtung Kriterienblock gesamt	***30***	***25***	***40***	***50***
Umsetzung in NRW	Kompatibilität mit bestehenden Industrie-strukturen	7	6	7	6
	Gesellschaftliche Akzeptanz	8	7	8	7
	Sonstige Einflussfaktoren	2	2	2	2
	Handlungsmöglichkeiten für NRW	8	6	8	6
	Umsetzungstiefe der Handlungsmöglich-keiten	5	4	5	4
	Gewichtung Kriterienblock gesamt	***30***	***25***	***30***	***25***
	Gesamtbewertung	**100**	**100**	**100**	**100**

Die Gewichtungspunkte werden, wie in Abschnitt 5 dargestellt mit den Bewertungen der Einzelmaßnahmen verrechnet. Es ist theoretisch eine maximale Punktezahl

8.3.1 Strom & Wärme

Abbildung 8-14 vergleicht die Bewertung der Klimaschutzbausteine im Bereich Strom und Wärme auf Basis der unterschiedlichen Gewichtungsvarianten. Wie oben erwähnt, sind niedrig eingestufte Maßnahmen (unter 500 Punkte) gepunktet dargestellt, hoch eingestufte Maßnahmen (mehr als 650 Punkte) werden schraffiert illustriert.

Es wird deutlich, dass insbesondere die *Erschließung von Effizienzpotentialen im fossilen Kraftwerkspark* durch die Modernisierung von Kohlekraftwerken und einen Brennstoffwechsel von Kohle zu Erdgas niedrig (weniger als 500 Punkte) eingestuft wird. Dies gilt für alle

Gewichtungsvarianten und ist insbesondere auf das limitierte langfristige CO_2-Minderungspotential sowie die geringe Kompatibilität zentraler, fossil basierter Erzeugungsstrukturen mit einem Ausbau erneuerbarer Energien zurückzuführen. Das limitierte CO_2-Minderungspotential wirkt sich bei der Modernisierung von Kohlekraftwerken in der Variante „Fokus Klima/Energie stark“ am deutlichsten negativ aus.

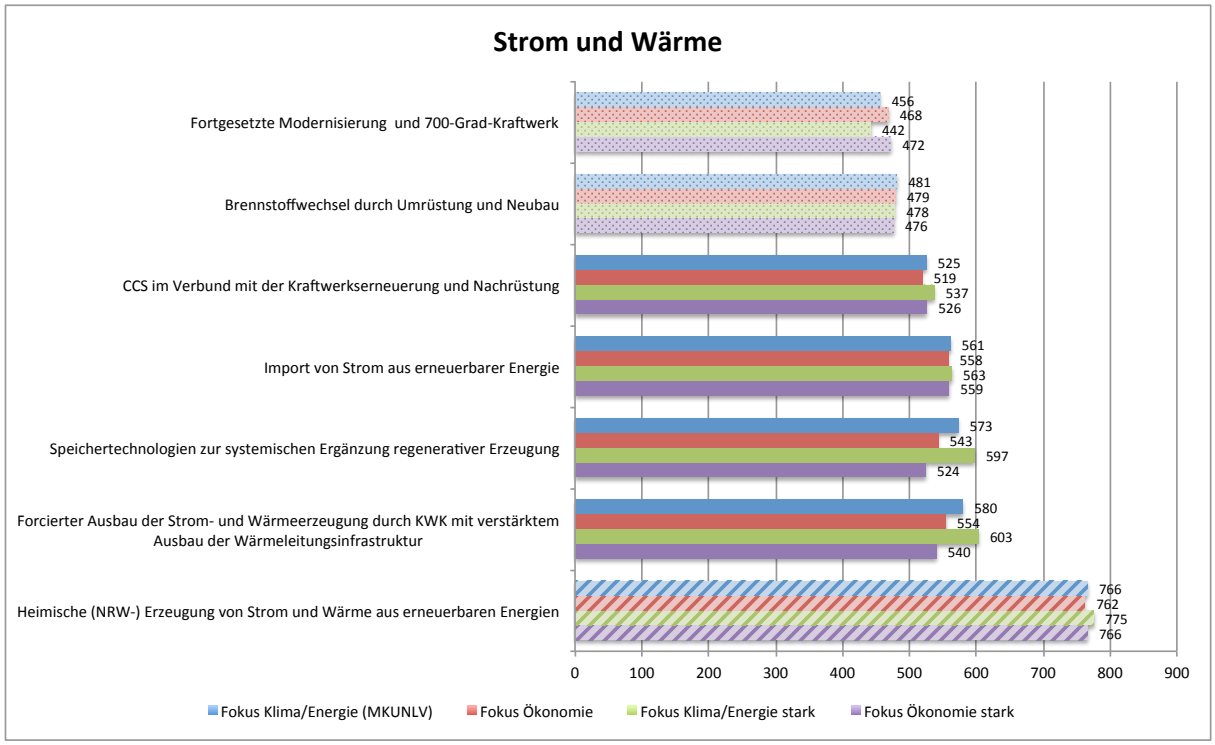


Abbildung 8-14: Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Strom und Wärme

Quelle: Eigene Darstellung

Die *Nutzung von CCS im Kraftwerkspark* wird insbesondere aufgrund des substantiellen CO_2-Minderungspotentials positiver bewertet. Dies trifft besonders auf die Variante „Fokus Klima/Energie stark“ zu. Negativ schlägt hingegen die stark eingeschränkte gesellschaftliche Akzeptanz der Technologie zu Buche.

Die *heimische Nutzung erneuerbarer Energien* weist eine hohe multi-kriterielle Bewertung auf. Dies ist insbesondere auf die Kombination eines hohen CO_2-Minderungspotentials, einem wichtigen Beitrag zur Energieversorgungssicherheit und stark positiven Auswirkungen auf die Beschäftigung und die Bildung neuer Industriestrukturen zurückzuführen.

Der *Import von Strom aus erneuerbaren Energien* wird hingegen lediglich auf einem mittleren Niveau eingestuft, da er den Versorgungssicherheitsvorteil erneuerbarer Energien reduziert, von geringerer absoluter Relevanz bei der CO_2-Minderung ist und ein begrenztes inländisches Wertschöpfungspotential mit sich bringt.

Die Bewertung der *Speichertechnologien* liegt ebenfalls im mittleren Bewertungsbereich. Hier variiert die Punktezahl zwischen den ökonomisch getriebenen Pfaden und den klimapolitisch orientierten Varianten signifikant. Dies spiegelt wider, dass Speichertechnologien als „Enabler“-Technologien zwar einen wichtigen indirekten Beitrag zur heimischen Nutzung erneuerbarer Energiequellen und damit zur CO_2-Minderung und Energieversorgungssicher-

heit beitragen, im Kriterienblock „Ökonomie und Struktureffekte“ jedoch eher niedrig eingestuft worden sind.

8.3.2 Industrie

Abbildung 8-15 illustriert die gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Industrie. Alle betrachteten Maßnahmen sind auf einem mittleren Bewertungslevel angesiedelt.

Ein möglicher *Produktwechsel zu nachhaltigen Rohstoffen* wird dabei mit einer zwischen 605 und 620 variierenden Punktezahl am höchsten eingestuft. Die Bewertungen der Maßnahmen sind in den Pfaden „Fokus Klimaschutz/Energiepolitik stark“ und „Fokus Ökonomie und Strukturentwicklung stark“ am positivsten, weil hier die eher positive Bewertung der Maßnahme mit Blick auf die CO_2-Minderung bzw. die Bildung neuer Industriestrukturen stark ins Gewicht fällt.

Die Maßnahme *„Forcierte Energieeffizienz in der Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik“* wird durchgängig etwas positiver bewertet als die *alternative Stahlerzeugung*, da ihr ein etwas stärker positiver Effekt auf die Bildung neuer Industriestrukturen zugeschrieben wird. Insbesondere wegen eines eher eingeschränkten CO_2-Minderungspotentials sowie eines niedrigen Struktureffekts fällt die Bewertung beider Maßnahmen niedriger aus als die Bewertung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

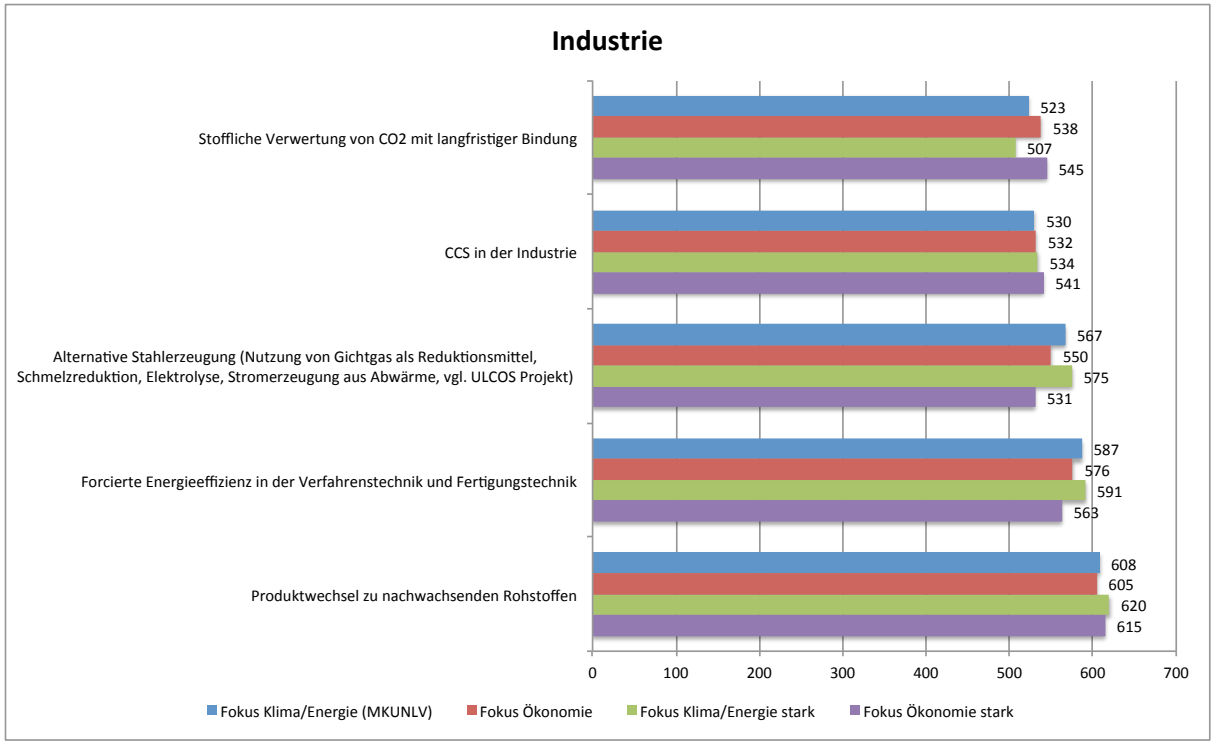


Abbildung 8-15: Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Industrie

Quelle: Eigene Darstellung

Die Anwendung von *CCS in der Industrie* wird niedriger eingeordnet als die vorangegangenen Maßnahmen im Industriesektor, obgleich der Technologie das höchste CO_2-Minderungspotential im Industriesektor zugeschrieben wird. Negativ fallen insbesondere die

geringe gesellschaftliche Akzeptanz der CO_2-Lagerung und eine niedrige Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen ins Gewicht. Die im Vergleich der Gewichtungsvarianten hohe Bewertung des Pfades „Fokus Ökonomie stark“ ist auf recht positive Effekte bei der Erhaltung bestehender und der Ausbildung neuer Industriestrukturen zurückzuführen.

Die *stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung* wird im sektoralen Vergleich am niedrigsten bewertet, da das CO_2-Minderungspotential der Technologie begrenzt und die Vereinbarkeit mit anderen umweltpolitischen Zielen gering ist. Letzteres ist vor allem den negativen Effekten der energieintensiven CO_2-Abscheidung zuzuschreiben. Die Bewertung bei den ökonomisch geprägten Varianten fällt deutlich positiver aus, da der Technologie ein gutes Potential zur Schaffung neuer Recyclingstrukturen und Entwicklung neuer Technologien zugesprochen wird.

8.3.3 Gebäude und elektrische Anwendungen

Im Bereich Gebäude und elektrische Anwendungen wird eine *deutliche Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand* klar am positivsten im direkten Vergleich mit den anderen betrachteten sektoralen Maßnahmen bewertet. Dies ist vorrangig auf die hohen bis sehr hohen Bewertungen der Maßnahme im Kriterienblock „Klimaschutz und Energiepolitik“ zurückzuführen. So wird der Gebäudesanierung aufgrund des hohen Energieeinsparpotentials im Gebäudebestand und ihrer zentralen Rolle im Energiekonzept der Bundesregierung ein sehr hohes CO_2-Minderungspotential zugeschrieben. Vor diesem Hintergrund wird auch ihr Beitrag zur Versorgungssicherheit, insbesondere infolge eines niedrigeren Raumwärmebedarfs, als sehr hoch eingeschätzt. Überdies ist die Bestandssanierung investitionsintensiv und impliziert ein hohes Potential für die Schaffung neuer Arbeitsplätze und die Stärkung bestehender Industriestrukturen.

Die *Umsetzung von Null- und Plusenergiehäusern* liegt auf einem mittleren Bewertungsniveau, da der Maßnahme im Vergleich zur Gebäudesanierung ein deutlich geringeres kumuliertes CO_2-Minderungspotential zugesprochen wird. Letzteres ist insbesondere auf lange Investitionszyklen bei Neubauten zurückzuführen. Aus dem gleichen Grund wird bei dieser Maßnahme ein geringerer Struktureffekt als bei der Bestandssanierung erwartet.

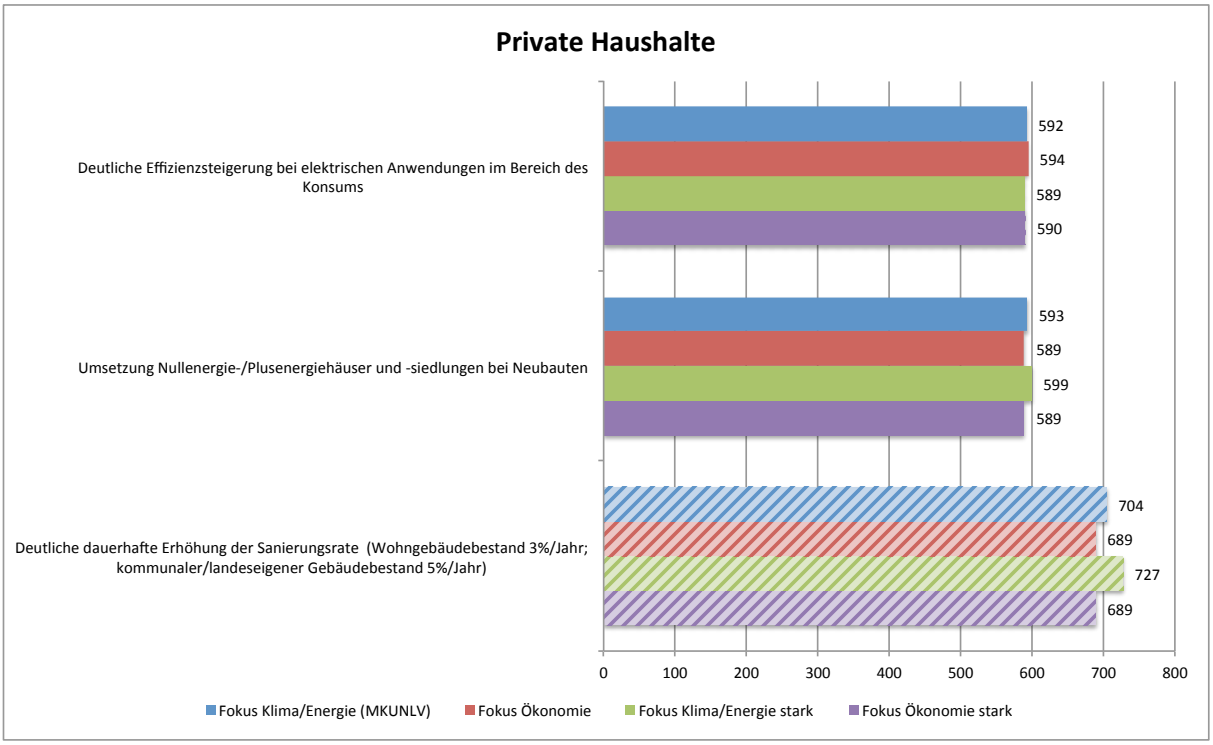


Abbildung 8-16: Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Bereich Gebäude und elektrische Anwendungen

Quelle: Eigene Darstellung

Die Maßnahme *„Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums“* befindet sich ebenfalls auf einem mittleren Bewertungsniveau. Die Maßnahme verfügt zwar über ein signifikantes spezifisches CO_2-Minderungspotential, das in der Gesamtsicht gegenüber anderen Klimaschutzmaßnahmen jedoch eher gering ausfällt und daher niedrig eingestuft wird. Überdies wird aufgrund der vergleichsweise geringen Investitionsintensität der Maßnahmen von einem eingeschränkten Beschäftigungseffekt ausgegangen. Andererseits weist der Handlungsbaustein eine sehr gute Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen auf. Überdies sind viele Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bereits wirtschaftlich und erfordern geringe Infrastrukturaufwendungen.

8.3.4 Verkehr

Abbildung 8-17 illustriert die gewichtete Bewertung des Maßnahmenkomplexes im Verkehrssektor. Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Sektoren liegen bei diesem Baustein zwischen den klimapolitisch und den eher ökonomisch orientierten Gewichtungsvarianten teilweise deutliche Bewertungsunterschiede vor. Dies zeigt sich insbesondere bei den Maßnahmen zur Verlagerung des Güterverkehrs und der Schaffung sowie Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen.

Die *Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen* erreicht die insgesamt höchste Punktzahl der betrachteten Maßnahmen. Dies ist einerseits durch eine hohe Bewertungen im Kriterienblock „Klimaschutz/Energiepolitik“ zu erklären, da die Maßnahme einen ganzheitlichen Handlungsansatz beinhaltet, der in hohem Maße mit anderen Klimaschutzmaßnahmen vereinbar ist und eine gute Vereinbarkeit mit anderen umweltpolitischen

Zielen aufweist. Überdies besteht zu dieser Maßnahme auf der Landesebene im Rahmen der Stadt- und Landschaftsplanung ein recht breites Tableau an Handlungsoptionen im Rahmen des Landesentwicklungsplans sowie von spezifischen städtebaulichen Förderprogrammen. Negativ wirken sich hingegen die hohen Kosten und ein geringes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen aus. Die Maßnahme schneidet daher in den ökonomisch geprägten Varianten und insbesondere dem Pfad „Fokus Ökonomie stark“ schwächer ab als in den Klima orientierten Gewichtungen.

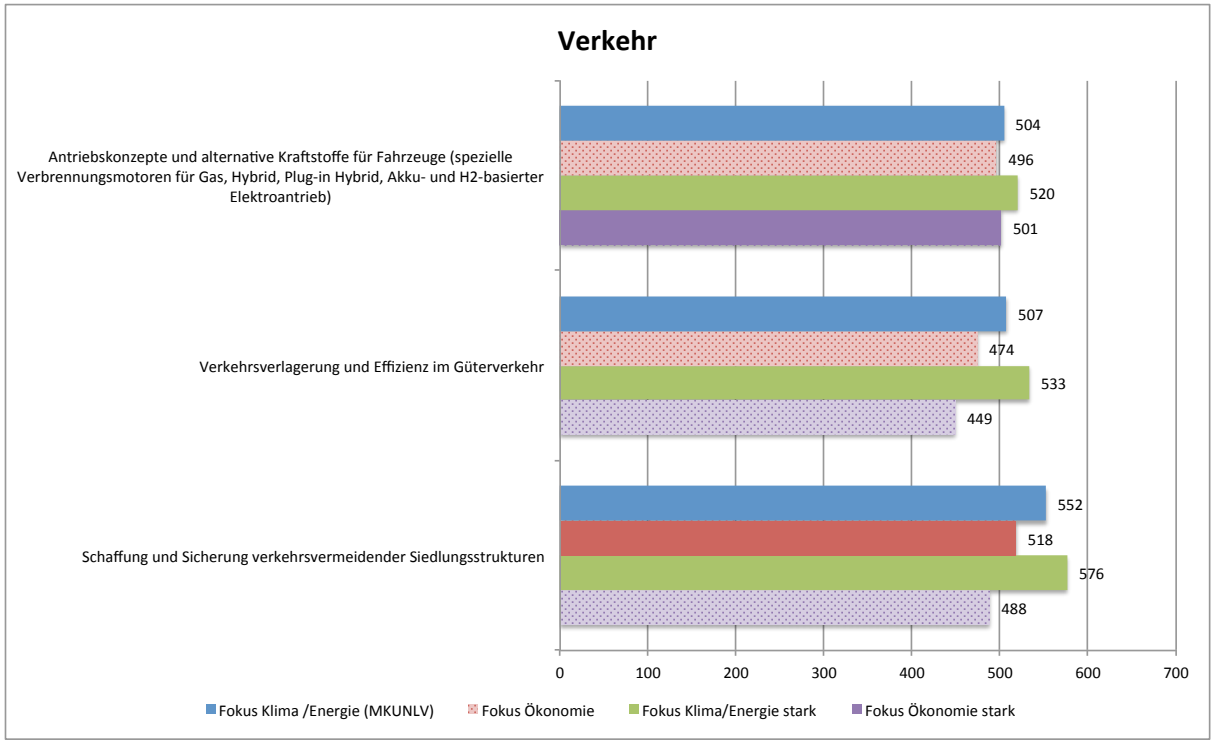


Abbildung 8-17: Gewichtete Bewertung der Maßnahmen im Sektor Verkehr

Quelle: Eigene Darstellung

Die *Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene* zeigt ebenfalls relativ starke Schwankungen zwischen den verschiedenen Gewichtungspfaden. Insgesamt fällt die Punktzahl der klimageprägten Gewichtungspfade höher aus als die Punktzahle der ökonomisch geprägten Varianten. Dabei wirkt sich insbesondere die hohe Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen und umweltpolitischen Zielen positiv aus. Im Gegensatz dazu wird die Maßnahme mit Blick auf die Kriterien Wirtschaftlichkeit und ihr Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen – sehr niedrig bewertet. Insbesondere das geringe industrielle Innovationspotential wirkt sich dabei negativ auf die Gesamtpunktezahl aus, da das Kriterium das am höchsten gewichtete Einzelkriterium innerhalb des Blockes „Ökonomie und Struktureffekte“ ist.

Der Maßnahmenbaustein „Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe“ befindet sich auf einem niedrigen Niveau mittlerer multi-kriterieller Bewertung. Die unterschiedlichen Gewichtungsvarianten liegen relativ nah beieinander, da die Maßnahme bei der Mehrzahl der Kriterien in den Bereichen Klimaschutz/Energiepolitik und Ökonomie/Struktureffekte in der Mitte der Bewertungsskala angeordnet sind. Der stärkste Ausschlag auf der Bewertungsskala zeigt sich bei der Bewertung der Kompatibilität mit der bestehenden Infrastruktur, da viele

alternative Antriebskonzepte und Kraftstoffe den Aufbau neuer Versorgungsstrukturen und eine Umrüstung der Flotte erfordern. Überdies verfügt die Landesebene auf dem Gebiet alternativer Treibstoffe lediglich über begrenzte Handlungsmöglichkeiten jenseits von Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen.

9 Schlussfolgerungen aus der MCA

Aus der vorangegangenen multi-kriteriellen Analyse lassen sich folgende *Sektor spezifische Schlussfolgerungen* ableiten:

- Strom & Wärme:
    - Die heimische Erzeugung erneuerbarer Energien wird hier am positivsten bewertet. Dies ist insbesondere auf die Kombination eines hohen CO_2-Minderungspotentials und eines starken Beitrags zur Energieversorgungssicherheit einerseits sowie eines hohes Innovationspotentials andererseits zurückzuführen. Aus letzterem resultieren stark positive Effekte auf die Beschäftigung und ein hohes Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen. Beide Kriterien sind im Block „Ökonomie und Strukturentwicklung“ mit einer hohen Gewichtung versehen.
    - Im Gegensatz dazu erhält der Maßnahmenblock zum fossilen Kraftwerkspark eher eine geringe multi-kriterielle Bewertung. Dies gilt insbesondere für die Modernisierung von Kohlekraftwerken, deren langfristiges ökonomisches CO_2-Minderungspotential und Kompatibilität mit erneuerbaren Energieerzeugungsstrukturen limitiert sind. Die Nutzung von CCS und der Ausbau von KWK werden dagegen höher eingestuft. Dies impliziert, dass innerhalb einer langfristigen Klimaschutzstrategie die Ausrüstung verbleibender fossil gefeuerter Stromerzeugungskapazitäten mit CCS und die Forcierung der Kraft-Wärme-Kopplung sehr relevant sind.
- Industrie:
    - In diesem Sektor wird einem Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen die höchste Punktzahl zugeteilt, da hier große Potentiale zur CO_2-Minderung und Bildung neuer Industriestrukturen bestehen.
    - Aufgrund der mengenmäßigen Begrenzung nachwachsender Rohstoffe gilt es derartige Maßnahmen jedoch durch Prozessoptimierungen in Schlüsselindustrien zu flankieren. Sowohl Maßnahmen zur alternativen Stahlerzeugung als auch eine forcierte Energieeffizienz in der Verfahrens- und Fertigungstechnik haben eine gute mittlere multi-kriterielle Bewertung erhalten.
    - Die Analyse legt nahe, dass die zuvor genannten Maßnahmen im Industriesektor der Nutzung von CCS vorzuziehen sind. Grundsätzlich stellt der Industriesektor wegen des limitierten Portfolios an Optionen für eine substantielle CO_2-Reduktion jedoch ein wichtiges und gegenüber dem Kraftwerkssektor zu präferierendes Anwendungsgebiet für CCS dar. Die Technologie ist jedoch eher eine mittelfristige Option, da sie mit hohen Umsetzungshürden (niedrige gesellschaftliche Akzeptanz, hoher Infrastrukturaufwand etc.) verbunden ist.
- Gebäude und elektrische Anwendungen:
    - Die Gebäudesanierung zählt neben der heimischen Erzeugung erneuerbarer Energien zu den höchstbewerteten Maßnahmen in dieser MCA. Die positive Einstufung ist vorrangig auf das hohe Energieeinsparpotential im Gebäudebe-

stand und die hohe Investitionsintensität der Maßnahme zurückzuführen, welche positive Effekte auf die Arbeitsplatzsituation und bestehende Branchen impliziert.

- Die Realisierung von Null- und Plusenergiehäusern erhält wegen der langfristigeren Umsetzungsperspektiven und der daher geringeren kumulativen Minderungswirkung eine etwas niedrigere Einstufung, ist jedoch ebenfalls als wichtiger Klimabaustein einzustufen, der forciert werden sollte.
- Effizienzsteigerungen bei elektrischen Anwendungen weisen wichtige umsetzungsbezogene Vorteile, wie geringe Infrastrukturanforderungen, niedrige Investitionsintensität etc. auf. Die Herausforderung besteht darin, das eher kleinteilige Potential der Maßnahme mithilfe eines geeigneten politischen Instrumentariums zu erschließen.

- Verkehr:
  - Das Bewertungsniveau ist in diesem Sektor im Vergleich zu den anderen Maßnahmen eher niedrig. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die betrachteten Maßnahmen mit hohen Infrastrukturanforderungen einhergehen und daher eine niedrige Wirtschaftlichkeit aufweisen. Dies gilt insbesondere für die Schaffung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen und die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene. Diese Maßnahmen sind daher als Langfristmaßnahmen einzustufen.

Aus den gelisteten Punkten lassen sich folgende *Sektor übergreifende Schlussfolgerungen* ableiten:

- Es wird deutlich, dass ein effektives und effizientes Klimaschutzkonzept die Angebotsseite und die Nachfrageseite gleichermaßen adressieren sollte. Hierfür bestehen auf Landesebene gute Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen der Landesentwicklungsplanung oder spezifischer Förderprogramme.
- Es wird überdies deutlich, dass Klimaschutzmaßnahmen, welche ein hohes CO_2-Minderungspotential mit einem hohen Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen kombinieren, stark positiv einzustufen sind und in vielen Fällen durch positive Struktureffekte (Beschäftigung) belohnt werden. Oft handelt es sich dabei jedoch um eher langfristig ausgerichtete Maßnahmen.
- Es ist demnach ein breiter Mix an politischen Instrumenten erforderlich, der a) nachfrage- und angebotsorientierte Elemente enthalten, b) Sektor spezifisch ausgerichtet sein und c) zwischen kurz-, mittel- und langfristig orientierten Maßnahmen differenzieren und entsprechende Meilensteine enthalten sollte.

Literatur- und Quellenverzeichnis

BBR (1999): Siedlungsstrukturen der kurzen Wege: Ansätze für eine nachhaltige Stadt-, Regional- und Siedlungsentwicklung. Bonn.

Beise, Marian (2004): Lead Markets, Country-Specific Drivers of the Global Diffusion of Innovations, in: Research Policy, Nr. 33, S. 997 ff.

BMU (2009a): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland- Leitszenario 2009. Umweltpolitik. Stuttgart.

BMU (2009b): Katharina Reiche: Offshore-Windenergie für den erfolgreichen Ausbau der erneuerbaren Energien. Offshore-Wissenschaftstage des Bundesumweltministeriums in Oldenburg eröffnet. Pressemitteilung vom 17. November 2009.

BMU (2007): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. Berlin.

Bundesregierung (2008): Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. Berlin.

David, Paul A. (1985): Clio and the economics of QWERTY, in: American Economic Review, Jg. 75, Nr. 2, S. 332 ff.

Department for Communities and Local Government (2009): Multi-criteria analysis: a manual. London.

European Kommission (2009): DIRECTIVE 2009/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC. Official Journal of the European Union. Brüssel.

EUtech (2008): NRW- Klima 2020 - Beitrag Nordrhein-Westfalens zur Erreichung des nationalen Klimaschutzziels. Aachen.

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (Ffe) (2009): Energiezukunft 2050: Teil II - Szenarien (2. Aufl.). München. Abgerufen von http://www.ffe.de/download/berichte/Endbericht_Energiezukunft_2050_Teil_I.pdf.

Fraunhofer-ISI (2009): ADAM 2-degree scenario for Europe–policies and impacts. Abgerufen von http://cms.isi.fraunhofer.de/wDefault_1/OrgEinh-2/download-files/presseinfos08-09/project_ADAM.pdf?WSESSIONID=5e799760158adc8390d5a6631202634a.

Fraunhofer-ISI; Ecofys; Energy Economics Group; Rütter + Partner; Seureco; Lithuanian Energy Institute (LEI) (2009): The Impact of Renewable Energy Policy on Economic Growth and Employment in the European Union. Brüssel.

Fritzsche, A.F. (1986): Wie sicher leben wir? Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft, Köln.

Greenpeace (2009): Klimaschutz: Plan B 2050 - Energiekonzept für Deutschland. Hamburg/Aachen. Abgerufen von http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/Plan_B_2050_lang.pdf.

Harmsen, Robert (2000): Forces in the Development of Coal Gasification. Dissertation. Utrecht.

IPCC (Hrsg.) (1996): 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan.

IPCC (2007): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York.

IT.NRW (2009): Energiebilanz und CO_2-Bilanz in Nordrhein-Westfalen 2007. Düsseldorf.

Jänicke, Martin; Kunig, Philip; Stitzel, Michael (2000): Lern- und Arbeitsbuch Umweltpolitik. Politik, Recht und Management des Umweltschutzes in Staat und Unternehmen. Berlin.

LANUV (2010): Treibhausgasemissionsinventar 2007 – Berechnungen des LANUV NRW in Essen (unveröffentlicht, zur Verfügung gestellt von S. Opitz & V. Hoffmann (März 2010).

Meinshausen, M.; Meinshausen, N.; Hare, W.; Raper, S. C. B.; Frieler, K.; Knutti, R.; Frame, D. J.; Allen, M. R. (2009): Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2[thinsp][deg]C. Nature, 458(7242)1158-1162. doi: 10.1038/nature08017.

MUNLV (2009): Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2009. Düsseldorf. Abgerufen von http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/umweltbericht/umweltbericht_2009.pdf.

MWME (2008): Mit Energie in die Zukunft - Klimaschutz als Chance. Energie- und Klimaschutzstrategie Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

NRW-SPD; Bündnis 90 / Die Grünen NRW (2010): Gemeinsam neue Wege gehen: Koalitionsvertrag. Düsseldorf. Abgerufen von http://www.gruene.landtag.nrw.de/cms/default/dokbin/346/346937.der_rotgruene_koalitionsvertrag.pdf.

O'Sullivan, Marlene; Edler, Dietmar; Ottmüller, Marion; Lehr, Ulrike (2010): Kurzfristige und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der eneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Dritter Bericht zur Bruttobeschäftigung. Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien im Jahr 2009 - eine erste Abschätzung, 23. März 2010.

Pohekar, S. D.; Ramachandran, M. (2004): Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning--A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8(4)365-381. doi: 10.1016/j.rser.2003.12.007.

Shell Deutschland Oil GmbH (2009): Shell PKW-Szenarien bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Hamburg.

Statistisches Bundesamt (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.

Strahl, Joseph (1001=: Diffusion of Cleaner Technology: Theoretical Discussion and a Case Study. Master Thesis. Lund.

Umweltbundesamt (2009a): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2007. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2009b): Politikszenarien für den Klimaschutz V - Auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Dessau-Roßlau.

UNFCCC (2009): FCCC/SBSTA/2009)L.11; Intergovernmental Panel on Climate Change guidelines for national greenhouse gas inventories. Draft Conclusions proposed by the Chair.

Vallentin, Daniel (2009): Coal-to-Liquids (CTL): Driving Forces and Barriers - Synergies and Conflicts from an Energy and Climate Policy Perspective. Including Country Studies on the United States, China and Germany and a Foreword by Peter Hennicke. Stuttgart.

WBGU (2009): Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz : Sondergutachten 2009. Berlin. Abgerufen von www.wbgu.de/wbgu_sn2009.html.

Wietschel, Martin (2008): Der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur und seine Auswirkungen. Präsentation in Berlin am 28. Juni 2008.

Wuppertal Institut (2005): Emissionsbericht NRW im Rahmen des Forschungsprojektes "Monitoring klimarelevanter Emissionen für Nordrhein-Westfalen. Wuppertal.

Wuppertal Institut (2008): RECCS - Ecological, Economic and Structural Comparison of Renewable Energy Technologies (RE) with Carbon Capture and Storage (CCS) - An Integrated Approach. Wuppertal, Stuttgart, Berlin.

Wuppertal Institut; Forschungszentrum Jülich; BSR Sustainability GmbH; Fraunhofer-ISI (2008a): Sozioökonomische Begleitforschung zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Carbon Capture and Storage (CCS) auf nationaler und internationaler Ebene. Wuppertal

Wuppertal Institut (2009a): Kurzanalyse der langfristigen Klimaschutzherausforderungen für NRW - Szenarienanalyse und Strategievergleich. Wuppertal.

Wuppertal Institut (2009b): Energiewirtschaftliche, strukturelle und industriepolitische Analyse der Nachrüstung von Kohlekraftwerken mit einer CO_2-Rückhaltung in NRW (Abschlussbericht 132/41808012 an das Forschungszentrum Jülich GmbH). Wuppertal.

WWF (2009): Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken. Basel/Berlin.

Anhang

Anhang 1: MCA-Matrix

	Klimaschutz und Energiepolitik				Ökonomie und Strukturentwicklung				Umsetzung in NRW						
MCA-Matrix	CO_2-Minderungspotential	Vereinbarkeit mit anderen Klimaschutzmaßnahmen	Beiträge zur Versorgungssicherheit	Vereinbarkeit mit anderen politischen (Umwelt-)Zielen	Wirtschaftlichkeit	Struktureffekte (Beschäftigung)	Potential zur Erhaltung zukunftsfähiger Industriestrukturen	Potential zur Bildung neuer Industriestrukturen	Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Sonstige Einflussfaktoren	Handlungsmöglichkeiten für NRW	Umsetzungstiefe der Handlungsmöglichkeiten	Ungewichtete Summe	Gewichtete Summe
Gewichtung der Rubriken	30				40						30			100	
Gewichtung der Kriterien durch MKULNV	16	5	4	5	8	12	7	13	7	8	2	8	5	100	
Heimische (NRW-) Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien	9	7	9	7	6	9	7	9	2	7	4	9	8	93	762
Forcierter Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung durch KWK mit verstärktem Ausbau der Wärmeleitungsinfrastruktur	8	7	7	4	4	5	6	4	3	6	4	5	8	71	554
Speichertechnologien zur systemischen Ergänzung regenerativer Erzeugung	8	5	10	4	5	3	4	5	4	7	6	5	5	71	543
Import von Strom aus erneuerbarer Energie	6	8	2	5	5	5	5	7	3	7	4	6	6	69	558
CCS im Verbund mit der Kraftwerkserneuerung und Nachrüstung	8	2	7	3	5	4	8	6	2	3	3	4	8	63	519
Brennstoffwechsel durch Umrüstung und Neubau	5	5	4	4	5	2	6	6	6	4	4	4	8	63	479
Fortgesetzte Modernisierung und 700-Grad-Kraftwerk	4	2	8	2	5	3	8	5	7	3	5	4	8	64	468
Produktwechsel zu nachwachsenden Rohstoffen	7	7	8	4	5	6	5	9	3	8	5	4	3	74	605
Forcierte Energieeffizienz in der Verfahrenstechnik und Fertigungstechnik	5	9	8	5	5	3	8	5	8	8	5	4	7	80	576
Alternative Stahlerzeugung (Nutzung von Gichtgas als Reduktionsmittel, Schmelzreduktion, Elektrolyse, Stromerzeugung aus Abwärme, vgl. ULCOS Projekt)	5	9	8	5	5	3	8	3	8	8	5	4	7	78	550
CCS in der Industrie	6	6	6	3	5	5	8	6	3	4	4	4	8	68	532
Stoffliche Verwertung von CO_2 mit langfristiger Bindung	4	5	6	4	5	5	5	8	7	5	2	6	5	67	538
Deutliche dauerhafte Erhöhung der Sanierungsrate (Wohngebäudebestand 3%/Jahr; kommunaler/landeseigener Gebäudebestand 5%/Jahr)	9	7	10	6	7	8	8	5	4	5	8	6	7	90	689
Umsetzung Nullenergie-/Plusenergiehäuser und -siedlungen bei Neubauten	6	7	9	5	6	5	6	7	3	5	6	6	7	78	589
Deutliche Effizienzsteigerung bei elektrischen Anwendungen im Bereich des Konsums	3	10	8	9	9	3	6	6	9	9	7	4	2	85	594
Schaffung und Sicherung verkehrsvermeidender Siedlungsstrukturen	6	10	8	7	2	5	6	2	1	5	5	8	8	73	518
Verkehrsverlagerung und Effizienz im Güterverkehr	6	9	6	7	2	4	6	2	2	5	5	6	6	66	474
Antriebskonzepte und alternative Kraftstoffe für Fahrzeuge (spezielle Verbrennungsmotoren für Gas, Hybrid, Plug-in Hybrid, Akku- und H2-basierter Elektroantrieb)	6	7	5	5	5	5	6	5	2	5	6	4	3	64	496

Anhang 2: Inhaltliche Bewertung der einzelnen Maßnahmen

Siehe separates Dokument mit dem Titel *„Anhang 2 – Bewertung von langfristigen Klimaschutzmaßnahmen für Nordrhein-Westfalen“*